

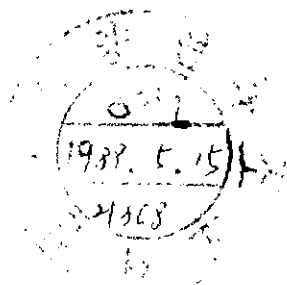
BSPE 00139-218-7B

海洋情報資料開發研究
— 研究論文集 —

Marine Scientific Information System
— Collected Reprints of KORDI Research Papers —

1989. 3.

韓國科學技術院
海洋研究所



提 出 文

海洋研究所長 貴下

본 보고서를 "1988년도 海洋情報資料 開發研究 - 研究論文集 -" 의
最終報告書로 제출합니다.

1989年 3月

韓國科學技術院 海洋研究所

研究責任者： 宋 基 燮

研 究 員： 崔 炯 泰

朴 相 植

李 尹 均

韓 宗 燁

林 美 淑

朴 贊 淑

金 希 京

要 約 文

I. 題目

海洋情報資料 開發 研究 - 研究論文集 -

II. 研究開發의 重要性 및 目的

本 研究所의 研究員에 의해 國內, 外 學術雜誌 및 學, 協會誌에 發表된 研究論文들을 체계적으로 정리하여 수록함으로써 研究者들이 해당분야의 研究結果를 일목요연하게 파악, 이용 할수 있도록 하는데 目的이 있다.

III. 研究開發의 內容

1985年 부터 1986年 까지 研究所 發行의 "海洋研究" 誌 이외의 國內, 外 學術雜誌 및 學, 協會誌에 本 研究所 研究員들이 發表한 6개 分野 總 47篇의 論文을 收錄하였으며, 卷末에 著者索引, 題目 索引 및 分野別 索引을 收錄하였다.

IV. 研究開發의 結果

本 研究의 結果로 本 研究所 研究員들의 研究論文들이 체계적으로 정리되었고, 國內, 外 海洋科學 分野의 研究者들에게 널리 利用할 수 있는 계기를 마련하였다.

SUMMARY

I. Title

Marine Scientific Information System - Collected Reprints
of KORDI Research Papers -

II. Objective and Significance

The objective of this work is to published as a collected reprints. All the papers published in domestic and foreign professional journals by KORDI researchers over the periods of 1885-1986.

III. Scope

This volume contains 47 papers by KORDI researchers originally published in journals other than the "Ocean Research" between 1985 and 1986.

Author, title and subject indices at the end of the volume are in alphabetical order.

IV. Results

47 research papers were collected grouped into six different fields, and those arranged in the order of publication year.

This volume is expectedly used as a source book for introductory KORDI research activities to marine science fields.

일 러 두 기

1. 본 論文集은 당 연구소 연구원에 의해 1985년부터 1986년에 걸쳐 國內, 外 학술잡지 및 학. 협회지에 발표된 연구논문(본 연구소 발행 "해양연구" 수록분은 제외) 47편을 수록한 것이다.
2. 각 논문은 발표 연도별로 수록하였고, 券末에 제목 색인, 분야별 색인 및 저자 색인을 수록하였다.
3. 배열
 - 가. 각 연도별로 論文題目에 따라 가, 나, 다 순 및 A, B, C 순으로 배열하였다.
 - 나. 색인 :
 - 1) 저자색인 : 저자명의 A, B, C 순으로 배열하였다.
 - 2) 제목색인 : 國文은 가, 나, 다 순으로, 英文은(앞의 관사를 무시하고) A, B, C 순으로 배열하였으며 논문에 明示된 국문제목과 영문제목을 함께 수록하였다.
 - 3) 분야별색인 : 각 논문을 Physical Oceanography, Chemical Oceanography, Marine Biology, Geological Oceanography, Ocean Engineering, Miscellaneous로 분류 수록하고 그 안에서 제목의 가, 나, 다 순 및 A, B, C 순으로 배열하였다.

Notes

1. This volume contains 47 papers by KCRDI researchers originally published in journals other than the "Ocean Research" between 1985 & 1986.
2. The papers are in chronological and alphabetical order. Author, title and subject indices at the end of the volume are in alphabetical order. Subjects are classified into Physical, Chemical, Biological, Geological Oceanography, Ocean Engineering, and Miscellaneous.

CONTENTS

No.	Title	Author	Page
1.	沿岸 海域에서의 基礎情報調査의 現狀과 課題.....	安 熙 道	1
2.	朝鮮累層群 상부캠브리아系 花折層에 狹在된 Carbonate Flat Pebble Conglomerate의 成因.....	朴炳權. 韓相俊	7
3.	한국산 비늘갯지렁이류의 분류 I. 참비늘갯지렁이 아과	계종길. 이재학. 노용태	15
4.	韓半島 沿近海底 表層堆積物에서의 音波傳達速度와 減衰係數	金聖烈. 石奉出	33
5.	港灣料率 決定의 理論과 實際.....	鄭 聖 哲	45
6.	海洋開發의 必要性和 當面課題.....	洪 承 湧	51
7.	흰베도라치, <i>Enedrias fangi</i> 稚仔魚期의 食性	金鍾萬. 金東燁. 유재명. 許亨澤	61
8.	흰베도라치, <i>Enedrias fangi</i> (Wang and Wang) 稚仔魚期의 形態 및 骨骼發達에 관한 研究.....	유재명. 金容億	69
9.	The distribution of clay minerals in recent sediments of the Korea Strait.....	Byong-Kwon Park and Sang-Joon Han	89
10.	The distribution of phytoplankton in Yeong-il Bay, Korea	Jae Hyung Shim and Se Jin Pae	101
11.	Evidence of two driving mechanisms of the western Mediterranean upper layer circulation : Freshwater coastal input and deep water formation.....	J. P. Bethoux, L. Prieur and J. H. Bong	113
12.	Planktonic foraminifera from the southwestern slope of the Ulleung Basin, East Sea, Korea	Hae-Kyung Cheong, Soon-Keun Chang and Kwang-Ho Paik	115
13.	Some phyllodocid polychaetes from Kwangyang Bay, Korea	Jae-Hac Lee and Jong-Geel Jae	135
14.	Summertime southward current along the east coast of Korea	Heung-Jae Lie and Sang-Kyung Byun	145

No.	Title	Author	Page
15.	Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Hwanghae (Yellow Sea).....	Heung-Jae Lie..	151
16.	Zoned facies of mass-flow deposits in the Ulleung(Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan)...	S. K. Chough, K. S. Jeong and E. Honza..	159
17.	建設需要創出面에서 본 沿岸城開發事業.....	洪 承 湧..	173
18.	建設需要創出面에서 본 潮力發電施設.....	宋 源 吾..	187
19.	建設需要創出面에서 본 海洋開發施設.....	安 熙 道..	203
20.	光陽灣에서의 現生底棲 有孔蟲에 관한 研究.....	蔣 舜 權..	213
21.	南極 : 그 自然環境과 地下資源.....	蔣 舜 權..	225
22.	南極 King George Island 調查.....	蔣 舜 權..	237
23.	南海岸 光陽灣의 潮間帶 海藻類에 관한 生態學的 研究....	宋 春 福..	241
24.	都市와 海溢.....	姜 始 桓..	263
25.	RANCE潮力發電所 稼働 20年.....	宋 源 吾..	275
26.	輸出入 貨物の 荷役生産性 提高를 위한 研究 - 港灣荷役 勞働을 中心으로-	尹 相 鎬..	283
27.	싱가포르의 海運현황과 海運정책.....	張 榮 太..	293
28.	올림픽 요트競技場 (水營灣)의 海上狀態 研究.....	姜 始 桓..	301
29.	潮力發電.....	宋 源 吾..	317
30.	중부 캄브리아계 풍촌석회암층의 기탕원소.....	박병권. 한상준..	323
31.	중부 캄브리아기 우이드 여울 퇴적층 : 풍촌석회암층 하부의 어란상 탄산염암.....	박병권. 한상준..	341
32.	FUNDY灣 潮力發電事業.....	宋 源 吾..	359
33.	韓國南東海 底棲有孔蟲의 生物場.....	蔣 舜 權..	369

No.	Title	Author	Page
34.	Biapertural <i>Cassidulina</i> from Santa Catalina Basin, California continental borderland.....	Soon-Keun Chang and Robert G. Douglas..	379
35.	A comparative study of primary production by using the ¹⁴ C and oxygen methods.....	Jae H. Shim and Sung H. Kahng..	385
36.	Current-depth refraction of directional wave spectra	J. W. Chae and W. O. Song..	397
37.	Depositional environment of late Quaternary sediments and suspended particulate matter on the southeastern continental shelf, Korea.....	Bong Chool Suk..	417
38.	Distribution of chemical oceanographic parameters during summer in Jindong Bay.....	Dong-Beom Yang and Kwang-Woo Lee..	429
39.	Effects of different processing techniques on interpretation of marine seismic data	Oong Koo Youn, Sang-Joon Han and Byong-Kwon Park..	435
40.	Empirical orthogonal function analysis of seawater temperature in the southeastern Hwanghae	Heung-Jae Lie, In Kwon Bang and Yong Q. Kang..	451
41.	Heavy metals in the surface waters of Kwangyang Bay during 1983-84.....	Soo Hyung Lee, Eun Soo Kim, Suk Hyun Kim, Jae Ryoung Oh and Kwang-Woo Lee..	461
42.	Korean shallow-water pycnogonids based on the collections of the Korea Ocean Research and Development Institute.....	Il-Hoi Kim and Jae-Sang Hong..	467
43.	Naticid gastropods may kill solenid bivalves without boring : Ichnologic and taphonomic consequences	Robert W. Frey, James D. Howard and Jae-Sang Hong..	485
44.	Recent ostracodes from the southwestern slope of the Ulleung Basin, East Sea, Korea.....	Hae-Kyung Cheong, Eui-Hyeong Lee, Kwang-Ho Paik and Soon-Keun Chang..	489
45.	A study on the <i>Gymnodinium nagasakiense</i> red-tide in Jinhae Bay of Korea.....	Jin Hwan Lee and Hi-Sang Kwak..	505

No.	Title	Author	Page
46.	Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae	Heung-Jae Lie..	517
47.	Three dimensional study of the tidal flat geomorphology in the Kum River Estuary by multirate image analysis	Hong-Rhyong Yoo..	531

List of Contributions

No.	Title	Author	Page
85-01	技術進步 및 魚資源減少와 投入物에 對한 漁獲彈力度 : 沿近海漁業의 경우.....	鄭 聖 哲	543
85-02	待機理論에 따른 確率分布函數 檢定.....	張 榮 太	544
85-03	덕대, <i>Pampus echinogaster</i> (Basilewsky) 稚仔魚期의 形態 및 發達.....	유재명, 金鍾萬, 許亨澤	543
85-04	Box-Jenkins 모델에 의한 魚價分析.....	金 成 貴	544
85-05	방어增養殖事業에서 4要因이 經營成果에 미치는 영향.....	金成貴, 金鉉榮	543
85-06	方魚津 南쪽 海底表層 堆積物中の 底棲有孔蟲.....	蔣 舜 權	544
85-07	世界 살물선 市況豫測에 있어 計量的모델의 應用.....	金 元 在	544
85-08	數値모델을 利用한 萬里浦 海濱變化研究	蔡璋源, 廉器大	543
85-09	沿岸海域에서의 基礎情報調查의 現狀과 課題.....	安 熙 道	1
85-10	우리나라 海洋部門의 對 國民總生產 寄與度 및 經濟的 波及效果에 대한 推定.....	尹 東 漢	544
85-11	蔚山灣 및 周邊海域의 稚仔魚分布	金鍾萬, 유재명, 許亨澤, 車聖植	544
85-12	朝鮮累層群 상부 캄브리아系 花折層에 狹在된 Carbonate Flat Pebble Conglomerate의 成因.....	朴炳權, 韓相俊	7
85-13	韓國產 未記錄 海藻類에 대한 考察.....	宋春福, 姜悌源	544
85-14	한국산 비늘갯지렁이류의 분류 I. 참비늘갯지렁이 아과	제종길, 이재학, 노용태	15
85-15	韓國 沿岸域의 供給潛在力 評價技法에 關한 研究.....	柳 時 融	543
85-16	韓半島 沿近海底 表層堆積物에서의 音波傳達速度와 減衰係數.....	金聖烈, 石奉出	33

No.	Title	Author	Page
85-17	港湾料率 決定의 理論과 實際.....	鄭 聖 哲	45
85-18	海上物動量의 長期豫測模型.....	宋 鍾 國	543
85-19	海洋開發의 必要性和 當面課題.....	洪 承 湧	51
85-20	Homomorphic deconvolution을 利用한 彈性波 探查資料의 處理 (I).....	金漢俊. 韓相俊. 金聖烈. 柳海洙	543
85-21	흰베도라치, <i>Enedrias fangi</i> 稚仔魚期의 食性	金鍾萬. 金東燁. 유재명. 許亨澤	61
85-22	흰베도라치, <i>Enedrias fangi</i> (Wang and Wang) 稚仔魚期의 形態 및 骨骼發達에 관한 研究.....	유재명. 金容億	69
85-23	Check-list of marine planktonic algae in the coastal waters of Korea I. Bacillariophyceae	Jin Hwan Lee and Chang Hwan Cho	543
85-24	The distribution of clay minerals in recent sediments of the Korea Strait.....	Byong-Kwon Park and Sang-Joon Han	89
85-25	The distribution of phytoplankton in Yeong-il Bay, Korea.....	Jae Hyung Shim and Se Jin Pae	101
85-26	Evidence of two driving mechanisms of the western Mediterranean upper layer circulation : Freshwater coastal input and deep water formation	J. P. Bethoux, L. Prieur and J. H. Bong	113
85-27	Planktonic foraminifera from the southwestern slope of the Ulleung Basin, East Sea, Korea	Hae-Kyung Cheong, Soon-Keun Chang and Kwang-Ho Paik	115
85-28	Properties of a stationary fine sediment wedge	Dong-Young Lee, Chung-Po Lin and Ashish J. Mehta	544
85-29	Some phyllodocid polychaetes from Kwangyang Bay, Korea	Jae-Hac Lee and Jong-Geel Jae	135
85-30	Studies on the holothuroidea in the coastal waters of Korea I. Synaptidae.....	Soon Ki I Yi	543

No.	Title	Author	Page
85-31	Summertime southward current along the east coast of Korea.....	Heung-Jae Lie and Sang-Kyung Byun...	145
85-32	Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Hwanghae (Yellow Sea)....	Heung-Jae Lie...	151
85-33	Zoned facies of mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan)	S. K. Chough, K. S. Jeong and E. Honza...	159
86-01	建設需要創出面에서 本 沿岸域開發事業.....	洪 承 湧...	173
86-02	建設需要創出面에서 本 潮力發電施設.....	宋 源 吾...	187
86-03	建設需要創出面에서 本 海洋開發施設.....	安 熙 道...	203
86-04	게임理論을 利用한 沿岸域 産業配置模型..	金東輝, 柳時融, 尹春善...	545
86-05	光陽灣에서의 現生底棲 有孔蟲에 관한 研究.....	蔣 舜 權...	213
86-06	南極 : 그 自然環境과 地下資源.....	蔣 舜 權...	225
86-07	南極 King George Island 調査.....	蔣 舜 權...	237
86-08	南海岸 光陽灣의 潮間帶 海藻類에 관한 生態學的 研究	宋 春 福...	241
86-09	斷面이 急變하는 狹水路에서의 潮汐數值實驗 - 西南沿岸 海域에의 適用.....	김효섭, 李相龍, 廉器大, 宋源吾...	545
86-10	都市와 海溢.....	姜 始 桓...	263
86-11	RANCE潮力發電所 稼動 20年.....	宋 源 吾...	275
86-12	北東太平洋 赤道帶 KONOD-1 지역의 磁力異常 解析	朴贊弘, 金聖烈, 韓相俊, 姜正極...	545
86-13	輸出入 貨物の 荷役生産性 提高를 위한 研究 - 港灣荷役 勞動을 中心으로 -	尹 相 鎬...	283
86-14	싱가포르의 海운현황과 海운정책.....	張 榮 太...	293
86-15	올림픽 요트競技場 (水營灣)의 海上狀態研究.....	姜 始 桓...	301

No.	Title	Author	Page
86-16	1986年 東海深層海流 觀測을 위한 流速計 繫留報告	黃雙喆. 全鎬景. 咸錫賢...	546
86-17	積分모델에 의한 溫排水제트 研究	姜錫求. 李相龍. 鄭景太. 廉器大...	545
86-18	潮力發電.....	宋 源 吾...	317
86-19	중부 캄브리아계 풍촌석회암층의 미량원소.....	박병권. 한상준...	323
86-20	중부 캄브리아기 우이드 여울 퇴적층 : 풍촌석회암층 하부의 어란상 탄산염암.....	박병권. 한상준...	341
86-21	春季 西海의 植物플랑크톤 研究.....	張晚. 沈載亨...	544
86-22	颱風豫報 技術開發의 經濟性.....	李 石 泰...	545
86-23	FUNDY灣 潮力發電事業.....	宋 源 吾...	359
86-24	韓國 南東海 底棲有孔蟲의 生物場.....	蔣 舜 權...	369
86-25	海上 彈性波 反射法 資料를 利用한 地層速度 決定과 模型試驗	柳海洙. 金漢俊...	545
86-26	海水中 溶存우라늄의 經濟的 抽出.....	金 銀 洙...	545
86-27	海洋生物의 自然毒.....	錢 重 均...	546
86-28	黃海의 多毛環蟲類 III. 다나무갯지렁이과 (第1報)	이재학. 白義人...	544
86-29	黃海의 多毛環蟲類 III. 다나무갯지렁이과 (第2報)	이재학. 白義人...	545
86-30	Biapertural <i>Cassidulina</i> from Santa Catalina Basin, California continental borderland	Soor-Keun Chang and Robert G. Douglas...	379
86-31	A Comparative study of primary production by using the ¹⁴ C and oxygen methods.....	Jae H. Shim and Sung H. Kahng...	385

No.	Title	Author	Page
86-32	Current-depth refraction of directional wave spectra	J. W. Chae and W. O. Song	397
86-33	Depositional environment of late Quaternary sediments and suspended particulate matter on the southeastern continental shelf, Korea....	Bong Chool Suk	417
86-34	Distribution characteristics of chemical elements in core sediments from the northeastern equatorial Pacific (KONOD-1 area)	Kap-Sik Jeong, Sang-Joon Han and Jung-Keuk Kang	545
86-35	Distribution of chemical oceanographic parameters during summer in Jindong Bay	Dong-Beom Yang and Kwang-Woo Lee	429
86-36	Effects of different processing techniques on interpretation of marine seismic data	Oong Koo Youn, Sang-Joon Han and Byong-Kwon Park	435
86-37	Empirical orthogonal function analysis of seawater temperature in the southeastern Fwanghae	Heung-Jae Lie, In Kwon Bang and Yong Q. Kang	451
86-38	Heavy metals in the surface waters of Kwangyang Bay during 1983-84.....	Soo Hyung Lee, Eun Soo Kim, Suk Hyun Kim, Jae Ryoung Oh and Kwang-Woo Lee	461
86-39	Korean shallow-water pycnogonids based on the collections of the Korea Ocean Research and Development Institute.....	Ik-Hoi Kim and Jae-Sang Hong	467
86-40	Naticid gastropods may kill solenid bivalves without boring : Ichnologic and taphonomic consequences	Robert W. Frey, James D. Howard and Jae-Sang Hong	485
86-41	Recent ostracodes from the southwestern slope of the Ulleung Basin, East Sea, Korea.....	Hae-Kyung Cheong, Eui-Hyeong Lee, Kwang-Ho Paik and Soon-Keun Chang	489
86-42	Remotely sensed water turbidity pattern on the Korean side of the Yellow Sea.....	Hong Rhyong Yoo	545

No.	Title	Author	Page
86-43	A study on the <i>Gymnodinium nagasakiense</i> red-tide in Jinhae Bay of Korea.....	Jin Hwan Lee and Hi-Sang Kwak...	505
86-44	Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae	Heung-Jae Lie...	517
86-45	Three dimensional study of the tidal flat geomorphology in the Kum River Estuary by multirate image analysis	Hong-Rhyong Yoo...	531

沿岸海域에서의 基礎情報調査의 現狀과 課題



安 熙 道

(海洋研究所 前任研究員)

2. 沿岸域의 基礎情報調査

1. 序 言

沿岸域은 지금까지 주로 交通輸送의 場所, 漁業의 場所, 土地造成의 場所로서 이용되어 왔으며, 앞으로는 이같은 沿岸域의 이용은 더욱 활발하여 그 領域도 점차 大水深化되어 갈 것이다. 最近에 들어서는 國土擴張事業의 일환으로 西·南海岸의 大單位 埋立, 干拓事業이 구체화되기 시작했으며 이와 더불어 海洋生態系保護를 목적으로 한 環境保全問題의 重要性도 점차 高潮되고 있다.

이같이 相當 廣範圍한 沿岸海域을 새로운 國土空間으로서 活用하기 위해서는 무엇보다도 沿岸域의 基礎情報의 整備가 필요하며 아울러 水深 20 m以內的 沿岸域 利用展開을 가능케하는 各種 技術開發도 이루어져야 할 것이다.

本稿에서는 概略의이나마 現 沿岸海域에서의 基礎情報調査의 現狀과 그 課題에 대해서 살펴보기로 한다.

沿岸域의 基礎調査의 항목은 매우 多種多樣하니 大略 다음과 같이 分類할 수 있다.

- 海洋資源圖의 整備: 海象·氣象條件, 海底地形·地質構造, 生物水産分布, 利用現況, 管理區分 等
- 海象·氣象觀測: 波浪, 潮位, 潮流, 漂砂, 風向風速, 氣壓 等
- 環境調査: 水質, 有機汚濁 等
- 利用實態調査: 水域, 土地利用實態 等

위와같이 沿岸域의 各種 基礎情報調査의 항목에 대하여 지금까지 여러 많은 調査機關들이 조사에 臨해 왔으며 調査에 필요한 人材, 器材, 技術等を 蓄積하여 왔다(表-1 參照).

今後 要請되고 있는 海洋情報의 효율적인 整備를 위해서는 지금까지 축적되어온 調査能力을 최대한 活用하며 이의 內的充實을 迫切함이 필요하다.

〈表-1〉 海洋데이터의 種類와 主要調査機關

調査項目	主要調査機關										
	科學技術廳 海洋研究所	科學技術廳 動力研究所	中央氣象台 氣象研究所	海運港灣廳 各地方廳	交通部 水路局	水產廳 國立水產院	環境廳 環境研究所	內務部 海洋警察隊	國防部 ○○○○	建設部 國立地理院	民間 用投資體
海洋物理化學											
各種觀測 (水深別 水溫, 鹽分, 化學成分)	○				○	○		○	○		○
STD觀測 (水溫, 鹽分, 鉛直速度觀測)	○				○	○		○	○		○
BT觀測 (水溫, 鉛直速度觀測)	○				○	○		○	○		○
海流觀測 (流速, 流向)	○			○	○	○		○	○		○
潮流觀測 (流速, 流向)	○				○	○		○	○		○
波浪觀測 (波高, 波向, 周期)	○			○	○	○		○	○		○
潮汐觀測	○				○	○		○	○		○
定點連續觀測 (水溫, 浮遊砂)	○				○	○		○	○		○
海上氣象觀測	○		○		○	○		○	○		○
海洋污染觀測	○				○	○		○	○		○
地質地球物理											
海底地質	○	○			○				○		
地殼熱流量	○	○							○		
重力	○	○							○		
地磁氣	○	○							○		
音波探查	○	○							○		
海洋生物											
플랑크톤	○									○	
基礎生產量	○									○	
其他											
衛星 (水溫, 高度等)										○	○
航空機 (地形變化等)										○	○

한국과학기술원 과기서 878 (38.0cm, 26.5cm)

가. 海象 및 海上氣象의 調査

船舶의 安全과 經濟的인 運航, 港灣 등의 整備, 海象·氣象의 豫報精度的 向上, 각종 海洋構造物 建造 等に 이바지하기 위해 波浪 및 海上風, 海流·潮流·水溫 等の 海況, 海水, 海霧, 碎波帶內의 諸現象 등에 관하여 상세한 조사가 필요하게 된다.

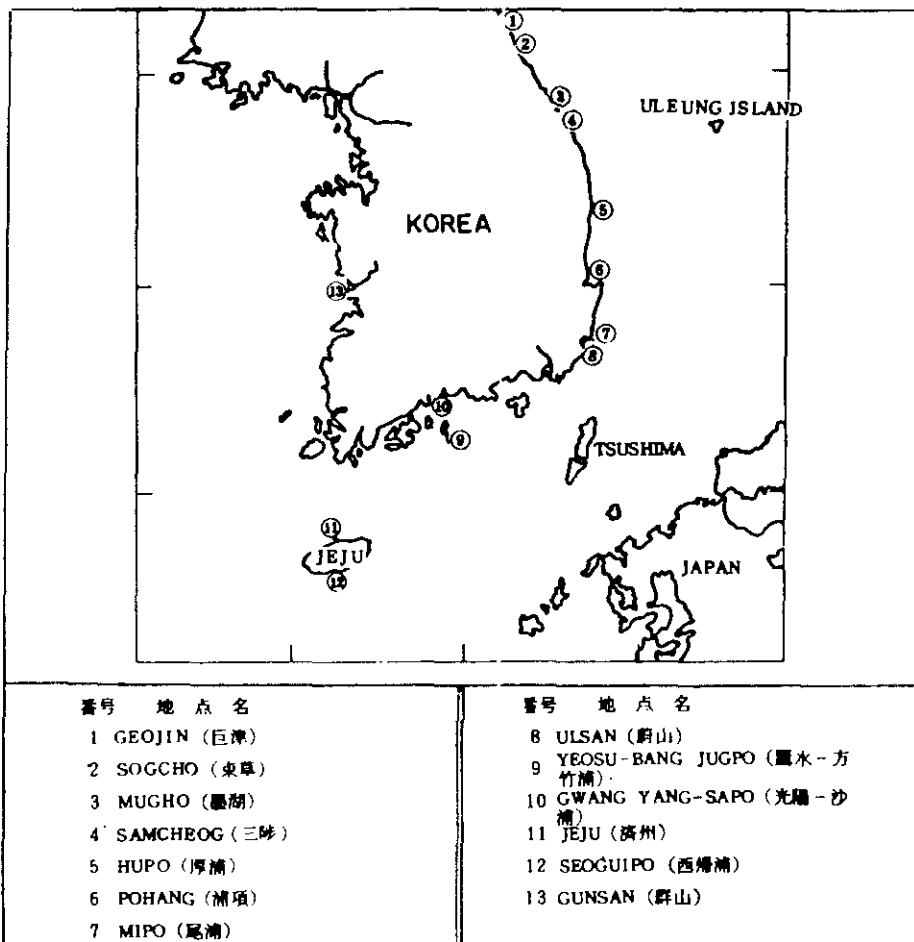
(1) 沿岸波浪의 調査

우리나라에서 沿岸波浪의 情報를 計器觀測에

의해 取得해 얻기 시작한 것은 1960年頃 以後부터이다. 現在까지, 海運港灣廳 주관하에 全國 13個所에 計器觀測施設이 설치되어 定常的 측은 이에 準한 관측이 계속되고 있다 < 그림-參照 >.

그간 波浪觀測의 方法도 여러가지가 提案되어 왔으며 이중 代表的인 것을 열거하면 < 表-2 > 와 같다.

< 그림-1 > 波浪觀測所 位置圖



〈表-2〉 現在 利用되고 있는 波浪測定法

A. 한 地點에서의 水面의 上下를 직접 測定하여 波形을 구하는 方法 測定桿式 波高計(階段抵抗型, 容量型) 超音波式 波高計 부이觀準型 波高計(스타디어스 波高計, 實體觀式 波高計) 電波 高度計式 波高計(航空機에 의한)
B. 한 地點에서의 水壓·變動을 測定하여 이로부터 波形을 換算하는 方法 水壓式 波高計(摺動抵抗型, 差動變壓型, 抵抗歪線型)
C. 한 地點에서의 波動流를 測定하여 이로부터 波向(혹은 波形)을 換算하는 方法 定置式 波向計(超音波 流速計型, 電磁流速計型, 抵抗歪線型)
D. 한 地點에서의 水面變動의 加速度 및 傾斜角을 測定하여 이로부터 波向 및 波形을 換算하는 方法 부이式 波高計(웨이브라이더부이, 핏치·롤부이, 그로버부이)
E. 一定海域의 海面擾亂分佈로부터 波向 혹은 擾亂의 스펙트럼을 구하는 方法 航空寫眞法(實體寫眞法) 海象觀測레이더法

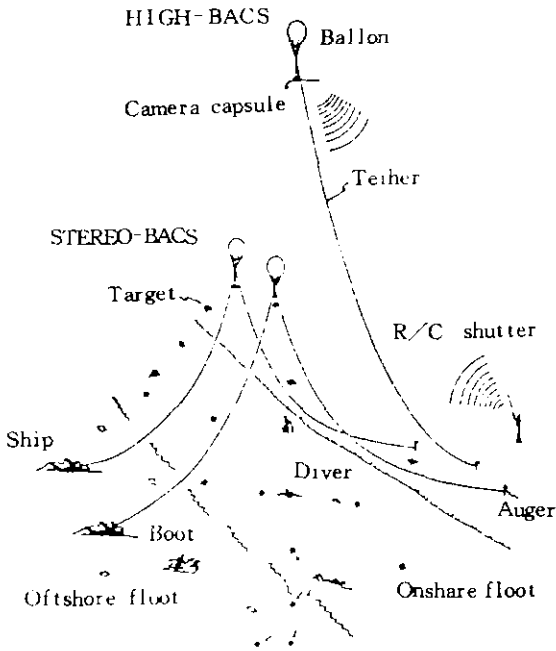
波浪情報의 利用領域 및 利用目的의 확대에 따라 波浪情報의 密度를 높혀 即時性을 갖추는 것이 近年에 들어서의 파랑조사의 큰 課題이다. 이를 위해 海運港灣廳의 既存 波浪觀測所의 증설과 함께 데이터 부이를 이용한 海上氣象과 東·西·南海岸의 32個 有人燈臺 委託觀測網等, 沿岸波浪觀測網의 整備을 피할 필요가 있다. 沿岸波浪觀測網에서 얻어진 방대한 量의 波浪데이터를 集積하여 工學的, 統計的 利用을 위한 解析과 提供을 행할 수 있는 (온라인·리얼타임 收集處理시스템)의 確立에 至大한 努力을 傾注하여야 할 것이다. 또한 沿岸波浪 數值豫報모델을 개발하여 數時로 豫報可能토록 하며 沿岸波浪特性圖의 整備, 波向觀測 및 津波(地震海益)等의 長周期波 觀測도 실시할 필요가 있다.

(2) 碎波帶內的 綜合觀測調査

海濱變形豫測手法의 精度向上과 碎波帶內的 汚

染擴散豫測手法等을 개발하기 위해 碎波帶內的 底質移動, 波浪 및 海濱流 등의 綜合的인 現地觀測을 실시하며 이 조사에 필요한 觀測機器 등의 기술개발도 추진한다. 〈그림-2〉는 氣球·카메라를 이용하여 碎波帶內的 종합적인 現地觀測 시스템을 나타낸 것으로, 氣球에는 모터드라이브 카메라가 搭載되어 地上으로부터 無線操作에 의하여 조작된다. 한편 潮流等의 測流方法에는 流速計에 의해서 한 地點에서의 流速流向을 계속적으로 測定하는 이른바 오일러(Euler)流의 測流法과 1개의 浮子의 流跡을 추적하는 라그랑지(Lagrange)流의 測定方法들이 있다. 現在 이용되고 있는 流速計에는 그 測流原理에 따라〈表-3〉과 같이 分類, 나타낼 수 있다. 近年에는 環境調査의 일환으로서 흐름의 관측이 많이 행해지고 있다. 이를 위해 단순히 흐름만을 측정하지 않고 水溫, 電氣傳導度, 水深等의 他 情報도 얻을 수 있는 센서가 同時에 搭載된 流速計가 널리 보급

<그림-2> 氣球을 이용한 흐름의 觀測시스템

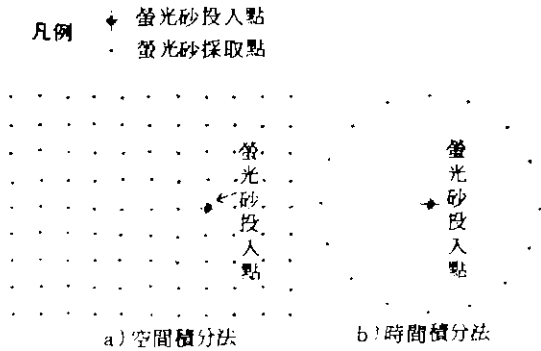


<表-3>

流向·流速計의 種類

A. 프로펠러의 回轉에 의해 測流하는 方法
에그만·메르즈型
直讀式 流向 流速計
電氣 流速計
自記流向 流速計(強流型)
B. 로터의 回轉에 의해 測流하는 方法
벤타입 流速計
안데라流速計
自記流向 流速計(弱流型)
C. 超音波의 도플러效果에 의해 測流하는 方法
超音波 流速計
超音波 亂流測定裝置
D. 磁界歪에 따른 起動에 의해 測流하는 方法
電磁誘導型 流速計
2成分 電磁流速計

<그림-3> 螢光砂를 이용한 漂砂量의 測定法



되고 있다.

또한 漂砂調査에 있어서는 漂砂量의 測定과 荒天時에의 海濱地形의 測量方法등의 개발이 從前부터의 큰 課題였다. 螢光砂를 이용한 漂砂量의 측정방법에는 두개의 技法이 있으며 그 하나가 「空間積分法」이라 불리지는 것으로 <그림-3> (a)와 같이 螢光砂의 平面分布의 砂層中에의 螢光

砂의 潛入깊이를 측정하여, 이에 의해 移動量을 구하는 方法이다. 다른 하나는 「時間積分法」이라 하여 <그림-3(b)>와 같이 投入點 周邊의 固定點에서 一定期間 간격으로 螢光砂가 없어질 때 까지 螢光砂量과 螢光砂의 潛入깊이를 측정하여 移動量을 구하는 方法이다.

그밖에 地形測量을 行할 目的으로 荒天時에 碎波帶內을 自走走行가능한 走行車의 개발이 美國, 日本等地에서 研究開發中이다.

(3) 潮汐의 調査

現在 水路局이 주관하여 水路管理 및 開發, 港灣建設을 위한 目的으로 沿岸海洋의 潮汐, 潮流, 平均海面에 대한 調査와 觀測業務을 수행하고 있으나 精度向上과 數個地點 觀測資料의 標準化를 위해서는 觀測船과 裝備들의 確保 및 代

참가 요구된다. 앞으로 既存 17箇所 檢潮所외에 13箇所의 檢조소를 증설운영 豫定이며 장차 이를 테레어터화하고 또 주요 港灣 檢潮所에 水質모니터를 설치하여 環境保全에 대한 資料提供도 期할 수 있도록 한다.

(4) 定線 및 定地觀測調査

(水溫, 鹽分, 海流, 浮遊生物等)

沿岸開發의 效率성을 提高시키고, 沿岸環境을 최대한으로 保全시키기 위해서는 海流, 水溫, 鹽分 등 海洋의 物理·化學的 調査와 浮遊生物等 海洋構造를 정밀히 파악할 필요가 있다.

現在 國立水產振興院에서 每年 21個地點에 대해 定期海洋觀測을, 每年 40個地點에 대해 沿岸 및 定地觀測을 실시하고 있으며 臨海工團 및 干拓地等 特殊海域에 대해서는 海流調査를 실시하고 있다. 앞으로도 定期的으로 定線海洋觀測과 沿岸 및 定地觀測을 통하여 基礎情報資料를 지속적으로 수집하고 분석하여 沿岸管理의 體系化를 도모해야 한다.

나. 海底地形·地質構造等の 調査

第3次유엔海洋法會議를 계기로 形成되기 시작한 新海洋法 秩序下에서는 領海幅이 12海浬로 확대되는 등, 200海浬 經濟水域과 새로히 定義된 大陸棚에 대해 沿岸國의 權限行사가 인정되게 되었다. 이같이 海洋을 둘러싼 새로운 情報에 적절히 對應해 가기 위해서는 무엇보다도 우리나라의 領海, 經濟水域 및 大陸棚 範圍의 명확화와 이들 海域의 개발, 이용에 필요한 基礎資料의 整備가 필요하다. 따라서 領海內는 물론 大陸棚의 周邊部에 이르는 海域에서의 海底地形·地質構造, 地磁氣 및 重力調査를 실시, 그 成果를 토대로 1/5萬의 「沿岸 基本圖」와 1/20萬의 「大陸棚 基本圖」等, 海底地形 基本

圖 작성을 위한 조사가 필요하다.

다. 海洋環境保全調査

해양환경보전을 위한 기초적 情報의 整備를 위해 內灣等 閉鎖性 水域에서의 汚染實態와 沿岸에서 外洋에 이르는 汚染레벨의 變動에 관한 調査, 內灣等地에서의 堆積汚泥의 實態 및 그 除去效果의 評價등에 관한 調査, 流出油의 漂流經路의 豫測시스템을 확립하기 위한 調査 등을 추진한다.

라. 海洋 測地調査

우리나라의 權限이 미치는 領域 및 經濟水域의 범위와 精確한 策定과 海上·海中에서의 測位精度的 向上을 꾀하기 위해 우리나라 全島嶼를 망라, 世界測地系와의 關係가 명확한 測地基準點網을 再確立한다.

3. 結 言

資源과 國土空間에 있어 혜택을 받지 못한 우리나라가 앞으로 풍요스러운 經濟社會로 發展해 가기 위해서는, 특히 沿岸海域에 대해 國土의 一部로서 空間利用을 시도할 필요가 있으며 이를 위한 海洋土木技術의 새로운 研究開發의 進展이 강력히 요구되고 있다. 따라서 이들 연구개발의 基礎情報로 되는 海洋調査의 보다 적극적인 추진이 필요하게 되었다.

이같은 要請에 적절히 對應해 가기 위해서는 國家 關係機關의 보다 가일층 노력과 함께 民間의 活力에 기대하는 바가 크며 官·民 共同에 의한 調査의 推進 및 각종 海洋調査데이터의 蒐集, 整理, 保管과 提供體制的 보다 바람직한 內의 充實을 期함이 중요하다.

朝鮮累層群 상부 캄브리아系 花折層에 挾在된 Carbonate Flat Pebble Conglomerate의 成因

朴 炳 權* · 韓 相 俊**

Origin of Carbonate Flat Pebble Conglomerate of the Upper Cambrian
Hwajöl Formation, Chosön Supergroup, Korea

Byong-Kwon Park, Sarg-Joon Han

Abstract: The carbonate flat pebble conglomerates (CFPC) are interbedded as lenticular bed in the greenish rhythmite of the upper part of Hwajöl Formation, Josön Supergroup. Pebbles are composed mainly of lime-mudstone with small amounts of bioclasts and silt-sized subangular quartz grains. The matrix among pebbles is composed mainly of sparry calcite with relatively much amounts of bioclasts, silt-sized subangular quartz grains and authigenic pyrite crystals or grains. The sparry calcite of the matrix seems to be the results of reomorphism of skeletal sands and bioclasts. The pebbles are well rounded and no plastic deformations are found. Some pebbles show the outer rim of glauconite. CFPC are not associated with any other intertidal features such as stromatolites, flaser bedding and channel structures. Also any features indicative of subaerial exposure such as dessication cracks, fenestrae and so on are not found in the bed.

The sedimentological features of CFPC suggest that the following conditions appear to have been necessary for the formation of CFPC: 1) episodic deposition of thin, permeable calcareous beds separated argillaceous beds; 2) preservation of these beds near the sediment-water interface where they could become rapidly cemented; 3) erosion and redeposition of the partially lithified beds by storms or other exceptional erosional events. Eventually storm erosion and redeposition together represent only one of several critical conditions in the genesis of CFPC.

The CFPC are very common in Cambrian and lower Ordovician formations, and become very rare in the younger carbonate formations. The expansion of infauna after Ordovician Period eliminated the widespread potential for rapid submarine cementation which is one of the critical factors to form CFPC.

序 言

朝鮮累層群은 주로 강원도 삼척, 영월, 정선 등의 태백산지역에 비교적 넓게 분포되어 있으며, 일부는 충청북도 단양과 경상북도 문경지역에 분포되어 있다. 이 층군은 또한 岩相, 層序 및 化石群의 차이에 따라 두위봉형, 영월형, 정선형, 평창형 및 문경형으로 구

분된다. 본 연구는 그 중 두위봉형의 花折層 상부에 협저되어 있는 carbonate flat pebble conglomerate의 퇴적학적 특징과 이에 따른 성인을 구명하는 데에 그 목적을 두었다.

Carbonate flat pebble conglomerate는 고생대 초기 지층대에 많이 협저되어 있으며 북미대륙(Rodgers, 1966; Lochman-Balk, 1971)과 중국북부 및 한반도(Kobayashi, 1956, 1966)에서 보고된 바 있으며, 특이한 현상은 오도비스紀 이후의 지층에서는 산출빈도가

* 陸軍士官學校 環境學科

** 韓國科學技術院 海洋研究所 海洋地質研究室

급격히 지하되고 있다는 사실이다.

우리나라의 조선누층군의 연구는 Kobayashi(1930)의 연구 이래 층서, 고생물에 관한 연구(Cheong, 1969 Lee, 1970, 1980)가 비교적 활발히 연구되어 왔으나 퇴적학적 연구(鄭, 1964; Kim and Park, 1981; 朴, 1985)는 단편적으로 진행중에 있다.

研究方法 및 材料

본 연구를 위한 야외조사는 노두가 비교적 잘 발달되어 정상적인 層序를 파악할 수 있고 신근이 용이한 銅店지역에서 야외조사가 이루어졌으며 蓮花嶺葉所에서 보관중인 두 지점의 시추자료를 이용하였다.(그림 1).

노두 및 시추코어층에서 carbonate flat pebble conglomerate(CFPC)를 선별하여 응회암과 수직방향으로 절단, 연마입면을 만들어 퇴적학적 특성을 관찰하였으며 남은 코어에서 박편을 만들어 탄산염질 역들 사이의 충진물질의 구성성분과 조직(texture)을 현미경하에서 관찰, 연구하였다. 또한 일부는 走査電子顯微鏡을 이용하여 구성성분을 관찰하고 구성원소의 분정량분석을 실시하였다. 이 때 앞편과 박편은 필요에 따라 Alizarine red-S용액으로 착색시켜 사용하였다.

花折層의 CFPC

화절층은 Kobayashi(1930)가 구분했던 細松세일층과 그 상부의 화절층까지를 합한 지층을 뜻한다. Kobayashi(1930)는 삼척지역 조선누층군중 봉은석회암위에 놓인 40m 두께에 달하는 암회석 세일과 석회암의 호층

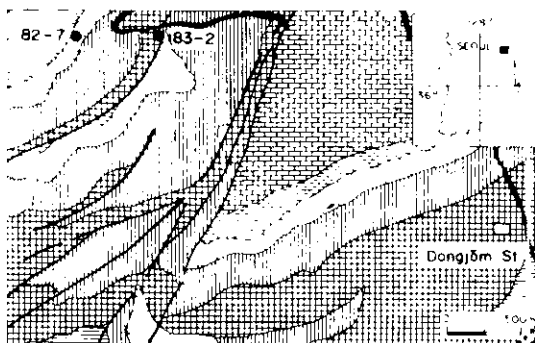


그림 1 조사지역 주변의 지질 및 시추공 위치도.

내는 변모로 세공세일층으로 명명하여 세분한 바 있으나 그 이후 다른 지역에서는 이 층의 구분이 명확하지 않아 내백진지구 지질도(1962) 완성이후에는 화절층에 통합하여 서술되고 있다(그림 1).

화절층은 응회면에 요철이 심하게 발달되어 일명 蝕蝕石灰岩(鄭, 1964; 孫과 鄭 1965)이라 불리어진다. 그러나 본 연구에 따르면 화절층 상부는 탄산염성분의 암층이 泥灰岩성분과 규칙적으로 층리에 평행하게 형제되어 있는 rhythmite로 구성되어 있으며 Kobayashi가 구분하였던 하부의 세공세일층은 turbidite, 角礫岩 및 박층의 泥岩層 등으로 이루어진 submarine fan deposits로 해석되는 암상들로 구성되어 있다(그림 2).

동점지역의 조선누층군중에는 여러종류의 탄산염 역암들이 형제되어 있다. 礫의 형태로 보아서는 rounded pebble conglomerate와 flat pebble conglomerate로 나눌 수 있으며, 구성 성분으로는 calcitic dolomite conglomerate 및 dolomitic carbonate conglomerate와 白雲石(dolomite)을 전혀 함유하지 않은 carbonate conglomerate로 구분할 수 있다. 白雲石질 성분을 갖는 역암들은 주로 막동석회암층과 두부동층에 국한되어 있다(白, 1982).

화절층에는 약간의 rounded pebble conglomerate가 최상부에 형제되어 있기는 하나, 주로 flat pebble conglomerate가 화절층 상부의 rhythmite내에 렌즈상의 암층으로 형제되어 있다. 암층의 두께는 약 10~50

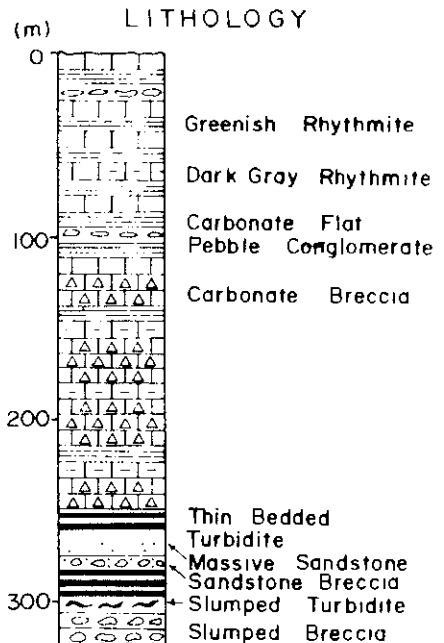


그림 2 본 연구지역 화절층의 지질주상도.

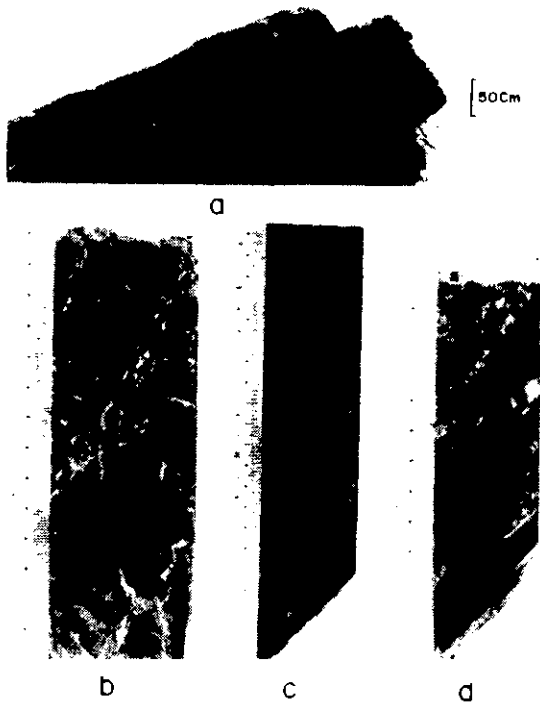


그림 3 a: 화절층의 노두, 사진의 노두에서는 CFPC가 보이지 않는다. b, c, d: 시추코아 화절층내의 CFPC. 잘 원마된 이리크기의 礫들 중에는 상부로 세립화하는 점이적 구조(c)와 礫외각부가 백색으로 변색된 것(d)도 관찰된다.

cm에 달하며 층리와 대체로 평행하게 놓여 있다. 이들 층의 연장은 수십m까지의 연속이 확인되었으나 그 최대연장이 어느 정도인지는 현재로서는 알 수가 없다. 탄산염암역들은 한 축이 긴 타원형으로서 장축의 길이는 차이가 심하나 모서리들은 모두 well rounded되어 圓磨度가 높다. 장경은 최대가 10cm에 달하고 단경은 평균 1.5~2.5cm이고 최소가 4mm정도이다. 역암층내에는 또한 크기가 작은 角礫들이 가깝게 함유된 경우가 있다(그림 4a).

특정적인 사실은 이들 intraclasts들이 塑性變形(plastic deformation)을 받은 흔적이 전혀 없다는 것이며, 이는 이들 역이 퇴적당시에 부분적으로만 固結된 lime-mud lumps상태가 아니고, 완전히 고결된 상태에서 퇴적되었음을 의미한다. 아주 드물기는 하지만 carbonate flat pebble conglomerate들은 상부층으로 점이적인 퇴적구조를 나타내 siltstone이나 탄산염암으로 변해 가기도 한다(그림 3c). 탄산염역들중에는 내부는 암회색을 띠지만 외각 표면부가 적색으로, 그리고 최외각 인접내

부는 백색으로 변색된 것도 있다(그림 3d). 이와 같은 사실은 이들 역이 재퇴적되기 이전에 상당한 기간동안 하수중에 노출되어 있었음을 강력히 시사한다. 이들은 아마도 intraclasts들이 해수와 장기간 접촉하면서 생성된 海綠石(그림 5b)에 의해 외각부가 변색된 것으로 생각된다.

현미경하의 관찰에 의하면 탄산염 역들은 주로 lime-mudstone으로 구성되어 있으며, 표층에 따라서는 pelletal 구조를 보여 주는 입자들이 소량 함유된 것도 있다(그림 4b). Bioclasts들은 삼엽충(trilobite), 해백류류(crinoid) 및 완족류(brachiopod)로 구성되어 있으며 매우 적은 양이 함유되어 있어 어떤 역에서는 발견되지 않는다(그림 4c). 또한 lime-mudstone의 일부가 再結晶作用을 받아 0.1~0.2mm 정도의 pseudospark로 변형된 곳도 있으며, 소량의 黃鐵石이 함유되어 있거나 silt크기의 angular한 石英粒자들이 함유된 것도 관찰된다(그림 4d). 礫내부에는 方解石의 細脈들이 발견되기도 하며, 소규모의 微斷層도 볼 수 있으나 이로부터 주위 입자들이 압축되어 이그리진 상태는 볼 수 없다(그림 4e).

탄산염 역들사이에 충전된 基質(matrix)은 내부분이 현재는 sparry calcite로 변형되어 있으며, 그 중에는 bioclasts의 함량이 역내부에 함유된 bioclasts 량보다 상대적으로 많이 들어 있다(그림 4, 5). 역사이에 있는 bioclasts들은 역을 함유한 적은 평탄한 층내의 것 외에 파쇄된 것이 많으며 일부 bioclasts에는 intra-skeletal voids내에 점토질 성분이 충전된 것도 볼 수 있다. Bioclasts의 일부는 積成作用에 의해 玉髓(chalcedony)로 변질되어 있다. 基質내에는 silt크기의 subangular한 석영입자들이 비교적 많이 분산, 함유되어 있으며 황철석 입자들도 역내부보다는 훨씬 많다(그림 5c, d). 기질의 구성물질은 내부분이 sparry calcite이지만 이들의 원래기원은 아마도 skeletal sand와 그 사이에 충전된 탄산염 물질의 두 형태로 서로 달랐을 것이나 퇴적후 일어난 속성작용에 의해 재결정되어 형성된 것으로 보이며 현상에서는 이들의 구분이 어렵다. 그러나 기질내에 自生의 黃鐵石결정이 많이 함유된 사실은 탄산염질 성분이 용해된 후 재침전될 수 있는 환경이 조성되어 있었음을 암시한다(박, 1985).

走査電子顯微鏡을 이용하여 礫의 lime mudstone성분을 3,000배로 확대하여 관찰해 보면 方解石은 結晶狀態를 잘 보여준다(그림 6). 또한 礫과 기질의 화학성분을 반경량적으로 분석한 결과에 의하면 基質에는 礫에 비해 Ca의 量이 많이 함유되어 있으며, Al과 K 성분은 基質에는 거의 없고 礫에서만 소량 함유된 것

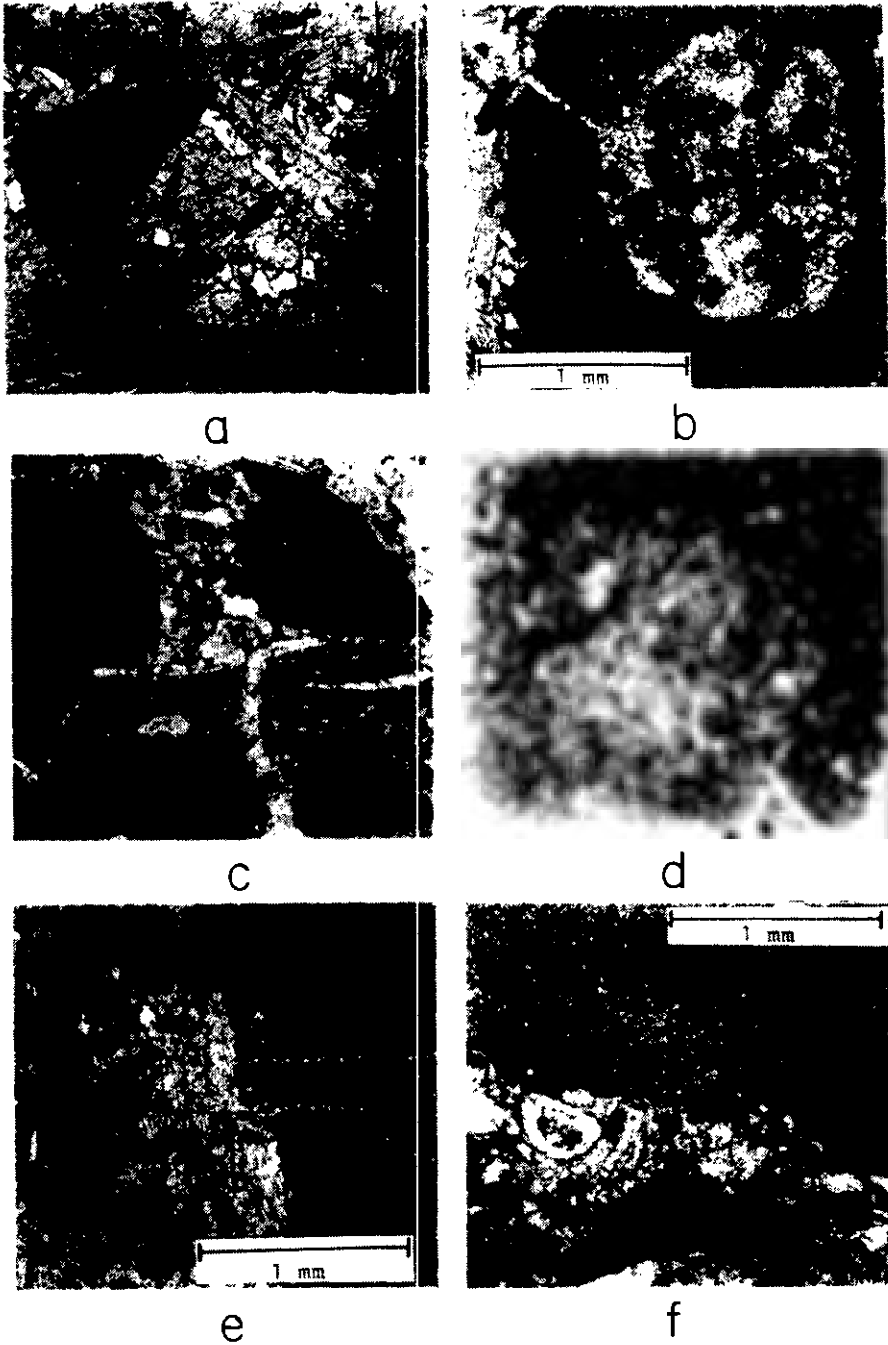


그림 4 a; 역암층내에 함유된 작은 角礫 (subangular micritic granule).

b; 礫 내에 발달된 pelletoidal 구조.

c; 礫과 基質. 잘 인마된 micritic 礫중에는 bioclasts가 거의 없는 반면에, 基質은 심염층, 원족류의 bioclasts와 黃鐵石을 많이 수반한 sparry calcite로 이루어졌다. 礫이 깨어져 angular한 면을 갖는 것도 있다.

d; 礫 중에 함유된 미세한 燐矽石 및 석영입자.

e; 礫내에 발달된 方解石細脈과 微細斷層. sparry calcite 석기내에는 bioclasts와 작은 역들도 함유되어 있다
f; 礫과 基質의 경계. 기질은 대부분이 sparry calcite 이고 해백한 bioclasts도 보인다.

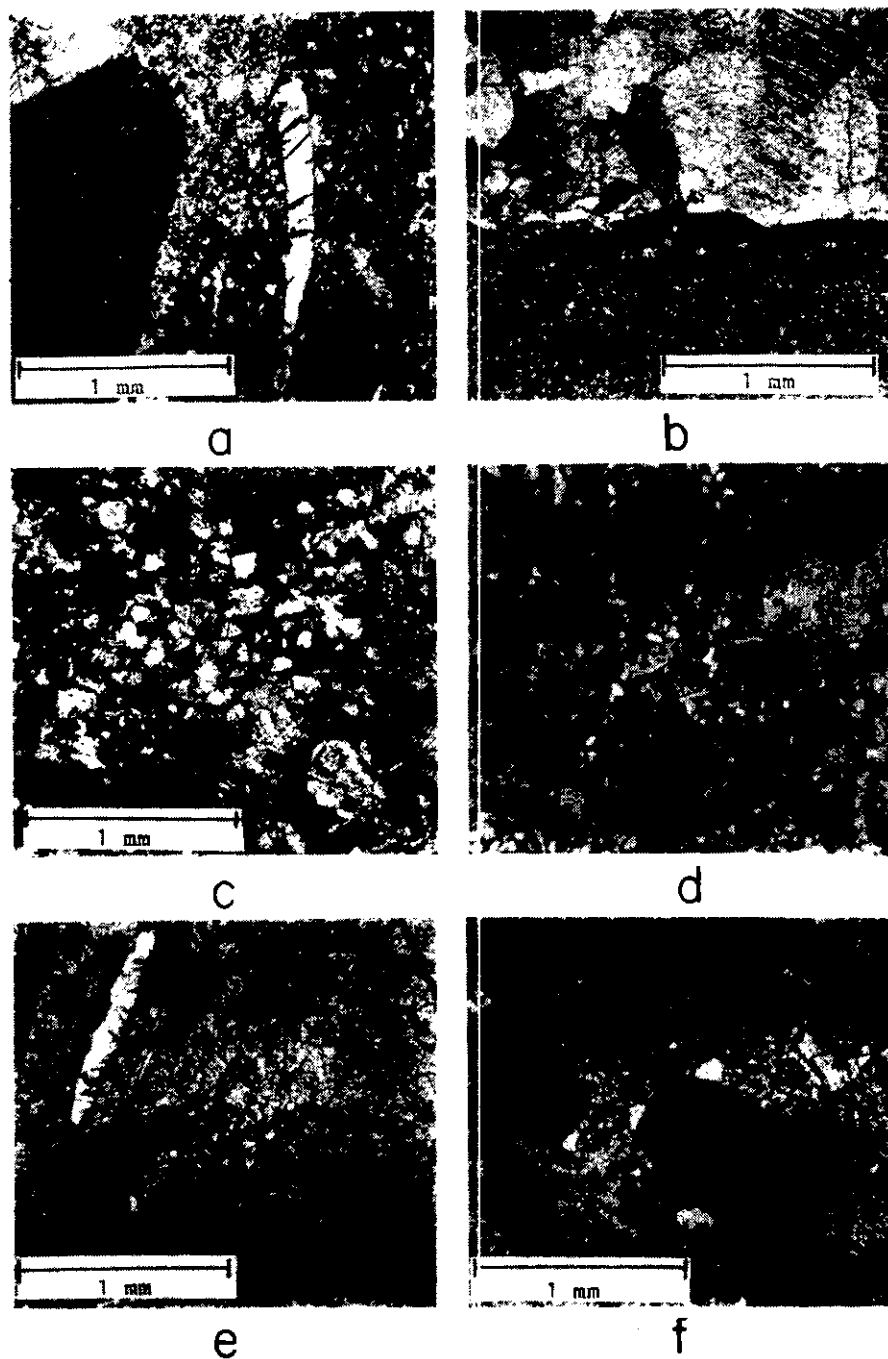


그림 5 a; 역과 기질. 기질중에는 삼엽충 등의 bioclasts와 황철석 입자가 보인다.
 b; 역과 기질의 경계에 형성된 海綠石 rim.
 c, d; sparry calcite 석기내에 많이 함유된 subangular한 silt 크기의 석영입자와 황철석 결정.
 e; stylolite 및 sparry calcite 기질내에 함유된 삼엽충 bioclasts.
 f; sparry calcite기질내에 함유된 작은 micritic의 입자와 微細斷層.

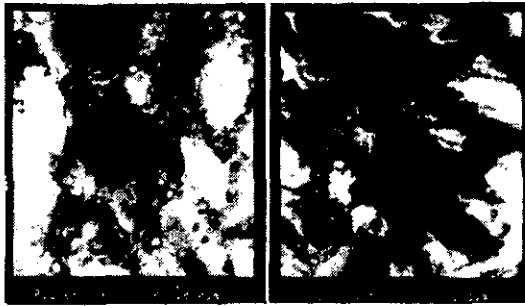


그림 6 方解石의 주사전자현미경 사진 ($\times 3,600$).

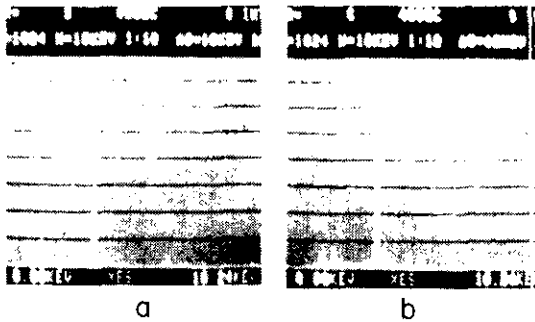


그림 7 주사전자현미경에 의한 퇴적성분의 반정량 분석 (a; 礫, b; 基質)

이 특성의 차이이다(그림 7).

討 議

화결층 rhythmite내에 함재되어 있는 carbonate flake pebble conglomerate들은 탄산염암층내에서도 특징적인 암상이다. 이 암상은 전 지질시대를 통하여 캄브리아 오도비스紀에 한해서만 빈번한 산출을 보이며 그 이후에는 급격히 감소한다. 또한 지역적으로도 우리나라를 위시하여 중국북부와 북미대륙에서만 보고되고 있다(Lochman-Balk, 1971; Kobayashi, 1966; Sepkoski 1977).

본 암상의 성인에 대해서는 여러 학설이 있으나 지금까지는 일반적으로 潮間帶지역에서 형성된 암상으로 해석되어 왔다(Lochman-Balk, 1970). 또한 본 암상이 diagenetic terrain이나 supratidal 지역에서 탄산염성분이 膠結된 후 해수면의 후퇴에 따라 표면에 乾裂構造(deccication)가 형성되고 그 후 大潮期(spring tide)나 폭풍(storm)에 의해 침식, 운반된 것으로 해석되기도 한다(Roehl, 1967). 그러나 이러한 학설들은 캄브리아 오도비스紀에서만 특히 많이 산출되는 본암상의 성인을 밝히기에는 아래와 같은 이유에서 불충분한 것으로

생각된다.

첫째, supratidal지역에서 형성되는 각력들은 일반적으로 크기가 작고 원마도가 매우 낮고 모가 난 형태를 가지며 백운석질 광물이 함유되어 있는 것이 일반적인 현상이다. 그러나 본 연구지역에서 발견되는 암상들은 각력들의 크기가 보통 수cm에 이르며, 원마도가 매우 높다. 또한 이 암상이 형성될 때 대기에 노출된 기간이 있었다면 암층내에 건열구조나 bird's-eye구조가 발달되어 있어야 하나 본 조사지역에서는 발견되지 않는다.

둘째, 潮間帶지역에서 형성된 석회암내에는 stromatolite 구조나 flaser bedding이 발달되는 것이 보통이며, 또한 갯골(tidal channel)에서 형성되었다면 礫들에 鱗片構造(imbricated structure)가 발달되는 것이 일반적인데 본 연구지역에서는 이들 구조가 잘 보이지 않는다.

셋째, 본 암상이 함재되어 있는 화결층 상부의 rhythmite는 담색인데 반해 본 암상은 안회색 내지 난회색이며 엽들중에는 유백색을 띠는 것도 있어 암상의 차이가 있으며, 礫의 基質의 화학성분에서도 차이가 보인다.

이상의 사실로 보아 본 암상은 조간대지역에서 형성되며 대기에 노출되어 건열이 형성된 후 다시 퇴적되었다기 보다는 礫을 형성한 탄산염성분들이 일차적으로 해저에 퇴적된 후 海底膠結作用(submarine cementation)을 받아 固結된 이후에 침식작용을 받아 角礫이 形成되고, 이들 角礫이 다시 운반되는 과정에서 원마도가 대단히 높은 礫으로 되면서 이차적으로 再堆積되었다고 해석된다. 이러한 海底膠結作用是 현재에도 페르시아만이나 바하마群島 platform의 탄산염질 퇴적물에서 일어나고 있다. Bathurst(1975)의 연구에 의하면 해저교결작용에 의하여 hardgrounds가 형성되기 위해서는, 첫째로 공극율과 투수율이 큰 탄산염의 grainstone과 같은 퇴적물이 해저지층(substrate)을 형성하여야 하고, 둘째로 퇴적물이 낮은 해저퇴적물이 이동이 없는 데다가 底棲生物에 의한 영향을 받지 않는 퇴적 환경하에서, 셋째로 CaCO₃성분이 과포화된 해수가 충분히 공급되는 조건을 갖추어야만 한다. 그 중에서도 가장 중요한 조건은 이러한 퇴적물이 海底流(bottom current)나 저서생물에 의한 攪亂作用을 받지 말아야 한다는 점이다. 왜냐하면 퇴적물이 강한 海底流나 底棲生物에 의해 再動(reworking)되거나 교란을 받으면 海底膠結作用이 일어날 수 없기 때문이다.

Sepkoski(1979, 1982)에 의하면 캄브리아紀의 대륙붕에는 서식했던 저서동물의 수가 다른 지질시내에 비

해 될 것 같고 개체의 크기도 작았다. 따라서 당시에는 저서동물에 의한 교란작용이 중심이 매우 얕은 천해내에서만 국한되어 일어났고, 이 또한 해저면으로부터 최대 5mm 이상의 깊이로 넘지 못했다고 한다. 이러한 해저표면의 교란작용은 퇴적물 상부에 酸化帶를 형성시켜 bicarbonate $Ca(OH)_2$ 의 생성을 활발하게 함으로써 결과적으로 오히려 해저교결작용을 촉진시켰다. 그러나 오도비스紀 중기에 이르러서는 저서동물의 수가 급격히 증가되어 교란작용이 심해졌고, 따라서 carbonate flat pebble conglomerate는 캄브리아紀로부터 오도비스紀 초기까지의 약 1억년 동안에만 많이 형성되었던 것으로 해석된다.

이상의 사실을 요약하면 carbonate flat pebble conglomerate의 형성조건은 첫째, 두수율이 큰 탄산염질 퇴적물이 얇은 층으로 퇴적되면서 이질퇴적물과는 분리된 상태거나 혹은 얇게 피복된 상태이어야 하며 둘째, 해저교결작용이 빨리 일어날 수 있도록 탄산염 퇴적물층이 해수 근처에 있어야 하며 셋째, 퇴적물이 부분적으로는 완전히 고결된 상태에서 특별히 큰 파랑이나 폭풍우 등의 강한 침식작용에 의해 침식, 운반되어 재퇴적되어야 한다. 따라서 본 연구지역의 carbonate flat pebble conglomerate는 해수가 비교적 약한 subtidal zone이나 wave base 근처에서 탄산염질 퇴적물이 해저교결작용에 의해 어느정도 고화된 후 간헐적인 강한 폭풍우나 해일 등에 의해 침식, 운반되어 storm-wave base이하의 좀 더 깊은 퇴적분지에 재퇴적된 압층으로 해석되며, 基質내에 함유된 파쇄된 bioclasts들이 강한 水動力에 의해 운반, 퇴적되었음을 간접적으로 뒷받침한다.

結 論

朝鮮炭層群 花折層 상부의 탄록색 rhythmite내에 편소성으로 형성되어 있는 carbonate flat pebble conglomerate와 같은 岩相이 형성되기 위해서는 아래의 같은 퇴적조건이 요구된다.

첫째, 두수율이 큰 탄산염질 퇴적물이 비교적 얇은 층으로 퇴적되면서 泥質퇴적물과는 분리된 상태거나 혹은 얇게 피복된 상태이어야 한다. 둘째, 해저교결작용이 일어날 수 있도록 탄산염질 퇴적물층이 해수 가까이 위치하여야 한다. 셋째, 퇴적물이 부분적으로는 완전 고결된 상태에서 강한 폭풍우나 海溢 등 特異高潮時의 강한 침식작용에 의해 침식 운반되어 再堆積되어야 한다.

따라서 화질층에 접해된 carbonate flat pebble conglomerate는 海流가 비교적 약한 subtidal zone이나 wave

base 근처에서 탄산염질 퇴적물이 海底膠結作用에 의해 밀착적으로 고결된 후, 강한 폭풍우, 海溢 등에 의해 침식, 운반되어 이차적으로 storm wave base이하의 퇴적분지에 재퇴적된 압층으로 해석된다.

謝 辭

이 연구를 위하여 시추표본 제공과 함께 야외조사시 많은 도움을 주신 언화광업소 조사실 여러분들께 깊은 감사를 드리며, 아울러 실험을 도와 주신 인하대학교 대학원 윤호일 군, 논문을 읽고 좋은 의견 주신 해양연구소 석봉출 선임연구원 및 제도를 해주신 권수재 사에게도 고마움을 표한다.

參 考 文 獻

백인성(1982) 한국의 강원도 장성지역에 분포하는 대서회암동에 대한 퇴적입석학적 연구. 석사논문, 서울대학교, 57p.

Bathurst, R.G.C. (1975) Carbonate Sediments and Their Diagenesis. 2nd ed., Elsevier, Amsterdam, 658p.

Cheong, C.H. (1969) Stratigraphy and paleontology of the Samcheog Coalfield, Gangweondo, Korea(1). Jour. Geol. Soc. Korea, v. 5. No. 1, p. 13-56.

정창희(1964) 강원도 동점의 소위 총식회암에 대하여. 대한지질학회지, 1권, 1호, p. 24-34.

Kim, J.Y. and Park, Y.A. (1982) Sedimentological study on the Pungchon and the Hawjöl Formations, Gangweondo, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, v.17, p. 225-240.

Kobayashi, T. (1930) Cambrian and Ordovician faunas of South Korea and the bearing of the Tsiling-Keijo line on Ordovician Paleogeography. Proc. Imp. Acad. v. 6.

Kobayashi, T. (1956) The Cambrian of Korea and its relation to the other Cambrian territories. In: Rodgers, J. (ed.) El Sistema Cambrico. 20th Int. Geol. Cong., Mexico, p. 343-352.

Kobayashi, T. (1966) The Cambro-Ordovician formations and faunas of South Korea. Part X. Stratigraphy of the Chosen Group of North Korea and Northeast China. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II. v. 16, p. 209-311.

Lee, H.Y. (1970) Conodonten aus der Chosen Gruppe (unteres Ordovizium) von Korea. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., v. 136, p. 303-344.

- Lee, H.Y. (1980) Lower Paleozoic Conodonts in South Korea. *Geology and Paleontology of Southeast Asia*, v. 21, p.1-9.
- Lochman-Balk, C. (1970) Upper Cambrian faunal patterns on the craton. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v. 81, p.3197-3224.
- Lochman-Balk, C. (1971) The Cambrian of the craton of the United States. *In: Holland, C.H. (ed.) Cambrian of the New World*, Wiley-Interscience, New York, p. 79-168.
- 박명권(1985). 조선누층군 상부 캄브리아계 하절층 rhythmite의 성인. *대한지질학회지*, 21권(인쇄-중).
- Rodgers, J. (1956) The known Cambrian deposits of the southern and central Appalachian Mountains. *In: Rodgers, J. (ed.) El Sistema Cambrico*, 20th Int. Geol. Cong., Mexico, p.353-384.
- Roehl, P.W. (1967) Stony Mountain (Ordovician) and Interlake (Silurian) facies analogs of Recent low-energy marine and subaerial carbonates, Bahamas. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, v. 51, p.1979-2032.
- Sepkoski, J.J., Jr. (1977) Dresbachian (Upper Cambrian) stratigraphy in Montana, Wyoming and South Dakota. Unpub. Ph.D. Dissert., Harvard Univ. Cambridge, Mass.
- Sepkoski, J.J., Jr. (1979) A kinematic model of Phanerozoic taxonomic diversity. II. Early Phanerozoic families and multiple equilibria. *Paleobiology*, v. 5, p.222-251.
- Sepkoski, J.J., Jr. (1982) Flat pebble conglomerate, storm deposits, and the Cambrian bottom fauna. *In: Einsele, G. and Seilacher, A., eds. Cyclic and Event Stratification*, Springer-Verlag, Berlin, p.371-385.
- 손치무, 정창희(1965). 태백산 지구의 퇴적환경과 지질구조. *서울대학교 논문집, 이공계*, v. 15, p.1-27.

한국산 비늘갯지렁이류의 분류

I. 참비늘갯지렁이 아과

제 증 길 · 이 재 학 · *노 용 태
(한국과학기술원 해양연구소 생물실, *건국대학교 생물학과)

Taxonomic Study on Polynoid Polychaetes in Korea

I. Subfamily Harmothoinae

Jae, Jong-Geel, Lee, Jae-Hac and *Noh, Yong-Tai
(Korea Ocean Research and Development Institute, KAIST,
P.O. Box 17, Yenog Dong, Seoul, 135 Republic of Korea,

*Department of Biology, Kon-Kuk University, Seoul, 133 Republic of Korea)

ABSTRACT

Some scale worms collected in Korean coastal waters from 1981 to 1984 were identified with 7 species belonging to subfamily Harmothoinae. Among them, 4 species (*Gattyana deludens*, *Eunoe senta*, *Harmothoe hirsuta*, *Lagisca waahli*) are new to Korea.

Therefore, all of the harmothoid species in Korea are 11 species representing 6 genera. Classificatory key is made on the morphological characters of harmothoids and their ecological distributions and remarks are shown.

Key words, Polynoid Polychaetes, Harmothoinae, Korea.

서 론

비늘갯지렁이과(Polynoidae)는 갯지렁이류 가운데 매우 큰 과(科)로 전 세계에 약 120속 600여종이 보고되어 있다. 몸의 등쪽에 비늘을 가지고 대부분 사유생활을 하는 저서성 동물이나, 이중 공생하는 종도 다수 있으며, 식성은 육식성이다.

한국에서의 저서성 갯지렁이류의 분류학적 연구는 1972년 이후부터 여러 학자에 의해 행해졌으나 분류군별의 연구는 그리 많지 않았으며 단지 참갯지렁이과(Nereidae), 황해백금갯지렁이과(Nephtyidae), 그리고 황해머갈갯지렁이과(Glyceridae)의 연구가 있을 뿐이다(Paik, 1977; Lee & Jae, 1983; Lee, 1984).

한국산 비늘갯지렁이류는 지금까지 모두 9속 16종에 대하여 기록되어져 있으나 본 논문에서는 비늘갯지렁이 중 참비늘갯지렁이 아과(Harmothoinae)에 속하는 6속 11종의 분류학적인

특징과 분포, 시식처 등을 조사 기재하고 이들에 대한 검색표를 작성하였다.

비늘갯지렁이과는 학자에 따라 차이가 있으나 12 아과(亞科)가 보고 되어져 있고, Harmothoinae, Lepidonotinae, Iphioninae, Macellicephalinae 등 4 아과가 잘 알려져 있으며, 이중 참비늘갯지렁이 아과는 320 어종을 포함하는 가장 큰 아과이다. Horst(1917)는 머리의 형태에 따라 비늘갯지렁이류를 Lepidonotidae 와 Harmothoidae 로 나누었고 이후 Seidler(1923)는 아과 Iphioninae 와 함께 이들을 최초로 Lepidonotinae, Harmothoinae 로 명명하였다. 또 Pettibone(1976)은 참비늘갯지렁이 아과에 대한 정의를 일부 수정하였고, Loshamn(1981)과 Muir(1982) 등은 이 아과를 Polynoidea 로 사용하고 있으나 본 논문에서는 Pettibone 의 정의에 따라 Harmothoinae 로 기술하였다.

본 연구를 하는 동안 Polynoidea 의 종(種) 동정에 많은 도움을 주신 Smithsonian 의 Marian H. Pettibone 박사, 귀중한 문헌을 보내주신 효성여대 백의안 교수님 그리고 본 논문이 완성되기까지 격려를 아끼지 않으신 해양연구소 허영택 소장님께 감사드립니다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 1981년부터 1984년 사이에 채집되어 해양연구소(KORDI)에 보관되어 있는 표본과 저자들이 직접 채집한 표본으로 모두 500 여개체를 대상으로 하였다. 본 재료에는 없으나 국내에 보고되었던 종은 다른 연구자의 문헌기재를 토대로 인용하였다.

이들의 표본들은 조각대의 경우, 핀셋, 망치 등을 사용하고, 조해대 경성지질에 서식하는 것들은 SCUBA 를 이용한 잠수, 그리고 연성지질의 것들은 드레지(dredge), 채네기(grab), 트롤망(trawl net) 등에 의해 채집되었다.

재료는 10% MgCl₂ 해수용액에서 서서히 마취시킨 후, 10% 중성 포르말린(formalin)용액에 고정, 액침 보존하였다.

종의 목록

- | | |
|--|----------------|
| Family Polynoidea Malmgren, 1867 | 비늘갯지렁이 과 |
| Subfamily Harmothoinae Horst, 1917 | 참비늘갯지렁이 아과(신칭) |
| Genus <i>Polynoella</i> McIntosh, 1885 | 작은비늘갯지렁이 속 |
| * <i>Polyoella levisetosa</i> McIntosh, 1885 | 작은비늘갯지렁이 |
| Genus <i>Gattyana</i> McIntosh, 1897 | 갑옷비늘갯지렁이 속(신칭) |
| <i>Gattyana deludens</i> Fauvel, 1932 | 황금갑옷비늘갯지렁이 |
| Genus <i>Eunoe</i> Malmgren, 1865 | 수염비늘갯지렁이 속 |
| <i>Eunoe oerstedii</i> (Malmgren, 1865) | 톱니수염비늘갯지렁이 |
| <i>Eunoe senta</i> (Moore, 1902) | 가시수염비늘갯지렁이(신칭) |
| * <i>Eunoe yedoensis</i> McIntosh, 1885 | 민수염비늘갯지렁이 |
| Genus <i>Harmothoe</i> Kinberg, 1855 | 눈비늘갯지렁이 속 |
| <i>Harmothoe imbricata</i> (Linnaeus, 1767) | 옆눈비늘갯지렁이 |
| <i>Harmothoe forcipata</i> (Marenzeller, 1902) | 찍눈비늘갯지렁이 |
| <i>Harmothoe hirsuta</i> Johnson, 1897 | 털눈비늘갯지렁이(신칭) |
| Genus <i>Lagisca</i> Malmgren, 1867 | 꼬리비늘갯지렁이 속 |

Lagisca waahli (Kinberg, 1855) 열대꼬리비늘갯지렁이(신칭)

Genus *Paradyte* Pettibone, 1969 주머나리비늘갯지렁이 속(신칭)

* *Paradyte crinoidicola* (Potts, 1910) 나리주머나리비늘갯지렁이(신칭)

* *Paradyte levis* (Marenzeller, 1902) 벼슬주머나리비늘갯지렁이

* 본 재료에는 없었으나 다른 연구자들에 의해 보고된 종들임.

종의 검색 및 기재

Subfamily Harmothoinae Horst, 1917 참비늘갯지렁이 아과(신칭)

몸은 짧거나 길게 늘어난 모양을 하고 대개 납작하다. 세개의 더듬이(antenna)와 한 쌍의 버금더듬이(palp)를 갖는다. 옆더듬이(lateral antenna)는 머리(prostomium)의 배쪽에서 돌어나 있으며 더듬이받침(ceratophore)은 머리와 바로 이어지지 않는다. 다리는 등다리(notopodium)와 배다리(neuropodium)로 나누어져 있고 침(aciculum)은 근육질과 함께 다리 밖으로 돌출한다.

한국산 참비늘갯지렁이 아과의 검색표

1. 등비늘은 12 쌍이다. *Polynoella levisetosa*
 등비늘은 15 쌍이다. 2
2. 등비늘은 몸의 뒷부분을 덮지 않으며, 두껍고 가털은 없다. *Lagisca waahli*
 등비늘은 몸을 거의 완전히 덮는다. 3
3. 배가시의 가지목 부분에 주머니모양의 홈이 있다. 4
 배가시에 주머니모양의 홈이 없다. 5
4. 등가시의 끝이 2 가닥으로 나누어져 있다. *Paradyte crinoidicola*
 등가시의 끝은 뾰족하고 가지목 부분에 보조톱니가 1 개 있다. *Paradyte levis*
5. 등가시가 배가시보다 훨씬 가늘다. 등측은 잘 발달되어 있으며 손가락 모양이다.
 *Gattyana deludens*
 등가시가 배가시보다 더 두껍거나 비슷하다. 6
6. 배가시는 전부 홀니가시이다. 7
 배가시 중에는 겁니가시가 있다. 9
7. 등가시 중에는 뾰족한 가시가 있다. 등비늘의 표면에는 톱니모양의 돌기들이 나 있다.
 *Eunoe oerstedii*
 등가시 중에는 뾰족한 가시가 없다. 8
8. 등비늘의 표면에는 많은 원통형의 근육성 돌기들이 나 있다. *Eunoe yedoensis*
 등비늘의 표면에는 딱딱하고 끝이 뾰족한 사슴뿔 모양의 돌기들이 나 있다.
 *Eunoe senta*
9. 눈의 앞쪽 쌍은 머리의 배쪽에 위치한다. *Harmothoe imbricata*
 눈의 앞쪽 쌍은 머리의 등쪽에 위치한다. 10
10. 등비늘의 표면에는 아주 작은 돌기들이 나 있고, 가털은 없다. *Harmothoe forcipata*
 등비늘의 표면에는 크고 작은 여러가지 모양의 돌기들이 나 있고, 가털은 무수히 많다.
 *Harmothoe hirsuta*

종의 기재

Genus *Polynoella* McIntosh, 1885 작은비늘갯지렁이 속1. *Polynoella lerisetosa* McIntosh, 1885 작은비늘갯지렁이

Polynoella lerisetosa McIntosh, 1885, (pp.128-131, pl. 11, fig. 4, pl. 15, fig. 3, pl.16, fig 4, pl. 18, fig. 6, pl. 19, fig. 8, pl. 11a, fig. 7 pl. 32a, fig. 6); Izuka, 1912, (pp.41-43); Imajima & Hartman, 1964, (p.40); Paik, 1982. (p.763, pl. 3. k-l).

고 질: 본 재료에 없었으며, 분포의 서식지의 기재 없이 검색표만을 작성하였다(Paik, 1982).

분 포: 태평양(일본, 한국)

서식지: 수심 약 100cm의 곳에서 채집된 것이 유일한 기록이다(McIntosh, 1885).

Genus *Gattyana* McIntosh, 1897 갑옷비늘갯지렁이 속(신칭)2. *Gattyana deludens* Fauvel, 1932 황금갑옷갯지렁이(신칭) (pl. I, A-F)

Gattyana deludens Fauvel, 1932, (pp.18-21, figs. 1,2); Ushakov and Wu, 1959, (pp.33-34, pl. V, D-G, VI, A,B).

관찰재료: 광양만(1983.2), 1 개체, 15m, 채니기(grab)

기 재: 몸의 길이는 20mm이며 나비는 가시를 포함해서 7mm이다. 37 마디로 되어 있다.

몸은 연한 베이지색이며 배쪽에는 붉은 빛을 띤다. 몸은 중간 마디에서 가장 넓으며 앞뒤로 뾰족하게 생겼으며, 납작하고 길이에 비해선 나비가 넓은 편이다. 머리는 가운데 홈에 의해 양쪽으로 나뉘어지며 길이와 나비가 서로 비슷하다. 가운데 더듬이(median antenna)는 받침이 크고, 더듬이는 끝으로 갈수록 차차 가늘어지며, 끝은 뾰족하다. 옆더듬이는 가운데 더듬이의 4/5 정도의 길이이며 모양은 같고 지름은 1/2 정도이다. 더듬이에는 작은 돌기들이 나있다. 버금더듬이는 굵고 짧은데 길이는 가운데 더듬이와 거의 같다. 두 쌍의 눈은 깊고, 작으며, 머리의 양 가장자리에 위치한다. 앞쪽 쌍이 조금 크다.

비늘(elytron)은 15 쌍이며, 서로 겹쳐지고, 머리의 부속지의 끝부분과 가시의 끝을 제외하고는 꼬리수염(anal cirrus)까지 모두 덮고 있다. 둥근 첫번째 쌍 위에는 종횡형이고, 금빛광택을 내며, 각질과 같이 단단하다. 각 비늘의 뒷단 중앙에는 다른 광택을 띠는 크고 둥근 조각과 뒷편 가장자리에는 가늘고 긴 조각으로 되어 있으며 그외 전 표면에는 세포형(대개 4-6 각형의 작은 조각들)으로 모자이크되어 있다. 옆 가장자리에는 짧고 가늘은 가털(marginal fringe)이 나 있다(Pl. I, B, C).

다리는 둘로 나누어져 있으며, 등다리는 배다리와 90 방향으로 붙어 있다. 등가시는 부채살 모양을 하고 등쪽으로 향한다. 배다리는 대부분의 비늘갯지렁이류처럼 등다리보다 크고, 침은 다리 밖으로 나와 있으며 따라서 근육질과 함께 뾰족하게 돌출해 있다. 등수염(dorsal cirrus)은 비늘에 둘러싸여 휘어져서 끝부분이 등다리와 배다리 사이에 위치한다. 표면에는 작은 돌기들이 나 있다. 배수염(ventral cirrus)에도 돌기들이 있고 손가락모양이며 길이는 등수염의 1/2 정도이다. 등혹(dorsal tubercle)은 손가락처럼 길쭉하게 나와 있으며 배쪽표면과 다리의 등쪽 표면에는 미세한 털들이 나 있다(Pl. I, A). 등가시(notoseta)는 가늘고 매우 길며 작은 톱니들을 가지고 있다. 가시다발 윗쪽에는 이보다 약간 두껍고 짧은 가시 몇개가 있다. 배가시(neuroseta)는 모두 톱니가시이며 가시날 부분에는 굵은 6-7 열의 톱니를 가지고 있다(Pl. I, D, E, F).

마디 혹(segmental papilla)은 뚜렷하게 관찰되지 않았으며, 그 부착 위치에서 흔적이 보이지 않았다.

한쌍의 꼬리수염은 근처 마디의 등수염보다는 짧고, 전체가 마지막 비늘쌍에 의해 덮힌다.

고 질: 본 관찰재료는 Fauvel(1932)의 2 개와 거의 일치하나, 모식종에서는 다리의 등수염

에 돌기가 없으며, 등혹은 배쪽 표면이 밋밋한데 비해 본 재료는 등수염에 작은 돌기들이, 등혹에는 미세한 털들이 관찰되었다. 또한 중국에서 채집된 종에서는 등수염에 돌기가 없으나 등혹에는 비교적 긴 털들이 있다고 보고되어 있다(Uschakov and Wu, 1959). 그러나 본 종의 특징인 등혹의 모양이 본 재료에 있어서도 손가락같이 되어 있고 비늘 등 다른 특징들도 일치하고 있어 본 종으로 여겨지며 실제로 등혹의 털은 미시할 경우 관찰되기 어려운 점이 있고, 돌기의 경우는 모식종에 있어서 더듬이뿐만 아니라 배수염 등에도 나 있는 것으로 볼 때 등수염에도 나 있을 수 있으며 이러한 차이는 개체간의 변이로 고려된다.

분포: 인도양(벵갈만, 인도 연안), 태평양(베트남, 황해), 한국(광양만) (Fig. 1).

참고: 본 재료는 수심 15m 인 모래가 섞인 팔(mud)에서 채집되었다.

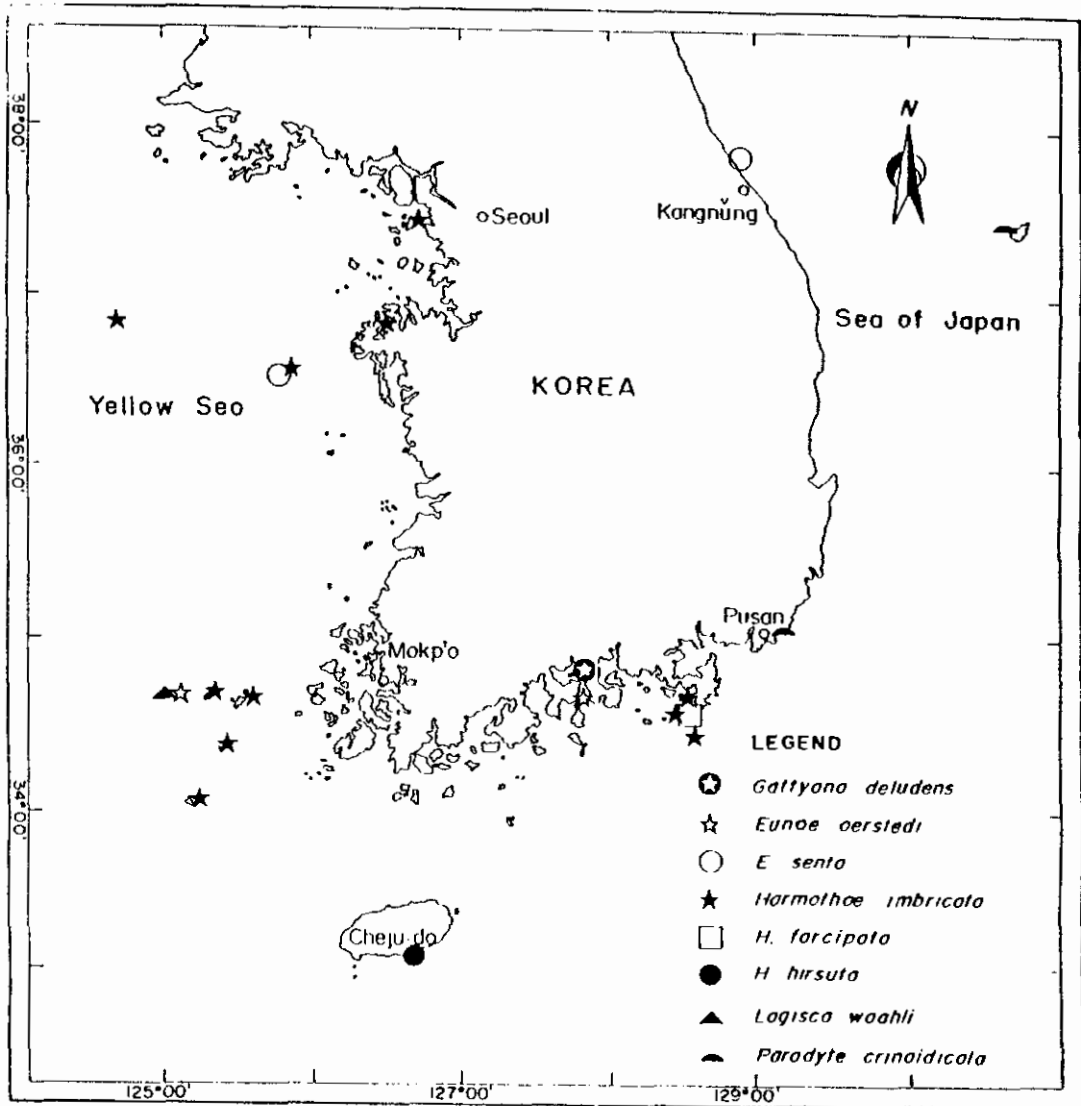


Fig. 1. Occurrence of some species of *Gattyana*, *Eunoe*, *Harmothoe*, *Lagisca* and *Paradyte*.

Genus *Eunoe* Malmgren, 1865 수염비늘갯지렁이 속3. *Eunoe oerstedii* Malmgren, 1865 톱니수염비늘갯지렁이 (Pl.I,G-M)

Eunoe barbata: Moore, 1910, (pp.334-338, pl. 28, figs. 1-6); Hartman, 1939, (p.53); Berkeley & Berkeley, 1948, (pp.14-15, fig. 16); Uschakov, 1955, (p.148, fig. 36, A-D); Imajima & Hartman, 1964, (pp.29-30, pl. 2, figs. a-f); Buzhinskaja, 1967, (p.81); Rho & Song, 1975, (p.98, pl.2, fig. 11, pl. 7, figs. a-f); Paik, 1982, (p.763, pl. 3, n-s).

Eunoe oerstedii: Pettibone, 1953, (p.46, pl. 25); 1963, (pp.44-45, fig. 9d); Uschakov & Wu, 1959, (p.36).

관찰재료: 황해 34°40'N, 125°60'E (1984. 2), 2 개체, 85m, 트롤망(trawl net).

기재: 몸의 길이는 33.51mm 이고 나비는 14 번째 마디에서 가시를 포함하여 11-16mm 이다. 38 마디로 되어 있다.

몸은 분홍색(암컷) 또는 하얀색(수컷)을 띠며 무늬는 없다. 머리는 몸에 비해 매우 작고 갈색이며 나비가 길이의 2 배 정도이다. 머리끝(prostomial peak)은 있으나 뚜렷하지 않다. 두쌍의 눈은 크고, 검은색이며, 앞쌍이 약간 크고, 눈의 사이도 더 멀다. 가운데 더듬이의 받침은 두껍고, 짧으나 더듬이는 길다. 길이는 옆 더듬이의 두배 정도이며, 가느다란 끝부분을 제외하고는 긴 돌기들이 무수히 나 있다. 버금더듬이는 기부가 굵으며 끝으로 갈수록 가늘어진다. 길이는 옆더듬이의 2.5 배 정도이고, 미세한 털이 6 열로 나 있다. 더듬이수염(tentacular cirrus)의 받침은 길고, 수염은 가운데 더듬이와 모양과 길이에서 비슷하다. 첫번째 나리에는 4-5 개의 가시가 있다(Pl.I,G). 입수머니(proboscis)는 굵고(지름이 머리나비의 약 5 배), 원통형이며 끝에는 원뿔형 돌기가 9 쌍 있으며, 내부에는 2 쌍의 키틴질 이빨을 가지고 있다(Pl.I,G).

둥비늘은 15 쌍이며 마지막 4-5 마디를 제외하고는 몸을 완전히 덮는다. 첫번째 쌍과 뒷부분의 비늘은 거의 원형에 가깝고, 그외의 것은 콩팥형이다. 표면에는 크고 작은 많은 돌기들이 여러개의 가지를 가지고 있으며 가지의 끝은 톱니의 같이 우뚝부들하다. 반면에 비늘 가운데 또는 앞쪽에 있는 작은 돌기들은 같이 양쪽으로 갈라지고, 뾰족하며, 그리고 딱딱하다. 이런 돌기들은 검은색이다. 다른 부분에는 미세한 돌기들이 나 있다. 몸의 뒷쪽으로 갈수록 큰 돌기의 수와 크기가 줄어들어 마지막 쌍에서는 큰 돌기를 찾을 수 없었다. 다양한 길이의 가털이 비늘 둘레의 2/3 에 가깝도록 나 있다(Pl.I,H,I).

다리는 두쪽으로 나누어져 있고, 등다리는 끝부분이 넓게 퍼져서 그곳에 가시들이 나 있다. 배다리는 등다리보다 훨씬 크다. 등수염은 매우 길어서 다리 길이의 2 배 정도에 달하며 가느다란 끝부분을 제외하곤 다양한 길이의 돌기들이 많이 나 있다. 배수염은 등수염의 약 1/5 가량이며 뾰족하다(Pl.I,M). 가시는 두 다리에 많이 나있으며, 가시의 굵기는 모두 비슷하다. 등가시다발에는 여러 종류의 가시가 있는데, 앞쪽에 있는 가시는 작고, 비교적 뾰족하지만, 뒷쪽으로 갈수록 끝이 뾰족해지며, 길어진다. 기시 전체에는 여러 열의 톱니가 빗모양으로 나 있다(Pl.I,J,K,L). 배가시는 모두 홀니가시(unidentate seta)로 되어 있고 약간 넓은 가시날(head of seta)부분에는 크고 작은 톱니들이 있다(Pl. ,N).

마디혹은 6 번째 마디부터 나타나며, 8 번째 마디에서부터 뚜렷해진다.

한쌍의 꼬리수염은 등수염과 같은 모양이며 근처 마디의 것보다는 길다.

고찰: 현재 일본과 우리나라에서 보고된 *Eunoe barbata* Moore, 1910 은 Pettibone(1953)에 의해 *E. oerstedii* 와 동종이명으로 정리되었다.

본 관찰재료도 Pettibone(1953)의 기재와 일치하며, 그의 견해에 동의한다.

또 본 종은 *E. nodosa* 와 *E. hozuawai* 와 모양에선 매우 유사하다. 비늘의 돌기에 있어서, 전자는 끝이 뾰족한 작은 돌기가 없고 후자는 가지 끝이 톱니모양인 돌기가 없는 점이 차이이다.

그러므로 이들의 유연관계를 조사해 볼 필요가 있을 것 같다.

분 포 : 태평양(호호츠크니, 베닝어, 캘리포니아 연안, 잉해), 네시양(노르웨이, 영국해협) 북극해, 한국(황해, 여수), (Fig. 1).

서식처 : 본 재료는 수심 87m 인 연성저질(펄)에서 채집되었다. 조간대에서부터 1,900m 의 깊은 곳까지 광범위하게 보고되어 있으며, 해삼류(Ho othuroidea)와 공생생활도 한다(Pettibone, 1953).

4. *Eunoe senta* (Moore, 1902) 가시수염비늘갯지렁이(신칭) (Pl. II, A-C)

Galyana senta Moore, 1902, (pp. 259-263, pl. VIII, f gs. 1-13); 1908, (p. 337); 1910, (pp. 316-362).

Eunoe senta: Hartman, 1939, (pp. 52-53, pl. 10, figs. 128-133); 1968, (pp. 57-58, figs. 1-6); Uschakov, 1955, (p. 147, fig. 36. E-H).

관찰재료 : 석도(1983. 8), 1 개체, 5m, SCUBA 잠수, 주문진(1984. 8), 1 개체, 8m, SCUBA 잠수.

기 재 : 두 표본은 조금씩 훼손되었으며, 석도의 표본은 22 마디에 길이가 14.5mm 이며, 나비는 가시를 포함해서 7.5mm 이다. 주문진의 것은 36 마디이며 길이가 16mm 에 나비는 가시를 포함해서 55mm 이다.

몸은 일은 베이지색이며, 굵은 갈색 가로무늬가 있다. 3 4 번째 마디부터 14 번째 마디까지는 평행 또는 약간 넓어지고, 그 뒤로는 끝마디까지 서서히 좁아진다. 머리에는 회미하게나마 머리뿔을 가지고 있고 가운데 홈에 의해 뚜렷히 두쪽으로 갈라진다. 나비가 길이보다 1.5 배 정도로 넓다. 2 쌍의 눈은 크고 검으며, 앞쌍이 더 크고, 더 가장자리에 위치해 있다. 머리의 밑부분의 일부는 입마디(peristomium)에 의해 덮혀 있다. 가운데 더듬이의 더듬이부분은 훼손되었으나 받침은 아주 굵다(머리 나비의 1/3 정도). 옆더듬이는 갈색이며 머리의 배쪽에서 돌아 있고, 길이는 머리길이의 1.5 배 정도이며 작은 돌기들이 나 있다. 버금더듬이는 길이가 옆더듬이의 약 2.5 배에 달하고, 미세한 털들이 새로로 열을 이루어 나 있다. 더듬이수염은 훼손되었으며, 첫번째 마디에는 2 개의 가시가 있다.

등비늘은 15 쌍이며, 많은 딱딱한 큰 돌기들이 표면에 나 있는데, 이들은 2 개 또는 3 개 그리고 여러개의 가지로 분지되어 사슴뿔모양이나 그 끝은 뾰족하다.

뒷쪽 가장자리에 가장 큰 돌기들이 위치한다. 옆쪽 가장자리에는 가털이 나 있는데, 비교적 길고, 드문드문한 편이며, 일부는 비늘의 표면에도 나 있다(Pl. II, A).

다리는 둘로 나누어지며, 배다리가 크고 넓으나, 다른 종들에 비해 비교적 작은 편이다. 다리의 등쪽 표면과 등수염의 기부에는 갈색무늬가 있다. 등수염은 매우 길며, 다양한 크기의 가늘기들이 많이 나있으며, 다리의 약 2.5 배 정도이다. 배수염은 등수염의 약 1/4 정도이며, 작은 몇개의 돌기들이 나있다. 등가시는 많고 길며, 길이와 두께에서는 배가시와 비슷하다. 그러나 배가시는 가시날 부분이 약간 두꺼운 것이 특징이다. 등가시는 옆면에 가는 톱니들을 가지며, 뾰족한 가시는 없다. 배가시는 도두 홀니가시인데, 끝이 약간 꼬부라지고 날부분에 여러개의 톱니가 있는데, 가시의 끝부분은 크고 차차 작아진다(Pl. II, B, C).

마디혹은 6 번째 마디에서부터 나타난다.

꼬리수염은 훼손되었다.

고 살 : 본 종은 배가시와 홀니가시인 점에서 눈비늘갯지렁이속(*Harmothoe*)과는 다르고, 등가시에 뾰족한 가시가 없는 점이 *E. oerstedii* 와 구별된다. 이와 같은 특징들은 *E. yedoensis* 와 *E. subfumida* 가 일치하나, 전자는 비늘의 돌기가 근육성이고, 후자는 비늘의 가털이 없는 점에서 뚜렷한 차이가 있다.



Hartman(1939)과 Uschakov(1955)의 재료에서 비늘의 큰 돌기들은 본 재료의 것보다 더 크고 길며 사슴뿔모양이나, 크기만 작을 뿐 전체적인 모양은 일치하고, 다른 특징들에서 차이가 없으므로 같은 종으로 판단하였다.

분 포 : 태평양(알래스카, 캘리포니아 북부 연안, 쿠릴열도), 대서양(미국의 동북부 연안), 북극해(그린란드), 한국(석도, 주문진) (fig. 1)

서식처 : 비교적 얕은 수심(200m 까지)에서 채집되었으며, 주로 연성저질(모래, 펄)에서 서식한다. 본 재료는 바위지역이지만 칼이나 도래기 약간 덮혀 있는 곳에서 채집되었다.

5. *Eunoe yedoensis* McIntosh, 1885 민수염비늘갯지렁이

Eunoe yedoensis McIntosh, 1885, (p.75, pl.15, fig. 4, pl. 19, fig. 9, pl. 10a, figs. 11-12); Marenzeller, 1902, (pp.572-573); Imajima & Hartman, 1964, (pp.31-32); Paik, 1982, (p.19, pl. 3, m).

Harmothoe yedoensis: Izuka, 1912, (pp.54-55, pl. 12, figs. 15-16).

고 찰 : 국내의 지역적인 분포와 서식처가 알려져 있지 않으며, 검색표만이 작성되었다(Paik, 1982).

분 포 : 태평양(일본·한국)

서식처 : 약 600m의 수심의 펄에서 채집되었다(McIntosh, 1885).

Genus *Harmothoe* Kinberg, 1855 눈비늘갯지렁이 속

6. *Harmothoe imbricata* (Linnaeus, 1767) 옆눈비늘갯지렁이 (Pl. II, E H)

Polynoe imbricata: Marenzeller, 1879, (p.117, pl. II, fig 1).

Harmothoe imbricata: McIntosh, 1900, (pp.31-326, pl. XXVI, fig. 3); Izuka, 1912, (pp.42-43, pl V, figs. 1-4, pl. VI, fig. 1); Southern, 1914, (p.52); Fauvel, 1923, (p.55, fig. 18, f-1); Okuda, 1938, (p.83); Berkeley & Berkeley, 1948, (p.11, fig. 9); Pettibone, 1953, (pp.32-36, pls. 13-16); 1963, (pp.36-38, fig. 7, a-d); Okuda & Yamada, 1954, (pp.179-181); Uschakov, (1955, pp.154-157, fig. 38, A-E); Uschakov & Wu, 1959, (p.36); Imajima, 1963, (p.180); Imajima & Hartman, 1964, (pp.35-36); Buzhinskaja, 1967, (pp.84-86); Hartman, 1968, (pp.79-80, figs. 1-4); Hartmann-Schroder, 1971, (pp.50-53, fig. 11, a-f); Rullier, 1972, (p.41); Day, 1973, (p.7); Paik, 1982, (p.764, pl. 4, g-j).

관찰재료 : 코파도(1981.8), 1 개체, 10m, 트롤 망 ; 바진도(1982.2), 2 개체, 29m, SCUBA 잠수 ; 홍도(1982.8), 1 개체, 조간대 ; 하태도(1982.8), 3 개체, 8m, SCUBA 잠수 ; 석도(1983.8), 1 개체, 조간대 ; 소록산도(1983.8), 27 개체, 10m, SCUBA 잠수, 대륙산도(1983.8), 1 개체, 10m, SCUBA 잠수 ; 36° 50' N, 124° 40' E(1983.8), 1 개체, 65m, 드레지(dredge) ; 한산도(1984.8), 3 개체, 3m, SCUBA 잠수 ; 매물도(1984.8), 1 개체, 5m, SCUBA 잠수.

기 재 : 길이는 16-32mm이며, 나비는 가시를 포함해서 4 8.5mm이며, 38-39개의 마디를 가진다.

몸은 13, 14 번째 마디에서 제일 넓으며, 몸의 중간부분에선 나비가 거의 비슷하다. 몸의 앞뒷쪽에서 조금씩 좁아지는 형태이다. 색깔은 연한 갈색 또는 베이지색이며, 등쪽에 갈색 가로 무늬가 있는데, 몸의 뒷쪽으로 갈수록 희미해진다. 몸의 등쪽과 다리, 머리의 일부에는 연한 녹색을 띠 때도 있다. 또 더듬이, 수염비늘더듬이의 기부에는 보다 짙은 갈색을 띠기도 한다.

머리는 길이보다 약간 넓으며 가운데 홈에 의해 뚜렷하게 두쪽으로 나누어 지며, 머리뿔도 명확하게 나와있다. 머리의 양 옆면은 둥그스름하고, 두쌍의 눈은 검고 크다. 첫번째 쌍은 머리뿔의 밑, 머리의 배면에 위치하며 등쪽에서 희미한 윤곽만 보이고, 머리의 기부에 위치한 두번째

쌍보다 약간 크다. 가운데 더듬이는 크고, 짙은 색의 반침과 가늘고 긴 더듬이를 가진다. 이것의 길이는 머리의 4 배 정도이나, 옆더듬이의 반침은 가운데 더듬이의 반침에 거의 가려 있고 이것은 머리의 배쪽에서 볼 수 있으나, 전체의 길이는 가운데 더듬이의 1/2 정도이다. 더듬이들에는 미세한 돌기들이 많이 나있다. 버금더듬이는 가운데더듬이와 거의 같은 길이이고, 기부는 머리 나비의 약 반 정도로 굵다. 표면에는 아주 미세한 털로 된 세로열이 있다. 1 번째 다리에는 2 개의 가시가 있고 더듬이수염은 가운데더듬이와 길이와 모양에서 거의 유사하나, 배쪽 쌍이 약간 짧다.

등비늘은 15 쌍인데, 몸을 완전히 덮거나, 마지막 2-3 마디를 덮지 않는 경우도 있다. 첫 번째 쌍 비늘을 제외하고는 모두 콩팥형이다. 어떤 개체는 비늘 표면의 안쪽 가장자리에 짙은 무늬가 있어 전체적으로 보면 긴 세로줄을 형성하고 있다. 비늘의 표면에는 아주 작은 돌기들이 전체에 나 있으며, 이들을 확대해서 보면 원뿔형이다. 비늘의 옆 가장자리에는 짧은 가털이 등성 등성 나있는데, 이들은 비늘 표면의 일부에서도 나있다(Pl. II, D, E).

다리는 돌로 나뉘어지고, 등다리는 작으며 가시가 박혀 있는 부분은 등굽다. 침은 다리 밖으로 나와 근육질까지 뾰족하게 돌출해 있다. 등수염은, 더듬이와 같이 긴 모양을 하고 표면에 여러 개의 돌기가 나있다. 등혹은 크지 않으며, 원뿔형을 하고 있다(Pl. II, F). 가시는 양 다리 모두에 많이 나있는데, 등가시가 배가시보다 약간 두껍다. 등가시는 조밀한 톱니들이 옆면에 나있으나 끝부분에는 톱니가 없다. 배가시는 거의 겹니가시(bidentate seta)이고, 가시날 부분에는 톱니가 나있고, 자루보다는 약간 넓다(Pl. II, G, H).

마디혹은 유두형이며, 6 번째 마디에서부터 나타나며, 8-9 번째부터 뚜렷해지며 이것은 마지막 마디까지 나 있다.

꼬리수염은 가늘고 긴데 이리엔 돌기들이 나있고, 마지막 마디에 있는 등수염보다 기나 모양은 같다.

고 질 : 큰 개체에서는 마지막 2-3 마디가 노출되어, 꼬리비늘갯지렁이 속(*Lagisca*)과 외형상 구분이 안될 수도 있으나, 후자는 8-10 마디가 노출되고, 마디수도 본 속보다는 많다. 본 종은 눈의 위치로 다른 종과 분명하게 구분할 수 있다.

분 포 : 태평양(캘리포니아 연안, 베링해, 일본, 황해), 대서양(노르웨이, 스코틀랜드, 에이레, 지중해), 북극해, 한국(한산도, 매물도, 대흑산도, 흥도, 소흑산도, 하태도, 석도, 비진도, 영종도)(Fig. 1).

서식처 : 본 재료들은 주로 암반 주위에서 채집되었으나, 쪼리가 있는 지역 또는 해조류 사이에서도 발견되었으며, 한산도의 좋은 부착판에서 채집되었다. 본 종은 공생종으로 알려져 있으며 다른 갯지렁이류(Terebellidae, Onuphiidae) 그리고 불가사리류(Asterozoa)와 공생관계에 있다고 하였다(Fauvel, 1923; Okuda, 1936; Berkeley & Berkeley, 1948; Pettibone, 1953; Hartman, 1968; Uchida, 1983). 한산도의 표본은 공생종으로 생각되는데 이들은 공생종의 일반적인 특징인 비늘에 짙은 무늬가 있고 표면이 밟밋하다.

7. *Harmothoe forcipata* (Marenzeller, 1902) 짝눈비늘갯지렁이 (Pl. II, I-L)

Evadne forcipata Marenzeller, 1902, (p. 573, pl. II, fig. 7).

Harmothoe forcipata: Hartman, 1968, (pp. 73-74, figs. 1-6).

관찰재료 : 비진도(1982.2), 1 개체, 29m, SCUBA 잠수

기 재 : 몸의 길이는 12mm 이며, 나비는 가시끝 포함해서 3mm 이다. 마디는 34 개이며, 이들은 마디 수로보아 어린 개체로 여겨진다.

몸은 14-18 번째 마디에서 가장 넓으며, 고정액 내에서 반투명하게 보인다. 머리는 가운데혹

에 의해 두쪽으로 나뉘고, 옆면은 둥글다. 더리는 크지 않으나, 뚜렷한 머리뿔을 가지고 있으며 나비는 길이보다 약간 넓다. 4개의 눈 틈에서 앞쪽 쌍은 머리뿔 아래 머리의 등쪽 면에 위치하고, 뒷쪽쌍은 머리의 기부에 위치한다. 앞의 것은 뒤의 것보다 2배정도로 크다. 가운데더듬이의 받침은 굵으나 짧고, 더듬이는 기부에서 2/3 되는 곳에서부터 급격히 가늘어진다. 길이는 머리길이의 약 2.5 배이며, 옆더듬이의 2 배가 된다. 더듬이 표면에는 돌기들이 등성등성 나있다. 비금더듬이는 매우 길고, 가운데 더듬이의 2 배에 달한다. 더듬이수염도 가운데더듬이와 모양과 크기에서 거의 같다. 일수머리는 길고 원통형이며 끝에는 9 쌍의 원뿔형 근육질 돌기를 가지고, 그 내부에는 2 쌍의 키틴질 이빨을 가진다.

비늘은 15 쌍이며, 몸의 대부분을 덮으며, 표면에는 작은 돌기들이 많이 있으며 고정액 속에서는 거의 투명해 보이나 갈색의 얼룩무늬자국을 확인할 수 있다. 비늘에는 가털이 없다(Pl. II, I).

다리들은 첫번째 마디를 제외하고는 둘로 나누어져있고 형태는 다른 참비늘갯지렁이 아과(Harmothoinae)의 종과 같다. 등수염은 비교적 굵고, 길지 않은 편이며, 돌기들이 등성등성 나있는데 이 길이는 다리의 길이보다 약간 길다. 배수염은 손가락형이고 돌기들이 몇개나 있다(Pl. II, I). 가시는 등, 배다리에 모두 많이 나있으며, 배가시와 등가시는 서로 비슷한 두께이거나 등가시가 약간 두껍다. 등가시는 끝으로 갈수록 가늘어지는 모양이며, 옆면에는 가는 톱니가 나있다. 배가시는 겹피가시로 되어 있으며, 날부분에만 톱니가 있다(Pl. II, K, L).

마디혹은 발견할 수 없었다.

한쌍의 꼬리수염은 마지막 마디의 등수염과 같은 모양이며, 길이는 약 2 배이다.

고 질 : Marenzeller(1902)의 모식종(type specimen)에 있어서 등비늘에 가털이 없으나 일본의 Okuda & Yamada(1954)와 한국의 Paik(1982)의 기술에 의하면 가털을 가지고 있어 종 동정에 어려운 점이 있다. 이미 Okuda & Yamada(1954)는 이런 점에 관해 언급한 바 있었다. 그러나 본 관찰재료에는 가털이 없고, Hartman(1968)의 기재와도 일치하므로 동종으로 하였다. 가털은 비늘갯지렁이과의 종 동정에서 중요한 특징이므로 일본과 한국의 종들은 재고되어야 할 것 같다.

분 포 : 태평양(일본·남캘리포니아), 한국(비진도) (Fig. 1)

서식처 : 본 재료는 경성지질(암반)의 펄이 쌓인 곳에서 채집되었다.

8. *Harmothoe hirsuta* Johnson, 1897 털눈비늘갯지렁이(선칭) (Pl. III, A F)

Harmothoe hirsuta: Moore, 1910, (pp. 350-351); Chamberlin, 1919, (pp. 51-54, pl. 2, figs. 2-8, pl. 3, fig. 1); Hartman, 1939, (p. 51); 1968, (pp. 77-78, figs. 1-6).

관찰재료 : 제주도(1983. 1), 1 개체, 29m, SCUBA 잠수

기 재 : 몸의 길이는 22mm이며 나비는 15 번째 마디에서 가시를 포함하여 4.5mm이며, 36 마디로 되어 있다.

몸은 등과 배 사이가 비교적 두툼하고 고정액 내에서 반투명하게 보이며, 대체로 흰색을 띤다. 4 번째 마디부터 25 번째 마디까지의 너비가 거의 비슷하며, 그 전후로 나비가 현저하게 줄어든다. 머리는 가운데 홈에 의해 뚜렷하게 두쪽으로 나뉘며, 머리뿔도 명확하게 나타났다. 양 옆면은 둥글고 길이보다 약간 넓다. 두 쌍의 눈은 역사다리굴로 배열되어 있는데 약간 큰 앞쪽 쌍은 머리의 중간 양 측면에 위치하고 뒷쪽 쌍은 앞쪽 쌍과 머리의 기부 중간에서 가운데 홈 가까이 위치한다. 가운데더듬이는 길고 끝부분은 아주 가는데, 더듬이 받침 또한 길다. 가운데 더듬이의 길이는 머리길이의 약 3.5 배에 가까우며, 표면에는 다양한 돌기들이 무수히 나있다. 옆더듬이는 가운데더듬이의 2/5 정도이다. 비금더듬이는 훼손되었다. 더듬이수염은 가운데더듬

이와 모양과 크기가 유사하며 뒷쌍이 약간 더 길다.

등비늘은 15 쌍이고, 몸의 등쪽을 완전히 덮고 있으며, 갈색 점부위를 가진 금빛의 노란색이다. 비늘은 세포조각과 길이 나누어져 있는데 뒷 가장자리에는 각 방마다 큰돌기가 하나씩 나 있고, 앞 가장자리에는 작은 돌기들이 여러 개가 한 방에 들어있다. 큰 돌기는 밑부분이 원통형이며 비늘 표면에 돌기의 옆면이 붙어 있고, 끝은 고르지 못한 톱니형이다. 작은 돌기들은 2-3 가지로 분지해 있으나 끝은 뾰족하다. 비늘끼리 겹치는 부분을 제외하고 들레의 전 가장자리에 긴 가털들이 뺨뺨히 나 있다. 이들은 옆 가장 자리에서 길고 뒷쪽으로 갈수록 짧아진다(Pl. III, B, C.).

다리는 돌로 나뉘어지고, 배다리는 등다리보다 훨씬 크다. 배다리의 끝은 침이 나와 뾰족한 부분을 제외하고는 뚱그림하다. 등수염은 매우 길며 다리 길이의 2 배가 넘으며, 그 모양은 가운데 더듬이와 유사하다. 배수염은 짧으며 등수염의 1/5 정도이다(Pl. III, A.).

가시는 노란색을 띠고, 같은 속의 다른 두 종(*H. imbricata*와 *H. forcipata*)에 비해 가시의 수가 훨씬 많다. 등가시가 배가시보다 약간 두껍고, 다발의 윗쪽에 있는 것은 짧고, 더 두꺼우며 뒷쪽으로 휘어져 있다. 등가시는 옆면에 톱니기 길게 나 있다. 배가시는 겹니가시이고, 날부분이 더 두꺼우며 이곳에만 톱니들이 있다(Pl. III, D, E, F.).

고 찰: 본 재료들은 모식종과 비교하여 볼 때 등비늘, 가시, 더듬이와 등수염의 돌기의 모양에 있어서 거의 일치하나, 눈의 위치에서 일부 상이한 점이 발견되었다(Hartman, 1968). 모식종 및 캘리포니아에서 발견된 종들은 눈의 뒷쪽 쌍이 머리의 기부에 위치하나 본 관찰 재료에서는 눈의 앞쪽 쌍과 머리의 기부 중간에 약간 기형적으로 위치하고 있었다. 그러나 이 차이를 제외하곤 모식종과 모든 분류적인 특징이 같아 본 종으로 여겨지며, 단지 눈의 위치의 차이는 개체간 또는 지역적인 변이로 생각되어진다.

분 포: 태평양(남캘리포니아·파나마), 한국(제주도의 문도)(Fig. 1)

서식처: 비교적 얕은 수심(60m 이내)의 모래지역 또는 바위지역에서 서식한다.

Genus *Lagisca* Malmgren, 1867 고리비늘갯지렁이 속(신칭)

9. *Lagisca waahli* (Kinberg, 1855) 열대꼬티비늘갯지렁이(신칭) (Pl. III, G-K)

Harmothoe waahli: Monro, 1933, (pp. 489-491, figs. 1-3); Day, 1967, (fig. I, 11, g-k).

관찰재료: 황해 34°40' N, 125°00' E(1984.2), 1 개체, 85m, 트롤망

기 재: 몸의 길이는 35mm 이며 폭은 16 번째 마디에서 가시를 포함하여 14mm 이다. 마디는 43 개이다(끝부분이 재생중인 것으로 보인다).

몸은 베이지색을 띠는데 머리는 진한 갈색이며, 가운데 흠에 의해 두쪽으로 나누어져 있고, 길이보다 조금 넓다. 2 쌍의 눈은 검은 색이며, 앞쪽 쌍이 더 크다. 앞쪽의 것은 머리 앞부분의 옆면에 치우쳐 있어 등쪽에서 보면 그 일부분만 보이고, 뒷쪽의 것은 이보다 작으며 머리의 기부에 위치하여 두 쌍간의 거리가 비교적 멀다. 가운데더듬이의 받침은 크고 이중으로 겹쳐져 있고, 더듬이의 끝부분은 매우 가늘다. 전체 길이는 머리 길이의 2 배 정도이다. 옆더듬이는 이보다 짧으며, 가운데더듬이의 1/3 정도이다. 더듬이들은 열은 갈색이며, 미세한 돌기들이 많이 나 있다. 비굽더듬이는 굽고 주름이 약간 저있으며 길이는 가운데더듬이의 1.5 배 정도이다. 더듬이수염은 가운데더듬이와 모양이 거의 비슷하나 길이는 더 길며, 색깔은 채색과 같다. 첫 번째 미디엔 장한 가시가 1 개 있다.

등비늘은 15 쌍이며, 중간 첫번째 쌍을 제외하고는 콩팥모양 또는 씨그러진 타원형이다. 비늘은 몸의 뒷부분 마지막 9 마디를 덮지 않는다. 가장자리는 매우 두툼하며 전체적으로 짙은 갈색무늬가 있다. 비늘 표면에는 아주 작은 돌기들이 많이 나 있고, 가털은 없다(Pl. III, K.).

다리는 물로 나뉘어지고, 등다리는 배다리보다 훨씬 작다. 침이 돌출한 부분은 근육이 함께 뾰족 튀어 나와 있으나 등다리에서 더 나와 있다. 등수염은 가운데다듬이의 비슷한 모양이고, 끝부분의 약간 팽대된 곳에는 연한 갈색무늬가 있다. 배수염은 작고, 등수염의 약 1/3 정도이나, 등혹은 등수염의 받침 바로 뒷쪽에 있으며 둥글고 크나(Pl. III, G).

가시의 수는 많고, 등가시가 배가시보다 강하게 보이고, 두께도 약간 두껍다. 등가시가 다리에 나있는 모양은 마치 수반에 꽃힌 꽃송이와 같다. 끝이 얇게 갈라져 있으며, 그 사이가 약간 벌어져 있다. 옆면에는 작은 톱니들이 조밀하게 나있다. 배가시는 가지런히 나왔으며, 뒷쪽 가시들은 길다가시이고, 날부분에 톱니가 나있는데 끝부분의 것이 크고, 그 밑으로 차차 작아진다. 아랫쪽 가시들은 작고 톱니가사이며 전체적으로 위의 것보다 더 휘어져 있으나 톱니의 모양은 같다(Pl. III, I, J).

마디혹은 작고, 6번째 마디에서부터 나타나며, 8-9번째 마디부터 뚜렷해진다. 마지막 5-6마디는 새로 돌아나는 마디로 보이며 꼬리수염의 자리에는 두툼한 근육질이 있었다.

고 질: 본 종은 몸의 마지막 9마디가 비늘에 의해 덮혀 있지 않는 것으로 본 속이 되었다. Monro(1933)는 42마디, Day(1967)의 종은 47마디로 마디수에 있어서 약간의 차이가 있을 뿐 다른 특징들은 거의 일치한다.

분 포: 태평양(오스트레일리아·뉴질랜드·타히티·말레이시아·필리핀), 인도양(남아프리카), 한국(황해) (Fig. 1).

서식처: 본 재료는 수심 85m의 편에서 채집되었다.

Genus *Paradyte* Pettibone, 1969 주머니비늘갯지렁이 속(신정)

10. *Paradyte crinoidicola* (Potts, 1910) 나리주머니비늘갯지렁이(신정)

Polynoe crinoidicola Potts, 1910, (p.337, pl. 18, fig. 10, pl. 21, figs. 39-41).

Scalissetosus crinoidicola: Horst, 1917, (p.58, pl. 16, figs. 6-8, pl. 21, fig. 1); Okuda, 1936, (p.564, fig. 3).

Scalissetosus longicirrus: Day, 1967, (p.58, fig. 17a-f); Imajima & Hartman, 1964, (pp.38-39);

Wu *et al.*, 1975, (pp.67-68, fig. 1, 3-5); Paik, 1976, (pp.233-234, figs. 7-10); 1982, (p.764, pl. 4, a-d); 1984, (p.141).

Paradyte crinoidicola: Pettibone, 1969, (pp.13-16, fig. 7).

고 질: *Scalissetosus* McIntosh, 1885은 그 범위가 넓고 정의가 명확하지 않음이 밝혀졌다(Pettibone, 1969). 이 속의 정의는 등비늘이 15쌍이고 배가시에 주머니모양 홈이 있는 것으로 되어 있었으나(Imajima & Hartman, 1964; Paik, 1982), 모식종인 *S. ceramensis*는 등비늘이 16쌍이며 주머니모양 홈을 가지지 않는다. 따라서 Pettibone(1969)은 이 속을 구분하여 여섯 개의 속(*Scalissetosus*, *Adyte*, *Subadyte*, *Paradyte*, *Pottisiscalissetosus*, *Australaugeneria*)으로 구분하였는데 이 정의에 의하면 한국의 재료들은 속 *Paradyte*에 속한다. 또 Pettibone(1969)은 실론의 *Polynoe* (*Lepidonotus*) *longicirrus* Schmarda, 1861이 17쌍의 등비늘을 가졌음을 밝히고 *Paradyte* 속에 속한 본 종과 다르다고 서술하였다. 중국과 일본의 종(Horst, 1917; Okuda, 1936; Imajima & Hartman, 1964; Wu *et al.*, 1975) 그리고 우리나라에서 채집된 종(Paik, 1976, 1982, 1984)은 모두 비늘이 15쌍이고 배가시에 주머니모양의 홈을 가지는 것으로 보아 이를 *P. crinoidicola*로 본다.

분 포: 태평양(일본·남지나해·말레이시아), 인도양(홍해·남아프리카), 한국(해운대·울릉도) (Fig. 1).

서식처: 공생생활을 하며 바다나리류(Crinidea)의 보대구(ambulacral groove)에서 채집되었

다는 기록이 있다(Potts, 1910; Okuda, 1936; Uchida, 1983).

11. *Paradyte levis* (Marenzeller, 1902) 비늘주머니비늘갯지렁이

Scalissetosus levis Marenzeller, 1902, (pp.575-576. pl. 3, fig. 12); Okuda, 1950, (pp.50-51, figs. c-g); Imajima & Hartman, 1964, (p.39); Paik, 1982 (p.764, pl. 4, e-f).

고 질 : 본 종도 Pettibone(1969)에 의해 주머니비늘갯지렁이 속(*Paradyte*)에 속하는 종이다. 국내에서는 서식처에 관한 기재 없이 검색표만을 작성하였다(Paik, 1982).

분 포 : 태평양(일본·중국·한국)

서식처 : 바다맨드라미류(Alcyoniacea)와 함께 발견되었으며, 이들과 공생관계인 것으로 알려져 있다(Marenzeller, 1902; Okuda, 1950; Uchida, 1983).

요 약

1981년부터 1984년까지 우리나라 연안에서 채집된 참비늘갯지렁이류를 조사한 결과 4종의 국내 미기록(*Gattyana deludens*, *Eunoe senta*, *Harmothoe hirsuta*, *Lagisca waahli*)을 포함하여 7종을 얻었다.

이로써 한국산 참비늘갯지렁이아과는 모두 6속 11종으로 밝혀지며, 그 형태적 특징을 바탕으로 검색표를 작성하고 각 종의 분류학적인 고찰 및 서식처를 조사 보고한다.

참 고 문 헌

- Berkeley, E., and C. Berkely. 1948. Annelida, Polychaeta Errantia. Canadian Pacific Fauna. J. Fish. Res. Bd., Canada, 9b, 1: 1-100.
- Buzhinskaja, G.N. 1967. 'On the ecology of the polychaetous annelids of the Possjet Bay (Sea of Japan)'. Akad. Nauk SSSR Zool. Inst. Exolor Fauna Seas, 5, 12: 78-124. (In Russian)
- Chamberlin, R.V. 1919. The Annelida Polychaeta. Mus. Comp. Zool. Harvard, Mem., 48: 1-514.
- Day, J.H. 1967. A monograph on the Polychaeta of southern Africa Pt. 1. Errantia. British Mus. (Nat. Hist.), pp.1-458.
- _____. 1973. New Polychaeta from Beaufort, with a key to all species recorded from North Carolina. NOAA Technical Report NMFS Circ., 375: 1-140.
- Fauvel, P. 1923. Polychètes. Faune de France, Paris, 5: 1-488.
- _____. 1932. Annelida Polychaeta of the Indian Museum. Mem. Indian Museum, Calcutta, 12, 1: 1-262.
- Hartman, O. 1939. Polychaetous Annelids Pt. 1. Aphroditidae to Pisionidae. Allan Hancock Pacific Exped., 7: 157-172.
- _____. 1968. Atlas of errantiate polychaetous annelids from California. Allan Hancock Foundation, University of Southern California, L.A., pp.1-828.
- Hartmann-Schröder, G. 1971. Annelida, Borstenwurmer, Polychaeta. Tierwelt Deutschlands, 58: 1-594.
- Horst, R. 1917. Polychaeta Errantia of the SIBOGA-Exedition. Pt. 2. Aphroditidae and Chrysopetalidae. SIBOGA-Exped. Leyden, 24h: pp.1-140.
- Imajima, M. 1963. Polychaetous annelids collected off the west coast of Kamchatka II. Notes on species found in the collection of 1959. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 11, 2: 345-372.

- Imajima, M., and O. Hartman. 1964. The polychaetous annelids of Japan. Allan Hancock Foundation Occasional Paper, 26 : 1-452.
- Izuka, A. 1912. The errantiate Polychaeta of Japan. J. Coll. Sci. Tokyo, 30, 2 : 1-262.
- Lee, J.H. 1984. Polychaetous annelids from the Yellow Sea. II. Family Glyceridae. Bull. KORDI, 6 : 13-19.
- Lee, J.H., and J.G. Jae. 1983. Polychaetous annelids from the Yellow Sea. I. Family Nephtyidae. Bull. KORDI, 5 : 19-27.
- Loshamn, A.-A. 1981. Descriptions of five polynoid species (Polychaeta) from the coasts of Norway and Sweden, including three new species, one new genus and one new generic name. Zoologica Scripta, 10 : 5-15.
- McIntosh, W.C. 1885. Report on the Annelida Polychaeta collected by H.M.S. CHALLENGER during the years 1873-76. Challenger Reports, 12 : 1-554.
- _____. 1900. A monograph of British annelids. 1, 2: Polychaeta, Amphinomidae to Sigalionidae. Ray Society, London: 215-442.
- Marenzeller, E. Von. 1879. Südjapanische Anneliden I. Denkschr. K. Akad. Wiss. Wien, 41 : 109-152.
- _____. 1902. Südjapanische Anneliden III. Aphroditae, Eunicea *ibid.*, 72 : 563-582.
- Monro, C.C.A. 1933. Notes on a collection of Polychaeta from South Africa. Ann. Mag. Nat. Hist. (ser. 10), 11 : 487-509.
- Moore, J.P. 1902. Descriptions of some new Polynoidae, with a list of other Polychaeta from North Greenland waters. Proc. Acad. Nat. Sci. Phila., 54 : 258-278, pls. 13-14.
- _____. 1903. Polychaeta from the coastal slope of Japan and from Kamchatka and Bering Sea. *ibid.*, 55 : 401-490.
- _____. 1908. Some polychaetous annelids of the North Pacific Coast of North America. *ibid.*, 60 : 321-364.
- _____. 1910. The polychaetous annelids dredged by the U.S.S. ALBATROSS off the coast of southern California in 1904. Polynoidae, Aphroditidae and Sigalionidae. *ibid.*, 62 : 328-402.
- Muir, A.I. 1982. Generic characters in the Polynoinae (Annelida, Polychaeta), with notes on the higher classification of scaleworms (Aphroditacea). Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Zool.), 43, 3 : 153-177.
- Okuda, S. 1936. Japanese commensal polynoids. Annot. Zool. Japan, 15 : 561-571.
- _____. 1938. Polychaetous annelids from the vicinity of the Mitsui Institute of Marine Biology. Japan J. Zool., 8 : 75-105.
- _____. 1950. Notes on some commensal polychaetes from Japan. Annot. Zool. Japan, 24 : 49-53.
- Okuda, S., and M. Yamada. 1954. Polychaetous annelids from Matsushima Bay. J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., ser. 6. Zool., 12 : 175-179.
- Paik, E.I. 1976. The polychaetous annelids in Korea (I). Bull. Father Jeon's 60th Anniversary, pp. 231-249.
- _____. 1977. Studies of polychaetous annelid worms of the Family Nereidae in Korea. Res. Bull. Hyosung Women's Coll., 19 : 131-227. (In Korean)
- _____. 1982. Taxonomic studies on polychaetous annelids in Korea. Res. Bull. Hyosung Women's Univ., 24 : 745-913. (In Korean)
- _____. 1984. Polychaetous annelid worms from Ulreung Island and its adjacent waters. *ibid.*, 28 : 127-173. (In Korean)
- Pettibone, M.H. 1953. Some scale-bearing polychaetes of Puget Sound and adjacent waters. Univ.

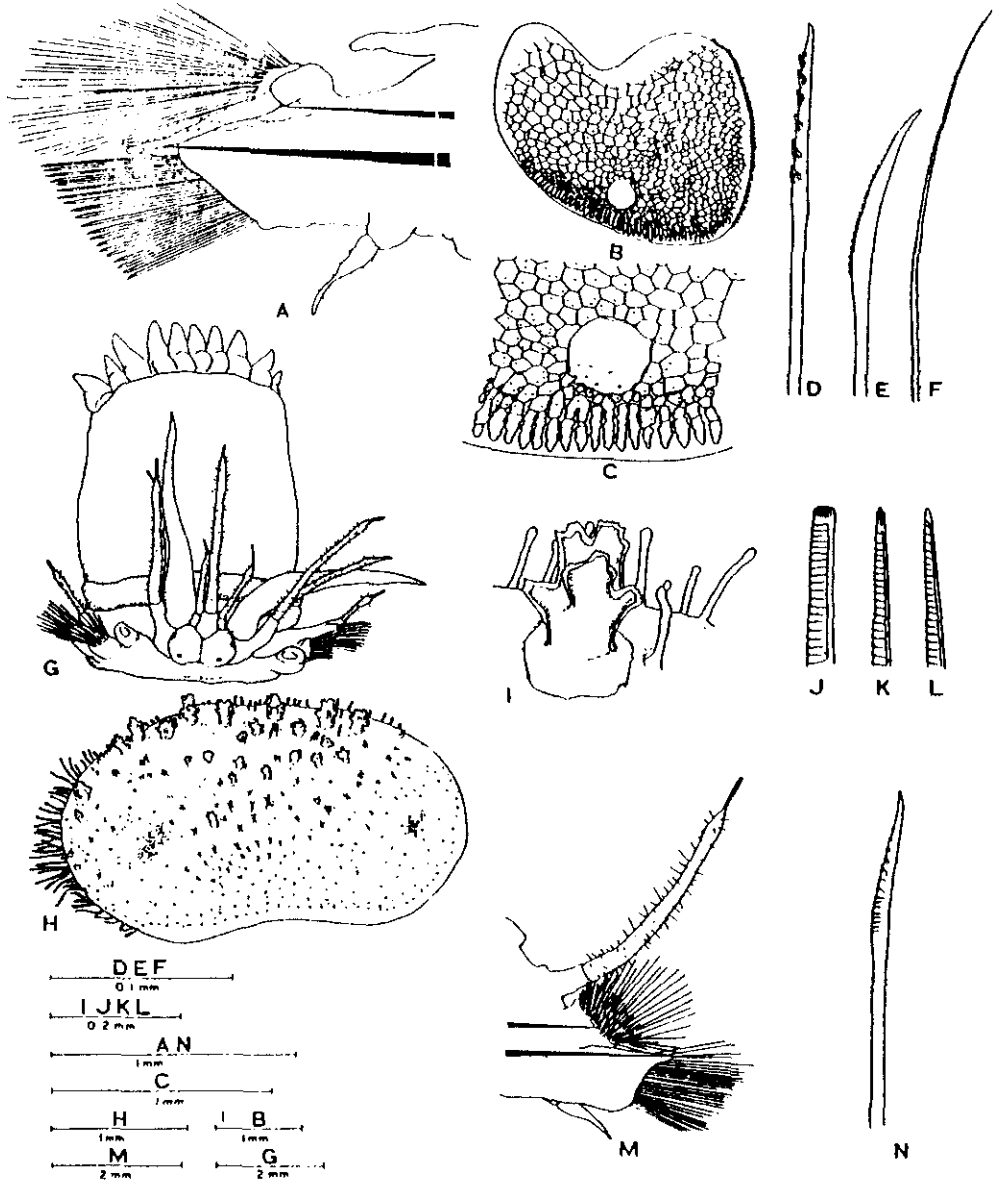
Washington Press, pp. 1-89.

- _____. 1969. Review of some species referred to *Scaliscotus* McIntosh (Polychaeta, Polynoidae). Proc. Biol. Soc. Wash., 82 : 1-30.
- _____. 1976. Revision of the genus *Macellicephalo* McIntosh and the Subfamily Macellicephalinae Hartmann-Schroder (Polychaeta: Polynoidae). Smithson. Contr. Zool., 229 : 1-71.
- Potts, F.A. 1910. Polychaeta of the Indian Ocean. P. 2. The Palmyridae, Aphroditidae, Polynoidae, Acoetidae and Sigalionidae. Trans. Linn. Soc. London, 2, 16 : 325-353.
- Rho, B.J and K.H. Song 1975. On the classification and the distribution of the marine benthic animals in Korea. 2. Polychaetous annelids. J. Kor. Res. Inst. Bet. Liv., 14 : 95-118.
- Rullier, F. 1972. Annélides polychètes de Nouvelle-Calédonie. Expéd. Franc. Récif Coral. Nouv. Caled., 6 : 1-169.
- Seidler, H.J. 1923. Beiträge zur Kenntnis der Polynoden. I. Arch. Naturg. 89A, 11 : 1-217.
- Southern, R. 1914. Archiannelida and Polychaeta. Proc. R. Irish Acad. Dublin, 31, 47 : 10-60 (Clare Island Survey).
- Uchida, H. 1977. Polychaetous annelids from Kishu. I. Aphroditoidea (1). The Nanki Biological Society: 6-12. (In Japanese)
- _____. 1983. "Commensal" polychaetes of the family Polynoidae. Benthos Research, 24 : 1-23. (In Japanese)
- Ushakov, P. 1955. (Polychaetous annelids of the Far Eastern Seas of the USSR). (In Russian). Akad. Nauk SSSR, Keys to the Fauna of the SSSR, 56 : 1-433 (translated 1965 by Israel Program Scientific Translation, Jerusalem).
- Ushakov, P., and B.L. Wu. 1959. (The polychaetous annelids of the families Phyllodocidae and Aphroditidae from the Yellow Sea). Arch. Inst. Oceanol. Sinica 1, 4 : 1-40. (In Chinese and Russian)
- Wu, B.L., S.D. Shee and M. Chen, 1975. Preliminary report of polychaetous annelids from Xisha Islands, Guangdong Province, China. Studia Marina Sinica, 10 : 65-104. (In Chinese)

수령 : 1985. 9. 3.

재택 : 1985. 9. 14.

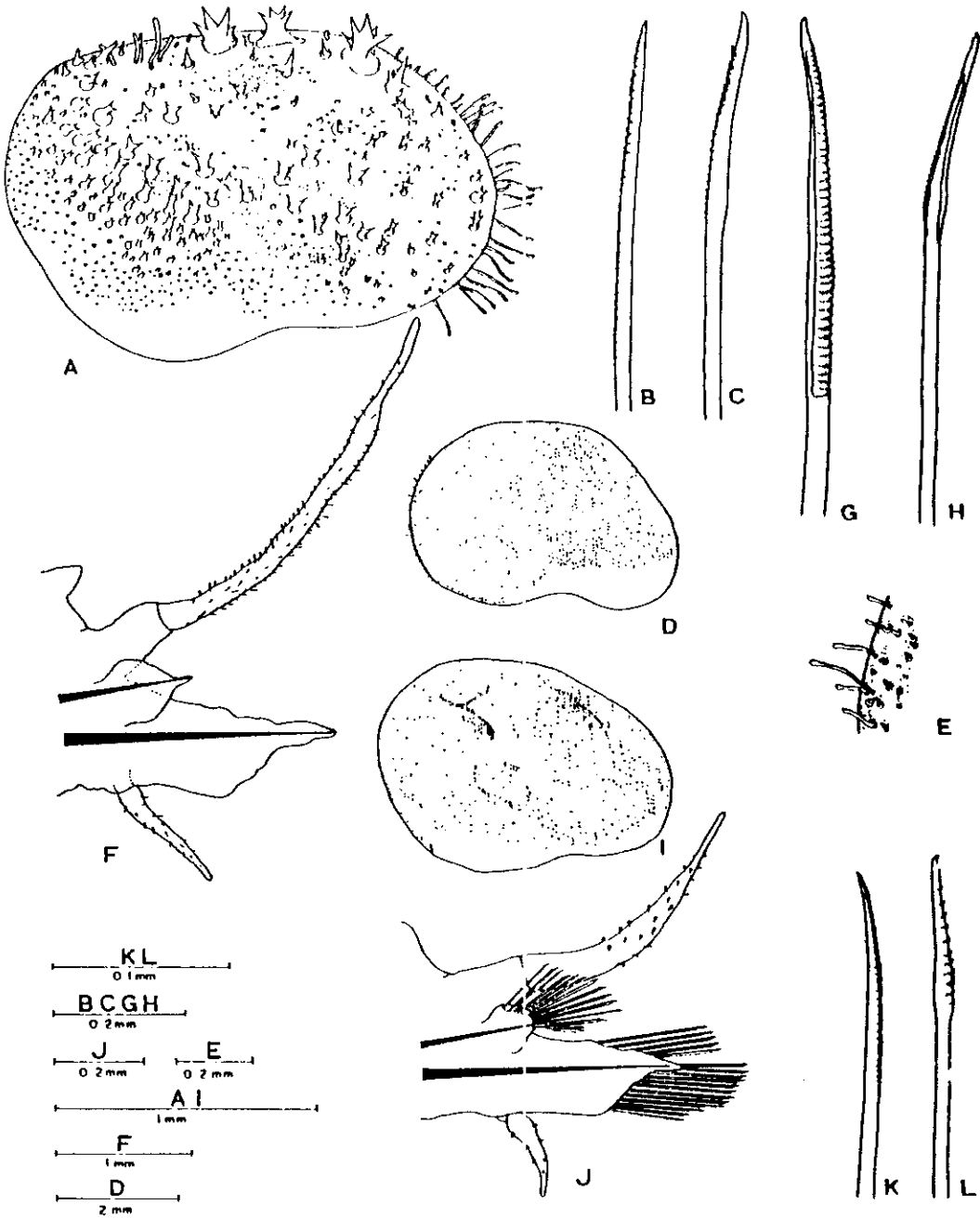
Plate I



Gallyana deludens: A 12th parapodium, anterior view; B. 6th elytron; C. marginal part of 6th elytron; D. neuroseta; E-F, notoseta.

Eunoe oerstedii: G. anterior end, dorsal view; H. 2nd elytron; I. macro-tubercle and marginal fringes on 2nd elytron; J-L. distal part of notoseta; M. 10th parapodium, anterior view; N. neuroseta.

Plate II

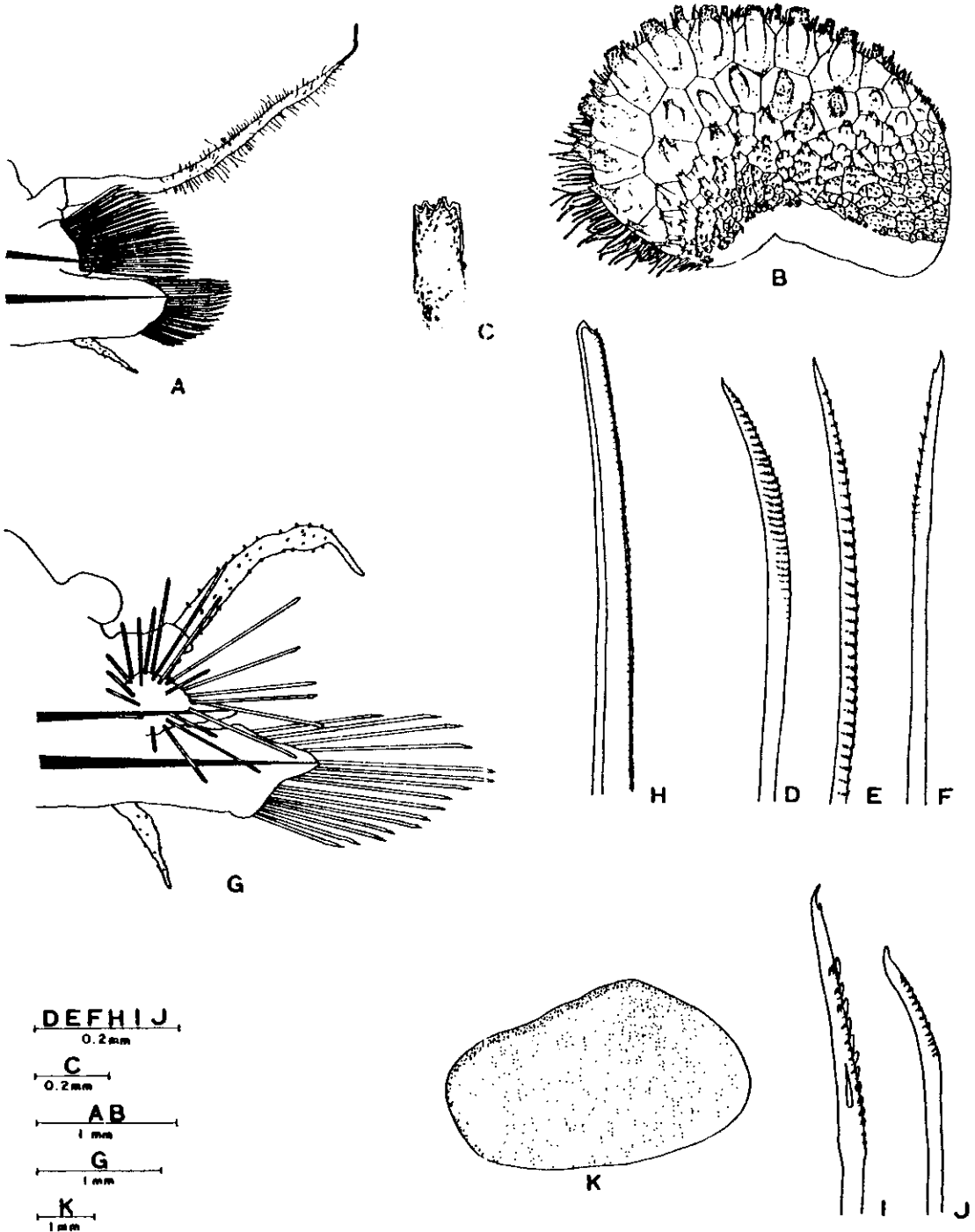


Eunocenta: A. 5th elytron; B. notoseta; C. neuroseta.

Harmothoe imbricata: D. 6th elytron; E. marginal part on 6th elytron; F. 8th parapodium omitted setae, anterior view; G. notoseta, H. neuroseta.

Harmothoe forcipata: I. 6th elytron; J. 10th parapodium, anterior view; K. notoseta; L. neuroseta.

Plate III



Harmothoe hirsuta: A. 6th parapodium, anterior view; B. 11th elytron; C. macrotubercle of 7th elytron; D-E. notoseta; F. neuroseta.

Lagisca waahli: G. 12th parapodium, anterior view; H. notoseta; I-J. neuroseta; K. 16th elytron.

韓半島 沿近海底 表層堆積物에서의 音波傳達速度와 減衰係數

金 聖 烈 · 石 奉 出

韓國科學技術院 · 海洋研究所

The Sound Velocity and Attenuation Coefficient of the Marine Surface Sediments in the nearshore area, Korea

Seong Ryul Kim and Bong Chool Suk

Korea Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 17, Yeong Dong, Seoul 135

要約: 3.5KHz 音源과 3個의 受振器를 使用하여 浦項, 釜山, 麗水 및 群山沿近海 水深 10~50m의 表層堆積物에서 音波傳達速度(Sound velocity)와 減衰係數(attenuation coefficient)를 求하였다. 연구 지역에서의 表層堆積物에서 측정된 音波傳達速度는 1,414~1,510m/sec, 減衰係數는 0.82~3.70dB/m 로 나타나고 있다. 堆積物과의 관계는 粒度和 空隙率에 따라, 또한 密度가 증가함에 따라 音波傳達速度가 증가한다. 音波傳達速度와 堆積物의 物性간에는 다음과 같은 관계식을 가진다. $V_p = 1512.28406 - 9.16083(M_s) + 0.20795(M_s)^2$, $V_p = 1876.15527 - 597.50397(d) + 210.48375(d)^2$, $V_p = 1559.47217 - 2.09266(n) + 0.00848(n)^2$. 여기서 V_p 는 音波傳達速度, M_s 는 堆積物의 平均粒度, d 는 密度 그리고 n 은 空隙率이다. 그러나 減衰係數와의 관계는 그 양상이 다르게 나타난다. 粒度和 密度가 증가하거나 空隙率에 감소함에 따라 減衰係數는 커졌다가 다시 작아지는 곡선관계를 보이는데 이를 2차회귀방정식으로 나타내면 다음과 같다. $a = 1.85217 + 0.67197(M_s) - 0.09035(M_s)^2$, $a = -48.87859 + 58.21721(d) - 16.35143(d)^2$, $a = 2.06765 + 0.07215(n) - 0.00111(n)^2$. 여기서 a 는 減衰係數, M_s 는 平均粒度, d 는 密度, n 은 空隙率이다. 減衰현상이 가장 심한 堆積相은 실트질 砂~細砂로서 k 값은 0.86~0.89dB/m/KHz이다.

Abstract: The sound velocity (compressional wave) and attenuation coefficient in the marine surface sediments in the nearshore areas off the Pohang, Pusan, Yeosu and Kunsan were investigated in terms of the geotechnical properties of the marine surface sediments in the water depth range of 10-50 meters.

The marine surface sediments in the study areas are variable, that is, sand to clay. Due to the various four different study area, the sound velocities and attenuation coefficients in the surface sediment facies vary 1,414m/sec to 1,510m/sec in velocity and 0.82dB/m to 3.70dB/m in coefficient respectively. In fact, the sound velocity increases with increasing of density and mean grain sizes of the sediments, and however, with decreasing of porosity.

The correlation equations between the sound velocity and geotechnical properties of mean grain size, density, and porosity were expressed as the following: $V_p = 1512.28406 - 9.16083(M_s) + 0.20795(M_s)^2$, $V_p = 1876.15527 - 597.50397(d) + 210.48375(d)^2$, $V_p = 1559.47217 - 2.09266(n) + 0.00848(n)^2$, where V_p is sound velocity, M_s is mean grain size, d is density, and n is porosity, respectively. However, the relationship between the attenuation and geotechnical properties were different from that of sound velocity and geotechnical properties. Furthermore, the correlation equations between attenuation coefficient and geotechnical properties were expressed as the following: $a = 1.85217 + 0.67197(M_s) - 0.09035(M_s)^2$, $a = -48.87859 + 58.21721(d) - 16.35143(d)^2$, $a = 2.06765 + 0.07215(n) - 0.00111(n)^2$, where a is attenuation coefficient. The high attenuation appeared in the silty sand through fine sand facies in sediment and k values in these facies were in the range of 0.86 to 0.89 dB/m/KHz.

序 論

韓半島沿近海底 表層堆積物에서의 음파傳達速度와 減衰係數를 구하기 위하여 浦項, 釜山, 麗水 및 群山周圍 水深 10~50m海底에서 25個 定點을 設定하여 調査하였다. 使用된 音源은 3.5 KHz의 고정주파수 transducer이었다(Fig. 1).

海底堆積物에서 음파傳達速度를 측정하거나 음향학적 減衰현상을 밝힌다는 것은 결국 堆積物의 彈性的 性質을 究明하는 것이며 이러한 특성은 堆積物의 粒度, 密度, 空隙率 等の 物理內 성질과는 서로 복잡적으로 작용하므로 海底堆積物에서 理論的인 彈性(또는 粘性) 모델을 선정하기 위한 중요한 요인이 된다(Hamilton, 1972).

減衰係數에 관한 研究는 이미 太平洋과 大西洋의 沿近海底, 深海底 및 地中海에서 多數의 研究가 수행되었고(Akal, 1972; Buchan et al., 1967; Hamilton et al., 1956; Hamilton, 1972; Hamilton and Bachman, 1982; Nafe and Drake, 1963; Smith, 1974) 또한 堆積物에서의 음향학적 특성과 물성과의 상관성에 의한 음향학적 모델 연구도 제시되었다(Hamilton, 1971, 1974; Richardson and Young, 1980; Dicus and Anderson, 1982). 그러나 현재에 이르기까지 韓半島周圍海底堆積物에서의 研究는 비교적 많지 않다.

本 研究는 自體的으로 제작한 측정장치의 音源發信裝置(transducer)를 海底面下 2~5cm에 고정시켜 現場測定方法(in-situ measurement)으

로 실시하였다. 海底試錐試料의 實內分析方法은 현재로서는 측정장치의 비미로 제외되었다.

本 研究의 目的은 1) 韓半島周圍 沿近海底 表層堆積物에서의 음파傳達速度와 減衰係數를 提示하고, 2) 이에 따른 각 대상지역의 音響特性을 밝히고, 3) 堆積物의 粒度, 密度 및 空隙率과의 相關性을 究明하여, 4) 海底表層堆積物에서의 음파傳達速度와 減衰現象을 豫報하는 基本資料를 獲得코져 한다.

現場調査

音源으로 부터 受振器(hydrophone)와의 간격이 각각 1m, 2m 및 3m가 되도록 4m 길이의 철재 frame을 製作한 다음, 音波發信裝置(transducer)와 3개의 受振器를 부착시켰다. 그리고 水深과 潮流를 고려하여 signal cable은 각각 200m씩을 연결하였다.

frame이 海底面에 완전히 내려졌을 때 音波發信裝置를 조정하는 O.R.E.(Ocean Research Equipment Ltd.) 140 transceiver에서 trigger pulse는 1초 간격으로, power는 2.5kW, pulse length

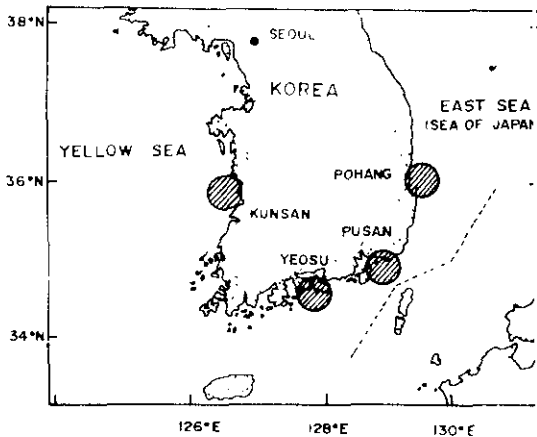


Fig. 1. Map showing the locations of the study area.

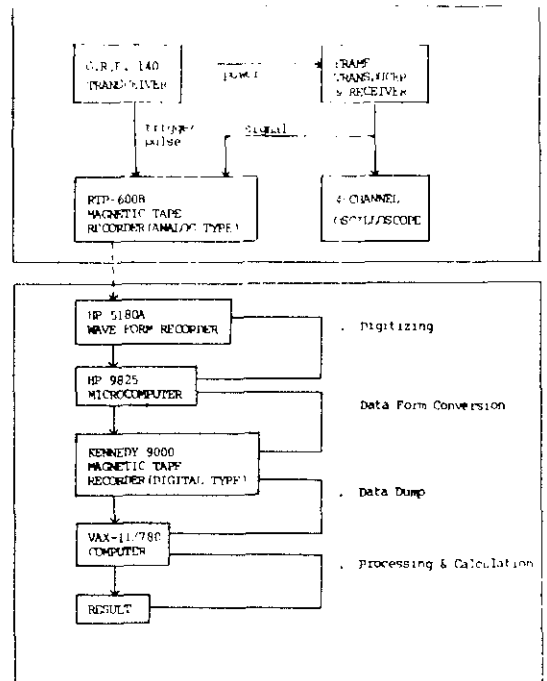


Fig. 2. Block diagram of sound velocity and attenuation coefficient calculation. upper part: In-situ, lower part: Lab. work.

는 0.2 msec 그리고 周波數는 3.5 KHz로 固定하여 音波를 發信하였다. 4-channel의 oscilloscope에서 일단 受振器에 잡히는 信號를 확인한 다음 analog形의 RTP-600B 磁氣테이프記錄計에 trigger pulse와 함께 受振器로부터 들어오는 信號를 錄音하였다. 이때 trigger pulse는 5V, 受信信號는 0.2V로 각각 input range를 固定하여 周波數變調方式으로 錄音하였으며, 磁氣테이프의 回轉速度는 38.1cm/see로써 이것은 DC로부터 10KHz까지의 周波數 信號를 錄音할 수 있는 가장 빠른 速度이며 S/N比는 49dB이다.

이상의 現場調查方法을 block diagram으로 圖示하면 Fig. 2와 같다.

室內分析

現場에서 磁氣테이프에 錄된 자료의 형태는 analog形의 信號이다. 따라서 이 信號를 分析하기 위하여 計數化시킬 필요가 있다. analog 形의 자료를 digital 形의 자료로 變換시키는 HP 5180A wave form recorder를 이용하여, sampling 간격은 5μsec로, sampling 갯수는 1,024개를 취하여 5.12 msec 동안의 信號를 計數化시킨 다음 HP 9825 microcomputer에 入力시켰다. 그리고 자료의 形態를 standard 9-track format로 變換시키기 위하여 다시 digital 形의 Kennedy 9000 磁氣테이프 記錄計에 옮긴 후 大型 컴퓨터인 VAX-11/780에 dump 시키므로써 우리가 일반적으로 處理할 수 있는 基本資料를 만들었다. 이 과정을 block diagram으로 圖示하면 Fig. 2와 같다.

일단 波形의 特性을 考察하기 위하여 音源으로부터 受振器와의 間隔이 1m에서 記錄된 波形을 H1, 2m에서의 波形을 H2 그리고 3m에서의 波形을 H3라고 한 때, 각각의 調查定點에서 記錄된 3개의 波形은 Fig. 3과 같다. 音源에서 가까운 受振器에서 記錄된 信號일 수록 振幅이 크고, 波形의 形態가 잘 유지되어 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3에 나타나 있는 波形의 크기는 電壓의 單位가 0.5V의 幅으로 計數化된 것을 세로 축에 表示하였다.

表層堆積物에서의 音波傳達速度를 구하기 위하여 H1, H2 및 H3의 波形을 서로 cross corre-

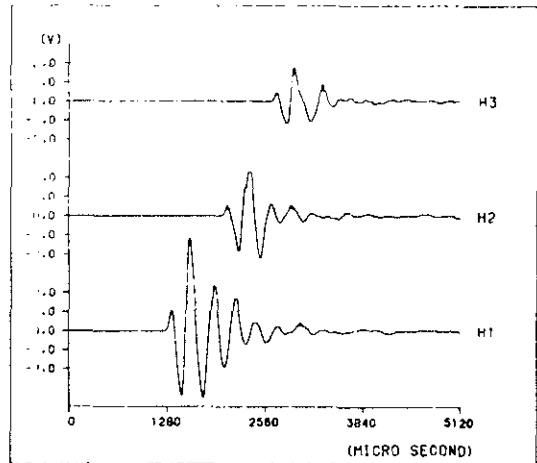


Fig. 3. Attenuation signal traces at station 01 in the Pusan area. H1, H2 and H3 are fixed at 1m, 2m and 3m distance from sound source, respectively.

lation 시켰다(Davis, 1973). 그 이유는 受振器간의 距離는 1m 씩으로 고정되어 있으므로 각각의 波形에서 振動의 時間 차이만 구하면 바로 速度는 계산될 수 있기 때문이다. 振動을 제일 먼저 시작하는 H1 波形의 1,024개 자료들을 한 step씩 이동(shift) 시키면서 H2의 자료와의 積을 계산한 다음 絶대값을 취하고 이 과정은 1,024의 반복 수행한 결과가 Fig. 4에서 제일 하부의 그림이다. 따라서 2개의 波形 간에 가장 잘 일치하는 위치가 맞번째 인가를 결정하므로써 振動의 時間 차이는 구할 수 있다.

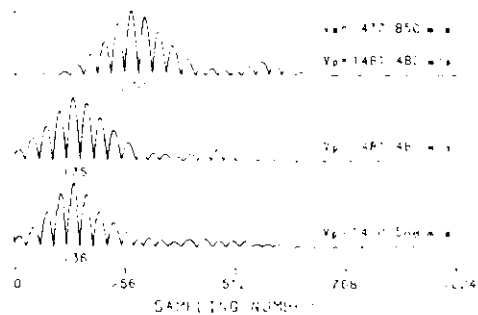


Fig. 4. Result of cross correlation between H1 signal trace with H2 (lower part), H2 with H3 (middle part) and H1 with H3 (higher part). Vp: sound velocity, Va: average sound velocity.

Fig. 4에서 보면 H1과 H2의 cross correlation 결과인 제일 하부 그림에서 최대치는 136이다. 그리고 sampling 간격은 5μ sec이고, H1과 H2의 受振器 간격은 1m이므로 곱하여 逆數를 취하면 音波傳達速度는 1470.588m/sec로 계산된다. 동일한 방법으로 H2와 H3 그리고 H1과 H3에서 각각 cross correlation 하므로써 계산된 速度들을 평균하여 音波傳達速度(Fig. 4에서 Va)를 결정하였다.

에너지가 媒質을 따라 傳達될 때 에너지의 強度는 媒質의 特性和 통과 거리의 기하학적 영향에 따라 감소하게 된다. 이러한 減衰現象을 정량적으로 밝히는 방법으로는 측정 周波數의 비를 이용하는 방법과 일정한 周波數에 대한 振幅의 비를 이용하는 방법으로 크게 두가지를 들 수 있는데 (Bath, 1979), 본 연구에서는 후자의 방법으로 減衰係數를 구하였다.

에너지의 強度는 波形振幅의 제곱으로 표시할 수 있으므로 (Telford et al., 1979) 각각의 受振器에 記錄된 波形들을 Fourier 변환(FFT) algorithm에 의한 周波數 영역에서의 振幅 스펙트럼(amplitude spectrum)을 구하므로써 減衰係數를 계산하였다(Clearbout, 1976). 따라서 이를 수식으로 표현하면,

$$A_{rf} = \frac{r_0}{r} A_{0f} e^{-a(r-r_0)} \quad (1)$$

이 된다(Dobrin, 1981). 여기서 A_{rf} 는 r 거리에서 f 周波數의 振幅, A_{0f} 는 音源에서 f 周波數의 振幅, r_0 는 音源, r 은 音源으로부터 受振器까지의 거리, 그리고 a 는 減衰係數로써 단위는 neper이다. 그러나 본 연구에서는 音源에서의 振幅을 알 수 없으므로, 단위거리 (1m)에서의 振幅을 기준으로 하여 $r_0=1$ 이고, A_{0f} 는 A_{1f} 로 표시할 수 있다. 따라서 式(1)을 정리하면

$$\frac{A_{rf}}{A_{1f}} = \frac{1}{r} e^{-a(r-1)} \quad (2)$$

이고, 여기서 에너지가 振幅의 제곱에 비례하므로, 양변을 제곱한 다음 대수를 취하면

$$\log_{10} \left(\frac{A_{rf} \cdot r}{A_{1f}} \right)^2 = \log_{10} (e^{-2a(r-1)}) \quad (3)$$

와 같이 표현할 수 있는데, 일반적으로 減衰에 의한 transmission loss는

$$TL_{att} = -10 \log_{10} \left(\frac{E}{E_0} \right) \quad (4)$$

로 표현되므로 (Caruthers, 1979), 式(3)에서 양변에 대수를 취한 것이다. 여기서 TL 은 transmission loss이고, E 는 에너지이다. 따라서 式(3)을 式(4)의 우변과 같이 변형하면

$$-10 \log_{10} \left(\frac{A_{rf} \cdot r}{A_{1f}} \right)^2 = -\log_{10} (e^{-2a(r-1)}) \quad (5)$$

와 같이 된다. 따라서 式(5)는

$$-\log_{10} \left(\frac{A_{rf} \cdot r}{A_{1f}} \right) = a(r-1) \log_{10} e \quad (6)$$

이나, 그런데 여기서 단위는 neper로써 1 neper/m는 $20 \log_{10} e$ dB/m이므로 (Sheriff, 1976), 式(6)의 단위를 dB/m로 바꾸기 위하여 양변에 20을 곱하고 정리하면

$$\left[20 \cdot \log_{10} \left(\frac{A_{rf} \cdot r}{A_{1f}} \right) \right] / (r-1) = a \cdot 20 \log_{10} e \quad (7)$$

로 최종 정리된다. 따라서 式(7)에 적용될 A_{rf} 값은 일에서 언급한 振幅 스펙트럼 값을 대입하므로써 減衰係數 a 값을 구할 수 있다.

그런데 Fig. 5에서 알 수 있듯이 音源을 固定 周波數 3.5 KHz를 사용한다 할지라도, 에너지가 媒質을 통과한 거리에 따라 그 spectrum의 결과는, 최대값이 감소하면서 점점 低周波數 쪽으로 偏向한다는 일반적인 사실을 잘 보여주고 있다. 그리고 H1에서 振幅 스펙트럼의 최대값

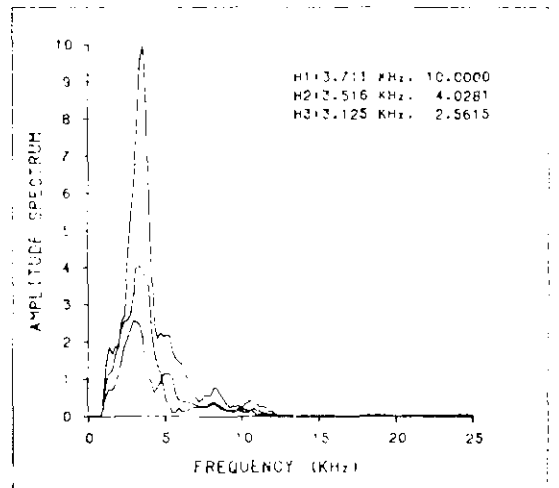


Fig. 5. Amplitude spectra of H1 (1m distance from sound source), H2 (2m) and H3 (3m)

이 항상 10이 되도록 표준화(normalizing)시켰으며, H2와 H3에서의 스펙트럼 량도 이에 상응하는 비율로 보정하였다. 실질적인 계산은 각각의 최대값을 이용하여 H1에 대한 H2의 減衰係數를 먼저 구하고, 그 다음 H2에 대한 H3를 그리고 H1에 대한 H3를 각각 구한 다음 이들의 평균값을 취하므로써 減衰係數를 결정하였다.

Van Veen grab 및 piston corer를 사용하여 채취된 表層堆積物의 시료는 粒度分析 및 堆積物의 物性(密度, 含水率, 空隙率)을 측정하기 위하여 각각 분리되었다.

粒度分析을 위하여 30% H₂O₂와 0.1N HCl을 차례로 넣어 유기물 및 탄산염을 제거하였다. 이 시료를 4φ 표준체를 사용하여 4φ이하의 砂質堆積物과 4φ이상의 泥質堆積物을 습식체질로 분리 건조시킨 후 정량하고, 다시 砂質堆積物은 Roe tap 체 진동기로 15분간 체질한 다음 0.5φ 간격의 粒度 변 무게 百分率을 구하였다. 泥質堆積物은 2g을 취하여 0.1% calgon 용액 300ml에 넣고 磁氣振動器 및 초음파진동기로 균질하게 분산시킨 후 Sedigraph 5000D 粒度分析器를 사용하여 분류하고 粒度 별 무게 百分率을 구하였다. 측정된 粒度별 함량은 Folk (1954, 1968), Folk and Ward (1957), Shepard (1954)의 방법에 의해 구분하였다.

堆積物의 密度 및 空隙率은 각각 다음 식에 의하여 구하였다.

$$d = (W - W_c) / V_c$$

여기서 d 는 全密度(bulk density, g/cm³)로써 海水에 포화된 堆積物 시료의 단위 면적당 무게이며, W 는 시료와 용기의 합한 무게, 그리고 W_c 와 V_c 는 각각 용기의 무게와 부피이다. 그리고 空隙率은

$$n = 100 \cdot e (1 - e)$$

로써 n 은 空隙率(%), e 는 密度 및 含水率에서 구한 堆積物의 void ratio이다.

結 果

海底表層堆積物의 物性, 音波傳達速度 및 減衰係數는 Table 1과 같다. 堆積物의 物性中 平均粒度는 0.07~8.89φ, 密度는 1.42~1.89g/cm³ 그리고 空隙率은 35.00~75.60%로 그 변화

폭이 심하게 나타난다. 堆積相에 의한 지역적 분포 특징은 浦項에서 clayey silt~sand로 가장 변화가 심하며 釜山과 麗水지역은 silty clay로 거의 같은 堆積相에 해당하고 群山地域은 주로 sand가 우세하게 분포되어 있다.

堆積物의 物性中 空隙率과 粒度關係를 圖示하면 Fig. 6과 같다. 이들의 관계를 2차식회귀곡선으로 나타내면

$$n = 36.48061 + 2.18940(M_z) + 0.26362(M_z)^2$$

이다. 여기서 n 은 空隙率(%)이고 M_z 는 平均粒度(ϕ)이다. 이 식의 상관계수 R 은 0.887로 비교적 양호한 상관관계를 보이고 있다. 本研究에서의 堆積物은 平均粒度가 4φ이하의 sand가 우세한 特性和 6φ이상의 silt 또는 clay가 우세한 특성으로 크게 양분되며 전자는 群山海域, 후자는 釜山 및 麗水海域의 堆積物이 대표된다.

調査地域內 海底表層堆積物에서의 音波傳達速度는 1,444m/sec에서 1,510m/sec, 減衰係數는 0.82dB/m에서 3.70dB/m까지 분포하며 堆積物의 物성이 地域적으로 크게 구분되는 것처럼 音波傳達速度의 結果에서도 1,470m·sec를 전후하

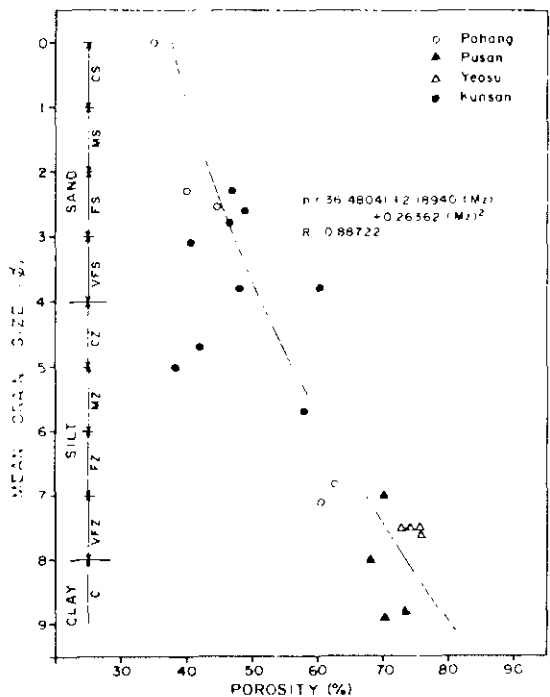


Fig. 6. Relationship between porosity and mean grain size in the surface sediment.

Table 1. Physical properties, sound velocities and attenuation coefficients of the offshore surface sediments.

AREA	NO.	LAT.(N)	LONG.(E)	WD	FACIES	MZ	DEN	POR	VEL	ATT
POHANG	02	36°02'30"	129°27'30"	21	c Z	6.82	1.56	62.43	1,419	2.04
	04	36°03'15"	129°28'30"	24	c Z	7.17	1.60	60.61	1,461	2.87
	05	36°05'00"	129°29'00"	21	S	2.52	1.81	44.28	1,504	2.73
	09	36°06'15"	129°30'00"	27	g S	0.07	1.85	35.00	1,510	1.81
	10	36°06'15"	129°33'00"	34	S	2.29	1.85	40.00	1,489	3.24
PUSAN	01	34°56'38"	128°51'00"	35	z C	8.82	1.42	73.00	1,447	1.14
	02	34°58'20"	128°54'00"	34	z C	8.89	1.43	70.00	1,444	0.82
	92	34°59'40"	128°57'30"	36	z C	7.02	1.46	70.00	1,461	1.59
	93	35°40'00"	129°08'40"	18	z C	8.00	1.52	68.00	1,450	1.32
YEOSU	51	34°43'25"	127°49'33"	21	z C	7.47	1.46	72.60	1,460	1.08
	52	34°42'17"	127°50'39"	30	z C	7.50	1.49	74.10	1,457	2.01
	54	34°39'40"	127°51'52"	30	z C	7.50	1.54	75.30	1,453	1.15
KUNSAN	55	34°38'49"	127°56'20"	26	z C	7.60	1.54	75.60	1,457	1.77
	01	35°36'02"	126°28'36"	2	S	3.12	1.83	40.48	1,487	3.70
	02	35°56'05"	126°20'12"	25	S	2.77	1.83	46.50	1,481	2.88
	03	35°55'57"	126°15'24"	35	S	3.80	1.84	60.40	1,476	2.55
	04	35°56'00"	126°10'24"	30	S	2.25	1.89	47.06	1,493	2.63
	05	35°48'00"	126°11'54"	31	S	1.75	1.84	---	1,509	2.49
	06	35°48'00"	126°08'00"	35	S	2.57	1.80	48.85	1,481	3.08
	08	35°42'03"	126°19'32"	9	S	3.77	1.83	48.19	1,481	3.66
	09	35°41'54"	126°10'30"	25	s Z	4.71	1.63	42.10	1,471	3.03
	11	35°36'06"	126°10'51"	12	Z	4.97	1.68	38.39	1,471	2.74
	12	35°31'09"	126°21'10"	1	z S	4.96	1.79	---	1,465	3.31
	13	35°31'02"	126°11'36"	7	s Z	6.58	1.78	---	1,471	2.86
	14	35°30'54"	126°07'20"	9	s Z	5.70	1.74	57.95	1,471	2.61

* WD : water depth (m), MZ: mean grain size(ϕ), DEN: wet density (g cm^{-3}), POR: porosity (%),
VEL: velocity (m sec^{-1}), ATT: attenuation coefficient (dB/m at 3.5 KHz), zC: silty clay, sZ: sandy silt,
zS: silty sand, cZ: clayey silt, gS: gravelly sand

이釜山 및麗水해역에서는 그速度가 다소 낮게 분포하고 있으며 群山해역에서는 비교적 높게 분포한다. 그러나浦項海城은 넓게 그 변화폭이 크게 나타난다. 減衰係數에 있어서도 같은 양상으로 釜山 및麗水海城에서 0.82~2.01dB/m로 낮고 群山海城에서는 2.49~3.70dB/m로 높게 나타나며 浦項海城에서는 1.81~3.21dB/m로 다소 높으면서 넓게 분포하고, 3항을 보여주고 있다.

考 察

1. 音波傳達速度

海底表層堆積物內에서의 音波傳達速度는 제작된 모형내에 音波發信器가 海底面下 2~5cm에 고정되어 測定된 結果로 전반적으로 낮게 분포

하고 있다. 따라서 海底堆積層(第1層)內에서의 音波傳達速度와는 구별되어야 한다. 表層에서 測定한 音波傳達速度가 海底堆積層內에서의 速度보다 낮은 이유는 첫째 堆積物의 媒質, 둘째 固結程度, 셋째 bioturbation에 의한 영향 등을 들 수 있다. Richardson과 Young(1980)에 의하면 bioturbation 영향으로 인하여 音波傳達速度는 약 30m/sec정도 감소한다고 제시하였다. 본 연구결과에서 유추하면 海底堆積層(第1層)에서의 音波傳達速度는 約 1,480m/sec에서 1,540 m/sec 정도로 分布한 것으로 추정된다.

音波傳達速度和 堆積物의 物性과의 관계를 밝히기 위하여 平均粒度, 密度 및 空隙率에 대한 音波傳達速度와의 관계를 圖示하고(Figs. 7, 8, 9) 이들의 상관관계는 2차식에 fitting하므로써 상관

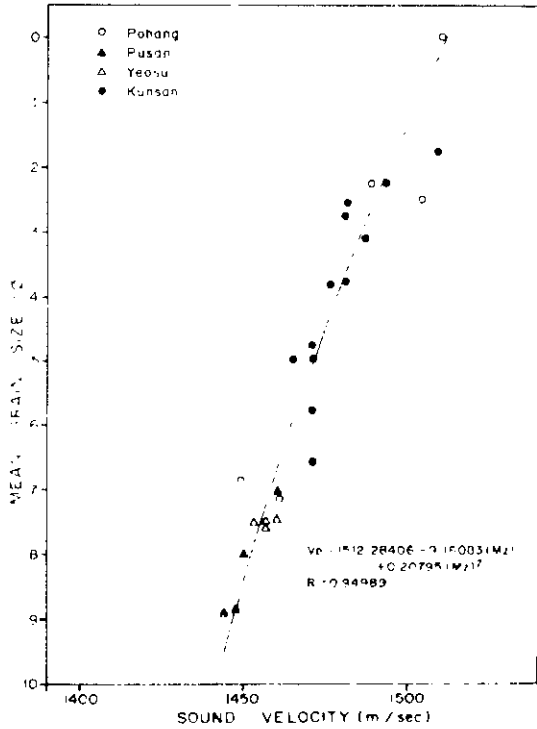


Fig. 7. Relationship between sound velocity and mean grain size.

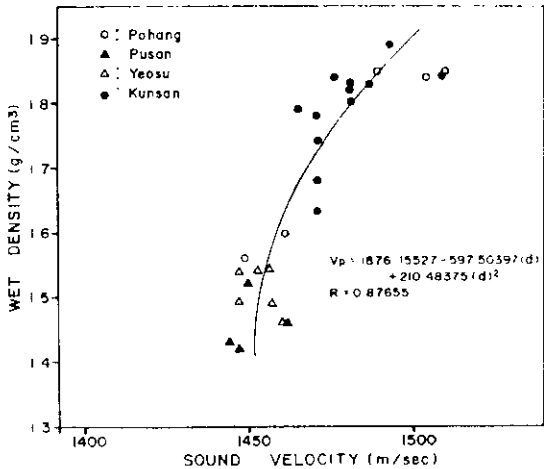


Fig. 8. Relationship between sound velocity and wet density.

계수를 구하였다. 粒度, 密度 및 空隙率과의 상관계수는 각각 0.94989, 0.87655, 0.83955로 양호하며 이들의 2차회귀곡선 상관관계식은

$$V_p = 1512.28406 + 9.16083(M_z) + 0.20795(M_z)^2$$

$$V_p = 1876.15527 - 597.50397(d) + 210.48375(d)^2$$

$$V_p = 1559.47217 - 2.09266(n) + 0.00848(n)^2$$

이다. 여기서 V_p 는 음파전달속도 (m/sec), M_z 는 입도(ϕ), d 는 밀도 (g/cm^3), 그리고 n 은 공극율(%)이다. 堆積物의 粒子가 작을수록, 密度가 낮을수록 그리고 空隙率이 클수록 音波傳達速度는 낮게 나타나고 있으며, 音波傳達速度의 變化幅은 平均粒度와 密度가 낮고 空隙率이 높은 부분에서 더 작게 나타난다. 세계 각 대양층 해저퇴적물에서의 음파전달속도의 變化幅은 空隙率이 높은 堆積物內에서 작게 나타나는 것으로 보고되었다(Hamilton, 1974).

2. 減衰係數

減衰係數와 堆積物의 粒度, 密度 및 空隙率과의 관계를 Fig. 10, 11, 12에 각각 나타내었다. 그리고 2차식회귀곡선을 구하므로써 相關係數와 關係式을 결정하였다. 平均粒度, 密度 및 空隙率과의 相關係數 R 은 각각 0.87214, 0.83915, 0.87167로 양호하며 이들의 相關關係式은

$$a = 1.85271 + 0.67197(M_z) - 0.09035(M_z)^2$$

$$a = -18.87595 + 58.21721(d) - 16.35143(d)^2$$

$$a = 2.06765 + 0.07215(n) - 0.00111(n)^2$$

이다. 여기서 a 는 減衰係數로써 單位는 dB/m이다.

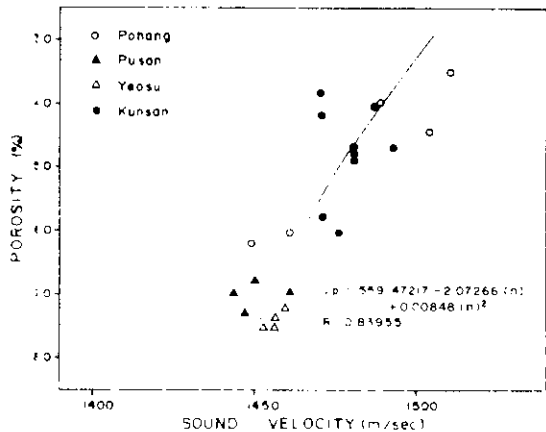


Fig. 9. Relationship between sound velocity and porosity.

堆積物의 減衰係數는 音波傳達速度와의 관계에서 나타난 경향과는 전혀 다른 양상을 보인다

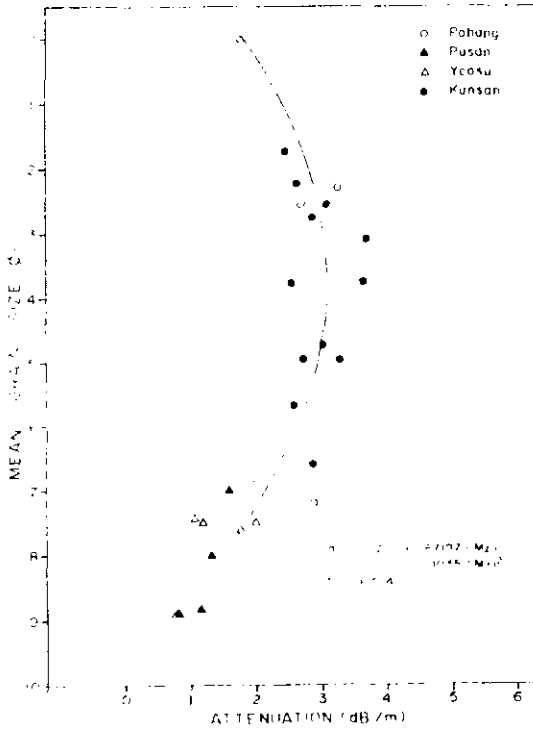


Fig. 10. Relationship between attenuation coefficient and mean grain size.

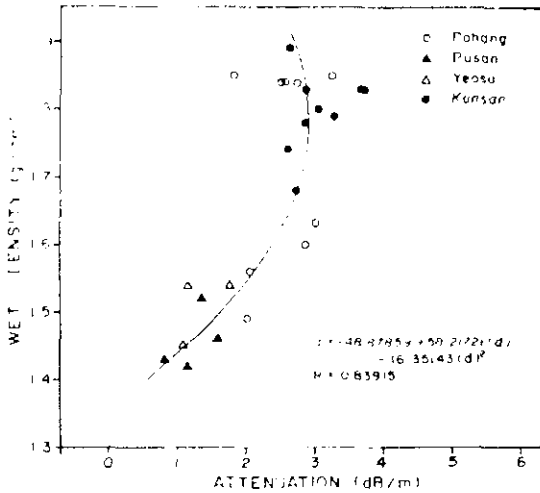


Fig. 11. Relationship between attenuation coefficient and wet density.

는 점이 특이하다. 즉 감쇄계수와와의 관계에 있어서는 선형비례관계에 있지 않다는 사실이다. 평균粒度와의 관계는 very fine silt에서 clay까지는 감쇄계수가 증가하나 sand에서는 粒子가

키질수록 다시 減少하는 傾向을 보여주고 있다 (Fig. 10). Smith(1974)는 北大西洋의 深海底 試錐資料와 大陸棚에서 채취한 資料를 이용하여 50KHz 주파수영역에서 堆積物과 減衰係數와의 相關關係를 구하였다. 그 結果에서 堆積物의 粒度 4~6φ구간에서 減衰係數는 最大値를 보인다고 제시하였다. 그리고 Stoll(1974)은 30KHz 고성주파수를 이용하여 역시 같은 結果를 얻었다. Shumway(1960), McCann과 McCann(1969), 그리고 Hamilton(1972)은 넓은 주파수 영역에서 역시 같은 結果를 제시하였다. 堆積物의 粒度는 密度와 空隙率과 서로 線形關係에 있으므로 Fig. 11과 Fig. 12에서도 같은 양상을 보여준다.

3. 周波數에 따른 減衰係數

減衰係數는 周波數의 函數로써 $a=kf^n$ 으로 표시된다. 여기서 a 는 減衰係數(dB/m), f 는 周波數(KHz), k 는 比例常數이다. 그리고 n 은 일반적으로 거의 1에 가까운 指數이다. 그러므로 동일한 媒質에 대하여 周波數를 變化시킨다면 k 는 常數이므로 고주파수일수록 減衰係數 a 는 증가하게 된다. 그런데 본 연구에서는 고성주파수 3.5KHz의 음원을 사용하였으므로 韓半島沿近海底 表層堆積物에 적용될 수 있는 常數값 k 는 적절 常數로 決定될 수 없다.

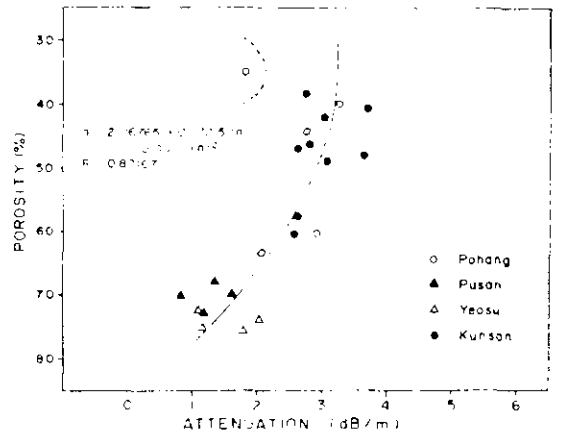


Fig. 12. Relationship between attenuation coefficient and porosity.

Hamilton(1972)은 Busby와 Richardson(1957), Zemstov(1969), Tullos와 Reid(1969), Bennet(1967), 그리고 Vasil'ev와 Gurevich(1962)의 결

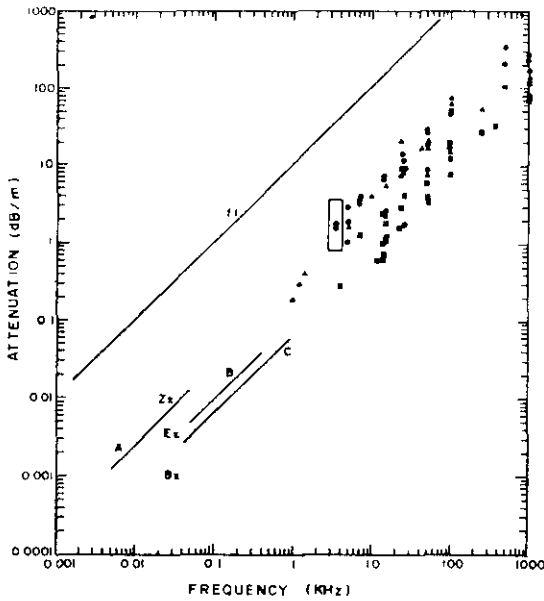


Fig. 13. Attenuation versus frequency in natural, saturated sediments and sedimentary strata; Symbols: circles-sands (all grades); squares-clayey silt, silty clay; triangles-mixed sizes (e.g., silty sand, sandy silt, sand-silt-clay); sand data at 500 and 1000 KHz from Busby and Richardson (1957). Low-frequency data: line A-Zemstov, 1969 (land, sedimentary strata); B-Tullos and Reid, 1969 (Gulf of Mexico coastal clay-sand); C-Bennett, 1967 (sea floor, reflection technique); Z-Zhadin (in Vasil'ev and Gurevich, 1962); E and B-Epinatyeva *et al.*, and Berzon (in Zemstov, 1969). Rectangle represents the result of this study. Line labelled f^1 indicates slope of any line having a dependence of attenuation on the first power of frequency.

과를 比較分析하였으며 (Fig. 13), 本 研究結果는 Fig. 13에서 주파수 3.5KHz 근처의 직사각형 부분에 해당된다. f^1 로 나타나 있는 직선은 $a = kf^n$ 에서 $n=1$, $k=10$ 일때의 경우이다. 그리고 분포하고 있는 점들은 減衰係數값에 있어서는 변화의 폭이 있지만, 경사에 있어서는 f^1 직선과 거의 평행하므로 k 값은 f^1 직선과 같은 경사를 유지하면서, 오른쪽으로 편향되는 量으로 결정되는 값이다. 따라서 韓半島 沿近海底 表層堆積物에서의 k 값은 $a = kf^1$ 식을 만족한다고 볼때 0.25 ~ 0.89dB/m/KHz의 범위를 갖는다고 볼 수 있다. 그러나 앞으로 3.5KHz 주파수 이외의 다른 주파수 영역에서 減衰係數를 구한다면 k 값은 어떤 범위가 아닌 常數값으로 決定될 수 있을 것이다.

4. 音波傳達速度와 減衰係數

앞節에서 언급한바와 같이 堆積物의 物性과 音波傳達速度와의 관계는 線形的인 比例關係에 있었으나 減衰係數와는 粒度 3~5φ에서 가장 減衰現象이 심한 것으로 나타난다. 따라서 音波傳達速度와 減衰係數關係는 역시 最大값 혹은 最小값을 갖는 2次曲線形態를 보일 것이다. 이런 양상을 확인하기 위하여 Hamilton (1972)과 Shumway (1960)가 제시한 減衰係數결과를 本 研究에서의 결과와 比較하였다 (Table 2). 그런데 減衰係數는 周波數의 函數이므로 使用周波數영역에 따라 달라지는 상대적인 값이다. 따라서 서로의 결과를 비교해 보기 위해서는 減衰係數값

Table 2. In-situ attenuation coefficients and sound velocities of sediment off Korea, and other previous results modified by Kim and Suk (this study).

Sediment type	Velocity (m/sec)			Attenuation (dB/m)			Frequency (KHz)			k (dB/m/KHz)		
	*A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Sand Coarse	1,510	1,752	—	1.81	53.1	—	3.5	100	—	0.50	0.53	—
Medium	1,509	1,630	1,737	2.49	47.3	9.4	3.5	100	26.6	0.73	0.47	0.35
Fine	1,489	1,684	1,693	3.04	52.1	9.6	3.5	100	26.0	0.86	0.52	0.37
Very fine	1,479	1,667	—	3.11	55.9	—	3.5	100	—	0.89	0.56	—
Silty sand	1,469	1,537	1,551	3.03	60.9	20.6	3.5	100	23.9	0.86	0.74	0.86
Sandy silt	1,471	1,619	1,541	2.61	74.3	11.8	3.5	100	23.6	0.75	0.56	0.50
Silt	1,461	1,465	1,548	2.34	15.9	7.8	3.5	100	24.2	0.67	0.16	0.32
Clayey silt	1,455	1,464	1,508	1.47	18.0	2.8	3.5	100	23.2	0.42	0.18	0.12
Silty clay	1,446	—	1,495	0.98	—	1.6	3.5	—	22.8	0.25	—	0.07

* A: value of this study, B: Hamilton (1972)'s data, C: Shumway (1960)'s data.

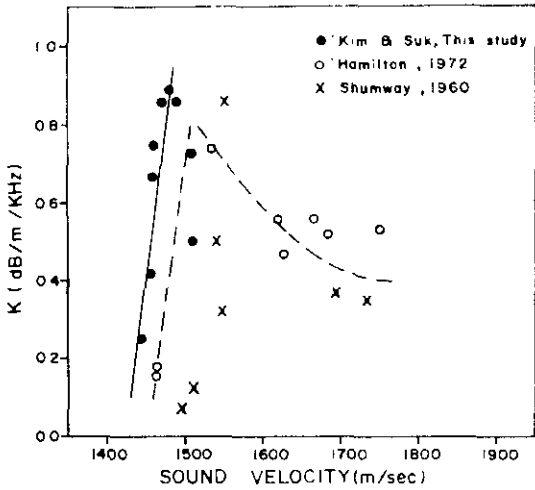


Fig. 14. Relationship between sound velocity and K value. The data from Hamilton (1972) and Shumway (1960) are converted and plotted for this study. solid line: measured (<1500m/sec), bar-dotted line: Predicted for removing of bioturbation and other physical factors, dashed line: by Hamilton and Shumway (>1500m/sec).

을 常數 k 로 환산할 필요가 있다. Table 2에서 A項은 Table 1을 다시 정리한 것으로써 粒度別로 분류된 平均값이며, B와 C項은 Hamilton과 Shumway가 제시한 자료를 본 연구결과와 비교하기 위하여 $a = kf$ 式에 주어진 減衰係數값과 周波數를 대입하여 k 값으로 환산한 것이다. Table 2에서 堆積物의 粒子가 砂아집에 따라 A, B 및 C의 경향은 완전히 일치하고 있다. 즉 音波傳達速度는 減少하고 k 값은 中間부분인 fine sand~sandy silt에서 최대값을 보이고 있다. Fig. 14는 Table 2에서 計算된 k (dB/m/KHz) 값과 音波傳達速度와의 관계를 표시한 것이다. 音波傳達速度의 分布範圍는 다르지만 전반적으로 k 값의 分布範圍는 비슷한 양상을 보인다. 본 연구결과를 直線으로 표시했을 때 bioturbation 영향을 고려한다면 點과 線分으로 표시되어있는 直線으로 移動시킬 수 있을 것이다. 따라서 音波傳達速度는 어떤 境界부분(약 1,550m/sec程度)을 中心으로 이보다 작을 경우 k 값은 경사가 급한 比例관계를 보이며 이보다 클 경우 경사가 완만한 反比例관계를 보이고 있다. 따라서 音波

傳達速度와 減衰係數와의 관계 역시 線形的 比例關係에 있지 않고 2次曲線관계에 있음을 알 수 있는데 이는 堆積物의 物性과 관련된 要因이 크게 작용하고 있으며 使用周波數에 따라 速度의 分布範圍도 함께 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

結 論

3.5KHz의 固定周波數를 音源으로 사용하여 韓半島沿近海底(浦項, 釜山, 麗水 및 群山) 表層堆積物에서의 音波傳達速度, 減衰係數 및 堆積物의 物性에 對한 本研究는 다음과 같이 結論 지워진다.

1. 音波傳達速度는 1,444m/sec에서 1,510m/sec, 減衰係數는 0.82dB/m에서 3.70dB/m로 分布한다.
2. 音波傳達速度는 堆積物의 粒子가 粗粒化해질수록, 密度가 클수록, 空隙率이 낮아질수록 增加한다.
3. 減衰係數가 增加함에 따라 堆積物의 粒子의 크기, 密度 및 空隙率은 증가하다가 다시 감소하며 粒度, 密度 및 空隙率은 각각 3~5φ, 1.6~1.8g/cm³, 20~30%에서 減衰現象이 가장 심하게 나타난다.
4. k 값은 0.25~0.89dB/m/KHz의 범위이며 堆積相이 fine sand~silty sand에서 그 값이 가장 크다.
5. 音波傳達速度가 1,480m/sec까지는 減衰係數가 增加하나 이보다 빠른 경우 다시 減少하는 경향을 보인다.

謝 辭

본 연구를 위하여 많은 조언을 주신 해양연구소 한상준 박사, 자료처리 및 분석을 위해 도움을 주신 동 연구소 박진태, 유해수, 김한준 연구원께 감사드린다. 그리고 현장조사를 위해 수고해 주신 해양연구소 조사선 인천 801호 승조원 여러분께 심심한 사의를 표한다. 또한 도면 작성을 해 주신 동 연구소 권수제, 최임숙 두 분께 감사드린다.

參 考 文 獻

- Akal, T. 1972. The relationship between the physical properties of underwater sediments that affect bottom reflection. *Marine Geology*, 13:251-266.
- Báth, M. 1979. *Spectral Analysis in Geophysics*. Elsevier Scientific Publishing Company, 333-346.
- Bennett L.C., Jr. 1967. In situ measurements of acoustic absorption in unconsolidated sediments (abstract). *Trans. Am. Geophys. Union*, 48:144.
- Buchan, S., F.C.D. Dewes, D.H. McCann and D.T. Smith. 1967. Measurements of the acoustic and geotechnical properties of marine sediment cores. In: A.F. Richard (Editor), *Marine Geotechnique*. University of Illinois Press, 65-92.
- Busby, J. and E.G. Richardson. 1957. The absorption of sound in sediments. *Geophysics*, 22:821-828.
- Caruthers, J.W. 1977. *Fundamentals of Marine Acoustics*. Elsevier Scientific Publishing Company, 96-98.
- Claerbout, J.F. 1976. *Fundamentals of Geophysical Data Processing*. McGraw-Hill, 1-23.
- Davis, J.C. 1973. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Willey & sons, 232-256.
- Dicus, R.L. and R.S. Anderson. 1982. Effective low-frequency geoacoustic properties inferred from measurements in the northeast Atlantic. *Acoustics Division Ocean Science and Technology Laboratory, Naval Ocean Research and Development Activity, NORDA Report 21*, 139p.
- Dobrin, M.B. 1981. *Introduction to Geophysical Prospecting* (3rd ed.). McGraw-Hill, 25-57.
- Folk, R.L. 1954. Distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geology*, 62:341-359.
- Folk, R.L. 1968. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill's, The Univ. Texas, U.S.A. 170p.
- Folk, R.L., and W.C. Ward. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameter. *J. Sed. Petro.*, 27:3-26.
- Hamilton, E.L., G. Shumway, H.W. Menard and C.J. Shippek. 1956. Acoustic and other physical properties of shallow water sediments off San Diego. *J. Acoust. Soc. Am.*, 28:1-15.
- Hamilton, E.L. 1971. Prediction of in-situ acoustic and elastic properties of marine sediments. *Geophysics*, 36:266-284.
- Hamilton, E.L. 1972. Compressional-wave attenuation in marine sediments. *Geophysics*, 37:620-646.
- Hamilton, E.L. 1974. Prediction of deep-sea sediment properties: state-of-the art. In: L. Hampton (Editor), *Deep-Sea Sediments*. Plenum Press, New York, N.Y. 1-43.
- Hamilton, E.L. 1974. Geoacoustic models of the sea floor. In: L. Hampton (Editor), *Physics of Sound in Marine Sediments*. Plenum Press, New York, N.Y. 181-221.
- Hamilton, E.L. and R.T. Bachman, 1982. Sound velocity and related properties of marine sediments. *J. Acoust. Soc. Am.*, 72(6):1891-1904.
- McCann, C. and D.M. McCann. 1969. The attenuation of Compressional waves in marine sediments. *Geophysics*, 34:882-892.
- Nafe, J.E. and C.L. Drake. 1963. Physical properties of marine sediments, In: *The Sea*, vol. 3: M.N. Hill, (Editor), New York, Interscience Publishers, 794-502.
- Richardson, M.D. and D.K. Young. 1980. Geoacoustic models and bioturbation. *Marine Geology*, 38:205-218.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sed. Petro.*, 24:151-158.
- Sheriff, R.E. 1976. *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics*, Society of Exploration Geophysicists, 226p.
- Shumway, G. 1960. Sound speed and absorption studies of marine sediments by a resonance method, Part I, Part II. *Geophysics*, 25:451-467, 659-682.
- Smith, D.T. 1974. Acoustic and mechanical loading of marine sediments. In: L. Hampton (Editor), *Physics of Sound in Marine Sediments*. Plenum Press, New York, N.Y., 41-61.
- Sole, R.D. 1974. Acoustic waves in saturated sediments. In: L. Hampton (Editor), *Physics of Sound in Marine Sediments*. Plenum Press, New York, N.Y., 19-39.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, R.E. Sheriff and D.A. Keys. 1976. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, 228-261.
- Tallos, F.N. and C. Roid. 1969. Seismic attenuation

- of Gulf coast sediments. *Geophysics*, 34:516-528.
- Vasil'ev Y.I. and G.I. Gurevich. 1962. On the ratio between attenuation decrements and propagation velocities of longitudinal and transverse waves. English translation, *Izv. Acad. Sci., USSR, Geophys. Ser.*, 12:1061-1074.
- Zemstov, E.E. 1969. Effect of oil and gas deposits on dynamic characteristics of reflected waves. *Int. Geology Rev.*, 11:504-509.



港灣料率 決定의 理論과 實際

經濟室長 鄭 聖 哲

(韓國科學技術院 海洋研究所)

I. 序 論

오늘날 大部分의 港灣에서는 國際貿易에 따른 貨物이 取扱되고 있으며 總輸送費用面에서 볼 때 港灣에서 發生하는 費用의 比重이 海上輸送費用의 比重보다 더 높게 나타나고 있다. 이러한 現象은 港灣에서의 싸어비스 過程이 複雜하고 港灣의 貨物處理能力이 그 需要에 미치지 못하기 때문에 일어나고 있음은 말할 나위도 없다. 심한 例로 1975年 아프리카 Lagos 港의 경우 船舶의 平均 待機時間이 240 일이나 된 적도 있었다.

港灣은 大部分 公共의인 性格을 띄고 있는 社會間接資本으로 생각할 수 있기 때문에 港灣의 目的은 單純한 利潤極大化가 아닌 社會的 便益의 極大化(maximization of social net benefit)에 있다고 할 수 있다. 따라서 港灣싸어비스의 效率의 供給을 위한 資源의 配分도 이러한 前提下에서 이루어져야하며 港灣料率 또한 資源의 配分을 適正化할 수 있는 水準에서 決定되어야 할 것이다.

그러나 港灣料率은 現實的으로 이러한 基本的인 原則과 多少 유리되어 있는 듯 하며 따라서 料

率決定에 대한 理論과 實際는 전혀 別個의 것이 되고 만 듯 하다.

본 稿에서는 港灣料率決定 理論을 論議하고 그러한 理論의 現實的인 問題를 檢討함으로써 港灣料率의 改善方案에 대한 示唆點을 찾아 보기로 한다.

2. 港灣機能의 主體와 港灣料率

海上輸送手段(船舶)과 陸上輸送手段間에 貨物의 흐름을 連結하는 段階가 複雜한 만큼 港灣內에서 일어나는 作業의 主體도 多樣하다. 例를 들어 貨物의 揚荷를 위해서는 港灣當局과 荷役會社間의 協助體制가 必要하며 貨物保管의 경우에도 相異한 機關끼리의 相互協力이 있어야 한다. 港灣內에서 提供되는 各種 싸어비스 및 이를 擔當하는 機關을 統計的으로 나타낸 것이 [表1]이다.

아래 表는 世界 各港灣의 現況을 調査한 結果를 要約한 것이며 따라서 港灣에 따라서 事情이 大이하게 다를 수도 있다. 그러나 이 表를 통해서 우리가 쉽게 알 수 있는 것은 港灣設備의 主

〈表 1〉 港灣서비스別 擔當機關別 分布

單位：%

區 分	港灣當局	其他公共機關	私企業
1. 船舶에 대한 서비스			
導 船	60	29	11
曳 船	51	5	44
船舶修理	12	11	77
2. 貨物에 대한 서비스			
荷 役	16	15	69
其他 貨物取扱	38	19	43
保 管	53	17	30
3. 其 他			
警備·消防	41	59	0

資料出處：Port Pricing, UNCTAD Secretariat (1973).

體와 港灣勞動의 主體가 各己 分離된 狀態에서 港灣서비스가 生産되고 있다는 點이다. 代表的인 例가 荷役業體와 港灣當局은 서로 獨立된 主體이 면서 港灣서비스 創出을 위한 相互 補完의 役割을 하고 있다는 點이다. 이에 대하여는 歷史的 說明이 있으나 여기에서는 省略키로 한다.

다음으로 이 表에 나타나 있지는 않으나 先進國과 開發上國間에도 약간의 差異가 있다. 즉 先進國일수록 資本設備의 主體와 勞動의 主體가 相互 獨立性이 강한 反面, 開發國의 경우에는 至極히 勞動集約的인 荷役까지도 港灣當局이 擔當하고 있는 例가 많다는 點이다.

그러면 港灣內에서 發生하는 作業段階別 資金은 누가 支拂하는가? 위에서 作業의 主體를 概略的으로 보았으나 여기서는 作業의 客體를 보기로 한다.

한 船舶이 港內로 들어 오게 되면 船主는 우선 入港料 (conservancy charge) 그리고 이에 수반되는 導船料 (Pilotage) 및 碇泊料 (mooring charge) 등을 支拂하여야 하여 부두에서는 接岸料 (berth occupancy charge) 를 港灣當局 혹은 關聯機關에 支拂하여야 한다.

貨物이 入港하게 되면 貨主는 貨物入港料 (wharfage, 혹은 quage) 를 支拂하여야 한다. 이以後에 發生하는 모든 港費는 貨主의 責任이 된다.

이를 要約하면 다음과 같다.

1. 港灣施設使用料 (port charges)

(1) 接岸料：時間當, 埠頭別, 使用크레인 및 保管施設에 대한 費用

(2) 入港料：船舶의 크기 (톤) 및 貨物의 量 (Cargo tonnage) 에 대하여 賦課

(3) 其他 特別 서비스에 대한 料金

2. 貨物取扱料

(1) 荷役料

(2) 其他 貨物取扱에 따른 費用

이러한 港灣內에서 發生하는 諸費用은 船主가 負擔하는 全 運航費의 약 7% (2/27: 荷役費除外) 가 되는 것으로 나타나고 있다.

3. 港灣料率決定 理論

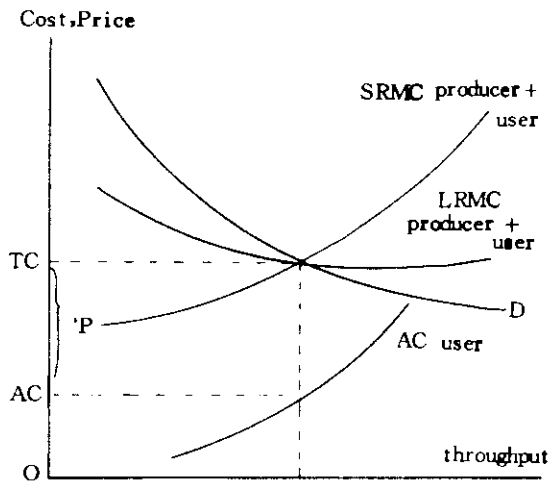
社會的 資源配分の 最適化는 어떠한 生産活動에 수반되는 社會的 費用과 便益에 의해 決定된다. 港灣의 경우에서도 이와 마찬가지로 港灣서비스 供給에 所要되는 社會的 費用과 便益의 關係에서 資源配分을 最適化시키는 港灣料率이 決定된다. 그러나 港灣의 경우 서비스의 生産者뿐만 아니라 서비스의 需要者도 費用의 一部를 서비스의 生産過程에서 이미 負擔하고 있기 때문에 다른 財貨나 用役의 경우와는 다른 點을 發見할 수 있다.

이를 그림으로 나타내면 다음 [그림 1] 과 같다. 그림에서 SRMC는 短期限界費用曲線 (Short-run marginal cost), LPMC는 長期限

界費用曲線 (Long-run marginal cost) 그리고 AC는 短期平均生産費用 (Overage cost) 을 나타낸다. 經濟學에서 需要曲線 (D) 의 意味는 各單位財貨 혹은 서비스에 대한 需要者의 效用度 (Utility : 혹은 滿足度) 이므로 이를 우리는 港灣서비스의 社會的 便益曲線이라 할 수 있다.

나라서 資源의 配分을 最適化시키는 港灣의 規模는 LRMC와 D가 交叉하는 點에서 決定되며 港灣料率 또한 위의 交叉點의 높이에서 需要者의 費用을 除한 (TC-AC) 로 決定된다. 즉 港灣料率 (p) 는 다음과 같이 決定된다.

$$P = SRMC_{\text{producer} + \text{user}} - AC_{\text{user}}$$



〈 그림 1 〉 港灣料率의 決定

1. 特機理論과 港灣料率

港灣의 適正規模를 決定하는 方式으로 待機理論 (Queuing theory) 이 널리 使用되어 왔으나 港灣料率의 決定에 待機理論이 應用된 例는 흔치 않다. 따라서 여기에서는 待機理論을 바탕으로 한 社會的 限界費用의 導出을 通하여 理論的인 港灣料率의 決定方法을 紹介하기로 한다.

待機理論을 港灣料率決定에 應用하는데 있어서 가장 큰 問題點은 待機模型이 完全히 確率分布에 依存하고 있다는 點이다. 船舶에 대한 서비스時間을 하나의 確率變數로 取扱하기 때문에 特定船舶이 必要로 하는 特定港灣施設物의 使用 등은 料率의 決定過程에서 전혀 考慮되지 못하는 盲點이 있다. 즉 모든 船舶은 同質的인 環境에서 同質的인 서비스를 받는다는 假定下에서만 特機理論은 妥當性이 있기 때문이다.

이 경우 港灣料率은 他船舶에 負擔지워지는 待機費用의 期待值에 의해 決定되며 따라서 實際 한 船舶이 港內에서 머무는 時間과 使用하는 施設物의 種類와는 關係없이 決定될 素地가 있다.

그러나 理論的으로 보아 한 船舶에 대한 서비스로 인해 發生하는 社會的 費用을 考慮한다는 側面에서 이러한 應用은 理論的으로 妥當性을 지닌다고 하겠다.

簡單한 例로 單一段階 (Single stage), 單一經路를 假定하면, 理論的인 適正港灣施設使用料 (port charge) 는 다음과 같이 決定된다.

즉,

$$(1) \quad q = \frac{\lambda s^2}{1 - \lambda s} = S \frac{\phi}{1 - \phi}$$

q : 船舶當 待機時間의 期待值

λ : 入港船舶數의 期待值

S : 船舶當 서비스 時間의 期待值

(S = 1 / μ , μ : 埠頭接岸能力)

φ : 埠頭占有率의 期待值

式 (1)의 意味는 船舶의 平均待機時間은 平均부두占有率이 增加함에 따라 增加한다는 뜻이며 부두占有率이 매우 낮은 狀態에서도 이 關係는 成立한다. 따라서 한 港灣內에서 하루에 發生하는 全船舶의 待機費用은 다음과 같이 表現할 수 있다

$$(2) \quad C = v \lambda q = \frac{v \lambda^2 s^2}{1 - \lambda s} = v \lambda \frac{\phi}{1 - \phi}$$

v : 船舶의 時間價値

한 船舶에 賦課되는 適正港灣使用料는 그 船舶이 다른 모든 船舶에 끼치는 待機費用의 增加效果에 의해 決定되므로 適正港灣使用料는 그 限界總待機費用 (marginal queuing cost) 와 一致하게 된다.

$$(3) P(\text{Port charge}) = MC = v\lambda \frac{\partial q}{\partial \lambda} = \frac{v\lambda s^2}{(1-\lambda s)^2} = vs \frac{\phi}{(1-\phi)^2}$$

nc : 限界費用

즉 港灣使用料는 船舶의 싸어비스時間(s)과 부두占有率(ϕ)에 의해 決定된다는 뜻이다.

2. 2 段階港灣싸어비스의 경우

그러나 實際로 港灣使用料는 船舶에 대한 것과 貨物에 대한 것으로 區分되며, 嚴密한 意味에서 어떤 港灣施設은 船舶에 대한 싸어비스에만 使用되는 反面 어떠한 施設은 貨物의 取扱에만 使用되므로 이를 分離하여 생각할 必要가 있다.

즉 2 段階待機模型이 이 경우 더욱 現實을 反映한다고 할 수 있다.

따라서 여기에서는 待機時間을 둘로 區分한다. 즉 船舶에 대한 싸어비스를 받기 위한 待機船舶數(λ_1) 그리고 貨物處理에 따른 待機船舶數(λ_2)를 區分하면 總싸어비스 待機時間船舶數(T)는 1 段階待機時間 $X (= s_1\lambda_1)$ 그리고 2 段階待機時間 $Y (= s_2\lambda_2)$ 로 構成된다. 만약 段階別 싸어비스 供給能力이 주어져 있다면 한 船舶에 대한 待機時間의 期待値는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$(4) q = \frac{Z(X, Y)}{\lambda_1}$$

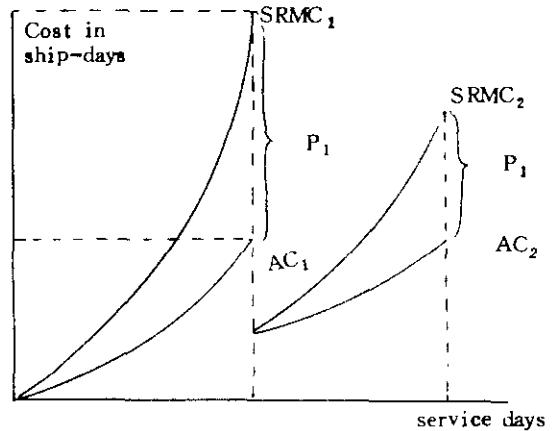
(4)에 의한 段階別 料率, P_1, P_2 는 다음과 같다.

$$(5) P_1 = \partial \lambda_1 \frac{\partial q}{\partial \lambda_1} = v\lambda_1 \frac{(\partial z / \partial x)(\partial x / \partial \lambda_1) - z}{\lambda_1^2}$$

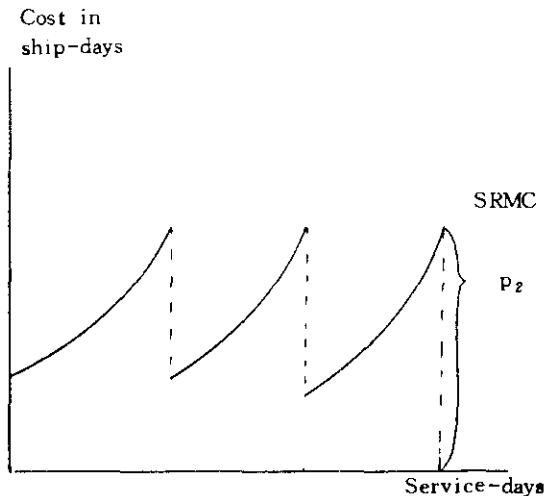
$$= vs_1 \left(\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{z}{x} \right)$$

$$(6) P_2 = v\lambda_1 \frac{\partial q}{\partial \lambda_2} = v\lambda_2 \frac{(\partial z / \partial y)(\partial y / \partial \lambda_2)}{\lambda_2} = vs_2 \frac{\partial z}{\partial y}$$

P_1 의 경우 港灣使用料는 限界待機費用에서 平均待機費用을 除한 것으로 決定됨을 알 수 있고 P_2 의 경우에는 바로 貨物取扱에 따른 限界待機費用과 一致함을 알 수 있다. 이를 그림으로 나타내면 [그림 2-3]과 같다.



< 그림 2 > 1 段階 港灣料率



< 그림 3 > 2 段階 港灣料率

3. 問題點

여기서 港灣서비스에 대한 需要와 供給은 하나의 確率變數로 取扱되고 있기 때문에 한 船舶이 事前에 港灣使用을 위한 意思決定을 할 때 考慮하는 限界費用은 期待値에 不過하다. 따라서 그 期待値가 實際値와 다를 때 그러한 決定은 資源의 效率의 配分을 保障할 수 없게 되어 따라서 다음과 같은 事前條件이 充足되어야 한다.

① 港灣使用料는 實際의 限界費用과 恒常 港灣使用者들에게 알려져 있는 狀態에서 決定되어야 한다.

② 港灣使用料는 實際의 限界費用과 期待되는 限界費用이 一致된 狀態에서 決定되어야 한다. 이 경우 港灣當局은 行政力을 利用하여 이를 一致시킬 수 있을 것이며, 이 경우에도 모든 使用者는 限界費用의 期待値에 대한 事前知識을 갖고 있어야 한다.

實際의 費用에 대한 事前知識이 없는 경우 費用에 대한 期待를 形成하는 데는 時間을 要하여 또한 使用者가 그 期待費用을 計算하여야 한다. 이는 問題點이 있다. 特히 港灣의 使用이 一回에 그치는 경우 이 조차도 不可能해져 資源配分の 效率化를 기대할 수가 없게 된다.

두번째의 경우 만약 料率이 限界費用의 期待値에 의해 決定되었다면 港灣施設을 實際의 使用者들에게 어떻게 配分하여야 하느냐의 問題가 發生한다. 따라서 限界費用의 期待値는 限界費用의 實際値와 一致될 때에만 資源의 效率의 配分이 可能해진다.

4. 料率決定의 實際

앞에서 論議된 理論의 方式이 現實에 어떻게 反映되고 있는가를 檢討하는 것은 매우 興味로

운 일이다. 實際로는 所謂 말하는 學界費用價格方式 (marginal cost pricing) 은 港灣서비스 需要에 대한 價格彈力度가 0보다 커야만 적용 可能하다고 通常 理解되고 있으나, 비록 그 彈力度가 0라고 하더라도 그 原則自體의 理論의 妥當性은 전혀 損失을 받지않는다. 다만 MC를 把握하기가 어렵고 또한 港灣施設自體도 固定되어 있지 않기 때문에 適用上 問題가 생긴다.

따라서 대개 港灣施設費用의 回收라는 原則下에 料率을 決定하고 있다. 그러한 費用으로는 낮게 資本費用 (利子 및 減價償却費) 그리고 높게 港灣施設의 運轉維持費등을 包含하고 있다. 이러한 費用을 各施設의 使用可能年數를 考慮하여 船舶의 크기, 貨物의 量등을 基準으로 配分하고 있다.

그러나 이러한 方式에 의한 料率은 港灣서비스의 生産過程에서 發生되는 外部效果 (externality) 를 고려하지 않으므로서 資源의 社會的 適正配分을 기할 수 없을 뿐 아니라 船舶과 貨物의 港別 配分도 效果의 由로 達成시킬 수 없는 根本的 問題點을 지니고 있다. 結局 港灣서비스의 生産過程에서 社會的福祉 (social Welfare) 의 損失이 招來될 수 있다는 뜻이 된다.

5. 結 論

앞에서 우리는 待機模型을 利用한 港灣料率의 決定理論을 概括적으로 보았다. 이 理論의 興味로운 結果는 [式(5)]를 變形시키므로써 찾아 볼 수 있는데,

$$us_1 \left(\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{z}{x} \right) = us_1 \frac{z}{x} \left(\frac{\partial z}{\partial x} \cdot \frac{x}{z} - 1 \right) \text{에서}$$

$\frac{\partial z}{\partial x} \cdot \frac{x}{z}$ 는 x 가 1% 늘어날 때 z 가 몇%나 늘어날 것인가를 말하여 주는 소위 彈力度 (el-

asticity)의 概念이 된다. 이 경우 만약 $\frac{\partial z}{\partial x} \frac{x}{z}$ 가 1보다 크게 차이가 나지 않는다면 P_1 은 x 가 커지더라도 크게 늘어나지 않을 것이나 만약 그것이 1보다 크게 차이가 나면 이는 需

灣 써어비스生産에 있어서 外部效果가 상당히 크다는 것을 意味하게 되고 P_1 도 높아 질 것이다. 따라서 이렇게 決定된 料率은 船舶의 港別 配分과 港灣 써어비스 生産의 效率性을 보장하여 줄 수 있을 것이다.

消費節約의 生活化

政府 主導 아래 勤儉節約 貯蓄의 生活化로 健全社會 氣風을 확립하고 소비수요의 억제로 物價安定을 기함으로써 長期的인 경제안정 기반을 구축하기 위하여 汎 國民的인 소비절약 및 저축운동이 오래전부터 전개되고 있습니다. 이러한 時點에서 우리 海運港灣從事者와 海運港灣 關聯業體의 任職員과 그 가족이 솔선수범하여 물품 하나라도 절약하고, 물 한 방울이라도 아껴 쓰며 우리생활 주변에서 사치와 낭비풍조를 追放해야 하겠읍니다. 또한 勤儉貯蓄을 強力히 추진하여 우리 海運항만종사자 및 關連업체 임직원과 그 가족은 물론, 이웃 모두가 한마음 한뜻이 되어 消費節約이 生活化될 수 있도록 다같이 노력합시다.

海洋開發의 必要성과

當面課題



海洋政策研究室長 **洪 承 湧**
(韓國科學技術院 海洋研究所)

1. 海洋開發의 必要性

海洋地政策學的 側面, 科學技術的 側面에서 살펴 보기로 한다.

最近 韓國開發研究院의 研究報告書 「2000年을 向한 國家長期發展構想」은 우리나라가 21世紀에 들어 설 즈음에는 國民個人所得이 5천불을 넘어서고, 交易量은 4,600억불로 增加하며, 債務國에서 債權國으로 전환하는 등 先進國으로 發展한다는 청사진을 제시한 바 있다. 國家長期政策을 樹立한다는 것은 매우 중요한 일이며, 그를 效率的으로 추진하기란 매우 至難한 일이다. 상기한 21世紀 構想에서 海洋開發은 중요한 몫을 담당하고 있다. 2000년에는 5천만명, 2010년에는 6천만명으로 증대하는 인구에 대해 해양은 食糧자원, 에너지자원, 광물자원의 공급처가 될 것이며, 늘어나는 수출입 물동량을 처리할 항만과 공업단지의 수요도 연안역을 통해서 해결해야 할 것이다.

外國에서도 이와 유사한 國家長期對策과 관련한 海洋開發政策을 이미 60年代에 수립하고, 이를 위한 各種 技術開發에 努力을 기울이고 있다. 먼저 우리나라가 海洋開發을 國家사업으로 적극 추진해야 할 必要性을 資源的 側面, 經濟的 側面

가. 資源的 側面

〈表 1〉 世界의 海洋資源開發 利用現況과 우리나라의 潛在力

區 分	世界利用現況	우리나라潛在力
<ul style="list-style-type: none"> • 食糧資源 • 年間漁獲量 ('83年) 	<ul style="list-style-type: none"> • 7,000萬屯 	<ul style="list-style-type: none"> • 281萬屯 (世界 9位)
<ul style="list-style-type: none"> • 石油·天然가스 • 大陸棚內可採埋藏量 • 生産現況 	<ul style="list-style-type: none"> • 1천7백억 배럴 (地球全體의 24.7%) • 13.7백만 배럴 (世界生産의 22.9%) 	<ul style="list-style-type: none"> • 20억 배럴 (7鑛區) • 海外유전개발 參與 (인도네시아 및 北예멘)
<ul style="list-style-type: none"> • 深海底 夕間團塊 	<ul style="list-style-type: none"> • 太平洋 深海底 5천억~1.7조屯 부존 	<ul style="list-style-type: none"> • 海洋研究所 '83年末 試驗檢査 (太平洋 CC地城)
<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 資源 	<ul style="list-style-type: none"> • 佛·랑스 潮力發電 所 가동 (24만 Kw) • 波力, 溫度差發電 實用化 단계 	<ul style="list-style-type: none"> • 西海岸 潮力發電 부존량 660만Kw • 東海岸: 波力發電 및 溫度差發電 可能

區分	世界利用現況	우리나라潛在力
· 海水資源	· 海水 淡水化 및 海水溶存物 (우라늄, 라티움, 스트론튬)	· 마그네슘, 브롬 소금 등 海水溶存物 利用 · 우라늄 海水溶存物 추출可能
· 沿岸 및 海洋空間 資源	· 네델란드, 덴마크 日本 등은 간척사업으로 國土擴張 · 해상공항, 인공섬 海中공원 개발	· 西南海岸 干拓有 餘地 6,350 ㎢ (全國土面積의 6.4%)

나. 經濟的 側面

· 美國 議會報告書 (74.12. 海洋政策研究) 는 “美國 海洋資源의 經濟的 價値가 72年 75億弗에서, 85年 264億弗, 2000年에는 445億弗로 急增하며, 이에 따른 技術波及效果 및 産業人力需要가 多大할 것”으로 보고한 바 있다.

· 우리나라는 70년대의 中東景氣에 따른 港灣建設, 海上送油管建設 등 海洋開發技術의 축적으로 國內 海洋産業의 創出을 可能케 하고 있다.

· 83年 우리나라와 日本의 海洋産業 賣出額은 表2와 같다. 우리나라의 海洋産業 賣出額의 對 GNP比率은 8.5%로 큰 비중을 차지하고 있으며, 용역 등 제3차 産業을 包含하면 그 비중은 더욱 크다.

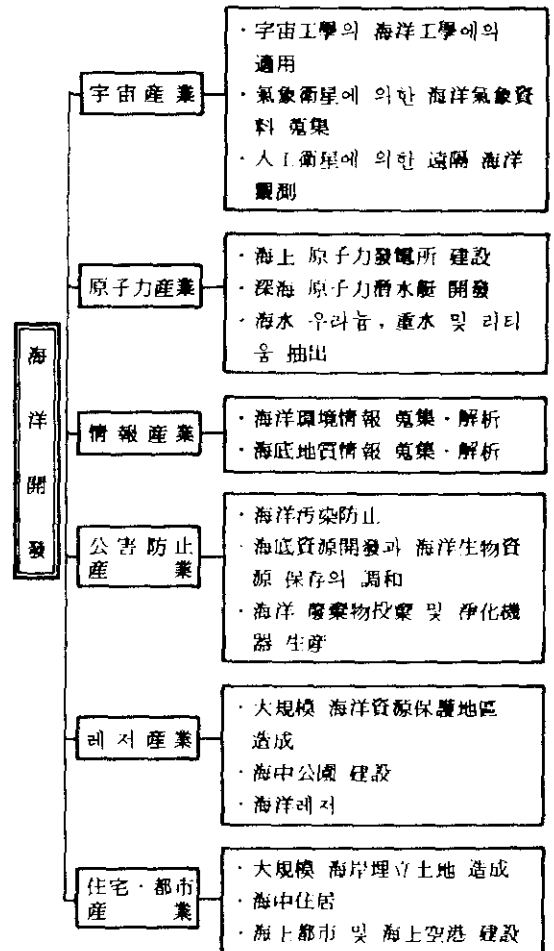
〈表2〉 韓國·日本의 海洋産業 賣出額 ('83年)

區分	賣出額 (억 원)		對GNP構成比率 (%)	
	韓國	日本	韓國	日本
水 産 業	7,951	88,805	1.84	1.13
造 船 業	11,969	144,738	2.77	1.13
海 運 業	16,805	91,155	3.89	1.16
其 他		27,666		0.35
計	36,725	352,364	8.50	4.47

* 1圓 = 3.4 원

海洋産業으로서 次後에 豫상되는 分野로는 〈圖 1〉과 같이 宇宙産業, 原子力産業, 情報産業, 公害産業, 레저産業, 住宅·都市産業과 관련된 Software 및 Hardware 部分의 産業창출이 豫상된다.

〈圖 1〉 既存産業과 海洋産業과의 關係



다. 海洋地政學的 側面

· 世界 140個 沿岸國 92個國이 海洋資源保護와 海上安保를 명분으로 領海 基線으로부터 200海浬까지 管轄水域을 宣布함으로써 海洋管

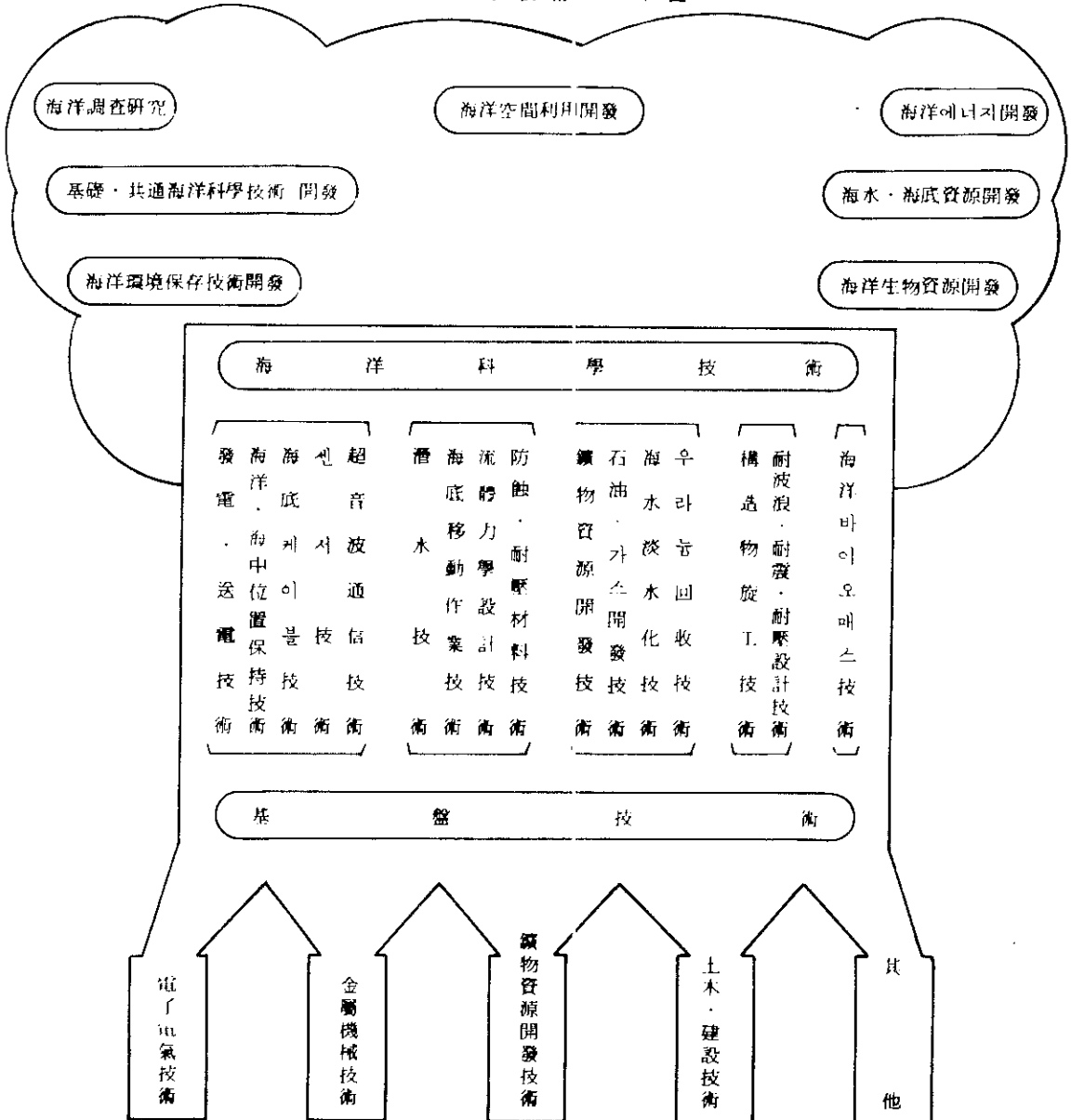
轄權擴大 現象이 기정사실화되고 있다.

韓半島는 國際戰略的 要地로 日本, 中共, 蘇聯, 北傀, 臺灣 등과 三面的 海洋에서 인접하고 있으며, 軍事的, 經濟的 側面에서 各國의 이해가 얽혀 있고 대표적인 현안은 海洋境界劃定問題이다. 새로운 國際海洋秩序에 따른 우리나라의 管

轄水域 設定은 實際的인 國土의 擴張이므로 周邊國들과 大陸棚, 200 海浬 排他的 經濟水域 등 에 대한 海洋法 研究 및 海洋科學調查가 綜合的으로 뒷받침된 海洋政策을 時急히 수립되어야 한다.

· 또한 최근 北傀가 디젤형 잠수함을 生産하고, 蘇聯이 太平洋 함대를 增強하는 등 동해의

〈圖2〉 海洋科學技術 體系圖



制海權 경쟁은 점차 가열되고 있다. 특히 北側은 청진, 나주항 등을 擴張 버치는 군사항으로 活用하여, 원산항을 中共에 活用토록 하는등 한반도 주변해역의 안보적 상황은 급변하고 있다.

우리나라의 경우 輸出入 物動量의 거의 全部를 海運에 依存하고 있어 日本의 1,000 海運 航路 (SEA LANE) 保護政策과 유사한 海運政策이 모색되어야 하겠다.

라. 科學技術의 側面

· 海洋은 陸地와는 달리 波浪, 潮流, 海流 등이 存在하는 流動의 環境이고, 海中에서는 通信이 困難하며, 海水에 의한 材料의 腐蝕, 暗黒 高水壓 등 特異한 條件을 갖고 있다. 따라서 海洋資源開發 및 環境保全을 위해서는 海洋科學 (物理, 化學, 生物, 地質, 氣象)의 基礎研究가 遂行되어야 하며, 海洋環境의 長期變動에 더

해 計劃的이고 連續的으로 長期 데이터의 蒐集 解析이 必要하다.

海洋開發은 海洋科學技術의 뒷받침이 必要하나 海洋科學技術의 性格은 固有의 單位技術形이라기 보다는 <圖2>에서 보듯이 電子, 金屬, 土木, 鑛物, 資源開發 등 基盤技術이 綜合된 시스템 複合形 技術이다.

· 美國 國立學術院 (National Academy of Sciences)의 研究報告書 (Economic Benefits from Oceanographic Research)에 따르면, <表3>과 같이 水産業, 海洋資源開發, 氣象豫報 등에서 每年 166 百萬弗의 R&D 活重을 10~15年間 遂行할 경우 年間 5,715 百萬弗의 收益이 豫想되며, 現在 價値로 換算한 費用 便益比率 (B/C Ratio)은 4.4로 상당히 높 이 산출됨으로써 海洋科學技術投資의 經濟的 收益率은 大대하다.

<表3> 海洋科學技術 投資에 대한 經濟的 收益率 推定

(單位: 百萬弗)

分 野	未來年間節 減額 또는 新規生産額	收益實現까지 期 間	海 洋 R & D 年平均費用	現價로 할 인된 R& D 總收益	現價로 할 인된 R& D 總費用	收益/費用 (B/C)
· 水 産 業	國內	15年	{ 50	643	{ 418	{ 5.8
	世界	5		1,775		
· 海洋鑛物資源	190	10	11	336	92	3.7
· 船 舶 關 聯	890	10	55	958	461	2.1
· 長期氣象豫報	2,000	15	25	1,354	209	6.5
· 沿岸下水處理	80	10	15	321	125	2.6
· 沿 岸 레 지	2,000	15	10	677	84	8.1
計	5,715		166	6,064	1,389	4.4

(資料: Economic Benefits from Oceanographic Research, National Academy of Sciences, 1964)

2. 先進國의 海洋開發動向 및 主要技術展望

가. 海洋開發動向

1960年代부터 先進各國은 本格的인 海洋開發을 추진하게 되었다. 이러한 海洋開發推進의 背景은 1950年代부터 60年代에 걸쳐서 大規模 海底油田 및 망간團塊, 熱水鑛床이 發見되어 海底鑛物開發에 대한 期待가 고조되었고, 宇宙開發을 대신하는 새로운 프로젝트가 期待되었으며, 1950年代의 産業技術革新에 따라서 海洋開發 周邊技術이 發達되었기 때문이다.

(1) 美國

가) 開發體制

美國은 大統領 傘下에 國家海洋·大氣諮問委員會(NACOA)를 운영하고 商務省의 海洋大氣局(NOAA)을 中心으로 綜合的인 海洋開發計劃樹立과 이에 必要한 研究人力養成·科學技術開發 등을 積極 推進하고 있다. 研究機關으로는 太平洋을 중점 研究·調查하는 Scripps 海洋研究所와 大西洋을 중점 연구 조사하는 Woods Hole 海洋研究所 등을 운영하고 있으며, 기타 國立科學財團(NSF), 運輸省, 沿岸海運環境保護廳(EPS) 등에서 유관된 海洋開發을 推進하고 있다.

나) 技術現況

主要 實績을 보면 프랑스와 공동으로 實施한 大西洋 綜合海洋調查(FAMOUS計劃)로 海底 熱水鑛床 發見, 4個 國際콘소시엄이 중심이 된 太平洋 深海底 망간團塊 技術開發, 6000 M급 深海底 潛水艇(ALVIN號) 開發 등을 들 수

있으며, 1980年 海洋開發 政府豫算은 25억불(2조원)이고 現在 海洋産業의 全體市場規模은 약 300억불(24조원)로서 1981年의 경우 造船(軍船, 商船 除外) 收入이 약 92억불(73,600억원) 海洋石油·天然가스開發·生産費用이 213억불(170,400억원)로 推定된다.

한편, 21世紀를 향한 海洋의 重要性을 國民에게 理解시키고 향후 海洋資源開發과 保存을 促進하기 위하여, 1984年을 “The Year of the Ocean”으로 宣布하였고, 全美科學 Academy(NAS)는 2000年代에 國民이 直面할 것으로 예상되는 海洋開發 利用의 諸問題와 이를 克服하기 위한 海洋科學技術 課題를 명확히 하기 위하여 “Ocean 2000”計劃을 樹立하여 '85年中에 最終報告書의 작성을 완료하기로 하였다.

(2) 프랑스

가) 開發體制

海洋開發의 中央行政機關으로 海洋省, 研究開發의 中央機構로 研究工業省과 兩省共同管理下의 海洋科學技術開發을 總括하는 海洋開發研究所(IFREMER)가 있다.

海洋省은 1981年 “미테랑”政府 때 設置되어, 國家海洋開發政策의 調整役割을 擔當하며, 海洋省 長官은 海洋關係 閣僚協議會의 會長이 된다.

研究工業省은 海洋開發産業, 특히 海洋石油, 天然가스, 深海底鑛物, 海水溶存物, 에너지部門의 開發을 관장한다. 1982年에 制定한 “프랑스 科學研究 및 技術開發 基本計劃法”에 의해 1983년부터 本格的인 技術開發을 計劃的으로 推進하고 있으며 海洋開發技術部門이 主要位置를 占하고 있다.

IFREMER는 1984年에 國立海洋開發센터

(CENXO)와 海洋水産科學技術研究所 (IS-STPM)를 統合, 擴張改編한 政府의 海洋科學技術 專擔機關이다. 前身機關으로 67년에 設立된 바 있는 CNEXO는 資源·水産·探査를 中心으로 海洋開發을 推進하였다. 특히 망간團塊開發을 위해 公소기업인 AFERNOL와 協調하여 探査·採鑛·製鍊 등 分野別 開發을 수행하고, 西獨과 共同으로 紅海重金屬 調査를 美國과 協力으로 大西洋·太平洋의 海底熱水鑛床帶의 調査를 實施하였다.

(나) 技術 現況

프랑스는 世界第二次大戰中에 潛水技術 開發을 시작으로 현재는 IFREMER가 건조중인 巨함심도 6,000 m級 潛水艇을 개발하였으며 현재 건조중인 深海調査船 (SM 97)이 完成되면, 海底熱水鑛床 등 深海底 鑛物資源開發이 本格的으로 推進될 것이다.

한편, 세계 유일의 프랑스 潮力發電所 (24萬kW級)는 '66년에 건설되어 가동중이고, 대규모 同량의 新規潮力發電所 建設을 計劃하고 있다.

(3) 英國

(가) 開發體制

石油·天然가스 資源開發 關聯政策은 에너지省이 管掌하고, 海洋産業育成 등 海洋全般에 關한 貿易産業省이 擔當한다.

에너지省은 英國企業의 國際海洋裝備市場에서 경쟁력強化를 지원하고, 貿易産業省과 協調로 石油關聯 프로젝트 設備에 대한 特別 減價償却의 特惠措置를 하고 있다.

에너지省이 海洋技術開發費의 全部 혹은 一部를 造成하는데, 1982~83년에는 約 2,050萬 파운드 (19억원)가 支出되었다.

(나) 技術 現況

北海石油開發을 中心으로 海洋開發技術이 急速發達하였고, 1982년의 英國의 大陸棚 石油 및 天然가스 生産額은 154억파운드 (143,220억원)의 5倍의 成長을 보였다.

또한 1982년의 英國의 大陸棚 石油開發에 있어서는 70%의 國産化率을 보이면서 美國技術 依存에서 벗어나기 시작했고, 海洋産業의 自給體制가 急速히 確立되고 있으며, 探査部門을 除外한 開發·生産部門은 8割 以上の 國産化가 展望된다.

나. 主要技術 展望

先進國의 海洋開發 技術開發中 日本의 경우를 살펴보면 <表 4>와 같다.

<表 4> 日本의 海洋開發技術 展望

時期 分野	1980 年代	1990 年代	2000 年代
海洋鑛物 資 源	· 망간團塊 採鑛技術 確立	· 망간團塊 商業生産 · 海底熱水鑛床 採鑛 技術確立 · 海水우라늄 抽出技術 確立	· 海底熱水鑛床 商業生産 · 海水溶存資源 回收工場
海洋石油 資 源	· 深海石油 生産技術 確立 · Guide-Tower 石油生産 Platform 技術 確立 · 氷海石油 Platform 實用化		

時期 分野	1980 年代	1990 年代	2000 年代
海洋空間 利 用	·海中材料腐蝕防止 技術 確立 ·海上石油 備蓄基地 建設	·海上 國際空港 完成(關西)	·海上都市 建設 ·海上 原子力發電所 建設
海洋에너지 利 用	·波力發電技術 確立 ·海洋溫度差發電 (OTEC) 技術 確立	·波力發電의 一部地域 實用化 · OTEC의 一部地域 實用化	·波力發電 實用化 · OTEC 實用化
海洋調査 및 其他	·海洋觀測시스템 確立 ·海中作業 實驗船 完成 ·潛航深度 6,000 m級 深海潛水 艇 完成	·長期無補修 自動觀測用 센서 開發 ·全天候型 海洋觀測 衛星시스템 確立 ·國際光通信網 確立 ·海中作業用 知能 로봇 實用化 ·放射性 廢棄物의 海洋投棄	·人工氣體交換膜 利用 水中呼吸 技術 確立 ·海中레이더技術 確立 ·海域水質 淨化技術 確立

3. 우리나라 海洋開發의 現況 및 當面課題

가. 技術現況 및 展望

1960年以前에는 一般 國民은 물론 政策立案者의 경우도 海洋開發에 대한 인식이 크게 부족하였으며, 단지 國立水產振興院, 交通部水路局, 釜山水產大學에서 水產資源 및 水路測量에 대한 研究調査를 수행하였다. 1968年 서울대학교에 海洋學科가 개설되고, 우리나라 周邊 大陸棚에 石油賦存可能性이 크다는 ECAFE 보고서가 나온 이후 海洋開發에 대한 인식이 싹트기 시작하며, 1969年에 海洋調査 長期 綜合計劃 (1971 ~ 1980)이 樹立되었으나 豫算의 뒷받침이 없어서 제대로 실행되지 못하였다.

海洋에 대한 本格的인 研究調査가 遂行되기 시작한 것은 1973年 10月 海洋開發研究所가 韓國 科學技術研究所 (KIST) 附設機關으로 設立된

후이다. 1970年代 後半期는 우리나라 海洋開發 歷史에 있어서 중요한 전환기로서 忠南大學校, 仁荷大學校 및 濟州大學校에 設置되어 專門人力이 養成되기 시작했고, 海洋研究所 또한 綜合的인 海洋研究機關으로서의 基盤을 굳었으며, 水産廳, 環境廳, 水路局, 動力資源研究所 등에서 水産, 海洋汚染, 水路觀測, 海底礦物調査 등의 分野別 研究가 시작되었다. 海洋研究所가 1981年에 작성한 “海洋開發政策樹立을 위한 基礎研究 (1981 ~ 1991)” 報告書는 海洋開發에 대한 비전을 제시함으로써 海洋의 利用을 위한 跳躍의 기틀을 마련하였다.

우리나라의 海洋科學技術의 水準은 그 역사가 일천하기 때문에 先進海洋國에 비해 대체로 크게 뒤떨어져 있다. 水産資源의 경우는 우리나라 國民 食生活에 크게 기여하고 있는 것과 같이 生産量이나 漁撈技術에 있어 先進國 대열에 있으며, 海洋港灣分野도 꾸준한 工業化 施策과 交易量增大에 따라 그 需要가 급증하여 世界的인 수준에 이르고 있으나, 이러한 傳統的인 海洋利用 分野를 제외하고 海洋礦物資源, 에너지資源

海洋空間 利用 等に 있어서는 研究初期 段階 내 지 跳躍段階에 진입한 狀態로서 先進國과는 상당한 격차를 보이고 있는 實情이다.

〈表5〉는 各分野別 海洋科學技術의 年代表를 보

여 주고 있으며, '80年代 後半期에 이르면 養殖技術이나 海洋에너지技術, 海中儲蓄技術, 深海底 망간 資源 等の 探查技術, 大陸棚石油生産 技術 等이 確立될 것이다.

〈表5〉 우리나라의 海洋開發技術 年代表

分界	時間	1970 年代	1980 年代	1990 年代
海底 鑛物 資源		· 沿岸骨材 資源의 利用 · 外國과 共同으로 7 鑛區 大陸棚 地誌物理 探查	· 망간團塊 探查 技術確立 · 海底熱水鑛床 探查 着手 · 海水溶存物 (마그네슘, 브롬) 抽出研究 · 海底石油 地球物理 探查 技術 確立	· 망간團塊 採鑛技術 確立 · 海底熱水鑛床 探查技術 確立 · 海水溶存物 (우라늄) 의 經濟的 抽出技術 確立 · 大陸棚 石油生産技術 確立
海洋 生物 資源		· 遠洋漁業 技術 確立 · 海藻類, 貝類 培養殖 技術確立	· 人工眞珠 養殖技術 確立 · 高級魚種 培養殖技術 確立 · 漁況豫報技術 確立	· 深層魚族의 開發技術 確立 · 海洋牧場 시스템技術 確立
海洋 空間 利用		· 埋立·干拓 技術 確立	· 海洋 石油·가스 儲蓄基地 建設 · 콘테이너 부두 등 新港灣建設 · 沿岸管理 시스템 確立	· 海上 플랜트 技術 確立 · 海中 公園 造成 · 海上 空港 建設
海洋 에너지 利用		· 潮力發電 豫備 妥當性 調査 · 波力發電 基礎調査	· 潮力發電 試驗發電所 建設 · 小型波力發電技術 確立	· 潮力發電所 建設 (70 萬 Kw 級) · 大型波力發電所 技術 確立 · 海洋 溫度差 技術 確立
海洋 環境 保全		· 沿岸養殖場의 環境 觀測網 構成	· 沿海 및 沿岸域 環境保全 技術 確立	· 近海環境保全 技術 確立
海洋 調査 技術 및 其他		· 小型調査船 (83 t 級) 建設 · 沿岸海 探查技術 確立	· 中型調査船 (800 t 級) 建造 및 潛水技術 確立 · 海洋觀測 衛星시스템 技術 導入 · 海難防止 豫報시스템 技術 確立	· 深海 및 遠海用 大型調査船 建造 · 潛航深度 2,000 m 級 深潛 潛水艇 建造 · 海洋觀測 綜合시스템 確立 · 海底光通信技術 確立 · 海中作業 實驗船 建造

나. 類型別 目標

(1) 當面課題

1960年 以後 經濟開發計劃의 수행을 통하여 우리나라는 괄목할 만한 經濟成長을 이룩하여 왔

으며, 模範的인 開發國으로서 발돋움하였다.

더우기 水産業, 海運業, 造船工業, 港灣建設 油田開發 等에서 이미 우수한 實績을 나타냄으로써 이러한 海洋開發에 대한 潛在能力은 食糧 에너지, 鑛物, 空間資源을 막대하게 賦有하고 있는 海洋의 本格的인 開發을 可能하게 해 줄 것

이다. 앞으로 海洋開發의 基本的인 方向을 요약하면 다음과 같다.

(가) 增·養殖 栽培漁業化

氣象異變에 의한 기존 세계극장지대의 砂漠化 및 環境汚染으로 인한 食糧生産減少에 따른 食糧資源不足을 解消하기 위해서는 海洋 食糧資源開發을 적극화 해야 한다. 한편, 各各國의 200해리 水域宣布에 따른 遠洋漁場의 축소에 대비하여 우리나라도 管轄水域內에서 高級 水産生物의 栽培漁業 技術개발로 대안으로 栽培漁業團地를 조성, 국민 動物性蛋白質 섭취량의 55% 이상을 조달하도록 하고 光合作用을 이용한 대단위 海草場 建設로 食糧問題를 해결하도록 하는 水産技術의 發展을 도모한다.

(나) 海底鑛物 開發技術의 進歩化

2000년대까지는 水深 2,000m~6,000m에 賦存되어 있는 深海底鑛物資源의 개발과 熱水鑛床의 商用開發이 가능하게 되며, 水深 수백미터의 大陸斜面에서 海底 石油 및 天然가스를 經濟的으로 채굴·생산하는 海洋工學이 발달될 것으로 전망된다. 우리나라도 沿岸海 大陸棚 石油·天然가스 및 水深 2,000m~6,000m의 海底鑛物資源을 探査·開發하기 위해, 電子, 機械工學的 研究가 뒷받침된 海洋工學 技術을 적극 開發한다.

(다) 海洋探査 및 情報의 廣域化

1990년대까지는 SEASAT 등 각종 인공위성을 이용한 遠隔探査 技術이 開發될 것으로 전망되며, 船舶의 位置測定도 人工衛星을 이용하여 精密하게 되고, 海象, 海況을 높은 精密度로 長期間 無補修 自動觀測 센서 技術의 實用化가 예견된다. 따라서 우리나라도 200해리 水域의 資源管理와 開發 및 海洋環境保全 등을 위해서는 局部的인 情報蒐集에서 벗어나 世界的인 海洋情報 廣域化시스템을 構築한다.

(라) 沿岸域의 多目的 利用 極大化

2000年代에는 우리나라의 人口가 過密狀態로 되던 住居地, 工場, 레크레이션場, 農耕地 等的 擴大가 불가피하다. 따라서 어떠한 목적으로 沿岸域을 개발하는 것이 장기적 側面에서 海洋環境을 保全하고 海洋資源의 최대지속적인 生産性을 유지하여, 國家의 需要를 충족시킬 수 있는 가하는 方案과 함께 沿岸域의 水質汚染防止 技術을 樹立하는 양면적인 對應策이 소화되도록 한다.

(마) 海運·港灣의 國際化

資源이 不足하고 內需市場이 좁은 우리나라는 主要資源의 海運 調達과 輸出入物動員의 거의 全部를 海外에 依存하지 않을 수 없다. 더욱이 中 共和의 交易可能性이 증대될 것으로 전망되는 바 유용한 SEA LANE 政策과 港灣의 適正配置 및 國際規模의 擴張을 늘려가도록 한다.

(2) 類型別 目標

(가) 人工衛星을 利用한 遠隔探査 技術開發 및 800t級 1隻, 2500t級 1隻의 綜合海洋調査船을 確保하여 沿岸海, 深海, 南極海까지 海洋環境 및 海洋資源 探査를 遂行한다.

(나) 高級魚貝類의 人工栽培技術을 發達시키고 食品加工技術을 증대시켜 國民 動物性 단백질의 55%를 海洋牧場에서 調達하여, 肉類輸入對替 및 漁民所得增大 效果를 제고시킨다.

(다) 西南海岸 2,000km²(國土面積의 2%)를 干拓하여 臨海工團, 港灣, 沿岸都市 및 레저施設을 造成, 海洋空間 資源의 利用을 增大시킨다.

(라) 西海岸 有望地點에 70萬Kw級 潮力發電所를 建設하며, 南·東海岸에 海流 및 波力發電을 실용화한다.

(마) '90年代 後半 深海底 망간團塊를 年 300萬t. 生産하여 망간, 니켈, 구리, 코발트 등 主

要 戰略資源을 完全自給한다.

(배) 우라늄, 리튬, 브롬 등을 海水에서 抽出하는 동시에, 工業用水 및 農業用水의 不足을 海水淡水化로 充足시킨다.

(사) 國內外 大陸棚에서 海底石油 및 天然가스를 개발하여 國內 需要量의 30%를 自給한다.

(애) 河川 및 沿近海域의 水質汚染 防止技術을 발달시켜 快適한 海洋環境狀態로 복원한다.

(재) 1,000 m 海底 特殊環境下에서 作業할 수 있는 潛水艇 및 知能 로봇을 실용화 한다.

(채) 漁·海況 豫報技術을 發展시켜 海難 및 漁況速報 시스템을 구축한다.

4 . 結 論

21 世紀에 環太平洋 時代를 先導하는 先進國으로 발돋움하려는 우리나라는 우수한 人力이 뒷받침된 高度尖端技術의 開發만이 앞으로의 難

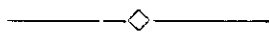
題를 해결할 수 있다. 특히 앞서 살펴 본 바와 같이 海洋開發은 當面한 各種 資源問題를 해결해 출 수 있는 國家生存의 마지막 場으로서 '60 年代 및 '70 年代의 새마을운동과 같은 수준으로 '80 年代 및 '90 年代에 新國土 改造 및 海洋指向的 國民運動으로 적극 추진되어야 한다. 그러나 海運政策의 效率化를 위해서는 다음과 같은 몇가지의 요건이 선행되어야 하겠다.

첫째, 海洋開發에 관한 中長期 汎國家的 次元에서 樹立해야 한다.

둘째, 國家海洋政策 및 주요 해양개발 프로젝트를 심의할 海洋開發審議會를 總理 傘下에 설치해야 한다.

셋째, 國內外 海洋情報의 관리 및 이용체계를 確立해야 하고 해양연수개발투자를 擴大한다.

넷째, 민간부분의 需要를 창출토록 적극 유도하고, 공동 애로기술의 해결과 國際競爭力을 강화시킬 수 있는 世界 金融支援體制를 강구해야 한다.



◇ 친 절 속 에 사 랑 있 고

사 랑 속 에 기쁨 있 다

흰베도라치, *Enedrias fangi* 稚仔魚期の 食性

金鍾萬 · 金東燁 · 柳在洺 · 許亨澤
韓國科學技術院 海洋研究所 生物研究室
(1985년 5월 10일 수리)

Food of the Larval Gunnel, *Enedrias fangi*

Jong Man KIM, Dong Yup KIM, Jae Myung YOO and Hyung Tack HUH

Biological Oceanography Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute,
KAIST, Gangnam-gu, Seoul 135, Korea
(Received May 10, 1985)

Gut contents of larval gunnels collected in Kyōnggi Bay, Yellow Sea were examined in order to understand the feeding habit of the fish. There were some differences in the gut contents depending upon the body length of the fish. Most important food organisms were Copepoda followed by Appendicularia, fish eggs and Decapoda larvae. Although major food organisms were closely related to the size of zooplankton population, the fish showed a positive food selectivity for Copepoda with increasing body length, while there was a negative selectivity for Chaetognatha regardless of body length. However, there appeared to be no size preference on the food organisms by the larval gunnel.

緒 論

흰베도라치, *Enedrias fangi*는 黃海에서만棲息하는 種으로서 우리나라 西海岸에서는 봄철에 稚仔魚期 단계에서 漁獲되어 “뱅어포”로서 商品化되는 중요한 資源이다. 本 種의 1983년도 漁獲高은 1,812 ㎏ (농수산부, 1984)이며, 4-5년을 週기로 漁獲對象 資源加入量이 最大로 되는 것으로 報告하고 있다(許 등, 1984).

本 種에 관한 研究로는 단편적인 分類學的 研究 (Wang and Wang, 1975 Yatsu, 1981), 成魚의 外部 形態(許·柳, 1983), 西海岸 베도라치類 稚魚資源(許 등, 1984) 및 稚仔魚期의 形態 및 骨骼發達에 관한 研究(柳, 1985)가 있으며, 本 種의 먹이생물에 관해서는 西海岸 베도라치類 稚魚資源(許 등, 1984)에서 食性に 관한 片斷적 研究가 있으나, 他 먹이생물과의 關係를 比較한 구체적 研究報告는 없다.

따라서 本 研究는 月別 및 成長에 따른 먹이생물의 변화 및 消化管内食物과 環境生物의 比較研究를

주로 다루었으며 이러한 研究는 생물의 分布形態, 生物群集의 먹이網(food web), 資源變動 및 物質循環에 관한 基礎的 資料를 제공하는데 그 目的이 있다.

材料 및 方法

本 研究는 1984年 4月을 제외한 2月부터 11月까지 3회에 걸쳐 京畿灣에서 定點 12개를 設定하여 採集한 標本과 1983年 4月 德積島附近 海域(Fig. 1)에서 採集한 標本을 材料로 使用하였다. 1983年 4月과 1984年 2~3月에는 標準네트(網口 1 m, 網目 240 μ m), 그 리는 Bongo 네트(網口 60 cm, 網目 250 μ m)를 使用하여 傾斜採集方法으로 하였으며 曳網速度는 4 knct 이었다.

採集한 標本은 現場에서 7% 海水中性포르말린에 固定한 후 實驗室로 옮겨 흰베도라치를 分離한다음 網目체적 및 개체수(개체수/1000m³)로 표시하였다. 體長은 萬能透影機(Nikon type 210)를 使用하여 0.1 mm까지 測定하였다. 그리고 測定을 완료한 標本은

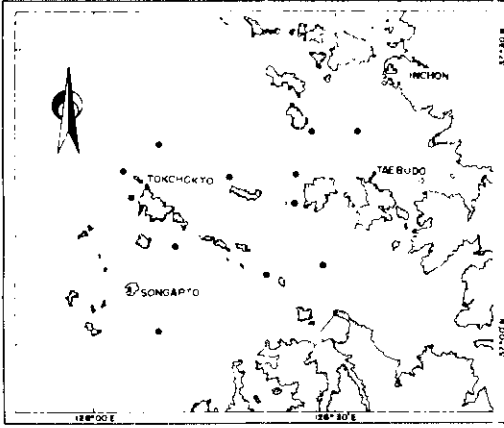


Fig. 1. Sampling station in Kyonggi Bay, Yellow Sea.

體長에 따라 단계로 많이 出現한 group을 9단계로 나누고 名 段階別로 30尾씩 消化管을 切開하여 立攪顯微鏡(WILD M8)으로 内容物을 觀察하였다. 또한 體長과 먹이생물크기와의 관계를 비교하기 위하여 消化管에서 發見한 먹이생물의 크기를 0.1 mm 단위 까지 측정하였다.

그리고 흰배도라치의 먹이생물을 환경에서의 分布 形態와 비교하기 위하여 흰배도라치를 골라낸 나뭇잎 등물생물크분의 試料를 分割器(Motoda, 1959)로써 1/4을 取하여 分類同定하고 Bongorov 計數板(Gannon, 1971)을 使用하여 단위 체적당 개체수(개체수 /m³)로 환산하였다. 그리고 계절 및 體長에 따라 어떤 種類의 먹이생물을 選好하면서 攝食하는가를 調査하기 위하여 Ilev (1961)의 選擇指數(E)로서 檢討하였다.

$$\text{즉, } E_i = \frac{r_i - P_i}{r_i + P_i}$$

이 式에서 r_i 는 消化管内容物에서 種類 i 의 組成比, P_i 는 환경에서 種類 i 의 組成比이다.

또한 흰배도라치의 먹이생물 중 各 種類가 차지하는 비중을 알기 위하여 消化管内容物에 있어서 各 種類의 重要度를 計算하였으며 Windell(1971)의 重要度指數(I_i) $I_i = \sqrt{\frac{r_i}{N}} \cdot \frac{f_i}{F}$ 로써 나타내었다. 여기서 N 은 全標本의 消化管에서 發見한 먹이생물의 總 個體數, n_i 는 N 중에서 種類 i 의 個體數, F 는 全標本尾數이고, f_i 는 F 중에서 먹이생물 種類 i 가 發見한 빈도수를 나타내었으며, 그 값을 백분율로서 표시하였다. 本 研究에서 消化管内容物 및 환경에서 먹이생물의 비교관찰은 모두 個體數를 基準으로 하였다.

結果 및 考察

흰배도라치 稚仔魚의 消化管内容物을 分析한 결과 먹이생물은 모두 27種이 나타났으며, 橈脚類, 十脚類 幼生 및 魚卵이 거의 대부분을 차지하고 있다. 月別, 體長別에 따른 먹이생물의 組成은 Table 1, 환경에서 먹이생물의 分布量은 Fig. 2와 같다.

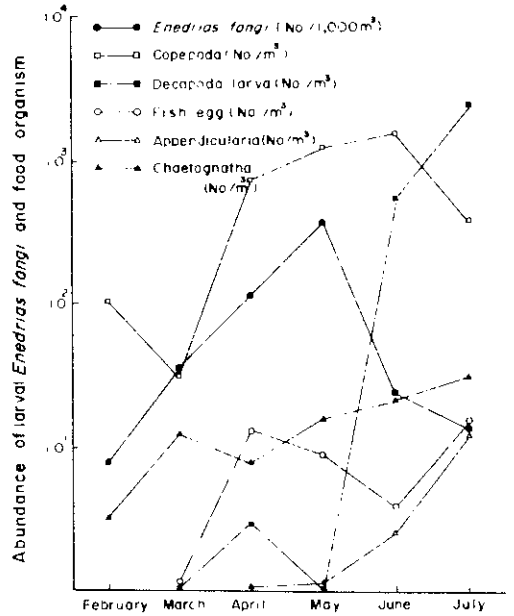


Fig. 2. Variation of abundance of larval *Inedrias fangi* and food organism by month in Kyonggi Bay.

2월의 末 種은 體長 11.0-12.0 mm 크기가 우점적으로 出現하며 30尾中 8尾만이 消化管에서 먹이생물이 관찰되었고, 橈脚類의 *Paracalanus parvus*, *Corycaeus affinis*와 十脚類의 幼生만 攝食한 것으로 나타났다. 이에 환경에서도 橈脚類가 거의 93%를 차지하며 3%의 毛頭類가 出現하고 있다. 3월은 體長 15.0-16.0 mm, 25.0-26.0 mm 크기의 흰배도라치 두 群이 우점적으로 出現하며 30尾中 各各 25, 28尾가 消化管内容物에서 먹이생물이 관찰되었다. 이에 消化管内容物의 먹이생물양상은 두 群이 비슷하게 나타나고 있다. 먹이생물은 橈脚類가 90% 이상을 차지하며 2월과 마찬가지로 *P. parvus*, *C. affinis*가 다소 높게 나타났다. 이에 환경에서 橈脚類도 77% 정도로 높게 出現하고 있다. 4월에서는 體長이 30.0-31.0 mm 크기의 흰배도라치가 우점적으로 出現하며 30尾

Table 1. The composition of food items in the gut of *Enedrias fangi* (%/N=percentage by number; %/occ. =percentage by occurrence)

Month	February		March		April		May		June		July							
Length in mm(B.L)	11.0~12.0		15.0~16.0		25.0~26.0		30.0~31.0		35.0~36.0		40.0~41.0		45.0~46.0		55.0~56.0		59.0~60.0	
No. examined	30		30		30		30		30		30		30		30		30	
No. of larvae with food	8		25		28		30		29		28		29		30		30	
	%/No.	%/occ.	%/No.	%/occ.	%/No.	%/occ.	%/No.	%/occ.	%/No.	%/occ.	%/No.	%/occ.	%/No.	%/occ.	%/No.	%/occ.	%/No.	%/occ.
Phytoplankton																		
<i>Coscinodiscus</i> sp.								1.1	10.0	0.9	3.3						0.1	6.6
Zooplankton																		
Chaetognatha												1.7	10.0	0.2	10.0		0.1	6.6
Cladocera										0.3	3.3			0.1	3.3			
Copepoda																		
<i>Calanus sinicus</i>					1.3	10.0	0.2	3.3	1.9	23.3	5.8	43.3	24.6	50.0	1.0	33.3	0.6	40.0
<i>Paracalanus parvus</i>	60	20	47.5	56.7	43.0	80.0	1.4	26.7	3.6	43.3	2.6	26.7	1.1	6.7	0.6	20.0	1.8	60.0
<i>Eurytemora pacifica</i>										0.3	3.3			0.1	3.3			
<i>Centropages mcMurrichi</i>					0.9	6.7	2.0	33.3	1.1	13.3			0.6	3.3	1.6	36.7		
<i>Labidocera euchaeta</i>										0.3	3.3	12.8	26.7	0.1	3.3			
<i>Acartia clausi</i>							2.2	40.0	5.6	46.7	2.6	23.3	10.6	23.3	0.8	20.0		
<i>Acartia</i> sp.					0.4	3.3							0.6	3.3				
<i>Oithona</i> sp.			2.5	6.7	0.9	6.7	0.9	6.7	0.2	3.3					0.1	3.3		
<i>Corycaeus affinis</i>	10	3	17.5	40.0	16.6	53.3	4.3	56.7	7.3	66.7	7.2	43.3	6.1	16.7	3.6	70.0	10.2	100.0
<i>Harpacticus uniremis</i>					0.4	3.3			0.9	6.6								
<i>Tigriopus japonicus</i>											0.6	3.3	0.6	3.3				
<i>Setella</i> sp.			1.3	3.3	0.4	3.3												
Unid. Copepoda			20.0	16.7	34.0	50.0	60.0	100.0	61.3	95.7	59.7	93.3	39.7	80.0	86.6	100.0	53.3	100.0
Amphipoda															0.1	3.3	0.5	6.6
Mysid											0.3	3.3			0.2	10.0	0.2	33.4
Appendicularia											0.3	3.3			0.2	10.0	17.4	53.4
Larvae																		
<i>Cirripedia nauplius</i>			1.3	3.3			0.18	3.3							0.4	16.7	0.6	46.6
<i>C. cypris</i>															0.2	6.7	0.6	46.6
Copepoda nauplius	30	10					11.5	60.0	7.3	50.0	1.7	16.7					0.2	13.4
Calyptopis									0.4	3.3					0.1	6.7		
Zoea											0.3	3.3			3.7	73.3	14.4	100.0
Mysis									0.4	6.6	0.3	3.3	1.7	6.7	0.4	16.7	0.1	13.4
Bivalvia veliger									1.1	10.0	0.6	6.7			0.1	6.7	0.2	20.0
Gastropoda veliger											0.3	3.3			0.1	6.7	0.1	20.0
Fish eggs			10.0	23.3	2.1	10.0	16.5	76.7	7.9	40.0	15.9	43.3						

모두 消化管内容物이 관찰되었다. 먹이생물은 橈脚類가 전체의 71%를 차지하며 이 중 85%는 消化기 약간 진행된 상태여서 種의 同定은 어려웠다. 그밖의 먹이생물은 魚卵이 16.5%, 橈脚類幼生이 11.5%로 나타나고 있다. 5월은 體長 35.0~36.0 mm, 40~41.0 mm, 45.0~46.0 mm 크기의 3群의 흰배도라치가 다소 높게 출현하며 30尾나 各各 29, 28, 29尾가 消化管内容物에서 먹이생물이 관찰되었다. 먹이생물은 橈脚類가 82%, 79%, 87%로 앞단계와 비슷하게 높게 나타나고 있으나 種에 있어서는 약간의 차이를 보이고 있다. 이 세 群 모두 消化管内容物에서 60% 정도의 橈脚類는 消化가 어느정도 진행된 상태에서 全體의 種의 同定은 어려웠다. 그러나 同定 가능한 種에서 먹이생물의 양상을 보면, 體長 35.0~36.0 mm 크기의 群은 각 먹이생물의 種이 개체수에서 모두 10% 미만이나 출현빈도에서는 *C. affinis* 및 橈脚類의 幼生이 67%, 50%로 다소 높게 나타났다. 體長 40.0~41.0 mm에서는 魚卵이 16%로 약간 높게 나타나며, 그외는 모두 10% 미만이다. 출현빈도에서는 *C. sinicus*, *C. affinis* 및 魚卵이 43%로 약간 높게 나타나고 있다. 體長 45.0~46.0 mm에서는 *C. sinicus*가 25%로 다른 두 群에 비하여 높게 나타나고 있으며, 출현빈도에서도 50%를 차지하고 있다. 또한 *L. eucheta* *A. clausi*도 10%이상으로 다소 높게 나타나고 있다. 이때 환경에서의 橈脚類의 分布量은 92%로 높게 출현하며 毛頸類 및 魚卵이 약간 나타나고 있다. 6월에 本種의 출현량은 매우 감소된 상태이며 體長 55.0~56.0 mm의 크기가 우점적으로 출현하고 있다. 흰배도라치 30尾모두에서 먹이생물이 관찰되었고 그중 橈脚類가 95%를 차지하고 있으나 87%는 消化가 어느정도 진행된 상태에서 種의 同定은 어려웠다. 나머지 먹이생물은 개체수에서 모두 10%미만이며, 출현빈도에서는 *C. affinis*가 70%, 十脚類幼生이 73%로 다소 높게 나타나고 있다. 이때 환경에서 橈脚類는 64%로 消化管内容物에서 출현한 개체수 비율보다 다소 낮게 나타났다. 十脚類幼生이 앞단계보다 23%로 매우 증가된 상태이다. 그외는 모두 10%미만으로 출현하고 있다. 7월의 本種의 출현량은 매우 낮으며 體長 59.0~60.0 mm 크기가 주로 출현하고 있다. 消化管内容物에서의 먹이생물은 30尾모두에서 관찰되었으며 橈脚類가 66%로 앞의 단계보다 다소 낮게 나타나고 있으나 *C. affinis*는 전체개체수의 10%를 차지하고 있으며 30尾모두에서 출현하고 있다. 앞의

단계에 비하여 尾索類(Appendicularia)가 개체수에서 17%, 출현빈도에서 53%로 다소 높게 나타나고 있으며 十脚類幼生은 14%로 다소 증가된 상태로 30尾 모두에서 출현하고 있다. 이때 환경에서 橈脚類는 13%로 앞단계에 비하여 매우 낮게 출현하고 있으나 十脚類幼生은 80%로 출현량이 매우 높게 나타나고 있다.

지금까지 調査된 결과 흰배도라치 稚仔魚期の 먹이생물은 성장함에 따라 다소 차이가 있지만 대체로 환경에서 높은 출현량을 보이는 橈脚類가 우점적인 먹이생물로 나타났다. 이러한 양상은 許濤(1984)의 결과와 일치한다. 그러나 月別 먹이생물 양상은 약간의 차이를 보이고 있는데 이러한 이유는 흰배도라치의 먹이생물인 동물플랑크톤의 환경에서의 分布樣相에 기인된다고 생각된다. 또한 먹이생물은 성장함에 따라 출현빈도와 個體數에서 증가하고 있으며 4월의 體長 30.0 mm 부서는 거의 全個體가 먹이를 攝食하며 7월의 體長 59.0~60.0 mm는 1尾당 평균 71個體의 높은 먹이생물이 관찰되었다.

選擇度: 흰배도라치의 성장함에 따른 環境生物과 消化管内容物 間의 먹이생물의 調査에서 먹이의 選擇性은 Ivlev(1961)의 選擇指數로서 檢討하였으려 結果는 Fig. 3과 같다.

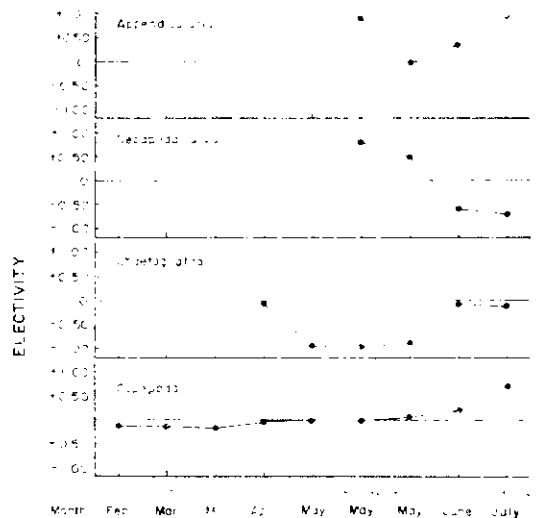


Fig. 3. Ivlev's electivity indices of four major zooplankton eaten by larval *Encydric fangi*.

먹이생물의 選擇性에서 橈脚類는 5월의 體長 46.0 mm까지 먹이選擇度의 뚜렷한 양상은 볼 수 없으며 6월의 體長 55.0 mm부터 選擇指數가 차츰 높아가는 점으로 볼때 積極的인 顯現을 하는 것으로 나타나고 있다. 毛頸類는 흰배도라치가 성장함에 따라 먹이생

물로서 뚜렷이 기여되는 분 수 없으며 대체로 消極的으로 攝食된 것으로 나타났다. 十脚類幼生은 5月の 體長 40 mm 부터 消化管内容物에서 관찰되었던 餌體數는 증가하고 있으나 먹이 嗜好度는 차츰 낮아지는 경향으로 나타나고 있다. 또한 尾索類는 흰베도라치가 성장함에 따라 體長 45.0 mm 부터 選擇度指數가 다소 높게 나타나고 있다.

이상의 먹이생물의 選擇性에서 Ivlev(1961)의 選擇指數는 -1에서 +1까지 범위에 있으며, -1에 접근할수록 흰베도라치의 먹이로서 嗜好도가 미약함을 뜻하며 +1에 가까울수록 嗜好도가 높음을 뜻한다. 또 0은 選擇性이 없음을 나타낸다. 위의 檢討結果에서 選擇指數가 높게 나타난 것은 體長 45.0 mm 부터 橈脚類와 尾索類이며 이때부터 十脚類幼生은 選擇性이 낮아진다. 7月の 경우 환경에서 十脚類幼生이 橈脚類보다 높은 출현량을 보이나 흰베도라치의 消化管内容物에서는 橈脚類가 훨씬 높게 출현하고 있다. 이러한 結果에서 許亨(1984)의 研究와 비교해보면 흰베도라치가 성장함에 따라 먹이생물로서 橈脚類에 대한 嗜好도가 높게 나타난 것은 本 結果와 一致한다. 그러나 十脚類幼生의 경우에는 실제로 흰베도라치가 성장함에 따라 消化管内容物에서 관찰되는 개체수는 증가하고 있지만 먹이생물의 嗜好도에 있어서는 미약해지기는 本 研究結果와는 다소의 차이가 있다. 또한 같은 稚仔魚의 먹이생물에서, 溟海는 環境中에 다량분포의 幼生이 多量으로 分布한에도 橈脚類 및 그 幼生을 選擇攝食하러(Bainbridge and Forsyth, 1971), 킨크리비아족 溟海는 環境속에서 우점종이 아닌 橈脚類의 *Microsetella norvegica*군(Arthur, 1976), 溟海는 環境속에서 *Pseudocalanus minutus*, *Oithona similis* 및 *O. conifera*의 먹이생물이 우점종으로 출현하고 있지만 *P. minutus*를 選擇攝食하고 있다(Kamba, 1977). 이러한 먹이의 選擇性에 대해 田中(1980)은 種의 發育段階에 따라 攝食能力, 먹이생물의 多樣性, 他 魚種과의 관계, 먹이생물의 數量變動 등과 관련이 있다고 보고하고 있다.

먹이생물의 크기 : 흰베도라치가 成長함에 따라 攝食하는 먹이생물의 크기는 體長에 따라 消化管内容物에서 관찰된 먹이생물로서 추경하였으나, Fig. 4와 같다. 대체로 많이 攝食한 먹이생물중에서 그 평균크기가 작은 먹이생물은 橈脚類의 *Paracalanus parvus* 0.9 mm, 큰 먹이생물은 橈脚類의 *Calanus sinicus*와 3.0 mm로 나타났다. 體長에 따른 먹이생물의 크기와의 體長 11.0~12.0 mm는 그 크기가 0.9~1.1 mm로

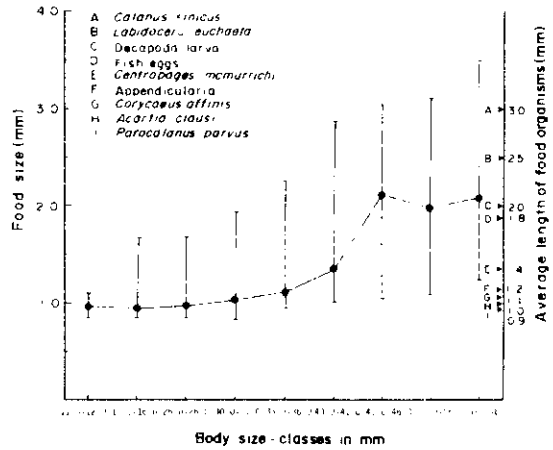


Fig. 4. Relations of food size to size of larval *Ene-drias fangi* and average length of food organisms.

줄게 나타나고 있으며, 그외의 體長에서는 먹이생물의 크기폭이 넓게 나타나고 있다. 대체로 成長함에 따라 먹이생물의 평균크기는 매우 작은 폭으로 증가하고 있으나 먹이생물크기의 뚜렷한 選擇性은 나타나지 않았다. 이러한 먹이의 選擇性에서 Lebour (1919)는 대부분 魚類稚仔魚의 먹이는 환경에서 가장 흔하게 출현하는 적당한 크기의 먹이생물을 攝食한다고 기술하고 있다. 이러한 견해에서 本 結果의 흔하게 출현하는 種에서는 一致하지만 적당한 크기의 먹이생물을 嗜好하지만 攝食하는 뚜렷한 양상을 보이지 않는다. 이러한 이유는 本 種이 어느정도 濁度가 높은 溟에서 採集한 種을 對象으로한 관계로 濁度가 높을수록 먹이생물크기에 대한 選擇性이 낮아진다는 Gardner(1981)의 結果와 어느정도 一致하고 있는 것으로 생각된다.

먹이생물의 重要度 : 흰베도라치가 成長함에 따라 먹이생물이 차지하는 비율을 重要度指數로서 表示하였으며 그 결과는 Fig. 5, 6과 같다. 橈脚類는 體長 11.0~12.0 mm에서 57%일뿐, 全 體長群에서 80% 이상의 높은 重要度指數값을 나타내고 있다. 魚卵이 體長 15.0~16.0 mm, 40.0~41.0 mm에서 다소 높은 重要度值을 보이며 十脚類幼生이 體長 55.0 mm부터 重要도가 18%, 38%로 차츰 증가하는 현상을 나타내고 있다. 그 외 重要도는 모두 10%미만으로 낮게 나타났다. 또한 높은 重要도를 보이는 橈脚類의 種別 重要도는 Fig. 6과 같다. 대체로 *P. parvus*, *C. affinis*, *C. sinicus*가 다소 높은 重要度值을 보이며 體長에 따라 큰 차이를 보인다. *P. parvus*는 體長

흰베도라치, *Encodrias fangi* 稚仔魚期の 食性

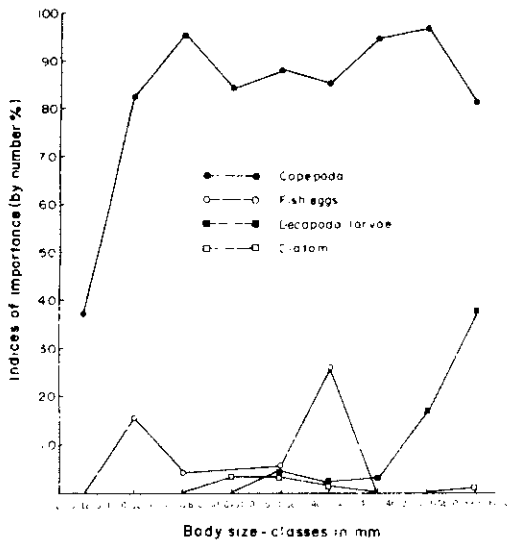


Fig. 5. Indices of importance of the major food items in the diets of *Encodrias fangi*.

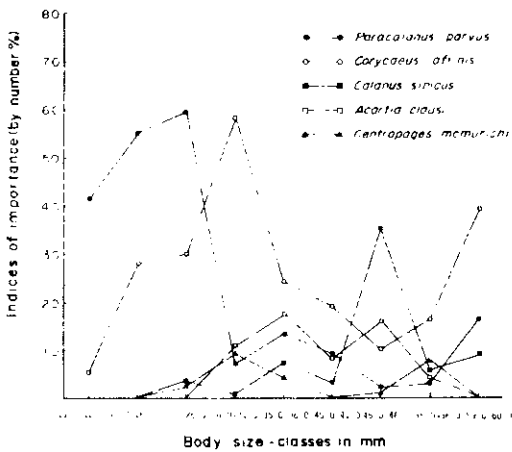


Fig. 6. Indices of importance of the Copepoda as a major component in the diets of *Encodrias fangi*.

26.0 mm까지 41%, 55%, 59%로 그 값이 차츰 증가하다가 그 이후에서는 10%미만의 낮은값을 보이며 體長 59.0~60.0 mm에서 17%로 약간 증가하고 있다. *C. affinis*는 體長 31.0 mm까지 7%, 28%, 30%, 38%로 차츰 증가하나 그 이후에서는 30%미만으로 떨어지며 體長 55.0 mm부터 17%, 39%로 차츰 증가하고 있다. 그리고 흰베도라치의 體長에 따른 橈脚類의 種別 重要度は 體長 45.0~46.0 mm에서 *C. sinicus*가 35%의 다소 높은 값을 보일뿐, 모두 20% 미만으로 낮게 나타나고 있다. 대체로 重要度

는 環境에서 우점적으로 출현하는 種과 거의 일치하고 있다.

要 約

우리나라 西海岸의 京畿灣에서 採集한 흰베도라치 個體群의 食性を 把握하기 위하여 흰베도라치 消化管内容物과 環境生物을 比較研究한 結果는 다음과 같다.

1. 흰베도라치의 먹이생물은 體長이 따라 다소의 차이는 있으나 대체로 환경에서 우점적으로 출현하는 橈脚類의 *Paracalanus parvus*, *Corycaeus affinis*, *Calanus sinicus*를 주로 攝食하며 尾索類, 魚卵, 十脚類 幼生도 體長에 따라 다소높은 먹이생물로 나타났다.

2. 흰베도라치 稚仔魚의 먹이에 대한 選擇性은 대체로 성장함에 따라 漸次적으로 높아지는 傾向을 보였다. 즉 體長이 커질수록 橈脚類를 選好하며, 體長 45.0 mm부터는 尾索類를 많이 攝食하는 傾向이 있었다. 그러나 體長 45.0 mm부터 十脚類幼生에 대한 選擇性은 감소되어 消極的 攝食을 하였고, 全體長 群에서 尾索類의 攝食은 별로 많지않은 것으로 나타났다.

3. 흰베도라치의 먹이생물크기에 대한 選擇性은 뚜렷하지 않으며 우점적으로 출현하는 먹이생물크기에 좌우되는 것으로 나타났다.

4. 흰베도라치의 성장함에 따른 먹이생물의 重要度는 全體長群에서 橈脚類가 높게 나타났으며, 體長이 따라 魚卵도 다소 높았다. 體長 45.0 mm부터는 十脚類幼生에 대한 選擇性은 감소하였으나 먹이생물 크기의 重要度는 높게 나타났다. 橈脚類의 種別 重要度에 있어 是 體長 25.0 mm 이하에서 *P. parvus*, *C. affinis*가 높았고, 體長 45.0~46.0 mm에서는 *C. sinicus*가 높게 나타났다.

文 獻

Arthur, D.K. 1976. Food and feeding of larvae of three fishes occurring in the California Current, *Sardinops sagax*, and *Trachurus symmetricus*. Fish. Bull. U.S. 74, 517-530.
Bainbridge, V and D.C.T. Fettsyth 1971. The feeding of herring larvae in the Clyde. Rapp. P. v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. 160, 110-113.

- Gannon, J.E. 1971. Two counting cells for the enumeration of zooplankton microcrustacea. Trans. Amer. Micros. Soc. 90, 486-490.
- Gardner, M.B. 1981. Mechanisms of size selectivity by planktivorous fish: a test of hypothesis. Ecology. 62(3), 571-578.
- Hur, S.B. and J.M. Yoo. 1983. Notes on external morphology of *Enedrius nebulosus* and *E. fangi* in Korean waters. Bull. Korean Fish. Soc. 16(2), 97-102.
- 許亨澤·金東燁·柳在洛. 1984. 西海岸해마포리과類 (*Enedrius*)稚魚資源. 釜山水大研報 24(1), 68-79.
- Ivlev, V. S. 1961. Experimental ecology of the feeding of fishes. Trans. from Russian by Dokama, K.O. and D.Y. Yosiwara. New, Sci. Press, 26-75.
- Kamba, M. 1977. Feeding habits and vertical distribution of walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), in early life stage in Uchiura Bay, Hokkaido. Res. Inst. N. Pac. Fish. Hokkaido Univ., Spe. Vol. 176-197.
- Lebour, M.V. 1919. The food of young fish. no. 1. J. mar. biol. Ass. U.K. 12, 331-324.
- Moeda, S. 1939. Devices of simple plankton apparatus. Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 7, 73-81.
- 海洋生物. 1984. 농민수산물연보.
- 田中克. 1980. 海産仔魚の攝食と生後. 海洋と生物 2(6), 440-447.
- Wang, K. F. and S. C. Wang. 1975. 中國海洋魚類原色圖集. 中國科學院海洋研究所 上海自然博物館, 171.
- Windell, J.T. 1971. Food analysis and rate of digestion. In W.E. Ricker (editor), Methods for assessment of fish production in fresh waters. 2nd. ed. IBP (Int. Ecol. Programme) Handb. 3, 215-226.
- Yatsu, A. 1981. A revision of the gunnel family pholididae (Pisces, Elemmiolele) Bull. Nat. Sc. Mus., Tokyo. Ser. A. 7(4), 165-190.
- 柳在洛. 1985. 흰해마포리, *Enedrius fangi* 稚仔魚期の形態 및 骨格發達에 관한 研究. 釜山水大大学院 碩士學位論文.

흰베도라치, *Enedrias fangi*(Wang and Wang) 稚仔魚期の 形態 및 骨骼發達에 관한 研究*

柳 在 洺** · 金 容 億***

A study on the Morphological and Skeletal Development of Larvae and Juveniles of *Enedrias fangi*(Wang and Wang)*

Jae Myung Yoo** and Yong Uk Kim***

Abstract

The external morphological and skeletal developments related to the body length of *Enedrias fangi* were studied for the materials collected in the Yellow Sea during the period of February through July, 1982.

Transformation from post larval stage to young stage take place at about 30mm BL, and young stage to immature stage take place at about 94mm BL. The degree of morphological change of *E. fangi* is accelerated during the early developmental stages, especially the period of the BL between 25mm and 30mm. Accordingly, it seems that the metamorphosis takes place at this stage. The general sequences of ossification take place at about 15-20mm BL, first from the jaws, vertebral column and visceral skeletons, which are known to be essential for feeding, movement and respiratory functions. These are followed by most of cranial bones, suspensorium and fin and fin supports, etc.

緒 論

흰베도라치, *Enedrias fangi*(Wang and Wang)는 黃海에서만棲息하는 것으로 알려진 種으로서 Wang and Wang(1975)과 Yatsu(1981)는 황줄베도라치科(Pholidae), 베도라치屬(*Enedrias*)으로 分類하고 있다. 이 種은, 우리나라 西海岸에서 漁獲되는 베도라치類의 대부분을 차지

한다고 밝혀진 바 있다(Hur *et al.*, 1984). 우리나라에서는 이 種의 稚魚期 및 未成魚期에 주로 漁獲되며, 1983年度 漁獲高는 1623%이었다(수협중앙회, 1984). 그러나 本 種에 대한 研究는 成魚에 관한 단편적인 分類學的 研究(Wang and Wang, 1975; Yatsu, 1981)와 베도라치類의 稚魚資源에 대한 研究報告(許 등, 1984)가 있을 뿐, 稚仔魚에 있어서 分類學的 研究나 成

* 1984學年度 碩士學位 請求論文으로 提出된 것임.

** 大學院 水產生物學科: Dept. of Fisheries Marine Biology, Graduate School

*** 資源生物學科: Dept. of Marine Biology

長에 따른 具體的인 形態變化의 研究報告는 없
다. 因此로 本 研究에서는 우리나라 西海岸에
출현하는 흰배도파치를 對象으로 仔魚後期에서
未成魚期 初期까지의 外部形態 및 骨骼의 分化
에 따른 骨化過程을 中心으로 研究하였다.

材料 및 方法

本 研究에 使用된 材料는 1982年 2月부터 7月
까지 6회에 걸쳐 西海岸 36°00'—37°20'N, 海岸
으로 부터 125°00'E에 이르는 海域에서 29개의
定點을 設定하였고(Fig. 1), 網口의 直徑 1m,
網目 240 μ m인 표준네트를 使用하여, 表層採集
과 傾斜採集方法을 시행하였다.

傾斜採集은 調査船이 約 4kts로 航海하는 동안
네트를 일정한 속도로 내려 네트가 海底로 부터
約 5m 정도에 닿았을 때 네트를 잡아올렸다가
이때 네트의 曳引線 角度는 45°로 유지시켰고,
傾斜採集을 할 수 없는 沿岸의 定點에서는 水深
1m 정도에서 水平曳網을 하였는데 속도는 傾
斜採集 때와 같았으며, 曳網時間은 10分정도
이었다. 現場에서 採集된 標本은 10%의 海水中의
포브탈린에 固定한 후 實驗室로 옮겨 흰배도파
치를 分類한 다음 각 부위를 測定板과 立體顯微
鏡(WILD M8)을 使用하여 測定하였으며, 各 測
定部位는 다음과 같다.

體長(Body length, BL): 주둥이의 앞끝에서
꼬리지느러미 基底까지의 길이.

體高(Body height, BH): 肛門에서 몸통부분
의 垂直길이.

頭長(Head length, HL): 주둥이 끝에서 아가
미 뚜껑뼈(opercle) 뒤끝까지의 길이.

眼徑(Eye diameter, ED): 눈의 수평길이.

꼬리지느러미길이(Caudal fin length, CFL):
꼬리지느러미基底에서 뒤끝까지의 길이.

주둥이 끝에서 肛門까지의 길이(Precanal leng-
th, PAL): 주둥이 끝에서 肛門까지의
직선거리.

肛門에서 脊樑끝까지의 길이(Anal length,
AL): 肛門에서 꼬리지느러미 基底까지의
거리.

가슴지느러미 길이(Pectoral fin length, PFL)

: 가슴지느러미 基底에서 뒤끝까지의 거
리.

魚體測定은 1mm까지, 眼徑은 0.01mm까지
測定하였다. 測定이 끝난 標本은 體長의 크기에
따라 外部形態와 骨骼의 發達過程을 관찰하였
다. 外部形態는 주로 지느러미의 發達, 黑色素
胞의 形態, 비늘 형성시기, 體長에 따른 各 部
位의 比率 및 頭部感覺器官을 관찰하였고, 骨骼
의 發達過程은 體長에 따라 軟骨, 硬骨의 選擇
的 染色에 의하여 立體顯微鏡(WILD M8)과 萬
能透影機(NIKON type 210)로서 관찰하였으며,
骨骼의 各 部分을 採骨한 다음 관찰 및 스케치
하였다. 染色方法은 Taylor法(Taylor, 1967)으
로 하였고, 스케치는 描畫器를 사용하였다. 各
魚類의 發育段階에 따른 用語는 內田(1958)이
따랐다.

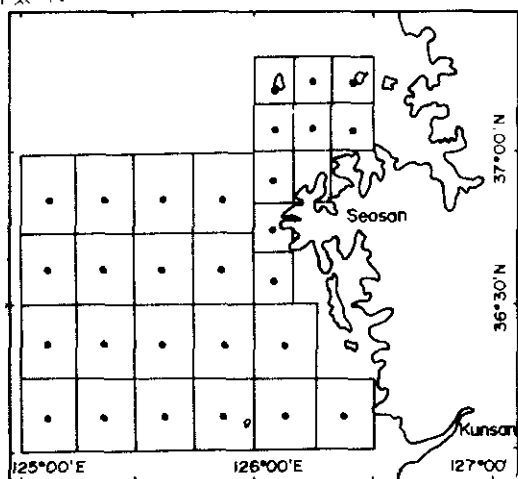


Fig. 1. Sampling stations in study area.

結 果

1. 外部形態

1) 外部形態의 發達

本 調査期間中 孵化直後의 仔魚前期는 發見하
지 못하였으며, 2月중순 體長 11mm의 仔魚後期
에서 7月중순 體長 94mm의 未成魚期까지를 研
究對象으로 하였는데 성장에 따른 外部形態의
發達은 Table 1, Fig. 2와 같다.

Table 1. Development of meristics of *Enecrias fangi*

BL (cm)	Sample size	Fin-rays					Vertebrae				
		Dorsal	Anal	Pectoral	Pelvic	Caudal		Abdo- men	Caudal	Total	
						Upper	Lower				
1.1	1										
1.2	2										
1.3	1										
1.4	1										
1.5	1										
1.6	1										
1.7	1										
1.8	2							33	3	36	
1.9	1							2	32	4	36
2.0	2						4	5	32	4	36
2.2	2						5	5	32	5	37
2.3	3						5	5	34	25	60
2.4	2						5	5	35	40	75
2.5	1	XXII	41	9			6	5	38	45	83
2.6	2	XLV	43	8			6	5	36	48	84
2.9	1	LXXIX	43	13			6	5	38	48	86
3.0	3	LXXX	44	13			6	6	38	48	86
3.1	2	LXXX	44	13			7	7	37	49	86
3.2	1	LXXX	42	14			7	7	38	48	86
3.3	3	LXXX	44	14			7	7	38	48	86
3.4	1	LXXXI	44	14			7	7	38	49	87
3.5	2	LXXX	II 44	15			7	7	37	48	86
3.6	2	LXXX	II 44	15			7	7	37	49	86
3.7	3	LXXX	II 43	15			7	7	38	48	86
3.8	4	LXXIX	II 43	15			7	7	37	49	86
3.9	5	LXXX	II 44	15	I-1		7	7	37	49	86
4.0	3	LXXX	II 43	15	I-1		7	7	38	48	86
4.1	5	LXXX	II 44	15	I-1		7	7	38	48	87
4.2	1	LXXXI	II 44	14	I-1		7	7	38	49	87
4.3	6	LXXIX	II 44	15	I-1		7	7	38	49	86
4.4	3	LXXX	II 44	14	I-1		7	7	37	49	86
4.5	2	LXXIX	II 43	15	I-1		7	7	37	49	86
4.6	2	LXXX	II 44	15	I-1		7	7	37	49	86
4.7	2	LXXX	II 44	14	I-1		7	7	37	49	86
4.9	2	LXXX	II 43	15	I-1		7	7	37	48	85
5.0	1	LXXIX	II 42	15	I-1		7	7	38	48	86
5.1	2	LXXIX	II 43	15	I-1		7	7	37	48	85

體長 14mm에서 몸은 한지히 길며 머리는 몸
 봉에 비하여 큰 편이고, 肛門은 몸의 중앙보다
 약간 뒤에 위치한다. 지느러미는 膜지느러미의
 상태이며, 黑色素胞은 消化管과 꼬리부분의 腹
 側에 작은 점으로 출지어 있고, 肛門 근처에 3
 ~4개, 가슴지느러미 基底의 腹側에도 星狀의
 黑色素胞이 1개 存在한다(Fig. 2-A).

體長 18mm에서는 膜지느러미가 分枝하기 시
 작하며, 꼬리지느러미의 原基가 나타난다. 黑色
 素胞은 14mm때와 같다(Fig. 2-B).

體長 24mm에서는 등지느러미와 뒷지느러미의
 頂基가 나타나기 시작하고, 꼬리지느러미 줄기
 2는 10개정도 형성된다(Fig. 2-C).

體長 31mm에서는 등지느러미가 79~81개, 뒷
 지느러미가 45~46개, 꼬리지느러미가 14개로
 定數에 달하며, 가슴지느러미의 鰭條도 13개 정
 도 형성되어 있다. 黑色素胞은 크게 變化는 없
 지만 消化管의 背側에 새로운 黑色素胞이 출현
 하고, 脊椎 말단부는 굽어지기 시작한다(Fig. 2
 -D).

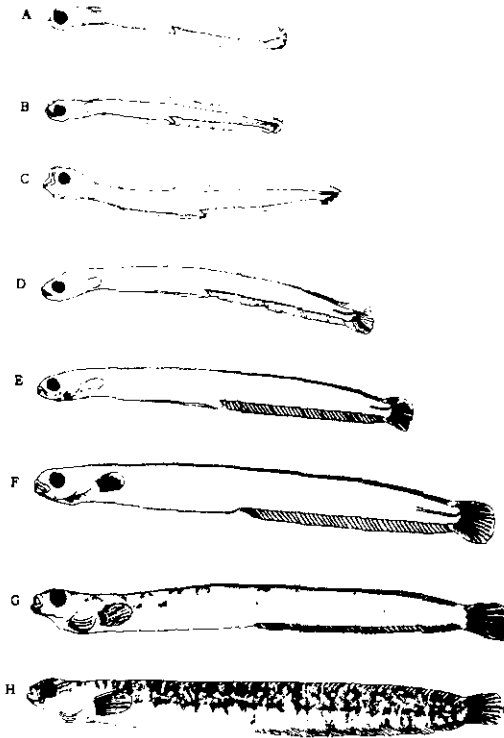


Fig. 2. Developmental series of *Enedrias fangi*.

- A. Postlarval stage, 14mm BL
- B. Postlarval stage, 18mm BL
- C. Postlarval stage, 24mm BL
- D. Young stage, 31mm BL
- E. Young stage, 40mm
- F. Young stage, 50mm BL
- G. Young stage, 60mm BL
- H. Immature stage, 94mm BL

體長 40mm에서 가슴지느러미는 15軟條, 배지느러미는 1棘 1軟條로 定數에 달하므로 소지느러미가 定數에 달하게 된다. 그러므로 이 단계가 稚魚期로 移行되는 시기라고 생각된다. 黑色素胞는 위턱과 前鰓蓋骨 부분에 새로운 星狀의 형태로 4~5개 나타나며, 體側의 正中線에 작은 黑色素胞가 일렬로 나타난다(Fig. 2-E).

體長 50mm에서는 등지느러미 基底부분, 體側의 正中線 및 뒷지느러미 基底에서 작은 黑色素胞가 줄지어 나타난다(Fig. 2-F).

體長 60mm에서는 頭部에 많은 黑色素胞가 나타나고 體側의 黑色素胞는 腹中線, 正中線 및 뒷지느러미 基底부분에 暗色帶를 형성한다. 頭部를 包含한 몸 전체에 처음으로 작은 비늘이 나타난다(Fig. 2-G).

體長 94mm에서는 黑色素胞가 등지느러미 基底에 II字 모양으로 15~16개가 뚜렷이 나타나고, 體側正中線을 中心으로 H字형의 黑色素胞가 뚜렷하며, 뒷지느러미 基底에도 黑色素胞가 H字형으로 나타난다. 꼬리지느러미 끝부분이 투명하게 되어 있으며, 色素의 형태가 成魚와 비슷하게 된다. 그러므로 94mm 전후로 未成魚期에 들어간다고 생각된다(Fig. 2-H).

2) 體形の 變化

흰배도라치의 초기 성장에 있어서 體形の 變化를 體長과 비교하여 그 백분율로서 조사하였다(Fig. 3).

體高: 體高는 體長에 대하여 5~10.5% 수준이다. 그러나 體長이 커짐에 따라 다소 體高가 증가하는 상태이다.

頭長: 頭長은 體長에 대하여 10.6~17.0% 수준이며, 성장에 따른 變化는 볼 수 없다.

眼徑: 眼徑은 體長에 대하여 2.7~5.7% 수준이며, 성장에 따른 變化는 볼 수 없다.

꼬리지느러미 길이: 體長에 대하여 0.5~10% 수준이며, 體長 25~35mm에서 급격한 變化를

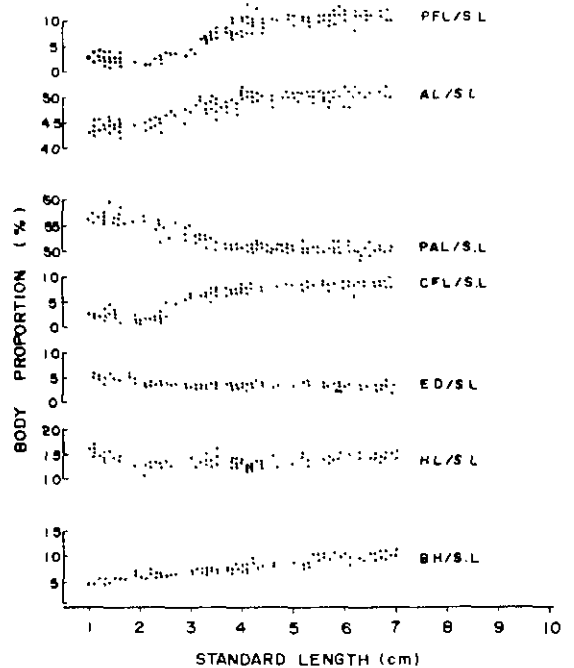


Fig. 3. Changes of body proportions in relation to standard length of *Enedrias fangi*.

나타내고 있다.

주둥이 끝에서 肛門까지의 길이:體長에 대하여 50~58% 수준으로 體長 25~35mm의 범위에서 그 變化가 심하다.

肛門에서 脊椎끝까지의 길이:體長에 대하여 41.5~50% 수준이며, 25~35mm에서 變化幅이 심하다.

가슴지느러미 길이:體長에 대하여 1.0~9.0% 수준이며, 體長 25~35mm에서 급격한 變化를 나타내고 있다.

3) 頭部感覺管(Cephalic sensory canal)

魚類의 皮膚感覺器官은 주로 頭部에 發達하였다. 그 중 頭部感覺管의 形態와 感覺管孔數는 魚類의 分類形質이 되기도 하지만 이러한 구멍은 점액으로 충만되어 있기 때문에 관찰하기가 매우 어렵다. 그러나 本 研究에서는 染色法에 의하여 體長 60mm에서 관찰할 수 있었고, 部位에 따라 鼻管, 眼上孔, 眼下管, 眼後前管, 眼後後管, 後頭管, 下顎管, 前鰓蓋管으로 구분되며 頭部좌측부분을 中心으로 관찰하였다(Fig. 4).

鼻管(Nasal canal, NA)은 주둥이에서 眼上孔까지이며, 2개의 구멍이 있다. 眼上孔(Supraorbital pore, SPO)은 眼上骨과의 接合부분이며 1개의 구멍이 있다. 眼下管(Infraorbital canal, IFO)은 눈의 밑부분을 둘러싸고 있는 부분이며

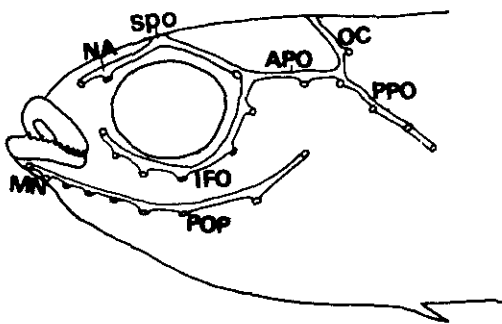


Fig. 4. Semidiagrammatic drawing of cephalic sensory canal pore series in *Enedrias fangi*.

APO, anterior postorbital canal; IFO, infraorbital canal; SPO, supraorbital pore; MN, mandibular canal; NA, nasal canal; OC, occipital canal; POP, preopercular canal; PPO, posterior postorbital canal.

6개의 구멍이 있다. 眼後前管(Anterior postorbital canal, APO)은 眼上管과 眼下管의 연결부분에서 頭部의 뒷쪽까지이며 3개의 구멍이 있다.

眼後後管(Posterior postorbital canal, PPO)은 上側頭骨의 接合부분에서 後頭管까지이며 3개의 구멍이 있다. 後頭管(Occipital canal, CC)은 眼後管의 뒷쪽으로 연결되는 上側頭骨의 接合부분에서 등쪽부분을 말하며, 1개의 구멍이 있다. 下顎管(Mandibular canal, MN)은 턱받이에서 關節骨(Articular) 뒤끝까지를 말하며, 4개의 구멍이 있다. 前鰓蓋管(Preopercular canal, POP)은 前鰓蓋骨이 있는 管을 말하며, 5개의 구멍이 있다.

2. 骨骼의 形態 및 發達

本 種의 骨骼에 관한 研究는 體長의 성장에 따라서 各 部分의 骨化 및 硬骨化되는 시기와 形態變化를 中心으로 軟骨·硬骨의 選擇的 染色에 의하여 觀察하였다.

1) 頭蓋骨(cranium)

成長에 따른 頭蓋骨의 骨化시기 및 體長에 따른 形態의 變化는 Table 2와 Fig. 5와 같다.

頭蓋骨에서 처음으로 骨化되는 것은 副楔骨(parasphenoid)로서 體長 20mm 이전의 단계에서 이미 骨化되어, 體長 24mm 전후에서 硬骨化되어간다. 또한 이때 鋤骨(vomer), 額骨(frontal), 外後頭骨(exoccipital), 基底後頭骨(basio-occipital)이 骨化되기 시작하여, 40mm 전후로 硬骨化가 시작된다. 다음으로 骨化되는 것은 篩骨(ethmoid)이 鋤骨의 뒷부분에서 前額骨(pre-frontal)이 눈의 앞부분에서 30mm 前後에 骨化가 시작되나 篩骨은 前額骨보다 먼저 45mm 전후로 硬骨化가 시작되고, 前額骨은 55mm 전후로 硬骨化가 시작된다. 顛頂骨(parietal)은 額骨의 뒷부분에서, 楔耳骨(sphenotic)은 翼耳骨의 前方에, 翼耳骨(pterotic)은 頭蓋骨의 外後部에, 上耳骨(epiotic)은 顛頂骨의 後下部에서 35mm 전후로 骨化가 시작되며, 모두 55mm 이후에 硬骨化가 된다. 마지막으로 頭蓋骨의 後部에 上後頭骨(supraoccipital)이, 腦室의 前側壁에 翼楔

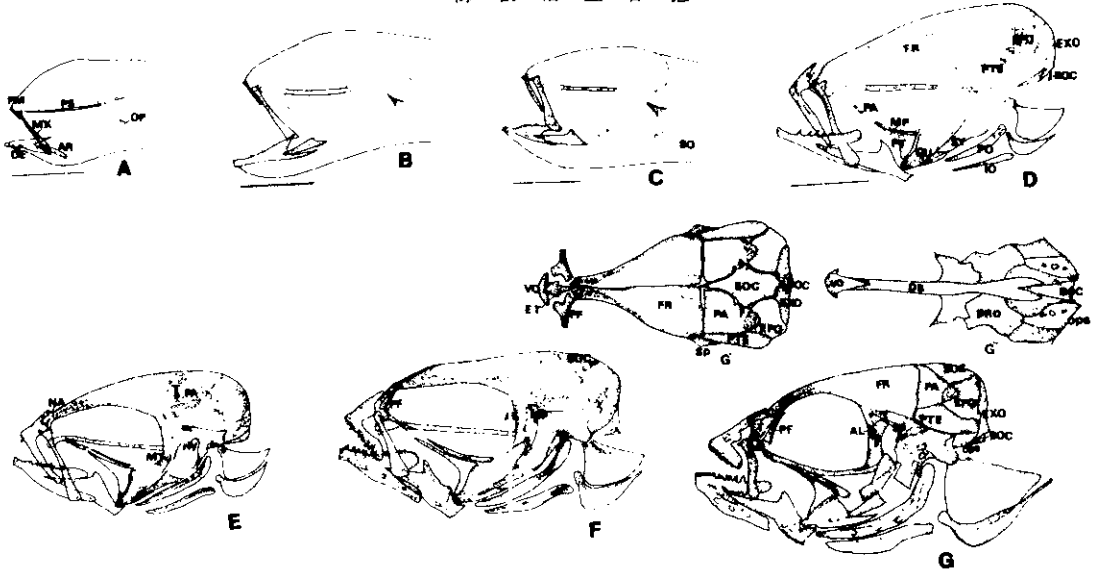


Fig. 5. Development of the cranial skeleton in *Enedrias fangi*. cartilage, white; ossifying, stippled A: 14mm, B: 18mm, C: 24mm, D: 31mm, E: 40mm, F: 50mm, G: 60mm, G': 60mm, dorsal view of cranium, G'': 60mm ventral view of cranium. VO, vomer; ET, ethmoid; PF, prefrontal; FR, frontal; PA, parietal; SP, sphenotic; SOC, supraoccipital; EXO, exoccipital; BOC, basioccipital; PTE, pterotic; EPO, epiotic; AL, alisphenoid; PRO, prootic; OPS, opisthotic; PS, parasphenoid; NA, nasal; PM, premaxillary; MX, maxillary; DE, dentary; AR, articular; PA, palatine; PT, pterygoid; MP, mesopterygoid; MT, metapterygoid; QU, quadrate; SY, symplectic; HY, hyomandibular; OP, opercle; PO, preopercle; IO, interopercle; SO, subopercle. Scale bar: 1mm

骨(alisphenoid)이, 腦室의 前側壁에 前耳骨(pre-otic)이, 腦室의 後部側壁에 後耳骨(opisthotic)이, 篩骨의 윗부분에서 鼻骨(nasal)이 40mm 전후로 骨化가 시작되어, 모두 55mm 전후로 硬骨化 된다. 그리고 體長에 따른 形態變化는 體長 60mm 이하에서 그 윤편이 희미하지 나타나므로 비교관찰하기는 어렵다.

2) 顎骨(Mandibular bone)

顎骨은 모두 體長 15mm 전후에서 骨化가 시작되며, 體長 20mm 전후에서 大部分 硬骨化된다(Table 2). 그리고 成長에 따른 形態의 變化는 Fig. 6, 7과 같다.

體長 14mm에서 上顎骨(maxillary)은 가느다란 막대기모양, 前上顎骨(premaxillary)은 線形으로 형성된다. 齒骨(dentary)은 약간 넓적한 형태이며, 關節骨(articular)은 뒷부분의 윤편이 불분명하다(Fig. 6, 7-A).

體長 18mm에서는 前上顎骨은 약간 두꺼워지고, 齒骨은 가느다란 이빨이 2~3개 형성되기

시작한다. 그 외의 부위에서는 形態變化가 거의 없다(Fig. 6, 7-B).

體長 24mm에서는 上顎骨의 앞끝은 前上顎骨과의 접합 부분에 骨棘이 두꺼워지고 齒骨에서는 이빨의 윤편이 뚜렷하고 前上顎骨보다 이빨이 빨리 형성된다. 또한 關節骨의 위쪽은 보폭하게 돌출되며, 角骨(angular)의 형태가 뚜렷해진다(Fig. 6, 7-C).

體長 31mm에서는 前上顎骨이 L字의 모양으로 되면서 굽어지는 부분이 두꺼워지고, 齒骨에서는 이빨이 5개 정도 형성된다. 이때 角骨의 뒷부분이 약간 돌출된다. 그리고 關節骨과 齒骨의 안쪽에 맥켈스카軟骨(Meckel's cartilage)이 형성된다(Fig. 6, 7-D).

體長 40mm에서는 前上顎骨에 처음으로 이빨이 1~2개 형성된다. 이때 齒骨은 이빨이 7~8개이고, 하부에는 작은 구멍이 생기며, 또한 關節骨의 뒷부분에도 작은 구멍이 형성된다(Fig. 6, 7-E).

Table 2. Sequence of ossification in larvae and juveniles of *Enedris fangi*.
 The initial ossification of an element is indicated by X.
 A dashed line indicates that an element is ossified in some, but at all, specimens; a solid line indicates the element is consistently ossified

Element	Standard length(cm)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cranium											
Vomer			X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ethmoid				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Prefrontal				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Frontal			X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Parietal					X	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Sphenotic					X	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Supraoccipital						X	-----	-----	-----	-----	-----
Exoccipital				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Basioccipital				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pterotic					X	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Epiotic				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Alisphenoid						X	-----	-----	-----	-----	-----
Prootic					X	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Osthotic					X	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Parasphenoid		X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Nasal					X	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mandibular arch											
Maxillary		X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Premaxillary			X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Dentary			X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Articular			X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Angular		X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Suspensorium											
Palatine						X	-----	-----	-----	-----	-----
Pterygoid				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mesopterygoid				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Metapterygoid					X	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Quadrate				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Symplectic				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Hyomandibular					X	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Opercular bones											
Preopercle				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Interopercle				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Opercle			X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Subopercle				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Hyoid arch											
Glossohyal					X	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Hypohyal			X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Element	Standard length(cm)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ceratohyal			X								
Epihyal			X								
Interhyal			X								
Branchiostegal ray			X								
Urohyal			X								
Gill arches											
Pharyngeal teeth (Upper)		X									
" (Lower)		X									
Basibranchial			X								
Hypobranchial			X								
Ceratobranchial		X									
Epibranchial		X									
Pharyngobranchial			X								
Gill raker				X							
Vertebral column											
Centrum		X									
Haemal spine			X								
Neural spine			X								
Caudal skeleton											
Hypural				X							
Epural				X							
Uroneural bone					X						
Urostyle bone				X							
Caudal fin (Upper)					X						
" (Lower)				X							
Shoulder girdle											
Clavicle		X									
Posttemporal				X							
Supraclavicle			X								
Scapula					X						
Actinost					X						
Coracoid					X						
Pectoral fin			X								
Pelvic girdle											
Pelvic bone						X					
Pelvic fin					X						
Dorsal fin											
Fin ray (spine)				X							
Interneural spine				X							
Anal fin											
Fin ray (spine)				X							
" (soft)				X							
Interhaemal spine				X							

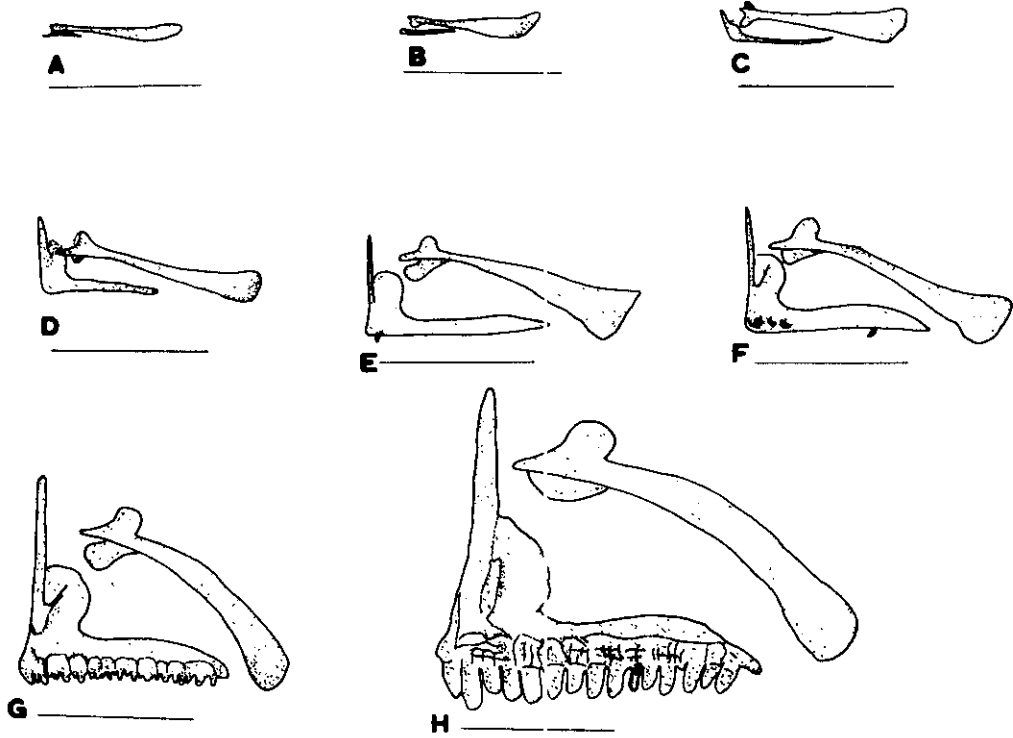


Fig. 6. Development of the upper jaw in *Enedrias fangi*.

A: 14mm, B: 18mm, C: 24mm, D: 31mm, E: 40mm, F: 50mm,
G: 60mm, H: 94mm. Scale bar 1mm.

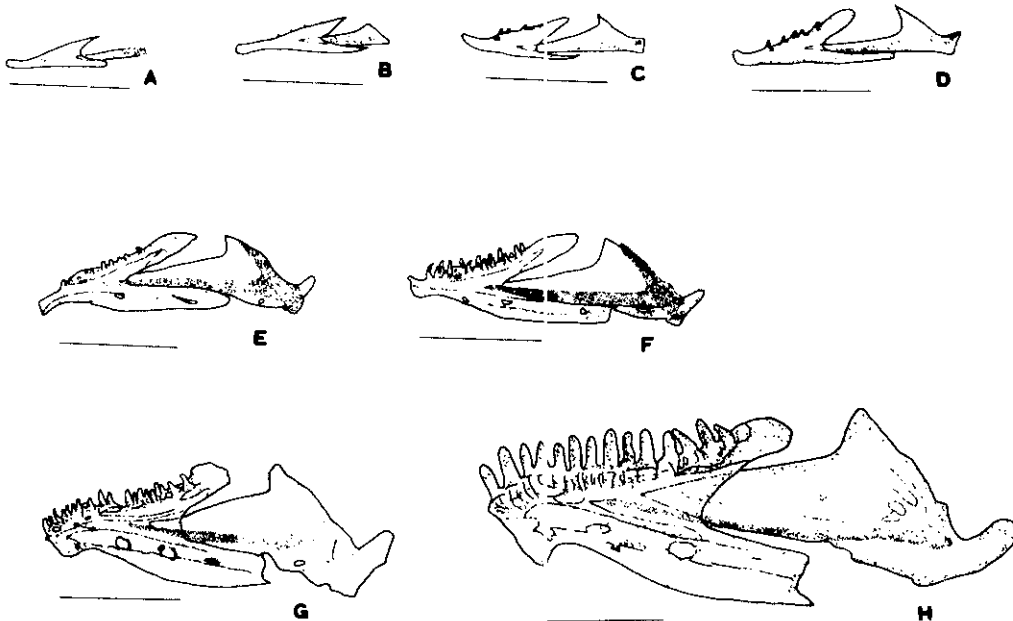


Fig. 7. Development of the lower jaw in *Enedrias fangi*.

A: 14mm, B: 18mm, C: 24mm, D: 31mm, E: 40mm, F: 50mm,
G: 60mm, H: 94mm. Scale bar: 1mm

體長 50mm에서는 前上顎骨에 이빨이 5개정도 형성되며, 이때 齒骨의 이빨은 14~15개로 급격히 증가된 현상을 나타낸다(Fig. 6, 7-F).

體長 60mm에서는 前上顎骨의 이빨은 급격히 증가하여 15~16개가 되고, 齒骨의 이빨 수도 이와 비슷하며, 형태에는 큰 變化가 없다(Fig. 6, 7-G).

體長 94mm에서는 양쪽 이빨의 수는 變化가 없으나 크고 뾰족하게 되며, 나머지 骨骼은 비례적으로 굵어진다(Fig. 6, 7-H).

3) 懸垂骨(Suspensorium)

懸垂骨은 一般的으로 口蓋部(palate)와 鰓蓋部(opercle)를 구성하고, 成長에 따른 骨化시기 및 形態의 發達은 Table 2, Fig. 8과 같다.

骨化시키는 대체로 鰓蓋部가 口蓋部보다 빠르며, 主鰓蓋骨(opercle)은 15mm 전후로 骨化가 시작되고, 35mm 전후로 뒷쪽부터 硬骨化 되기 간다. 나머지 前鰓蓋骨(preopercle), 間鰓蓋骨(interopercle), 下鰓蓋骨(subopercle)은 30mm 전후에서 骨化되어지며, 40mm 전후에서 硬骨化가 시작된다. 口蓋部에서 최초로 骨化되는 것은 方骨(quadrate)과 接續骨(symplectic)로서 25mm 전후에 骨化되며, 40mm 이후에서 硬骨化된다.

翼狀骨(ptyergoid)은 30mm 전후로 骨化되고, 45mm 전후로 硬骨化가 시작된다. 마지막으로 口蓋骨(palatine), 中翼狀骨(mesopterygoid), 後翼狀骨(metapterygoid) 및 舌顎骨(hyomandibular)은 35mm 전후로 骨化되며, 50mm 이전에 대부분 硬骨化된다.

成長에 따른 懸垂骨의 形態變化는 다음과 같다.

體長 31mm에서 그 윤곽이 뚜렷해지며, 方骨과 後翼狀骨, 接續骨과 舌顎骨이 軟骨로서 연결되어 있고, 翼狀骨과 中翼狀骨이 나란히 길죽하게 형성되어 있으며, 前鰓蓋骨 밑에 間鰓蓋骨이 主鰓蓋骨 밑에 下鰓蓋骨이 형성된다(Fig. 8-D).

體長 40mm에서는 舌顎骨 中央에 작은 구멍이 형성되고, 뒷쪽 基底에는 軟骨로서 경계가 뚜렷하여, 나머지 骨骼은 變化가 없다(Fig. 8-E).

體長 50mm에서는 舌顎骨의 一部分이 뾰족하게 돌출되고, 下鰓蓋骨 끝부분이 길죽하게 돌출되기 시작한다(Fig. 8-F).

體長 60mm에서는 方骨과 後翼狀骨, 接續骨과 舌顎骨의 경계가 뚜렷해지고 舌顎骨下部의 뾰족하게 돌출된 부분이 무더게 된다(Fig. 8-G).

體長 94mm에서는 方骨과 後翼狀骨, 接續骨

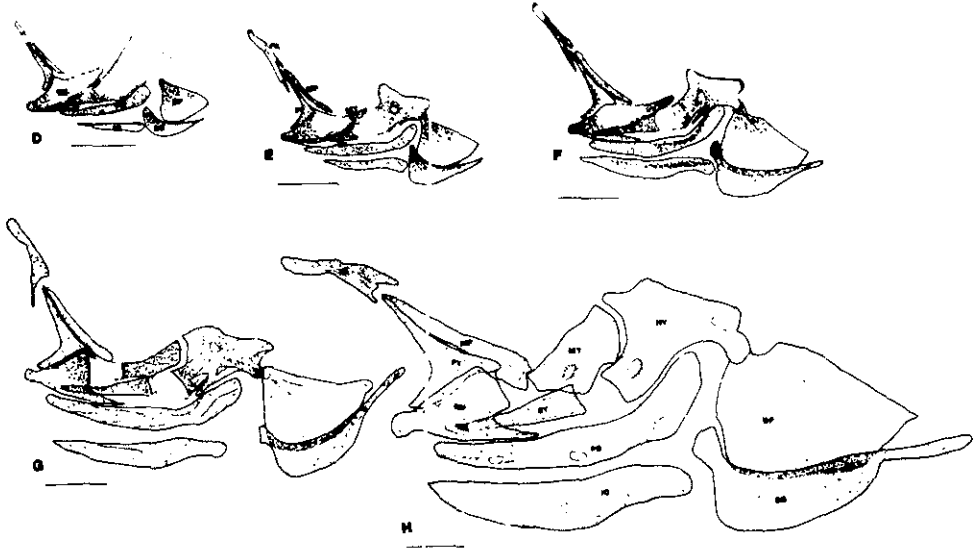


Fig. 8. Development of the suspensorium in *Enedrias fangi*. cartilage, white; ossifying, stippled.
D: 31mm, E: 40mm, F: 50mm, G: 60mm, H: 94mm.
PA, palatine; PT, pterygoid; MP, mesopterygoid; MT, metapterygoid; QU, quadrate; SY, symplectic; HY, hyomandibular; OP, opercle; PO, preopercle; IO, interopercle; SO, subopercle. Scale bar: 1mm

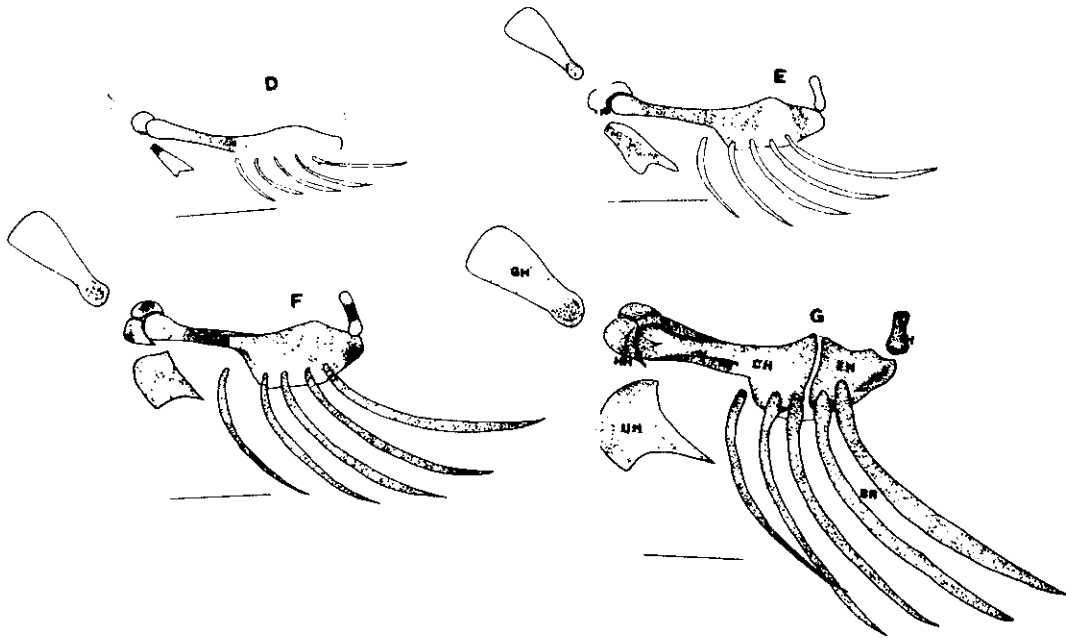


Fig. 9. Development of the left hyoid arch in *Enedrias fangi*. cartilage, white; ossifying, stippled.
 D: 31mm, E: 40mm, F: 50mm, G: 60mm.
 GH, glossohyal; HH, hypohyal; CH, ceratohyal; EH, epihyal; IH, interhyal;
 UH, urohyal; BR, branchiostegal ray. Scale bar: 1mm

과 舌顎骨이 완전히 분리되고, 口蓋骨의 끝부분은 軟骨인 상태로 남아 있다(Fig.8-H).

4) 舌弓(Hyoid arch)

舌弓의 성장에 따른 骨化시기 및 형태의 變化는 Table 2, Fig.9와 같다.

舌弓의 骨化는 咽舌骨(glossohyal)을 제외한 나머지 部分은 25mm 전후에서, 咽舌骨은 35mm 전후에서 骨化되며, 45mm 전후로 대부분 硬骨化된다.

體長에 따른 그 형태의 變化는,

體長 31mm에서 各 部分의 윤곽은 뚜렷하며, 角舌骨(ceratohyal)과 上舌骨(epihyal)은 연결되어 있고, 咽舌骨의 後下方으로 尾舌骨이 연결되어 있다. 間舌骨(interhyal)은 上舌骨의 뒷부분에 조그란 막대기모양으로 形成되어 있고, 鰓條骨(branchiostegal)은 5개로 定數에 달한다(Fig.9-D).

體長 40mm에서는 角舌骨과 上舌骨이 軟骨로서 境界가 되던 中央으로 骨化되어 진다. 尾舌

骨은 下방으로 약간 斜角하게 돌출된다(Fig.9-E).

體長 50mm에서는 下舌骨이 2개로 區分되며, 尾舌骨은 下방으로 斜角한 은행잎사귀 모양이 되고, 咽舌骨의 앞부분은 軟骨로 남아있다(Fig.9-F).

體長 60mm에서는 角舌骨과 上舌骨이 분리되며, 나머지 部分은 形態變化가 거의 없다(Fig.9-G).

5) 鰓弓(Gill arches)

鰓弓은 5쌍으로 構成되며 咽頭齒를 가진 咽頭骨은 제5鰓弓 下반부의 下咽頭骨과 제2-4鰓弓 上반부에 3쌍의 骨片이 癒合된 上咽頭骨로 되어 있다. 성장에 따른 骨化시기 및 體長에 따른 형태의 變化는 Table 2, Fig.9,10과 같다.

鰓弓에서 처음 骨化되는 것은 咽頭齒(pharyngeal teeth), 角鰓骨(ceratobranchial) 및 上鰓骨(epibranchial)이며, 15mm 전후로 骨化가 시작되고, 咽頭齒와 角鰓骨은 25mm 전후에, 上鰓

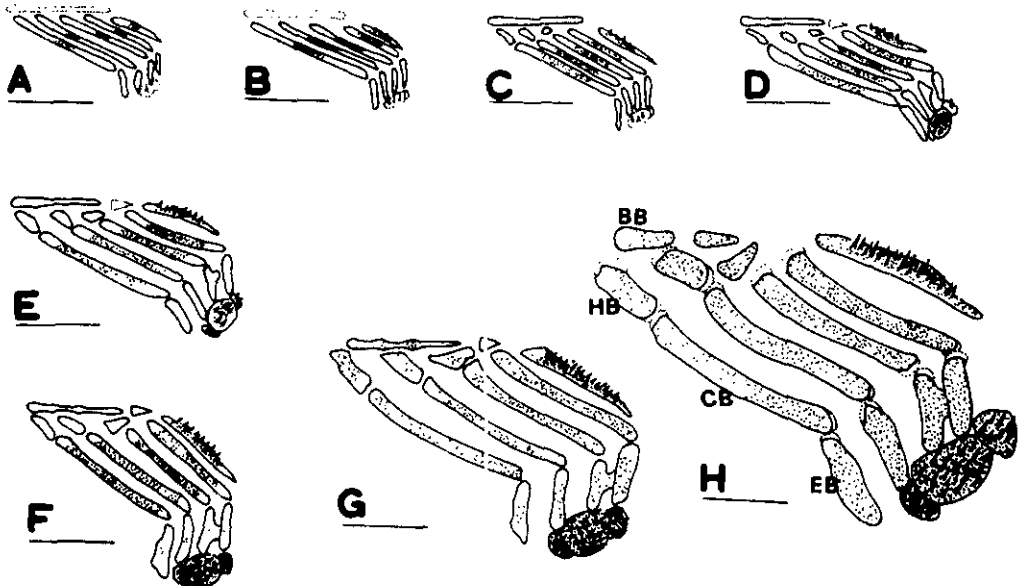


Fig 10. Development of the gill arches of *Encydrias fangi*. cartilage, white; ossifying, stippled.
 A: 14mm, B: 18mm, C: 24mm, D: 31mm, E: 40mm, F: 50mm, G: 60mm, H: 94mm.
 BB, basibranchial; CB, ceratobranchial; EB, epibranchial,
 Scale bar: 1mm

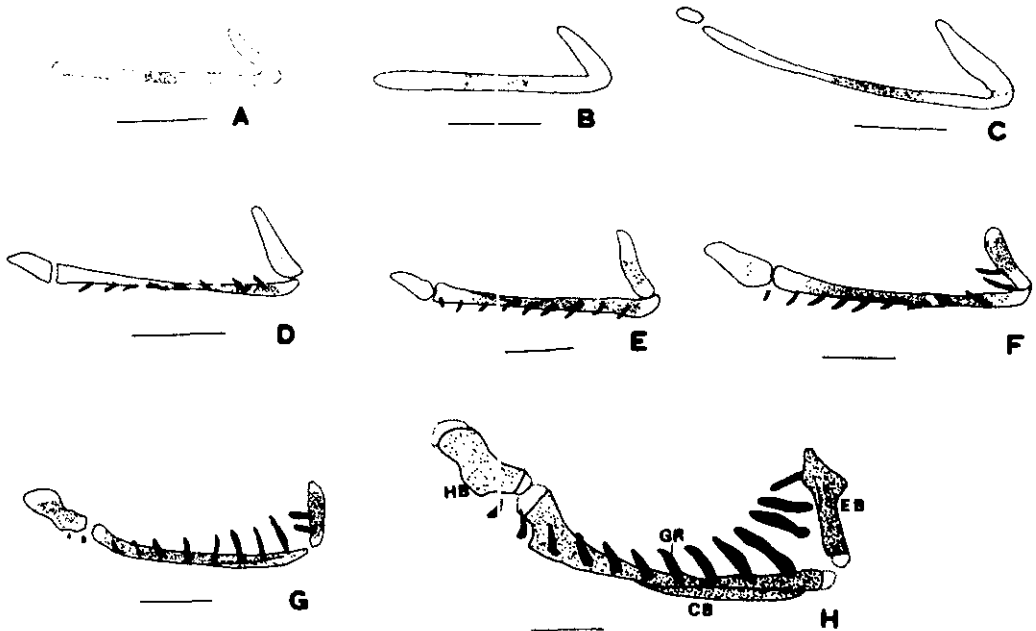


Fig 11. Development of the outer views of the first gill arch in *Encydrias fangi*. cartilage, white; ossifying, stippled.
 A: 14mm, B: 18mm, C: 24mm, D: 31mm, E: 40mm, F: 50mm, G: 60mm, H: 94mm.
 HB, hypobranchial; CB, ceratobranchial; EB, epibranchial; GR, gill raker.
 Scale bar: 0.5mm

骨은 35mm 전후에 硬骨化가 시작된다. 咽頭齒를 지지하는 咽鰓骨(pharyngobranchial)은 20mm 전후로 骨化가 시작되며, 35mm 전후로 硬骨化된다. 基鰓骨(basibranchial), 下鰓骨(hypobranchial) 및 鰓耙(gill raker)는 25mm 전후에서 骨化가 시작되며, 각각 50mm 이후, 45mm 전후, 30mm 전후에서 硬骨化된다.

體長에 따른 形態의 變化는,

體長 14mm에서 基鰓骨은 아직 骨化되지 않은 상태로 윤곽이 희미하며, 角鰓骨은 가운데부터 骨化되기 시작한다. 下咽頭齒는 아직 형성이 안된 상태이며, 上咽頭齒는 이빨이 희미하게 1개 형성된다(Fig. 10-A).

體長 18mm에서는 形態의 變化는 거의 없으나, 下咽頭齒가 3개정도 형성된다(Fig. 10-B).

體長 24mm에서는 下鰓骨이 分離되며, 上, 下咽頭齒가 3~4개 형성된다(Fig. 10-C).

體長 31mm에서는 上咽頭齒 7개, 下咽頭齒 8개 형성되며 角鰓骨에 鰓耙가 8개 나타난다(Fig. 10, 11-D).

體長 40mm에서는 제3鰓弓의 上鰓骨이 4鰓弓의 上鰓骨쪽으로 약간 돌출되며, 上咽頭齒 12개, 下咽頭齒 10개로 된다. 角鰓骨에 새로운 鰓耙가 1개 형성되어 鰓耙는 모두 9개로 된다(Fig. 10, 11-E).

體長 50mm에서는 제3, 4鰓弓 上鰓骨이 癒合되며, 上咽頭齒 18개, 下咽頭齒 12개로 된다. 上鰓骨에는 鰓耙가 2개 형성되어 鰓耙는 모두 11개가 된다(Fig. 10, 11-F).

體長 60mm에서는 角鰓骨이 완전히 硬骨化되며, 基鰓骨, 下鰓骨, 上鰓骨이 硬骨化되기 시작한다. 咽頭齒는 급격히 發達하여 上咽頭齒 40개, 下咽頭齒 21개로 되며, 角鰓骨에 새로운 鰓耙가 1개 형성되어 鰓耙는 모두 12개가 된다(Fig. 10, 11-G).

體長 94mm에서는 基鰓骨은 2개의 骨片으로 分離되고 모든 鰓弓은 모두 硬骨化된다. 咽頭齒 개수에는 變化가 없으나 크고 뾰족하게 되며 上鰓骨에 새로운 鰓耙가 1개 형성되어 鰓耙는 모두 13개로서 定數에 달한다(Fig. 10, 11-H).

6) 脊椎骨(Vertebra)

本種의 脊椎는 85~87개의 많은 椎骨로 구성

되며, 骨化過程 및 形態의 變化는 Fig. 12, 13과 같다.

體長 14mm일때 脊椎는 아직 椎骨이 형성되지 않은 脊索상태이다(Fig. 12-A).

體長 18mm가 되면 頭部에서 약 7번째 腹椎骨부터 19번째 까지의 腹椎骨이 硬骨化되기 시작한다. 그리고 나머지 腹椎骨과 6개정도의 尾椎骨이 骨化된다. 그러나 神經棘과 血管棘은 아직 형성되지 않는다(Fig. 12-B).

體長 24mm가 되면 頭部쪽 4개의 椎骨을 제외한 腹椎骨과 腹椎骨로부터 15번째 까지의 尾椎骨이 硬骨化되며, 나머지 尾椎骨은 말단의 4개의 椎骨을 제외하고는 모두 骨化된다(Fig. 12-C).

體長 26mm가 되면 腹椎骨은 全部 硬骨化되며; 尾椎骨은 24mm보다 3개 더 硬骨化되어 硬骨化된 尾椎骨은 모두 18개가 된다. 그리고 나머지 尾椎骨은 모두 骨化되면서 椎骨의 數는 85~87개로서 定數에 달하며 이때 神經棘과 血管棘은 모두 骨化된다(Fig. 12-C').

體長 29mm가 되면 尾椎骨의 後方에 11개정도의 椎骨을 제외한 모든 脊椎骨은 硬骨化되며, 神經棘과 血管棘은 骨化된 그대로 남아 있다(Fig. 12-C'').

體長 31mm가 되면 脊椎는 모두 硬骨化되며, 神經棘, 血管棘도 거의 硬骨化된다. 이때 尾部 棒狀骨(urostyle bone)이 45°정도 뒤쪽으로 구부러진다(Fig. 12, 13-D).

體長 40mm가 되면 椎骨의 關節상태를 강하게 하는 神經關節突起(neural zygapophysis)와 血憵關節突起(hemal zygapophysis)가 형성되며, 尾部棒狀骨은 硬骨化되기 시작한다.

體長 45mm가 되면, 神經關節突起와 血管關節突起가 發達하며 神經棘基底의 뒷부분에 뾰족하게 돌출된다(Fig. 12, 13-E').

體長 50mm가 되면 神經關節突起는 神經棘의 基底를 에워싸며 두껍게 되고, 血管關節突起도 血管棘의 基底부분이 두껍게 된다(Fig. 13-F).

7) 尾骨(Caudal skeleton)

심장에 따른 尾骨의 骨化시기 및 體長에 따른 形態變化는 Table 2, Fig. 14와 같다.

尾骨에서 처음 骨化되는 것은 尾部棒狀骨이며

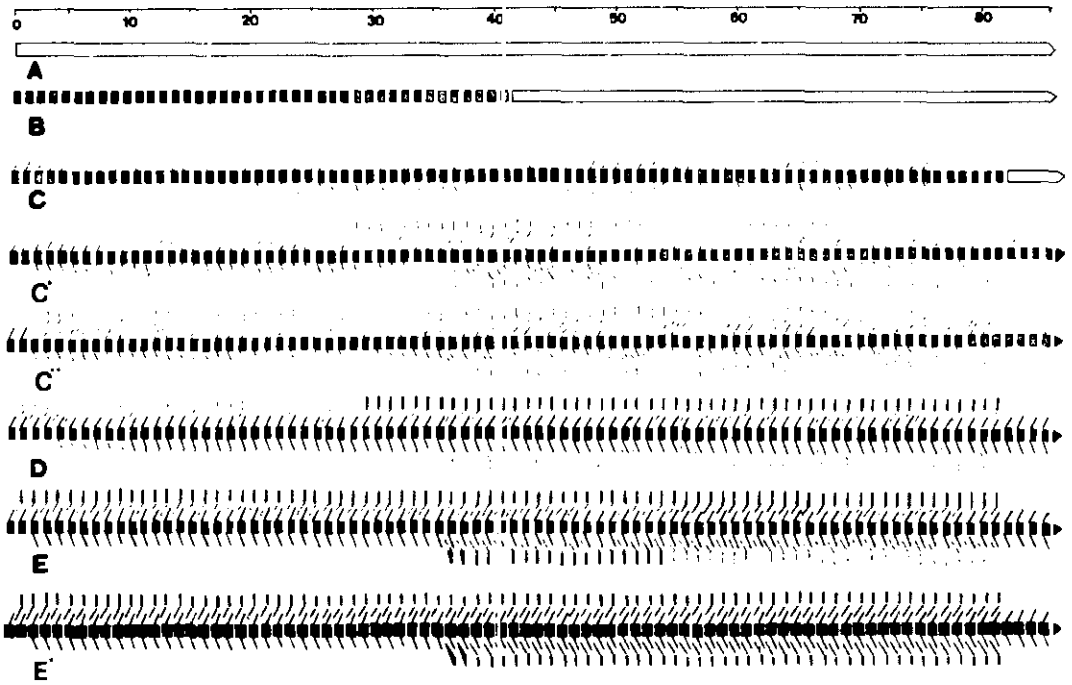


Fig. 12. Schematic representation of the vertebral column, dorsal and anal fin, and pterygiophore development in *Enedrias fangi*.
notochord, white; cartilage, stippled; ossifying, black.
A: 14mm. B: 18mm. C: 24mm. C': 26mm. C'': 29mm. D: 31mm. E: 40mm. E': 45mm.

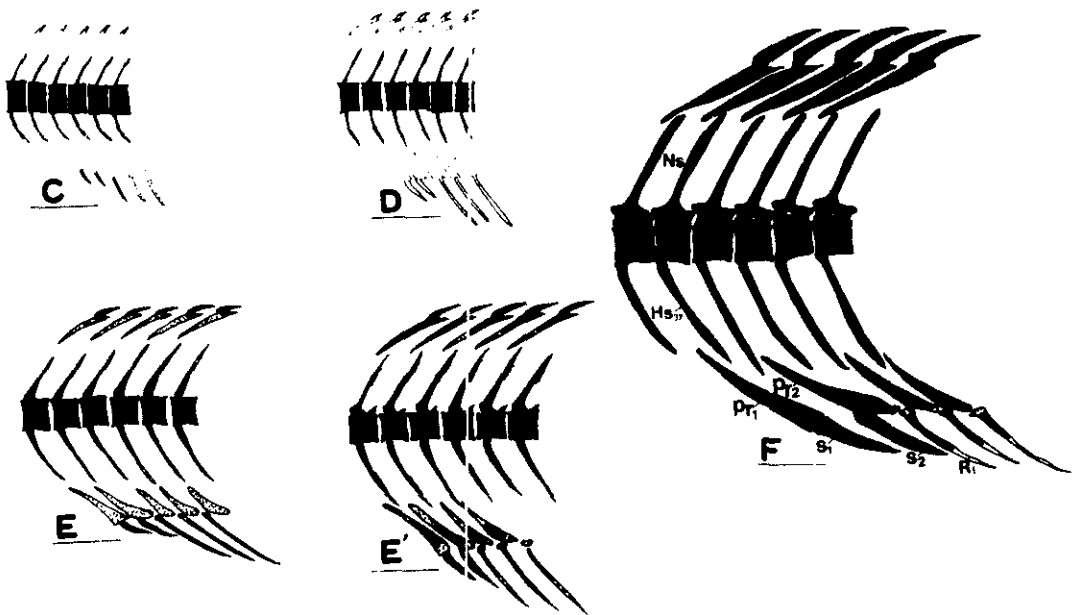


Fig. 13. Development of the vertebral column, dorsal fin, and pterygiophore in *Enedrias fangi*.
cartilage, stippled; ossifying, black.
C: 24mm. D: 31mm. E: 40mm. E': 45mm. F: 50mm.
NS, neural spine; HS₃₇, the first haemal spine on the 37th centrum; Pr₁, pterygiophore
in serial association with the first anal fin ray; S, anal spine; R, anal ray.
Scale bar: 1mm.

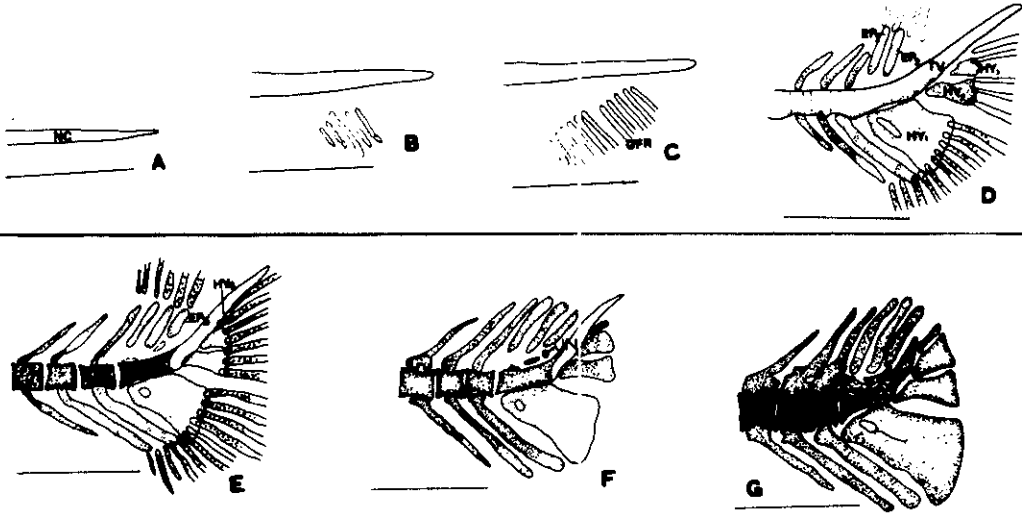


Fig. 14. Development of the caudal skeleton in *Enedrias fangi*. cartilage, white; ossifying, stippled.

A: 14mm, B: 18mm, C: 24mm, E: 40mm, F: 50mm, G: 60mm.

HY, hypural bone; EP, epural bone; TV, terminal vertebra; UN, uroneural bone; CFR, caudal fin ray.

Scale bar: 1mm

25mm 전후에서 骨化된다. 上尾軸骨과 下尾軸骨은 30mm 전후로, 尾神經骨은 40mm 전후에서 骨化가 시작된다. 그리고 尾部棒狀骨, 下尾軸骨은 40mm 전후, 上尾軸骨, 尾神經骨은 50mm 전후에 硬骨化된다.

尾骨의 體長에 따른 形態變化는,

體長 24mm 이전에 尾骨은 骨化되지 않는다 (Fig. 14-ABC).

體長 31mm에서는 脊索의 뒤끝이 줄어들기 시작하고, 이때 上尾軸骨(equal bone) 2개, 下尾軸骨(hypural bone) 3개가 骨化되며 제1下尾軸骨에 길쭉한 구멍이 형성된다(Fig. 14-D).

體長 40mm에서는 上尾軸骨이 3개, 下尾軸骨이 4개로 된다. 그리고 下尾軸骨은 硬骨化되기 시작하면서 길쭉하게 형성된 구멍도 작게 된다. 또한 이 시기에 2개이던 尾神經骨(uroneural bone)이 尾部棒狀骨 윗 부분에서 3개의 骨片으로 나타난다(Fig. 14-E).

體長 50mm에서는 上尾軸骨, 尾神經骨 및 제 4下尾軸骨이 硬骨化된다(Fig. 14-F).

體長 60mm에서는 神經棘의 基底부분에 구멍

이 생기고, 神經關節突起가 發達하며 尾部棒狀骨 윗쪽의 尾神經骨은 癒合하여 다소 넓적한 2개의 骨片을 형성한다. 또한 길이 길쭉한 尾部棒狀骨의 끝부분이 작아지면서 모두 硬骨化된다 (Fig. 14-G).

8) 肩帶骨(Shoulder girdle)

성장에 따른 肩帶骨의 骨化시기 및 形態變化는 Table 2, Fig. 15와 같다.

肩帶骨에서 제일 먼저 骨化되는 것은 鎖骨(clavicle)과 上鎖骨(supraclavicle)로서 15mm 전후에 骨化되어 각각 20mm, 30mm 전후에 硬骨化된다. 後側頭骨(post temporal)은 25mm 전후에서 骨化하여 30mm 전후에 硬骨化되며, 나머지 肩胛骨(scapula), 烏喙骨(coracoid), 4개의 射出骨(actinost)이 35mm 전후로 骨化되어 모두 45mm 전후에 硬骨化된다.

그 體長에 따른 形態變化는,

體長 14mm에서 鎖骨은 線形으로 形成되며, 다른 骨은 아직 형성되지 못하였다(Fig. 15-A).

體長 18mm에서는 鎖骨의 上部에 上鎖骨이 형성된다(Fig. 15-B).

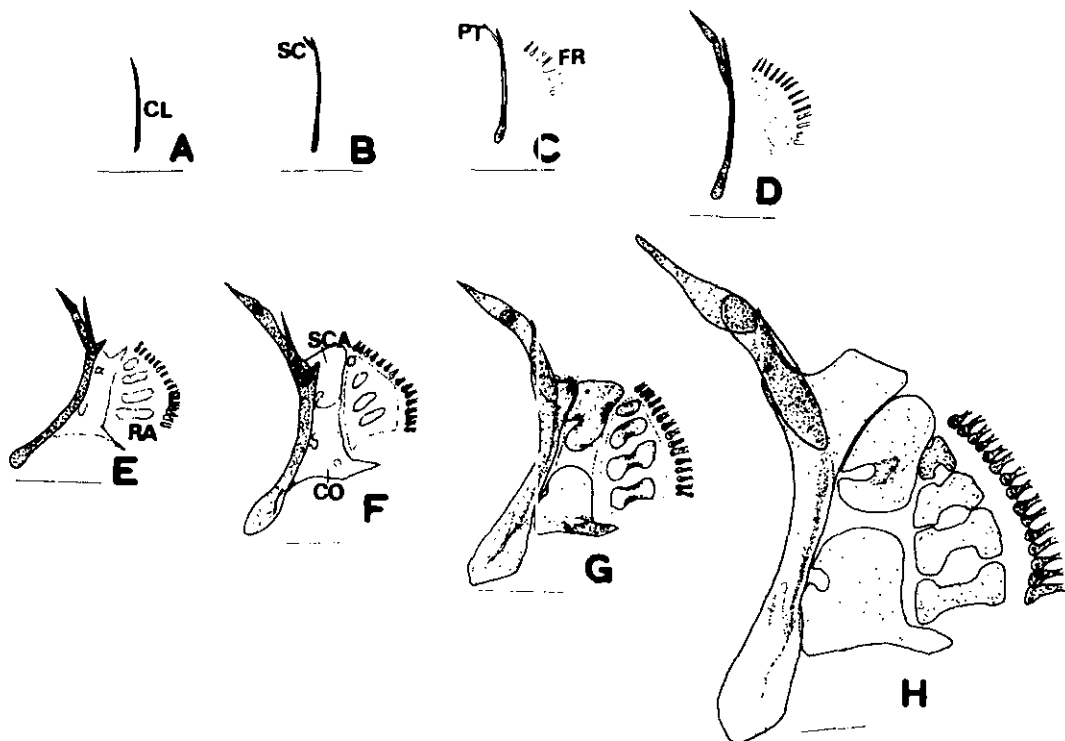


Fig. 15. Development of the shoulder girdle in *Eudrias fangi*. cartilage, white; ossifying, stippled.

A: 14mm, B: 18mm, C: 24mm, D: 31mm, F: 50mm, G: 60mm, H: 94mm.

CL, clavicle; SC, supraclavicle; PT, posttemporal; SCA, scapula; CO, coracoid; FR, fin ray.

Scale bar: 1mm

體長 24mm에서는 後側頭骨이 形成된다(Fig. 15-C).

體長 31mm에서는 肩胛骨, 鳥喙骨 및 4개의 射出骨이 骨化되면서 肩胛骨과 鳥喙骨에 작은 구멍이 생기고 鳥喙骨 後下部에는 가슴지느러미 방향으로 뾰족하게 돌출된다(Fig. 15-D).

體長 40mm에서는 肩胛骨, 鳥喙骨 및 射出骨이 硬骨化되며, 肩胛骨과 鳥喙骨은 軟骨로서 연결되어 있고 射出骨 4개도 軟骨로 둘러싸여 있다(Fig. 15-E).

體長 50mm에서는 各部分의 境界가 뚜렷하고 上鎖骨 下部는 鎖骨 上部와 2/3 정도 겹치고, 後側頭骨 후단부의 끝부분은 上鎖骨에 걸쳐서 3部分의 骨이 弧狀의 형태로 된다(Fig. 15-F).

體長 60mm에서는 鎖骨의 上부분에 작은 骨

片이 형성되기 시작하여 軟骨은 연결된 各部分의 骨이 분리되어 간다(Fig. 15-G).

體長 94mm에서는 鎖骨의 上부분 骨片이 넓어진 상태로 되며, 射出骨 사이는 움푹 들어가게 된다(Fig. 15-H).

9) 腰帶骨(Pelvic girdle)

腰帶骨은 그 앞끝이 鎖骨의 下部에 接觸되어 있으며 骨骼中에서 가장 늦게 骨化된다. 성장에 따른 骨化시기 및 體長에 따른 形態變化는 Table 2, Fig. 16과 같다.

腰帶骨의 骨化는 體長 40mm 전후에서 시작되어, 50mm 전후에 大部分 硬骨化된다. 그 體長에 따른 形態變化는,

體長 40mm에서 腰帶骨은 희미하게 윤곽만 나타난다(Fig. 16-E).

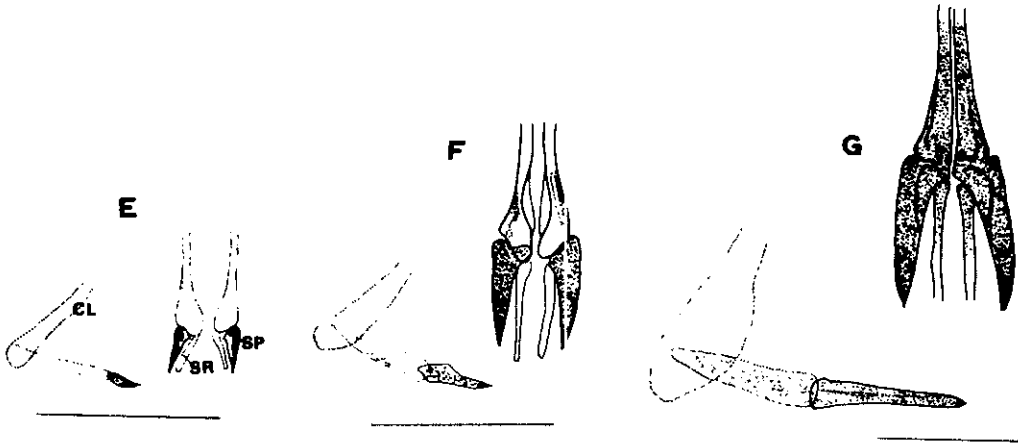


Fig. 16. Development of the pelvic girdle in *Enedrias fangi*. cartilage, white; ossifying, stippled.
E: 40mm, F: 50mm, G: 60mm.
CL, clavicle; SP, spine; SR, soft ray.
Scale bar: 1mm

體長 50mm에서는 硬骨化되기 시작한다(Fig. 16-F).

體長 60mm에서 腰帶骨은 모두 硬骨化되며, 배지느러미도 1棘 1軟條로서 모두 硬骨化된 상태이며, 棘의 끝은 뾰족하게 되어 있다(Fig. 16-G).

10) 擔鰭骨(Pterygiophore)

등지느러미와 뒷지느러미를 지지하는 擔鰭骨은 神經間棘, 血管間棘 및 基鰭骨(basiost)을 말하며, 骨化시기 및 體長에 따른 形態變化는 Fig 12, 13과 같다.

體長 31mm일때 擔鰭骨은 윤곽이 희미하게 나타나며, 骨化되기 시작한다(Fig. 13-D).

體長 40mm가 되면 60번재 椎骨 전후로 神經間棘부터 硬骨化되기 시작한다(Fig. 12-E).

體長 45mm가 되면 神經間棘, 血管間棘 모두 硬骨化된다(Fig. 12-E').

體長 50mm에서는 神經間棘 및 血管間棘은 다소 넓적하게 되고 血管間棘과 뒷지느러미 사이의 distal radial은 그대로 軟骨로 存在한다(Fig. 13-F).

考 察

현재까지 밝혀진 베도라치類 중에서 *Enedrias*

屬은 *Enedrias crassispina*, *E. nebulosus*, *E. fangi*의 3種이며, 우리나라에서는 *E. nebulosus* (邨, 1977)와 *E. fangi*(許 등, 1981)의 두 種類가 밝혀진 바 있다. 그러나 이 두 種에서 分類形質이 되고 있는 頭部비늘의 有無, 頭長에 대한 가슴지느러미 길이, 黑色素胞의 形態 등 (Matsu, 1981)이 稚魚期 이전의 단계에서는 약간의 變化가 있는 바, 지금까지 種을 檢索하는데 다소 문제점이 있었다. 그러나 本 種과 유사한 베도라치(*E. nebulosus*) 稚仔魚의 分類學的 研究(德屋·尼岡, 1980)에서 體長에 따른 外部 形態의 變化를 黑色素胞의 분포상태에 따라 Type I과 Type II로 구분하여 分類하고 있는 데 本 研究結果와 比較考察하면 다음과 같다.

體長 14mm 이전의 단계에서 肛門의 위치는 本 種과 一致한다. 그러나 黑色素胞의 형태에서 消化管腹側과 꼬리부분의 腹側은 本 種과 거의 비슷하지만 消化管의 背側에 *E. nebulosus*의 경우 Type I이 11.73mm, Type II가 14.47mm에서 5개의 尾狀의 黑色素胞가 存在한다고 기재하고 있으나 本 種에서는 體長 30mm 이후에서 작은 黑色素胞가 줄지어 나타난다. 또한 稚魚期로 되는 體長은 *E. nebulosus*의 경우 Type I에서 28.19mm, Type II에서 30.85mm이나 本 種에서는 40mm로서 다소 차이를 나타내고 있

다. 그러나 이 단계 이후의 黑色素胞分布에서는 매우 큰 차이를 나타내고 있다. 즉 *E. nebulosus*의 경우 Type I은 28.03mm, Type II는 34.20mm에서 腹中線, 體側正中線, 뒷지느러미 基底부분에 3열로 暗色帶를 형성하나, 本種에 있어서의 이런 시기는 體長 50mm 이후이다. 대체로 *E. nebulosus*의 경우가 *E. fangi*보다 發生 진행속도가 빠르다고 생각된다. 또한 지느러미 鱗條數에서는 등지느러미, 꼬리지느러미, 배지느러미는 *E. nebulosus*와 *E. fangi*는 같아 있지만 뒷지느러미는 *E. nebulosus*가 II, 38~39, *E. fangi*는 II, 42~44로서 현저한 차이를 나타내고 있다. 그리고 베도라치類의 대부분을 차지하는 *Pholis*屬과 *Enedrias*屬의 檢索은 頭部에 있는 비늘의 有無로서 分類形質로 삼으나(Yatsu 1980), 本種에서 비늘은 體長 60mm 이상에서 形成되므로 體長 60mm 이하의 단계에서는 分類形質로 부적당하다고 생각된다. 이상과 같이 두 種은 體長에 따라 많은 차이가 있다. 그러므로 이 두 種의 分類 및 檢索에 있어서도 體長別 특징에 따라서 分類의 形質이 定해져야 한다고 생각된다.

體形의 變化에서 Yatsu(1981)는 本種의 成魚에서, 體長에 대한 肛門까지 길이의 비율이 50.2~53.9%, 體高 13.5~13.2%, 頭長 12.2~14.1%의 수준으로 기재하고 있으나 本 研究에서는 각각 50~58%, 5~10.5%, 10.6~17.0% 수준으로 그 變化幅이 매우 크다. 이러한 차이는 거의 대부분의 種과 같이 初期發育段階에서 形態變化가 심한 때문으로 생각되며, 體長 25~35mm까지 形態의 급격한 變化를 나타내므로 이 시기가 이 種에 있어서 變態시기로 생각된다.

頭部感覺管의 형태에서는 本 研究와 Yatsu(1980)의 研究結果와 거의 一致하며 10마리에 1마리 정도 나타나는 眼後의 前管孔(APO) 및 眼後의 後管孔(PPO)의 형태 즉, APO+PPO, 4-3으로 나타나는 현상은 本 研究에서 10마리 조 사결과 다르게 나타나는 점을 발견하지 못했다. 또한 本 種과 같은 科에 속하는 *Dictyosoma rubrimaculata*(Yatsu et al., 1978)의 頭部感覺器管과는 그 感覺管形態와 구멍의 數에서 本 種과는 매우 다르게 나타나고 있다.

本 種의 骨化시기 및 形態의 變化에서 頭蓋骨의 鋤骨, 額骨, 外後頭骨, 基底後頭骨 및 副楔骨은 本 研究에서는 다른 部分에 비하여 대체로 骨化가 빠르나 이는 Bathylagidae科의 *L. Schmidt*의 鋤骨과 副楔骨이 骨化되는 시기(Dunn, 1983)와 一致하고, 額骨, 外後頭骨, 基底後頭骨은 약간의 차이를 나타낸다. 그러나 대체로 늦게 骨化되는 前耳骨은 本 研究와 一致한다. 頸骨과 舌弓 및 鰓弓의 骨化는 鰐魚科의 *P. mauli*(Ozawa, 1976), 鯷科의 *I. isolepis*(Richardson et al., 1980), 민어科의 *G. lineatus*(Watson, 1982)에서와 같이 初期에 骨化되며, 이러한 현상은 먹이활동과 호흡에 관여하고 있기 때문으로 생각된다. 그리고, 舌弓의 尾舌骨은 성장함에 따라 그 變化가 심하여 體長 50mm 부터는 은행알 모양으로 이와 같은 屬인 *E. nebulosus*의 尾舌骨(Kusaka, 1974)과 같아 있다.

脊椎骨의 骨化는 仔魚後期의 初期부터 이루어지며, 脊椎의 약 7번째 腹椎骨부터 骨化되기 시작하여, 자작 頭部에서 꼬리방향으로 骨化가 진행된다. 이와 같은 형태로 脊椎가 骨化되는 種으로서 Haemulidae科의 *A. virginicus*(Potthoff et al., 1984) 등이 있고, 앞쪽에서 뒤쪽으로 骨化되는 이와 유사한 형태로서 尾部棒狀骨의 앞쪽 椎骨이 먼저 骨化되는 種으로 잉어, 가물치(Itazawa, 1963), 鰐魚科의 *P. mauli*(Ozawa, 1976), 노미科의 *A. probatocephalus*(Mook, 1977), 隆島(隆島, 1978; 松岡, 1982), 주둥치(明·金, 1984) 등이 있다. 이러한 현상은 魚類의 游泳力 추진과 관계된다고 생각한다. 그리고 같은 屬의 *E. nebulosus*와 *E. crassispina*에서 Yatsu(1980)는 脊椎의 椎骨의 數가 緯度와 水深에 따라 상당한 變化를 나타내며, *E. nebulosus*가 84~90개, *E. Crassispina*가 81~87개로 보고하고 있으나, 本 種에서는 85~86개로 變化가 거의 없었다.

지느러미의 發生과정에서 등지느러미는 대체로 몸통의 중간부분에서 안, 뒤쪽으로 형성되어 가며, 뒷지느러미는 앞쪽에서 뒤쪽으로 진행된다. 이와 유사한 형태의 어류는 만세기科 *Coryphaena* sp.(Potthoff, 1980), 민어科의 *L. xanthurus*(Powell and Gordy, 1980)에서도 볼 수

있다.

이상의 考察에서 흰베도라치의 初期段附에서는 外部形態, 體形 및 骨骼의 형성시기와 형태 변화는 매우 심하고 仔魚後期, 體長 30mm 전후에서 變態期를 맞는다고 생각된다. 그리고 초기성장단계에서 같은 屬의 *E. nebulosus* 및 *E. crassispina*도 外部形態 뿐만 아니라 骨骼을 中心으로 한 内部形態를 기준으로 하여 성장단계에 따른 分類의 形質을 비교하고 나아가서는 生態的인 차이도 研究되어야 한다고 생각된다.

要 約

黃海에 주로 棲息하는 種으로서 우리나라 서해안에서 채집된 흰베도라치의 仔魚後期부터 未成魚期까지의 體長에 따른 外部形態, 骨骼의 骨化시기 및 形態의 變化를 研究한 結果는 다음과 같다.

흰베도라치는 모든 지느러미의 줄기가 定數에 달하는 體長 40mm 이후에 稚魚期로 移行되며, 體長 94mm에 未成魚期로 된다.

초기발육단계에 있어서는 그 形態 變化幅이 크며, 대체로 體長 30mm 전후의 後仔魚期에 급격히 형태가 발달하며 變態期를 맞는다.

本 種의 分類形質이 되고 있는 頭部비늘의 有無, 가슴지느러미 길이, 黑色素胞의 形態는 초기발육단계에서 그 變化가 심하므로 초기발육단계의 分類形質로서는 적당하지 않다고 생각된다.

體長에 따른 骨骼의 형성시기 및 變化는 體長 20mm 전후에서 먹이섭취, 운동 및 호흡에 관여하는 顎骨, 脊椎骨, 內臟骨 등이 대체로 骨化가 빨리된다.

그 밖의 骨骼은 體長 40mm 이전에 대부분 骨化되며, 제일 늦게 骨化되는 부분은 배지느러미를 지지하는 腰帶骨로서 體長 40mm 전후에서 骨化된다.

謝 辭

本 研究를 수행함에 있어 本 論文의 內容을 檢討해 주신 李澤烈 教授님과 陳平 教授님께 감

사의 말씀을 드리고 本 研究를 위하여 많은 격려를 해 주신 韓國科學技術院 海洋研究所 許亨澤 所長님, 郭熙相 研究部長님께도 감사드리며, 많은 참고문헌을 제공하여 주시고 세심하게 도와주신 金鍾萬 所長님과 海洋生物研究所의 諸 僉員에게도 고마움을 포함한다.

文 獻

Dun, J. R., (1983): Development and distribution of the young of northern smoothtongue, *Leuroglossus schmidti*(Bathylagidae), in the northeast Pacific, with comments on the systematics of the genus *Leuroglossus* Gilbert. Fish. Bull., 81(1), 23-40.

許亨澤·許聖範·吳舜吉·洪在上·金東燁·李梓學·李晉煥·柳在洛, (1981): 加露林灣有用生物資源에 관한 研究, 韓國科學技術院 海洋研究所報告書, BSPE 00030-55-3, 69p.

許聖範·金東燁·柳在洛, (1984): 西海岸베도라치類(*Enedrias*) 稚魚資源, 釜山水大研報, 24(1), 69-70.

Hur, S. B., J. M. Kim and J. M. Yoo. (1984): Fisheries Resources in Garolim Bay. Bull. Kor. Fish. Soc., 17(1), 68-80.

Itazawa, Y., (1963): The ossification sequences of the vertebral column in the carp and snake-head fish. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 29(7), 667-674.

鄭文基, (1977): 韓國魚圖鑑. 727p., 一志社.

Kusaka, J., (1974): The urohyal of fishes. 212P. Univ. Tokyo press.

松岡正信, (1982): 마그이의 脊椎와 尾骨의 發達, 魚雜, 29(3), 285-294.

Mook, D., (1977): Larval and osteological development of the sheepshead, *Archosargus probatocephalus* (Pisces: Sparidae). Copeia (1), 126-133.

明正求·金容億, (1984): 주둥치, *Leiognathus nuchalis* 仔稚魚期の 形態, 釜山水大研報, 24(1), 1-22.

Ozawa, T., (1976): Early life history of the gonostomatid fish, *Bollichthys maculi* in the oceanic region off southern Japan. J.

- Ichthyol., 23(1). 43-54.
- Potthoff, T., (1980): Development and structure of fins and fin supports in dolphin fishes *Goryphaena hippurus* and *Goryphaena equiselis*(Coryphaenidae). Fish. Bull., 78(2), 277-312.
- Pottoff, T., Kelley, S., Moc, M. and F. Young. (1984): Description of porkfish larvae(*Anisotremus virginicus*, Haemulidae) and their osteological development. Bull. Mar. Sci., 34(1), 21-59.
- Powell, A. B. and H. R., Gordy. (1980): Egg and larval development of the spot *Leiostomus xanthurus*(Sciaenidae). Fish. Bull., 78(3): 701-715.
- Richardson, S. L., Dunn, J. R. and N. A., Naplin, (1980): Eggs and larvae of butter sole, *Liopsetta isolepis* (Pleuronectidae), off Oregon and Washington. Fish. Bull., 78(2), 401-417.
- 隆島史夫, (1978): 人工種苗マダイの稚骨形成異常について, 日水誌, 44(5), 435-443.
- 수산업협동조합중앙회, (1984): 수산물계통판매고 통계연보, p. 81.
- 徳屋邦彦・厄岡邦, (1980): 北海道南部沿岸域に出現するギンボア目仔稚魚の分類學的研究, 北大水産彙報, 31(1), 16-49.
- 内田惠太郎・今井貞彦・水戸 敏・藤田矢郎・上野雅正
庄島洋一・千田哲資・田福正道・道津喜衛,
(1958): 日本産魚類の稚魚期の研究, 九州大學 農學部 水産第二教室, 89p.
- Wang, K. F. and S. C. Wang, (1975): 中國海洋魚類原色圖集, 中國科學院 海洋研究所上海自然博物館, p. 171.
- Watson, W., (1982): Development of eggs and larvae of the white croaker, *Genyonemus lineatus* ayres(pisces; Sciaenidae), off the Southern California Coast. Bull., 80(3), 403-417.
- Yatsu, A., F. Yasuda and Y. Taki, (1978): A new stichaeid fish, *Dictyosoma rubrimaculata* from Japan with notes on the geographic dimorphism in *Dictyosoma rubrgeri*. Japan. J. Ichthyol., 25(1), 40-50.
- Yatsu, A., (1980): Geographic variation in vertebral numbers in two pholidid fishes, *Enedrias nebulosa* and *E. crassispina* around Japan. Japan. J. Ichthyol., 27(2), 115-121.
- Yatsu, A., (1981): A revision of the gunnel family pholididae (Pisces, Blennioidei). Bull. Nat. Sci. Mus., Tokyo, Ser. A. 7(4), 165-190.

THE DISTRIBUTION OF CLAY MINERALS IN RECENT SEDIMENTS OF THE KOREA STRAIT

BYONG-KWON PARK and SANG-JOON HAN

Department of Environmental Sciences, Korea Military Academy, Seoul (Korea)

Geological Oceanography Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute, Seoul (Korea)

(Accepted for publication July 15, 1983)

ABSTRACT

Park, B.K. and Han, S.J., 1985. The distribution of clay minerals in Recent sediments of the Korea Strait. In: R. Hesse (Editor), *Sedimentology of Siltstone and Mudstone*, *Sediment. Geol.*, 41: 173-184.

The bottom sediments of the Korea Strait contain, on average, 50% illite, 21% kaolinite, 17% intergrade clay, 8% chlorite, and 4% smectite. The geographical distribution of the clay minerals shows an increase in illite, a decrease in kaolinite and a slight decrease in chlorite seawards. The distributional patterns of smectite and intergrade clay are irregular. The clay fractions of the sediments near the land are supplied by river-borne sediments and are mixed with sediments transported landwards from offshore. The distribution of clay minerals in the Korea Strait appears to have been influenced by the supply of and redistribution of fine-grained sediments by the Tsushima Warm Current from the East China Sea. Kaolinite seems to be transported mainly by river runoff; and illite, chlorite and smectite might have been derived partly from the East China Sea by the Tsushima Warm Current. Intergrade clay seems to have a complex origin.

INTRODUCTION

Korea Strait is located between the Korean Peninsula and Tsushima Island, Japan. The present study area lies between 35°00' and 35°30'N lat. and 128°00' and 130°00'E long. (Fig. 1). Figure 2 shows surface currents in summer and winter in the area.

This study was undertaken to determine the distribution and sources of clay minerals in the bottom sediments of the Korea Strait area. Park et al. (1976) studied the clay minerals of the Jinhae Bay near Masan, the northwestern part of this study area. Oinuma and Kobayashi (1966) studied some samples of the East China Sea, and Rateev et al. (1969) included some samples of the East China Sea in their work. There are also some works on clay minerals of the Japan Sea (Niino et al., 1969; Shiozowa, 1969; Sato, 1972; Aoki et al., 1974).

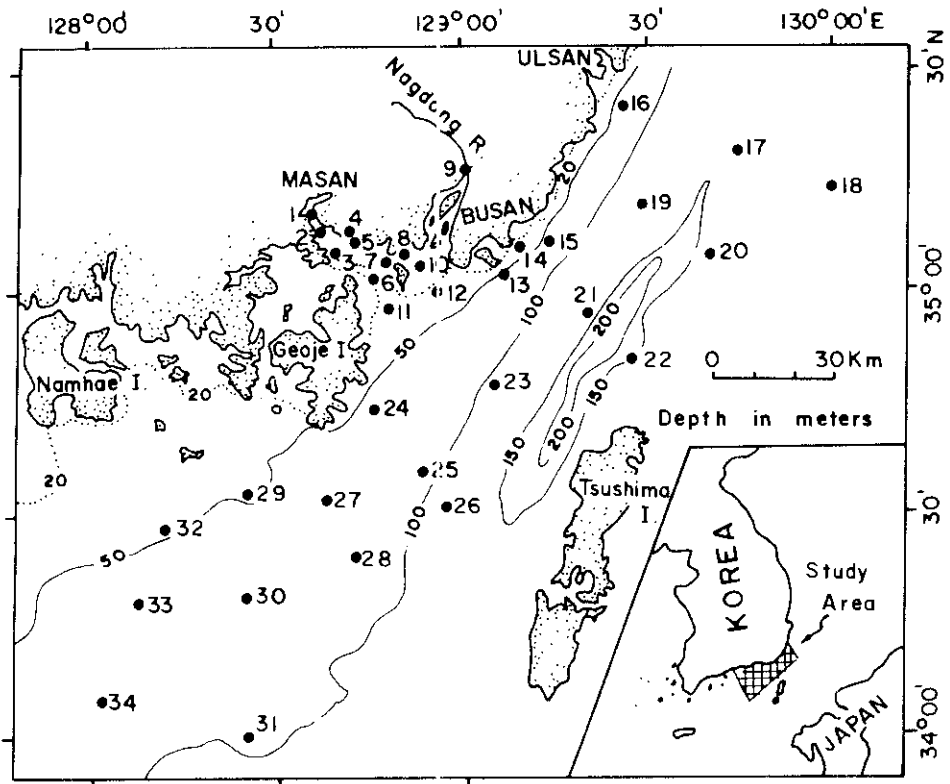


Fig. 1. Sample locations in the Korea Strait.

The sediments of the study area, in general, consist of fine-grained sediments except for the Nagdong estuary and the main channel areas (Fig. 3). The Nagdong River, one of the largest rivers in Korea, discharges coarse-grained sediments in considerable amounts into the Korea Strait during the rainy season, July to August, and forms the Kimbae delta at the mouth of the river. In the deep middle area of the Korea Strait coarse-grained sands containing subrounded gravels also occur in a belt parallel to shore and may be considered as residual sediments, derived from subaerial or submarine weathering of underlying bedrock, as described by Niino and Emery (1961). Silts and clays are removed by the strong bottom currents and coarse grained sands and pebbles remain in place.

The land consists of rugged hills bordered by a narrow coastal plain and many rocky islands. Bedrocks of the region consist of Mesozoic granite, andesite, tuffs and sedimentary rocks. The Tsushima Warm Current, a branch of the Kuroshio, flows through Korea Strait from the East China Sea into the Japan Sea. The velocity of the current in the channel ranges from 24 to 185 cm s^{-1} (Lee, 1974). Water temperatures

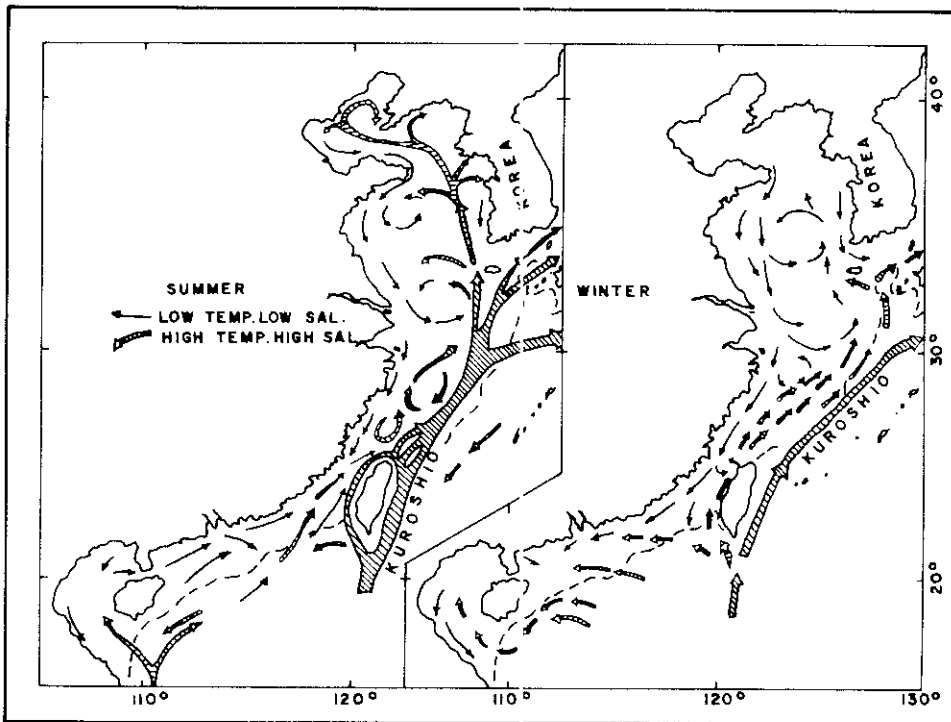


Fig. 2. Surface currents in summer and winter (after Nino and Emery, 1961).

range from 9.1° to 20.4°C in the surface layer and from 0.1° to 19.3°C in the bottom (Kim and Han, 1971).

SAMPLES AND METHOD OF ANALYSIS

Thirty-four sediment samples were collected using a Phleger gravity corer in the offshore area and a Birge Ekman dredge in the Jinhae Bay during various cruises between 1974 and 1977. The superficial samples were dried and soaked in demineralized water.

The $\leq 2\ \mu\text{m}$ clay fraction separated by centrifuging was used for X-ray diffraction analysis. Four slides with clay minerals were prepared from each sample: untreated, ethylene glycolated, 300°C -heated and 550°C -heated. All X-ray patterns were obtained using a JEOL diffractometer with copper target. Monochromatic K-alpha radiation was obtained by filtering with nickel foil.

The reflections used for identification of the different clay mineral groups present in the samples are illustrated in Table I.

The term "intergrade clay" was modified from "chlorite-like intergrade clay" of Weed and Nelson (1962). Intergrade clay is chlorite-like in that it does not expand

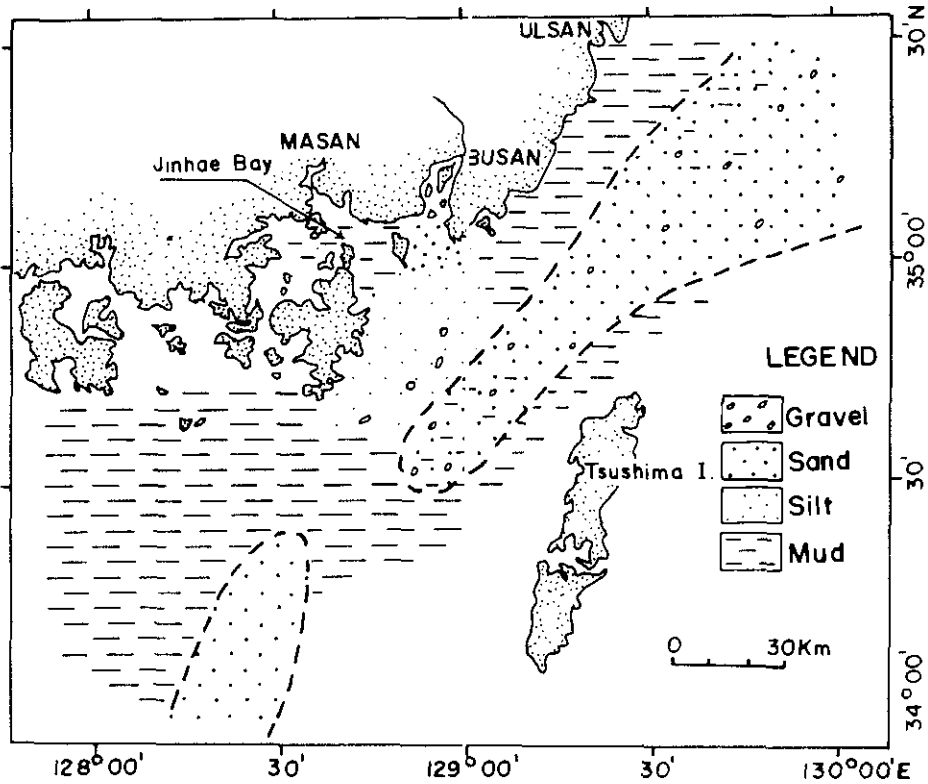


Fig. 3. Sediment distribution map of the Korea Strait

upon ethylene glycolation and does not collapse when heated to 300°C. However, it is not chlorite-like in that it lacks discernible higher basal reflections at 550°C. And basal reflections were reduced in magnitude, sharpness and spacing when heated at 550°C.

Biscaye's (1965) procedure was utilized in computing semi-quantitative proportion of the clay minerals using peak area ratios and weighted peak area percentages.

TABLE I

Reflections used for the identification of clay-mineral groups (in A)

Clay-mineral group	Untreated	Ethylene glycolated	300°C, heated	550°C, heated
Kaolinite	7	7	7	-
Illite	10	10	10	10
Chlorite	14	14	14	14
Smectite	12-15	7-21	10	10
Intergrade clay	14	14	10-14	12

RESULTS AND DISCUSSIONS

Table II shows the relative percentages of clay minerals of the $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction in each sample and Figs. 4-8 show the geographical distribution of each clay mineral in the study area. The overall averages of each clay mineral are 50% illite, 21%

TABLE II
Relative abundances of clay minerals in the $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction of sediments

Sample No.	Water depth (m)	$\leq 2 \mu\text{m}$ clay fraction (%)	Illite (%)	Kaolinite (%)	Intergrade clay (%)	Chlorite (%)	Smectite (%)
1	11.5	57	9	25	21	17	28
2	11.0	61	40	25	20	11	4
3	11.0	64	31	33	12	18	5
4	4.0	71	42	27	17	12	2
5	10.5	52	50	20	18	9	3
6	22.0	19	54	19	17	8	1
7	5.0	25	41	24	30	3	2
8	1.5	37	52	20	13	11	3
9	0	5	45	27	23	50	0
10	2.5	24	49	25	21	3	1
11	26.0	25	49	23	19	5	3
12	14.0	14	44	24	27	4	1
13	60.0	9	51	21	20	5	2
14	42.0	11	49	23	24	3	1
15	52.0	16	50	20	18	4	7
16	66.0	34	60	16	16	4	3
17	147.0	4	58	17	15	8	2
18	146.0	9	55	18	24	2	1
19	120.0	4	60	16	19	1	4
20	147.0	12	58	17	17	5	2
21	134.0	2	57	17	19	6	1
22	155.0	6	51	23	19	5	2
23	102.0	3	54	17	15	8	4
24	71.0	6	60	17	13	7	2
25	96.0	7	60	16	12	10	1
26	104.0	14	53	19	18	6	2
27	66.0	12	54	20	10	10	2
28	90.0	27	56	19	7	11	4
29	45.0	16	55	16	3	17	7
30	83.0	11	51	17	13	9	8
31	95.0	1	56	19	15	8	1
32	46.0	33	52	22	13	10	1
33	60.0	34	51	19	17	8	3
34	81.0	15	53	17	18	5	7
Average		22	50	21	17	8	4

kaolinite, 17% intergrade clay, 8% chlorite, 4% smectite and trace amounts of sepiolite and attapulgite.

Illite

Illite ranges from 9 to 60% of the total clay minerals being the most abundant clay mineral in the study area (Fig. 4).

The highest concentration (55-60%) is found in the middle part parallel to shore of the Korea Strait. Approaching the Jinhae Bay the illite portion decreases gradually and reaches the lowest values near Masan.

The higher values (50-60%) in the channel area of the Korea Strait are comparable to the values of 40-60% illite found in the sediments of the East China Sea (Rateev et al., 1969) and those of 42-63% on the Korean side in the Japan Sea (Aoki et al., 1974).

Aoki et al. (1974) assumed that high concentrations of illite in the sediments of the Korean side of the Japan Sea are the result of abundant supply of illite from the

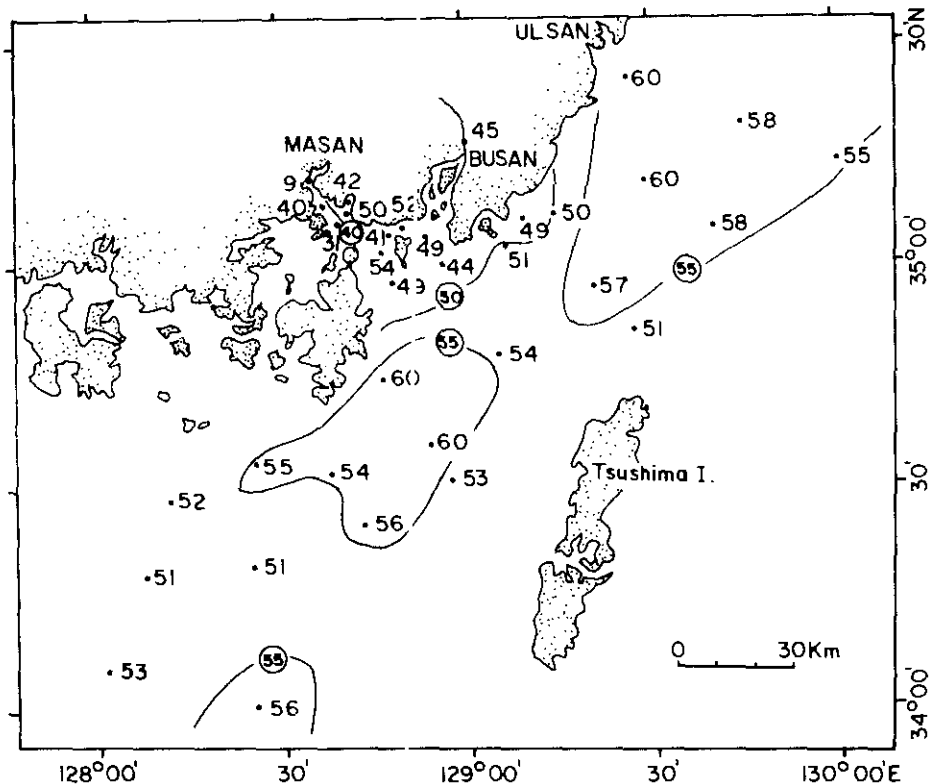


Fig. 4. Illite concentrations in the $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction of surface sediments.

Korean Peninsula and redistribution by the Tsushima Warm Current. However, the distributional trends of illite in the present study area always show a seaward increase, even in the Nagdong estuary. Many other previous works in the southern and western coastal areas of Korea indicate a seaward increase in illite (Park et al., 1976; Chough and Kim, 1981; Han, 1982; Chough, 1985). Oinuma and Kobayashi (1966) and Aoki et al. (1974) suggested that fine-grained sediments in the East Sea (Sea of Japan) were transported from the East China Sea by the Tsushima Warm Current.

In this connection, we interpret the seaward increase in the present study area mainly as the result of transport of large amounts of illite from the East China Sea by the Tsushima Warm Current.

Kaolinite

Kaolinite contents range from 11 to 33% (Fig. 5). The distributional trends of kaolinite in the study area show a seaward decrease, which are opposite to those of

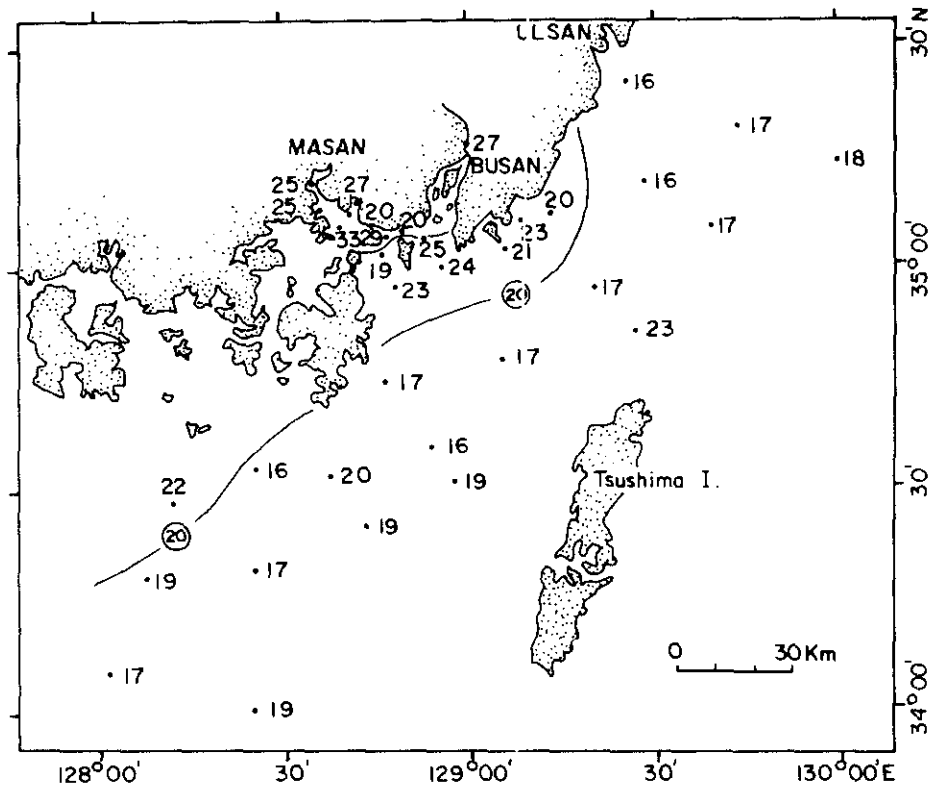


Fig. 5. Kaolinite concentrations in the $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction of surface sediments.

illite. High concentrations of kaolinite (more than 25%) occur near shore, especially near the mouth of the Nagdong River and in the inner Jinhae Bay. The zone of high kaolinite contents (more than 20%) is confined to depths less than 50 m. The lower values in the offshore area coincide, in general, with the values of 10–20% kaolinite in the sediments of the East China Sea (Oinuma and Kobayashi, 1966; Rateev et al., 1969; Chen, 1978), although these concentrations are slightly higher. This trend can be explained by the higher settling velocity of land-derived kaolinite aided by flocculation in the marine environment and the relatively small amount of kaolinite transported by the Tsushima Warm Current from the East China Sea.

Chlorite

Chlorite contents range from 1 to 18% in the study area. The chlorite distribution is similar to that of kaolinite, with less distinctive pattern (Fig. 6). High concentrations generally occur near shore, especially in the northwestern area, and decrease gradually seawards and northeastwards. On the outer shelf, the chlorite concentra-

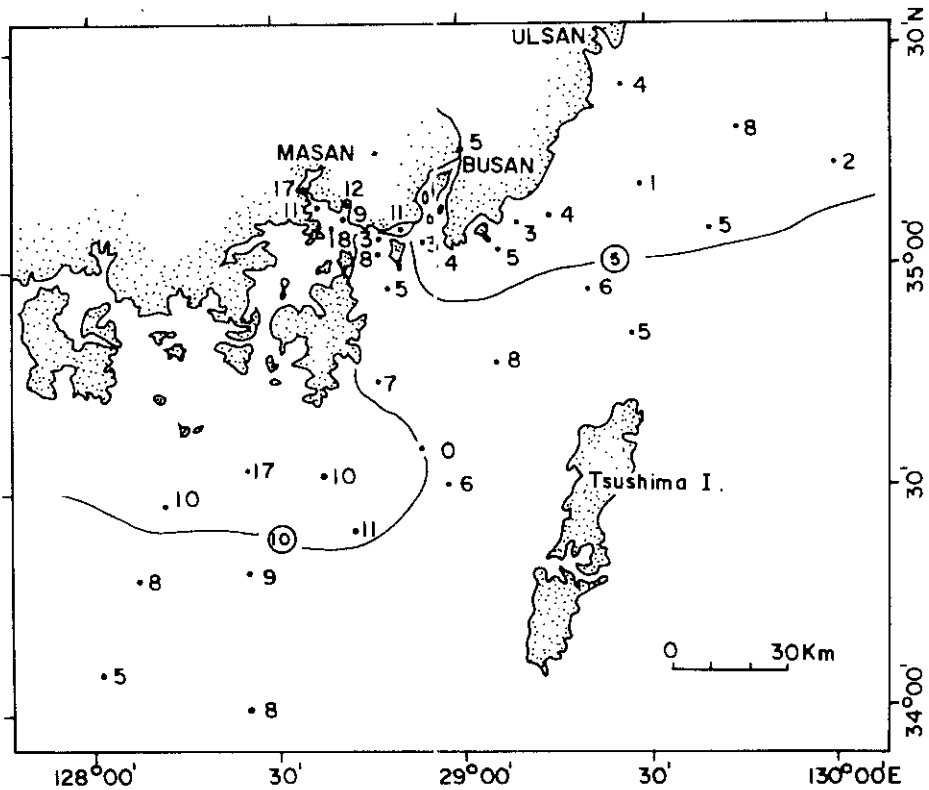


Fig. 6. Chlorite concentrations in the $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction of surface sediments

tion is generally less than 10%, which corresponds to values of less than 11% in the East China Sea (Rateev et al., 1969; Chen, 1978). This trend can be explained as a result of the contribution of land-derived chlorite from the western part of Korea and the relatively small amount of chlorite transported from the East China Sea.

In this context, Chough and Kim (1981) reported high chlorite content of more than 20% near the shore and at the mouths of Keum and Yeongsan rivers of the southwestern coast of Korea.

Smectite

Smectite contents range from 0 to 8% except one sample of exceptional high concentration (28%) which was collected in the well-sheltered zone near Masan (Fig. 7). No smectite was found at the Nagdong estuary. The values of smectite in the area coincide, in general, with those of less than 10% in the sediments of the East China Sea (Oinuma and Kobayashi, 1966; Rateev et al., 1969). The distribution of smectite in the area does not display characteristic trends. The lack of distributional trends

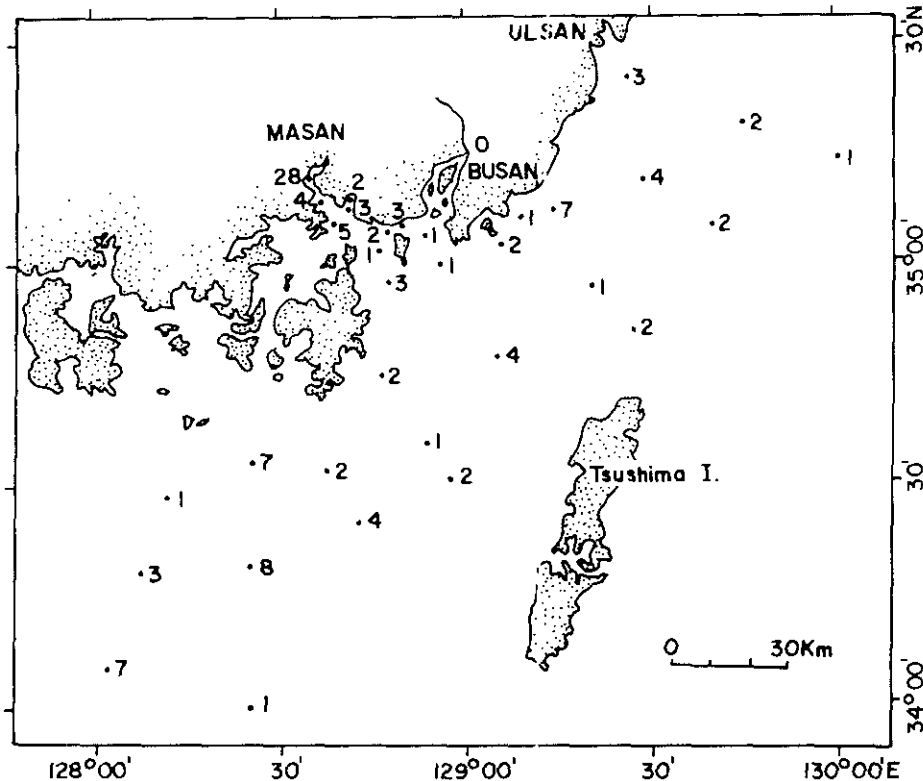


Fig. 7. Smectite concentrations in the $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction of surface sediments.

can be explained as a result of the low settling velocity of smectite and the similarly low amounts of smectite transported from the East China Sea.

Intergrade clay

Intergrade clay contents range from 3 to 30% in the study area and show irregular distributional trends in the area (Fig. 8), even though slightly higher contents are found near the Nagdong estuary. Intergrade clay in the study area may have been supplied from land and added from the East China Sea. The irregular distributional trends of intergrade clay in the present study area may be explained by the rapid redistribution of the fine-grained sediments due to strong currents in the area.

CONCLUSION

Illite is the most abundant clay mineral with kaolinite and intergrade clay being common, and chlorite and smectite being present in small amounts in the sediments of the Korea Strait.

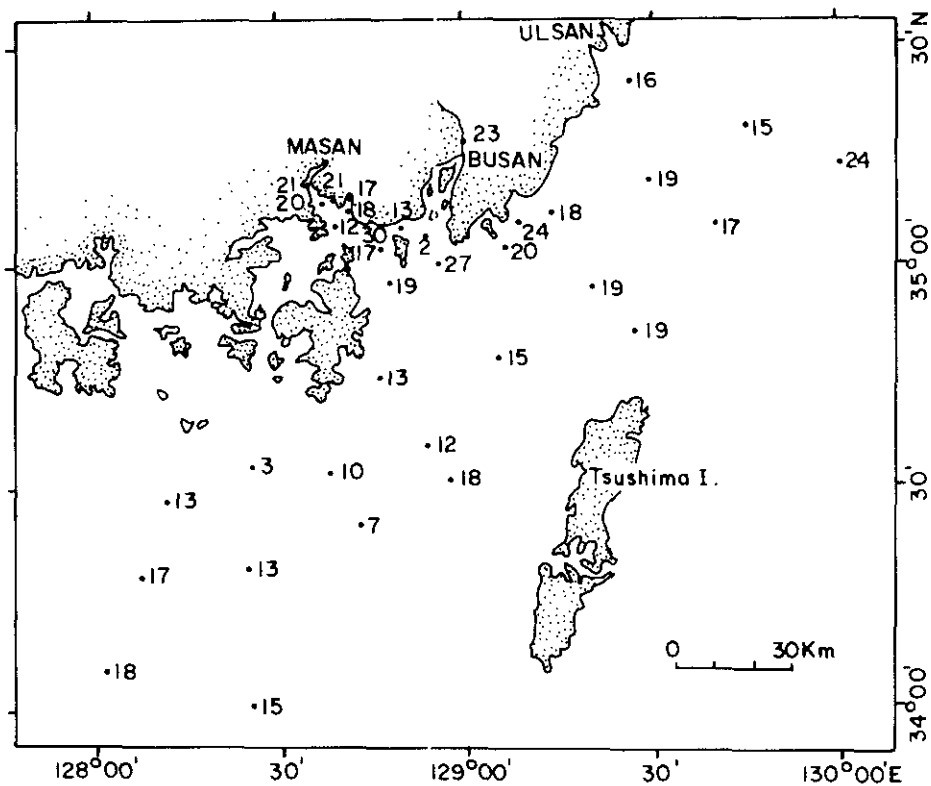


Fig. 8. Chlorite-like intergrade clay concentrations in the $\leq 2 \mu\text{m}$ fraction of surface sediments.

The distributional trends of clay minerals show an increase in illite, a decrease in kaolinite and chlorite in the seaward direction. The distributional patterns of smectite and intergrade clay are irregular. The clay fractions of the sediments near the land are supplied by rivers and are mixed with fine-grained sediments transported landwards from offshore. The distribution of clay minerals in the offshore area, the Korea Strait, shows less distinctive patterns than those in the onshore area due to the strong current of the area.

The distributions appear to have been influenced by the supply or/and redistribution of fine-grained sediments from river runoff from the Korean Peninsula as well as fine-grained sediments of the Tsushima Warm Current from the East China Sea (Fig. 9). Kaolinite seems to be transported mainly by river runoff; illite, chlorite and smectite might have been derived partly from the East China Sea by the Tsushima Warm Current. Intergrade clay seems to have a complex origin.

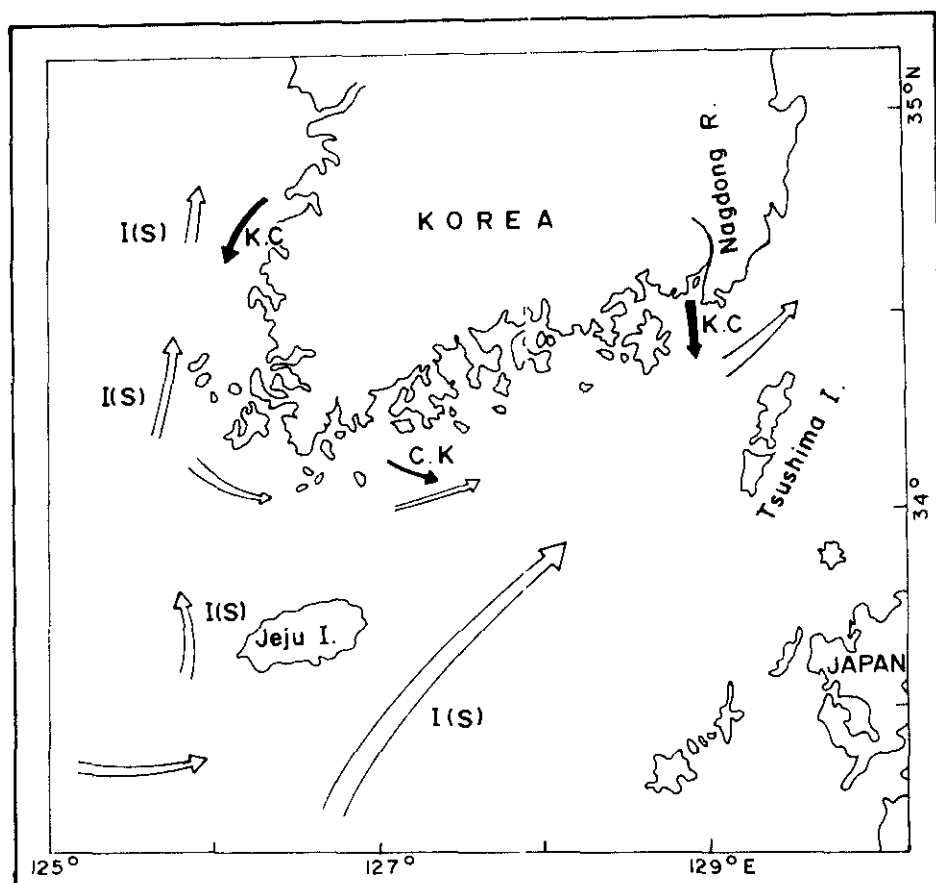


Fig. 9. Possible transport path of the clay fractions in the Korea Strait. I = illite; K = kaolinite; C = chlorite; S = smectite.

REFERENCES

- Aoki, S., Oinuma, K. and Sudo, T., 1974. The distribution of clay minerals in the recent sediments of the Japan Sea. *Deep-Sea Res.*, 21: 299-310.
- Biscaye, P.E., 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geol. Soc. Am. Bu. L.*, 76: 803-832.
- Chen, P.Y., 1978. Minerals in bottom sediments of the South China Sea. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89: 211-222.
- Chough, S.K., 1985. Further evidence of fine-grained sediment dispersal in the southeastern Yellow Sea. In: R. Hesse (Editor), *Sedimentology of Siltstone and Mudstone*, *Sediment. Geol.*, 41: 159-172 (this volume).
- Chough, S.K. and Kim, D.C., 1981. Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea. *J. Sediment. Petrol.*, 51: 721-728.
- Han, S.J., 1982. Conditions sédimentologiques comparées pour deux sites d'usine marémotrice: La baie de Giarolim, République de Corée et La Rance, France. Unpubl. thesis, Université de Paris XI, 181 pp.
- Kim, B.K. and Han, J.W., 1971. Foraminifera in the bottom sediments off the southeastern coast of Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 9: 89-121.
- Lee, C.K., 1974. A study on the currents in the western channel of the Korea Strait. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 12: 37-102 (in Korean with English abstract).
- Nino, H. and Emery, K.O., 1961. Sediments of shallow portions of East China Sea and South China Sea. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 72: 731-762.
- Nino, H., Emery, K.O. and Kim, C.M., 1969. Organic carbon in sediments of Japan Sea. *J. Sediment. Petrol.*, 39: 1390-1398.
- Oinuma, K. and Kobayashi, K., 1966. Quantitative studies of clay minerals in some recent marine sediments and sedimentary rocks from Japan. In: *Proc. 14th Natl. Conf. Clays and Clay Minerals*, Pergamon, London, pp. 209-219.
- Park, B.K., Han, S.J. and Lee, J.W., 1976. Clay mineralogy of bottom sediments in the Jinhac Bay, Korea. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, 32: 219-227.
- Rateev, M.A., Gorbunova, Z.N., Lisitzyn, A.P. and Nosov, G.L., 1969. The distribution of clay minerals in the oceans. *Sedimentology*, 13: 21-43.
- Sato, T., 1972. Clay mineral compositions of the recent marine sediments in the northern part of Japan Sea. *Ocean Sci. Mon.*, 38: 51-55 (in Japanese with English abstract).
- Shiozawa, T., 1969. Clay mineral assemblage of sediments in the Ishikari Bay. *Quat. Res.*, 8: 81-88 (in Japanese with English abstract).
- Weed, S.B. and Nelson, L.A., 1962. Occurrence of chlorite-like intergrade clay minerals in the coastal plain, piedmont, and mountain soils of North Carolina. *Proc. Soil Sci. Am.*, 26: 393-398.

The distribution of phytoplankton in Yeong-il Bay, Korea

Jae Hyung Shim* and Se Jin Pae**

* Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151, Korea

** Korea Ocean Research and Development Institute, P.O Box 17, Yeong Dong, Seoul 135

迎日灣의 植物플랑크톤 分布

沈 載 亨* · 裴 世 銀**

* 서울대학교 海洋學科 ** 韓國海洋研究所

Abstract: The interrelationships between distribution of phytoplankton and hydrographical conditions were studied from December 1983 to July 1984 in Yeongil Bay.

The temporal variation of phytoplankton abundance seems to be mainly influenced by the vertical stability of water column and the freshwater run-off accompanied with possible nutrient input. The temporal progression of dominant species shows general succession pattern, especially *Skeletonema costatum* was found a dominant species in each month. Although the differences between concentration of chlorophyll *a* and abundance of phytoplankton may be caused by cell size variation, during the study period they show relatively good linear manner.

The phytohydrographic region based on multivariate analysis reflects the relationships between hydrographical condition and distribution pattern of phytoplankton.

요약: 영일만의 식물플랑크톤의 분포와 수괴의 수리적 특성과의 상호관계에 관한 연구가 1983년 12월부터 1984년 7월에 걸쳐 이루어졌다.

식물플랑크톤 현존량의 시간적 변화는 수괴의 수직적 안정도와 영양염의 공급을 수반한 남수의 유입과 밀접한 관계를 보였다. 우점종의 시간적 동태는 일반적인 천이양상과 일치하였고, 특히 *Skeletonema costatum*은 매 조사시기마다 우점종으로 나타났다. 식물플랑크톤의 색소량과 개체수는 세포의 크기변화에 따른 차이는 있어도 전반적으로 좋은 상관관계를 보였다.

다변량분석에 따른 조사해역의 구분은 수괴의 수리적 특성과 식물플랑크톤의 분포양상과의 상호관계를 잘 반영하고 있다.

INTRODUCTION

Conditions governing seasonal changes in neritic environments are much more complex than in oceanic environments due to the added effects of local geography, river discharge, and tide (Parsons et al., 1984). Especially an estuarine environment do not necessarily follow general pattern of succession, phytoplankton fluctuations may occur at any time of the year and are a function of natural causes (Toner, 1981).

The Yeongil Bay is located at $36^{\circ}\sim 36^{\circ}10'N$ latitude and $129^{\circ}20'\sim 129^{\circ}35'E$ longitude in southeastern part of Korea. The bay is 12 km long and has the width of 10 km, then the area is about 200 km². The depth increases getting nearer to outer part, and its average depth is about 25 m. From western part the Hyongsan River flows into the bay. This bay is connected with the East Sea in northeast direction, and influenced more by offshore waters directly than by tidal currents (Fig. 1).

The previous studies in this area are as follows: Choe (1966, 1967, 1969) studied the taxonomy

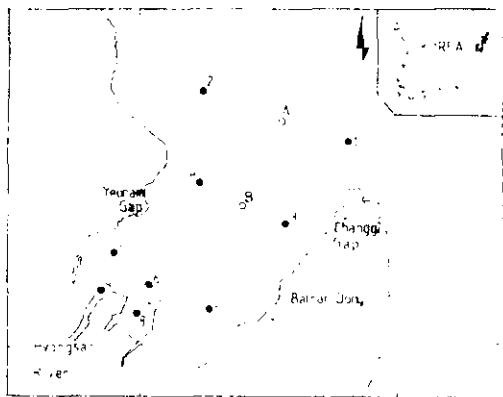


Fig. 1. Location of sampling stations in Yeongil Bay. of phytoplankton, Kwak(1976), Kwak and Lee (1977) studied the general oceanographic factors and the distribution of pigment contents, Kwak (1977) studied the concentration and distribution of iron, and the studies of distribution of drifting larvae of scallop by Yoo and Park(1979).

Nowadays various multivariate methods have been used in the interpretation of the ecological data. Some examples of analyses applied to plankton are; Allen and Koonce(1973), McIntire (1973), Holland and Claflin (1975), and Estraca and Blasco (1976). The choice of the mathematical method of analysis is mainly determined by availability rather than an accurate knowledge of the properties and limitations of the possible different methods (Legendre and Legendre, 1978). When several methods are available some are used at a time and discussed later, which may prove useful in practice (Flos, 1980).

In this connection, the objective of this study is to examine the temporal variability in phytoplankton community with relation to its hydrographical conditions, and to detect the differences in phytoplankton distribution pattern through the multivariate analysis.

MATERIALS AND METHODS

The stations are located throughout the Yeongil Bay ranging from the mouth part of the

Hyongsan River to just off the Changgi Gap (Fig. 1). Each station was visited 4 times from December 1983 to July 1984.

At each station water samples were collected with van Dorn sampler from selected depth (Table 1). From each sampling depth approximately 500ml of sea water was subsampled into the polyethylene bottle and fixed with modified Lugol's solution (Thronsen, 1978). After preservation these bottles were wrapped with aluminium foil to prevent from photooxidation of iodine. Then the samples were settled for a appreciable period and decanted by a siphon to concentrate the phytoplankton cells. And the concentrated sample was shaken to ascertain the homogeneous distribution of cells. From this 1ml was subsampled to Sedgwick-Rafter cell, then settled and 10% field was counted. Organisms smaller than 10 μ m were not included. For measuring the concentration of chlorophyll *a* one liter water samples were filtered through a Whatman GF/C glass fiber filter and analyses for chlorophyll *a* were made spectrophotometrically according to Strickland and Parsons(1972).

Temperature and salinity were measured by a CTD system on the survey ship of the Hydrographic Office. Only in December 1983 and April 1984 salinity was measured by an inductive type salinometer.

For the purpose of cluster and nodal analysis the quantitative data in July are used. The raw data set in July consists of 37 samples and 50 species. The very rare species(occurred less than 10% of total samples) are removed from the data before analysis. So the original 50 species are reduced to 36 species. To execute a normal analysis(relation between stations) the logarithmic transformation was used (Allen and Koonce, 1973; Angel and Fasham, 1973; Ohman et al., 1982). And the correlation coefficient was used as a similarity index. To examine the rela-

Table 1. Summary of sampling depth in each month. All depths are in meters.

Station number	Station depth	DEC.	APR.	MAY	JUL.
1	41	0, 20, 40	0, 20, 40	0, 20, 40	0, 10, 20, 30, 40
2	28	0, 13, 26	0, 13, 26	0, 13, 26	0, 13, 26
3	27	0, 13, 26	0, 13, 26	0, 13, 26	0, 13, 26
4	20	0, 9, 18	0, 9, 18	0, 9, 18	0, 9, 18
5	15	0, 7, 14	0, 7, 14	0, 7, 14	0, 7, 14
6	16	0, 8, 15	0, 8, 15	0, 8, 15	0, 8, 15
7	10	0, 8	0, 8	0, 4, 8	0, 4, 8
8	10	0, 8	0, 8	0, 4, 8	0, 5, 10
9	10	0	—	0, 4, 8	0, 4, 8
A*	40	—	—	—	0, 10, 20, 29, 38
B*	25	—	—	—	0, 12, 24

* the station A, B are added in 4th cruise

tionships between the species normal data set was transposed, and then the inverse analysis was executed. In this analysis the root-root transformation was used (Field et al., 1982). And the Bray-Curtis (1957) measurement was used as a similarity index in an inverse analysis.

Among the various clustering techniques the weighted pair group average method was used (Davis, 1973).

RESULTS AND DISCUSSION

Temporal variation of phytoplankton

Abundance and species composition

The variation of average cell densities in each month is shown in Fig. 2. It shows minimum in December (avg. about 74×10^3 cells/l), then increases in April to 400×10^3 cells/l, in May decreases to somewhat lower value (271×10^3 cells/l), and reaches its maximum value (1038×10^3 cells/l) in July.

In December, the relatively uniform T-S condition indicates that the drainage of freshwater is negligible and a well-mixed condition is maintained (Fig. 3A). The minimum level of cell densities in this month may reflect the above condition. In April, surface waters of the mid and inner part of the bay show lower salinity values. This fact indicates that some freshwater

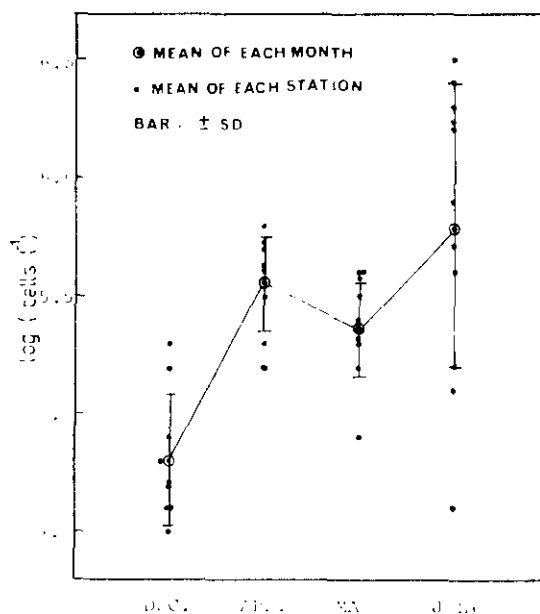


Fig. 2. Temporal variation of phytoplankton abundance during study period.

inflows into the bay (Fig. 3B). Thus possible nutrient input is accompanied with, because a large amount of municipal sewage has been discharged into the Hyongsan River without any treatment. And the favorable light condition enables April increase. In May, the salinity distribution is more or less even (more than 33.5‰). This condition indicates that the freshwater run-off is negligible (Fig. 3C). It can be postulated that the increased phytoplankton crop

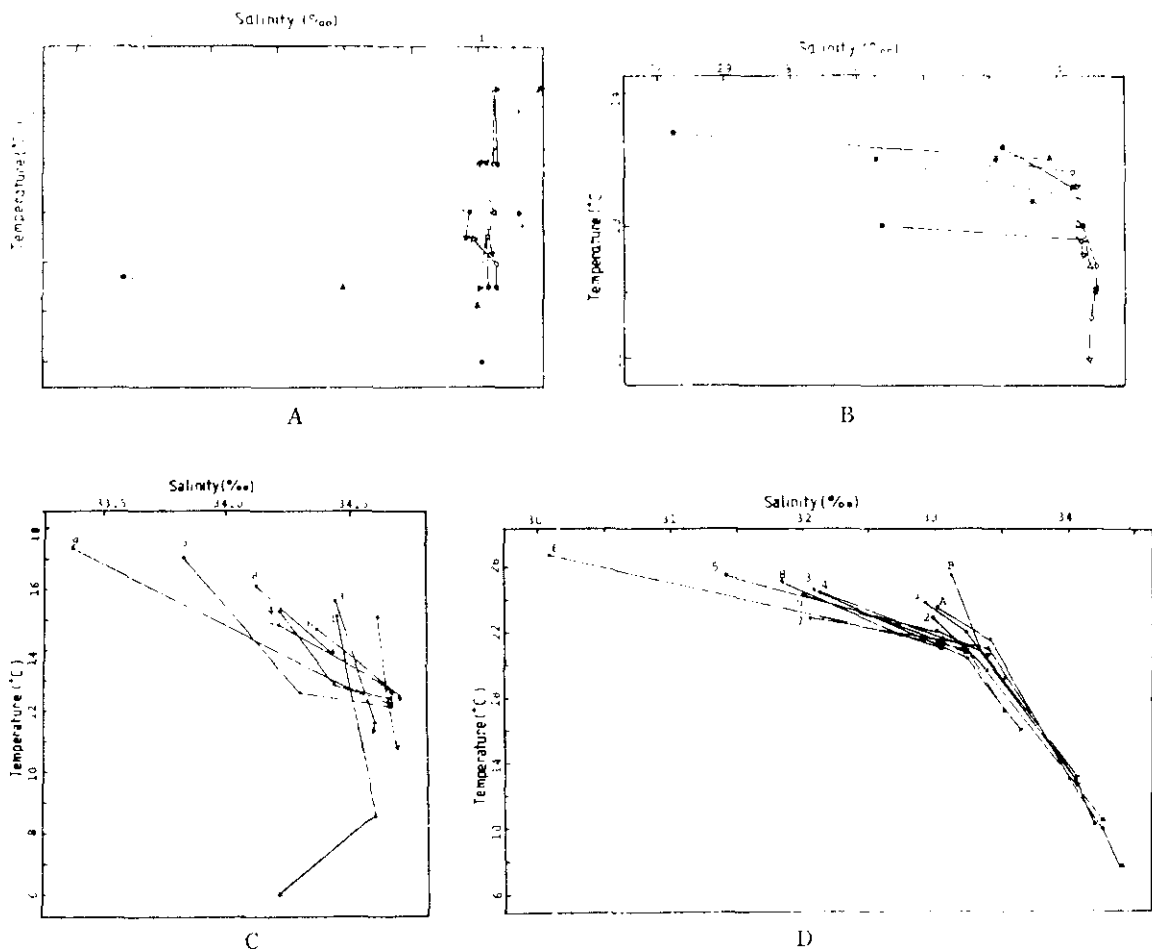


Fig. 3. T-S diagrams

A: December 1983.

B: April 1984.

C: May 1984.

D: July 1984.

in April consumes a considerable amount of available nutrients, then the nutrient level in May is situated in more or less poor conditions. Therefore the cell densities are to decrease in May. In July, the surface salinity is lowered markedly, suggesting that a great amount of freshwater has been discharged into the bay. It strongly indicates that the nutrient is supplied again. And the evident thermal gradient as well as salinity gradient can form a strong stratification in July (Fig. 3D). Furota (1980) has reported that phytoplankton blooms commonly occurred in the stratified period in embayment environments. He also suggested that in open

bay stratification of the water column results in the surface water being effectively supplied with nutrients from river drainage. Thus the rich phytoplankton abundance in July might be caused by the well stratified hydrographical conditions and the drainage of adjacent rivers (mainly Hyongsan River).

The distribution of cell densities at each station in each month is shown in Fig. 4. In December, because of a well-mixed condition the cell density of each station shows quite uniform distribution less than 100×10^3 cells/l. But St. 7 and 8 show somewhat higher values, that is, 160×10^3 cells/l and 179×10^3 cells/l, respectively.

This is caused by the relatively dense stock of *Thalassiosira decipiens* at St. 7 and *Chaetoceros socialis* at St. 8. In April, except for the lower salinity area (surface of St. 3, 5, and 7), the salinity of most areas is uniformly high, and the temperature changes slightly (Fig. 3B). This indicates that relatively well-mixed condition is maintained yet. So the cell density at each station is distributed more or less uniformly with range of $100\sim 1000 \times 10^3$ cells/L. But St. 1, 2, and 6 is characterized by somewhat high values, that is, 539, 620, and 556×10^3 cells/L, respectively. This is caused by dense stock of *Thalassiosira decipiens*, *Skeletonema costatum* and *Gymnodinium albulum*. In May, though there exists some temperature gradient, the uniform salinity distribution indicates that the strong stratification is not set in (Fig. 3C). So the cell density at each station is distributed quite uniformly with range of $100\sim 500 \times 10^3$ cell/L. In July, it is characterized that the very dense phytoplankton crop is found in the inner part of the bay, and the cell densities decrease gradually to the outer part. The higher cell densities (more than 10^6 cells/L) of the inner part are due to an outburst of *Skeletonema costatum*. According to Hendey (1964), *Skeletonema costatum* is a very common pelagic diatom, frequently associated with a coastal flora and when presents it is usually found in a large numbers. And also this small diatom is a widely distributed boreal and temperate euryhaline species, restricted to coastal waters, which may reproduce quickly (Toner, 1981). But approaching to the outer part, the cell numbers of this species are reduced and restricted to surface layers. So the cell densities tend to decrease gradually as getting nearer to the outer part.

Nineteen species displaying appreciable cell densities (more than 10% in each sample at least recorded in more than 3~4 bottle samples) are listed in Table 2. The table shows a clear tem-

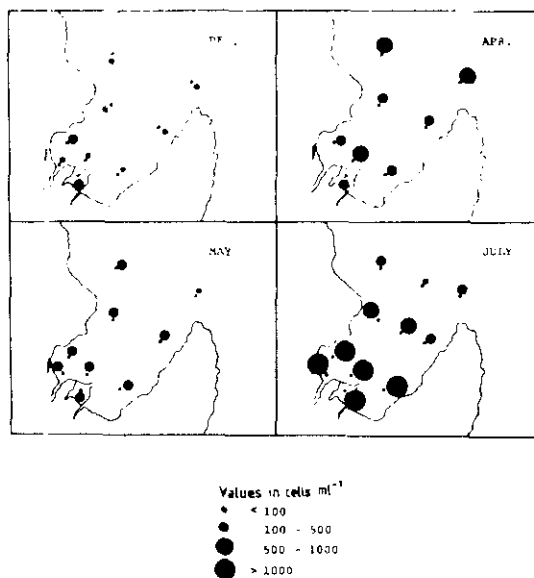


Fig. 4. Distribution of phytoplankton cell densities in each month.

peral progression of the important species. It should be noted that in December all the species concerned are diatoms, whereas from April to July dinoflagellates comprise significant part of the total cell densities. In December, the major dominant diatoms are *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros socialis*, *Nitzschia closterium*, *Nitzschia delicatissima*, and *Thalassiosira decipiens*. The maximum abundance is found with *Nitzschia closterium*. In April, the major constituents are *Nitzschia delicatissima*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira decipiens*, *Nitzschia pungens*, *Chaetoceros curvisetus* and *Gymnodinium* spp. (mainly *G. albulum*). The maximum abundance is found with *Skeletonema costatum*. In May, the dominant species are *Nitzschia closterium*, *Nitzschia delicatissima*, *Gymnodinium* spp., *Leptocylindrus danicus*, and *Prorocentrum balticum*. The maximum abundance is found with *Prorocentrum balticum*. In July, the major components are *Skeletonema costatum*, and *Prorocentrum minimum*, showing very higher abundance with *Skeletonema costatum*. In each month *Skeletonema*

Table 2. Temporal progression of dominant phytoplankton species during the study period.

	DEC.	APR.	MAY	JUL.
<i>Chaetoceros compressus</i>	--	--	+	†
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	--	20.8	--	†
<i>Chaetoceros debilis</i>	†	†	--	†
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	--	--	--	†
<i>Chaetoceros socialis</i>	10.7	†	--	--
<i>Distephanus speculum</i>	+	†	+	†
<i>Gymnodinium</i> sp.	+	56.1	25.6	11.7
<i>Gyrodinium</i> sp.	+	†	17.7	+
<i>Heterocapsa triquetra</i>	--	†	†	--
<i>Leptocylindrus danicus</i>	+	+	21.0	+
<i>Nitzschia closterium</i>	14.6	†	34.3	†
<i>Nitzschia delicatissima</i>	†	30.9	41.1	19.5
<i>Nitzschia pungens</i>	--	37.6	19.4	+
<i>Prorocentrum balticum</i>	--	--	58.7	--
<i>Prorocentrum minimum</i>	--	--	--	39.0
<i>Skeletonema costatum</i>	†	107.6	15.7	907.4
<i>Thalassiosira decipiens</i>	12.1	107.0	--	--
<i>Thalassiosira</i> sp.	†	--	†	†
Unidentified dinoflagellate	--	--	†	+

Values as thousand l^{-1}

Scale of abundance for cell counts

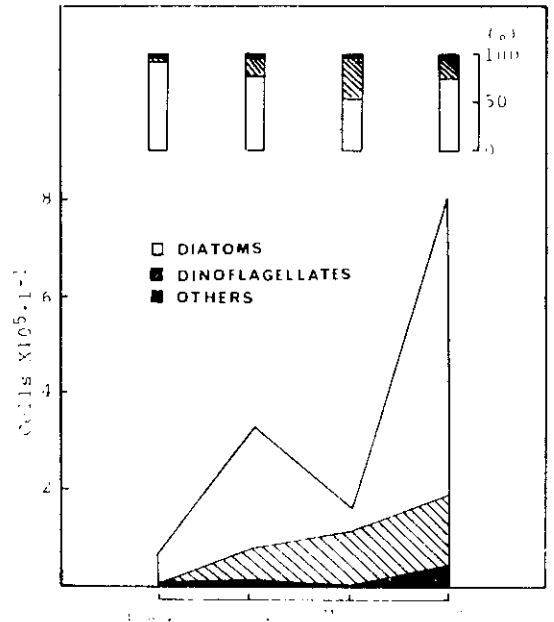
† : 1,000~10,000 l^{-1}

+

-- : not observed

costatum was found in the dominant species. Shim (1984) has reported that *Skeletonema costatum* occurred as a dominant species at all seasons in the western coastal waters of Korea. Also in the southern coastal waters of Korea, this species occurred as a dominant species in all seasons (Yoo and Lee, 1979; 1980).

The temporal progression of cell abundance and the relative importance of each component group are shown in Fig. 5. The diatoms occupy more than 90% of the total cells in December, then the proportion decreases gradually to May, but in July the proportion of diatoms increases again. This is due to the dense stock of *Skeletonema costatum*. On the other hand, the dinoflagellates occupy small proportion of the total cells in December, then the proportion increases gradually to May. And it decreases in July.

**Fig. 5.** Temporal variation of cell abundance and the relative importance of each component group.

But the cell densities of dinoflagellates progressively increase from December to July, with its peak in July. From this fact it is suggested that the diatoms-dinoflagellates balance is changing throughout the study period. Revelante et al. (1984) have reported that the dinoflagellates predominate to the stratified conditions, and diatoms to the periods characterized by mixed water column conditions. The other groups which consist of mainly silicoflagellates (with some chlorophyceans and euglenoids) contribute to minor proportions (less than 5%). The somewhat raised cell numbers were observed in July due to silicoflagellates.

Shim and Park (1983) reported in the southern waters of Korean Eastern Sea which located just off the study area, 20~100 cells $\times 10^3 / l$ in March. Whereas the cell densities of Yeongil Bay were 200~700 $\times 10^3$ cells $/ l$ in April. It was one order of magnitude higher than that of offshore waters. In most regions of the world, whatever the latitude is, the plankton in coastal

waters is normally richer than in offshore and oceanic waters.

Chlorophyll a

Standing stock of phytoplankton measured by chlorophyll *a* shows similar pattern as compared with cell densities. The major difference is the position of a peak. The temporal variation of concentration of chlorophyll *a* is shown in Fig. 6. In December, the concentration of chlorophyll *a* is fairly low (avg. about 0.29 mg/m³), gets to the maximum value in April (avg. about 3.07 mg/m³), and decreases in May (avg. about 2.11 mg/m³), then slightly increases again in July (avg. about 2.36 mg/m³).

The distribution of concentration of chlorophyll *a* in each month is shown in Fig. 7. In December, its distribution is quite uniform and all stations show less than 1.0 mg/m³. In April, it increases remarkably more than 3.0mg/m³, but St. 3 was less than 2.0 mg/m³ and St. 8 shows

extremely poor less than 1.0 mg/m³. In May, somewhat higher values are observed at St. 3 and St. 8 (more than 3.0 mg/m³), the minimum value observed at St. 1. In July, it shows similar aspect with relation to cell densities, that is, the concentration of chlorophyll *a* increases from the outer part to the inner part of the bay.

As compared with cell densities, the main difference is derived from April and July. In inner part of the bay, the cell densities in April are lower than that of July, on the other hand the concentration of chlorophyll *a* is somewhat similar values in April and July. In April the major components of the species are *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira decipiens*, *Nitzschia pungens*, and *Chaetoceros curvisetus*. But in July *Skeletonema costatum* constitutes the major part solely. In other words, in April the major part of the phytoplankton community is composed of relatively large species, on the contrary the great part of the phytoplankton community is composed of small diatoms (i.e., *Skeletonema costatum*) in July. From this point of view, though the cell

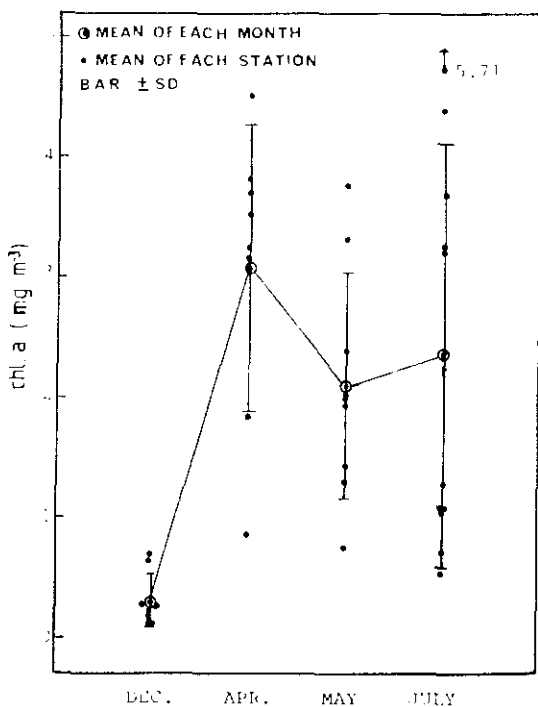


Fig. 6. Temporal variation of concentration of chlorophyll *a* during study period.

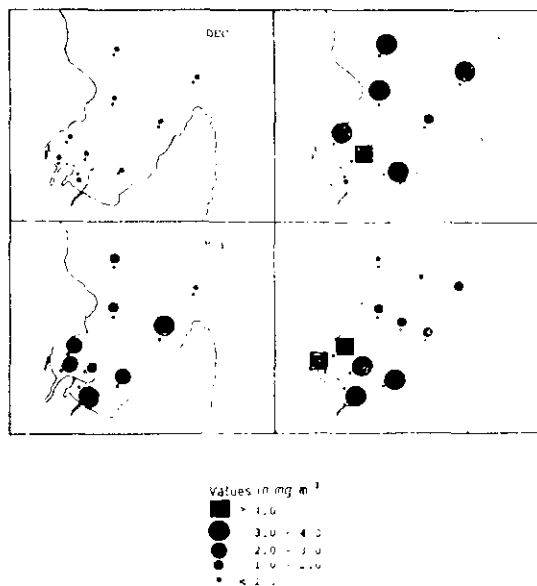


Fig. 7. Distribution of concentration of chlorophyll *a* during study period.

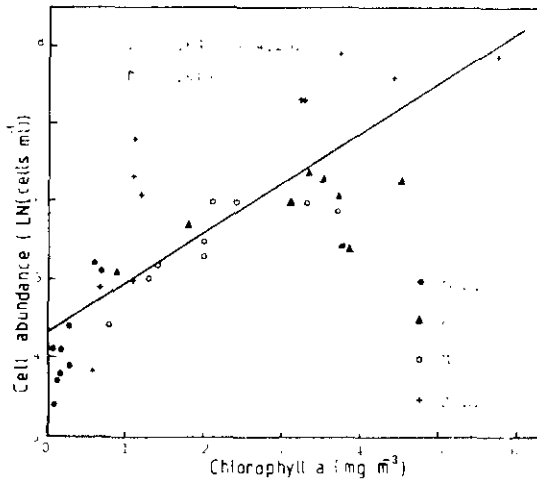


Fig. 8. The relationships between chlorophyll *a* contents and phytoplankton cell density during study period.

numbers of April is lower than those of July, relatively large cells can maintain the higher concentration of chlorophyll *a* in April.

There are many difficulties in comparing cell density with concentration of chlorophyll *a*, e.g. interspecific and intraspecific size variation, different chlorophyll: carbon ratio, etc. (Raymont, 1980). In spite of such a difficulties the relationship between cell densities and concentration of chlorophyll *a* shows a relatively good linear manner (Fig. 8). In this study area the correlation coefficient at each time was 0.92, 0.68, 0.82, and 0.83, respectively. On the whole the correlation coefficient between cell densities and concentration of chlorophyll *a* is 0.819.

Division of the study area

The cluster analysis was performed on each month. It is difficult to divide the study area effectively in other months except for July, because of their relatively uniform hydrographical conditions.

In July, the strong stratified conditions due to obvious pycnocline make it possible to divide the study area effectively. Fig. 9 is a dendrogram showing the affinities between stations based on

abundance of phytoplankton species. Arbitrary similarity level of 15% delineates 2 major groups; namely, Group A and B. The Group A comprises the warmer lighter surface waters of the entire area and the waters of inner part of the bay (Ss. 5, 6, 7, 8, and 9). The Group B comprises the colder saline bottom waters of mid part of the bay and the waters below 20m depth of outer part of the bay. In both cases the strong thermal gradient exists just above them. This discontinuity layer acts as a barrier which prevents the mixing of two water masses. Group A is characterized by rich phytoplankton crop as described above. In estuaries which are highly stratified the phytoplankton is frequently occurred in lower salinity water (Riley, 1967). Group B is characterized by colder saline waters of the bay, and has relatively poor cell densities.

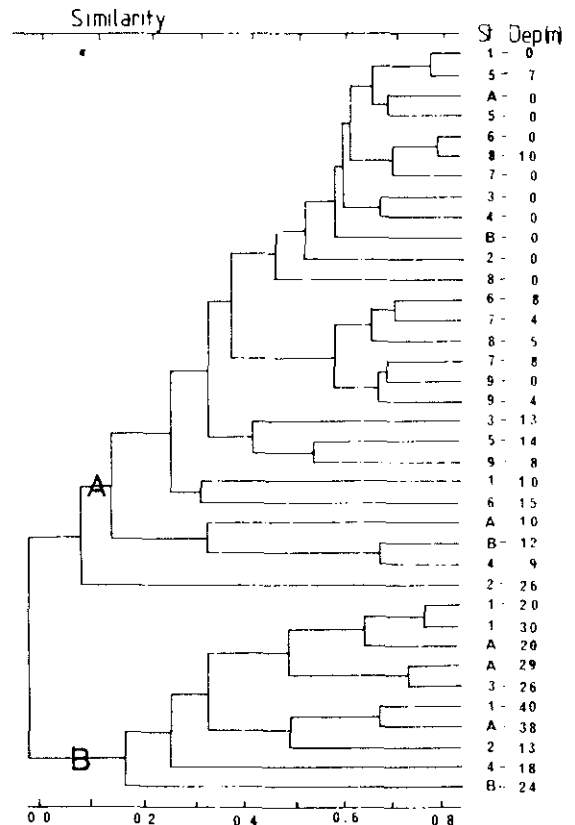


Fig. 9. Dendrogram showing grouping of 37 stations in Yeongil Bay based on quantitative data.

Fig. 10 is a dendrogram showing the affinity between species. The species groups are classified into 4 Groups;

Group 1 is composed of mainly dinoflagellates species (*Prorocentrum minimum*, *Scrippsiella trochoidea*, *Peridinium bipes*, *Gymnodinium* spp., and *Gyrodinium* spp.) with some common neritic diatoms.

Group 2 shows the omnibus pattern, that is, comprises some species of diatoms, dinoflagellates, and euglenoid.

Group 3 is the main diatom community, then it contains some benthic forms (*Navicula* spp.) and more or less cold water form (*Chaetoceros compressus*), and some common diatoms. This group also contains the silicoflagellates (*Distephanus speculum*).

Group 4 is only one species—*Skeletonema costatum*.

In order to examine the degree of coincidence between collection groups and species groups the nodal analysis has been performed. Fig. 11. is nodal constancy diagram showing the relationships between station groups and species groups.

Constancy means that the percentages or proportions of the number of occurrence of species in the collection group to the total possible number of such occurrences. The index will take a value of 1 when all species occurred in all collections in the group, and 0 when none of the species occurred in the collections (Boesch, 1977). In other words the nodal constancy patterns conveniently demonstrates the floral differences between collection groups. The station Group A is characterized by very high constancy in species Group 1 (mainly dinoflagellates) and Group 4 (*Skeletonema costatum*). It indicates that species Group 1 and 4 are very frequently occurred in warmer lighter waters (station Group A). The station Group B (colder, saline waters) shows moderately frequent occurrence of species Group 1 and Group 3 (diatom communities).

The nodal fidelity diagram is shown in Fig. 12. The fidelity index is an expression of the constancy of species in a collection group compared to the constancy over all collections. This

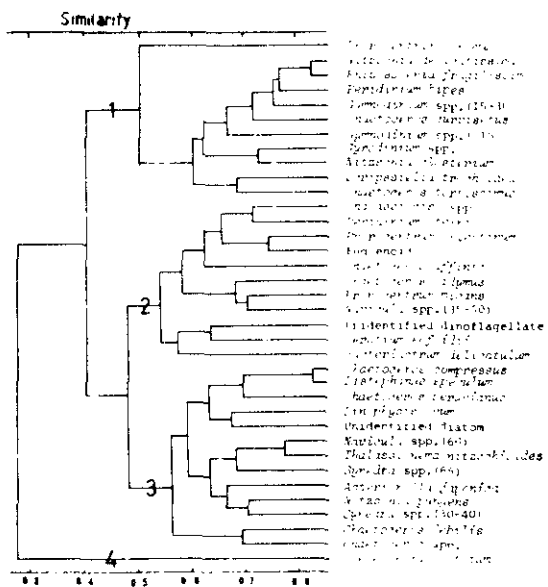


Fig. 10. Dendrogram showing grouping of 36 phytoplankton species in Yeongil Bay based on quantitative data.

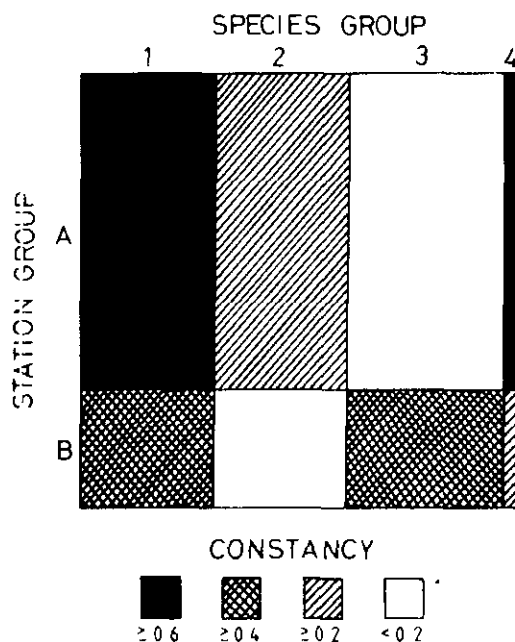


Fig. 11. Nodal constancy in a two-way table between species groups and station groups.

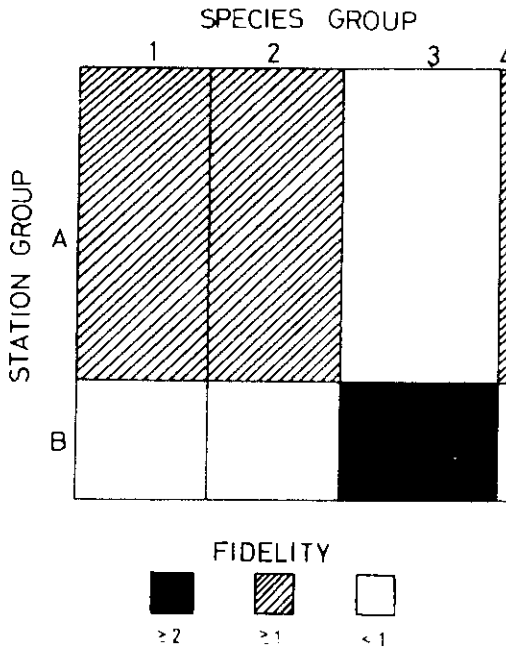


Fig. 12. Nodal fidelity in a two-way table between species groups and station groups.

index is unity when the constancy of a species group in a site group is equivalent to its overall constancy, greater than 1 when its constancy in that collection group is greater than that overall and less than 1 when its constancy is less than its overall constancy. The fidelity of species group to collection groups make it possible to give an indication of the degree to which species "select" or are limited to collection types (habitats, seasons or whatever; Boesch, 1977). The nodal fidelity pattern shows that some species groups (e.g., Group 1 and Group 4) are highly constant in station Group A, but are not very faithful more or less. This is caused by its relatively wide distribution. But the species Group 3 (mainly diatom community) is characterized by very high fidelity in station Group B (cold, saline waters). This may indicate that species Group 3 has some preference in cold saline water. The presence of cold water species (*Chaetoceros compressus* and *Distephanus speculum*) and benthic forms (*Navicula* spp)

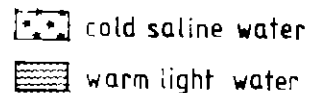
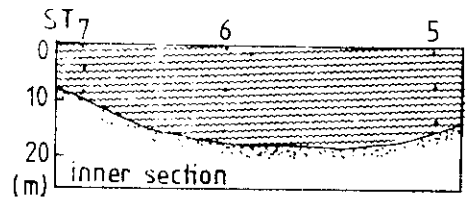
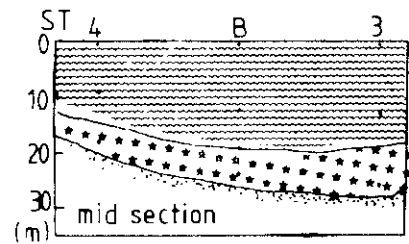
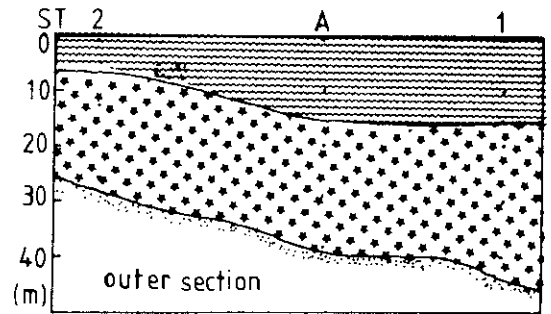


Fig. 13. The vertical distribution of phytohydrographic region based on multivariate analysis.

may reflect the above suggestion.

The phytohydrographic region based on cluster and nodal analysis is shown in Fig. 13. The warm light water discharged from adjacent river spreads out overlying cold saline water in the whole bay in July, on the other hand the cold saline bottom water from the outer part intrudes upto the bottom of the mid part of the bay. This feature is fairly similar to the salt-wedge type estuaries (Bowden, 1967).

REFERENCES

- Angel, M.V. and M.J.R. Fasham, 1973. Sond Cruise 1965: Factor and cluster analysis of the plankton result, A general summary. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 53:185-231.
- Allen, T.F.H. and J.F. Koonce, 1973. Multivariate approaches to algal stratagems and tactics in systems analysis of phytoplankton. *Ecology*, 54:1234-1246.
- Boesch, D.F., 1977. Application of numerical classification in ecological investigation of water pollution. U.S. Environmental Protection Agency, Ecological Research Series EPA-600/3-77-033, 115p.
- Bowden, K.F., 1967. Circulation and diffusion. In "Estuaries," G.A. Lauff, ed., A.A.A.S., Washington, D.C., 15-36.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis, 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27:325-349.
- Choe, S., 1966. Phytoplankton studies in Korean waters. I. Phytoplankton survey of the surface in the Korea Strait in summer of 1965. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 1:14-21 (in Korean).
- Choe, S., 1967. Phytoplankton studies in Korean waters. II. Phytoplankton in the coastal waters of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 2:1-12 (in Korean).
- Choe, S., 1969. Phytoplankton studies in Korean waters. III. Phytoplankton in the adjacent seas of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 1:49-67 (in Korean).
- Davis, J.C., 1973. Statistics and data analysis in Geology. John Wiley & Sons, Inc., 550p.
- Estrada, M. and D. Blasco, 1979. Two phases of phytoplankton community in the Baja California upwelling. *Limnol. Oceanogr.*, 24:1065-1080.
- Field, J.G., K.R. Clarke, and R.M. Warwick, 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 8:37-52.
- Flos, J., 1980. Ordination and cluster analysis applied to oceanographical data. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 11: 393-406.
- Furota, T., 1980. Seasonal variation of phytoplankton standing stocks in temperate embayments. *Bull. Plankton Soc. Japan.*, 27:63-73.
- Hendey, N.I., 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. London. Her majesty's stationary office., 317p.
- Holland, R.E. and L.W. Claffin, 1975. Horizontal distribution of planktonic diatoms in Green Bay, mid-July 1970. *Limnol. Oceanogr.*, 20:363-378.
- James, I.D., 1980. Thermocline formation in the Celtic Sea. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 10:597-607.
- Kwak, H.S., 1976. General oceanographic factors in Yeongil Bay, late October, 1973. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 11:89-95.
- Kwak, H.S., 1977. The concentration and distribution of Iron in Yeongil Bay water of Korea, late October. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 12:1-6.
- Kwak, H.S. and K.R. Lee, 1977. Distribution of phytoplankton pigments in Yeongil Bay water of Korea, late October. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 12:57-66.
- Legendre, L. and P. Legendre, 1978. Associations. In "Phytoplankton manual," A. Sournia, ed., UNESCO, 261-271.
- McIntire, C.D., 1973. Diatom associations in Yaquina estuary, Oregon: A multivariate analysis. *J. Phycol.*, 9:254-259.
- Ohman, M.D., G.C. Anderson, and E. Ozturgut, 1982. A multivariate analysis of planktonic interactions in the eastern tropical North Pacific. *Deep-Sea Res.*, 19A:1451-1469.
- Parsons, T.R., M. Takahashi, and B. Hargrave, 1984. Biological oceanographic processes. 3rd ed., Pergamon Press, 330p.
- Raymont, J.E.G., 1980. Plankton and productivity in the oceans. Pergamon Press., 489p.
- Ravelante, N., W.T. Williams, and M. Gilmartin, 1984. A numerical assessment of the temporal and spatial distribution of phytoplankton assemblages in the Northern Adriatic Sea. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 77:137-150.
- Riley, G.A., 1967. The plankton of estuaries. In "Estuaries," G.A. Lauff, ed., A.A.A.S., Washington, D.C., 316-326.
- Shim, J.H., 1984. A review on the phytoplankton researches of Korean coastal waters. Commemoration Papers for Prof. Y.H. Chung, 337-358.
- Shim, J.H. and S.Y. Park, 1983. Oceanographic studies on the Southern waters of Korean Eastern

- Sea. Res. Inst. Basic Sci., S.N.U., 102-162.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of sea water analysis. Fish. Res. Bd. Canada Bull., 167, 311p.
- Thronsdon, J., 1978. Preservation and storage. In "Phytoplankton manual," A. Sournia, ed., UNESCO, 69-74.
- Toner, R.C., 1981. Interrelationships between biological, chemical and physical variables in Mount Hope Bay, Massachusetts. Estuarine Coastal and Shelf Science, 12:701-712.
- Yoo, K.I. and J.H. Lee, 1979. Environmental studies of the Jinhae Bay. 1. Annual cycle of phytoplankton population, 1976~1978. J. Oceanol. Soc. Korea., 14:26-31.
- Yoo, K.I. and J.H. Lee, 1980. Environmental studies of the Jinhae Bay. 2. Environmental parameters in relation to phytoplankton population dynamics. J. Oceanol. Soc. Korea, 15:62-65.
- Yoo, S.K. and K.Y. Park, 1979. Distribution of drifting larvae of scallop, *Patidopecten yessoensis*, in the Yeongil Bay. J. Oceanol. Soc. Korea, 14:54-60.

EVIDENCE OF TWO DRIVING MECHANISMS OF THE WESTERN MEDITERRANEAN UPPER
LAYER CIRCULATION : FRESHWATER COASTAL INPUT AND DEEP WATER FORMATION

Bethoux J.P.¹, Prieur L.¹, Bong J.H.²

1 LPCM, BP 8, F 06230 Villefranche-sur-Mer

2 KORDI, PO Box 17, Yeong Dong, Seoul, South Korea

Off Nice, the Ligurian current, when considered over a whole year, is equally composed of Tyrrhenian and Algero-Provençal fluxes. A marked seasonal cycle, which appears off Nice and also through the Corsican channel (with a maximum flux occurring in December and January, and a minimum in August and September), cannot be related to wind or atmospheric pressure variations (Bethoux et al., 1982).

Since October 1981, systematic CTD sections have allowed the study of the spatio-temporal variations of the Ligurian current. Heavy rains occurred in December 1981, after a severe drought in the Western Mediterranean Sea (Prieur et al., 1983). Increases in the Ligurian current have been correlated with freshwater inputs from precipitation and the Var and Arno rivers discharges (Bong, 1983). A twenty days lag correlation between freshwater inputs and baroclinic fluxes shows that the upper layer Ligurian current (0-200 m depth), of about $1.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ average value, results from two components : a constant one of about $0.8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ and a variable one, forced by freshwater. The latter chiefly comes from the Tyrrhenian Sea while the former originates essentially from the Algero-Provençal basin and strengthens the concept of a deep water forcing (Bethoux and Prieur, 1983).

In the Western Mediterranean Sea, outgoing deep waters (of about $50 \cdot 10^{12} \text{ m}^3/\text{y}$ entering the Alboran Sea ; Bethoux, 1980) are compensated by Eastern Intermediate waters and by about $13.5 \cdot 10^{12} \text{ m}^3/\text{y}$ of North-Western surface waters. These waters, converted into deep waters during winter, progressively go towards the Straits. The central area of cyclonic circulation, where the transformation occurs, represents nearly half of the North-Western basin ($1.4 \cdot 10^{11} \text{ m}^2$). The surface layer contribution to the deep water formation results in the disappearance of an annual layer of 96 m thickness. This creates an initial domed structure and an hypothetic lowering of the sea surface. A compensating gravity wave propagating from the Atlantic towards the Ligurian Sea takes at least 3.6 hours. They allow a minimal lowering of the surface of $(96 \times 3.6) / (365 \times 24) = 0.04 \text{ m}$. That is about half of the dynamical differential height calculated off Nice, and may explain the geostrophic flux off Calvi (Corsica).

Also, different possibilities of propagating gravity waves, owing to the bathymetry, allow Atlantic surface water paths through the Balearic Islands. A curved line, between the Catalonian Coast, North of Minorca and Sardinia, may constitute an isochronous propagation line. In the infra red satellite images of sea surface temperature, a similar line corresponds to a thermal gradient (Philippe, 1980).

The deep water formation area coincides evidently with one affected by wind (Mistral). So, in the North-Western basin, the deep water driving mechanism could give the same outlines as the wind forced upper layer circulation (i.e McDonald et al., 1983). But, qualitatively and quantitatively, it explains the Atlantic water path towards the Ligurian Sea. On the other hand, the freshwater driving force explains the channeling of the Ligurian current above the continental slope and the arrival of the Tyrrhenian flux.

References

- Bethoux J.P., 1980. Mean water fluxes across sections in the Mediterranean Sea, evaluated on the basis of water and salt budgets and of observed salinities. *Oceanol. Acta*, 3, 1, p. 79-88.
- Bethoux J.P., Prieur L., Nyffeler F., 1982. The water circulation in the North-Western Mediterranean Sea, its relations with wind and atmospheric pressure, in *Hydrodynamics of semi-enclosed seas*, J.C.J. Nihoul Ed., p. 129-142.
- Bethoux J.P., Prieur L., 1983. Hydrologie et circulation en Méditerranée Nord-Occidentale. *AFTP, Pétrole et Technique*, 299, p. 25-34.
- Bong J.H., 1983. Contribution à l'étude du courant ligure et de sa variabilité spatio-temporelle à moyennes échelles. Thèse 3ème Cycle, Université Paris 6, pp. 83.
- McDonald B.E., May P.W., Piacsek S.A., Preller R.H., 1983. The upper layer circulation of the whole Mediterranean. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 28, 2, p 33-37.
- Philippe M., 1980. Fronts thermiques en Méditerranée, d'après les données du radiomètre du satellite NOAA 5 (Septembre 1977-Février 1979) *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 291, B, 43-46.
- Prieur L., Bethoux J.P., Bong J.H., Tailliez D., 1983. Particularités hydrologiques et formation d'eau profonde dans le bassin Liguro-provençal en 1981-1982. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 28, 2, p. 51-53.

This work was supported by CNRS, UA 353 and GRECO 34

PLANKTONIC FORAMINIFERA FROM THE SOUTHWESTERN SLOPE OF THE ULLEUNG BASIN, EAST SEA, KOREA

HAE-KYUNG CHEONG*, SOON-KEUN CHANG** AND
KWANG-HO PAIK*

*Department of Geology, Korea University, Anam Dong, Seoul 132, KOREA

**Geological Oceanography Lab., Korea Ocean Research and
Development Institute, P.O. Box 17, Yeong Dong, Seoul 135, KOREA

ABSTRACT

Planktonic foraminifera were studied from four piston cores collected from the upper and middle continental slope of the Ulleung Basin in the East Sea. A total of 35 species belonging to 12 genera were identified. Planktonic foraminiferal faunas are dominated by *Neogloboquadrina pachyderma* associated with *Globigerina bulloides*, and *Neogloboquadrina dutertrei*.

Considering the coiling direction of *N. pachyderma*, the rare presence of *Globigerina umbilicata*, and the occurrence of benthic foraminifers, the 4 cores have been deposited in Holocene. However, the core 40-1 is seemed to be mixed with reworked Pleistocene materials. The core 40-2 is appeared to have been deposited in the environments strongly influenced by warm water, e.g., the East Korea Warm Current, whereas the cores 40-1, 41-2, and SL-1 have been influenced by cold water, e.g., the North Korea Cold Current. It is inferred that the cores 41-2 and SL-1 were influenced from the upwelling. Most species are briefly illustrated.

INTRODUCTION

Planktonic foraminifera are very useful for paleoclimatic and biostratigraphic interpretations in Cenozoic marine sequences. For instance, the Deep Sea Drilling Project has provided excellent results on biostratigraphy and paleoclimatology based on the planktonic foraminiferal assemblages. Almost of such interpretations have so far been based on frequency distributions and stratigraphic occurrences of planktonic foraminifera. Planktonic foraminifera are grouped into several faunal assemblages which clearly reflect latitudinal and climatic influences. The relationship between faunal assemblages and environmental parameters leads to a logical inference that the fossil remains of planktonic foraminifera in the stratified ocean sediments reveal environmental changes through geologic time. According to Be (1967, 1977), approximately 30 species of living planktonic foraminifera are found in the oceans and they range from a diversity of 22 in equatorial seas to that of one in polar seas.

In the Sea of Japan, the planktonic foraminifera were extensively studied in the cores of uppermost Pleistocene to Holocene (Ujii and Ichikura, 1973; Inoue, 1980), of Pliocene to Pleistocene (Ingle, 1975). Matoba (1984) studied the paleoenvironment of the Sea of Japan. Oba (1983) demonstrated a distinct environmental change in salinities and water temperatures during the latest Pleistocene to early Holocene by the oxygen isotope studies of the benthic foraminifera

The purposes of this study are as follows:

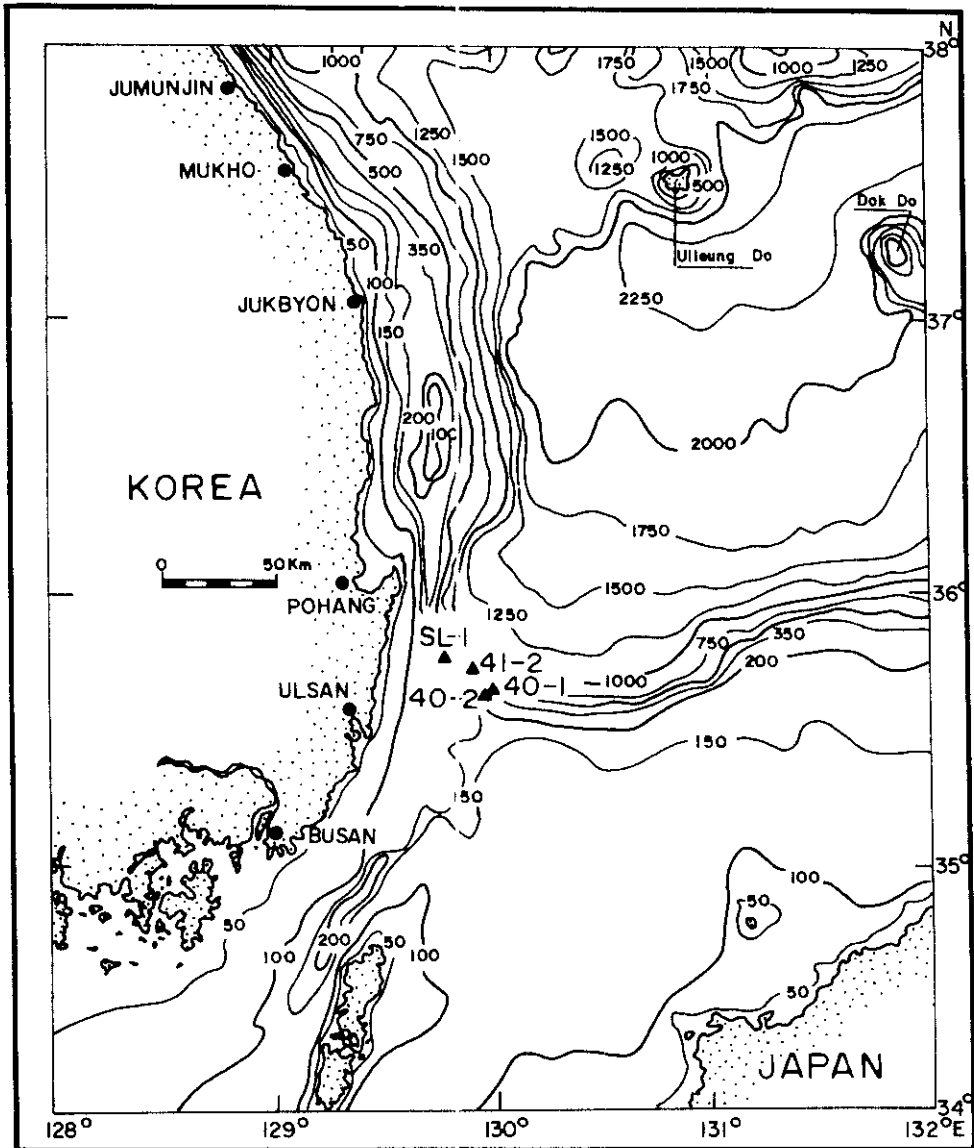


Fig. 1. Location of cores (Bathymetry based on KORDI, 1982).

- 1) to document the vertical distribution of the planktonic foraminiferal faunas in the cores from the Ulleung Basin slope.
- 2) to determine the geologic age of the cores.
- 3) to delineate the paleoenvironments of the study area.

MATERIALS AND METHODS

Core Description

Four piston cores were raised from the upper and middle continental slope of the Ulleung

Basin named by Kim (1976). Three cores (core no. 40-1, 40-2, and 41-2) were obtained during the cruise in March, 1982 and another one (SL-1) in December, 1983 by using Tsurumi - Seiki piston corer. Core 40-1, 40-2, and SL-1 were obtained from the upper slope, and the core 41-2 from the middle slope (Fig. 1). The locations, water depths and lengths of the cores are given in the Table 1.

The color of sediments are generally olive gray (5y 3/2 - 5y 4/2). The upper slope cores are consisted largely of clayey, muddy and silty sand, whereas middle slope core is dominantly silty (Fig. 2). The core 40-1 shows the primary parallel laminations in the upper 10 to 45 cm, whereas the lower part does not show any distinct primary structures, which may have been disturbed (Jeong, 1983). The core 40-2 consists mainly of more than 80% terrigenous materials, and shows parallel laminations in the upper 0-64 cm and dark mottles (about 2-7 cm from the top). Cores 41-2 and SL-1 consist mostly of silt and silty mud with scarce sand, and shell fragments. X-radiographs of the cores show the rind burrows, typical structure of hemipelagic sediment throughout the whole core. The above-mentioned descriptions are mainly based on Jeong (1983).

Methods of Study

A total of 75 samples were taken out in 3-4 cm thickness with intervals of 5 to 15 cm. Raw samples were disaggregated in 3% calgon solution and washed through a 230 mesh sieve (0.063 mm openings). The residue on the sieve were dried in the oven. From the dried residue, about 300 specimens of planktonic foraminifers were randomly picked out. In addition, benthonic foraminifers were also picked out.

PLANKTONIC FORAMINIFERAL ASSEMBLAGES

Core 40-2 (Table 2)

This core contains extremely rich and well preserved planktonic foraminifers among the cores. In 17 samples, 30 species of 11 genera were identified. The "planktonic ratio" (Ujii and Ichikura, 1973), a ratio of planktonic to all foraminifers, lies between 47% and 73%. The planktonic foraminiferal assemblage is generally characterized by the predominance of *N. pachyderma* associated with *N. dutertrei*, *Globorotalia crassaformis*, *Globigerina bulloides* and *Globigerinoides ruber* in most samples.

It is highly characteristic that the coiling ratio of *N. pachyderma* is dominated by the dextral coiling form more than 94% throughout the core (Fig. 3). In addition, very rare occurrence of *Globigerina umbilicata* is found throughout the core.

Table 1. Location and water depth of the cores.

Core No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Water depth (m)
40-1	35°39' 4"	129°59' 4"	352
40-2	35°39' 0"	129°59' 3"	305
41-2	35°42' 5"	129°51' 4"	782
SL-1	35°45' 3"	129°44' 3"	440

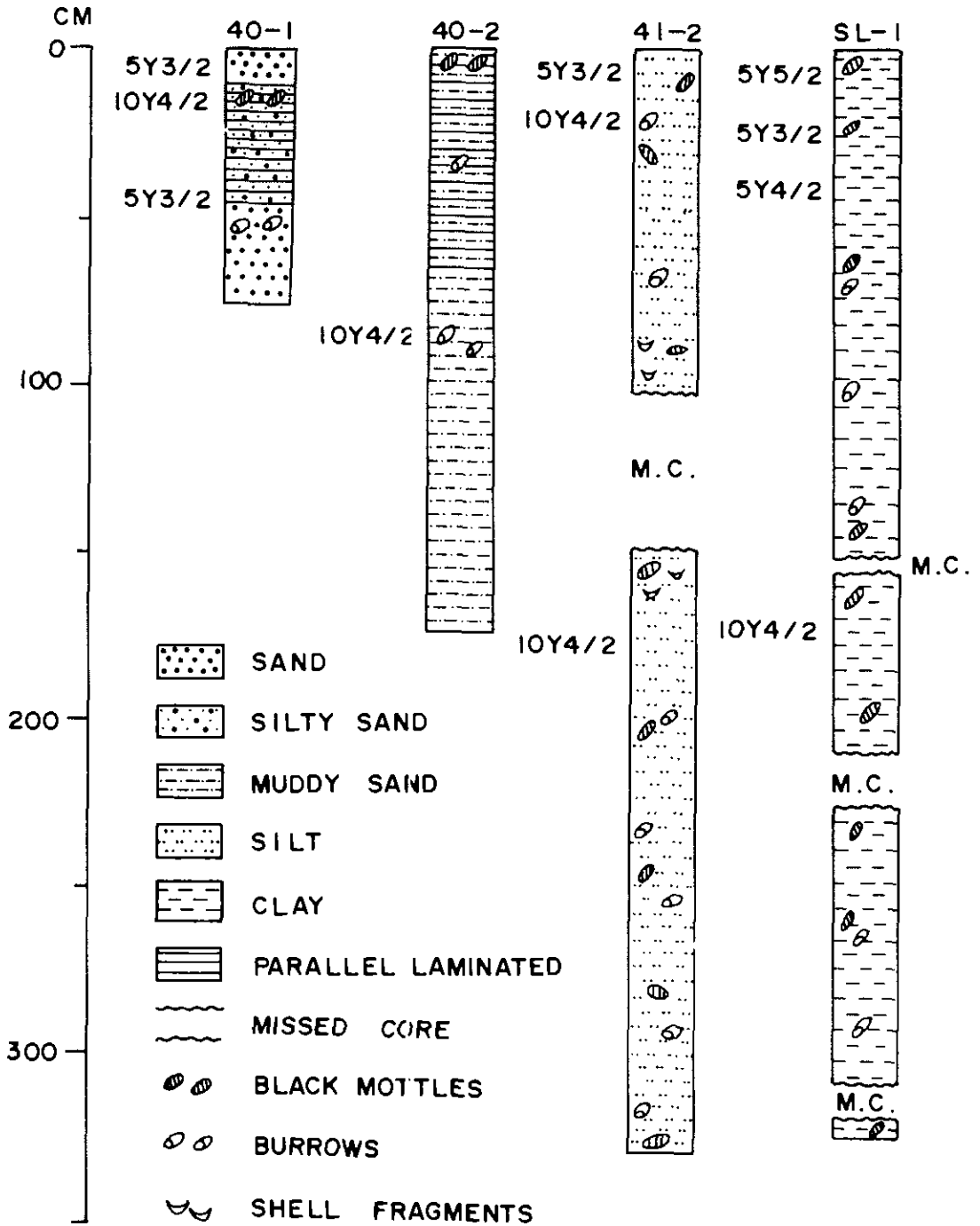


Fig. 2. Core descriptions showing lithologies, structures and colour variations (Modified from Jeong, 1983).

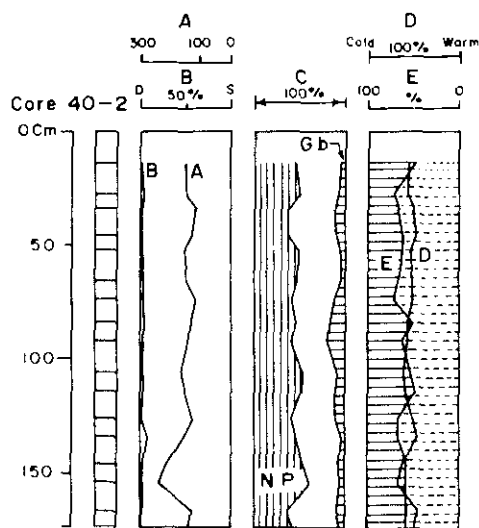


Fig. 3

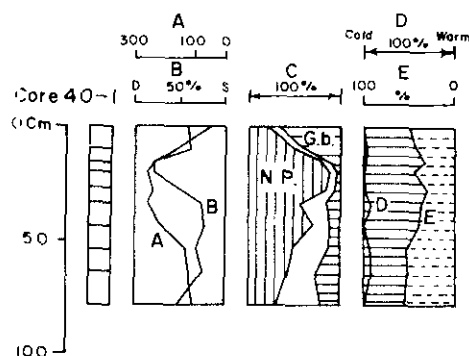


Fig. 4

Fig. 3. Vertical changes of planktonic foraminifera observations throughout the core 40-2;

- A: Specimen number of *Neogloboquadrina pachyderma*.
- B: Coiling ratio of *N. pachyderma*.
- C: Faunal composition showing by three divisions, *N. pachyderma* (N.p.), *G. bulloides* (G.b.) and others.
- D: Ratio of cold water species and warm water species.
- E: "Planktonic ratio".

Fig. 4. Vertical changes of planktonic foraminiferal observations throughout the core 40-1; Refer the explanation of A, B, C, D and E in Fig. 3.

foraminifera belonging to 7 genera and 13 species were identified. In this core, *Neogloboquadrina pachyderma* and *Globigerina bulloides* are dominant species. *N. pachyderma* is the most abundant species throughout the core. This core shows a distinct change of coiling ratio between 28 cm and 32 cm below the top of the core. It is noteworthy that the number of *Globigerina umbilicata* increases with the increase of sinistral coiling form of *N. pachyderma*. The planktonic ratio is between 32% and 55% (Fig. 4).

Core 41-2 (Table 4)

From 21 samples, a total of 23 species of 9 genera were identified. This core has a relatively poor population of planktonic foraminifera, and so, specimens less than 300 per sample were picked out from six samples of this core.

A lot of diatoms and juvenile benthonic foraminifers are accompanied throughout the whole core. The planktonic ratio lies between 17% and 30% after the negligence of very small-sized benthonic foraminifers. It is noted that *N. pachyderma* is predominant among the fauna. The dextral form is about 64% in the assemblage of this species (Fig. 5).

Core SL-1 (Table 5)

Core SL-1 yields very rare planktonic foraminifera among the cores. Only 4 samples contain sufficient planktonic foraminiferal tests, about 300 specimens. On the other hand, very small-sized benthonic foraminifera are abundantly found. From the 22 samples, 25 species of 11

genera of planktonic foraminifera are identified. Planktonic ratio varies from 5% to 17% after the negligence of very small-sized benthic foraminifers (Fig. 6).

The most prolific species is *N. pachyderma*, and the next come *Globigerina bulloides* and *Globigerinita glutinata*. The sinistral *N. pachyderma* is largely associated at three intervals; 50-114 cm, 150-159 cm, and 246-319 cm from the top.

BIOSTRATIGRAPHY

The coiling direction of *N. pachyderma* has been proved to be very useful for biostratigraphi-

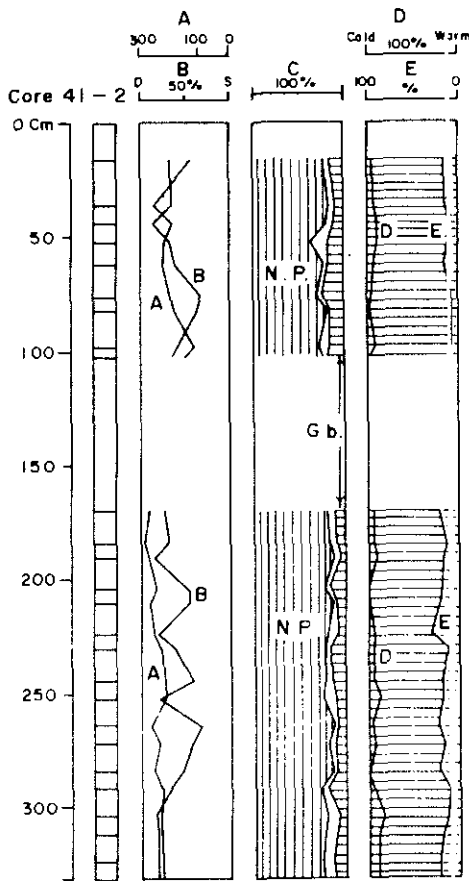


Fig. 5

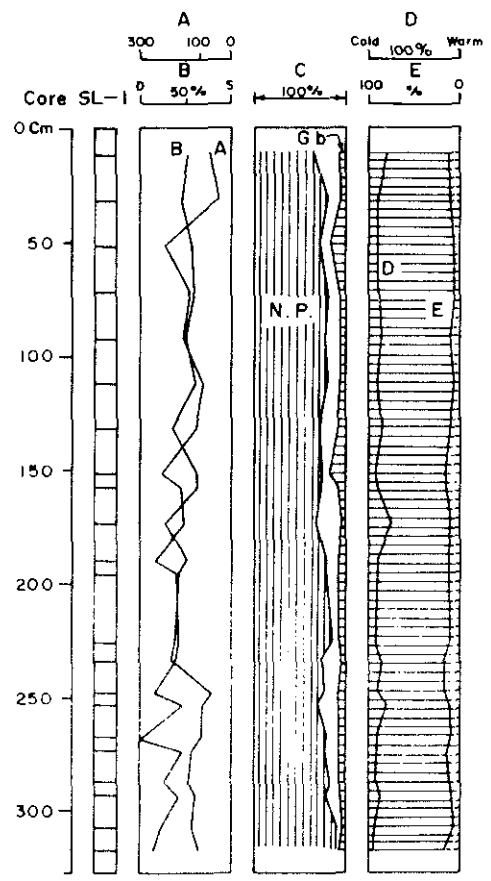


Fig. 6

Fig. 5. Vertical changes of planktonic foraminiferal observations throughout the core 41-2; Refer the explanation of A, B, C, D and E in Fig. 3. E obtained only from the picked foraminiferal assemblages (Actual assemblages contain abundant small-sized benthic foraminifers).

Fig. 6. Vertical changes of planktonic foraminiferal observations throughout the core SL-1; Refer the explanation of A, B, C, D and E in Fig. 3. E obtained only from the picked foraminiferal assemblages (Actual assemblages contain abundant small-sized benthic foraminifers).

Table 2. Occurrence chart of planktonic foraminifers in the core 40-2.

Species	Sampling depth (cm)																
	12-15	25-29	31-36	45-49	51-54	65-68	71-74	83-86	90-93	105-108	111-115	125-128	132-136	144-147	151-156	165-168	171-174
<i>Neogloboquadrina dutertrei</i> (d'Orbigny)	62	41	56	48	38	44	48	42	46	35	41	54	59	49	77	59	39
<i>N. pachyderma</i> (Ehrenberg), dextral	147	143	117	119	148	145	123	133	144	157	153	128	146	207	220	127	138
<i>N. pachyderma</i> (Ehrenberg), sinistral	3	6	2	2	2	4	3	5	3	3	2						3
<i>Globigerina bermudezi</i> Serglie																	
<i>G. bulloides</i> d'Orbigny	16	18	34	29	14	10	34	48	58	23	29	30	13	23	18	37	19
<i>G. pseudofolia</i> Parker									2								
<i>G. quinqueloba</i> Natland			2						1	1							
<i>G. umbilicata</i> Orr & Zaitzeff	1	1	1			2							1	1			
<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger)			3														1
<i>G. minuta</i> (Natland)											1						
<i>G. wuella</i> (Ehrenberg)															1		
<i>Globobulimina crassaformis</i> (Galloway & Wissler)	12	11	15	20	31	25	24	19	26	19	18	27	22	30	22	37	24
<i>G. hirsuta</i> (d'Orbigny)	3	2	3	2	5	4	4	1	1					8	3	6	13
<i>G. menardii</i> (Parker, Jones & Brady)	5	3	6	24	10	9	13	12	7	10	3	15	19	8		5	7
<i>G. puncticulata</i> (Deshayes)					1							1		1	4	1	3
<i>G. tumida</i> (Brady)																	4
<i>G. sp.</i>		1															
<i>Globigerinoides conglobatus</i> (Brady)	7	7	2	7	8	6	7	6	3	7	6	2	9	4	3	7	9
<i>G. elongatus</i> (d'Orbigny)	3	9	5	4	4	15	7	3	7	6	10	7	4	2		5	5
<i>G. ruber</i> (d'Orbigny)	14	22	25	20	13	12	15	24	21	14	14	20	20	15		27	15
<i>G. sacculifer</i> (Brady)	12	7	13	16	8	18	8	13	20	10	14	14	20	13	4	17	19
<i>G. sp.</i>									1								
<i>Globigerinella aequilateralis</i> (Brady)	3	2	2	6	3	3	3		5		1	1	2	1			2
<i>G. sp.</i>																	
<i>Globoquadrina sp.</i>		1							1								
<i>Condeina sp.</i>																	1
<i>Orbulina universa</i> (d'Orbigny)	6	4	5	10	5	5	6	4	5	7	7	3	13	1	3	7	11
<i>Pulleniatina finalis</i> Banner & Blow	2		3	5	3			3	1	2	3		3	3	3		3
<i>P. obliquiloculara</i> (Parker & Jones)	25	22	11	16	14	12	11	5	4	7	3	12	10	13	7	14	12
<i>Globigerina sp.</i>											1						
<i>Tarborotalia humilis</i> (Brady)		1															
Total	321	301	305	338	308	314	306	307	342	304	305	314	351	332	368	355	323
Planktonic ratio (%)	47	72	68	64	64	66	73	53	61	54	49	67	68	58	59	59	59

Table 3. Occurrence chart of planktonic foraminifers in the core 40-1.

Species	Sampling depth (cm)									
	0-2	8-11	15-17	19-22	26-28	32-35	42-45	52-55	62-66	75-79
<i>Neogloboquadrina dutertrei</i> (d'Orbigny)	5	1	4		3	8	1	6	7	6
<i>N. pachyderma</i> (Ehrenberg), dextral	24	66	184	210	139	80	52	48	36	55
<i>N. pachyderma</i> (Ehrenberg), sinistral	31	98	43	50	115	185	148	94	193	50
<i>Globigerina bulloides</i> d'Orbigny	226	141	26	12	18	69	37	44	88	154
<i>G. umbilicata</i> Orr & Zaitzeff	12	17	38	28	25	64	49	101	81	76
<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger)										1
<i>Globobulimina crassaformis</i> (Galloway & Wissler)		1		2		1		1	2	1
<i>G. minuta</i> (d'Orbigny)	1									
<i>Globigerinoides elongatus</i> (d'Orbigny)									2	
<i>G. ruber</i> (d'Orbigny)	2	9	2		2	10		9	6	
<i>G. sacculifer</i> (Brady)		1				2	3		3	
<i>Globigerinella aequilateralis</i> (Brady)					1					
<i>Pulleniatina finalis</i> Banner & Blow						4			4	
<i>P. obliquiloculara</i> (Parker & Jones)	1		5	2				9		
Total	302	334	302	304	303	423	300	306	322	343
Planktonic ratio (%)	50	44	33	46	32	39	40	54	51	55

cal correlations in the Cenozoic marine deposits. For example, Bandy (1960) revealed a distinct change from the sinistral coiling to dextral one at about 11,000 yrs. B.P., and regarded it as an index of the Holocene-Pleistocene boundary from the cores collected in Southern California Continental Borderland.

Ujiie and Ichikura (1973) figured out the Holocene-Pleistocene boundary primarily based upon the remarkable change of coiling direction of *N. pachyderma* from predominantly sinistral coiling in the Pleistocene to dextral one in the Holocene from the cores of the Japan Sea. They also pointed out the extinction level of *G. umbilicata*, which is common from the Pliocene to Pleistocene, and the sudden increase of benthic foraminifera after the Pleistocene (Ichikura and

Table 4. Occurrence chart of planktonic foraminifers in the core 41-2.

Species	Sampling depth (cm)																												
	15-17	21-29	31-36	50-54	61-64	75-78	81-84	97-99	101-103	109-112	122-125	128-132	146-149	168-172	188-192	201-206	209-213	221-225	229-232	243-246	250-253	261-266	270-272	281-286	291-293	301-306	309-312	321-324	328-331
<i>Neoglobobulimina dutertrei</i> (d'Orbigny)	6	12	14	10	9	7	1	9	3	13	7	9	14	24	121	126	215	146	9	14	24	9	18	1	6	13	14	20	17
<i>N. pachyderma</i> (Ehrenberg), dextral	88	168	167	156	143	71	69	66	99	198	199	244	121	126	215	146	98	166	94	109	181	144	159	200	182	190	192		
<i>N. pachyderma</i> (Ehrenberg), sinistral	42	88	29	67	88	152	113	46	56	73	93	34	174	145	42	92	235	60	182	236	219	73	40	56	46	45	1		
<i>N. sp.</i>	1							1																					
<i>Elphidium balluense</i> d'Orbigny	27	34	30	56	50	65	39	30	42	37	26	17	68	36	27	49	47	32	19	33	55	65	12	23	44	38			
<i>E. umbilicata</i> Orr & Zaitzeff																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium glutinatum</i> (Egger)					1																							1	1
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium crassifolium</i> (Galloway & Wissler)		1				1			1						1											6	1		
<i>E. hirsuta</i> (d'Orbigny)																													
<i>E. menardii</i> (Parker, Jones & Brady)		1		1																								2	1
<i>E. puncticulatum</i> (Deshayes)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium conglobatum</i> (Brady)				2	2	2					1	2																	
<i>E. elongatum</i> (d'Orbigny)			2	2	2	1	4	1	1	1	6	4	5																
<i>E. muelleri</i> (d'Orbigny)											1	2	1																
<i>E. sacculifer</i> (Brady)				1							1	2	1																
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)			1									1	1																
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium muelleri</i> (d'Orbigny)																													
<i>Elphidium sacculifer</i> (Brady)																													
<i>E. sp.</i>																													
<i>Elphidium anguiliformis</i> (Brady)																													
<i>Elphidium hantzshii</i> (d'Orbigny)																													

specimens. Judging from these facts, the core 40-2 was deposited in the Holocene.

In core 40-1, the samples, 32-66 cm from the top, show the high ratios of sinistral *N. pachyderma*, about 60% to 80%. *G. umbilicata*, a possible Pleistocene species, is also associated in a relatively high frequency in the samples between 32 cm and 79 cm from the top. But the samples, 15-17 cm and 19-22 cm from the top, show absolutely high ratios of dextral *N. pachyderma* and the relatively low occurrence of *G. umbilicata*.

The core 40-1 shows slumping and parallel structures on X-radiographs (Jeong, 1983). This suggests that the deposition of this core was prompted by the rapid sedimentation processes; probably by submarine slumping. According to Park (1982), the sand deposits with less than 8% of muds are distributed on the outer shelf and adjacent to the shelf break of the Ulleung Basin, and these would probably be the relict sediments deposited in response to a lower stand of sea level during the Pleistocene. Therefore, it is assumed that some of the faunas occurred in the core 40-1, especially sinistral *N. pachyderma* population and *G. umbilicata*, were reworked from the neighboring Pleistocene relict sediments, resulting in the mixture of the Pleistocene and Holocene population. In fact, the close association of sinistral *N. pachyderma* with *G. umbilicata* supports this inference.

Holocene is characterized, as previously-mentioned, by the low occurrence of planktonic foraminifers in the troughs, basin, and rise in the Japan Sea (Ichikura and Ujiie, 1976). Their result is not concordant with the cores 40-2 and 40-1. This difference is due to the location of our cores. They are located in the upper slope to be associated with relatively small benthic foraminifers compared to the deep-sea basins or troughs studied by them, although this phenomenon is deviated from the general increase of planktonic foraminifers with the increase of depth down to the lysocline and Calcite Compensation Depth in the Oceans (Grimsdale and Morkhoven, 1955; Be, 1977).

In cores 41-2 and SL-1, the occurrence of *G. umbilicata* is negligible. In addition, the benthonic foraminifers are more abundant than the planktonic ones. These observations suggest that the cores 41-2 and SL-1 were deposited in the Holocene.

PALEOENVIRONMENTS

The latitudinal occurrence of planktonic foraminifera and coiling ratios of *N. pachyderma* are particularly sensitive indicators of variations in surface temperatures. Ericson (1959) suggested that a switch in coiling from dominantly sinistral to dextral occurs at about 7°C in surface waters of the North Atlantic. According to Smith (1964), the change from dominant sinistral to dextral populations of *N. pachyderma* occurs at about the position of the 11°C summer isotherm in the northern Pacific. The sinistral populations of *N. pachyderma* (90% to 100% sinistral) are mostly within the 6°C - summer isotherm. Kennett (1969) and Be and Tolderlund (1971) suggested that the dominant presence of sinistral population is indicative of water cooler than 10°C, whereas totally dextral coiling populations represent warmer water than 15°C. However, the boundary between these dextral and sinistral group is gradual and the current patterns and boundaries of water masses produce a number of modifications of the faunal boundaries.

Core 40-2

The ratios of subtropic and tropic assemblages to the total assemblages are about 46%. The ecological distribution of selected planktonic foraminifera is shown in Fig. 7. The ratios of the dextral coiling *N. pachyderma* are very high. These observations suggest that the core 40-2 was deposited in the warm environments.

In the south-east coast of Korean Peninsula, the Tsushima Warm Current Water is characterized by high temperature and high salinity, and diverges into two parts. One part, the East Korea Warm Current, flows northwardly along the Korean coast and the other one deflects to the east, passing at 130°E between 35°00'N and 35°50'N (Hidaka, 1966; KORDI, 1982). Accordingly, it is reasonable that the core was highly influenced by the warm waters such as the East Korea Warm Current.

Core 40-1

Core 40-1 is characterized by a very high occurrence of cold water species, about 90% of total planktonic foraminifera assemblages. These cold water species are *N. pachyderma*, *G. bulloides*, and *G. umbilicata*. The coiling ratios of *N. pachyderma* show strong fluctuations. For example, the very high ratios of sinistral form of the *N. pachyderma* in the lower (32-66 cm from the top), decrease in the upper part of the core (15-28 cm from the top) and then increase again in the uppermost part (0-11 cm from the top). These phenomena suggest either an abrupt climatic change or a possibility of the input of reworked fauna by rapid sedimentation. X-radiographs of the core support the latter possibility (Jeong, 1983). It appears that the abrupt climatic change would not happen during the deposition of the core sediments, but the active sedimentation would be more reasonable for the coiling ratios of *N. pachyderma*. The do-

	POLAR	SUBPOLAR	TRANSITIONAL	SUBTROPICAL	TROPICAL	TEMPERATURE		WATER DEPTH	
						in C°		in m	
						Range	optimal	Range	optimal
<i>Neogloboquadrina pachyderma</i> <i>pachyderma</i> , sinistraly coiling	—	—	—	—	—	0-9	?	500-2000	
<i>Globigerinita ovula</i>	—	—	—	—	—	1-21	1-5 11-18		
<i>Globigerina quinqueloba</i>	—	—	—	—	—	1-21	1-5 11-18		
<i>Neogloboquadrina pachyderma</i> <i>pachyderma</i> , dextrally coiling	—	—	—	—	—	10-18		500-2000	
<i>Globigerina bulloides</i>	—	—	—	—	—	0-27	3-19	0-1000	250-1000
<i>Hohorotalia inflata</i>	—	—	—	—	—	1-27	2-6	0-100	
<i>Umbilina vulvosa</i>	—	—	—	—	—	10-30	13-29	0-100	
<i>Globigerinita glutinata</i>	—	—	—	—	—	10-30	12-17 17-23	0-750	
<i>Globorotalia crassaformis</i>	—	—	—	—	—	16-27		0-1500	100
<i>Neogloboquadrina duterrei</i>	—	—	—	—	—	9-30	16-24	0-750	250
<i>Globigerinitides conglobatus</i>	—	—	—	—	—	15-30	21-29	0-250	
<i>Hohorotalia sunariti</i> - group	—	—	—	—	—	16-30	20-25	0-1000	500-1000
<i>Globigerinitella siphonifera</i>	—	—	—	—	—	12-30	19-28	0-750	0-250
<i>Pulionella diliquilocalis</i>	—	—	—	—	—	19-30	22-24		
<i>Globigerinoides ruber</i>	—	—	—	—	—	14-30	21-29	0-700	0-100
<i>Globigerinitides succulifer</i>	—	—	—	—	—	15-30	24-30	0-1000	50-100
<i>Globorotalia tumida</i>	—	—	—	—	—	19-31	29-31		

Fig. 7. Ecological distribution of selected planktonic foraminifera after Be (1967, 1969), Be and Tolderlund (1971), and Bol'ovskoy (1969).

minance of cold water species indicates a strong influence of the cold waters.

The high and stable occurrence of the dextral population of *N. pachyderma* in the core 40-2 compared to the adjacent core 40-1 is seemed to be due to the location of the cores. For instance, the core 40-2 is located in the area relatively stable compared to the core 40-1.

Core 41-2 and Core SL-1

Core 41-2 and core SL-1 have a similar faunal composition. The ratios of cold water fauna vary from 74% to 99% in the core 41-2, and 74% to 95% in the core SL-1. The coiling ratios of *N. pachyderma* show some variations. Seven samples in the core 41-2 and 14 samples in the core SL-1 show more than 50% of sinistral coiling *N. pachyderma*. The sporadic occurrence of high ratios of sinistral *N. pachyderma* is assumed by the influence of cold water mass, probably the North Korea Cold Current. According to An (1974), the cold water mass flows down along the 100m contour line to Youngil Bay and to Ulsan in summer. The water depth of the core 41-2 and SL-1 are deeper than the other cores and the locations of these two cores are nearer to the coast. In addition, the two cores consist largely of mud and silt. Therefore, it is assumed that these two cores were largely affected by the North Korea Cold Current, and the change of strength of the Current seems to have influenced the coiling ratios of *N. pachyderma* and the occurrence of the cold water fauna.

And also, this phenomenon can be explained on the viewpoint of upwelling. In fact, Kim and Han (1972) showed the co-occurrence of cold-water and warm-water species off the southeastern coast of the Korean Peninsula, southwest of the study cores, due to the upwelling. A similar phenomenon might be also possible in the study area during the time-interval of the deposition of these cores, even if this study area is somewhat far from the present upwelling zone. As previously-mentioned, in the cores 41-2 and SL-1, there are abundant diatoms and juvenile benthic foraminifers. This may suggest high productivity related to upwelling in these 2 cores. In fact, these 2 cores are located near the coast where upwelling is generally dominant in the East Sea (Lee, 1978; Lee, 1983; Seung, 1984).

DESCRIPTION

Order FORAMINIFERIDA

Family GLOBIGERINIDAE

Genus *Globigerina* d'Orbigny, 1826

Globigerina bulloides d'Orbigny, 1826

Plate 1, fig. 1

1962 *Globigerina bulloides* d'Orbigny: Parker, p. 221, pl. 1, figs. 1-8.

1981 *Globigerina bulloides* d'Orbigny: Saito, Thompson, and Breger, p. 40, pl. 7, figs. 1a-c.

Test size variable, low to medium-height trochospire, highly lobulated, rarely 3, and commonly 4-5 globular chambers in the final whorl, about 8-10 chambers arranged in 2-2 1/2 whorls, chambers slowly enlarging, chamber shape spherical to slightly ovoid, chambers well separated with deep sutures. Aperture umbilical, interiomarginal, a high, symmetrical arch occasionally with a thin rim-like lip.

Remarks: The wall is perforate, each pore being set at the base of a conical pit. This species can be distinguished from *Globigerina falconensis* by its lack of the prominent lip.

Occurrence: Core 40-1, 40-2, 41-2 and SL-1; common and abundant.



***Globigerina umbilicata* Orr et Zaitzeff, 1971**

Plate 1, fig. 3

1971 *Globigerina umbilicata* Orr et Zaitzeff: p. 17-19, pl. 1, figs. 1-3.1981 *Globigerina umbilicata* Orr et Zaitzeff: Saito, Thompson, and Breger, p. 37, pl. 6, figs. 1, 2a-b.

Test low trochospiral, 5-6 chambers in the final whorl of adult specimens, about 10-12 chambers arranged in about 2 1/2 whorls. Chambers spherical to ovate, increasing slowly in size, sutures distinct. Aperture umbilical to interior marginal, a large and open arch with a thin lip.

Remarks: *G. umbilicata* differs from *G. bulloides* by its less inflated chambers in the final whorl and chamber numbers. *G. umbilicata* usually has five to six chambers in the final whorl of adult specimen and *G. bulloides* has four in the adult.

Occurrence: Core 40-1; common, core 40-2, 41-2, and SL-1; rare.

Explanation of Plate 1(bar = 100 μ m)

- Fig. 1. *Globigerina bulloides* d'Orbigny
Umbilical view (PLKU-F-1). Core 40-2, 65-68cm.
- Fig. 2. *Globigerina rubescens* Hofker
Umbilical view (PLKU-F-2). Core SL-1, 293-296cm.
- Fig. 3. *Globigerina umbilicata* Orr et Zaitzeff
Umbilical view (PLKU-F-3). Core 40-1, 26-28cm.
- Fig. 4. *Globigerinella aequilateralis* (Brady)
Umbilical view (PLKU-F-4). Core 40-2, 71-74cm.
- Fig. 5. *Globigerinella* sp.
Umbilical view (PLKU-F-5). Core 40-2, 90-93cm.
- Fig. 6. *Globigerinoides conglobatus* (Brady)
Umbilical view (PLKU-F-6). Core 40-2, 144-147cm.
- Fig. 7. *Globigerinoides elongatus* (d'Orbigny)
Umbilical view (PLKU-F-7). Core 40-2, 90-93cm.
- Fig. 8. *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny)
Umbilical view (PLKU-F-8). Core 40-2, 171-174cm.
- Fig. 9. *Globigerinoides sacculifer* (Brady)
Umbilical view (PLKU-F-9). Core 40-2, 83-86cm.
- Fig. 10. *Globigerinoides* sp.
Umbilical view (PLKU-F-10). Core 40-2, 71-174cm.
- Fig. 11. *Orbulina universa* (d'Orbigny)
Umbilical view (PLKU-F-11). Core 40-2, 71-174cm.
- Fig. 12. *Globigerinita glutinata* (Egger)
Umbilical view (PLKU-F-12). Core SL-1, 246-249cm.
- Fig. 13. *Globigerinita minuta* (Natland)
Umbilical view (PLKU-F-13). Core SL-1, 90-93cm.
- Fig. 14. *Globigerinita* sp.
Spiral view (PLKU-F-14). Core 40-2, 171-174cm.

Genus *Globigerinoides* Cushman, 1927*Globigerinoides ruber* (d'Orbigny), 1839

Plate 1, fig. 8

1962 *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny): Parker, p. 230, pl. 3, figs. 11-14; pl. 4, figs. 1-10.1981 *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny): Saito, Thompson, and Breger, p. 59, pl. 15, figs. 1a-c.

Test small to large in size, low trochospiral coil, 3 globular chambers in the final whorl, about 10-13 chambers arranged in about 2 whorls. Chambers spherical, inflated, increasing rapidly in size. Primary aperture interiomarginal, umbilical. Secondary aperture on spiral side at intersection of spiral and intercameral sutures.

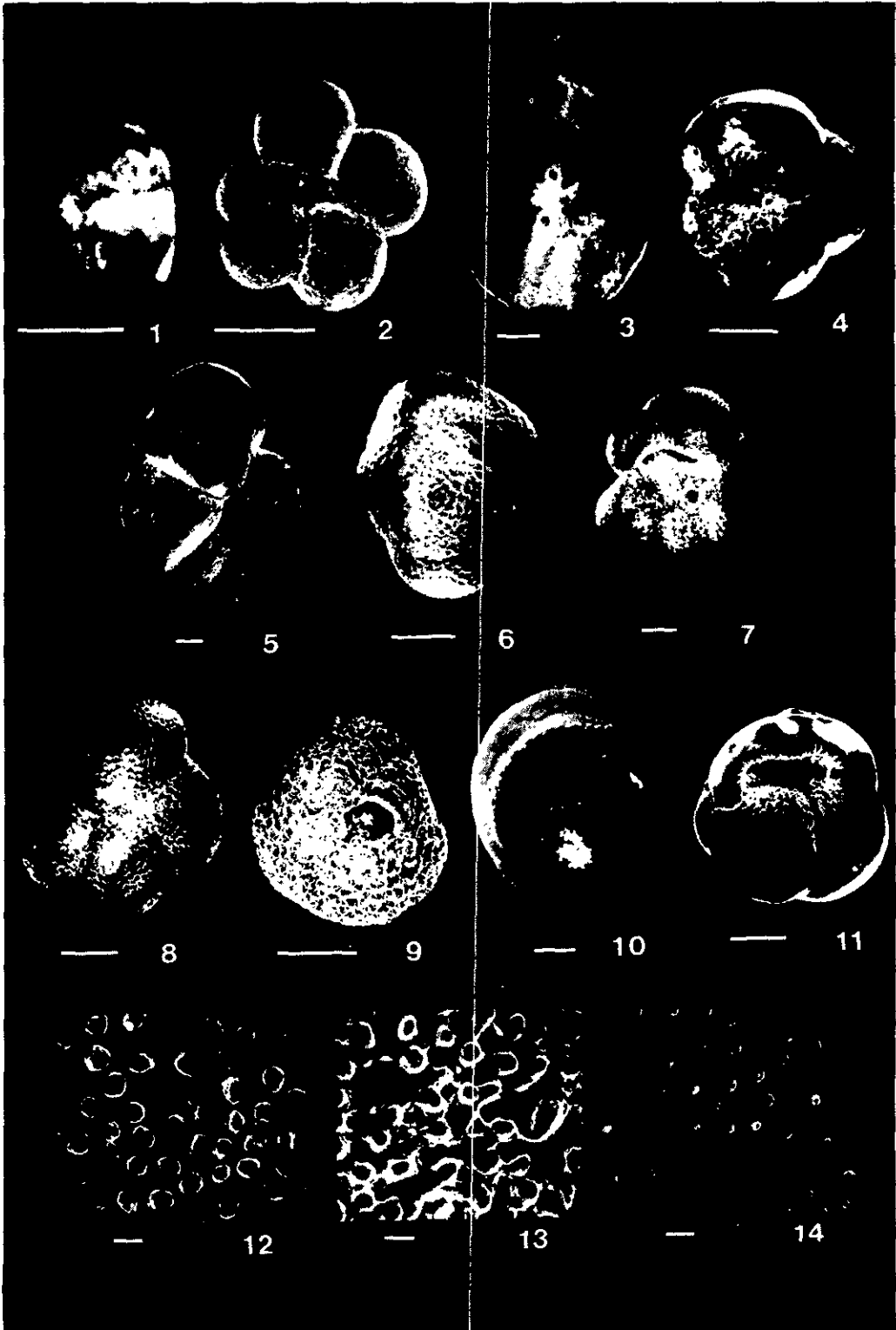
Remarks: Two varieties, pink and white, are noted in deep sea sediments. The pink-shelled variety is absent in surface sediments of the Indo-Pacific area, although it is found in Late Pleistocene core sediments.

Explanation of Plate 2

(bar = 100 μ m)

- Fig. 1. *Candeina nitida* d'Orbigny
Umbilical view (PLKU-F-15). Core SL-1, 273-276 cm.
- Fig. 2. *Globoquadrina hexagona* (Natland)
Umbilical view (PLKU-F-16). Core SL-1, 246-249 cm.
- Fig. 3. *Globorotalia hirsuta* (d'Orbigny)
Umbilical view (PLKU-F-17). Core 40-2, 171-174 cm.
- Fig. 4. *Globorotalia inflata* (d'Orbigny)
Umbilical view (PLKU-F-18). Core SL-1, 10-14 cm.
- Fig. 5. *Globorotalia menardii* (Parker, Jones et Brady)
Umbilical view (PLKU-F-19). Core 40-2, 71-74 cm.
- Fig. 6. *Globorotalia* sp.
side view (PLKU-F-20). Core 40-2, 25-29 cm.
- Fig. 7. *Neogloboquadrina durrantii* (d'Orbigny)
Umbilical view (PLKU-F-21). Core 40-2, 71-74 cm.
- Fig. 8. *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg), (dextral)
Umbilical view (PLKU-F-22). Core 41-2, 81-84 cm.
- Fig. 9. *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg), (sinistral)
Umbilical view (PLKU-F-23). Core 41-2, 75-78 cm.
- Fig. 10. *Pulleniatina finalis* Banner et Blow
Umbilical view (PLKU-F-24). Core 40-2, 45-48 cm.
- Fig. 11. *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker et Jones)
Umbilical view (PLKU-F-25). Core 40-2, 90-93 cm.
- Fig. 12. *Globigerinella aequilateralis* (Brady)
Surface texture (bar = 10 μ m, PLKU-F-4). Core 40-2, 71-74 cm.
- Fig. 13. *Orbulina universa* (d'Orbigny)
Surface texture (bar = 10 μ m, PLKU-F-11). Core 40-2, 171-174 cm.
- Fig. 14. *Globorotalia menardii* (Parker, Jones et Brady)
Surface texture (bar = 10 μ m, PLKU-F-19). Core 40-2, 71-74 cm.

PLATE 2



Occurrence: Core 40-2; common, core 40-1, 41-2 and SL-1; rare.

Family GLOBOROTALIIDAE

Genus *Neogloboquadrina* Bandy, Frerichs et Vincent, 1967

***Neogloboquadrina dutertrei* (d'Orbigny), 1839**

Plate 2, Fig. 7

1962 *Globoquadrina dutertrei* (d'Orbigny): Parker, p. 242, pl. 7, figs. 1-5.

1981 *Neogloboquadrina dutertrei* (d'Orbigny): Saito, Thompson, and Breger, p. 111, pl. 36, figs. 1a-c.

Test medium to large, a medium-height trochospire, 5-7 globular chambers in the final whorl, about 12-15 chambers arranged in about 3 whorls. Chambers subspherical to slightly flattened radially, increasing slowly in size as added, sutures distinct. Aperture umbilical, interiomarginal, a wide and deep opening with an umbilical tooth.

Remarks: This species shows a good deal of variation and these assemblages can be separated morphologically and phylogenetically.

Occurrence: Core 40-2 and 41-2; common, core 40-1 and SL-1; rare.

***Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg), 1861**

Plate 2, figs. 8-9

1962 *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg): Parker, p. 224-225, pl. 1, figs. 26-35; pl. 2, figs. 1-6.

1981 *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg); Saito, Thompson, and Breger, p. 106, pl. 34, figs. 1a-c.

Test small to medium in size, 4-5 globular chambers in about 2-3 trochospiral whorls, size increasing moderately as added, sutures distinct, final chamber slightly overhanging the umbilicus toward the ventral side. Aperture umbilical, interiomarginal but extending nearly to the periphery, a low arch with a thin projecting rim. Left coiling form builds a more thickened test wall.

Remarks: According to Srinivasan and Kennett (1975), this species builds a relatively unthickened, pitted microcrystalline surface (termed "reticulate forms") in warm water masses and a more thickened crystalline surface covered by distinct euhedral calcite rhombs (termed "crystalline forms") in cool water masses.

Occurrence: Core 40-1, 40-2, 41-2 and SL-1 abundant.

Genus *Pulleniatina* Cushman, 1927

***Pulleniatina obliquiloculata* (Parker et Jones), 1865**

Plate 2, fig. 11

1962 *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker et Jones): Parker, p. 234, pl. 4, figs. 13-16.

1981 *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker et Jones): Saito, Thompson and Breger, p. 98, pl. 31, figs. 1a-b, 2.

Test size variable, initially a low trochospire soon becoming a streptospire, 4 globular chambers in the final whorl. Chambers spherical becoming radially flattened, much embracing, sutures weak. Aperture a very low, ventrally interiomarginal arch, with no apparent lip.

Occurrence: Core 40-2; common, core 40-1, 41-2 and SL-1; rare.

CONCLUSIONS

Based on the coiling ratios of *N. pachyderma*, the absence of *G. umbilicata*, and the dominance of benthic foraminifers, the geologic age of the cores 40-2, 41-2, and SL-1 is Holocene. In addition, it is suggested that the core 40-1 was also deposited in the Holocene. The presence of sinistral *N. pachyderma* and *G. umbilicata* seemed to be due to the mixture of neighboring Pleistocene sediments.

Core 40-1, 41-2, and SL-1 dominated by cold water fauna were mainly influenced by the North Korea Cold Current, whereas core 40-2, dominated by warm water fauna, was deposited under the strong influence of the East Korea Warm Current. It is inferred that the cores 41-2 and SL-1 had been influenced by upwelling.

ACKNOWLEDGEMENTS

The writers are grateful to Professor S. K. Chough, Department of Oceanography, Seoul National University, for providing the core samples. Thanks are extended to Dr. B. K. Kim of the Department of Geological Sciences, Seoul National University, for his valuable constructive criticisms. The scanning electron micrographs were obtained with help of Y. K. Lee, Dept. of Metal Engineering, and E. H. Lee, Dept. of Geology, Korea University. Thanks are due to S. J. Kwon of Korea Ocean Research and Development Institute for drafting all figures.

울릉분지의 남서사면에서 채출된 부유성유공충에 대한 미고생물학적 연구

정해경* · 장순근** · 백광호*

*고려대학교 지질학과 · **해양연구소 해양지질실

요 약

이 연구는 동해의 울릉분지 남서대륙사면에서 채취된 4개의 시추심에 대한 미고생물학적 연구이다. 모두 75개의 시료 중 부유성유공충(Planktonic foraminifera) 12속 35종이 감별되었으며, 가장 우세한 종은 *Neogloboquadrina pachyderma* 이고, 이외에 *Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina dutertrei*도 비교적 풍부하게 수반된다.

*N. pachyderma*의 권각방향, *Globigerina umbilicata*가 거의 없다는 사실, 저서유공충의 산상등을 고려할 때 연구된 시추심들은 홀로세 동안 퇴적되었다. 시추심 40-1은 주변 Pleistocene 시대에 퇴적된 물질이 섞인 것으로 판단된다. 시추심 40-2는 동한난류의 영향을 받은 것으로 보이며, 시추심 40-1, 41-2, 그리고 SL-1은 북한 한류의 영향을 받은 환경에서 퇴적된 것으로 보인다. 또한 연안에 가까운 두 시추심, 41-2와 SL-1은 용승환경의 영향이 있었던 것으로 생각된다.

REFERENCES

- An, H.S., 1974, On the cold water mass around the south-east coast of Korean peninsula. *J. Oceano. Soc. Korea*, v. 9, p. 10-18.
- Bandy, O.L., 1960, Planktonic foraminiferal criteria for paleoclimatic zonation. *Tohoku University, Science Reports, ser. 2 (Geol.), special publication*, v. 4, p. 1-8.
- Bandy, O.L., Frerichs, W., and Vincent, E., 1967, Origin, development, and geological significance of *Neogloboquadrina* Bandy, Frerichs, and Vincent, gen. nov. *Cushman Found. Foram. Res., Contribution*, v. 18, p.152-157.
- Be, A.W.H., 1967, Foraminifera, Families Globigerinidae and Globobuliminae Fiche no. 108. In: Fraser, J.H. (editor), Fiches d'Identification du Zooplancton. Conseil International pour l'exploration de la mer, Charlottenlund, Denmark.
- Be, A.W.H., 1969, Planktonic foraminifera. In *Folio II: Distribution of selected groups of marine invertebrates in waters south of 35°S latitude. Antarctic map Folio series*, Geol. Soc. Amer., p. 9-12.
- Be, A.W.H., 1977, An ecological, zoogeographic and taxonomic review of Recent planktonic foraminifera. In: Ramsay, A.T. (editor), *Oceanic Micropaleontology*. Academic Press, v. 2, p. 1-100.
- Be A.W.H., and Tolderlund, D.S., 1971, Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans. In: Funnell, B.M. and Riedel, W.R. (editors), *The micropaleontology of oceans*. Cambridge University Press, p. 105-145.
- Bermudez, P.J., 1961, Contribucion al estudio de las Globigerinidea de la region Caribe-Antillana (Paleoceno-Reciente). *Dir. Geol. Bol. Geol., Publ. Espec. 3* (Congr. Geol. Venezolano, III, 1960, Mem.), v. 3, p. 1 19-1393.
- Boltovskoy, E., 1969, Foraminifera as hydrological indicators. In: Bronnimann, P., and Renz, H.H. (editors), *Proc. I. Plankt. Conf.*, v. 2, p.1-14, E.J. Brill, Leiden.
- Cushman, J.A., 1927, An outline of a re-classification of the foraminifera. *Cushman Lab. Foram. Res., Contr.*, v. 3, p. 1-105.
- Ehrenberg, C.G., 1861, Elemente des tiefen Meeresgrundes in Mexikanischen Golfstrome bei Florida; Uber die Tiefgrund-Verhältnisse des Oceans am Eingange der Davisstrasse und bei Island. *K. Preuss. Akad. Wiss. Berlin, Monatsber.*, Berlin, p. 222-315.
- Ericson, D.B., 1959, Coiling direction of *Globigerina pachyderma* as a climatic index. *Science*, v. 130, no. 3369, p. 219-220.
- Grimsdale, T. and Morkhoven, F., 1955, The ratio between pelagic and benthonic foraminifera as a means of estimating depth of deposition of sedimentary rocks. *World Petrology Congress, Proceedings, Section I/D, Report 4*, p. 473-491.
- Hidaka, K., 1966, Japan Sea. In: Fairbridge, R.W. (editor), *The Encyclopedia of Oceanography*, *Encyclopedia of Earth Science Series*, v. 1, N.Y., Van Nostrand Reinhold, p.417-424.
- Ichikura, M., and Ujiie, H., 1976, Lithology and planktonic foraminifera of the Sea of Japan piston cores. *Bull. Natn. Sci. Mus., Ser. (Geol.)*, v. 2, no. 4, p. 151-182.
- Ingle, J.C., Jr., 1975, Summary of late Paleogene- Neogene insular stratigraphy, paleobathymetry, and correlations, Philippine Sea and Sea of Japan region. *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*. v. 31, p. 837-855.

- Inoue, Y., 1980, Stratigraphic and paleoenvironmental considerations of Holocene to upper Pleistocene foraminifera in Nishi-Tsugaru Basin, *Sea Prof. S. Kanno Mem. Tsukuba University*, p. 241-261.
- Jeong, K.S., 1983, Acoustically identified mass flow deposits in the Ulleung Back-Arc Basin, East Sea. Master thesis, Seoul National University, 123p.
- Kennett, J.P., 1969, Distribution of planktonic foraminifera in surface sediments southeast of New Zealand. *Proc. 1. Plankt. Conf.*, v. 2, p. 307-322.
- Kim, C.S., 1976, Petroleum Potential of Korean offshore. *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Memoir*, v. 25, p. 261-267.
- Kim, B.K., and Han, J.H., 1972, Foraminifera in the bottom sediments off the southeast coast of Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 7, no. 1, p. 11-36.
- KORDI, 1982, Water circulation of the East Sea and its applicability to industry. Korea Ocean Research and Institute Technical Report, BSPE00042-62-1, Seoul, Korea, 145p., (in Korean with English abstracts).
- Lee, J.C., 1983, Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. *J. Oceano. Soc. Korea*, v. 18, no. 2, p. 149-160.
- Lee, K.B., 1978, Study on the coastal cold water near Ulsan. *J. Oceano. Soc. Korea*, v. 13, no. 2, p. 5-10.
- Matoba, Y., 1984, Paleoenvironment of the Sea of Japan. In: Oertli, H.J. (editor), *Benthos '83; 2nd International Symposium on Benthic foraminifera* (Pau, April 1983), Elf Aquitaine, Esso REP and Total CFP, Pau and Bordeaux, 1984, p. 409-414.
- Oba, T., 1983, Paleoenvironment of the Sea of Japan since the last glacial epoch. *The Earth, Man.*, v. 5, p.38-46.
- Orbigny, A.D., d', 1826, Tableau methodique de la classe des Cephalopodes. *Ann. Sci. Nat., Paris, ser. 1*, v. 7, p.96-314.
- Orbigny, A.D., d', 1839, Voyage dans l'Amerique Meridionale-Foraminiferes. Paris: Pitois-Leurault et C^e; Strasbourg, V. Lebrault, v. 5, p.1-85.
- Orr, W.N., and Zaitzeff, J.B., 1971, A new planktonic foraminiferal species from the California Pliocene. *J. Foram. Res.* v. 1, no. 1, p. 17-19.
- Park, Y.A., 1982, The nature of late Quaternary sedimentation on the continental shelf off the south-east coasts of Korea. Research Institute for Basic Science, Seoul National University, p. 86-102.
- Parker, F.L., 1962, Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. *Micropaleontology*, v. 8, no. 2, p. 219-254.
- Parker, W.K., and Jones, T.R., 1865, On some foraminifera from the North Atlantic and Arctic Oceans, including Davis Straits and Baffin's Bay. *Roy. Soc. London, Philos. Trans., London*, v. 155, p. 325-441.
- Saito, T., Thompson, P.R., and Breger, D., 1981, Systematic index of Recent and Pleistocene planktonic foraminifera. University of Tokyo Press, 190p.
- Seung, Y.H., 1984, A numerical experiments of the effect of coastline geometry on the upwelling along the east coast of Korea. *J. Oceano. Soc. Korea*, v. 19, no. 1, p. 24-30.
- Smith, A.B., 1964, Living planktonic foraminifera collected along an east-west traverse in the

North Pacific. *Contr. Cushman Found. Foram. Res.*, v. 15, p. 131-134.

Srinivasan, M.S., and Kennett, J.P., 1975, Paleooceanographically controlled ultrastructural variation in *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) at DSDP Site 284, South Pacific. In: Andrews, J.E., Packham, G. et al. (editors), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. v. 30, p. 709-721.

Ujiie, H., and Ichikura, M., 1973, Holocene to uppermost Pleistocene planktonic foraminifers in a piston core from off San'in District, Sea of Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, n. Ser., no. 91, p. 137-150.

Manuscript received March 29, 1985

Some Phyllodocid Polychaetes from Kwangyang Bay, Korea

Lee, Jae-Hac and Jae, Jong-Geel

(Korea Ocean Research and Development Institute, KAIST
P.O. Box 17, Yeong Dong, Seoul, 135 Republic of Korea)

광양만의 부채발갯지렁이류

이 재 학 · 제 종 길
(한국과학기술원 해양연구소 생물연구실)

요 약

1983년 2월부터 1985년 4월까지 광양만에서 채취된 갯지렁이류중 연성저질에 서식하는 부채발갯지렁이류를 조사한 결과 1 신종, *Anatides koreana*, n. sp.와 1 미기록종 *A. chinensis*를 포함하여 모두 4종의 부채발갯지렁이를 얻었기에 보고한다.

이들 중 미기록된 종의 우리말 이름은 각각 한국부채발갯지렁이(*A. chinensis*)와 중국부채발갯지렁이 *A. chinensis*로 명명 기재한다.

Key words: Phyllodocid Polychaetes, Kwangyang.

INTRODUCTION

The phyllodocids are widely distributed in the habitat and mainly associated with hard substrates. The family Phyllodocidae is one of the largest group of Polychaeta which is comprising more than 30 genera and 290 species. Bergström(1914) published a monograph on the Phyllodocidae with a much detailed classification of genera which is not correct in all respects. There are a lot of studies compiled by Berkeley and Berkeley(1948), Hartman(1968), Imajima and Hartman(1964) and Uschakov(1972) etc. in the North Pacific coasts.

The main diagnostic characters are the formation of papillae on the proboscis, the shapes of the parapodial lobe and their cirri, and body coloration. The form of tentacular cirri of first anterior segments should be used to as important identificatory character. It would be simplified to a tentacular formula as following: $(1 + O_1^1) + S_N^1$. Symbols; 1: present a elongate tentacular cirrus, S or O: setae present or absent, N: present a normal cirrus, (): fused segments.

Phyllodocids reported from Korean coasts have been also concerned mainly with the hard

substrates of intertidal zone. These taxonomical studies have been performed by Paik(1975, 1976, 1978, 1979, 1982 & 1984) and Rho and Song(1975) and by these studies 7 species(*Mysta ornata*, *Nipponophyllum japonicum*, *Eulalia viridis*, *Eulalia bilineata*, *Anaitides maculata*, *Genetyllis castania*, *Eumida sanguinea*) are known. On the soft substrates of sublittoral zone, only one phyllocid polychaete, *Eteone longa*, is reported by Lee(1976).

In this paper, four species of the phyllocids occurring on the soft substrates of the sublittoral zone of Kwangyang Bay in the southern coast of Korea are presented.

The specimens were based on collections obtained every two months periodically from Feb. 1983 to Apr. 1985 using the van-Veen grab. All of samples were narcotized with a solution of 7% MgCl₂ in sea water and in about half an hour fixed with 10% neutral formalin.

The type specimen and most of the remaining collections have been deposited in Biological Oceanography Laboratory in KORDI, Seoul.

DESCRIPTION OF PHYLLODOCIDS SPECIES

Anaitides koreana, n. sp. 한국부채발갯지렁이(신칭) (fig. 1)

Collection : Accounted only rather complete and clear 26 specimens of 284 individuals collected (Table 1).

Description: Body slender and relatively long. Complete specimen with 166 segments 44mm long and 2.0mm wide excluding setae at widest segment. Coloration of body preserved in formalin lightish yellow with three longitudinal dark(almost black) pigments on the dorsal side and a dark narrow longitudinal stripe on the ventral side. Mature specimens reddish excepting anterior some segments. Reddish region of the body with numerous eggs within their parapodia(paratype specimens of No. 4,5 and 26 in April). Eggs round, 64-93 μm in diameter.

Prostomium heart-shaped, longer than wide. Two pairs of antennae inserted at convexed frontal margin of the prostomium, short and subequal. Two eyes on the posterior third of prostomium large and purple. A nuchal papilla present in the posterior incision of the prostomial lobes.

Basal part of eversible proboscis expanded like ballon; with 6 longitudinal rows of papillae on each lateral side, 15-17 papillae in each row and median row absent. Middle part with dark pigment and wrinkled. Distal cirlet with 17 large marginal papillae(Fig. 1, A).

Four pairs of tentacular cirri cylindrical and tapered at the end. Longest tentacular dorsal cirri on 3rd segment reaching 14th segment. On 2nd and 3rd segment setae absent and on 3rd segment normal cirrus present. First two segment fused. Tentacular formula of anterior segments: $(1 : O_1^1) : O_N^1$.

Parapodia uniramous. Parapodial lobe bilobed by aciculum; upper lip somewhat larger than lower one. Dorsal cirri nearly symmetrical, as long as wide and heart shaped with the

Table 1. Material of *Anaitides kcreana*, n. sp.

No.	Collecting date	Width	Length	No. of segments	Remarks
1	Feb. 27, 1985	2.0mm	44.0mm	166	CS
2	Feb. 24, 1983	1.6	8.9	40	AF
3	Apr. 16, 1983	1.8	38.8	142	AF
4	Apr. 16, 1983	1.9	39.2	159	CS+
5	Apr. 16, 1983	2.3	33.0	148	CS+
6	Jul. 26, 1983	2.1	25.7	117	AF
7	Dec. 23, 1983	1.8	20.1	85	CS
8	Feb. 21, 1984	1.9	26.5	84	AF
9	Feb. 21, 1984	1.8	26.3	91	AF
10	Feb. 21, 1984	1.9	59.2	127	AF
11	Feb. 21, 1984	1.8	39.5	106	AF
12	Feb. 21, 1984	2.0	44.3	129	AF
13	Jun. 14, 1984	1.9	35.0	78	AF
14	Oct. 31, 1984	1.6	36.1	114	AF
15	Dec. 18, 1984	1.9	13.3	56	AF
16	Dec. 18, 1984	1.9	19.1	73	AF
17	Dec. 18, 1984	2.0	29.6	100	AF
18	Feb. 27, 1985	2.0	26.6	97	AF
19	Feb. 27, 1985	1.9	25.4	81	AF
20	Feb. 27, 1985	1.7	24.3	76	AF
21	Feb. 27, 1985	2.1	36.6	112	AF
22	Feb. 27, 1985	1.9	52.0	159	AF
23	Feb. 27, 1985	2.0	86.0	207	AF
24	Apr. 3, 1985	2.4	7.2	30	AF
25	Apr. 3, 1985	2.0	7.9	36	AF
26	Apr. 3, 1985	2.2	18.6	75	AF+

CS: complete specimen, AF: anterior fragment, -: nature specimen. Holotype: No. 1, Paratypes: No. 2-No. 26.

round tip but toward posterior region of body gradually smaller, slenderer and asymmetrical (Fig. 1, D, E & F). Ventral cirri somewhat broad and pointed at the tip; about 1.5 times as long as parapodial lobe and tapered toward the posterior end of body. Parapodia and its cirri of mature specimens somewhat thicker than immature specimen's (Fig. 1, B & E).

Setae composite, spinigerous and minutely serrated at one margin (Fig. 1, C).

A pair of anal cirri very long, more than 6 times longer than wide (Fig. 1, G).

Additional material examined: Feb. 1983 (11 inds.), Apr. 1983 (31 inds.), Jun. 1983 (1 ind.),

Aug. 1983 (3 inds.), Dec. 1983 (12 inds.), Feb. 1984 (73 inds.), Apr. 1984 (20 inds.) Jun. 1983 (5 inds.), Jul. 1984 (2 inds.), Oct. 1981 (1 ind.), Dec. 1984 (13 inds.), Feb. 1985 (53 inds.), Apr. 1985 (33 inds.).

Remark: Present specimens somewhat resemble to some other species of genus *Anaitides*. The present specimens nearly agree with *Anaitides groenlandica* and *A. mucosa* in the

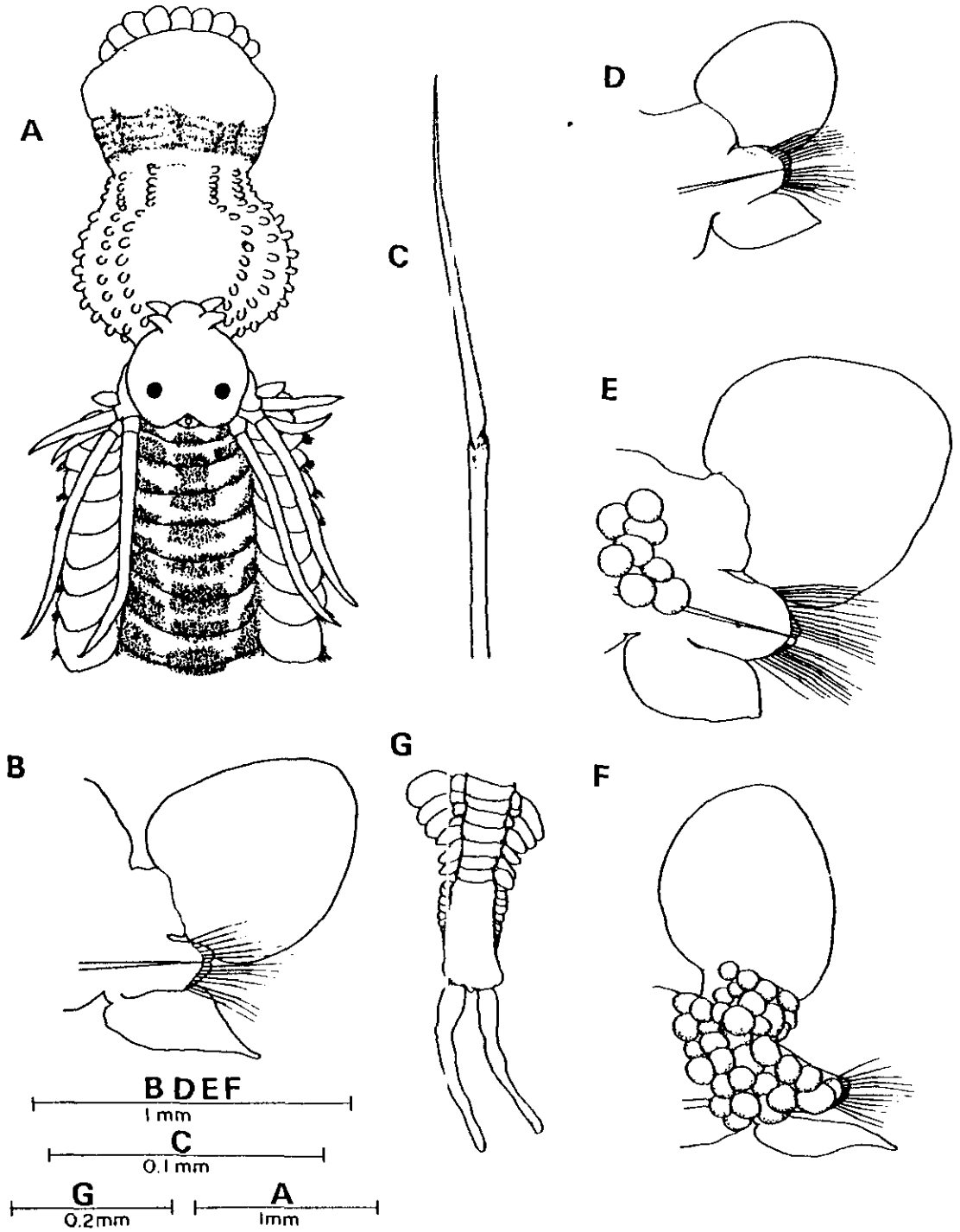







Fig. 1. *Anaitides koreana*, n. sp.

A, Anterior end with eversible proboscis; B, 22nd parapodium (anterior view); C, seta; D, 9th parapodium (anterior view); E, 24th parapodium with eggs (anterior view); F, 79th parapodium with eggs (anterior view); G, posterior end (dorsal view).

Table 2. Distinguishing characteristics of *Anaitides koreana*, n. sp. and other neighboring species.

Species	Tentacular formula	Proboscis	Parapodia	Remark
<i>Anaitides koreana</i>	$(1+O\frac{1}{1})+O\frac{1}{N}$	without median row 6 longitudinal rows on each side 15-17 papillae in each row 17 marginal papillae		Specimens
<i>Anaitides groenlandica</i>	$(1+O\frac{1}{1})+S\frac{1}{N}$	without median row 6 longitudinal rows on each side 15-17 papillae in each row 17 marginal papillae		Uschakov (1972)
<i>Anaitides mucosa</i>	$(1+O\frac{1}{1})+S\frac{1}{N}$	without median row 6 longitudinal rows on each side 8-12 papillae in each row marginal papillae unknown		Pettibone (1963)
<i>Anaitides maculata</i>	$(1+O\frac{1}{1})+S\frac{1}{N}$	median row unknown 6 longitudinal row on each side 6-8 or 7-9 papillae in each row 16-17 marginal papillae		Uschakov (1972) Imajima & Hartman (1964)
<i>Anaitides longipes</i>	$(1+O\frac{1}{1})+O\frac{1}{N}$	with a median row 6 longitudinal row on each side about 14 papillae in each row 15 marginal papillae		Day (1963, 1967)

characters of proboscis and these are similar to *A. mucosa*, *A. maculata* and *A. longipes* in the parapodial feature, however, their distinguishing characteristics are summarized in Table 2.

Habitat : Clayey silt, silty clay and silty sand bottom in 8.5-32m deep. Present species is most abundant of phyllodocids from the Kwangyang Bay.

Anaitides chinensis Uschakov and Wu, 1959 중국부채발갯지렁이(신칭) (Fig. 2)
Anaitides chinensis Uschakov and Wu, 1959, (pp.22-23, pl. 1, A-B); Uschakov, 1972, (p. 131, pl. VI, 2-4).

Collection : Accounted only rather complete and clear 4 specimens of 16 individuals collected (Table 3)

Table 3. Material of *Anaitides chinensis*.

No.	Collecting date	Width	Length	No. of segment	Remark
1	Aug. 3, 1983	1.6mm	25mm	95	AF
2	Dec. 23, 1983	4.7mm	41mm	96	AF
3	Dec. 23, 1983	3.5mm	37.2mm	148	AF
4	Oct. 31, 1984	4.1mm	89.2mm	235	CS

Description : Body long and slender. Complete specimen with 235 segments 89.2mm long and 4.1mm wide excluding setae at widest segment. Body color in formalin yellowish green or brown with three longitudinal dark stripes on dorsal side.

Prostomium heart-shaped, wider than long with two pairs of antennae. A nuchal papilla present in the shallow posterior incision of prostomium.

Eversible proboscis very long, large and cylindrical with 17 marginal papillae. Basal part of proboscis with lateral rows on each side (7-9 scale-like papillae in each row) and 2 median rows dorsally (4 and 5 papillae in each row) (Fig. 2, A).

Longest tentacular cirri on 3rd segment reached 11th segment. Tentacular formula ; $(1+0-\frac{1}{1})+0-\frac{1}{0}$. Setae and normal cirrus on 2nd and 3rd segment absent.

Parapodia uniramous. Parapodial lobe bilobed by aciculum; the upper lip much larger than the lower. Dorsal cirri bean-shaped and very wide, nearly twice as wide as long; their margin markedly thin and weakly pigmented on the dorsal part. Dorsal cirri in the middle part of the body partly covering lateral region of each segment. Ventral cirri slightly pointed and rather longer than podial lobe (Fig. 2, C).

Setae composite, spinigerous and minutely serrated at one margin (Fig. 2, B).

A pair of anal cirri conical, more than twice as long as wide (Fig. 2, D).

Remark : Present specimens agree with the description of Uschakov and Wu (1959). They are distinguished in the pigmented stripes of this body by having three rows in the former instead of a dark longitudinal stripe in the latter. However, it seems that the lateral pig-

entations of 3 longitudinal rows become looked weakly or lost like Uschakov and Wu's. In the description of the species, it is difficult to regard the coloration of the body as the taxonomical character of the species because it can be changeable owing to the environments or fixative solution in lab. Present species is similar to *A. madiensis* in having the scale-like papillae on the proboscis. The former has two median rows, however, the later only one median row. Present species clearly differs in the characters of anterior segments, that is, tentacular formula, as follows; *A. madiensis*, $(1+0\frac{1}{1}) : 1\frac{1}{N}$ and *A. chinensis* $(1+0\frac{1}{1}) + 0\frac{1}{0}$. Furthermore, present species has a characteristic pygidium with the small and conical anal cirri. As its length is roughly 2.5 times longer than its width, its proximal part is wider compared to the other species of the same genus.

The species is new to Korea.

Distribution : Yellow Sea.

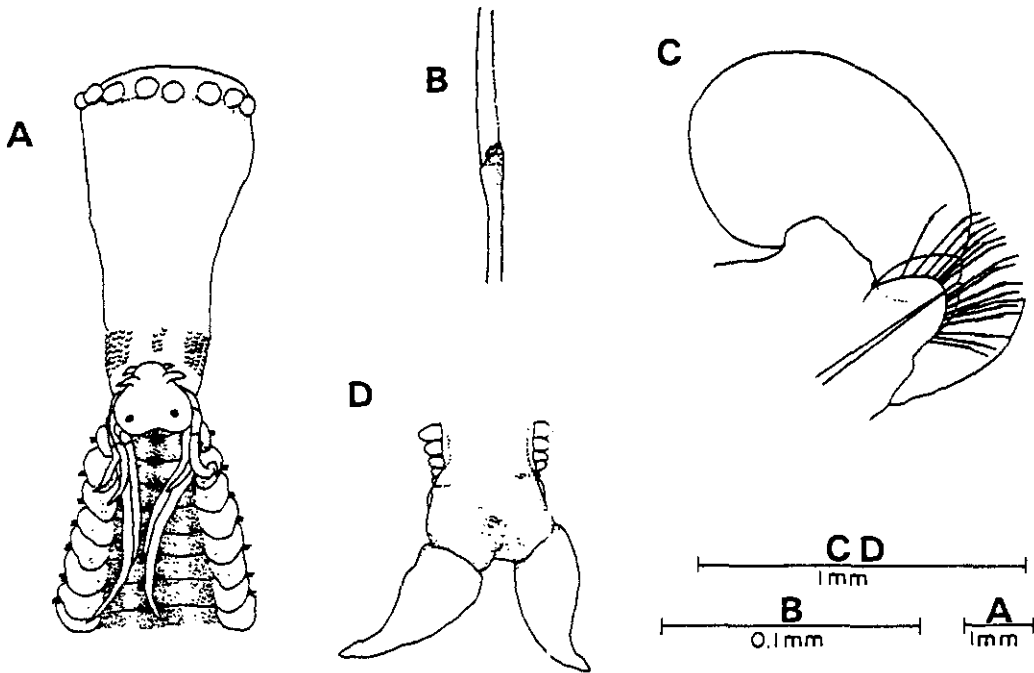


Fig. 2. *Anaitides chinensis* Uschakov and Wu.

A, anterior end with eversible proboscis; B, middle part of seta; C, 17th parapodium (anterior view); D, posterior end (dorsal view).

Habitat : Clayey silty, silt clay and silty bottom, 17.5-32m deep in Kwangyang Bay.

Eumida sanguinea (Oersted, 1843) 심장부채탈갯지렁이

Eulalia longicornuta: Moore, 1906, (p. 222, pl. 10, figs. 7-8).

Eulalia tubiformis: Moore, 1909, (p. 342, pl. 16, figs. 22-23).

Eulalia sanguinea: Berkeley and Berkeley, 1948, (p. 47, fig. 69); Okuda and Yamada, 1954, (pp. 182); Uschakov, 1955, (p. 98, fig. 6, D); Uschakov and Wu, 1959, (pp. 88-90).

Eumida sanguinea: Uschakov, 1972, (p. 153-154, pl. X, fig. 4-5); Pettibone, 1963, (pp. 88-90, fig. 21, a-b); Imajima and Hartman, 1964, (pp. 64-65, pl. 13, fig. 3); Paik, 1975, (pp. 411-412, pl. 1, fig. 9); 1979, (pp. 57-58, fig. 5, a-c); 1982, (p. 722, pl. 7, f-g.).

Collection : 21 specimens

Distribution : World-wide (cosmopolitan) species Pacific Ocean (Kamchatka to Sea of Japan, Yellow Sea, Southern Coast of Korea, New Zealand, California), Indian Ocean, Atlantic Ocean (Iceland, Norway to France, Gulf of Mexico, Venezuela), Korea (Chungmu, Gõmundo, Baegto)

Habitat : Clayey silt, Silty clay and Silty sand bottom, 8.5-32m deep in Kwangyang Bay.

***Eteone longa* (Fabricius, 1780) 길쭉부채발갯지렁이**

Eteone longa: Fauvel, 1923, (172-173, fig. 62, a-d); Uschakov, 1955, (101, fig. 8, A);

Pettibone, 1963, (73-74, fig. 16, e); Imajima and Hartman, 1964, (61, pl. 12, figs. d-g); Uschakov and Wu, 1965, (154-155); Lee, 1976, (61-62, fig. 7, A-C).

Eteone longa var. *robertiana*: Berkeley and Berkeley, 1954, (459).

Collection : 57 specimens

Distribution : A widely distributed arctic-boreal circumpolar species. Arctic Sea, Pacific Ocean (Bering Sea to Mexico, Yellow Sea, Southern Coast of Korea) Atlantic Ocean (Norway to English Channel, Hudson Bay to North Carolina), Mediterranean Sea, Korea (Pusan).

Habitat : Clayey silt, silty clay and silty sand bottom, 8.2-32m deep in Kwangyang Bay.

ABSTRACT

Materials were collected from Kwangyang Bay of Korea during the period from February 1983 to April 1985. In the present study, phyllodocid polychaetes of 4 species in 3 genera are recognized from the soft substrates. The material includes one new species, *Anaitides koreana*, n. sp. and one unrecorded species, *Anaitides chinensis*.

REFERENCES

- Annenkova, N. 1937. Fauna Polychaeta severnoi chasti Iâpouskogo Moria. Akad. Nauk SSSR, Issledovaniia mori SSSR 23: 199-216.
- Bergström, E. 1914. Zur Systematik der Polychaeten Familier der Phyllodociden. Zool. Bidrag. Uppsala, III: 37-224.

- Berkeley, E., and C. Berkeley. 1948. Annelida, Polychaeta errantia. Canadian Pacific Fauna, J. Fish. Res. Bd., Canada 9b, 1: 1-100.
- _____. 1954. Additions to the Polychaete fauna of Canada, with comments on some older records. J. Fish. Res. Bd., Canada, 11: 454-471.
- Day, J.H. 1963. The Polychaete fauna of South Africa. Part 8: New species and records from grab samples and dredgings. Bull. Mus. (Nat. Hist.) Zool., 10,7: 381-445.
- _____. 1967. A monograph on the Polychaeta of Southern Africa Part I. Errantia: 1-458.
- Fauvel, P. 1923. Polychètes errantes. Faune de France, Paris, 5:1-488.
- Hartman, O. 1968. Atlas of the errantiate polychaetous annelids from California. Allan Hancock Found. Los Angeles, Calif.: 1-828.
- Imajima, M., and O. Hartman. 1964. The polychaetous annelids of Japan. Allan Hancock Foundation Occasional Paper, 26: 1-452.
- Izuka, A. 1912. The errantiate Polychaeta of Japan. Jour. Coll. Sci. Tokyo, 30,2: 1-262.
- Lee, J.H. 1976. A study on the benthic fauna along the Busan Coast, Korea. Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan, 9: 49-70.
- Moore, J.P. 1906. Additional new species of Polychaeta from the North Pacific. Proc. Acad. Nat. Sci. Phila., 58: 217-260.
- _____. 1909. Polychaetous annelids from Monterey Bay and San Diego, California. Ibid., 61: 235-295.
- Okuda, S., and M. Yamada. 1954. Polychaetous annelids from Matsushima Bay. Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., 6, 12: 175-199.
- Paik, E. I. 1975. The Polychaetous annelids in Korea(Ⅲ). Res. Bull. Hyosung Women's Coll., 17: 409-438.
- _____. 1976. The Polychaetous annelids in Korea(Ⅳ). Bull. Father Jeon's 60th Anniversary: 231-249.
- _____. 1978. Preliminary survey of the Polychaetous annelids from Gogeuam Isl. Korea. Res. Bull. Hyosung Women's coll., 20: 367-391.
- _____. 1979. Benthic polychaetous annelids from Ceomun-Do and Baeg-Do Isl. Korea. Korean Fish. Soc., 12,1: 41-63.
- _____. 1982. Taxonomic studies on polychaetous annelids in Korea. Res. Bull. Hyosung Women's Univ., 24: 745-913. (In Korean)
- _____. 1984. Polychaetous annelid worms of the Ulreung Island and its adjacent waters. Ibid., 28: 127-173. (In Korean)
- Pettibone, M.H. 1963. Marine polychaete worms of the New England region. I. Aphroditidae through Trochochaetidae. U.S. Nat. Mus. Bull., 227: 1-356.
- Rho, B. -J., and K. -H. Song. 1975. On the classification and the distribution of the marine benthic animals in Korea. 2. Polychaetous Annelids. Jour. Kor. Res. Inst. Bet. Liv., 14: 95-118.
- Uschakov, P. 1955. (Polychaetous annelids of the North Eastern Sea of the USSR). (In Russian). Akad. Nauk SSSR, Keys to the Fauna of the SSSR, 56: 1-433(translated, 1965 by the Israel Program Scientific Translation, Jerusalem).
- _____. 1972. (Polychaeta I. Polychaetes of the suborder Phyllodociformia of the Polar Basin and the north-western part of the Pacific). (In Russian). Akad. Nauk SSSR Zool. Inst. Fauna of the SSSR, n.s. 102: 1-271. (translated, 1974 by the Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem).

Ushakov, P., and B.-L. Wu. 1959. (The Polychaetous annelids for the families Phyllodocidae and Aphroditidae from the Yellow Sea). Arch. Inst. Oceanol. Sinica. 1,4: 1-40. (In Chinese and Russian).

RECEIVED: 23 AUGUST, 1985.

ACCEPTED: 14 SEPTEMBER, 1985.

Summertime Southward Current along the East Coast of Korea

Heung-Jae Lie and Sang-Kyung Byun

Korea Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 17, Yeong-Dong, Seoul 135

韓國 東海岸에서의 夏季南向流

李 興 宰 · 卞 相 慶

韓國科學技術院 海洋研究所

Abstract: To examine the summertime coastal current along the east coast of Korea, we carried out hydrographic and current measurements in the coastal area of Chumunjin during July-August, 1982. Hydrographic results showed that isotherms, isohalines and isopycnals had a downward slope toward the coast in a layer of 0~100 m and that there existed relatively large horizontal gradients across shelf of salinity and density, mainly due to heavy precipitation in summer. It was found that there existed a strong southward flow along the coast reaching its maximal speed of about 70 cm/sec in the nearshore area and that shear and speed of the observed current were coincident with orders of geostrophic current.

要約: 韓國 東海岸에서 夏季 沿岸流를 調査하기 위해 釜山灣 沿岸海域에서 海水의 物理特性 및 海流를 觀測하였다. 物理特性結果는 0~100 m 層에서 等溫線, 等鹽分線, 等密度線이 沿岸으로 갈수록 下降하고 沿岸에서 外海로의 鹽分, 密度의 水平勾配가 比較的 強하게 存在하고 있음을 보였다. 最大流速이 70 cm/sec에 達하는 海岸線에 平行한 強한 南向流가 發見되었으며 觀測流의 流速과 shear가 地衡流와 大體로 一致하였다.

INTRODUCTION

Coastal waters along the east coast of Korea is known to be mainly subject to the cold water band and also to the East Korea Warm Current (EKWC), flowing northward along the shelf slope. Recently, Lie(1984) reported an existence of dome-like vertical sections of temperature and sigma-t across shelf in summer which implies a southward density-driven current in the coastal area. He also observed a persistent southward flow at a nearshore station off Chukpyon in summer 1980 from long current records. However, we don't have sufficient direct current data to support such a coastal flow all along the east

coast of Korea, although current data in summer 1980) were coincident with hydrographic results. Thus it is necessary to examine whether the southward current is limited only around

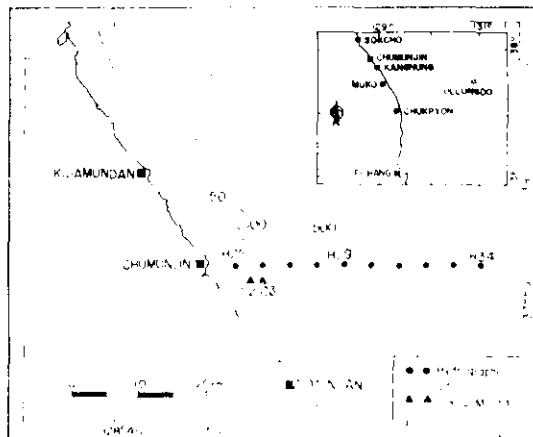


Fig. 1. Study area showing bottom contours, hydrographic and current stations.

Chukpyon and in summer 1980. For that reason hydrographic casts and current observations were carried out in the coastal area off Chumunjin during July-August 1982.

OBSERVATION AND DATA PROCESSING

To examine a coastal current in summer, two moorings were deployed at C2 and C3 off Chumunjin for a period of 10 days from July 22 to 31 in 1982 (Fig. 1). The main reason for such a short period operation was due to strong fishing activity around the study area. Each mooring had two current meters (Aanderaa R.C.M.-4) attached at 20 m and 40 m below surface, but data from the near-surface current

meter at C3 were not good. Data observed at every five minutes were smoothed by a Lanczos taper type symmetric filter with 51 weights after eliminating severe noise. The smoothing filter was previously designed to have the transmission of 50 % at 0.11 cycles per hour (cph). The hourly smoothed data were then low-passed by Doodson's Xo filter (Doodson and Warburg, 1941) to obtain residual motion of current. Drogues of hexagonal type (1200×1200×1500 mm) were released during August 17~18 at a depth of 10m at points A and B, and at a depth of 40m at point C. Positioning was made by Decca Trisponder System with two remote sites at Kisamundan and Anindan (Fig. 1). Hydrographic casts were done at 10 stations off Chumunjin on August 15 just before drogue tracking.

HYDROGRAPHIC PROPERTIES

Fig. 2 presents vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t on August 16. The sections show that in general isotherms, isohalines and isopycnals have a downward slope toward the coast in a layer of 0~100 m, which indicates that at a given depth coastal water is warmer and less saline than water in the offshore area. The isopycnal of 27.0 located at 100 m is almost parallel to the sea surface, which enables us to choose it as a reference level necessary for the geostrophic current estimation.

T-S diagrams in the cross-section are given in Fig. 3. Coastal water except surface water has its temperature and salinity within a triangle formed by connecting three points: (22°C, 32.75 ‰), (1.8°C, 34.00 ‰) and (22°C, 34.00 ‰). Water having a temperature of 1.5~4.0°C and a salinity of 33.8~34.0 ‰ is located at a depth deeper than 90m. This water mass is warmer and a little less saline than the Proper Water of the Japan Sea classified by T=0.0~0.5°C

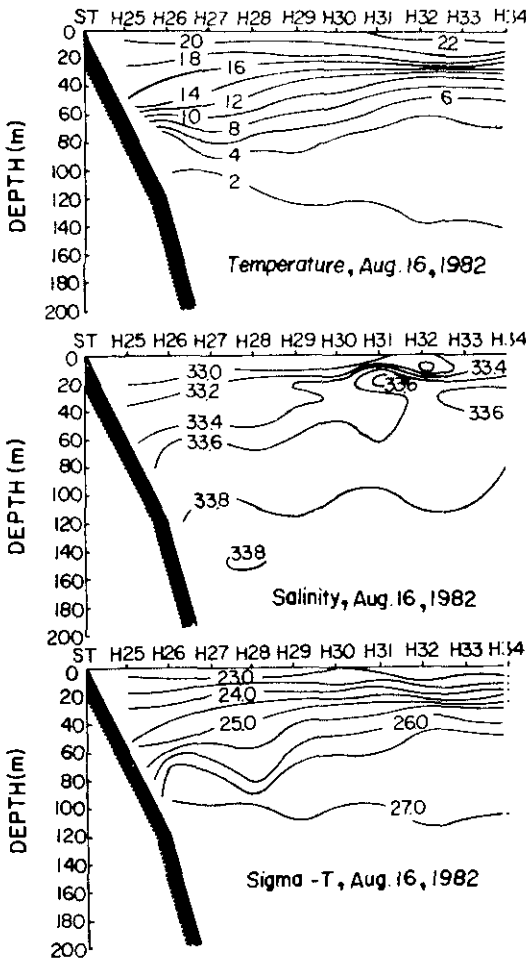


Fig. 2. Vertical sections of temperature, salinity and sigma-t off Chumunjin on August 16, 1982.

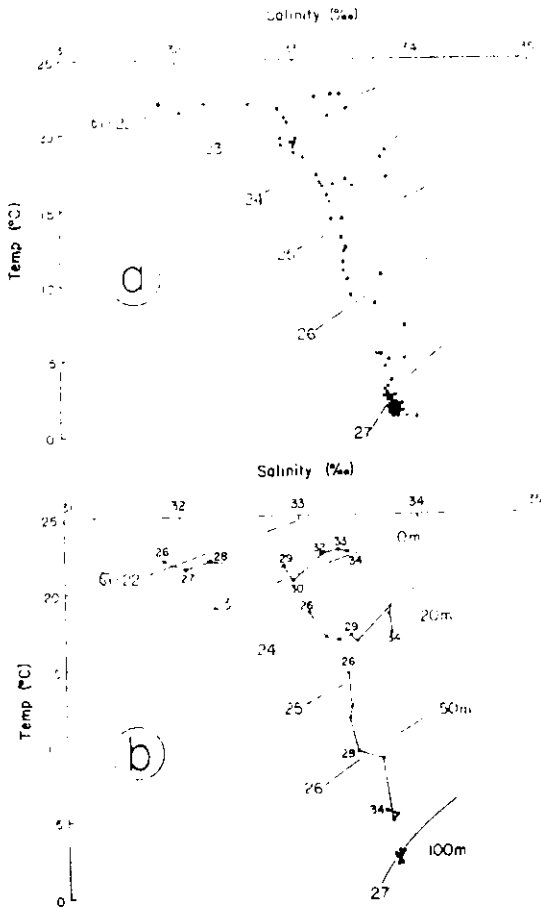


Fig. 3. Temperature-salinity diagrams constructed from (a) all data observed on August 16, 1982 and (b) data at 0, 20, 50, and 100m.

and $S=34.0\sim 34.1\text{‰}$ (Moriyasu, 1972). Fig. 3b shows variation of sea water properties with distance from coast at different depths. Surface water of about 22°C has a salinity between 31.8‰ at St. H26 and 33.3‰ at St. H34, so

that horizontal gradient of salinity is about $0.5\text{‰}/10\text{ km}$. At a depth of 20 m the gradient is decreased with a value of $0.2\text{‰}/10\text{ km}$ since surface water of low salinity disappears at the depth. However, water at a depth of 50 m has a salinity of $33.3\sim 33.7\text{‰}$, but a high temperature gradient of $-3^{\circ}\text{C}/10\text{ km}$. Temperature and salinity gradients nearly vanishes at a depth of 100 m with temperature of 2°C , salinity of 33.8‰ .

SOUTHWARD COASTAL FLOW

Table 1 shows mean values of temperature, salinity, east (U) and north (V) components of current, obtained from smoothed current meter data over 169 hours. The mean speed of 49 cm/sec at St. C2(23 m) decreases to a speed of 24 cm/sec at a deeper depth of 37 m and the current direction rotates in the counter-clockwise direction from the near-surface toward

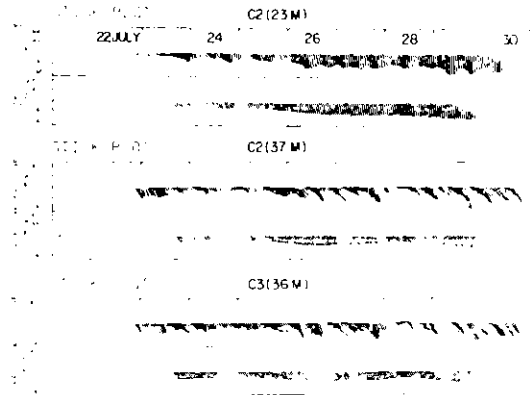


Fig. 4. Stick time plots of smoothed and low-passed currents off Chumunjin.

Table 1. Mean values and standard deviations (in parenthesis) of smoothed current meter data observed off Chumunjin during July 22~31, 1982.

Stations	depth (m)	temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Sal. (‰)	U (cm/sec)	V (cm/sec)	speed (cm/sec)	direction* (degrees)	kinetic energy (cm^2/sec^2)
C2	23	17.9 (2.1)	33.05 (0.11)	8.4 (6.1)	-49.0 (15.9)	49.7	80	1236
C2	37	10.4 (2.8)	33.50 (0.13)	16.2 (7.5)	-17.8 (8.7)	24.1	48	290
C3	36	9.3 (2.1)	33.24 (0.14)	14.3 (5.8)	-20.9 (8.3)	25.3	56	321

* The positive values are degrees in clockwise sense from the east.

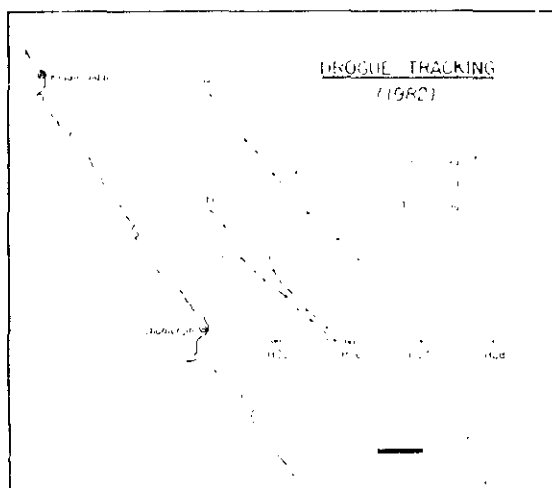


Fig. 5. Trajectories of drogues released off Chumunjin.

the bottom. The mean direction of current at C2 (37 m) and C3 (36 m) is almost parallel to the shoreline, while that at C2 (23 m) is nearly southward. Thus the onshore current at C2 (20 m) has a speed of about ~ 20 cm/sec, but at a deeper layer the weak offshore current was observed. Since the contribution of current fluctuations to total kinetic energy can be neglected, compared to that of the mean current, the observed southward current can be considered to take a behaviour of coastal jet as shown in Fig. 4.

Results of drogue experiment, released at points A, B and C on August 17~18, also showed a strong current flowing southeast, parallel to the coast (Fig. 5). Compared to the current observed in late July, the coastal current in mid-August was much more reinforced in keeping the same direction. The alongshore currents estimated from the trajectories A, B and C in Fig. 5 were about 72, 45, and 30 cm/sec, respectively. Thus, the surface near-shore current indicates not only a strong lateral shear of nearly 7.7 (cm/sec)/km, but also a strong vertical shear of 0.5 (cm/sec)/m.

GESTROPHIC CURRENT

According to the vertical sections of temper-

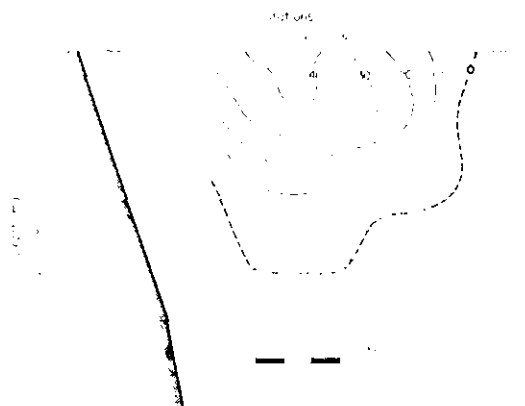


Fig. 6. Geostrophic current with a reference level of 100m in the Chumunjin section on August 16, 1982. The negative values indicate a southward flow. Current is in cm/sec.

ature, salinity and density in Fig. 2, hydrographic properties of water in the upper layer of 100 m are largely variable in the vertical and eastward directions, being distinguished from the uniform deep water. An isopycnal of $\sigma_t=27.0$, placed at 100 m in depth, clearly separates the surface layer from the lower layer. When using the density surface of 27.0 as a reference level of no motion, vertical structure of current can be estimated by dynamic calculations.

Fig. 6 is a vertical distribution of current estimated by dynamic method with a reference level at 100 m. At stations H25 and H26, current was not evaluated because the application of dynamic method to shallow waters has some limitations due to effects of bottom and coast on current (see, e.g. Lacombe, 1965; Neumann and Pierson, 1966). Geostrophic current in Fig. 6 shows a predominance of strong southward current with a maximum larger than 40 cm/sec near station H28. The southward current presents a large shear of orders of 3 (cm/sec)/km in the east and of 0.5 (cm/sec)/m in the vertical. For a brief comparison in speed between estimated current (V_g) and drogue results, we assume no variation of current along the coast and a linear increase of V_g from coast

to St. H26, taking $V_g=0$ at coast. With such assumptions, V_g would be about 36 cm/sec and 20 cm/sec at 10 m near St. H26 and H28, respectively. Meanwhile, the southward current from drogues A and B would be about 50 and 30 cm/sec. Although there is a discrepancy between V_g and observed current, orders of speed and shear of V_g are coincident with those of observed current.

DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

Hydrographic sections in summer 1982 indicated an existence of a dome-like distribution of temperature, salinity and density in the upper layer of 100 m in the coastal area off Chumunjin. As indicated in Fig. 2, surface water has a salinity of 31.8‰ at St. H26 to 33.3‰ at St. H34 which showed an eastward gradient of 0.5‰/10 km over 40 km from coast. The dome-like pattern of vertical sections suggests a strong southward flow in the surface layer, carrying waters of high temperature and low salinity which coincides with the observations off Chukpyon in summer 1980 (Lie, 1984).

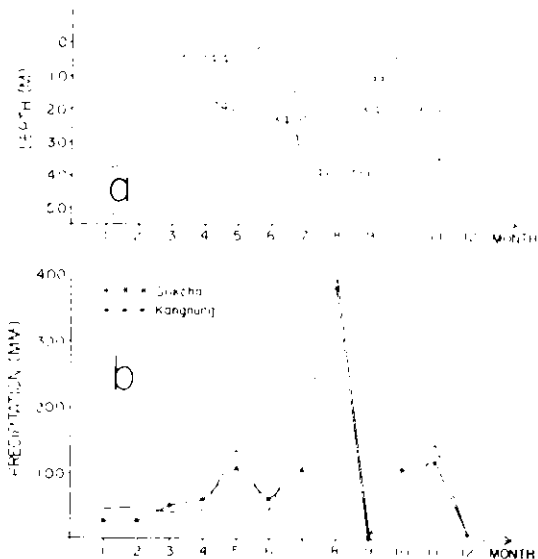


Fig. 7. (a) Variation of vertical salinity near St. H25 (data from Fisheries Research and Development Agency). (b) Monthly precipitation at Sokcho and Kangnung in 1982.

The southward current, parallel to the coast, was observed by current meters and drogues. In particular, drogue experiments showed that the alongshore current reached a speed of about 70 cm/sec from drogue A with a strong lateral shear (eastward) of nearly 7.7 (cm/sec)/km in the nearshore area. General characteristics of the observed current resemble those of the estimated current by dynamic method with a reference level at 100m.

Lie (1984) first proposed that the low salinity of coastal water off Chukpyon in summer was closely related to heavy precipitation. Along the east coast of Korea, there is no important influx of river water, producing a zone of low salinity water, but the rate of discharge of fresh water from land should play a great role in reducing the salinity in summer, especially during the rainy season. Fig. 3b and Fig. 7 make sure of a significant influence of precipitation on salinity during July-September in the coastal area near Chumunjin which receives abundant fresh water from the land. As a result of heating and freshening effects in summer, there exist relatively large horizontal gradients of temperature, salinity and density across shelf in the coastal area, which is known to drive a density current along the coast.

Although a density current is possible in the study area, it is too difficult to separate the density current component from the observed current which might include also current components driven by wind or surface gradient across shelf. To identify the density current along the east coast of Korea in summer, further investigations should be needed.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Dr. Y.Q. Kang for his helpful comments on the manuscript. We also wish to thank the staffs in the physical Oceanography Laboratory of KORDI for their

assistance during the survey. This study was supported by a research grant from the Korean Ministry of Science and Technology.

REFERENCES

- Doodson, A.T. and H.D. Warburg, 1941. Admiralty Manual of Tides. Publisher, London, 270 pp.
- Lacombe, H. 1964. Cours d'Océanographie Physique. Gauthier-Villars, Paris, 392 pp.
- Lie, H.J. 1984. Coastal current and its variation along the east coast of Korea. In. Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas. Ed. T. Ichiye, 399~408, Elsevier Sci. Pub. Amsterdam.
- Moriyasu, S. 1972. The Tsushima Current. In. Kuroshio, its physical aspects. Ed. H. Stommel and K. Yoshida, 353~369, Univ. Tokyo Press, Tokyo, 517 pp.
- Neumann, G. and W.J. Pierson, 1966. Principles of Physical Oceanography. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 545 pp.

Wintertime Temperature-Salinity Characteristics in the Southeastern Hwanghae (Yellow Sea)*

Heung-Jae Lee†

Abstract: Wintertime temperature-salinity properties of the southeastern Hwanghae (Yellow Sea) were analysed, based on long-term hydrographic data gathered between 1961 and 1980. A strong thermohaline front is formed in the area west of Cheju-do (along 33°40'N in the region bounded by 124°E and 126°20'E) during winter and extends to the bottom. This surface-to-bottom front, running from west to east, divides water properties into two types: one type of low temperature and low salinity to the north of the front and another one of high temperature and high salinity to the south of the front. The existence of the front suggests that there is no northward flow in the study area, a finding which runs counter to the conventional belief that there is the Hwanghae Warm Current carrying waters of high temperature and salinity to the north. T-S diagrams show that in winter the Hwanghae Warm Current Water and the Hwanghae Cold Water are the representative water masses in the study area.

1. Introduction

The Hwanghae (or Yellow Sea) is a semi-enclosed basin bounded by the Chinese coast to the west and to the north, and by the Korean peninsula to the east. The sea is very shallow with a maximum depth less than 100 m, and it receives a large input of fresh water in summer from rivers flowing from the Chinese continent and the Korean peninsula. Considering the Asian monsoon climate over the sea, it can be readily expected that properties of sea water will show great seasonal variation in time and space. Water masses in the Hwanghae seem to be closely associated with rapid cooling and heating of surface water, fresh water input into the coastal area, precipitation, and advection.

In the southeastern Hwanghae, effects of fresh water discharge from land and precipitation in winter on water properties are small in comparison with those in summer since more than 60% of annual precipitation falls during the period June to September (Central Meteorological Office, 1982). The annual precipitation is about 1,200 mm in the area. Furthermore,

a northward current carrying waters of high temperature and salinity into the eastern Hwanghae seems to be too weak in winter to flow to the north through the line 310 (Fig. 1),

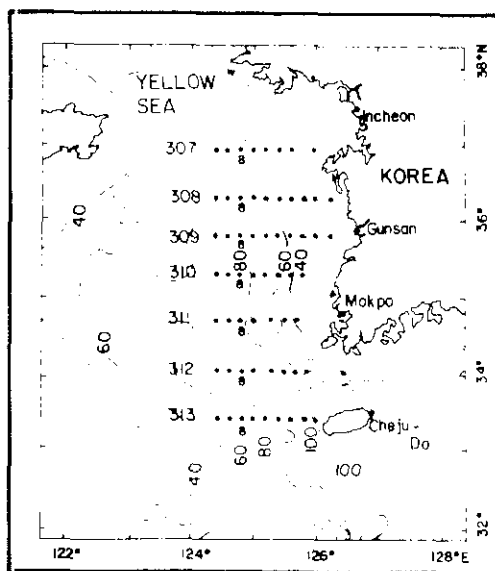


Fig. 1. Study area and hydrographic stations of the Fisheries Research Development Agency. Bottom contours are in meters and numbers 307 to 313 indicate east-west hydrographic lines. The number 8 indicates Station 8 on each line.

* Received 2 April 1985; in revised form 5 June 1985; accepted 14 June 1985.

† Physical Oceanography Laboratory, Korea Ocean Research & Development Institute, P. O. Box 17, Yeongdong, Seoul, Korea.

mainly because of the prominence of northerly or northwesterly winds. Accordingly, in winter the hydrographic conditions become much simpler and depend mostly upon heat exchange between the air and the sea.

Temperature-salinity (T-S) analysis in the southeastern Hwanghae have only been reported on the basis of data gathered during one special cruise and for a very limited area (*cf.* Nakao, 1977; Uda, 1934, 1936), so that results are insufficient to provide us with an overall picture of T-S relations. The main objective of this paper is to study T-S characteristics in the southeastern Hwanghae based on longterm hydrographic data collected in winter. I used hydrographic data observed bimonthly (December, February, April) by the Fisheries Research and Development Agency of Korea (FRDA) for a period of 20 years between 1961 and 1980. The

data were collected at 61 hydrographic stations located on the lines 307-313 (Fig. 1). This network of lines covered most of the southeastern part of the Hwanghae between $36^{\circ}56.5'N$ and $33^{\circ}24.4'N$. Bottle observations were made at 0, 10, 20, 30, 50 and 75 m.

2. Surface temperature and salinity

To observe general distributions in space of temperature and salinity, mean surface temperature and salinity were computed for December, February and April (Fig. 2). To minimize statistical errors in the distributions, the frequency of observations at each station in the corresponding month was checked and the frequency in general was found to be greater than ten observations. Mean sea surface temperature (SST) shows that a relatively strong thermal front is formed between lines 312 and 313. The

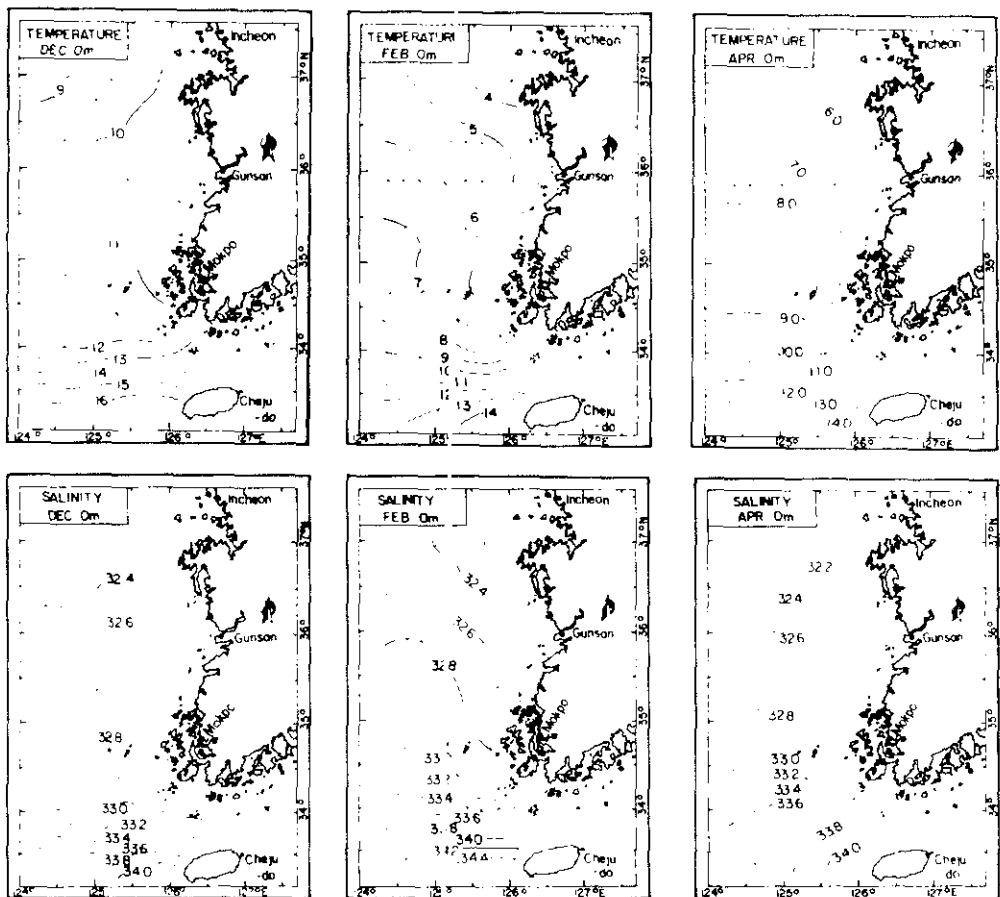


Fig. 2. Mean surface temperature and salinity in December, February and April over the period 1961-1980.

temperature gradient across the front is outstanding in December and February, but becomes weak in April. To the north of the thermal front, the mean SST in February shows a great change in space with isotherms running from southeast to northwest. The direction of isotherms in general seems to be parallel to the bottom contours. A rapid cooling of surface water is found to occur between December and February, especially in the coastal area (Fig. 2).

Surface distribution of salinity has a pattern more or less similar to that of SST. SST is lowest in February while the salinity of surface water is highest. The saline water with a salinity greater than 34‰ is always found west of Cheju-do. This warm and saline water is characterized by $T > 16^{\circ}\text{C}$ in December, $T > 12^{\circ}\text{C}$

in February and $T > 13^{\circ}\text{C}$ in April. For convenience we call this water mass the Hwanghae Warm Current Water.

The persistent thermohaline front running in an east-west direction separates the study area into two subareas from the viewpoint of hydrography in winter; one region of colder and less saline water to the north of the front and another one of warm and saline water to the south of the front. The front is also visible in north-south sections of temperature and salinity. Figure 3 shows vertical sections along the line of Stations 8 ($124^{\circ}50'E$) which indicate that the surface front extends to the bottom. The existence of such a surface-to-bottom front shows that there is in general no northward flow carrying waters of high temperature and salinity even though a

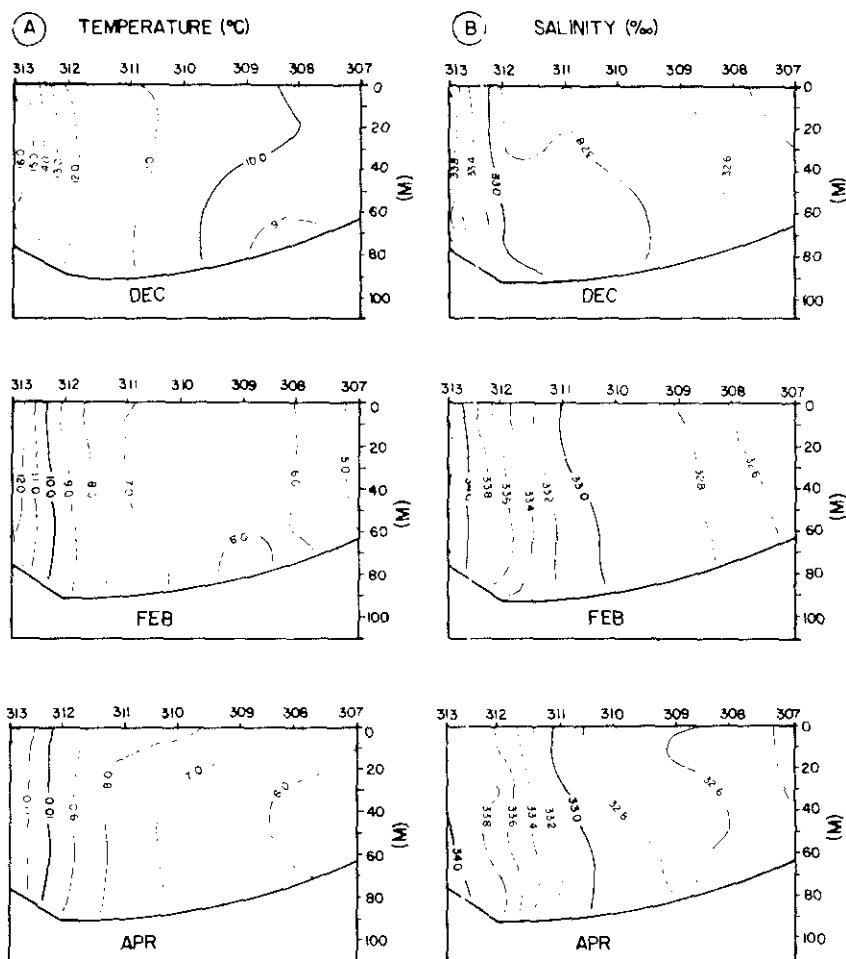


Fig. 3. Mean vertical sections of temperature and salinity over the period 1961-1980 along the line of Stations 8 ($124^{\circ}50'E$) marked in Fig. 1.

warm current could be observed to the north of the front for a relatively short period. This finding runs counter to the conventional belief that the Hwanghae Warm Current flows to the north in the southeastern Hwanghae (Asaoka and Moriyasu, 1966; Guan and Mao, 1982; Niino and Emery, 1961). The conventional schematic path of the Hwanghae Warm Current was mostly based on surface temperature dis-

tributions obtained from only one or a few cruises, which had isotherms running from south to north. However, such a pattern of isotherms seems to be mainly due to more rapid cooling in the coastal area where the water column of shallow water contains relatively low heat and tidal currents are so strong that the whole water column is well mixed.

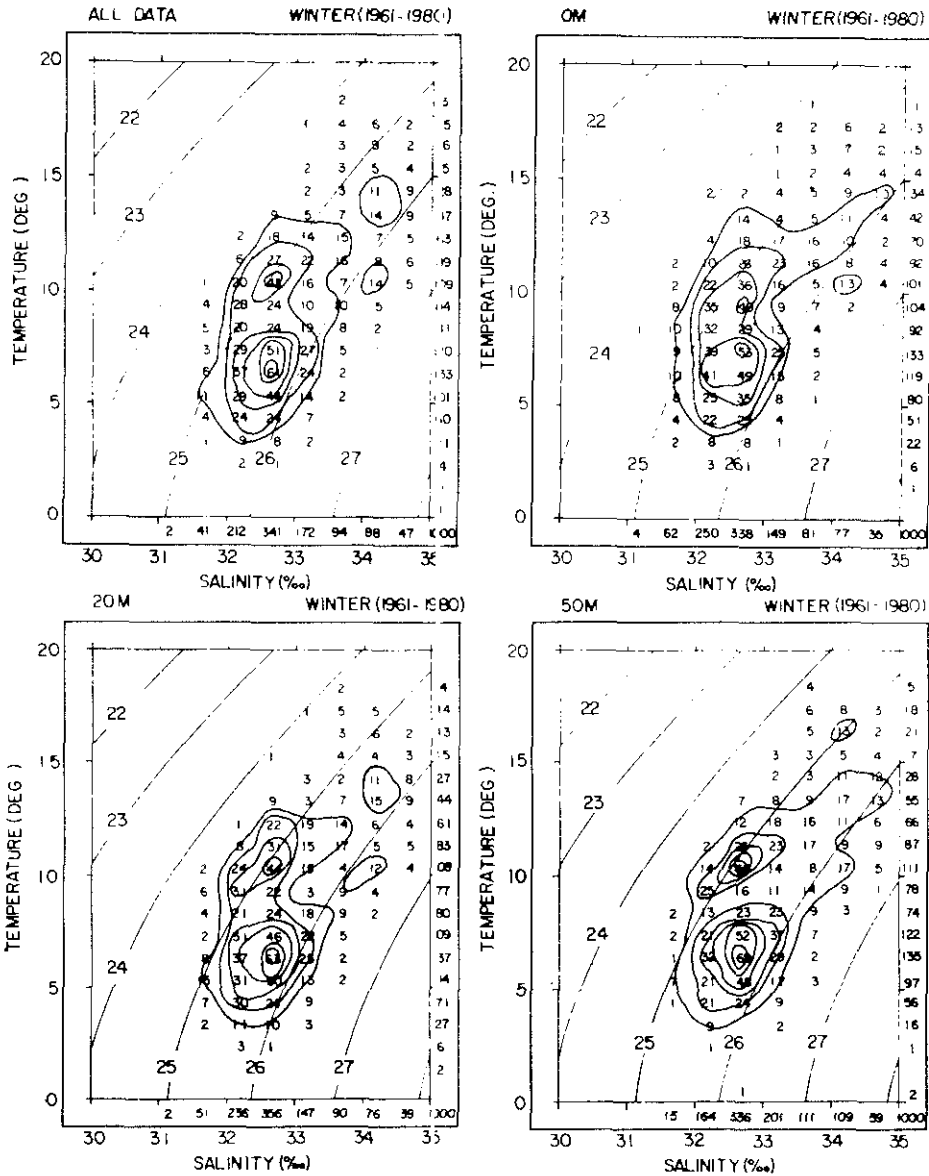


Fig. 4. Statistical T-S diagrams in winter during the period 1961-1980 based on the whole data set, and data on the surface, at 20 m and 50 m. Isolines joint points with the same frequency of observations in parts per mille.

3. Statistical T-S diagrams

Statistical T-S diagrams, first proposed by Montgomery (1955, 1958) are an appropriate method for this study which can furnish qualitative sea-water statistics on the basis of temperature-salinity correlations. All observations of temperature and salinity were split into intervals of 1°C for temperature and 0.5‰ for salinity. The frequency of observations is marked in terms of parts per mille (ppm) and the isolines of frequency are inserted in the T-S diagrams.

Figure 4 shows four statistical T-S diagrams in winter (December-April) obtained from the whole data set, and data on the surface, at 20m and 50m during the period of 1961-1980. The diagrams show that the frequency of salinity between 32.5 and 33.0‰ amounts to more than 330 ppm in each layer of the water column. In the salinity range of 32.5-33.0‰ there are two maximum frequencies in the temperature ranges of 10-11°C and 6-8°C, respectively, which cover about 15% of the observations carried out during the period of 20 years.

The maximum frequency centred at the lower temperature of 6-8°C is much larger than that at the higher temperature of 10-11°C. The water masses corresponding to the two maximum frequencies are found to be located in the northern part of the study area to the north of the front as can be seen in Fig. 2 and Fig. 3. There are also two maxima in the salinity range of 34.0-34.5‰ though the frequencies are not so large as those in the interval of 32.5-33.0‰. The maximum frequencies in the higher salinity range are not so large because of the small number of observations in the southern part to the south of the front where waters in general have high salinity and temperature. Although the appearance of the maximum frequencies becomes more distinct with increasing depth, the general pattern of isolines is little modified from the surface to deeper layers, which suggests that the water column in the study area is vertically homogeneous in winter.

4. Evolution of temperature and salinity during winter

In the previous section we showed that two maximum frequencies occur at different temperatures in the salinity intervals of 32.5-33.0‰ and 34.0-34.5‰. However, temperature and salinity

are found to change in the course of winter (Figs. 2 and 3). Thus, it is necessary to examine the temporal evolution of temperature and salinity from December to April which may help us to understand cooling and heating of waters in the area.

Figure 5 presents statistical T-S relations in December, February and April which show changes of T-S characteristics according to the observation periods. Each diagram has only one maximum frequency in the salinity ranges of 32.5-33.0‰ and 34.0-34.5‰. The temperature corresponding to the maximum frequency in the lower salinity interval is 10-11°C in December, 6-8°C in February and 6-7°C in April while the maximum frequency in the higher salinity interval occurs at 16-18°C in December, 13-14°C in February and 10-11°C in April. The difference in temperature from one period to another reflects cooling of the waters. Waters to the north of the front cool down by about 3-4°C from December to February and waters to the south of the front are known to gradually cool during December-April. The three diagrams in Fig. 5 can explain the appearance of two maximum frequencies in the given classes of salinity as indicated in Fig. 4.

In order to easily compare wintertime T-S relations with those in summer, a T-S diagram in August is also plotted in Fig. 5. In summer, water has a large range in salinity (29.0-35.0‰), mainly due to fresh water discharge and heavy rainfall, and a wide temperature range (5.0-30.0°C), mostly due to solar heating of surface water. On the other hand the ranges of T and S in winter are greatly reduced; the salinity range is nearly constant (31.0-35.0‰) from December to April and the temperature range depends upon the observation period, being very small compared to that in summer. Thus T-S diagrams indicate very pronounced changes in sea water properties with time. Sea water in winter seems to have temperature and salinity values which approximately fall on a linear curve. Such a linear trend indicates that in general temperature is linearly proportional to salinity. The slope of the curve, when estimated by the least squares fitting method, is largest in February and least in April, which corresponds with observations of the temperature gradient along a north-south section. The T-S diagrams in

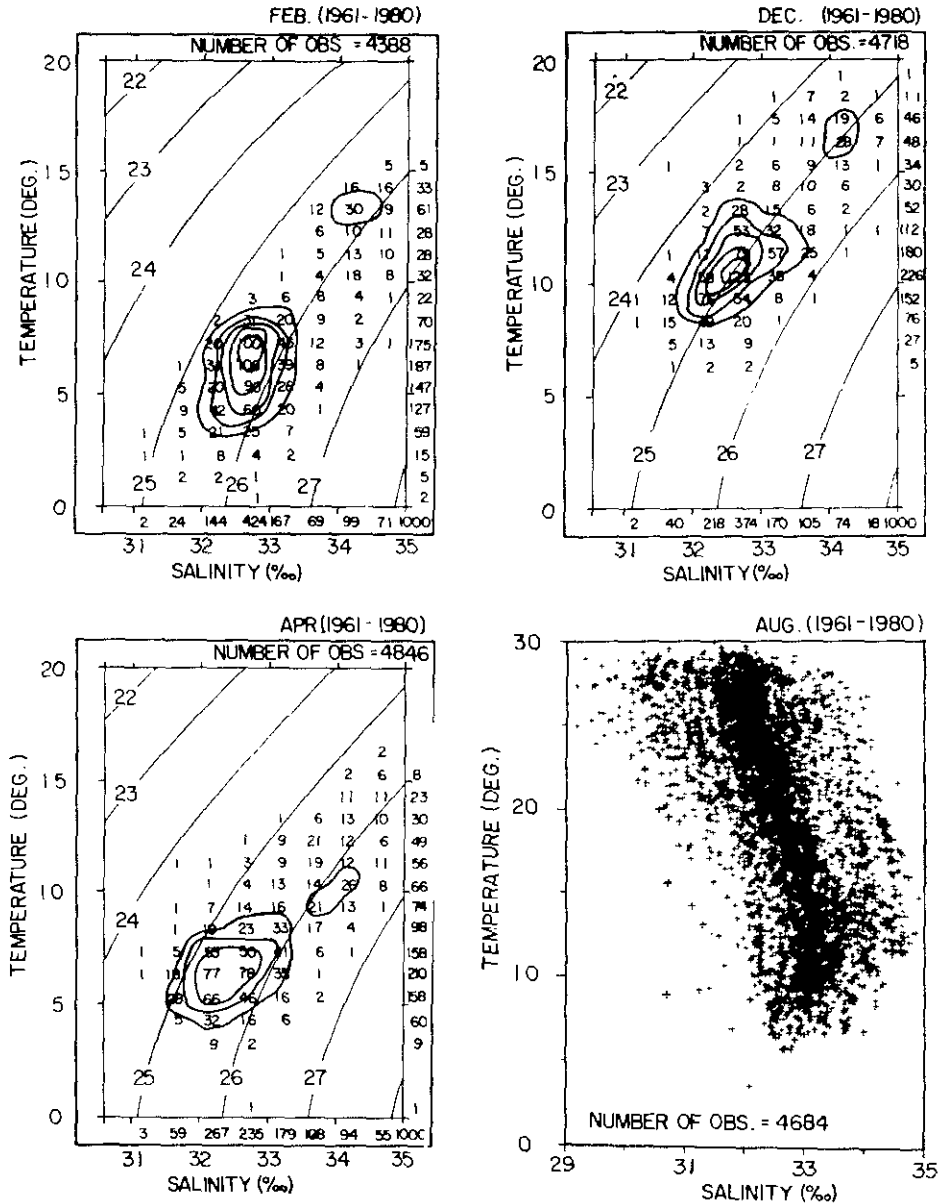


Fig. 5. T-S diagrams in December, February, April and August from all available data collected during the period 1961-1980. Isolines joint points with the same frequency of observations in parts per mille.

Fig. 5 in general divide wintertime T-S characteristics into two types: one type of low temperature and low salinity, and another one of high temperature and high salinity. The two different water masses can be more clearly seen in T-S diagram for February given in Fig. 6, where all data in lines 308 and 313 were taken into consideration. The two lines can be taken as

representative lines in the northern and southern parts of the study area, respectively, from the hydrographic properties shown Fig. 2 and Fig. 3. The two water masses for February are characterized as follows:

- T = 3- 8°C, S = 32.0-33.0‰ for line 308
- T = 11-15°C, S = 33.6-35.0‰ for line 313.

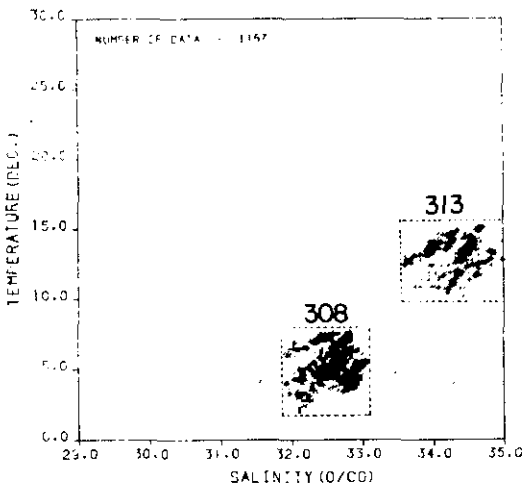


Fig. 6. T-S diagram for lines 308 and 313 in February during the period 1961-1980.

5. Discussion and conclusions

On the basis of long-term hydrographic data (1961-1980) hydrography in the southeastern part of the Hwanghae is found to change greatly from summer to winter. Physical properties in winter are mostly determined by the cooling of sea water, and not by fresh water discharge and precipitations since more than 60% of annual precipitation falls during the period June to September.

A strong thermohaline front is found to be formed along the hydrographic lines 312 and 313 in the region west of Cheju-do. The front has a very weak horizontal density gradient. The surface-to-bottom front divides water properties into two patterns; one pattern of lower temperature and salinity in the area to the north of the front, and another one of higher temperature and salinity in the southern area. The mixture of the two different water masses with nearly the same density but different temperatures and salinities has a density greater than those of the parent water masses. Garrett and Horne (1978) have shown that the sinking rate due to cabbeling in a frontal zone is greater in a region of weak vertical density gradient than in a region of strong vertical gradient. A secondary circulation associated with mixing processes could maintain the thermohaline front against diffusion (Bowman and Okubo, 1978).

There are two maximum frequencies in the salinity ranges of 32.5-33.0‰ and 34.0-34.5‰

in the statistical T-S diagrams which correspond to the properties of Hwanghae Cold Water and Hwanghae Warm Current Water. Furthermore, the T-S diagrams and vertical sections show that the water column is vertically homogeneous in winter due to vertical convection and wind stirring, and that cooling is very active in the area to the north of the front, far from the influence of the Hwanghae Warm Current. The Hwanghae Cold Water with a temperature less than 10°C and a salinity of 32.0-33.0‰ (Kordi, 1984; Lie, 1984) is a representative water mass occupying the lower layer in the central deep area of the Yellow Sea even in mid-summer.

From all information available, the following conclusions can be drawn; 1) in winter, the representative water masses of the study area are composed of the Hwanghae Warm Current Water and the Hwanghae Cold Water, 2) the Hwanghae Warm Current seems to be limited to the region west of Cheju-do, and does not cross the thermohaline front, and 3) the surface-to-bottom thermohaline front is persistent during winter. It has been reported that along the Chinese coast a strong southward current exists due to northerly or northwesterly winds in winter (cf. Choi, 1984; Guan, 1984). This outflow from the Hwanghae must be compensated by an inflow in the western part of the sea west of 124°E because there is no evidence of a northward flow in the eastern part. Further investigations are required to determine whether or not the compensating northward flow on the western side of the sea is an extension of the Hwanghae Warm Current or not.

Acknowledgements

I wish to thank Dr. Y. H. Park and the referees for their helpful comments on an earlier version of the manuscript. I also appreciate the help of Mr. D. C. Jun and Mr. H. W. Lee for computer assistance, and Miss. B. G. Kim for typing the manuscript. The study was funded by a grant from the Korean Ministry of Science and Technology.

References

- Asaoka, O and S. Moriyasu (1966): On the circulation in the East China Sea and the Yellow Sea in winter (Preliminary Rep.). *Oceanogr. Mag.*, **18**, 73-81.

- Bowman, M. J. and A. Okubo (1978): Cabbelling at thermohaline fronts. *J. Geophys. Res.*, **83**, 6173-6178.
- Central Meteorological Office (1982): Climatic tables of Korea (1951-1981). Vol. 1, Seoul, Korea, 368pp.
- Choi, B. H. (1984): Computation of current driven by a steady wind stress on the East China Sea using a three-dimensional numerical model (in Korean). *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**, 36-43.
- Garett, C. and E. Horne (1978): Frontal circulation due to cabbelling and double diffusion. *J. Geophys. Res.*, **83**, 4651-4656.
- Guan, B. (1984): Major features of the shallow water hydrography in the East China Sea and Huanghai Sea. p. 1-13. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*. ed. by T. Ichiye, Elsevier Sci. Pub., B. V. Amsterdam.
- Guan, B and H. Mao (1982): A note on circulation of the East China Sea. *Chinese J. Oceanol. and Limnol.*, **1**, 5-16.
- Kordi (1984): A study on marine environmental atlas of the adjacent seas to Korea. Second year Rep., Yellow Sea, Rep. Korea Ocean Research and Development Inst., No. BSPG00023-79-7, 493pp.
- Lie, H.-J. (1984): A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**, 187-194.
- Montgomery, R. B. (1955): Characteristics of surface water at Weather Ship J. *Deep-Sea Res.*, **3**, Supplement. Pap. in marine biology and oceanography dedicated to Henry Bryant Bigelow. 331-334.
- Montgomery, R. B. (1958): Water characteristics of Atlantic Ocean and of world ocean. *Deep-Sea Res.*, **5**, 134-148.
- Nakao, T. (1977): Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Technol., Tokai Univ., Spec. No.*, 199-367.
- Niino, H and K. O. Emery (1961): Sediments of shallow portions of the East China Sea and South China Sea. *Geol. Soc. American Bull.*, **72**, 731-762.
- Uda, M. (1934): The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *J. Imp. Fish. Exp. St.*, **5**, 138-190.
- Uda, M. (1936): Results of simultaneous oceanographic investigations in the Japan Sea and its adjacent waters during October and November, 1933. *J. Imp. Fish. Exp. St.*, **7**, 91-151.

黄海南東域の冬季の水溫・塩分特性

李 興 宰*

要旨: 1961年～1980年の間に得られた海洋観測データをもとに、黄海南東域の冬季の水溫・塩分特性を解析した。海面から海底まで達する顕著な熱塩フロントが済州島西側の33°40'N線に沿って発達している。この東西に走るフロントはこの海域の水系を2分する。すなわちフロントの北側には低溫、低塩分、フロントの南側には高

溫、高塩分の海水が存在している。またこのフロントの存在は従来言われていた高溫、高塩分水を北に運ぶ黄海暖流の存在を否定するものである。TSダイアグラムは冬季この海域の代表的な水塊は暖流水 (Warm Current Water) と黄海冷水 (Hwanghae Cold Water) であることを示している。

* 韓国科学技術院 海洋研究所

ZONED FACIES OF MASS-FLOW DEPOSITS IN THE ULLEUNG (TSUSHIMA) BASIN, EAST SEA (SEA OF JAPAN)

S.K. CHOUGH¹, K.S. JEONG¹ and E. HONZA²

¹*Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151 (Korea)*

²*Marine Geophysics Division, Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba, Ibaraki-ken (Japan)*

(Received March 28, 1984; revised and accepted July 31, 1984)

ABSTRACT

Chough, S.K., Jeong, K.S. and Honza, E., 1985. Zoned facies of mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan). *Mar. Geol.*, 65: 113–135.

High-resolution (3.5 kHz) reflection profiles in the Ulleung (Tsushima) Basin made it possible to classify the uppermost (ca. 50 m thick) sedimentary deposits into rock fall, slide, slump, debris-flow deposit (debrite) and turbidite in terms of their acoustic properties. These deposits generally occur in a distinctive zonal facies: slides and slumps on the slope; debrites on the base-of-slope; and turbidites on the basin floor. The rock-fall deposits occur along the bases of the Korea Plateau and Ulleung and Dok Islands.

The zonal distribution of mass-flow deposits suggests that they most likely are derived from a line source at the shelfbreak. Shelf sediments prograde toward the shelfbreak. On the slope, sediment masses move downslope mainly, accompanied by progressive slumping upslope. Individual slides and slumps on the slope probably develop into debris flows on the base-of-slope and successively into turbidity currents on the basin floor. Mass-flow processes on the Ulleung Basin slope played an important role in transporting a large volume of terrigenous sediments into the deep basin.

INTRODUCTION

Submarine mass-flow processes are ubiquitous on continental slope and base-of-slope environments as they are important in transporting a large volume of both coarse and fine terrigenous sediments into the deep ocean basin. They occur on passive and active margins (Embley, 1976, 1980; Embley and Jacobi, 1977; Damuth and Hayes, 1977; Nardin et al., 1979a; Dingle, 1980; Cook et al., 1982) and in marginal basins (Jeong, 1983). Submarine mass-flow deposits have recently been studied most efficiently by using high-resolution (3.5 kHz) reflection profiles (e.g., Damuth, 1980; Field, 1981). High-resolution (3.5 kHz) reflection profiles obtained from the Ulleung (Tsushima) Basin reveal that the uppermost sedimentary sequence is characterized by a zonal distribution of mass-flow deposits. Slides and slumps occur on the slope, whereas debrites and turbidites occur on the base-of-slope and basin floor, respectively. On the shelf, sediment sequences prograde toward the shelfbreak. Thick accumulation of mostly fine-grained turbidites

found in the Ulleung Basin (Lee, 1983; Chough, 1984) results most likely from the precursors of mass flows on the canyonless slope. The present study documents the occurrence of mass-flow deposits in the Ulleung Basin and outlines the processes that are related to their zoned distribution.

GEOLOGICAL SETTING

The Ulleung Basin (Fig.1) is a typical example of a marginal sea or back-arc basin in the western Pacific. The basin was formed probably by a progressive drifting of the Japanese Arc southeastward accompanied by regional subsidence and tectonic movement during late Oligocene and early Miocene time (Karig, Ingle et al., 1975).

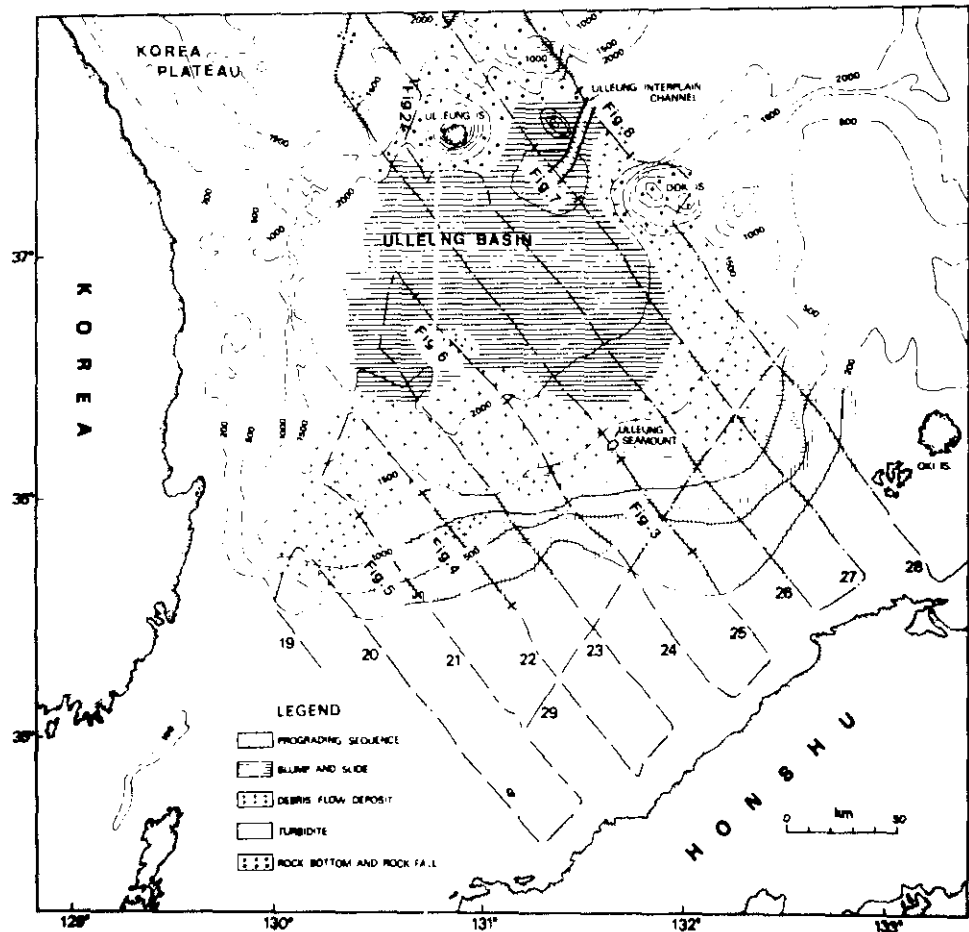


Fig.1. Cruise tracks of seismic survey (approximately 25 km wide grids) in the Ulleung (Tsushima) Basin. Locations of cited figures are numbered. A zonal facies distribution of mass flow deposits follows approximately the bathymetric contours. Depths in meters.

Morphologically, the Ulleung Basin is a slope-centered basin (after Gorsline, 1978). The basin lacks submarine canyons and fans and thus belongs to the non-fan ponded system of Pickering (1982). The Ulleung Basin is more than 250 km wide (Fig.1). On the west, it is bounded by a narrow shelf (5–25 km in width) where a topographic high, named the Hupo Bank (Chough, 1983), dominates the shelf along the east coast of the Korean Peninsula. Off the Hupo Bank the shelf is transitional to the steep slope (gradient of about 8°). The southwestern shelf slopes at about 3.5° toward the basin. In contrast to the western margin, a broad shelf (30–150 km wide) bounds the margin on the south and east. The shelf is narrower and shallower toward the northeast. The Oki Spur forms a bank separating the Ulleung Basin from the Yamato Basin. The rugged Korea Plateau with many ridges and swales rises up to 1500 m above the basin floor. Off the plateau, the slope is steep (gradient of about 9°) and mantled with a thin sediment cover. The lower slope and base-of-slope are more rugged.

The Ulleung Basin floor is generally flat and progressively deeper northward, connected to the Japan Basin by the Ulleung Interplain Gap. According to Tamaki et al. (1978), the turbidite sequence in the Ulleung Basin is about 600 m thick on average and thins toward the base of the Korea Plateau. The turbidites are underlain by a thick (2000 m) transparent hemipelagic Neogene sequence. Honza et al. (1979) found slide deposits on the base-of-slope off the northern Honshu. Chough (1982) also found evidence of mass-flow processes on the surrounding slope and ascribed them to the existence of fine-grained turbidite sequence in the basin. He suggested that mass-flow processes were vigorous during the Pleistocene lowered sea-level stand.

MASS-FLOW DEPOSITS

A detailed analysis of acoustic characteristics of high-resolution (3.5 kHz) reflection profiles from the Ulleung Basin (Fig.1) made it possible to classify the mass-flow deposits into rock-fall, slump, slide, debrite and turbidite. The acoustic criteria that were used for the classification are summarized in Table 1.

Rock-fall deposits

Rock-fall deposits in the Ulleung Basin are highly reflective and reverberant and the reflective hyperbolae are superimposed on each other (Fig.2). Internal structures are not discernible and the deposits are hummocky as revealed by scattered hyperbolae and side echoes. The hyperbolae result probably from the point source diffractions of high-density rock blocks and coarse clastic matrix (Damuth and Hayes, 1977).

Slides

Slide blocks occur at the foot of glide planes (Fig.3). Internal reflectors are continuous within each mass, but are commonly truncated and associated

TABLE 1

The acoustic and sedimentary properties of mass-flow deposits (modified after Nardin et al., 1979a; Cook et al., 1982)

Types of mass-flow deposits	Acoustic characteristics	Sedimentary structures and bed geometry	References
Rock-fall	Highly reflective and hummocky; large-scale hyperbolae and side echoes common; no internal reflectors except prolonged and scattered hyperbolae	Individual rock blocks or conglomeratic and free-fall boulder matrix mixture, disorganized grain-supported framework	Damuth and Hayes (1977); Nardin et al. (1979b); Damuth (1980); Field (1981)
Slide	Semi-consolidated sediment mass on glide planes, hummocky, blocky and slaby geometry, continuous and undeformed internal reflectors over a long distance; often hyperbolic surface; unconformable or subparallel to underlying sediment	Angular bedding contacts; convolute structure; mixture of pebbles and solid materials and clay balls; hummocky and chaotic mixture of variable clasts; bedding may be undeformed and parallel to underlying beds or deformed	Jacobi (1976); Embley and Jacobi (1977); Almagor and Garfunkel (1979); Knebel and Carson (1979); Summe-Hayes et al. (1979); McGregor and Bennett (1979); Nardin et al. (1979a, b); Bunn and McGregor (1980); Damuth (1980); Dingle (1980); Embley (1980); Embley and Morley (1980); Stanley et al. (1980)
Slump	Blocky and slaby semi-consolidated sediment mass; irregular, rugged, hyperbolic, hummocky, or lumpy morphology; discontinuous, contorted and truncated internal reflectors over short distances; sometimes internal reflectors not seen due to deformed hummocky structures		
Sediment gravity flows	Debrite	Clasts supported by matrix, random fabric; contorted bedding, dish and load structures, numerous clay and sand balls scattered throughout; chaotic mixture of clay, silt, sand and pebbles; reversely graded	Embley (1976, 1980); Jacobi and Mrozowski (1979); Roberts and Kidd (1979); Nardin et al. (1979a, b); Damuth (1980); Embley and Morley (1980)
	Turbidite	Bouma's sequences; several mm to cm in thickness and composed mainly of sand, silt and pelagic sediments	Damuth and Hayes (1977); Cook (1979); Nardin et al. (1979b); Crevello and Schlager (1980); Damuth (1980); Field (1981)

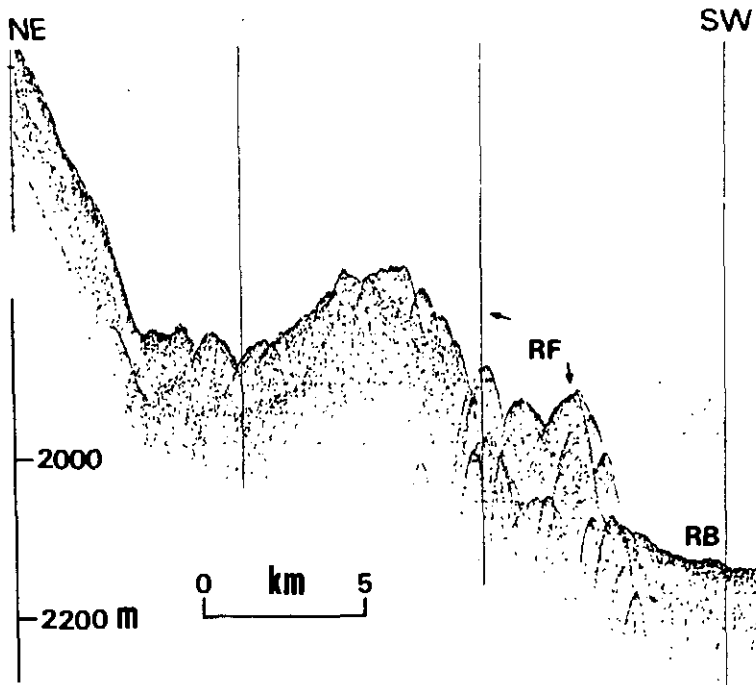


Fig.2. High-resolution (3.5 kHz) profile (line 26, for location see Fig.1) illustrating characteristics of rock fall (RF) deposits off the submarine extension of Ulleung Island. RB = rock bottom.

with hyperbolae and small-scale faults. Well-preserved continuous bedding (internal reflectors on profiles) within the slide block suggests minimum plastic deformation and only lateral displacement.

Slump

Slump is also a semi-consolidated mass on a glide plane and is bounded by a slump scar upslope. On 3.5 kHz profiles slump deposits appear morphologically blocky, hyperbolic, and lumpy (Table 1). Blocky slump (Fig.4) is more smoother on the surface than others. Internal reflectors are coherent and discernible. Slumps with hyperbolic reflectors (Figs.4 and 5) are acoustically disturbed ones. Hyperbolae are prolonged in the slump mass and the internal structure is hummocky. Occasionally, the lumpy looking slumps occur upslope supported by other slumps downslope. Small slumps with hyperbolic reflectors are similar to type IIC of Damuth and Hayes (1977) found on the east Brazilian continental margin. Embley (1980) ascribed the acoustic properties of small hyperbolic slump to reflection and back scattering from either surface irregularities or semi-lithified blocks and sediments.

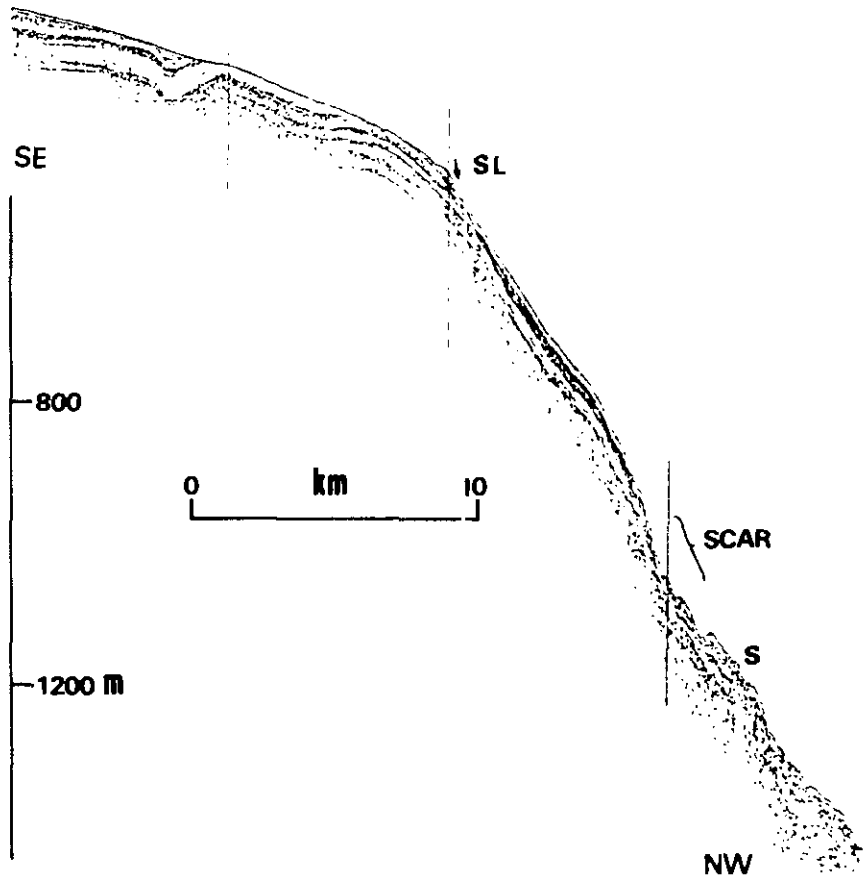


Fig.3. High-resolution (3.5 kHz) profile (line 25, for location see Fig.1) illustrating a slide (S) deposit, subsurface sliding plane (SL) and a scar.

Debrite

In the Ulleung Basin debrites occur as hummocky, transparent and lense- or wedge-shaped deposits on a smooth or irregular subbottom (Figs.4 and 6) near the base-of-slope. The surface of debrites is usually smooth, but in some cases the surface undulates over the seabed. The acoustically transparent debrites lack internal reflectors; some hummocky debrites may have tiny hyperbolae and detached reflectors (Figs.4 and 6). Tiny hyperbolae are tangential to the surface of debrite. Debrites terminate bluntly against topographic highs or thin basinward on the smooth floor (Fig.6). In some areas debrites can be mapped to the turbidites on the basin floor where they form a bulge at the contact.

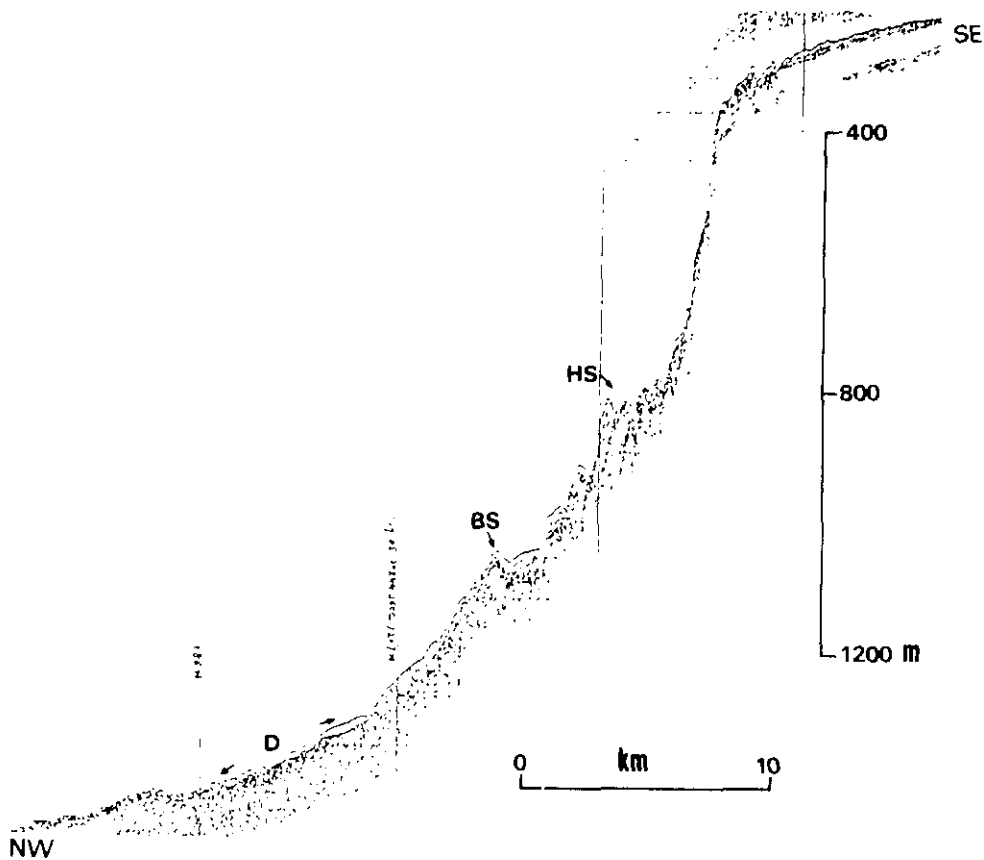


Fig.4. High-resolution (3.5 kHz) profile (line 22, for location see Fig.1) of hyperbolic slump (*HS*) and blocky slump (*BS*). The hyperbolic slumps occur mainly on the middle slope and are transitional to the blocky slump or to the lumpy slump. A debris (*D*) sheet also occurs at the foot of the blocky slump.

Turbidite

Turbidites identified in the Ulleung Basin floor are acoustically reflective and evenly layered, and the subbottom reflectors are laterally continuous for a long distance (Figs.6 and 7), composed probably of fine-grained thin-bedded turbidites (Chough, 1982). The turbidites fill the irregular basin floor and often are undulatory following the subbottom topography. They commonly continue from the buried debris upslope.

ZONAL DISTRIBUTION OF MASS-FLOW DEPOSITS

Prograding shelf sequence

High-resolution (3.5 kHz) reflection profiles across the southern shelf of the Ulleung Basin show that the sediment sequences prograde toward the

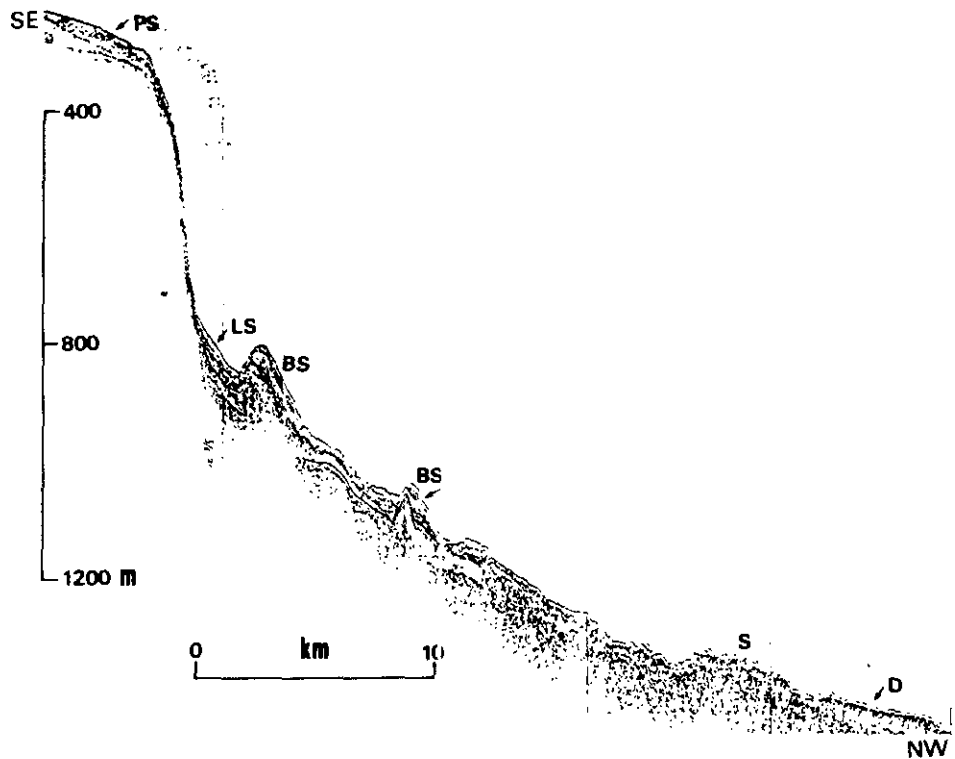


Fig.5. High-resolution (3.5 kHz) profile (line 21, for location see Fig.1) illustrating lumpy slump (*LS*), blocky slump (*BS*) and small hyperbolic slump (*S*). Also shown are the prograding shelf sequences (*PS*) and a debris (*D*) sheet at the foot of the slump block.

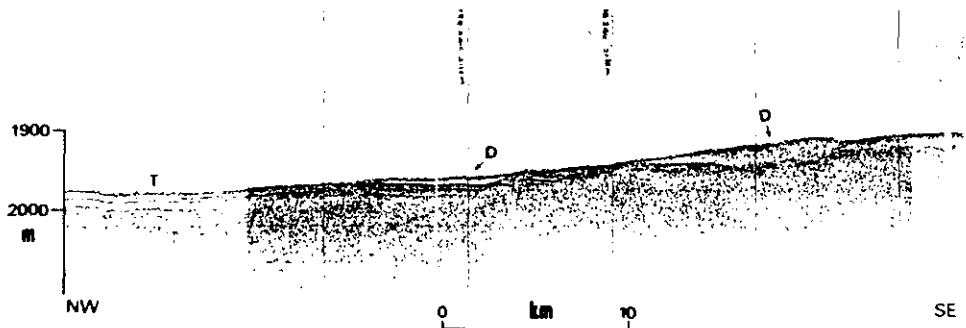


Fig.6. High-resolution (3.5 kHz) profile (line 24, for location see Fig.1) illustrating debris (*D*) and turbidites (*T*).

shelfbreak (Fig.5). At the shelfbreak they are thicker than the penetration limit of 3.5 kHz profiler. In places the sequences are disturbed by fissures in the uppermost sequence, and they are often truncated along the steep upper slope. Where the slope is gentle, they are transitional to slide deposits.

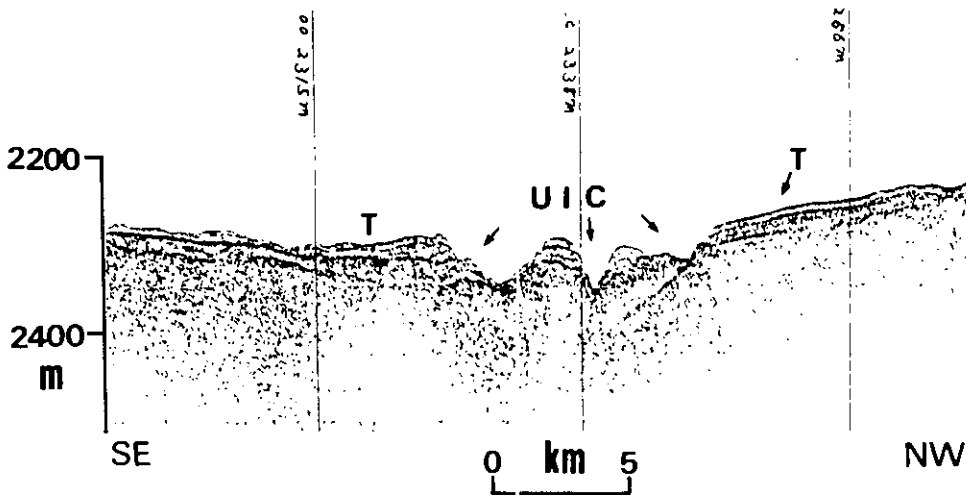


Fig.7. High-resolution (3.5 kHz) profile (line 27, for location see Fig.1) showing the Ulleung Interplain Channel (UIC). The channel (about 10 km wide, 60 m deep) scoured the turbidite (T) sequence

Rock-fall deposit facies

Rock-fall deposits in the Ulleung Basin are restricted to the base-of-slope of the Korea Plateau and Ulleung and Dok Islands. Rock-fall deposits on the base of the Korea Plateau (northwestern base of Ulleung Island) occur in a zone that is up to 12 km wide in water depths between about 1800 and 2100 m (Fig.1). Rock-fall deposits at the northeastern base of Ulleung Island are up to 5 km wide in water depths between about 1500 and 2100 m. Off Dok Island, rock-fall deposits are ubiquitous.

Slide and slump facies

This facies occurs on the upper to lower slope area along the southern margin (Fig.1). The zone of slide and slump deposits is usually rugged. Slides occupy the slope at water depths ranging from about 300 to 1500 m. Individual slide blocks are up to 40 m in thickness and 10 km in length.

Slump deposits tend to prevail on the middle to lower slope. Blocky slumps occur mainly on the southwestern margin at water depths between about 800 and 1300 m (Fig.1). Blocky slump deposits on the southwestern lower slope have discontinuous glide planes. Lumpy and hyperbolic slumps generally occur upslope. Small hyperbolic slumps occur mainly near or at the zone of debrite facies.

Debrite facies

Debrites in the Ulleung Basin form a transitional facies between the slides-slumps and turbidites. They occur in a zone of about 18,000 km² in water

depths between about 800 and 2500 m (Fig.1). Transparent and lense-shaped debrites overlie the previously deposited slumps and buried hummocky debrites near the slope. The surface of debrite on the westernmost region of the debrite zone (Fig.1) is usually smooth or undulatory following the sub-bottom. In contrast to transparent debrite, hummocky debrites extend up-slope to areas with small hyperbolic slumps. The Ulleung Seamount is surrounded by thin debrites on the lower slope.

Turbidite facies

Turbidites in the Ulleung Basin occur on the central basin floor (Fig.1). At the base of the Korea Plateau and Ulleung and Dok Islands, turbidites form large-scale mounds, suggestive of ponded turbidites. Anomalously reflective and small mound-like, discontinuous reflectors are also observed. The turbidite sequences are eroded by the Ulleung Interplain Channel (Figs.7 and 8). The channel has three branches (each up to 5 km wide), asymmetrical in cross section, and has no marginal levees.

SUMMARY

Acoustically identified mass-flow deposits in and around the Ulleung Basin are distributed in a zonal pattern with slides and slumps on the slope, and debrites and turbidites on the base-of-slope and the basin floor. Rock-fall deposits are limited to the base of Ulleung and Dok Islands and off the Korea Plateau. Sediment sequences on the shelf prograde toward the shelfbreak.

The zonal distribution of mass-flow deposits in the Ulleung Basin points to a compelling evidence that mass-wasting processes were initiated at the shelfbreak forming slides and slumps and evolved successively into debris

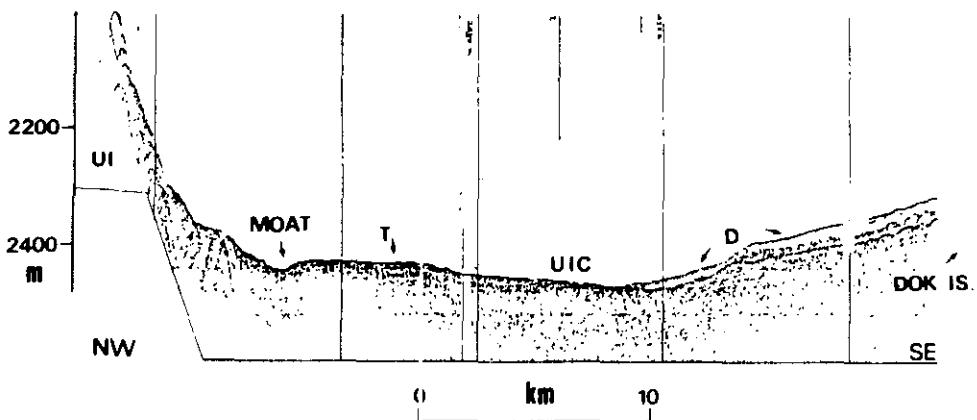


Fig.8. High-resolution (3.5 kHz) profile (line 28, for location see Fig.1) showing a debrite (D) sheet, Ulleung Interplain Channel (UIC) and a moat formed probably by currents at the base of Ulleung Island (UI).

flows and turbidity currents in the deeper part. After initiation of sliding and slumping caused by sediment failure, a high-density fluidized flow such as debris flow probably was formed, which, in turn, becomes turbulent to give rise to turbidity currents. The entire shelfbreak around the Ulleung Basin seems to have provided sediment failure, not confined to any particular area.

On the slope sediment masses were transported through sliding and slumping induced by downslope undercutting. Retrogressive slumping occurs as more liquefied lower supporting mass moves downslope (Prior and Coleman, 1979). Slumping of liquefied masses on the steep slope causes hyperbolic slumps, similar to the gravity deposits (A) of Nardin et al. (1979a). Remobilization of slumps probably results in debris flows, and subsequent generation of turbidity currents at the base-of-slope and on the basin floor.

In the Ulleung Basin, mass-flow processes probably were vigorous during glacial times due to the large volume of terrigenous sediments transported on the shelfbreak (Chough, 1982). Extensive wave action induced by lowered sea level and seismic shocks might have caused the shelfbreak sediments to fail and generate mass flows.

ACKNOWLEDGMENTS

The research was supported through grants to S.K. Chough by the Korea Science and Engineering Foundation (KOSEF), Korea-Japan Scientific Exchange Program and the Research Institute for Basic Sciences (RIBS), Seoul National University. We thank many scientists, the officers and crew of the R/V "Hakurei-Maru" for their cooperation during the GH 77-2 cruise.

REFERENCES

- Almagor, G. and Garfunkel, Z., 1979. Submarine slumping in the continental margin of Israel and northern Sinai. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, 63: 324-340.
- Bunn, A.R. and McGregor, B.A., 1980. Morphology of the north Carolina continental slope, western north Atlantic, shaped by deltaic sedimentation and slumping. *Mar. Geol.*, 37: 253-266.
- Chough, S.K., 1982. Turbidites in the Ulleung (Tsushima) back-arc basin, East Sea (Sea of Japan). In: M. Hoshino and T. Shihasaki (Editors), *Geology of Japan Sea*. Tokai Univ. Press, Tokai, pp.365-376.
- Chough, S.K., 1983. *Marine Geology of Korean Seas*. IHRDC Publishers, Boston, Mass., 157 pp.
- Chough, S.K., 1984. Fine-grained turbidites and associated mass flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan). In: D.A.V. Stow and D.J.W. Piper (Editors), *Fine-grained Sediments, Deep-Water Processes and Environment*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 14.
- Cook, H.E., 1979. Ancient continental slope sequences and their values in understanding modern slope environment. In: L.J. Doyle and O.H. Pilkey (Editors), *Geology of Continental Slopes*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Publ., 27: 287-305.
- Cook, H.E., Field, M.E. and Gardner, J.V., 1982. Characteristics of sediments on modern and ancient continental slopes. In: P.A. Scholle and D. Spearing (Editors), *Sandstone Depositional Environments*. Mem. Am. Assoc. Pet. Geol., 31: 329-364.
- Crevello, P.D. and Schlager, W., 1980. Carbonate debris sheets and turbidites, Exuma Sound, Bahama. *J. Sediment. Petrol.*, 50(4): 1121-1148.

- Damuth, J.E., 1980. Use of high frequency (3.5–12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep sea: a review. *Mar. Geol.*, 38: 51–75.
- Damuth, J.E. and Hayes, D.E., 1977. Echo character of the east Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary process. *Mar. Geol.*, 24: 73–95.
- Dingle, R.V., 1980. Large allochthonous sediment masses and their role in the construction of the continental slope and rise off southwestern Africa. *Mar. Geol.*, 38: 333–354.
- Embley, R.W., 1976. New evidence for occurrence of debris flow deposits in the deep-sea. *Geology*, 3: 371–374.
- Embley, R.W., 1980. The role of mass transportation in the distribution and character of deep ocean sediments with special reference to the Atlantic. *Mar. Geol.*, 38: 23–50.
- Embley, R.W. and Jacobi, R., 1977. Distribution and morphology of large sediment slides and slumps on Atlantic continental margins. *Mar. Geotechnol.*, 2: 205–228.
- Embley, R.W. and Morley, J., 1980. Quaternary sedimentation and paleoenvironmental studies off Namibia, southwest Africa. *Mar. Geol.*, 36: 183–204.
- Field, M.E., 1981. Sediment mass-transport in basins: control and patterns. In: R.G. Douglas, I.P. Colburn and D.S. Gorsline (Editors), *Depositional Systems of Active Continental Margin Basins*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Short Course Notes, pp.61–83.
- Gorsline, D.S., 1978. Anatomy of margin basins. *J. Sediment. Petrol.*, 48: 1055–1068.
- Honza, E., Tamaki, K., Yuasa, M. and Murakami, F., 1979. Geological map of the southern Japan Sea and Tsushima Strait, 1:1,000,000. *Geol. Surv. Jpn.*
- Jacobi, R.D., 1976. Sediment slide on the northwest continental margin of Africa. *Mar. Geol.*, 22: 157–173.
- Jacobi, R.D. and Mrozowski, C.L., 1979. Sediment slides and sediment waves in the Bonin Trough, western Pacific. *Mar. Geol.*, 29: M1–M9.
- Jeong, K.S., 1983. Mass flow deposits in the Ulleung back-arc basin, East Sea. Unpubl. M.S. thesis, Seoul National University, Seoul, 128 pp.
- Karig, D.E., Ingle Jr., J.C. et al., 1975. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 31. U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C., 927 pp.
- Knebel, H. and Carson, B., 1979. Small scale slump deposits, middle Atlantic continental slope, off eastern United States. *Mar. Geol.*, 29: 221–236.
- Lee, G.H., 1983. Distinctive properties of turbiditic and non-turbiditic muds in the Ulleung back-arc basin, East Sea. Unpubl. M.S. thesis, Seoul Natl Univ., Seoul, 91 pp.
- Lewis, K.B., 1971. Slumping on a continental slope inclined at 1–4°. *Sedimentology*, 16: 97–110.
- McGregor, B.A. and Bennett, R.H., 1979. Mass movement of sediment on the continental slope and rise seaward of Baltimore Canyon Trough. *Mar. Geol.*, 33: 163–174.
- Nardin, T.R., Edwards, B.D. and Gorsline, D.S., 1979a. Santa Cruz Basin, California borderland: Dominance of slope processes in basin sedimentation. In: L.J. Doyle and O.H. Pilkey (Editors), *Geology of Continental Slopes*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Publ., 27: 209–222.
- Nardin, T.R., Hein, F.J., Gorsline, D.S. and Edwards, B.D., 1979b. A review of mass flow movement processes, sediment and acoustic characteristics, and contrasts in slope and base-of-slope systems versus canyon-in-basin systems. In: L.J. Doyle and O.H. Pilkey (Editors), *Geology of Continental Slopes*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Publ., 27: 61–73.
- Pickering, K.T., 1982. The shape of deep-water siliciclastic systems. A discussion. *Geo-Mar. Lett.*, 2: 41–46.
- Prior, D.B. and Coleman, J.M., 1979. Digitally acquired undistorted side-scan sonar images of submarine landslides, Mississippi river delta. *Geology*, 7: 423–425.
- Roberts, D.G. and Kidd, R.B., 1979. Abyssal sediment wave fields on Feni Ridge, Rockfall Trough: long-range sonar studies. *Mar. Geol.*, 33: 175–191.
- Stanley, D.J., Rehault, J.P. and Stukenrath, R., 1980. Turbid layer bypassing model in the Corsican Trough, northwestern Mediterranean. *Mar. Geol.*, 37: 19–40.

- Summerhayes, C.P., Bornhold, B. and Embley, R.W., 1979. Surficial slides and slumps on the continental slope and rise of southwest Africa: A reconnaissance study. *Mar. Geol.*, 31: 265-277.
- Tamaki, K., Murakami, F. and Honza, E., 1978. Continuous seismic reflection profiling survey. In: E. Honza (Editor), *Geological Investigation in the Northern Margin of the Okinawa Trough and the Western Margin of the Japan Sea*. *Geol. Surv. Jpn., Cruise Rep.*, 10: 39-42.

建設需要創出面에서 본 沿岸域開發事業

洪承湧 / 韓國科學技術院 附設海洋研究所 海洋政策研究室長

1. 序

70年代의 高度經濟成長은 韓國國民의 興지를 세계로 펼쳐 나갈 수 있다는 무한한 潛在力을 보여준 계기이기도 하나, 주어진 여건을 좀더 合理的으로 이용·開發해야 한다는 문제점을 제기해 주었던 시기이기도 하다. 현재 우리나라의 人口는 4,000萬名이고 2000년에는 5,000萬名으로 증가될 전망이며, 각종 자원(食糧, 에너지 등)의 供給源이자 産業 및 도시공간의 지속적인 需要를 고려해볼 때 沿岸域開發計劃은 海洋指向的 國토 계획의 再整立이라는 차원에서 長期合目的으로 수립돼야 하겠다.

오늘날 沿岸域開發의 수급전망은 두가지 側面에서 고려될 수 있다. 그중 하나는 海洋自體의 이용에 관한 것으로 漁場, 항만, 海洋觀光 등으로 이용되는 空間需要와 다른 하나는 내륙에

서의 土地利用 需給均衡을 위한 代替空間으로서 매립을 통한 간척지 조성은 그 대표적인 경우라 할 수 있다.

그러나 우리나라에서는 沿岸域에 관해서 그 명칭과 범위가 명확하게 결정되어 있지 못하고 또한 政府의 各部處別로 개발 계획이 수립되어 海域側의 생산성과 環境保全의 조화를 이룩하지 못하는 문제점이 야기되고 있다.

따라서 本稿에서는 沿岸域의 개념, 범위, 主要開發現況과 장기수급전망을 개괄적으로 살펴보기로 한다.

2. 沿岸域의 概念과 管理目的으로서의 範圍

가. 一般的 概念

沿岸域은 새로운 國土空間의 창출이라는 점에서 主要魚種의 서식지, 간척에 의한 농경지, 下水處理 및 廢棄物處理場, 항만, 臨海工團 등 다양하게 이용되고 있으며, 21세기에는 해상도시, 공항, 海中住居, 海底備蓄場으로서의 수요가 전망된다.

그러나 沿岸域에 대한 개념은 美國에서조차 定義가 다양하다.

예를 들면 조지아州에서는 「大陸棚斜面에서 육상의 洪積層 100피트 等高線에 이르는 범위의 육지·해저·해면 및 해면위의 공간이 沿岸域」이라고 정하고 있으며, 캘리포니아州에서는 바다쪽으로 3마일과 내륙쪽으로 0.5마일까지를 주된 沿岸管理對象으로 하고 있다.

우리나라에서도 沿岸漁業, 沿岸海, 沿岸帶 등이 있으며, 本稿에서

다루는 沿岸域의 海域側인 沿岸海에 대한 설명으로 「沿岸海는 해안 언저리의 바다이며 領海의 일부로서 간조때 재어 최소한 3海里이내이나 최대한은 확정되어 있지 않다」고 되어 있다.

대체로 海岸이나 臨海는 바다에 접한 육지부분을 의미하는 것이 일반적이고, 海岸은 육지에 연해있는 얇은 바다부분으로 지칭된다. 先進國의 경우 管理對象으로서의 沿岸域은 定義가 유연성을 갖고 있다.

예를 들면 環境保畧의 문제에서 상호영향을 받는 범위를 확정하려 할 때는 상당히 넓은 범위를 가리키게 되나, 해일이 범람되는 區域을 말할 때는 상대적으로 좁은 범위를 가리키게 된다. 따라서 沿岸域에서 문제가 되는 利用活動이나 事件들을 모두 포함하기 위해서는 그 개념은 包括性을 갖는 것이 바람직하며, 종합적인 계획 및 관리를 위해서는 沿岸域의 특성에 관한 情報가 축적되어야 하겠다.

나. 管理目的을 위한 沿岸域의 範圍

沿岸域은 일반적으로 바다와 육지가 접하는 부분으로 海洋指向的 국토계획의 次元에서 환경보전과 沿岸域 개발을 위해서는 일정한 管理領域에 대한 범위설정이 필요하다. 일반적으로 後述하는 네가지 기준들이 사용되고 있으나 어떤 경우에는 이들 基準들이 혼합되어 사용되고 있다. 각각의 基準에 대한 특징과 沿岸域 범위 設定에 따른 長·短點을 살펴보기로 한다.

(1) 自然的 基準

가장 많이 이용되는 기준으로 陸地쪽의 자연적 경계로는 海岸山界, 流域 또는 주요한 海岸道路 등이 될 수 있다. 바다 쪽으로의 전형적인 경계로는 大陸棚臺地 및 해수의 端이다. 이러한 自然的 기준의 문제점은 大陸棚이나 大陸棚臺地를 측정키 위해 일반적으로 통일된 기준이 없다는 점이다. 하지만 표현하기에 단순하고 이해하기 쉽다는 장점이 있다.

(2) 行政的 基準

國家에 따라서 기존의 政治的, 法律的 細部區分을 이용하여 沿岸域을 정의하기로 한다. 기존 行政區域 境界를 이용하는 것은 쉽게 이해되고, 반영되기 쉬우며 법적으로 실행가능하다는 장점이 있다. 그러나 단점으로 이 기준은 너무 制限的으로 보호·관리돼야 할 모든 구역을 포함할 수 없다는 점이다.

(3) 任意距離基準

미국의 캘리포니아州는 대도적 임의거리基準을 설정하고 있다. 이러한 정의는 적용상 용이하고 간편성을 지니고 있으며, 단점은 구역이 沿岸地形, 중요한 자연시스템의 위치 및 經濟的 활동방식과 관계없이 설정된다는 점이다.

(4) 特定環境單位基準

특정되어진 환경단위를 열거하여 혼합적 資源管理區域을 설정하는 것으로, 생태학적으로 그리고 과학적으로 바람직한 기준을 가질 수 있다. 그러나 환경단위 그 자체로는 연안역의 범위를 쉽게 이해할 수 없을뿐만 아니라 각각의 환경단위의 범위 내지 구성요소에 대한 개념이 부족하여 법적 분쟁의 여지가 남

는다. 따라서 연안역의 管理領域을 정의하기 위해서는,

첫째로 포괄적인 방법으로 분명하게 정의돼야 하고, 地圖(또는 海圖)作成이 가능해야 하며, 둘째로 가능한 한 기존의 社會的, 정치적 세부구분과 일치해야 하고, 끝으로 경제적으로 또한 환경적으로 중요한 자원구역을 포함해야 한다.

3. 沿岸域 開發現況 및 需給展望

가. 主要開發現況

(1) 水産増·養殖場

우리나라 沿岸域은 한·난류가 교류하는 다양한 海況으로 세계 4大魚場의 하나인 북태평양어장에 속하여 각종 수산자원의 산란번식에 好條件을 구비하고 있어 여러 품종의 増·養殖의 適地이다. 특히 西海岸과 南海岸은 이미 海藻類 및 貝類를 생산하고 있으며, 90年代 초반부터는 魚類의 대형牧場化가 가능할 것으로 미루어 沿岸域의 수요는 증대될 것으로 전망된다.

82年末 현재 총 수산물 생산량은 264萬噸이고 이중 천해 양식업은 約 23%이다. 이는 72年末 현재 12%보다 증대한 것으로 차후 점차 잡는 어업에서 기르는 漁業으로의 전환에 따라 水産物 増·양식장의 수요는 더욱 증대될 것이다. 우리나라의 水産物 増·養殖場의 개발현황은 약 885 處이며, 開發適地는 약 2,846 處로 현재 約 31%정도 활용되고 있다.

정부에서는 中東建設景氣의 퇴조에 따른 유휴장비를 활용하여

서·남해안 일대 59개 해역을 매립하여 6,352 ㎞에 해당하는 국토확장을 계획하고 있다. 그러나 이러한 대규모 간척사업은 沿岸 海洋生態系를 파괴시킬 뿐 아니라 水産業 특히 천해양식업과 공동어업에 많은 피해를 줄것으로 예상된다. 따라서 수산업에 종사하는 漁民의 轉業 내지는 이주문제, 1,110여건에 달하는 어업권과 330여개소에 달하는 기개발 어항시설의 이전문제 등이 선정되어야 한다.

(2) 骨材資源·鹽田區域

陸上骨材資源이 고갈됨에 따라 沿岸域의 골재資源이 새로이 각광받고 있으며 골재자원으로는 석영질이 함유된 규사와 규석이 있으며 83年 生産量은 각각 約 64萬噸과 84萬噸이다. 해빈규사광상은 서해 중부 안면도, 목포와 남해해안 및 자은도, 춘정도지구 등이다. 天日鹽은 83年 약 50萬噸을 생산하며, 주요지역은 경기도 화성군, 충남 당진군, 서산군, 전남의 신안군 등으로 그 면적은 약 123.4 ㎞이다.

(3) 文化觀光區域

우리나라의 文化觀光區域은 대체로 국립공원, 도립공원, 교통부 지정 관광지, 國立觀光地와 自然 및 文化財 保全地 등으로 구분되며, 특히 자연 및 文化財 保全地는 자연환경 보전지구, 문화재 보전지구, 관광·휴양지구, 해안보전지구, 수산자원 보전지구 등으로 나누어 지정되고 있다. 자연환경 보전지구로는 충남의 서산해안국립공원으로 지정되었고 경남의 노량지구, 한산지구, 해금강지구는 한려해상국립공원으로 지정되었으며 도립공원으로는 전북의 변산반도 도립공원과 전남의 월출산도립공원이 지정되어 있

다. 이밖에 海水浴場은 66 個所, 낚시터로는 20 個所, 市·郡立公園이 15 個所 등이 개발·이용되고 있다.

그러나 政府의 기본계획에 의해 자연보존, 농어촌 자연환경 및 집단지설지구 등 4 개지구로 지정은 되어 있으나 세부개발을 위한 기본설계 및 시설계획이 지연되어 있어 국민소득 증대에 따른 국민의 海洋性 레크레이션장으로서의 活用に 문제점을 제기해 주고 있다. 특히 삼봉海水浴場의 경우 백사장이 10 여km나 되어 국내 해수욕장중 가장 긴 백사장과 경사가 완만해 개발 적지인데도 인근에 유세제조기업의 코래 채취장이 있어 백사장이 무용화 될 우려를 야기하고 있다. 현재 國立公園을 포함한 文化觀光地로는 陸域 1,027 km², 海域 2,339 km²가 지정·開發되고 있다.

(4) 干拓埋立地

바다를 막아 陸地로 만드는 干拓埋立事業은 한반도의 지도를 하루가 다르게 變形시키는 대형사업이다. 國土開發研究院이 82 年에 조사한 「干拓資源 실태분석 및 活用方案研究」에 따르면 表 1 과 같이 7,265 km²가 간척 가능하며, 이중 926 km²가 이미 개발된 것으로 조사되었다. 기간별 간척매립조성은 제 1, 2 次 경제개발 계획기간에는 2,224 地區를 개발하였으나 제 3, 4 次 기간중에는 355 地區를 개발하였다. 이는 제 1, 2 次 경제개발기간중 활발한 간척의 원인이 되었던 外撥團體의 양곡지원 중단과 工業化 정책에 기인한다고 볼 수 있다. 그러나 종래에 추진해 왔던 소규모 형태의 개발이 지양되고 大單位 農業地區 개발방식이 전환됨에 따라 개발면적은 오히려 前期間의 2.3 배에

달하는 246 ㎞를 준공하게 되었다. 현재 食糧自給率은 48.7 %로 年間 20 億弗 정도의 農産物을 수입하고 있는 우리나라의 실정에 비추어 향후 食糧自給化를 위한 대단위 農耕地開發事業은 계속 추진될 것으로 예상된다.

〈表 1〉 海岸空間의 利用構造와 開發實績

〈單位：千ha〉

區 分	開發可 能地(A)	實 績 (B)		B/A	
		地區數			
干拓埋立地	726.5	2,937	92.6	12.7	農耕地 85 %
臨海工業地	23.0	10	9.5	41.3	
水産養殖地	182.6	44	78.5	43.0	保全地區 139.6 ha
發電用地	-	22	0.5	-	
港灣水域	-	45	14.3	-	漁港除外
天日鹽田	-	1,795	12.9	-	干拓地와 重複
國·公立公園	-	4	80.8	-	閑麗, 瑞山, 邊山, 多島海

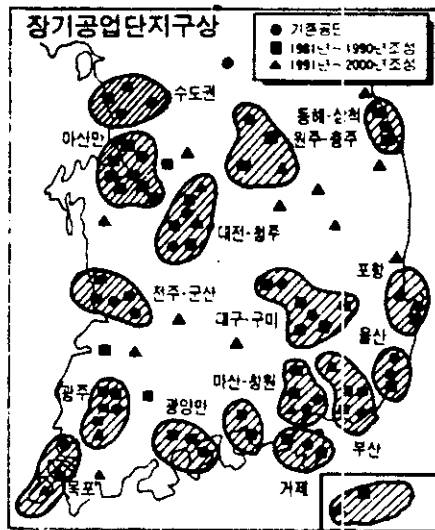
資料：國土開發研究院, 干拓資源實態分析 및 活用方案研究, 1982

(5) 工業用地

沿岸域은 정부의 重化學工業 시책과 立地條件의 優越성에 따라 臨海指向的 工業立地가 계속 증가하고 있다. 주요 공단별 입지유형을 보면 임해중화학기지로서 창원공단, 여천공단 등이 입지되어 있고, 특수지역공단으로 삼천포, 반월공단과 지방공단으로서 목포, 순천, 군산, 마산공단과 기타 민간공단으로서 부산, 인천공단등 총 3,794 個 工團이 입주되어 있다. 최근 KDI가 연

구한 「2000年을 向한 國家長期發展構想」보고서에 따르면 2천년에는 工業用地 수요가 지금보다 2배에 달할 전망이다. 부산지역은 김해, 밀양, 울산 등 인접공단을 조성하고 東·南海岸은 현재 미개발상태로 남아 있는 공업지역을 계속 이용하고 서해안 지역은 中共과의 교역에 대비하여 아산, 군산, 목포에 90年代의 대규모 산업기지를 건설하는 것으로 보고한 바 있으며 <그림 1>과 같다.

<그림 1> KDI의 長期工業用地 구상



자료 : 한국개발연구원 (KDI)의 「2000年을 向한 國家長期發展構想」, 1984

업종별 임해의존도를 보면 원재료의 중량이 크고 해상수송에 의존하며 제품원가중 수송비의 비율이 큰 제재목재업은 60.7%로 가장 높았고 대량의 폐재 (slag)를 방출하므로 이를 용

〈表 2〉 業種別 臨海依存度

(單位: %)

업종별	총계	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남
제조업	31.9	47.4	41.7	3.6	36.6	46.5	8.8	76.7
음식료품	34.9	37.5	60.0	-	27.3	40.0	33.3	75.0
섬유·의복·가죽	25.5	35.9	-	4.3	20.0	12.5	1.2	50.0
제재·목제품·가구	60.7	79.2	-	-	30.0	-	-	100.0
종이·종이제품·인쇄출판	1.8	86.7	-	-	50.0	-	-	33.3
화학·석유·석탄·고무·프라스틱	39.3	48.4	100.0	8.3	60.0	88.9	22.2	93.5
비금속광물	30.2	37.5	100.0	-	100.0	60.0	20.0	28.6
제1차금속	44.0	65.9	50.0	12.5	50.0	-	50.0	66.7
금속제품·기계·전기기구·수송장비	30.8	48.5	50.0	-	-	37.5	-	85.9
기타	25.8	44.4	-	-	33.3	50.0	-	100.0

주: 1. 1979년 12월말 현재 자본금 50,000천원 이상업체를 대상으로 함.

2. 항만에 위치한 업체를 임해업체로 하였음.

3. -는 해당지역에 임해업체가 없는 경우임.

4. 100%는 해당지역의 조사대상 업체가 전부 임해업체인 경우임.

5. 수치는 해당지역의 자본집적도로 산출하였음.

자료: 한국기업조사 총록(한국생산성본부)

이하계 처리할 필요가 있고 수송비의 비중이 큰 제1차금속업도 44%로 높은 비중을 차지하고 있다. 表2는 업종별 임해의존도를 한국생산성본부가 조사한 요약이다.

(6) 都市用地・發電用地・港灣用地

都市用地는 인구증가와 臨海工團 후배지로서 沿岸域開發의 큰 부분을 차지하고 있다. 仁川・忠武・釜山 등 대도시를 포함하여 간척등 매립확장으로 이미 3'6 ㎞를 확장하였으며, 최근 國土開發研究院의 報告에 따르면 2001年까지 1,122 ㎞의 수요가 예상된다.

發電用地는 주요 原子力發電所와 火力발전소가 沿岸域에 위치하여 약 16 ㎞를 이미 指定使用하고 있으며, 天惠의 無公害에너지인 潮力發電所 건설을 위한 用地로서 江華郡 信島, 牙山灣, 加齒林灣 등의 約 104 ㎞를 추가로 用途指定할 계획이다.

한편 輸出入 物動量의 거의 대부분을 海運에 의존하고 있는 우리나라 실정에 비추어 인천, 부산, 목포 등 기존항의 廣域化 개발추세에 있으며, 陸域측의 경우 2.4 ㎞를 이미 개발활용하고 있으며 海域側으로 294.4 ㎞를 개발하였다.

그러나 2000年代 우리나라의 輸出入額이 約 450 億弗로 예상됨에 따라 항만을 위한 沿岸域開發은 한층 더 활발할 것으로 예상된다.

기타 沿岸域의 需要가 예상되는 部門으로는 海上空港, 海中備蓄施設, 海底住居施設 및 海底廢棄物 처리장 등의 수요가 예상되며 이는 海中土木, 건축, 金屬・材料 등 해양공학기술의 진보에 따라 진행될 것으로 전망된다.

나. 需給展望

앞서 언급한 바와 같이 沿岸域의 활동은 新國土의 創出이라는 점에서 海洋指向的 國土계획의 轉捩을 보여준다 하겠다. 本稿에서는 國土開發研究院, 韓國開發院 등 연구기관의 조사를 뒷받침으로 長期需給展望을 살펴보기로 한다.

需給展望에 앞서 本稿의 沿岸域의 정의는 앞서 기술한 바와 같이 陸域側은 行政的 기준에 근거한 臨海市郡을 계상했고, 海域側은 자연적 기준에 근거하여 領海 3海里 이내를 개발, 管理 가능한 沿岸域으로 설정하였다. <表 3>은 各用途別 개발

<表 3> 沿岸域 개발현황 및 供給可能面積

(單位: ㎞²)

用 途 別		陸 域	海 域
수 요 예 측 (A)	水産增·養殖地		2,846.2
	漁業權漁場		2,037.4
	臨海都市	1,398.3	
	工業用地	336.1	
	發電用地	16	117.2
	항만	2.4	294.4
	文化觀光區域	1,027	2,399.4
	農耕地	8,532.9	
計		11,112.7	7,694.6
공급가능면적(B)		31,747.9 (林野19,122.5 ㎞ ² 包含)	52,954
需要對供給(A/B)		35% (林野除外時88.9%)	14.5%

현황과 供給可能한 면적을 요약한 것으로 공급가능한 면적은 陸域 12,625 km^2 , 海域 52,954 km^2 이다. 本資料는 84年度末을 기준으로 작성하였으며, 活動間에 一部重複은 調整하지 않았다.

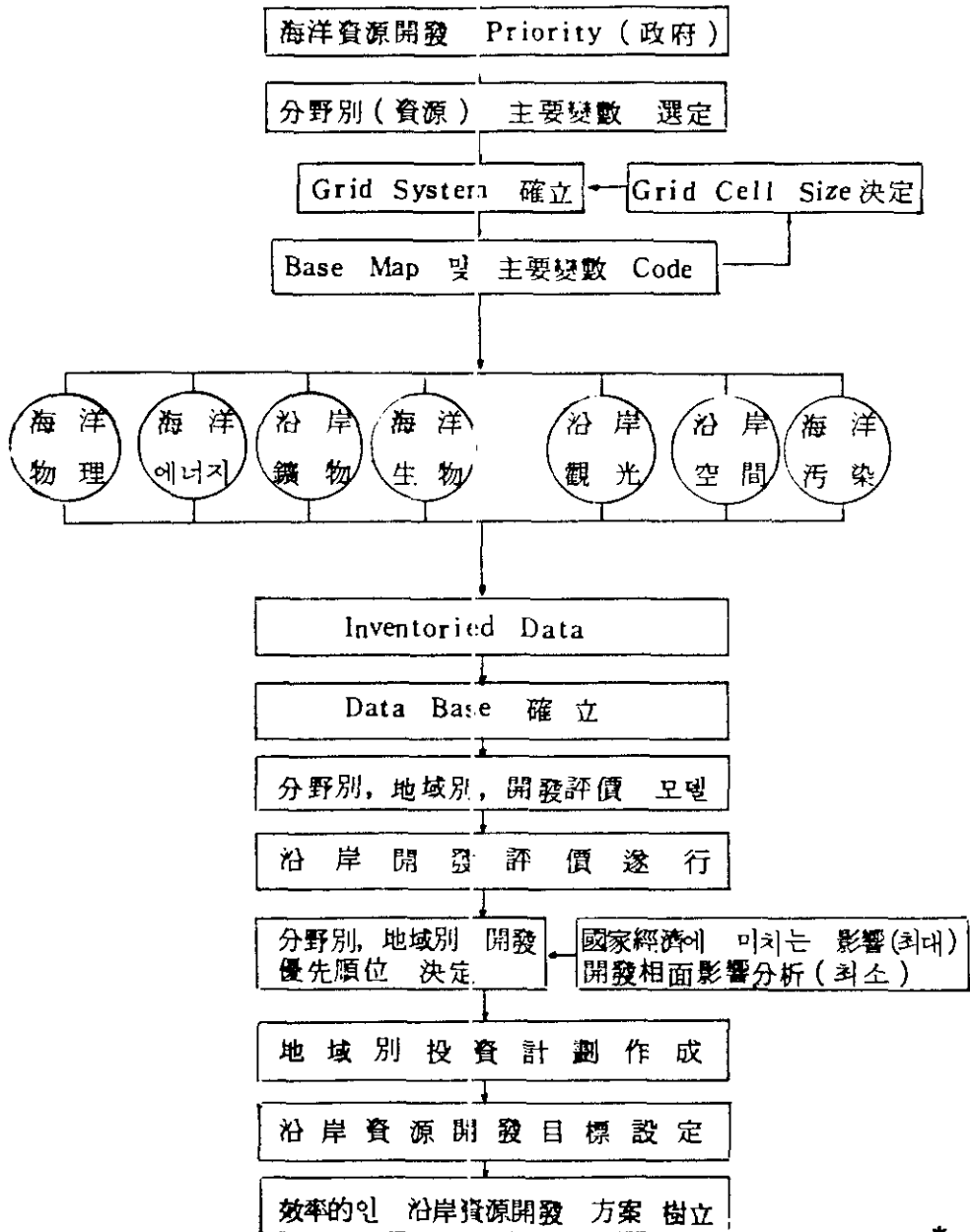
〈表3〉에서 보듯이 陸域側은 林野가 60%로 차지하고 있으며, 供給可能面積中 林野를 제외할 경우 次後의 活用可能面積은 11.1%에 불과하다. 그러나 海域側의 수요예상에 비한 供給可能面積은 아직도 85.5%의 여분이 있어 海洋指向的 國土 계획의 수립이 불가피함을 나타내준다 하겠다. 海域側의 수요豫想의 경우 대부분 用途指定에 불과하고 세부시행지침이 未樹立되어 있는 형편으로 효용의 極大化를 위한 잠재력은 크다 하겠다.

4. 結 論

沿岸域은 大陸棚資源開發, 沿岸生物資源의 개발, 海洋觀光開發 및 干拓地造成 등 당면하여 있는 우리나라 종합적인 國土空間利用과 해양개발에 있어서 중요한 국가자원이 되고 있다. 이러한 沿岸域의 각종자원을 효율적으로 이용개발하기 위하여는 무엇보다도 먼저 沿岸域에 대한 개념과 그 범위를 설정할 필요가 있다. 그러기 위해서는 沿岸域의 환경을 종합적으로 파악해야 하며, 이를 위해서는 沿岸域에 관한 기존의 기초자료를 체계적으로 정리하여 利用狀況을 분석하여야 한다.

결론적으로 沿岸域의 효율적인 利用과 개발을 수행하기 위해서는 沿岸域의 全般的인 현황조사와 基本計劃의 수립이 선행되어야 하며, 따라서 국가정책으로 추진되기 위한 과정은 다음 表 4와 같이 추진되어야 하겠다.

〈表 4〉 效率的인 沿岸資源開發方案 樹立을 위한 過程



*

建設需要創出面에서 본 潮力發電施設

宋 源 吾 / 海洋研究所 海洋工學室長·理博

1. 序 論

1970년대 한동안 과열되던 海外建設景氣가 1980년대에 접어들면서부터 퇴조하기 시작해 건설업체들이 울상이 되었다. 그동안 海外建設景氣의 퇴조에 대해 예상도 잘못하고 무턱대고 사업을 확장했던 후유증이 이렇게 빨리 닥쳐오니 참 안타까운 일이 아닐 수 없다. 이 좁은 땅덩어리 위에서 海外建設景氣가 되살아날 때까지 그런대로 지탱해 갈려면 國內建設需要創出이라도 생각해야겠다. 本稿에서는 建設需要創出問題와 연관지어 潮力發電과 國內外事業動向을 소개한다.

2. 國內에 너지問題

潮力發電은 潮汐 干滿 現象을 이용하여 電氣를 생산하는 발

적인 사업이다.

는 고갈될 것으로 전망되고 있어 대체에너지 資源開發은 필연
 그렇다고 中東石油가 무한정 있는 것도 아니고, 2000 년대에
 定勢를 유지하면서 다시 잠잠해지고 있다.

를 때마다 심심치 않게 거론되었지만, 최근 몇년간 油價가 쏠
 우리나라에서 潮力發電所 건설은 1970 년대에 석유파동을 겪
 려는 정부의 에너지정책에도 크게 기여할 수 있다.

개발은 국내에너지의 自給度를 높이고, 에너지원을 다변화 시키
 따라서 부존에너지 자원이 빈약한 우리나라에서 潮力에너지
 전면료가 필요치 않아 연료확보의 부담도, 環境汚染 문제도 없다.
 신문기사거리가 되고 있다. 그러나 潮力에너지의 개발에는 받
 있으며 거기에는 原子力은 안전성 문제, 방사능오염문제 때문에
 氣 및 水質汚染源이 되고 있어 環境汚染은 사회문제가 되고
 한편 이들 연료가 연소시에 발생하는 매연, 가스, 廢熱은 대
 너지의 海外依存度를 잘 반영해 주고 있다.

또한 原油의 상당부분이 발전연료로 사용되어 우리나라 에
 油導入에 지출되어 輸出總額의 24%를 차지한다.

도 우리나라 해외 輸出高는 246 億달러였으나, 59 億달러가 原
 렸으며, 油價暴騰이 국가경제에 미치는 부담도 컸었다. 1983년
 외수입에 의존하고 있어 油類波動 때마다 물량확보에 곤욕을 치
 이를 중에서 水力을 제외하고는 전부가 다 發電燃料을 해
 있다.

수 있으며, 이들은 현재 우리나라의 發電設備의 주종을 이루고
 전방식이다. 일반적으로 발전이라 하면 水力, 火力, 原子力을 들

建設需要創出面에서 본 潮力發電施設

宋源吾 / 海洋研究所 海洋工學室長·理博

1. 序 論

1970년대 한동안 과열되던 海外建設景氣가 1980년대에 접어들면서부터 퇴조하기 시작해 건설업체들이 울상이 되었다. 그동안 海外建設景氣의 퇴조에 대해 예상도 잘못하고 무턱대고 사업을 확장했던 후유증이 이렇게 빨리 닥쳐오니 참 안타까운 일이 아닐 수 없다. 이 좁은 땅덩어리 위에서 海外建設景氣가 되살아날 때까지 그런대로 지탱해 갈려면 國內建設需要創出이라도 생각해야겠다. 本稿에서는 建設需要創出問題와 관련하여 潮力發電과 國內外事業動向을 소개한다.

2. 國內에 너지問題

潮力發電은 潮汐 干滿 現象을 이용하여 電氣를 생산하는 발

전방식이다. 일반적으로 발전이라 하면 水力, 火力, 原子力을 들 수 있으며, 이들은 현재 우리나라의 發電設備의 주종을 이루고 있다.

이들 중에서 水力을 제외하고는 전부가 다 發電燃料를 해외수입에 의존하고 있어 油類波動 때마다 물량확보에 곤욕을 치렀으며, 油價暴騰이 국가경제에 미치는 부담도 컸었다. 1983년도 우리나라 해외 輸出高는 246億달러였으나, 59億달러가 原油導入에 지출되어 輸出總額의 24%를 차지한다.

또한 原油의 상당부분이 발전연료로 사용되어 우리나라 에너지의 海外依存度를 잘 반영해 주고 있다.

한편 이들 연료가 연소시에 발생하는 매연, 가스, 廢熱은 大氣 및 水質汚染源이 되고 있어 環境汚染은 사회문제가 되고 있으며 거기에다 原子力은 안전성 문제, 방사능오염문제 때문에 신문기사거리가 되고 있다. 그러나 潮力에너지의 개발에는 발전연료가 필요치 않아 연료확보의 부담도, 環境汚染 문제도 없다.

따라서 부존에너지 자원이 빈약한 우리나라에서 潮力에너지 개발은 국내에너지의 自給度를 높이고, 에너지원을 다변화 시키려는 정부의 에너지정책에도 크게 기여할 수 있다.

우리나라에서 潮力發電所 건설은 1970년대에 석유파동을 겪을 때마다 십십치 않게 거론되었지만, 최근 몇년간 油價가 安定勢를 유지하면서 다시 잠잠해지고 있다.

그렇다고 中東石油가 무한정 있는 것도 아니고, 2000년대에는 고갈될 것으로 전망되고 있어 대체에너지 資源開發은 필연적인 사업이다.

3. 潮力發電

일반적으로 바다의 潮汐現象은 하루에 두번씩 생긴다. 이와 같은 潮汐干滿의 潮差는 해와 달의 상대적인 위치에 따라서 주기적으로 변하며, 潮差가 클때를 大潮期, 작을때를 小潮期라 한다. 대양에서 潮汐波의 振幅은 작지만 연안에 가까워지면서 江河口나 灣에서는 地形的인 영향으로 增幅되어 潮差가 커진다. 이러한 현상은 지구상에서도 그 지점이 극히 제한되며, 주요지점에서의 潮差는 (표 1)과 같다. 이들 지점부근에서의 潮汐干滿에 의한 위치에너지의 賦存量은 아주 老大하여, 이 에너지를 동력원으로 사용한 것은 이미 오래전부터 있었다.

〈 표 1 〉 世界潮力地點 위치도

地 點	平均潮差(m)	備 考
1. Minas Basin	12.3	Canada
2. Cumberland Basin	9.9	Canada
3. Severn Estuary	8.5	U K
4. Iles Chausey	8.0	France
5. San Jose	6.0	Argentina
6. Gulf of Mezen	6.5	USSR
7. Asan Bay	6.1	Korea
8. Gulf of Kutch	5.0	India

이들 에너지를 이용하는 방식은 크게 나뉘서 4가지로 분류할 수 있다.

1) 浮子式 (일정크기의 浮체가 潮位變動에 따라 변하는 위치에너지이용)

2) 壓縮空氣式 (밀실의 공기를 潮位變動에 따라 압축시켜 압축공기이용)

3) 潮流式 (潮汐에 의한 潮流의 흐름이용)

4) 潮池式 (潮차가 큰 灣의 입구나 江河口를 막아 潮池를 만들고, 외해조석과 潮池内の 水位差 이용)

이미 이들 방식에 대한 발명특허나 고안건수만 해도 수없이 많지만 대규모로 실용화된 것은 潮池式 정도이며, 현재 가동중인 潮力發電所는 전부 다 潮池式뿐이다. 따라서 本稿에서도 전부 潮池式에 대해서만 언급한다.

인류가 潮汐을 動力源으로 이용한 것은 12세기경부터이고, 구라파나 북미대륙의 潮차가 큰 대서양 연안에서는 웅덩이에 漲潮時 海水를 가두었다가 落潮時 물레방아를 돌려 소규모 家内工場의 제분기, 揚水機의 動力源으로 사용한 바 있다. 그러나 산업혁명 이후 에너지의 수요가 커지고 大用量 火力發電設備가 개발되어 값싼 전기가 생산되면서, 潮力에너지는 動力源으로서의 지위를 잃게 되었다. 그러나 최근까지도 구라파나 북미대륙에서는 소규모의 潮力방아가 가동된 기록도 있다.

최근에 와서 에너지자원개발이 활발해져 低落差 水車·發電機의 개발과 海底油田개발용 海洋構造物 제작기술개발에 힘입어 대용량 潮力發電所를 건설하려는 계획도 구체화되고 있다. 세계적인 潮力지점은 프랑스의 브리타니 해안, 캐나다

의 횡디만, 영국의 세븐강하구, 소련의 백해연안, 우리나라 경기만 등을 들 수 있다. 이들 지점들에 대한 타당성 검토도 오래전부터 여러차례에 걸쳐 실시된 바 있다.

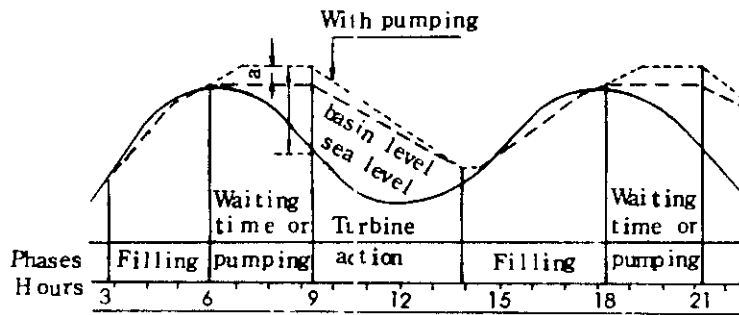
潮力發電은 潮差가 큰 灣이나 河口에 防潮堤, 水門, 發電所를 축조하여 潮池를 만들고, 창조시에 수문을 열어 조지에 海水를 채워서, 潮池와 외해간의 水位差를 이용하여 낙조시에 발전한다. 따라서 潮汐을 이용하는 것 외에는 종래의 水力發電과 비슷하다. 어떤 지점에 潮力發電을 검토할 때 潮差는 가장 큰 요소로서 賦存量은 대략 潮差의 자승과 潮池面積을 곱한 값에 비례한다. 보통 平均潮差가 4.5 m 이상은 되어야만 潮力立地로서 일단은 고려대상이 되며, 締切延長이 짧고, 潮池面積이 넓을수록 유리하다.

발전방식은 潮池數에 따라 單潮池式, 複潮池式 그리고 每潮汐週期當 발전회수에 따라 單流式 및 複流式으로 구분한다. 그리고 양수를 하면 발전효율을 더 높일수도 있다. 운전방식은 대략 다음과 같다.

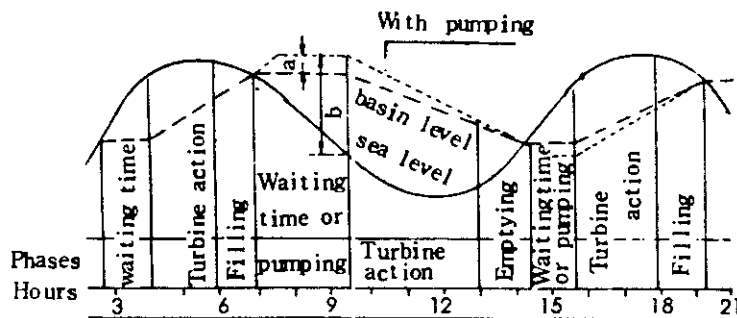
1) 單潮池 單流式: 하나의 潮池에 창조시에 水門을 열어 해수를 채운후 수문을 닫고, 낙조시에 潮池水位와 潮汐間의 水位差를 이용하거나 반대로 落潮時에 수문을 열어 潮池를 비웠다가 창조시에 潮池와 외해 潮汐間의 水位差를 이용하는 발전방식이다. 이 방식은 창조나 낙조 중에서 한 방향의 흐름만 발전에 이용함으로 單流式이라 하며, 운전은 (그림 1)에서와 같이 充水→待期→發電 순서로 계속적으로 사이클을 반복한다. 한 조석주기동안 發電可能時間은 대개 5시간 정도

로 연속발전은 불가능하다.

2) 單潮式 複流式 : 하나의 潮池에 창조시에 외해조석과 조지 수위간의 수두를 이용하여 발전하고, 水位差가 작을 때 양수를 하여 潮池水位를 높인 후, 낙조시에 外해조석과 潮池間의 수두를 이용하는 발전방식이다. 단류식보다 발전시간을 약간 연장시킬 수도 있으나, 連續發電은 불가능하다. 일반적인 發電順序는 待期→發電→充水→待期→發電→排水를 계속반복하므로 單流式보다 발전량이 많을 것 같지만 별다른 차이가 없으나 침두부하시간대를 맞출 確率은 크다. 또한 수두손실이 커서 대조기에만 單流式보다 더 유리하다.



SINGLE ACTION AT DRAINAGE



DOUBLE ACTION

< 그림 1 > 單潮池單流式 및 複流式 發電方式

3) 複潮池式 : 두개의 인접된 潮池에서 한쪽은 창조시에 潮池水位를 높여 高潮池를 만들고, 다른 한쪽은 낙조시에 배수를 하여 潮池水位를 낮추어 低潮池를 만들어, 兩潮池間의 수두를 이용하여 발전한다. 이 방식은 연속발전이 가능한 장점은 있으나 출력은 單潮池式보다 훨씬 작다. 이외에도 수많은 방식이 제안되고 있지만 복잡하기만 하고 실용성이 없다.

潮力發電에 관한 조사·연구는 이미 1900년대 초반부터 프랑스, 영국, 美國, 캐나다, 소련에서 여러차례에 걸쳐 실시되었으나 경제성 때문에 대부분의 사업들이 타당성 검토에서 끝났다. 그러나 최근 캐나다, 영국에서 타당성을 재검토한 결과 기술적 타당성 뿐만 아니라 경제적 타당성도 입증되어 사업전망이 매우 밝다. 이것은 油價上昇에 따라 油類代替效果가 커졌고, 새로운 기술개발에 따라 建設費 節減이 가능해졌기 때문이다. 따라서 세월이 가면 갈수록 便益은 커지게 되어있고, 신기술이 개발될수록 비용은 줄어져 편익 對 비용(B/C Ratio)은 점점 커져 經濟性이 향상된다.

4. 海外現況

앞에서 언급한바와 같이 潮力發電 타당성 검토 사업이 오래전부터 프랑스, 캐나다, 영국, 미국, 호주 등지에서 실시되었다. 현재稼動中인 潮力發電所는 프랑스의 랑스 발전소, 소련의 키스라야 발전소, 중공의 江厦발전소, 캐나다의 아나

〈 표 2 〉 기존 潮力發電所

發 電 所	設 備 用 量	備 考
1. 랑 스	240 MW	10 MW × 24 基
2. 키 스 라 야	800 KW	400 KW × 2 基
3. 江 厦	3,000 KW	500 KW × 6 基
4. 아 나 포 리 스	20 MW	20 MW × 1 基

포리스 發電所를 열거할 수 있으며, 設備用量은 (표 2) 와 같다. 여기서는 현재 稼動中인 潮力發電所를 중심으로 하여 潮力發電事業의 해외현황을 소개한다.

1. 랑스 발전소

프랑스는 오래전부터 潮力發電에 큰 관심을 갖고 있었으며, 세계 최대의 商用 潮力發電所를 처음으로 건설하였다. 랑스 발전소는 프랑스 북서쪽 대서양연안의 브리타니지방 랑스 강 河口에 위치한다. 여기에 潮力發電所를 건설하려는 구상은 18세기경부터 있었으나, 발전소 건설은 1950년대부터 본격화되어 1961년 착공, 1967년 준공되었다. 이 지점의 자연조건은 潮力發電所 건설에 아주 적합하여 潮汐은 最大潮差 13.5 m, 평균조차 8.5 m, 체절연장 750 m, 潮池面積 22 km² 이다. 또한 발전소는 만입구에서 4 km 안쪽에 위치하므로 대서양의 거센 풍랑을 잘 막아주며, 沿岸漂砂에 의한 매몰문제도 없다.

發電所는 發電機室, 水門, 閘門 및 방조제로 구성된다. 防潮堤는 捨石材로서 길이는 160 m, 低面 평균폭 100 m, 중

심부에 止水壁을 설치하여 漏水를 방지한다. 水門의 길이는 115 m, 폭 35 m로 橋脚에 의해서 6문으로 나누어져 있으며 문비의 크기는 폭 15 m, 높이 10 m이다. 水門의 통수단면적은 900 m², 通水量은 500 m³/sec (수두/m)로서 潮池에 海水를 채우거나 排水를 하여 운전을 보조한다. 발전기실의 총

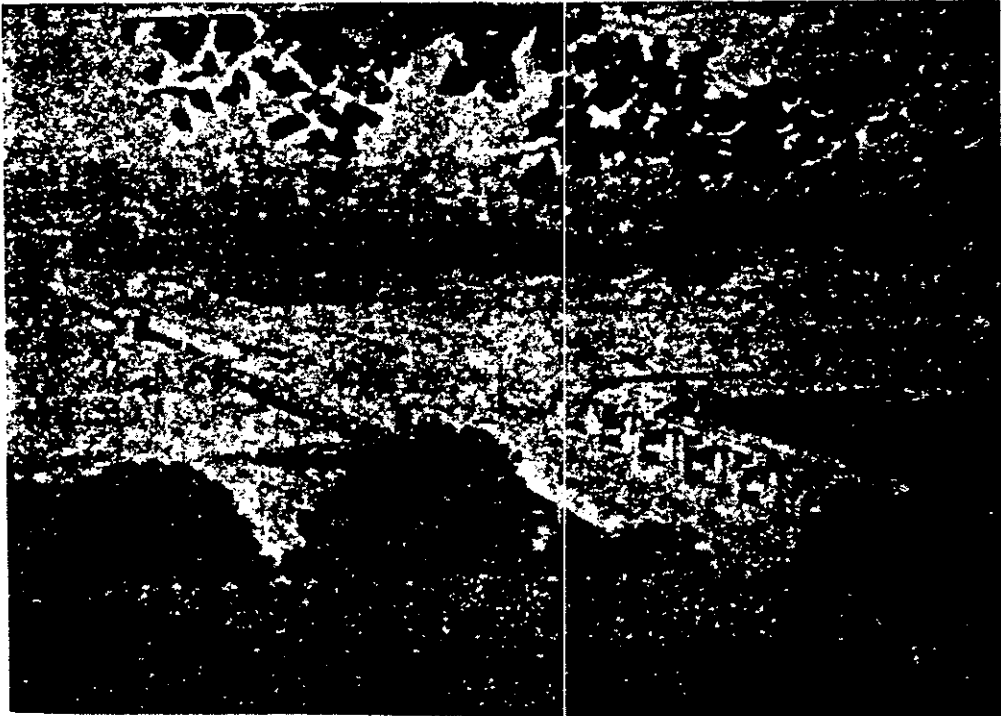


사진 1. 「랑스」 조력발전소

연장 386 m에서 組立式部分 52 m를 제외한 334 m는 水車·發電機 24대가 설치된 導水路이다. 導水路의 길이는 54 m이며, 양측에 수문이 설치되어 있어 흐름을 차단시킬 수 있다. 또한 閘門은 길이 65 m, 폭 13 m로서 潮池內에 선박의 통행을 가능하게 한다.

發電方式은 潮差에 따라 단조지 단류식 및 복류식발전이 가능하고 揚水를 하여 發電效率을 높이기도 한다.

建設工事は 가물막이 공법으로 먼저 閘門과 水門을 완성한 후 防潮堤, 發電所 順으로 시공되었다. 따라서 최종 체질시에 갑문으로 선박통행이 가능했고, 水門을 조작하여 가물막이의 荷重負擔을 줄였다. 최종체질에는 슈트파일을 조립하여 그속에 모래를 채우는 工法을 사용하였으며 이 工法은 후에 팔당 수력발전소 건설시에 SOGREAH사가 사용하였다. 발브수차도 같은 케이스라고 해도 무방할 것이다.

〈표 3〉 「랑스」 발전소 水車·發電機 제원

발전기 정격용량	10 MVA
수차 동기속도	93.75 RPM
수차 날개직경	5.35 m
수차 날개수	4
발전기 회전속도	260 RPM

발브수차는 원래 저낙차 水力發電用이었으나 潮力發電用으로 개량되었다. 랑스발전소의 발브수차·發電機의 제원은 〈표 3〉과 같다. 設備用量 240 MW, 年間발전량 500 GWh, 建設費 5億 7,000萬프랑으로 潮力發電所로서는 세계 최초이며 최대규모이다. 또한 그동안 운전성과는 다른 潮力開發事業에 아주 귀중한 참고자료를 제공하고 있다.

2. 키스라야 發電所

키스라야 發電所는 무르만스크 근처 우라만 입구에 위치하며, 평균潮差 2.5 m, 潮池面積 1.1 km², 潮池內 水深 35 m로 비교적 깊고, 兩岸거리는 40 m 정도 된다. 소련의 潮力支點은 대부분 북극지방에 위치하고 있어 년중 상당기간동안 결빙이 반복됨으로 북극지방의 潮力資源開發을 위한 소형 실험용 발전소 立地로는 적당한 곳이다. 建設計劃은 1940년대부터 시작되어 1968년 竣工되었다. 여기서는 여러가지 실험이 실시되었으며, 이것은 장차 대규모 潮力開發을 위한 준비 단계라 한다.

소련은 백해, 오호츠크해에 방대한 潮力資源을 갖고 있다.

여기서 특기할만한 것은 부유케이슨공법의 사용이다. 이 공법은 케이슨을 육상에서 제작한 후 현장까지曳引하여 미리 준비된 기초위에 가라앉히는 施工方法이다.

潮力發電에 케이슨 工法을 도입한 것은 潮力發電所 施工面에서 획기적인 사실이다. 콘크리트 케이슨의 크기는 36m(長) × 18.3 m(中) × 15.35 m(高)이며 근해에 실시된 妥當性檢討事業에서는 이 工法이 널리 채택되고 있다. 또한 機器面에서도 Step-Up Gear 형 발브수차가 설치되어 潮差가 작은 지역에 적합한 水車가 개발되어 또하나의 발전이 있었다. 發電所의 設備用量은 800 KW (400 KW × 2기)로서 소규모이기는 하나 실험발전소로서의 의의가 크다.

3. 아나포리스 發電所

횡디만의 潮差는 세계에서 제일 크다.

아나포리스 潮力發電所는 984년 8월 25일 준공되었으며 횡디만 입구의 아나포리스강 하구에 위치한다. 이 지점에는 1963년에 준공된 防潮堤와 수문이 건설되어 있어, 고조시에 방조제 내측 저지대의 농경지에 海水 침수를 막아준다. 따라서 기존 防潮堤와 水門을 이용하면 실험용 발전소를 건설하기에는 아주 적합한 곳이다.

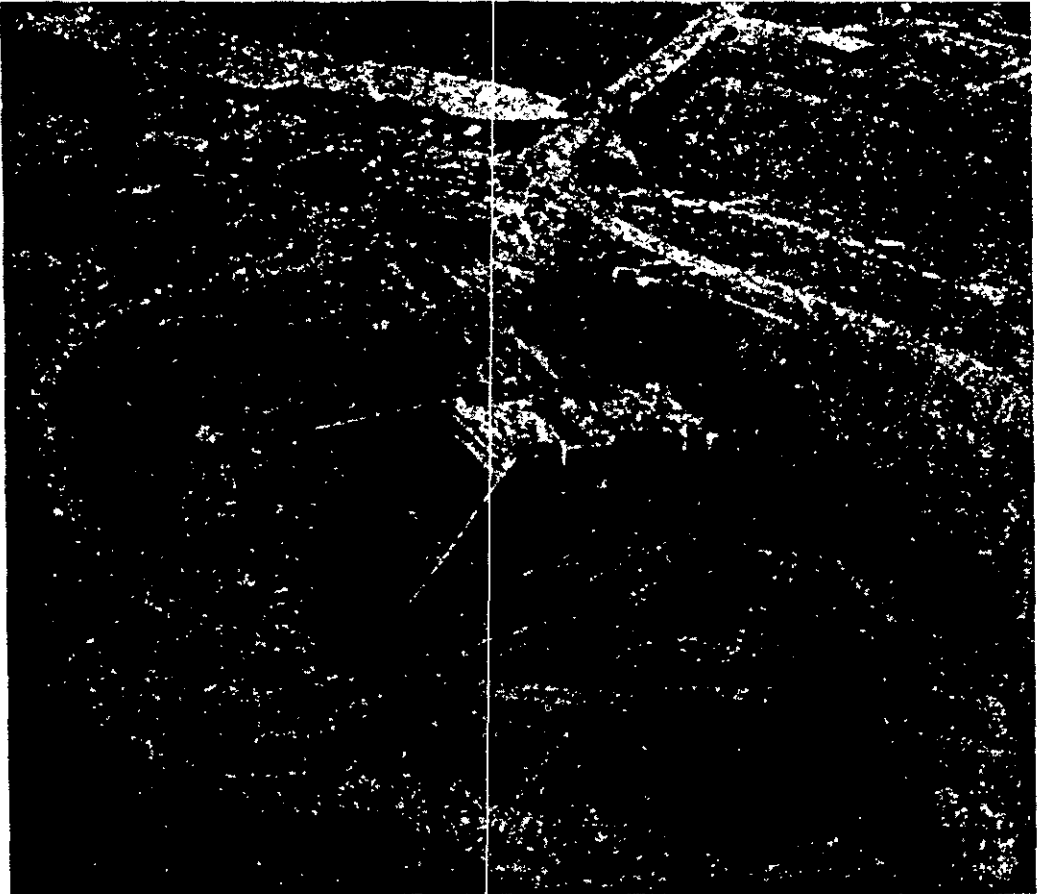


사진 2. 「아나포리스」 潮力發電所 시공장면

7. 發電施設事業編

이 지점의 최대潮差 6.7 m로서 우리나라 아산만의 潮差보다 조금 크고, 潮池面積은 약 11.5 ㏊이다. 水車·발전기는 호그섬 중앙을 굴착하여 설치되며, 작업이 끝난후에 가물막이를 제거했다.

發電方式은 단조지 단류식으로 潮池水位가 외해수위보다 1.4 m 높을 때 발전한다. 水車날개는 고정식이며 정격출력은 20 MW로서 세계최대의 스트라프로우형 수차이다.(표 4 참조) 종전까지만 해도 스트라프로우 수차는 소형으로 저녁차 水力發電用으로만 개발되었으나, 潮力發電에 사용되기는 이번이 처음이다.

< 표 4 > 아나포리스 발전소 水車·발전기 제원

發電機 정격용량	19.1 MVA
水車 날개직경	7.6 m
水車 날개수	4
운전수두범위	1.4 ~ 6.8 m
수차 정격회전속도	50 RPM
년간 발전량	50 GWh

이 사업은 원래부터 經濟性을 보고 시작한 것은 아니며 공사비의 약 절반은 연방정부의 보조금으로 충당되었다. 이 發電所는 원디만 대규모 潮力開發을 위한 실험발전소로서 발전소 운전, 機器性能, 環境問題까지 개검토될 것이므로 그 기대가 크다.

5. 國內現況

우리나라 서해안 경기만 일대는 潮差가 크고, 해안선의 굴곡이 심하며, 水深이 얕아서 潮力發電立地로서 적당하다. 여기에는 이미 1930년부터 강화도와 인천 사이 해역에 강화도 외측 潮力發電 계획안(8개안)이 제시되었다. 그 후 별다른 진전이 없었으나 1960년대에 韓國電力(株)에서 潮力地點답사 및 개략적인 발전량 검토가 있었으며 본격적인 조사 연구는 1970년대부터 시작되었다. 1974년에는 프랑스의 SOGREAH사가 아산만 潮力發電 예비타당성 검토를 하였고, 해양연구소는 加蘇林灣에 대한 예비타당성을 검토한 바 있다. 이어서 淺水灣, 가로림만(자료조사), 인천灣에 대한 검토가 실시되었으나 예비검토로서 끝났다.

그러나 우리나라 潮力發電所 건설이 구체화된 것은 1976년에 韓電이 작성한 潮力發電所 건설계획 추진안에 근거를 두고 있다. 그당시 韓電은 1986년도에 우리나라 서해안에 400 MW급 세계 최대의 潮力發電所를 준공시키려는 거창한 계획을 세웠다.

그 첫단계 사업은 潮力資源賦存量을 확인하고 지점별 우선순위를 결정하는 것이었다. 이 사업은 1978년 海洋研究所와 캐나다의 Tidal Power Consultants (TPC)와 공동으로 수행되었다. TPC는 그당시 이미 훨씬더 豫備妥當性 調査를 끝낸 직후였기 때문에 潮力發電에 관한 最新情報를 갖고 있었으며, 그 경험을 이 사업에 충분히 활용할 수 있었다. 이

7. 發電施設事業編

사업에서는 西海岸 一帶의 15 개지점을 개략적으로 검토하여 현
실성이 있는 10 개 지점을 선정하고 發電量 및 工事費를 산
출하여 개발우선순위를 결정하였다. 그 10 개지점은 席毛島,
信島 內側 및 外側, 仁川灣, 靈興島, 牙山灣 內측 및 外측,
瑞山灣, 加露林灣, 淺水灣으로 개발 우선순위는 牙山灣, 仁川灣,
加露林灣이었다. 그러나 牙山灣은 제 2 제철소 및 공업항 입
지로 유보돼 있고, 仁川灣은 仁川港과에 미치게 될지도 모르
는 악영향 때문에 보류되어 결국 加露林灣이 潮力發電所 입
지로 선정되었다. 정부 각 부처간의 협의를 거쳐 加露林灣,
淺水灣, 信島가 조력지점으로 유보되어 있다. 加露林 潮力發電
所 타당성 검토사업은 1980 년부터 실시되어 SOGREAH 사를
주축으로 하여 프랑스 用役團과 海洋研究所 등의 국내기관이
공동으로 참여하였다. 이 사업에서 국내기관은 현장조사를 실
시하여 설계에 필요한 기초자료를 제공하고, 프랑스 用役團은
發電量計算, 기본설계, 타당성 검토를 하였다. 사업내용은 현
장탐사 및 調査, 最適發電規模決定, 기본설계, 建設工程, 경제성
분석, 경제사회적인 문제를 종합적으로 다루었다. 加露林灣은
行政적으로 충남 서산군에 위치하며 태안반도 북쪽에서 경기만
과 접하고 있다. 灣의 길이는 남북으로 약 20 km, 灣內水面
積 120 km², 大潮差 6.4 m, 池灣연장 2 km, 潮池面積 100 km²로
潮力發電 입지조건은 좋은 편이다.

加露林 潮力發電所의 設備用量은 480 MW (20 MW × 24기),
년간발전량 893 GWh, 건설공사비 6億 3,300萬달러, 建設工事
期間 5 년으로 예상된다. 가로림 발전소의 수차·발전기는 가

변익날개와 Step Up Gear 가 부착된 발브형으로 수차날개의 직경 8 m, 발전방식은 단류식 발전에 양수가 가능하다. 施工方法은 케이슨 공법이 제안되고 있으며, 發電機室 케이슨 12 개, 수문 케이슨 20 개가 설치될 것이다. 현재 이 사업은 장기전원개발계획에서 뒤로 밀려 1990 년대에 가서나 반영될 전망이다.

6. 潮力發電事業과 建設需要創出

앞에 소개된 선진각국에서稼働中인 潮力發電所도 그 뒤에는 더 큰 개발계획이 있다. 즉 프랑스의 랑스발전소는 쇼세섬 일대의 대단위 潮力開發計劃의 일부이고, 캐나다의 아나포리스발전소도 윈더齣 潮力開發計劃을 위한 일종의 시험발전소에 불과하다. 따라서 潮力發電事業은 建設需要創出에 크게 기여할 수 있다. 우리나라의 경우도 加露林 조력발전계획이 성공적일 경우, 신도해역에 너 큰 규모의 潮力立地가 있으므로 건설사업으로서의 市場性은 좋다고 할 수 있다.

그러나 潮力發電事業은 단순한 노동집약적인 건설사업이 아니고, 複合的이고 技術集約的인 플랜트 建設事業의 일종임으로 새로운 기술개발이 선행돼야 한다. 潮力發電에 시동이 걸릴려면 에너지 문제가 더 심각해지거나, 아니면 工期를 단축시키거나 工事費의 大幅節減이 가능한 施工技術이나 발전기기를 개발하여 경제성 문제를 극복해야 할 것이다. *

建設需要創出面에서 본 海洋開發施設

安熙道 / 韓國科學技術院 附設海洋研究所 海洋工學研究室 主任研究員

1. 序論

海洋開發은 우주개발, 原子力開發과 함께 인류의 장래에 꿈과 희망을 안아준 地球上의 마지막 보고로서 점차 현실적으로 우리의 생활에 밀접해 오고 있다. 海洋의 면적은 地球表面積의 약 71%로 그 大陸棚만 해도 약 2,700萬km²로 거의 아프리카대륙에 맞먹는 면적을 갖고 있다. 이처럼 방대한 해양에는 각종 資源이 무진장 매장되어 있어 해양은 인류의 발전에 있어 없어서는 안될 無限한 有用性을 제공해 주고 있다.

海洋을 이용개발할 수 있는 분야로는 크게 海洋生物資源, 海水·海底資源, 海洋에너지 및 海洋空間資源으로 나눌 수 있으며 오늘날 세계각국은 장차 다가올 資源枯渴에 대비하기 위하여 해양개발에 부심하고 있다.

우리나라도 먼 옛날부터 三面의 해양을 통하여 文物의 교류나 식량으로서의 해양생물자원 이용 등, 해양으로부터는 多大한 은혜를 입어왔으며 文化形成에 있어서도 해양의 영향이 폭넓고

깊게 작용하여 海洋을 제외시켜 놓고 사물을 생각할 수 없을 정도로 海洋指向型國家였다고 할 수 있다. 21世紀에도 우리나라의 現 풍요로운 국민생활과 산업경제를 좀더 발전, 持續시키 나가기 위해서는 限定된 國土의 有效利用은 물론 海洋과의 관계를 量的, 質的으로도 증대시키는 것이 가장 중요한 과제이다.

本稿에서는 우선 최근의 海外諸國에서의 海洋開發의 現狀과 추세에 대하여 概說한 후 앞으로 개발을 필요로 하는 技術的課題들에 대하여 記述하기로 한다.

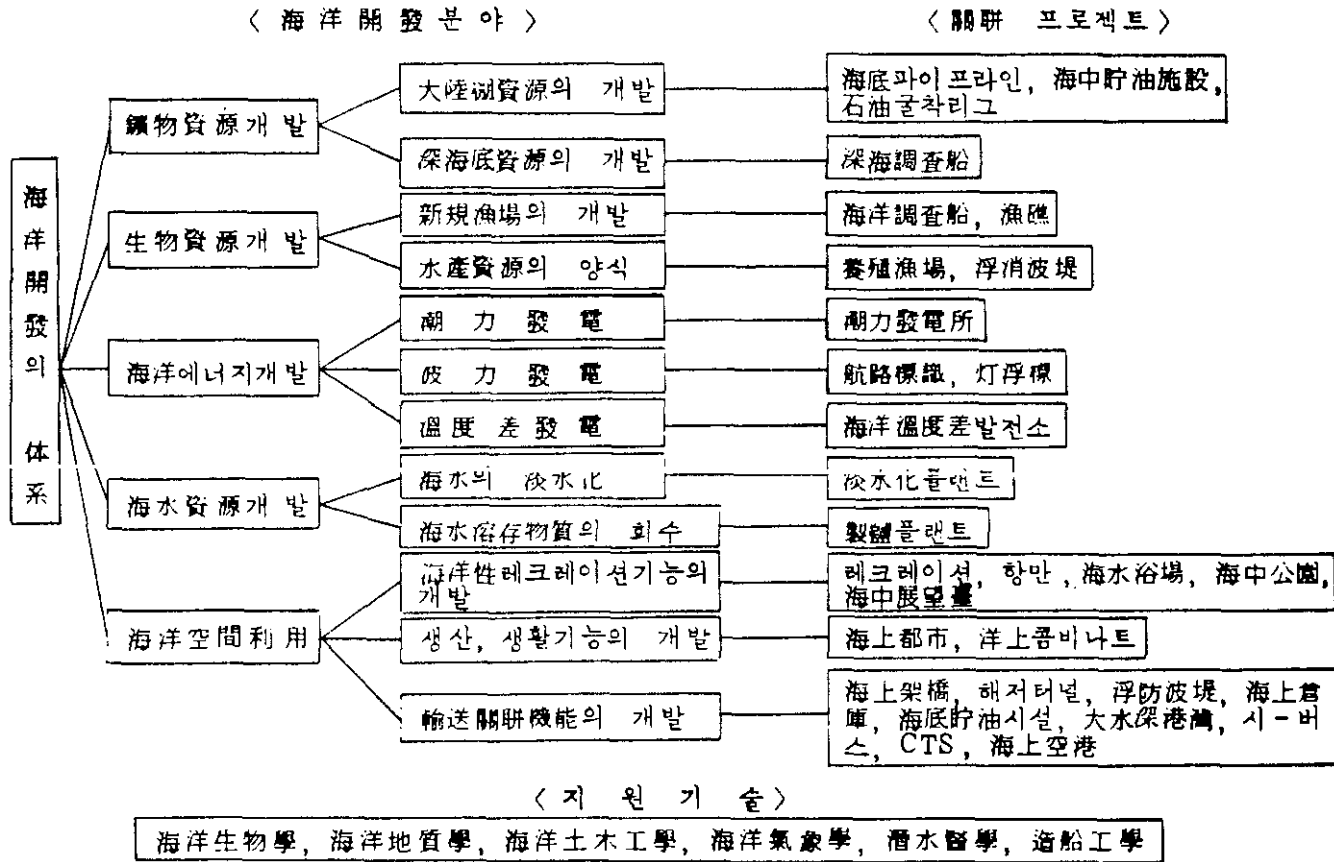
2. 諸外國의 海洋開發 現狀

海洋開發이 세계적으로 관심을 끌기 시작한 것은 1960年代 후반부터이며 海底石油, 海底鑛物資源, 水產資源, 海洋空間의 이용 및 海水淡水化 등이 그 주요 개발대상이다.(表1 參照).

1975年 日本 오끼나와(沖繩) 海洋박람회에 전시된 海洋都市 "아키펀리스(Aquapolis)"는 用地難과 공해문제 등으로 海洋構造物에 대한 관심이 고조되고 있는 이때에 그 첫걸음을 내딛은 것으로서 높이 평가되고 있다. 앞으로 이러한 技術의 應用分野로서 기대될 수 있는 것중의 하나가 海上쓰레기處理工場 연구이다. 이 工場에서는 쓰레기처리와 동시에 발생한 에너지를 이용하여 發電과 海水淡水化를 병행한다는 多目的計劃案으로 先進數個國에서 검토되고 있다.

海洋에너지 활용방안으로서는 潮力, 波力, 海洋溫度差發電등을 들 수 있다. 潮力發電所는 1966年 프랑스가 세계 최초로 랑스발

〈表 1〉 海洋開發의 체계



전소를 건설, 가동중에 있으며 우리나라의 서해안도 潮汐干滿의 차이가 커서 세계적으로도 유망한 潮力發電候補地로서 손꼽히고 있다. 波力發電 또한, 日本, 英國 등 島嶼國家에서 활발히 연구를 수행중에 있으며 70~120W級의 小型波力發電裝置는 이미 일본에서 실용화하여 航路標識用으로 세계 각처에 보급되어 있으며 현재는 2,000k級의 波力發電裝置(一名 KAIMEI)에 대해 實海域 시험을 준비중에 있다.

이밖에 海上空港, 石油備蓄基地의 건설계획 등이 일본 등지에서 실현화되었고 해양목장이라 일컬어지는 漁類·海藻類의 養殖, 栽培漁業의 대규모화하는 방법도 검토중에 있다.

다음으로는 深海底에 매장되어 있는 광물자원 특히 망간團塊와 熱水鑛床등의 採取와 석유·천연가스 등 海底油田의 채굴방식을 개발하는 것이다. 또한 海水中에 溶存되어 있는 元素는 60여종에 이르러 그 量은 막대하나 현재 이용하고 있는 것은 수개의 원소에 불과하여 남은 50여種의 未利用元素는 앞으로의 개발을 기다리고 있다.

마지막으로 고려되는 것은 海洋空間의 이용이다. 沿岸海域의 매립에 의한 토지조성 및 항만시설의 건설도 공간이용의 일면이며 레크레이션장소로서의 海中公園의 건설과 海中倉庫, 해저과이프라인, 海底沈埋터널 등의 건설, 또한 海上都市, 海上空港건설 등 연근해역의 공간적이용은 多方面에 걸쳐서 점차 확대되어갈 것이다.

沿岸海域의 공간이용에 있어서는 우선 이용에 편리하고 경제적인 측면에서 水深 20 m까지의 海域이 主對象域으로 될 것이나

어느 특정 內海·內灣의 海역에서는 각 이용분야간에 상호경합이 일어나고 있다. 따라서 앞으로의 海洋空間 이용은 지역조건과 결부지어 각종 利用目的 계획과 비교검토한 후 우선순위를 책정하여 한정된 공간을 高度로 유효활용하여야 할 것이다. 일반적으로 沿岸에서 水深 20 m까지의 수역은 漁業生産의 기초인 어패류의 産卵場 및 稚子育成의 장소로서 최우선적으로 보호, 유지되어야 하며 다음으로 국민생활장소로서의 주택용지나 레크레이션장소로서의 부지확보가 우선한다고 생각한다. 그밖의 목적에 의한 해양공간이용은 그 目的과 機能面에서 상당 外海側에 자리잡아도 무관한 시설들은 가능한한 수심 20 m以深의 水域에 설치하고 있으며 深外海域部의 이동전개를 가능케 하는 각종 기술개발도 이루어지고 있다.

3. 海洋技術開發課題의 抽出

최근 諸外國에서 洋上항만, 洋上廢棄物處理플랜트, 洋上原子力發電所, 海中貯油施設들이 차차 실행계획으로 옮겨져 건설되고 있음을 상기해 볼때 근간에 있어 海洋技術의 진보야말로 매우 팔목할만하다. 지금까지의 海洋開發에 있어서는 海洋土木技術이 그 先端을 구사하여 추진되어 왔으며 이미 sea berth, 大水深防波堤 등의 구조물 건설에 있어서는 주변분야의 기술들이 총망라 구사되어 그 개발도 급속히 이루어져 왔다. 예를들어, 수심 20 m를 넘는 外海域에다 石油시-버스, 방파제 등을 건설할 경우에는 일반적인 港灣工學의 기초기술외에도 施工의 難易度에 의

한 작업선의 규모결정이나 海象·氣象條件의 가혹성에 대해서도 상세한 검토가 필요하며 土木·機械工學의 기술 뿐만 아니라 '주변기술의 도입도 불가결하다. 특히 海洋土木工事에서는 工事規模의 확대, 급속시공에 따른 浚渫汚濁의 문제, 공사소음의 문제 등도 顯在化하여 이들 공사의 公害對策技術 개발도 필요하게 되었다.

기타 坑打船, 浚渫船의 대형화 및 高能率化의 문제외에도 시공기계로서 水中브르도자와 大型海底地盤改良船의 개발, 大型水中햄머의 개발, 水中作業의 로봇화 등도 조속히 실용화되어야 할 것이다.

앞서 말한 각종 해양개발분야가 각 요청에 대응하여 적정하고 계획적으로 추진되기 위해서는 각각의 개발테마가 내포하는 未解決要素技術에 대한 기초적인 조사연구가 폭넓게 실시되어야 하며 實用化를 위해서 각 要素技術을 효율적으로 종합한 新技術, 新工法의 개발도 강력하고 조직적으로 병행되어야 할 것이다. 이들 實用化를 위한 신기술, 신공법에는 理學, 工學, 醫學 등 광범위한 학문분야에 속하는 것이 많지만 分野間에는 相互關聯性이 있는 것도 많아 긴밀하고 유기적인 學術共同作業이 요구된다. 新技術中에서도 海洋土木技術이 매우 중요한 역할을 하고 있다는 사실은 그 어떤 海洋利用形態던 토지의 조성이나 구조물의 건설 등을 요구한다는 점에서 당연하다 하겠다.(表2 參照)

今後 海洋開發의 전개에 있어서는 港灣技術이 中核으로 되어 관련분야 기술을 학술적으로 종합한 해양토목기술의 確立을 위한 技術開發이 적극 추진될 것이다.

4. 今後 新海洋技術開發에 의 Approach

우리나라의 해양기술개발의 수준은 美·佛·日 등 先進海洋國에 비해 너무나 크게 뒤떨어져 있다. 우리나라의 沿岸海역은 옛날부터 內海와 灣을 중심으로 住居地, 漁業, 交通수단 등으로 이용되어 왔으며 이중 海上輸送分野는 그간의 꾸준한 공업화시책과 무역량증가에 따른 物動量의 급증으로 인해 세계적인 수준에 이르렀고 수산자원 또한 生産量이나 漁撈技術에 있어 선진 대열에 이르고 있으나 이러한 전통적인 海洋利用분야를 제외한 海洋礦物資源, 에너지資源, 海洋空間利用 등에 있어서는 初期 技術開發段階에 돌입한 상태로서 선진국과는 상당한 격차를 보이고 있는 실정이다. 그러나 향후 10년의 1990年代 중반까지는 養殖技術이나 해양에너지開發技術, 深海底망간자원탐사기술, 大陸棚石油生産技術 등이 확립될 것으로 보이며 이러한 기대에 부응해 가기 위해서는 금후 環境保全과 일체화된 기술개발이 뒤따라야 한다.

이하에서는 각종 海洋開發分野를 테마로 분류해 앞으로 우리가 개발해야 할 技術項目들을 예시해 보기로 한다.

가. 海水·海底資源의 개발

- ① 海水溶存우라늄회수장치로서의 海洋構造物의 構造設計 및 시공기술
- ② 海底石油掘削用 해양구조물의 耐波·耐壓·耐震設計技術
- ③ 대형 海水淡水化構造物立地에 따른 환경영향평가기술

나. 水産生物資源의 개발

- ① 有用水産漁類의 幼稚漁 등의 成育에 적합한 成育場 조성기술
- ② 성장한 漁獲資源을 위한 漁獲漁場의 조성기술
- ③ 增養殖漁場의 環境制御技術

다. 해양에너지자원의 개발

- ① 海洋에너지이용을 위한 海洋구조물의 最適構造 및 曳航·계류시스템
- ② 發電用機器 및 구조물에 生物에 의한 오손방지기술, 防食技術
- ③ 최적 實海域 선정을 위한 장기적 해황의 綜合調査시스템의 개발
- ④ 海岸, 生態系, 景觀 등대의 영향평가기술

라. 해양공간이용을 위한 기술

- ① 沿岸域의 공간적절약을 기하는 기술
- ② 沿岸域의 자연환경을 배어하기 위한 기술

이같은 새로운 요청에 대처해가기 위해서는 대규모적인 實證試驗을 수반한 기술개발이 주체가 될 것으로 예상된다. 이를 위해서는 항만·해양개발의 대형기술개발을 적극적으로 추진하려는 국가연구 및 기술개발기능부분의 가일층의 질적충실과 함께 民間企業이 해결할 수 있는 기술과제는 民間에 위탁하는 등 합리적인 技術開發體制를 구축함이 重要하다.

〈表 2〉 海洋開發분야의 主要技術開發課題

II 期	大 分 期	中 分 期	小 分 期	主 要 項 目
1. 해역이용구조의 수립	해양공간 이용의 효과적 추진기술	해역이용계획 백성 기술의 개발 타이론과의 협조 추진기술의 개발	해역이용계획 기술의 개발 해역에너지개발이용 기술의 개발 연안역 환경의 강조 기술의 개발	1. 계획개발계획사업 수법의 개발 2. 산업항 매지계획수법의 개발 1. 발전가능을 갖춘 波浪構造의 개발 波浪發電 內장형 방파제·瀾川 越波利用 電力發電 湖力發電 2. 面域淨化技術의 개발 強潮越波 瀾水防波堤·강제해수교환 게이 손방파제·瀾流堤 등에 의한 해역역 환경 정비 1. 생태계를 고려한 인공간석지등의 정비기술의 개발 2. 어초병용방파제의 개발 3. 굴삭암을 이용한 代替魚礁의 개발
2. 새로운 구조 조성	해양구조물건설기술 ○외해조랑판 ○나에너지 항만대수심반파배 대수심 예립호안 대수심 계류시설 ○대상공항 ○대상주래트 ○해상지반산고	새로운 구조및 설계·시공 기술의 개발 조사기술의 개발 유지·관리기술의 개발	水深반파배건설 기술의 개발 대수심 호안건설 기술의 개발 부유식 항만구조물 건설 기술의 개발 防蝕·防污 기술의 개발 연안지막 개량기술의 개발 시공기계·시공법의 개발 연안과랑관측 기술의 개발 새로운 조사수법의 개발 유지·관리기술의 개발	1. PC를 이용한 대형케이슨 개발 2. 새로운 山立防波구조의 개발 1. 재킷식(Jacket) 호안의 개발 2. 대형셀(cell) 호안의 개발 3. 浮形斷面케이슨 호안의 개발 1. 浮防波堤의 개발 2. 半石式 構造物의 개발 1. 耐蝕性 시공재료의 개발 2. 방식·방오기술의 개발 1. 침층 혼합처리공법의 개발 2. 吹穿阻斷工法の 개발 1. 掃行굴일 와전기폐화선의 개발 2. 대수심 사석 투입선의 개발 3. 물젼트(Jet)공법의 개발 4. 水中發破工法の 개발 5. 대량토사운반시스템의 개발 6. 특수조건하의 浚渫기술의 개발 7. 환경영향을 고려한 土捨技術의 개발 8. 檢査기술의 개발 9. 시공운영시스템의 개발 1. 浚渫, 改築의 개발 1. 사운닝(Sounding) 기술의 개발 2. 小攪亂 시로의 폐회기술의 개발 3. 음파탐사기술의 개발 1. 老朽度 관리기술의 개발
3. 안전하고 안정성 있는 수송시 스택조성	해양공간 이용에 관한 안전성의 확보	안전한 장만항로 정비의 기술개발	港内航行기술의 개발 적전후 하만경비 기술의 개발 대규모 치진에 대한 기술의 개발	1. 係泊艇의 기술의 개발 2. 부이피막 기술의 개발 1. 방풍장지(Wind screen)의 개발 2. 可搬式 방파제의 개발 1. 耐震技術의 개발 2. 液狀化 대책공법의 개발

目 標	大 分 類	中 分 類	小 分 類	實 施 項 目
3. 아름다운 해역 조성	해역환경의 보전과 향조	해역환경의 감시 및 평가기술의 개발	환경영향 평가의 기술개발 해역환경 감시시스템의 개발 해변변형 예측수법의 개발	1. 遙測 手段 開發의 개발 2. 浮網의 예측수법의 개발 1. 광역 수질연속 감시시스템의 개발 (자동감시부이등) 2. 리모트 센싱(Remote Sensing) 기술의 개발 1. 海濱變形 手段 開發의 개발
		해역정화 기술의 개발	해역정화 기술의 개발 광역저질정화 기술의 개발 생물학적 정화기술의 개발	1. 浮水施設 등의 정화기술의 개발 1. 크래키, 거름등의 회수기술의 개발 2. 浮網의 取·처리 기술의 개발 1. 淨化效果 예측모형 및 평가방법의 개발 2. 浮網처리·저분법의 개발 1. 浮網정화 정화기술의 개발
		해역환경의 정비수단에 관한 기술개발	폐기물 매립저분지 건설기술의 개발 해안침식방지 기술의 개발	1. 浮網정화 構造 改善의 개발 1. 주변환경의 보전을 위한 浮網 구조의 개발 2. 폐기물 매립저분지 조성법의 개발 1. Sand by Pass 방법의 개발

5. 結 論

우리나라에 있어 海洋技術開發의 역사는 諸先進國과 비교해볼 때 착수도 늦었지만 그 기술수준도 매우 낙후된 상태여서 앞으로 인류의 활동무대인 해양을 적극 개발하기 위해서는 조사연구를 한층 강화하고 이와 관련한 計測, 潛水, 特殊船, 繫留技術, 海中動力 等の 해양과학 기술분야 대해서도 활발한 개발추진이 필요하다.

21세기를 향해 海洋開發을 적극 전개함에 있어 海洋土木技術者의 역할과 책임은 매우 크며 지금이야말로 폭넓은 시야와 장기적인 시점에 서서 일층의 노력이 필요한 때이다. *

光陽灣에서의 現生底棲 有孔蟲에 관한 研究

蔣 舜 楨

韓國科學技術院 海洋研究所

Implications of the Recent Benthic Foraminifera in Gwangyang Bay, Korea

Soon-Keun Chang

Korea Ocean Research & Development Institute,
P.O. Box 17, Seoul 135, Korea

要約: 光陽灣潮間帶와 下潮帶(subtidal zone)의 表層 퇴적물의 底棲有孔蟲들은 전체개체수와 生 對全體비율간의 관계는 뚜렷한 負(-)의 관계에 있다. 연구지역에서 산출되는 유공충들은 9m 및 21-30m 사이에서 급격한 조성변화가 있다. 群集分析에 의해서 삼각주를 포함한 조간대, 內灣과 얕은 해저 및 水路(主潮流路) 등 3개의 生物場(Biotope)이 뚜렷이 구분된다. 각 환경에 따라 생태 및 堆積 환경이 다르며, 水路를 따라서는 外海의 영향을 받는다. 生 對全體비율로 유추한 상대적 퇴적율과 관련된 몇가지 문제점이 논의되었다.

Abstract: A total of 40 surface samples (12 from the intertidal flat and 28 from the subtidal zone) from Gwangyang Bay, southern coast of the Korean Peninsula show a strong negative relationship between the total foraminiferal abundance and the ratios of the live to the total (L/T) assemblages. This suggests that the foraminiferal abundance is dependent on the dilution due to the input of detrital sediments, and that the L/T ratios show the relative rate of sedimentation in the study area. The intertidal flat and delta area are characterized by the relatively high sedimentation compared to the inner bay and shallow subtidal zone, and three major tidal channels where relatively low and no sedimentation is noted, respectively.

Bathymetric occurrence of the species shows distinct boundaries at 9m, and between 21 and 30m, respectively. Cluster analysis shows three biotopes; intertidal flat including delta, inner bay and shallow subtidal zone, and major tidal channels. This suggests that these biotopes are formed by the ecology of the foraminifera as well as by the sedimentological setting of the study area.

Several problems in relation to the relative rate of sedimentation inferred from the L/T ratios are briefly discussed.

序 論

有孔蟲은 일반적으로 海棲單細胞原生動物로써 해양환경의 중요한 지시자가 되며 더우기 底棲有孔蟲은 水深과 堆積相 등 서식환경에 따라 조성이 뚜렷이 차이나기 때문에 해양지질학... 해양미고생물학에서 널리 연구된다(Phleger, 1960; Murray, 1973; Boltovskoy and Wright,

1976).

光陽灣은 반폐쇄적 해양환경과 조차가 中潮差(260-335cm)인 지역으로(건설부, 1973; 포항·동해철주식회사, 1982), 조간대, 삼각주, 下潮帶(subtidal zone) 수로(主潮流路) 등의 퇴적 환경이 뚜렷이 특징적으로 발달하고 있다(朴 등, 1982; 1984). 조간대는 주로 광양만 서부에 해안을 따라 좁게 발달하며, 삼각주는 노량수로

와 묘도복수로 사이에 넓게 발달한다. 삼각주의 표면층(topset)은 간조시 수면위에 노출되며 남쪽으로는 수면하에 전면층(foreset)이 발달한다(朴 등, 1982; 1984). 묘도 서쪽의 내만은 수심이 10m 미만으로 비교적 얕고, 수력학적인 에너지가 대체로 미약한 환경인 반면, 삼각주와 남해도사이의 노랑수로 및 묘도의 남북에 발달한 묘도남·북 수로는 수심이 최대 40m가 넘는다(Fig. 1). 퇴적환경에 따라 堆積相이 뚜렷한 차이를 나타내고 있는데 삼각주 표면층은 모래가 우세하며 수면하의 전면층은 펄이 섞인 모래(muddy sand)가 우세하다. 내만에는 펄이 우세하며, 묘도수로를 따라서는 모래 섞인 펄(sandy mud)이 우세하다. 수로 특히 노랑수로를 따라서는 모래섞인 펄~자갈이 분포하여 수력학적 퇴적과정의 에너지가 높은 환경임을 보여준다(Fig. 2).

朴 등(1982)은 연구지역의 퇴적환경에 따르는 퇴적상, 부유퇴적물, 長石의 종류, 점토광물 및 유공충을 연구하여, 퇴적물의 근원지와 이동 경로 및 저서유공충의 의의 등을 연구했다.

Chang(1984a)은 水深에 따르는 저서유공충의 조성, 多樣性(Diversity), 優占度(Dominance) 등을 연구하였으며, 生物場(Biotope)에 따르는 수심, 底質(Substrate), 다양성, 均等度(Equitability) 등 미고생물학적 특징을 연구했다. 朴 등(1984)은 광양만의 퇴적작용과 퇴적물 조직의 특성은 퇴적물의 공급, 灣内の 動的에너지분포 및 지형 등에 의해 결정됨을 밝혔으며 퇴적물의 근원지도 시사했다.

이 연구의 목적은 연구지역의 퇴적환경과 관련, 저서유공충의 의의를 밝히는 데에 있다.

研究材料 및 方法

연구시료는 1981년 11월 8~10일에 걸쳐 채취된 40점(조간대 12점, 해저 28점)이며(Fig. 1), 조간대 시료는 조간대 표면에서 약 20cm를 취했으며, 해저시료는 La Fond 채취기로 채취해서, 두 시료 모두 Murray(1968)방법대로 야외 및 실내처리 했다.

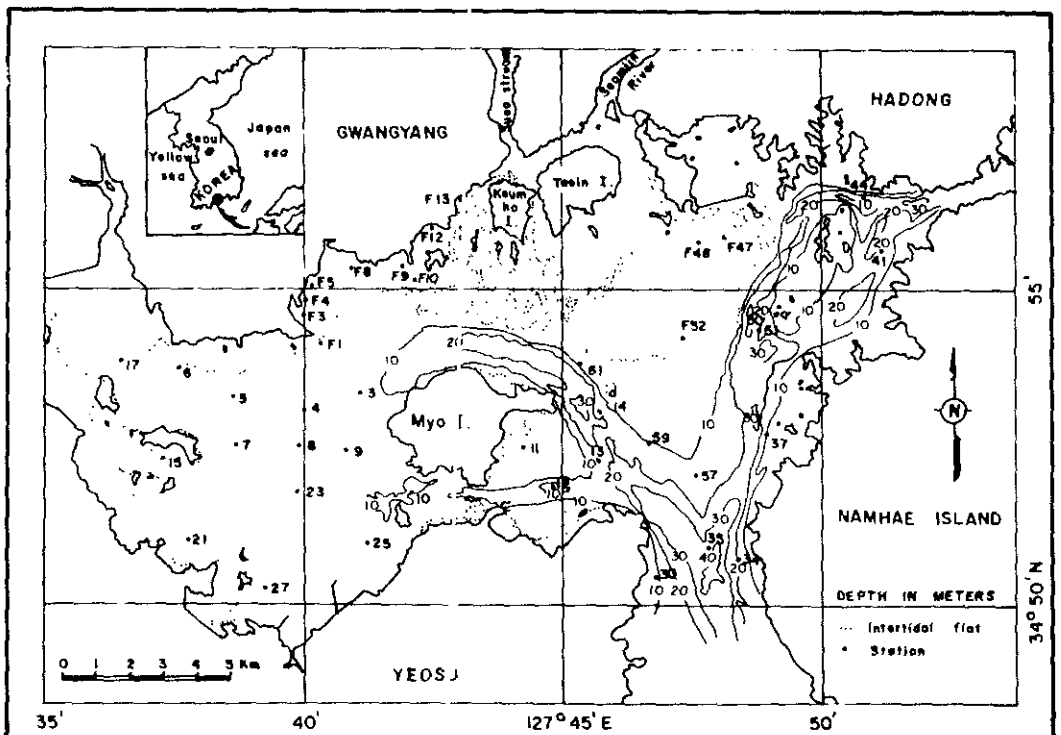


Fig. 1. Index map. F means samples collected from the intertidal flats or deltas.

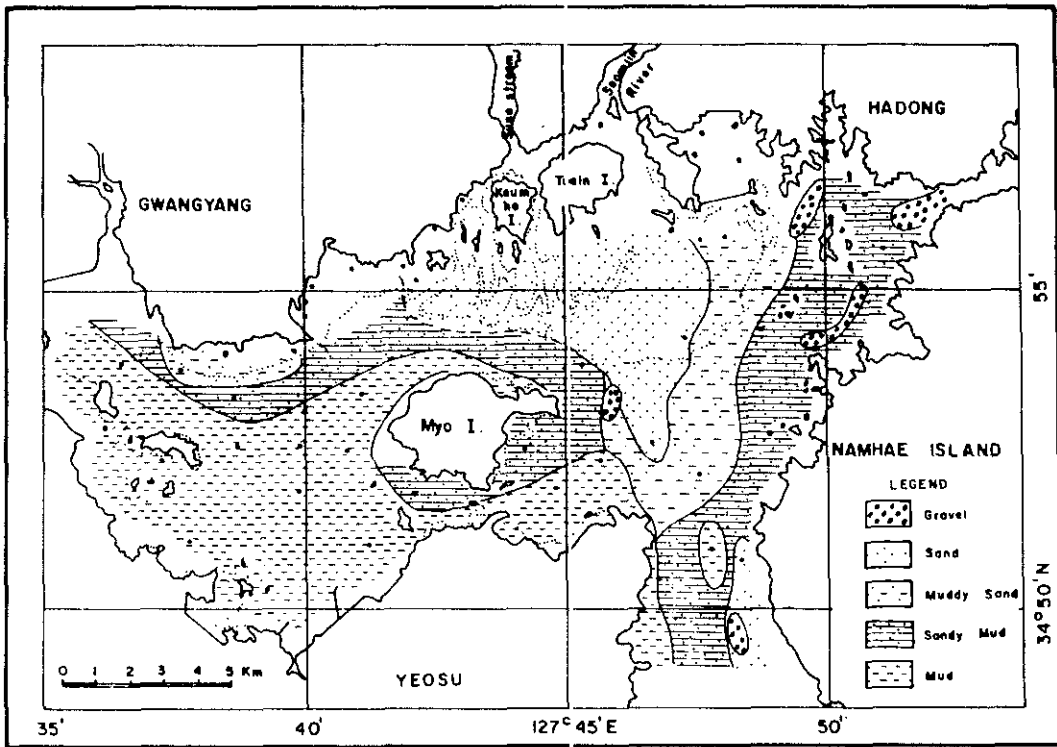


Fig. 2. Sedimentary facies of the study area (after Park et al., 1982).

結 果

1) 有孔蟲 個體數

젖은 시료 10ml당 살아있는 개체는 많은 경우 58개(조간대시료 F9)에서 전연 없는 경우도 있으며, 대개는 10개 미만이다. 살아 있는 개체와 죽은 개체를 통틀은 전체 개체수는 600여개가 넘는 시료(23, 25)에서 10개 미만인 경우도 있으며, 전체군집의 개체수가 너무 적은 시료 3점(F 47, F 48, 14)은 이후 분석에서 제외되었다. 조간대와 하조대를 비교하면 살아있는 개체는 하조대에서보다 조간대에 많으며, 전체군집은 그 반대이다. 전체군집의 유공충 개체수는 묘도의 남서해저에 비교적 많으며, 삼각주 전체에는 비교적 적다(Fig. 3).

살아있는 군집의 전체군집에 대한 비율(生對全體)은 0.0%에서 44.6%(F12)이며, 조간대, 특히 만조선 가까이에 갈수록 뚜렷이 높으며, 하조대 시료에서는 네만의 묘도 서쪽 및 남서쪽의 해안 가까운 곳과 삼각주에 비교적 높은 비율의 추세를 나타내는 반면, 대부분의 주요묘도의 시

료에는 살아있는 유공충이 전연 없다(Fig. 4). 조간대의 경우, 만조선 근방으로 가까이 갈수록 生對全體比가 높아지는 추세는 이미 여러 조간대에서 관찰되는 현상이다(한국과학기술원 해양연구소, 1981, 1982; 蔣·李, 1983, 1984; Chang, 1984 b). 그러나 광양만 조간대의 生對全體비율이 경기만, 아산만 조간대의 그것보다 비교적 낮으며, 이것은 아마도 생태환경의 차이, 유공충의 보존, 시료위치 등의 차이라고 생각되나 앞으로 보다 자세한 연구가 필요하다.

유공충 전체군집의 크기는 여러가지로 해석되며, 그 중에서 채설 퇴적물의 유입에 의한 稀釋이 가장 큰 요인으로 해석된다(Walton, 1955, 1964). 살아있는 군집의 전체군집에 대한 비율은 相對的 堆積率과 관련있다고 Phleger(1951)에 의해 연구된 이래, 여러가지 비판이 있으나(Bartlett, 1964; Murray, 1973; Boltovskoy and Wright, 1976), 환경에 따라서는 상당히 합리적이라 믿어진다.

전체군집의 유공충의 많기와 生對全體비율간의 관계는 흥미있는 현상을 보여준다. 조간대,

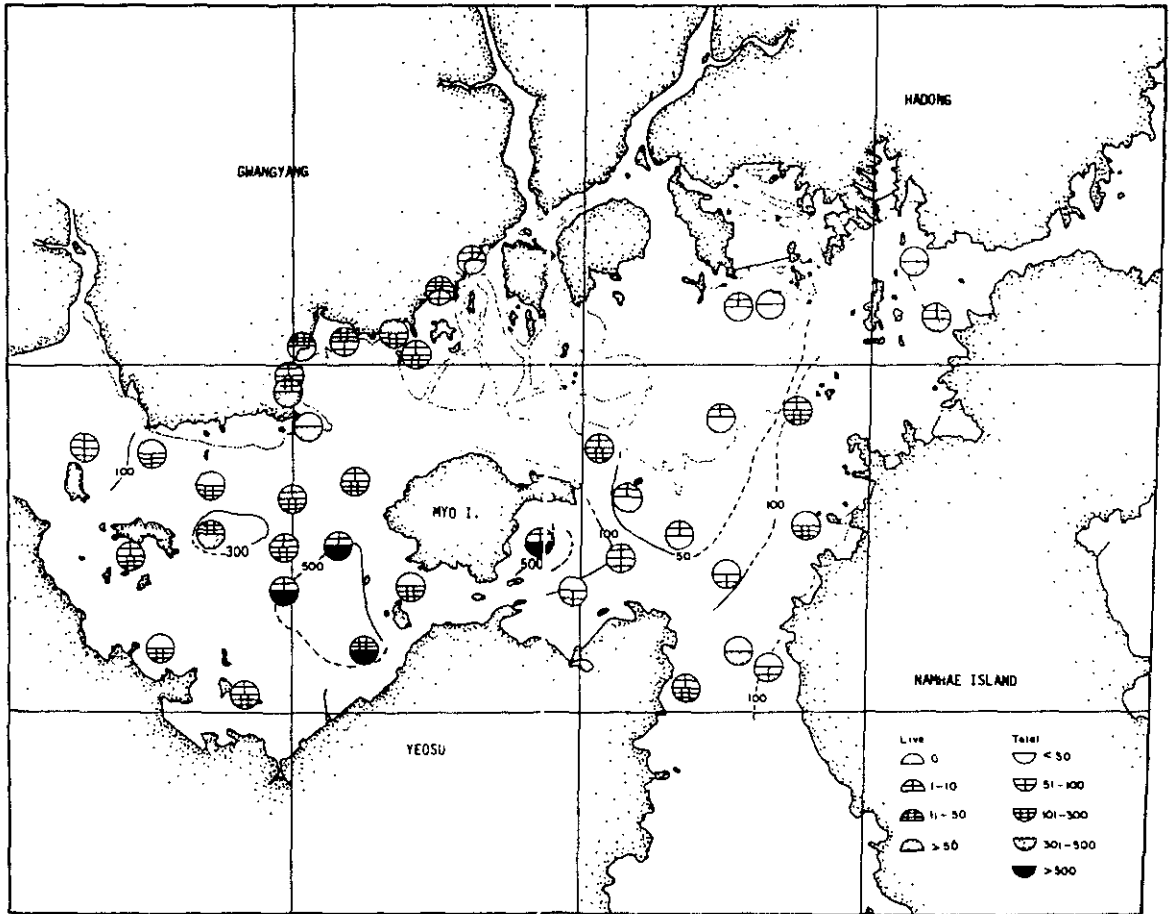


Fig. 3. Foraminiferal abundance in 10ml of wet samples; Live (upper-half circle) and Total (live plus dead) assemblages.

해저를 막론하고 생對전체 비가 증가하면 유공층개체수가 적어진다. 그러나 해저시료의 경우 유공층개체수가 많고, 생對전체비의 증가에 따라 유공층이 급격히 적어지는 반면, 조간대의 경우에는, 유공층의 개체수는 적으며, 생對전체비의 증가에 따라 유공층개체수가 적어지기는 하나 그 감소정도가 뚜렷이 완만하다는 점이다 (Fig. 5). 이러한 사실은 연구지역의 조간대의 경우, 환경변화가 적고 그에 따르는 유공층개체수, 생對전체비율 등의 변화가 적은 반면, 해저의 경우에는 그와는 크게 달라서 이들 변화가 크다는 것을 보여준다고 믿어진다.

연구지역에서는 생對전체비율이 증가함에 따라, 다시 말하면 상대적 퇴적율이 증가함에 따라, 유공층개체수가 희석되어서 적어질다는 일

반적 현상에서 벗어나지 않는다. 이 현상은 적어도 연구지역에서는 유공층의 많기에 영향을 미치는 주요인은 쇄설퇴적물의 유입이며, 생對전체비율은 상대적 퇴적율을 보여준다고 믿어진다. 따라서 조간대가 해저보다 퇴적율이 전반적으로 높다고 판단된다. 조간대에서 수어천입구가 가까이 위치한 시료 F13의 경우에는, 그보다 시쪽의 조간대에서 보다는 상대적 퇴적율이 낮은 것으로 판단되나, 이는 시료 F13이 육지와 김호도 사이의 수로 가까이에 위치해서 하천 및 조류의 에너지를 많이 받기 때문인 것으로 판단된다. 시료숫자가 적기는 하나 삼각주의 경우도 조간대에서 보다는 퇴적율이 낮으나 해저에서 보다는 높은 것으로 판단된다. 해저의 경우, 묘도 서쪽과 남서부 해저는 비교적 퇴적율이 높으나,

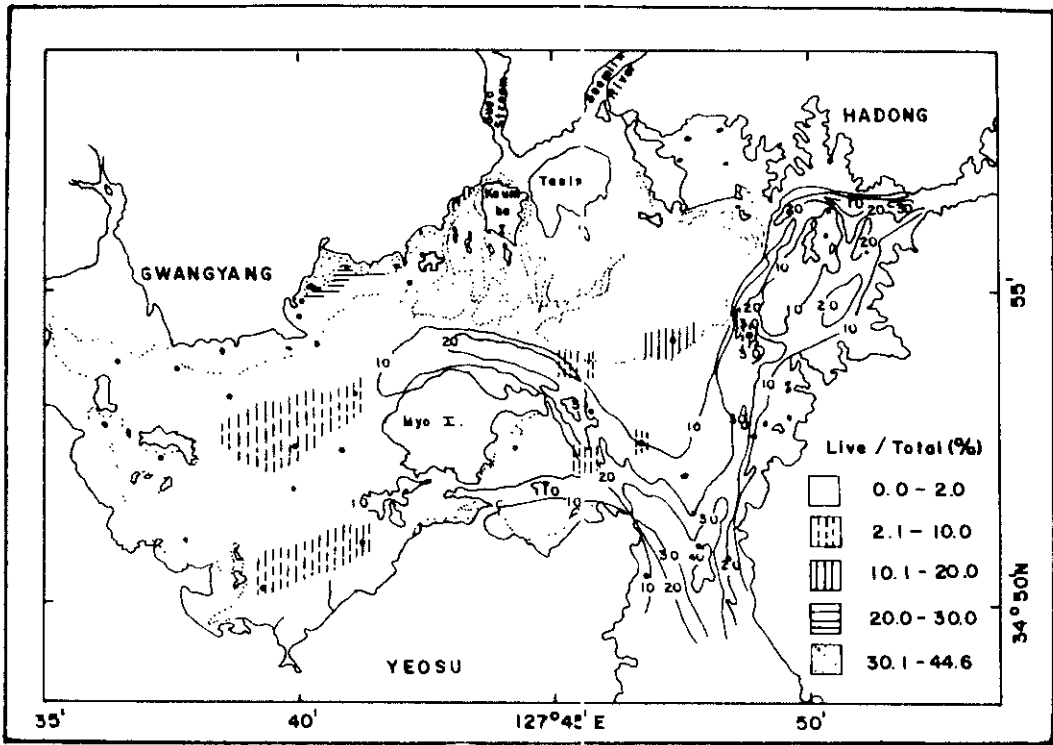


Fig. 4. Areal ratios of the live population to the total assemblage. Note high ratios of the intertidal flat and inner bay compared to the channels.

수로의 경우에는 퇴적현상이 거의 없는 것으로 보인다. 또한 조간대의 외곽 低潮線 부근을 따라서는(시료 F1, 5, 6, 15, 17, 21), 퇴적현상이 대단히 적거나 거의 없는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 이곳의 조류의 관찰자료(보향중첩제철주식회사, 1982)와 비교할 때, 퇴적이 거의 안 되는 곳은 거의 예외없이 조석이 빠르다는 점을 고려하면 해기물리라 믿는다.

Uchio(1960)는 California San Diego 앞해서의 저서유공충을 연구하면서 퇴적율을 구하는 공식을 만들었다. $L/T = L/P$ 이며 R은 퇴적율(cm year)이며, P는 年으로 표시된 유공충의 생산주기이며, T와 L은 각각 전체군집 및 살아있는 군집이다. 연구지역에 가장 우세한 *Ammonia beccarii*의 생산주기를 3개월로 가정하고 퇴적율을 구하면, 조간대 시료F13(L/T = 13.0%)에서는 0.520 cm/year, F12(L/T = 44.6%)에서는 1.784 cm/year, 삼각주 시료F52(L/T = 11.3%)에서는 0.452 cm/year, 해지시료4(L/T = 5.7%)에서는 0.228 cm/year

로 계산된다. 그러나 이 계산은 연구지역에서의 *A. beccarii*의 生産週期가 未知이고, *A. beccarii*가 主構成種이기는 하나 그래도 여러종으로 구성되어 있고, 계절적인 변화도 있을 것이므로 단순한 가정임을 밝혀준다. 또한 Uchio의 공식 자체가 얼마나 알리었느냐 하는 문제도 있고, 현생퇴적물의 비교적 장기간의 퇴적속도가 현재 수순간의 퇴적율과 반드시 일치한다고도 볼 수 없는 점 등의 문제점이 있다(Matoba, 1970).

2) 水深에 따르는 組成 및 生物場

Chang(1984a)의 연구에 의하면 연구지역에서 확인된 전체군집 36種의 유공충은 수심 9m 및 21m와 30m 사이에서 뚜렷한 조성의 차이가 있다(시료14, 59는 제외). 실제 이러한 차이는 수심에 따르는 전체군집 종의 조성을 보여 주는 Fig.6에서도 뚜렷하다. 또한 Chang(1984a)에 의하면 9m를 기준으로 多樣性, 皮殼의 構造에 따르는 조성, 優占度 등에 서로 뚜렷한 차이가 난다. 조간대 및 9m보다 얇은 해저시료들은 Fisher- α 다양성지수가 3.0 이하로 뚜렷이 적

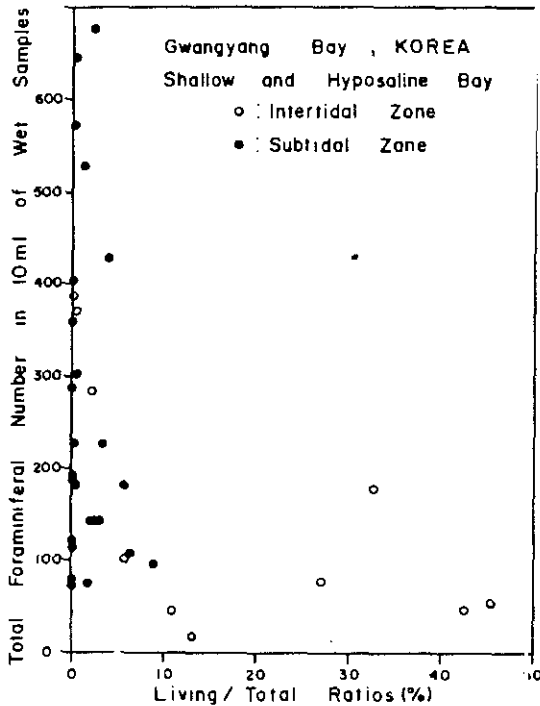


Fig. 5. Relationship between total foraminiferal abundances and ratios of the live to the total assemblages. Note the increase of the L/T ratios with the decrease of foraminiferal abundance.

고, 유리질 유공충이 뚜렷이 많으며, 우점도는 뚜렷이 높다. 반면 9m보다 깊은 해저시료 등은 다양성이 뚜렷이 크고 琉璃質 유공충이 적어지는 대신, 陶器質 유공충과 砂質 유공충이 증가하고 우점도가 현저히 낮아진다. 21m보다 깊은 시료들도 9m보다 깊은 시료들과 유사한 현상을 보인다.

Sanders (1960)의 動物群 親近 指數(Faunal index of affinity)를 시료간의 상사지수로 한 群集分析에 의한 生物場(Biotope)도 조간대, 내만, 수로 등으로 뚜렷이 구분된다. 내만에서 수로로 갈수록 다양성과 균등도는 높아지는 반면, 우점도는 낮아진다. 조간대에서 내만, 수로로 가면서 종의 수는 많아지고 유리질 유공충은 적어지며 사질과 도기질 유공충은 뚜렷이 증가해서 수심에 의한 조성변화와 일치한다(Fig. 7).

생물장이 분포하는 유공충의 전체군집 조성계 근거한다는 사실을 고려하면 생물장은 유공충

서식 및 퇴적환경을 나타낸다고 생각된다. 조간대 및 삼각주 표면층은 주기적으로 노출된다는 점에서 해저와는 다른 환경이다. 해저의 경우는 내만 및 묘도 동쪽의 얇은 해저환경과 조류의 주둥로인 수로를 주로 한 환경으로 나눌 수 있다. 수로환경은 동쪽연근지역에 남-북으로 발달한 노랑수로 외에도, 묘도를 남·북에서 싸는 묘도수로에서도 뚜렷이 나타난다(Fig. 8). 植物 플랑크톤의 空間分布도 이와 비슷한 결과를 보여준다(沈 등, 1984).

3) 각 환경에서의 퇴적작용

(1) 조간대

朴 등(1984)에 의하면, 평균만조선의 육지쪽으로는 자갈 또는 모래로 된 소규모 해변이 발달하며 대부분 해안침식에 의한 퇴적물로 되어 있으며 이들의 영향은 바다쪽으로 감에 따라 적어진다. 반면 조류에 의해 운반되는 세립질 물질은 해안선 쪽으로 가면서 더욱 세립으로 되어서 van Straaten and Kuenen (1958)의 지연효과(lag effect)를 잘 보여주고 있다. 연구된 조간대가 해안에 인접한 좁은 지역일지라도 해안 가까이에서는 높은 상대적 퇴적작용을 보인다. 또한, 다른 조간대와 마찬가지로 해안에서 멀어짐에 따라 상대적 퇴적작용이 낮아진다(Fig. 9).

(2) 삼각주

시료 F47, F48, F52, 61 등은 표면층에서 채집되었으며, 시료 57, 59는 전면층에서 채집되었다. 삼각주는 유공충이 적다는 점에서 특징적이며, 이들중 유공충이 비교적 많은 시료 F52, 61, 59 등이 분석에 주로 이용되었다. 생체전체비율로 보아서는 조간대보다는 퇴적이 낮으나, 수로보다는 높은 것으로 판단된다. 이는 삼각주로써 퇴적물의 공급을 끊임없이 받고 있음을 시사한다고 믿어진다. 표면층의 퇴적상이 모래이고, 전면층의 퇴적상이 썰렁인 모래로써, 조립질 퇴적상에 유공충이 비교적 많지 않다는 현상을 고려하면, 생태적인 이유도 있겠지만, 퇴적작용도 비교적 강함을 알 수도 있다. 선별된 개체수가 적어서 제외된 시료(F47, F48)도 전체군집의 개체수가 적다는 점을 감안하면 상대적 퇴적율이 상당히 높으리라 추정된다(Fig. 9).

(3) 내만 및 얇은 해저(하조대)

묘도서쪽의 넓은 내만 및 동쪽의 얇은 해저는

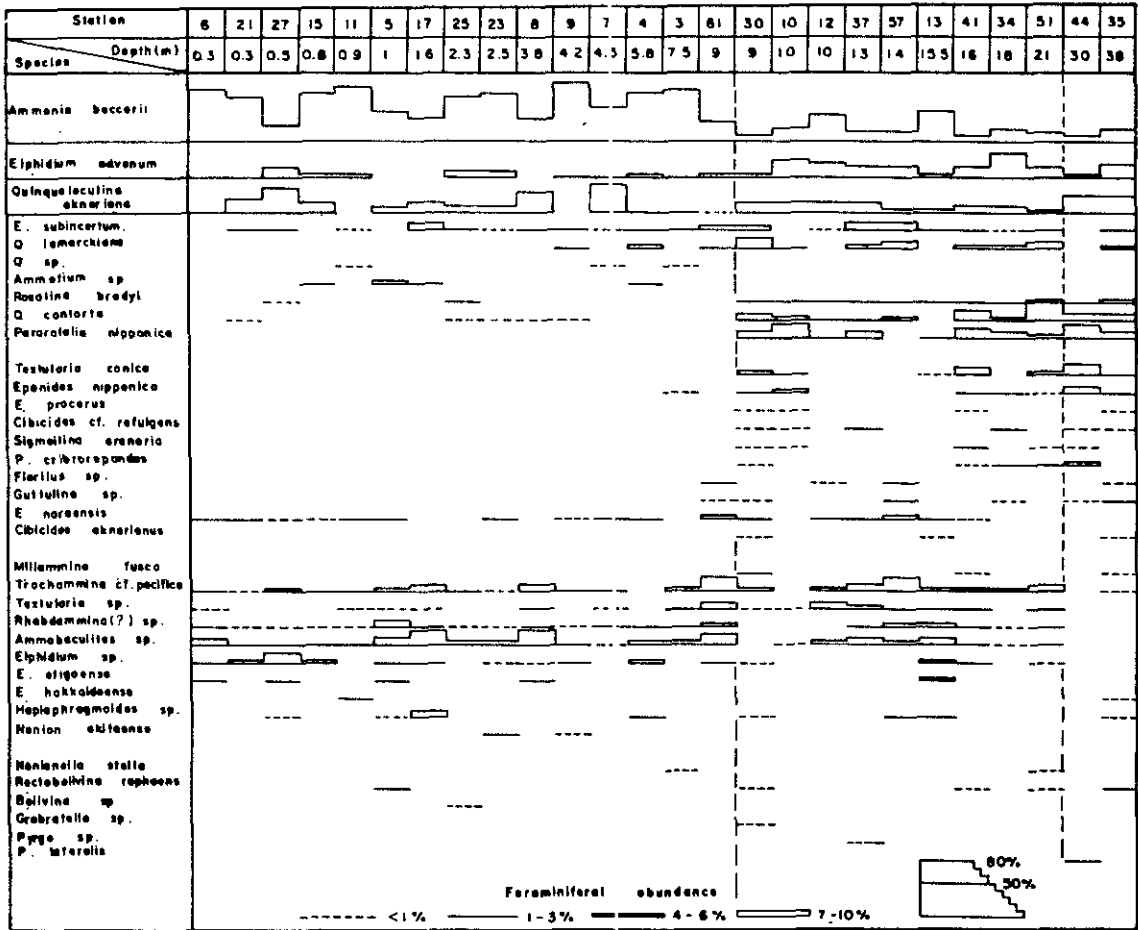


Fig. 6. Bathymetric occurrence of the species in the total foraminiferal assemblages. Note the distinct boundaries at 9m, and between 21 and 30m depth.

정조(靜潮)시 부유물질의 침전이 가장 우세한 환경이다(朴 등, 1984). 유공충의 産狀에 의한 상대적 퇴적작용은 조간대에서보다는 낮고 수로에서보다는 빠르다(Fig. 9). 묘도서쪽과 남서쪽 사이의 유공충이 뚜렷이 많은 내만해저에서 상대적 퇴적율이 특히 낮음은, 묘도 남쪽 수로를 통하여 유입, 유출되는 비교적 심한 조류의 영향으로 판단된다. 또한 低潮線을 따라서 상대적 퇴적율이 낮음도 지연효과의 감소와 비교적 높은 에너지에 기인하는 것으로 여겨진다.

(4) 수로(主潮流路)

수로에는 유공충이 비교적 적고, 살아 있는 개체가 거의 없다는 점이 특징이며 퇴적상이 모래 섞인 펄(sandy mud)이나 자갈로써 조립질이며 점토질 함량이 낮다는 점을 고려하면 퇴적작용

보다는 운반, 침식작용이 우세하다고 판단된다. 물론, 세립물질의 퇴적이 아닌 조립물질의 퇴적 현상을 생각할 수 있다. 이러한 현상은 수로에서의 조류 관측에서도 유추할 수 있다(포항종합제철주식회사 1982, 1985). 수로는 조석의 통로가 되고 생물장이 차이가 난다는 점에서 만바깥의 外海의 영향을 가장 많이 받는 곳으로 판단된다(Fig. 9). Choi and Koh(1984)의 광양만의 多毛類群集연구에 의하면,水路에는 다른 곳에 비하여 개체수가 많으며, 그들은 이 현상을 수로에 유입되는 많은 양의 有機物과 관련, 설명했다. 그들의 연구와 이 연구와의 차이는 연구된 동물군이 서로 다르며 따라서 다른 生態이기 때문인 것으로 생각된다.

Sub-Orders	Biotopes Species	Intertidal flats		Subtidal region			
		I	II	Inner bay facies		Channel facies	
				A	A'	B	B'
Rotaliina	<i>Ammonia beccarii</i>	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
	<i>Elphidium advenum</i>	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
	<i>E. subincertum</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>E. etigoense</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>E. hokkaidoense</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>E. sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Epistominella naraensis</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Pararotalia nipponica</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Rectobolivina raphaens</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Rosalina bradyi</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Eponides procerus</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>E. nipponicus</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>P. cribrorrepandus</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>P. lateralis</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Cibicides aknerianus</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>C. cf. refulgens</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
<i>Nonion akitaense</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
<i>Nonionella stella</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
<i>Bolivina sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
<i>Florilus sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
<i>Guttulina sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
<i>Grabratella sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Miliolina	<i>Q. akneriana</i>	-----	-----	██████████	██████████	██████████	██████████
	<i>Q. lamarckiana</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Q. contorta</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Q. sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Pyrgo sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Textulariina	<i>Haplophragmoides sp.</i>	██████████	██████████	-----	-----	-----	-----
	<i>Miliammina fusca</i>	-----	██████████	-----	-----	-----	-----
	<i>Annobaculites sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Trochammina cf. pacifica</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Textularia conica</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>T. sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	<i>Rhabdammina (?) sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Ammotium sp.</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
<i>Sigmoilina arenaria</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	

----- 1--2 █████ 3--5 ██████ 6--10 ██████████ 11--20 ██████████ 21--40 ██████████ 41--70 ██████████ 71--

Fig. 7. Frequency distributions of the total assemblages according to biotopes. Dotted lines indicate very rare and/or sporadic occurrences. Bar length indicate the number of samples having the species mentioned (after Park *et al.*, 1982).

論 議

Walton(1955)은 Phleger(1951)와는 달리 살아있는 군집의 죽은 군집에 대한 비율이 상대적으로 퇴적율을 보여준다고 Baja California의 Todos Santos 만 서서 유공충연구에서 발표했으며, Uchio(1960)는 유공충으로 퇴적율을 계산

하는 전술한 방법을 제안했다. Bartlett(1964)는 유공충 접질이 운반, 이동되고, 유공충의 생산주기 등을 모른다는 이유로 이러한 가설을 비판했다. Murray(1973)는年間 생산되는 개체수와 죽은 개체수를 비교하는 것 만이 유공충으로 퇴적율을 구할 수 있는 믿음 만한 유일한 방법이라 주장했다. Boltovskoy and Wright(1976)

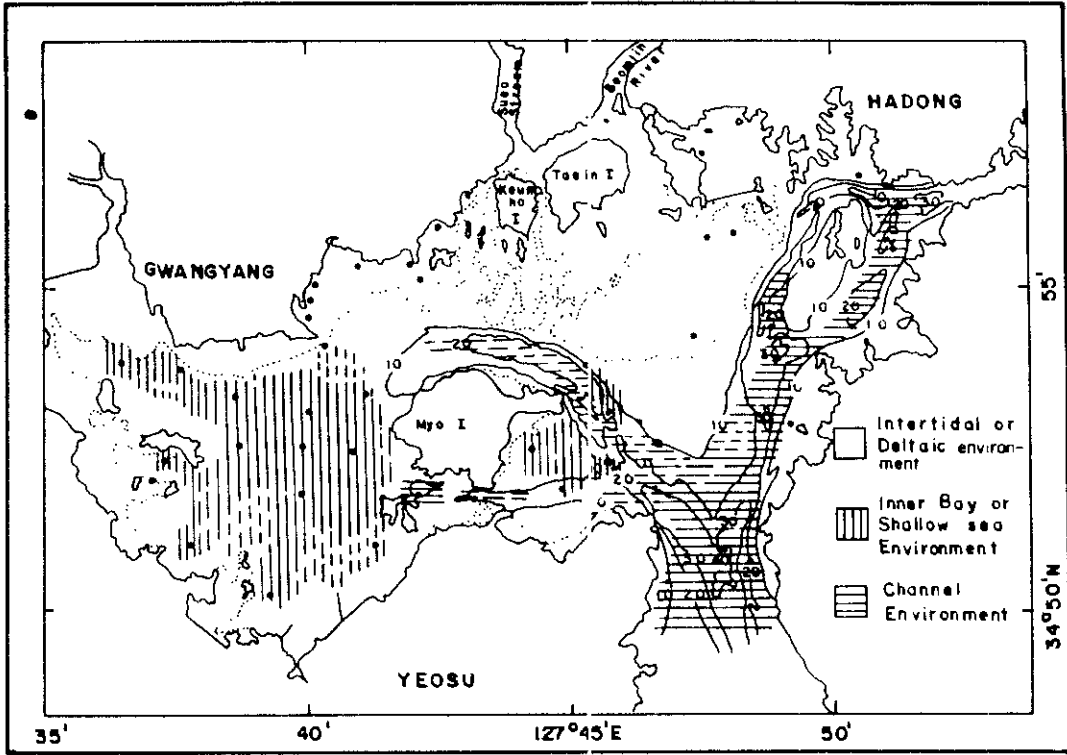


Fig. 8. Environments inferred from biotope analysis.

는 유공충의 생산주기가 잘 알려져 있지 않고, 유공충 껍질의 보존, 살아있는 유공충이 없는 경우 등의 이유로 Phleger (1951)의 의견을 비판했다. 그러나 우리나라 低鹽分潮間帶, 대륙붕에서 Malay 삼해, California 해저, 멕시코만에 의한 라군 및 Mississippi 삼각주, Canada의 여러 灣 등 20여곳의 관찰을 종합한 결과는, 대개의 경우 생對수體비율이 증가하면서 유공충이 적어진다는 것이었다. 예외는 있어서 아산만 조간대 및 방어진 남쪽 해저는 예외에 속한다. 일본 북동지방 秋田灣 대륙붕과 대륙사면도 예외에 속한다 (Matoba and Nakagawa, 1972). Matoba and Nakagawa (1972)는 이러한 예외적인 현상을 유공충 껍질의 보존, 계절적인 현상 또는 Phleger의 식기세의 문제 등 여러가지로 생각했으며, 더 연구할 필요가 있으나 유공충 껍질의 용해가 가장 큰 요인인 것으로 생각했다. 생對전체비율이 커지면서 유공충 개체수가 적어진다 하더라도 생對전체비율이 상대적 퇴적물을 지지하며, 유공충 개체수는 퇴적되어서 적어진다

고만 말하기가 어렵다. 왜냐하면 유공충 개체수는 퇴적물 뿐 아니라 생물의 작용, 유공충 껍질의 파괴 및 용해, 해저에서의 운반, 생물에 의해 再動되고, 침식되고 퇴적되기 때문이다. 또한 계절에 떠드는 변화도 있을 것이며, 殘留堆積物의 영향도 있을 것이다 (Phleger, 1964). 위에 열거한 여러인자들의 중요성도는 앞으로 연구되어야 할 과제들이나, 적어도 대개의 경우 생對전체비율이 증가하면서 전체개체수가 적어지는 뚜렷한 負()의 관계를 보인다는 것은 상당히 의미있다고 믿어진다. 先驗的으로 생각할 때 이들 여러인자는 동시에 작용하며, 또한 환경에 따라 서로 중에서도 어떤 한, 두인자가 특히 더 작용하리라 믿는다. 그러나 적어도 연구지역에서 이 두 관찰사항, 즉 유공충 개체수와 생對전체비율이 뚜렷한 負의 관계를 보인다는 것은 Walton (1955, 1964)의 의견대로 유공충의 많기에는 여러요인 가운데에서 퇴적작용이 가장 큰 요인임을 보여주는 것으로 판단된다. 또한 Phleger (1951, 1964)의 의견대로 생對전체비율은 대개의 경우

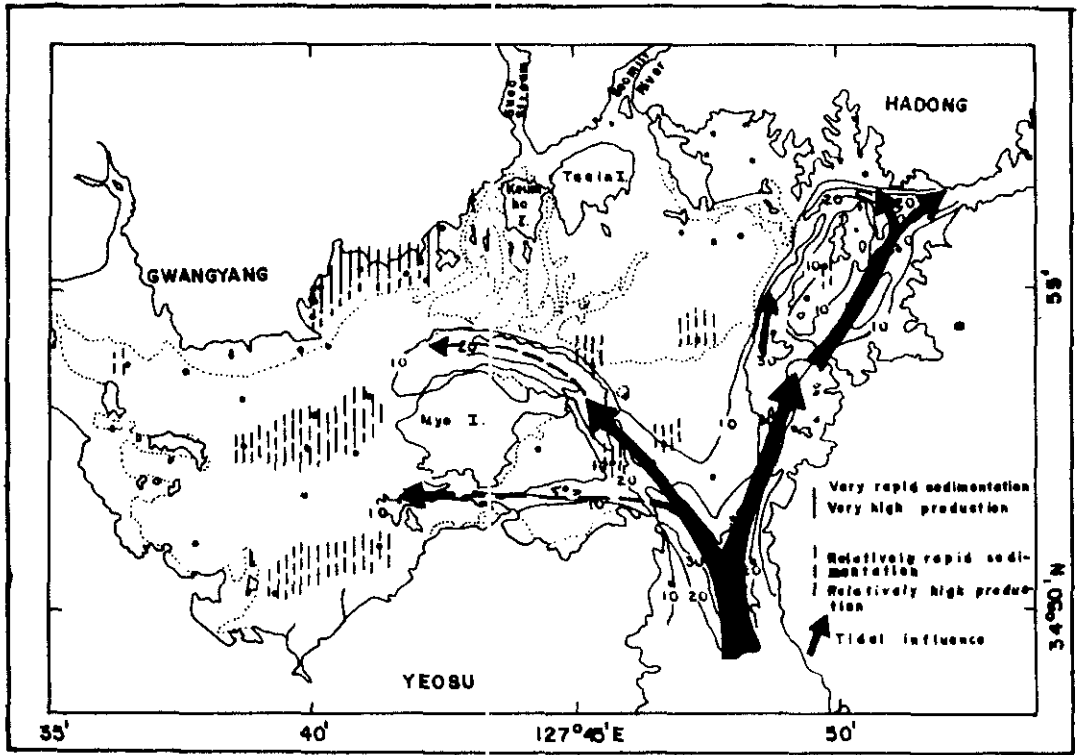


Fig. 9. Foraminiferal implications in the study area.

상대적 퇴적율을 시사하는 것으로 생각된다.

절대퇴적율은 Pb^{210} , C^{14} 등 동위원소를 이용하여 연령을 측정하면 구할 수 있을 것이며, 유공충을 이용한 값과 비교하면 의미있는 현상을 발견할 수 있으리라 믿는다. 방사성동위원소로 연령측정을 해서 얻은 비교적 장시간의 평균값과 현재 한순간에 얻은 값이 어떤 관계를 보일 것인가도 흥미이다.

삼각주의 생對 전체비율이 조간대의 그것보다 적다고 해서 삼각주가 조간대보다 상대적 퇴적율이 작다는 것도, 삼각주는 계속 퇴적이 되고, 삼각주에 유공충이 현저히 적다는 현상을 고려하면 반드시 옳다고도 할 수 없을 것 같다. 왜냐하면 조간대에서 퇴적이 많이 되겠으나 삼각주에도 퇴적은 잘 되기 때문이다. 삼각주가 모래로 되어서 비교적 조립질이기 는 하나 하천에서 운반되어 온 많은 유기물 때문에 유공충 서식에는 비교적 좋은 환경으로 생각된다. 조간대와 삼각주는 해저보다는 생對 전체비율도 높고, 개체가 적어서, 따라서 퇴적율도 높다고 믿어진다. 내만해저도 비교적 생對 전체비율이 높은 것

도 하천을 통해서 운반된 유기물 때문에 유공충의 종은 서식환경으로 판단된다.

생對 전체비율은 상대적 퇴적율과 관련, 해석할 수도 있으나, 또한 유공충의 생산과 관련시킬 수도 있다. 이 비율이 높으면 높은 생산, 낮으면 낮은 생산으로 생각할 수도 있다. 조간대가 비교적 높은 생對全體비율을 보임은 이지역이 세립질이고, 유기물이 많다거나 등의 이유로 유공충 생산에 좋은 환경이 되기 때문인 것으로 생각된다. 海底, 특히水路는 조립질물질로 되어 있어서 유공충 생산에는 좋지 않은 것으로 생각된다(Fig. 9).

Boltovskoy and Wright (1976)는 유공충을 이용한 퇴적율추정을 비판한 이유중의 하나가 살아있는 유공충이 선연 없는 경우에는 이 방법을 쓸 수 없다는 것이었다. 그러나水路試料에서 보듯이 潮流가 빠르고 따라서 粗粒質물질이 우세한 경우에는 퇴적이 거의 안 되거나 대단히 적은 경우도 있을 수 있다. 물론 조립질 물질이 퇴적이 되나, 유공충 棲息에 부적합해서 살아있는 유공충이 선연 없는 경우도 있을 수 있으나,

적어도 연구지역의 경우, 生對全體비율이 相對的 堆積率을 나타낸다는 일반적인 경향에서는 벗어나지 않는다고 이야기할 수 있다.

謝 辭

이 연구는 1981-82년에 걸친 韓國科學財團 및 韓國科學技術院 海洋研究所의 支援에 의하여 이루어졌다.

參 考 文 獻

건설부, 1973. 여수광양지역 수심측량 및 지층 탐사 보고서.

박용안, 이창복, 최진혁, 1984. 광양만의 퇴적환경에 관한 연구. 한국해양학회지, 19: 82-88.

박용안, 장순근, 이창복, 1982. 전남 광양군 내의 조간대 및 델타퇴적환경에 관한 연구. 한국과학재단에 제출. 32p., 16 fig.

심재형, 진삼윤, 이원호, 1984. 광양만 식물플랑크톤분포에 관한 연구. 한국해양학회지, 19: 172-186.

장순근, 이경신, 1983. 경기만 조간대의 현생저서 유공충과 그 의미. 대한지질학회지, 19: 169-189.

장순근, 이경신, 1984. 아산만 조간대의 현생저서 유공충에 대한 연구. 대한지질학회지, 20: 171-188.

포항종합제철주식회사, 1982. 광양만 수리모형 실험 및 해양조사보고서. 2장 p. 1~2.

포항종합제철주식회사, 1985. 광양세철소 목지조성 오탁관측보고서. 포항종합제철주식회사. 410p.

한국과학기술원 해양연구소, 1981. 연안 환경도 작성연구(경기만: 해양지질분야). 해양연구소 보고서, BSPE 00029-52-5, 226p., 환경도 19매.

한국과학기술원 해양연구소, 1982. 연안 환경도 작성연구(아산만: 해양지질분야). 해양연구소 보고서, BSPE 00041-63-5, 186p., 환경도 19매.

Bartlett, G.A., 1964. Benthonic foraminiferal ecology in St. Margarets Bay and Mahone Bay, southeast Nova Scotia, Unpublished Manus-

cript. Report B.I.O. 64-8, 159p.

Boltovskoy, E. and Wright, R.E., 1976. Recent foraminifera: Dr. W. Junk, V.R., 515p.

Chang, S.K., 1984a. Recent benthic foraminifera from Gwangyang Bay, Korea. Oertli, H.J. (ed.): Benthos '83; 2nd Int. Symp Benthic Foraminifera (Pau, April 1983). Elf Aquitaine, Esso REP and Total CFP, Pau and Bordeaux, 1984, p. 141-146.

Chang, S.K., 1984b. Recent benthic foraminifera as a sedimentary tool. Oertli, H.J. (ed.): Benthos '83, 2nd Int. Symp. Benthic Foraminifera (Pau, April 1983).-Elf Aquitaine, Esso REP and Total CFP, Pau and Bordeaux, 1984, p.147-151.

Choi, J.W. and Koh, C.H., 1984. A study on the Polychaete community in Kwangyang Bay, Southern coast of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 19:153-162.

Matoba, Y., 1970. Distribution of Recent shallow water foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.), 42:1-85.

Matoba, Y. and Nakagawa, H., 1972. Recent foraminiferal assemblages from the continental shelf and slope off Akita, Japan Sea, coast of northeast Japan. Prof. Jun-ichi Iwai Memorial volume, p. 657-671 (in Japanese with English abstracts).

Murray, J.W., 1968. Living foraminifers of lagoons and estuaries. Micropaleontology, 14: 83-96.

Murray, J.W., 1973. Distribution and ecology of living benthic foraminiferids: Heinemann Educational Books, London, 274p.

Phleger, F.B., 1951. Ecology of foraminifera, Northwest Gulf of Mexico, Pt. 1. Foraminifera distribution. Geol. Soc. Am. Mem. 46:1-88.

Phleger, F.B., 1960. Ecology and distribution of recent foraminifera. The John Hopkins Press, Baltimore. 297p.

Phleger, F.B., 1964. Foraminiferal ecology and marine geology. Mar. Geol., 1:16-43.

Sanders, H.L., 1960. Benthic studies in Buzzards Bay. III. The structure of the soft-bottom

- community. *Limnol. Oceanogr.*, 5:138-153.
- Uchio, T., 1960. Ecology of living benthonic foraminifera from the San Diego, California, Area. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication, No. 5, 72p.
- Van Straaten, L.M.J.U., and Kuenen, Ph.H., 1958. Tidal action as a cause of clay accumulation. *J. Sed. Petrology*, 28:406-413.
- Walton, W.R., 1955. Ecology of living benthonic foraminifera, Todos Santos Bay, Baja California. *J. Paleont.*, 29:952-1018.
- Walton, W.R., 1964. Recent foraminiferal ecology and paleoecology. *in* Imbrie, J., and Newell, N. (*eds.*), *Approaches to Paleoecology*, John Wiley and Sons, New York, p.157-217.

Received September 4, 1985

Accepted January 31, 1986

南極 : 그 自然環境과 地下資源

蔣 舜 權*

Terra Australis Incognita; Antarctica: Its Natural Environment, Petroleum, and Mineral Resources

Soon-Keun Chang

Abstract

Seventy-five years have passed since the Norwegian polar explorer Roald Amundsen put the first human footprint on the South Pole in his South Pole Expedition in 1911. Natural environment, petroleum, and mineral resources of Antarctica are briefly reviewed.

No petroleum or mineral deposits with economic value are discovered yet in Antarctica. However, it is thought that petroleum (and probably including minerals of Dufek stratiform gabbros) would be most promising in several decades. International stewardship of Antarctica associated with systematic investigations strengthened by modern techniques and facilities will show further possibility in other minerals.

I. 序 論

올해는 1911년 12월 14일 노르웨이의 극지 탐험가 Roald Amundsen이 남극을 정복한 지 75주년 되는 해이다. 인류에게는 “면 남극의 알려지지 않은 땅(Terra Australis Incognita)”으로 알려진 남극의 극지에 인간이 발을 디딘지 이미 75년이 되었다. 이러한 때에 흔히 켈핀과 얼음의 고향 정도로 알려진 남극의 자연환경과 지하자원을 고찰하는 것도 의의있으리라 생각된다.

II. 南極의 自然環境

1) 지 형

남극대륙은 남극점을 중심으로 하며, 남빙양으로 둘러싸인, 넓이가 한반도의 60여 배인 약 1,360만 km²(대륙 12,045,000km², 얼음으로 덮힌 대륙상 1,542,000km²)에 이르는 세계에서 5번째의 대륙이다. 남극대륙은 대륙 전체가 평균 2,160 m의 얼음으로 덮여 있으며 (Radok, 1985),

평균적 최대얼음 두께는 남위 69°54', 동경 135° 12'으로써 4,776 m 나 된다 (National Geographic Society, 1981). 남극은 그리니치를 지나는 본초 자오선에 따라 東南極과 西南極으로 나눌 수 있으며, 동남극이 더 넓고(9,856,000 km²), 더 높고(2,653 m), 얼음이 더 두껍다(2,638 m). 서남극은 넓이가 2,189,000 km², 평균 고도가 1,342 m, 평균 얼음두께가 1,782 m 이다 (Drewry et al., 1982). 위의 숫자에서 보듯이 얼음이 해면 이하로 발달되어서 인운을 제거한 기민안의 분포는 동남극의 경우 현저히 줄어들 것이며, 서남극은 대부분 물에 잠겨서 몇 개의 섬으로 될 것이다 (Radok, 1985). 남극 대륙 전체가 일년 내내 두꺼운 얼음으로 덮힌 것은 아니며, 여름에는 약 2%인 26~7만 km² 정도는 지표가 노출되며 노출되는 곳은 주로 서남극의 남극반도 및 Ross 海의 동쪽 및 남쪽을 따르는 南極橫斷山脈(Transantarctic Mountains)과 동남극의 해안에 국한된다 (Zumberge, 1979a).

2) 기 후

남극은 비닐이 씌우고 비가 안 온다는 집에서

* 한국 해양연구소

“폭설풍의 고향(The Home of the Blizzard)” 이니 “흰사막(White Desert)” 등으로 불리우며 충분히 그럴만한 이유가 있다. 또한 가장 추운 대륙으로써, 겨울에는 최저 영하 88.3°C 가 1960년 8월 24일 남극대륙 내부에 위치한 소련 과학기지 Vostok 에서 측정되었으며, 실제로는 측정된 값보다 더 춥다고 보아야 한다. 가장 추운 8월말이, 해안이 평균 영하 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$, 대륙이 평균 영하 $40\sim 70^{\circ}\text{C}$ 이다. 한 여름의 경우는, 남극반도 북단이 영상 10°C 가 넘으며, 대륙의 해안은 0°C 정도이며, 내륙지방은 영하 $20\sim 35^{\circ}\text{C}$ 정도이다. 온도도 낮지만 바람이 워낙 세어지므로 느끼는 추위는 측정된 온도에서 보다 훨씬 더 심하다. 겨울의 혹독한 추위가 남극생활에서 가장 큰 장애요인이며, 센 바람이 가세된다. 즉 대부분의 해안지방은 바람이 강하며 특히 동남극 해안지방의 바람은 유난히 강하다. 카타베티風(Katabatic wind)이라 알려진, 차고 건조하고 무거운 공기가 대륙 고지대로부터 해안쪽으로 불어내려가는, 이 바람은 돌발적으로 생기며, 짧고 한 지역에 국한되는 시속 300 km(초속 80 m)가 넘는 남극돌풍이 된다. 지금까지 바람의 기록은 시속 140~155 노트(초속 72~80 m)의 바람으로써, 동남극 해안에 있는 Australia 의 Mawson 기지에서 1960년 12월 9일 측정된 바 있다. 실제 Amundsen 보다 1달 늦게 1912년 1월 17일 남극점을 정복한 영국의 Scott 팀은 돌아 오던 도중, 조난당한 2명을 제외하고 남은 3명이 1912년 3월 19일 식량과 연료가 많은 완톤창고(남위 $79^{\circ}38'$, 동경 $169^{\circ}15'$)에서 11마일 떨어진 남위 $79^{\circ}50'$ 까지 왔으나, 20일에서 20일까지 바람이 하도 강해져 그들의 텐트에서 출발을 못하고 드디어 모두 조난당한 정도로 남극의 바람은 강하다(Nichols, 1982). 실제 풍속이 초속 17~21 m 만 되어도 바람을 안고 걷기는 힘들므로 이때의 바람은 이 보다 훨씬 세었다고 생각할 수 있다. 보통, 남극고원에서의 바람은 약하기 남극점의 경우, 여름인 12월이 월평균 시속 9 노트(초속 4.6 m)에서 겨울인 6~7월이 17 노트(초속 8.8 m) 정도이다.

남극대륙의 공기는 차고, 따라서 수증기량 온대지방 공기의 약 $\frac{1}{10}$ 정도만을 포함하며 더불어 대부분이 대륙주변부에서 눈으로 내려진다. 따

라서 남극고원은 일년 강수량이 연 50 mm(우리나라 1,200~1,400 mm 정도) 정도이며, 해안은 뚜렷이 높이지 500 mm 이상이 된다. 남극대기에는 두꺼운 수증기층이 없어서 남극 표면의 열에너지는 십사리 대기중으로 사라진다.

남극의 기후가 현재는 혹독하지만 地質時代에는 그렇지 않았다. 1985년 11월 16일부터 12월 9일에 걸친 韓國南極觀測探險隊(Korean Antarctic Research Expedition)가 조사한 남극 반도의 북단에 위치한 King George Island에서는 환암수 식물화석이 산출되며(蔣舜權, 1986), 이들의 지질시대는 Barton(1965)에 의하면 新生代 第三紀 Oligo-Miocene 으로 추정된다. 따라서 지금은 섬의 95% 이상이 얼음으로 덮힌 King George Island도 이 당시만 해도 환암수가 생장할 정도로 따뜻한 기후였다는 것을 알 수 있다. 실제 King George Island와 남극반도 및 주변의 조사에서는 중생대—신생대의 은빙, 소빙, 피차식산 등 온대지방의 식물화석이 많이 산출되고 있다(Torres, 1985).

3) 생 물

남극은 춥고 건조하고 겨울이 길고 어두우므로, 그러한 가혹한 환경에 서식할 수 있는 생물만이 살고 있다.

남극에 서식하는 식물은 800여종으로 알려져 있으며, 350여종이 식의류이다. 100여종의 이끼가 해안지역에 서식하며, 이외에도 이스트, 글팡이류가 서식한다. 남극반도해안 및 주변 도서에서도 많은 지의류가 서식한다(Redon, 1985).

남극에 특유한 동물군은 주로 무척추동물이다. 기후에 잘 못 견디고, 덜 확산되는 동물군들은 식물이 번성하는 곳을 따라 번성해서, 식물보다 덜 널리 분포한다. 선형동물, 섬모충류 등 원생동물이 흙과 눈속은 남수에 서식한다. 육상에 깍이 없고, 바다에 많은 먹이가 있어서, 남극해안은 새들의 낙원이다. 남극수렴선 이남에는 약 45종의 鳥類가 서식하며, 겨울에는 바다가 얼므로 황제 펭귄을 제외한 모든 조류가 북쪽으로 이동한다. 펭귄은 약 5천만년전에 지상에 출현했으며(Rich and Berra, 1979; Rich, 1982), 현재 6屬 18種이 있으며, 식도적하의 Galapagos 군도에서 남극대륙에까지 서식하며 약 1

역 2,000 단 마리당도로 추산된다. 남극에 7종이 서식하며 제일 큰 것은 황제 펭귄으로 키가 120 cm 정도, 몸무게가 40 kg이 넘는다. 펭귄은 날지 못하나, 수영을 잘 해서 크릴, 물고기, 오징어 등을 먹으며, 표범물개(Leopard seal)와 남극의 매인 Skua 에게는 죽음을 당한다.

남빙양에는 식물성 플랑크톤도 많으며 고래, 물개, 물고기, 오징어 등이 있다. 이 중에서 가장 중요한 것이 새우는 아니나 새우비슷하게 생긴 길이 3~6 cm의 크릴과 고래이다. 크릴자원의 생산과 이용, 우리 나라의 시험조업 결과와 남빙양 진출 방향은 주우인 외(1985)에 잘 설명되어 있다.

4) 얼 음

地上 담수의 99%가 얼음의 형태로 되어 있으며, 그 얼음의 90%가 남극에 있다. 다른 말로 하던, 세계 지상의 호수, 강, 토양, 대기내의 물의 총량은 남극얼음내 물의 1% 미만이다. 남극에서 얼음은 대륙과 주변해안의 氷床(ice sheet), 氷河(glacier), 氷棚(ice shelf), 海氷(sea ice), 氷山(iceberg) 등으로 되어 있다. 氷床은 “상당한 두께와 넓은 면적의 얼음”이며 지상에는 남극과 Greenland에 있다. 면적이 50,000 km² 이하인 것을 氷帽(ice cap)라 부른다. 동남극빙상은 남극 전체빙상의 면적으로는 82%, 체적으로는 88%를 점하며, 최고점의 높이는 4,000 m가 넘는다. 서남극빙상은 최고점이 2,500여 m이다. 낮은 곳으로 흘러내리는 빙상이 빙하로써 동남극의 폭 40~60 km, 길이 1,300 km, 두께 700여 m의 Lambert 빙하는 세계 최대의 빙하이다. 이외에도 남극 전역에는 260여개의 빙하가 있다. 얼음으로 덮힌 대륙봉을 氷棚이라 하며 두께는 보통 100~300 m이며, 면적은 학자에 따라 다르나 150~160만 km²이다. 주로 남극반도 주변 및 일부 동남극의 해안 등 10곳에 발달하며, 큰 것이 동서남극에 걸친 Ross 氷棚, 서남극의 Ronne 氷棚, Filchner 氷棚 및 동남극의 Amery 氷棚이다. 바다가 얼어서 단들어지는 해빙은 계절에 따라 면적이 달리져서, 남극의 여름으로써 면적이 최소일 때, 약 350만~450만 km², 겨울에는 최대가 되어 약 1,800~2,000만 km²가 된다(Drewry et al., 1982). 따라서 해빙이 최대일 때에는 남극대륙과 해빙의 분포면적은 약 3,400

만km²로써, 남반구 전면적의 약 13%에 해당한다. 해빙의 두께는 10~11월에 최대가 되어서 110~180 cm에 이른다(Kou et al., 1983). 1974년 인공위성 Nimbus로 관찰한 해빙의 발달을 보면, 9월 해빙이 최대가 되었을 경우, 서경 60°~동경 20°까지의 대서양 해역에서 비교적 북쪽인 남위 53~57°까지 발달하며, 태평양쪽 서경 150°~130° 지역도 비교적 북쪽까지 이르며, 인도양의 경우, 동경 40°~80°까지는 상당히 북쪽까지 발달한다. 2~3월에는 최소가 되어서 서남극 Weddell 海와, Bellingshausen-Amundsen-Ross 海 등의 해안을 따라 비교적 넓게 발달하며, 동남극 해안으로는, 해안을 따라 비교적 좁게 발달한다. 서남극반도의 북쪽해안, Ross 海 및 서경 11°~동경 30°까지와 몇 곳은 2~3월에는 바다가 얼지 않는다(Ackley, 1979). 빙산은 매년 약 1,000 km³(가로, 세로, 높이, 각 10 km 덩어리) 정도가 만들어지는 것으로 알려졌다(Radok, 1985). 빙산의 분포는 9~10월이 최대가 되어 서경 50°~동경 20°의 대서양 해역에서 가장 북쪽, 즉 남위 42~43°까지 분포하며 인도양쪽 동경 110° 부근에도 남위 54~55°까지 분포한다(Fig. 1)(Kou et al., 1983).

해저에서 굴착한 재료의 古溫度 연구에 의하

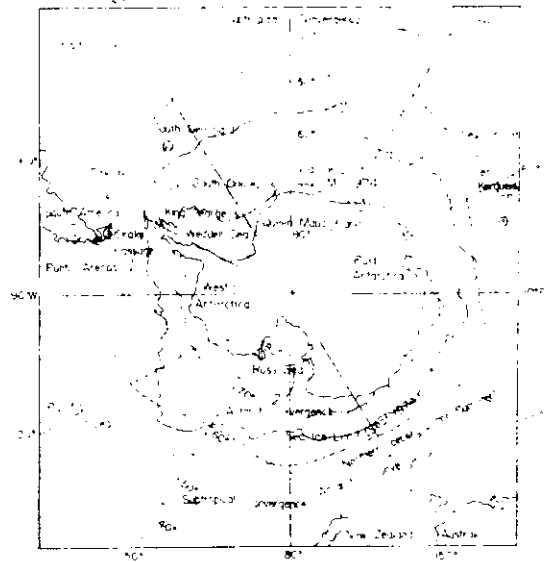


Fig. 1. Seasonal distribution of sea ice and icebergs. Circles represent glaciers in subantarctic regions and mid-latitudes (based on Ackley(1979) and Kou et al. (1983)).

던, 지금으로부터 3,800 만년 전인 에오세/올리고세의 경계로 부터 기후가 급격히 냉각되기 시작해서 (Savin et al., 1975), 남극대륙에 빙하가 만들어진 것으로 생각되며, 찬 해수인 南極底層水 (Antarctic Bottom Waters) 가 만들어진 것으로 생각된다 (Kennett, 1973). 서남극 전체가 후음으로 덮힌 것은 중기 Miocene 으로 생각되며 (Savin, 1977), 서남극 빙상이 동남극 빙상보다 형성된 시기가 짧으며, 현저히 불안정한 것으로 생각된다.

Ⅲ. 南極의 地質

1912년 1월 17일 남극을 정복한 영국의 Scott 팀이 조난당하는 최후순간까지 운반한 Beardmore 빙하의 빙퇴석에서 채집한 35 파운드의 지질자료에서 보듯이, 남극을 탐험하는 모든 사람들은 남극의 지질에 큰 관심을 가졌다. 이러한 여러 사람들의 노력에도 불구하고 남극의 지질은 1925년 이전에는 거의 알려지지 않았으나, 1925~1929년에 걸친, 영국이 주관한 대탐험이래, 노르웨이 (1926~37), 영국-호주-뉴질랜드 (1921~31), 영국-미국 (1928~30) 등 국제 공동탐험이 계속되어서 서서히 밝혀지기 시작했다. 이러한 국제 공동탐사에서는 비행기, 설상차 등을 사용하기 시작해서 넓은 대륙을 빨리 개략조사를 하기 시작했다.

2차 세계 대전 중, 후에도 남극 탐험은 계속되어서 지질, 지형, 빙하 등이 밝혀지기 시작했다. 1957년 7월 1일 시작해서 1958년 12월 31일 끝낸 國際地球物理觀測年度 (International Geophysical Year)에는 빙하, 지형, 지진, 지자기, 중력, 고층대기 등이 조직적으로 관찰, 측정되었다. 이 때 최초로 남극을 설상차로 횡단하면서 지구물리학적 자료가 획득되었다. 그 이후에도 계속된 남극탐험에 의해서 얻어진 지질학적 및 지구물리학적 자료는 정리되어, 축척 1:50 만 또는 1:100 만 地質圖로 부분부분 발행되기 시작했으며 1972년에는 남극전체지질도가 미국 과학재단 (National Science Foundation)의 지원을 받아서 Campbell Craddock 이 편집, 미국지리학회 (American Geographical Society)에 의해 축척 1:500 만으로 발행되었다. 지질학, 지구물리학

을 담당한 지구과학적 연구결과 등이 4차에 걸친 국제남극지구과학회의 (1차 1963년, 남아프리카 케이프타운, R.J. Adie 편집, 1964년 발행; 2차 1970년 노르웨이 오슬로, R.J. Adie 편집, 1972년 발행; 3차 1977년 미국 위스콘신주 매디슨, C. Craddock 이 편집, 1982년 발행; 4차 1982년 대양주 이벨라이트, R.L. Oliver, P.R. James, J.B. Jago 편집, 1983년 발행)를 통해 발표, 알려지게 되었다.

남극의 지질은 여러 시대에 의해서 연구되었으며, 아래는 주로 Rowley (1983)를 인용한 것이다. 남극의 지질은 크게 두 부분 즉 동남극과 서남극으로 나눌 수 있다. 동남극은 주로 先캄브리아 盾狀地로 되어 있으며 지각도 두꺼워서 40 km 정도이며, 서남극은 주로 중생대-신생대로 되어있으며 지각은 23~30 km 정도이다. 동남극과 서남극 사이에 위치한 남극 횡단산맥은 중기(?) 원생대~중기 고생대의 약하거나 중간 정도의 변성작용을 받은 線狀 습곡대인 퇴적암과 화성암으로 되어 있다. 동남극 순상지는 변성 정도가 심한 변성암이 대부분이며, 先캄브리아기-고생대의 규질-유색암성암이 부차적이다, 이들의 층서는 연속적인 노두가 없고, 기준이 되는 층이 없고, 절대연령 측정이 어려워져 잘 알려져 있지 않다. 남극횡단 산맥은 변성 정도가 약하거나 중간 정도인 중기(?) 원생대-중기 고생대의 퇴적암과 화성암으로 되어 있으며, 이들은 Beacon Supergroup과 Ferrar Group에 의해서 부정합으로 덮인다. 이들은 해설층이며 유색의 화산암이 협재된다. 하부-중부 고생대의 해설층이 발달되어 있으며, 순상지 남쪽에서는 마그마의 관입과 변형작용이 왕성했다. 전술한 Beacon Supergroup과 Ferrar Group은 주로 수평층이며, 변성작용을 안 받은 해설성 퇴적암이며, 지질시대는 고생대의 초기 내분기-중생대의 초기 유라기이다. 전자는 주로 河成層이며 간혹 氷堆石 및 화산암도 포함된다. Ferrar Group은 초암기성 성질의 현무암이며 전자를 관입한 岩脈과 脈암이며 Gondwana 대륙이 분리될 초기에 만들어진 것으로 생각되며, 지질시대는 1억 8,000 만년 전~1억 6,000 만년 전인 초-중기 유라기로 생각된다. 대부분의 서남극의 암석은 동남극의 암석보다 젊으나, 몇 개 지점에서는 先캄

브리아기 암석이 알려져 있다. 대부분의 서남극 암석은 Gondwana 대륙이 분리된 이후, 대양지각이 대륙지각 아래로 들어가면서 만들어진, 활동성인 태평양 조산대와 관계있으며, 지질시대는 전기 쥐라기—신생대의 후기 제 3기로 생각된다. 서남극은 대륙지역에서 분리된 수개의 대륙지판(plate)으로 되어 있으며, 그 중에서도 큰 4개 (Ellsworth 산맥, 서남극반도—東 Ellsworth 지역, 西 Ellsworth 지역, Marie Byrd 지역)는 노출되어 있다. 작은 암석권 조각이 Scotia 海의 북쪽 및 남쪽에 분포하는 심 아래에 있으며, 심한 변성작용을 받은 암석들이 南 Ross 海에서의 시추로 알려져 있다. 4개의 지판들은 일상의 구조가 서로 다르며, 원래 동남극의 태평양쪽에 있었던 것으로 생각된다(Fig. 4).

남극 대륙은 지금으로부터 약 2억년 전에는 지질학에서 이야기하는 超大陸 Pangea의 일부이었으며, 해저확장에 따라 분리될 시작했을 때에는 Gondwana 대륙의 일부로 南美, 남아프리카, 인도, 대양주와 결합되어 있었으며, 대양주와 함께 서서히 이동하기 시작했다(Craddock, 1982). 신생대 초인 6,500만년전까지도 대양주와 결합되어 있었으나, 5,500만년 전부터 분리를 시작했으며, Drake 해협을 단물면서 남미에서 분리된 것은 후기 Oligocene으로 생각된다(Barker and Burrell, 1976). 이들 대륙이 과거에 결합되어 있었다는 것은 1969년 남극횡단 산맥에서 발견된 *Lystrosaurus* 化石에서도 알 수 있다. 이는 2억년 전에 지상에 서식했던, 크기가 현재의 양반한 뚱뚱한 체구에 짧은 다리를 가진 대양에서의 수영에는 부적합한 담수산 파충류로써 남아프리카, 인도에서도 발견된다. 이 사실은 이들이 과거 한 때, 약 2억년 전에는 이들 대륙이 결합되어 있었다는 것을 지지한다. 이외에도 양서류, 호수생 물고기 등의 실존도 같은 현상을 지지한다(Colbert, 1982).

IV. 南極의 地下資源

남극에 지하자원이 부존하리라 예측하는 것은 너무나 당연하다. 남극이 춥고 얼음으로 덮여있고, 우리에게 잘 알려져 있지 않을 뿐이지, 그 거대한 대륙에 지하자원이 없을 리 없다. 실제 지

질기대에 남극과 결합되어 있던 남아프리카, 대양주, 인도 등지에는 석유 및 금속광상이 많이 부존된다(Wright and Williams, 1974; Behrendt, 1983).

1) 석 유

남극대륙연변부(Continental margin)에서의 석유가원 부존가능성은 많은 사람들(Wright and Williams, 1974; Zumberge, 1979 a, b; Holdgate and Tinker, 1979; Dugger, 1978; Spletstoeser, 1977; Ivanhoe, 1980; Cameron, 1981; Mitchell, 1983; Quigg, 1983; Behrendt, 1983)에 의해 여러 번으로 연구되었다.

남극에서 지구물리학적 방법을 이용한 탐사는 1930~40년대에도 수행했으나, 지진파의 굴절 또는 반사를 이용하거나 중력을 측정한다거나 자력을 측정하는 등 체계적으로 개략 조사를 한 것은 1950년대에 들어와서였다. 1950~60년대 초의 지진파 반사를 이용한 조사는 주로 얼음의 두께 측정이 목표였으며, 얼음 아래의 지각에 대해서는 연구실피가 비교적 적었다. 그러나, 한편 비행기에서 전파의 반사를 이용해서 기반암의 지형을 조사했으며, 동시에 지자기 측정결과를 이용, 얼음 아래의 지질 해석을 시도해서, 이미 1960년대 초에는 서남극의 Ellsworth 산맥의 서쪽에는 퇴적암의 두께가 5 km 이상이라는 사실을 밝혔다. 또한 Ross 海의 氷棚 아래에는 퇴적암으로 추정되는 임층의 두께가 4~8 km 또는 그 이상이라는 것도 밝혀냈다. 이러한 사실은 미국 해양지질조사선 *Eltanin* 호의 자력측정 및 탄성파민사파의 측정 결과의 해석으로도 재차 밝혀졌다. 서남극 Weddell 海 남쪽 Filchner 및 Ronne 빙봉에서의 소련 지구물리학자들의 항공자력탐사 결과, 이 지역의 대륙붕 아래에 두께 12~15 km의 퇴적암이 있다는 사실을 밝혔다. 영국 남극조사소(British Antarctic Survey)도 Ronne 빙봉의 퇴적암 두께가 14~15 km라는 사실을 밝힘으로써 이 지역의 퇴적암이 두껍다는 사실이 밝혀졌다. 이 지역의 퇴적암의 지질시대는 중생대 백악기 및 신생대 제 3기가 대부분이며, 고생대 및 그 이전의 지층도 어느 정도 있으리라 생각된다. 그러나 대륙이 이동하기 전의 古地理, 주변 대륙에서의 유전의 위치, 습곡, 단

층 등 남극에서의 지각 운동을 고려할 때, 남극에서의 석유 부존지층은 비교적 젊은 백악기—제 3기 지층일 것으로 생각된다 (Behrendt, 1983). 1976년 이후 노르웨이, 서독, 소련 등 Weddell 海 지역에서 지진파를 이용, 지하 구조를 해석하고 있다. 1976년 노르웨이 (Norwegian Antarctic Research Expedition)도 선술한 두꺼운 퇴적암층의 존재를 확인했으며, 서독 (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources)은 1978년 두께 3~5.2 km의 신생대 또는 후기 백악기로 추정되는 퇴적암층을 확인했으나, 그 아래의 지층은 퇴적암이라기 보다는 화산암으로 해석했으며, 따라서 함유가능성은 적은 것으로 해석했다. 1976년, 1978년 조사에서는 Ronne 氷棚 북쪽 Weddell 海는 조사되지 않았으며, 따라서 선술한 지자기에 의해 추정되는 12~15 km 두께의 퇴적암은 조사되지 않았다. 소련은 1980~82년에 걸쳐 이 지역을 조사했으나, 이 조사 결과는 공개되지 않았다. 일본 국영 석유회사 (Japan National Oil Corporation)도 1981~1982년에 걸쳐 Weddell 海를 조사했다. 서독은 1980년 Ross 海를 조사해서 2개의 불연속면을 발견, 심해굴착계획 (Deep Sea Drilling Project)에서 확인한 부정합면 (상부마이오세—하부플라이오세와 중부마이오세—상부마이오세)에 대비했으며 地下構造도 해석했다. 즉, 남극 횡단 산맥에 평행하게 남—북방향으로 발달한 3개의 해분이 있는데 밝혀졌으며, 동쪽 해분과 중앙 해분은 주로

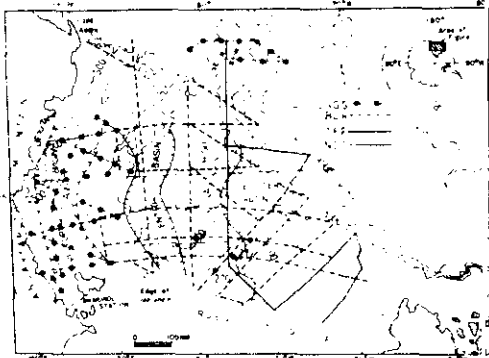


Fig. 2. Map showing location of multichannel seismic reflection surveys associated with structural features in the Ross Sea. Numerals 270, 271, and 272 show the locations drilled in DSDP, Leg 28. Bathymetry in meters (after Eittrheim et al., 1984).

빙하기원으로 믿어지는 퇴적암층으로 두께 4~5 km에, 지질시대는 신생대 (주로 올리고세 이후)이다, 서쪽 Victoria 해분은 더 오래된 지층으로 두께는 거의 비슷한 것으로 추정된다 (Fig. 2). 일본국영석유회사는 1981년 Bellingshausen 海에서 3,280 km의 탄성과 조사를 해서 이 곳 퇴적암의 두께가 3~3.5 km라는 사실을 밝혔다. 이외에도 불란서 석유연구소 (Institut Français du Pétrole)는 Ross 海, 동남극 등지에서, 호주는 동남극 Amery 氷棚에서, 일본 국영 석유회사는 Ross 海에서 탄성과 조사를 했으나, 이들의 결과는 발표되지 않았다. 1972년 12월—1973년 2월까지의 심해굴착계획의 28차 연구항해에서, 시추공 270~273까지 4개공이 Ross 海에서 굴착되었다. 이 때 지역적인 유기물의 고화작용에 기인한 메탄 및 에탄가스가 심하게 분출되어 굴착이 중지되었다 (McIver, 1975). 메탄가스 분출은 심해굴착에서 흔히 있는 일로써 석유의 밑을 단한 지시자는 아니며 (Heirtzler, 1975), 따라서 다른 연구 자료와 보다 깊은 연구가 필요하다. 또한 Ross 海에서 탄화수소가 나온 지층은 지질시대가 신생대 나이오세이며, 따라서 남극이 대양주에서 분리된 훨씬 이후이다. 그렇더라도 두께 4~5 km의 두꺼운 퇴적층은 석유 부존에 상

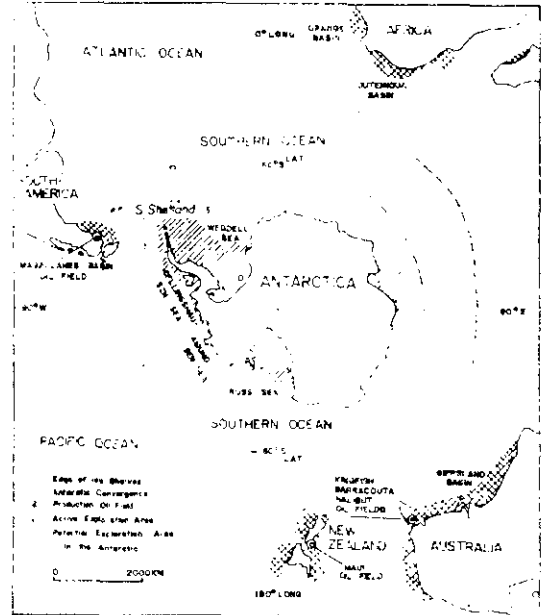


Fig. 3. Generalized map of potential hydrocarbon areas in Antarctica (after Zumberge, 1979b).

당히 유망하다. 석유탐사 자료는 공개가 잘 안 되나 지금까지 조사된 자료를 종합해보면 석유는 Weddell 海—Bellingshausen 海—Ross 海 등 주로 서남극 해저가 유망한 것으로 추정된다 (Fig. 3).

흔히 남극에 대규모의 석유와 천연가스가 매장되어 있다고 구체적인 숫자가 제시되나, 이에 는 기대에 찬 과장적 오해가 있는 것으로 생각되어 이에 자세히 밝힌다. 1973년 미국 지질조사소(U.S. Geological Survey)에서 미국 과학재단(National Science Foundation)을 위한 미발표보고서 Antarctic Mineral Resources에서 Ross, Weddell, Bellingshausen 海 등에 석유의 발견 가능매장량이 450억배럴이라 했으며, 이는 채굴 가능매장량 150억배럴에 해당된다(1983년 2월 미국신문 Platt's Oilgram에서도 150억이라는 숫자를 반복했다). 1974년 2월 21일자 Wall Street Journal 紙 1면에 J. Spivak 이 쓴 기사 'Now, the energy crisis spurs idea of seeking oil at the South Pole'에서 구체적으로 명시한 석유와 천연가스의 숫자도 위의 미발간보고서를 근거로 한 것으로 보인다(Westermeyer, 1982). 이 때만 해도 제 1차 석유파동 직후이므로 석유 개발은 매력적인 것이었다. 그러나 이 미발간보고서의 매장량 추정방법에 대해서 상당한 비판이 있으며(Holdgate and Tinker, 1979), 실제 1974년 N. A. Wright와 P. L. Williams가 편집한 미국 지질조사소 발행 Geological Survey Circular 705 Mineral Resources of Antarctica에서는 구체적인 숫자 제시없이 충분한 자료가 없다고만 보고하였다(Zumberge, 1979a). 반면 미국 지질조사소 에너지담당 책임자 Charles O. Masters가 1975년 3월 6일 과학 학술지 Science 에 보낸 편지에서는 1973년의 주장이 "사용할 수 있는 합리적인 숫자"라고 미발간 자료를 옹호하였다. 그러나 1976년 6월 Paris에서의 남극조약가입국자들의 특별예비회담에 제출한 美國務省 미발간 자료에 의하면 "수백억배럴이 채굴 가능한 것으로 보인다"라고 막대한 양을 인정했으나 구체적인 숫자는 회피했다(Zumberge, 1979a). 한편, 1979년 2월 22일 Gulf Oil 대표 John Garrett는 Washington, D. C.의 한 모임에서 Ross 海 및 Weddell 海의 가장 유망한 2지

점에 대한 구체적인 숫자를 제시했으나 그가 언급한 숫자가 믿길 가능한 양인지, 채굴 가능한 양인지에 대해서는 불확실하다(Mitchell, 1983). 그러나 J. C. Behrendt가 편집, 1983년 미국 지질조사소가 발행한 U. S. Geological Survey Circular 909 Petroleum and Mineral Resources of Antarctica에도 구체적인 숫자의 언급은 없다.

조사가 불충분하고 그것마저 잘 공개되지 않으며, 따라서 정량적으로 믿을 만하게 추정하기도 힘들며, 구체적인 숫자로 발표된 바는 없으나 엄청난 탄화수소 자원의 부존이 기대된다고 생각하는 것이 현재로서는 가장 합리적이라 믿는다.

2) 금속자원

1970년대 후반 및 80년대 초반에 들어와서 금속 수요가 증가하면서 남극에서의 금속, 비금속 지하자원에 대한 국제적 관심은 고조되어 갔다. 그 이유는 과거에 남극과 연결되었던 곤드와나 대륙의 부분(현재 주로 대양주, 남미, 남아프리카, 인도)에 지하자원이 많이 부존되어 있기 때문이며, 따라서 남극에서의 지하자원 부존가능성이 높으며, 탐사도 점점 도를 더해갔다. 그러한 금속, 비금속 자원관계탐사 결과는 계속 발표되었으며, 그 중에서 가장 종합적으로 연구된 것은 Wright and Williams(1974), Rowley et al. (1983 a, b)이며, 아래는 주로 이들 연구결과를 종합한 것이다.

남극에서 금속광화대는 크게 셋(동남극철광화대, 남극황단광화대, 안데스광화대)으로 나눌 수 있다(Rowley et al., 1983 a). 동남극철광화대는 지질학적으로 가장 오래된 광화대이며, 2부분으로 되어 있다. 하나는 Enderby Land-Wilkes Land에 걸친, 지질시대가 시생대—원생대인 層狀철광이 많이 부존된 부분이며, 다른 하나는 Queen Maud Land에 분포하는 지질시대가 시생대—전기 중생대까지인 脈狀산화철광화대이며 자철석 및 철광상과 관계있는 황화광물로 되어 있다. 동남극철광화대에서는 금, 우라늄, 니켈, 코발트 및 그와 관련된 금속광물들이 부존하며 다른 철광상의 발견도 기대된다.

남극황단광화대도 2부분으로 되어 있다. 하나는 후기 원생대(?), 조기 고생대 또는 중—후

기 고생대의 Ross 아광화대이며, 주로 구리, 모리브덴, 아연 및 귀금속이 부존된다. 다른 하나는 Ferrar 아광화대이며 지질시대는 중기 쥐라기이며, 수반되는 광물로는 철, 구리, 코발트, 크롬, 니켈, 백금 등이며, 특히 광범위한 지역에 걸친 층상 반력암인 Dufek 관입암체에서는 막대한 양의 금속자원이 기대된다(Ford, 1976, 1983).

안데스광화대도 2부분으로 나눌 수 있으며, 반점상 구리광체와 열수광맥으로 된 구리아광화대 및 正마그마광상 기원의 철광상으로 된 철아광화대이다. 안데스광화대는 남극반도에서 西 Ellsworth Land 까지 걸친다(Fig. 4).

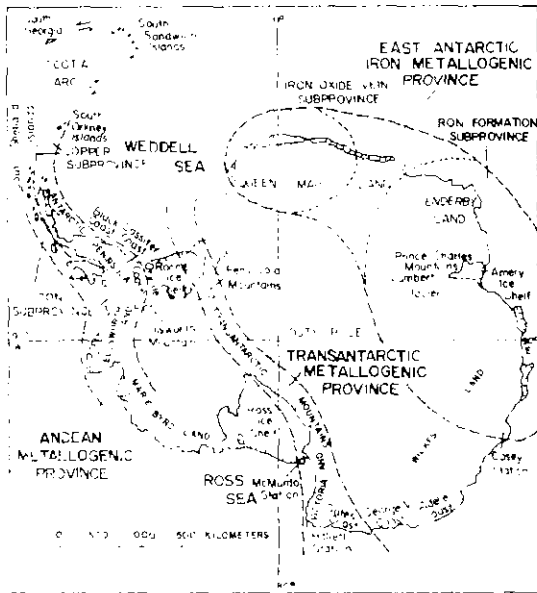


Fig. 4. Map of Antarctica showing metallogenic provinces(dashed line boundaries). Margins of ice shelves shown by hatched lines(after Rowley et al., 1983a).

철은 남극에서 가장 큰 금속자원으로 생각되며, 가장 중요한 광체는 縞狀철광(Jaspilite)이다. 남극 최대 철광상은 동남극 Prince Charles Mountains에 있다. 광체 두께는 70~400 m인 層狀철광과 철함량이 25~46%인 폭 5~10 km의 2개의 광맥이 얼음 아래로 각각 120, 180 km 계속되는 것이 밝혀졌다. 이 이외에도 철은 주로 동남극을 중심으로 거의 20곳에서 발견, 보고되었으며(Fig. 5), 현재는 경제성이 직물지라도 가장 유망한 광물 중의 하나이다(Mitchell, 1983).

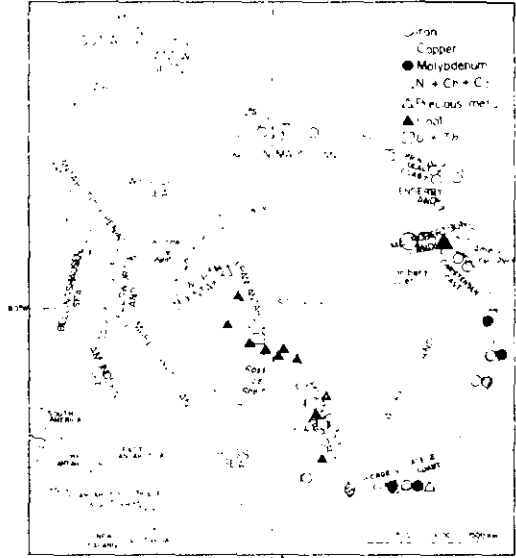


Fig. 5. Map of Antarctica showing mineral and coal occurrences. Note the major occurrence of iron in the East Antarctica. Dotted lines show boundaries of ice shelves. Inset shows relationship of Antarctica to other continental and oceanic plates, as well as spreading ridges(solid lines) in the ocean basins(after Rowley et al., 1983b).

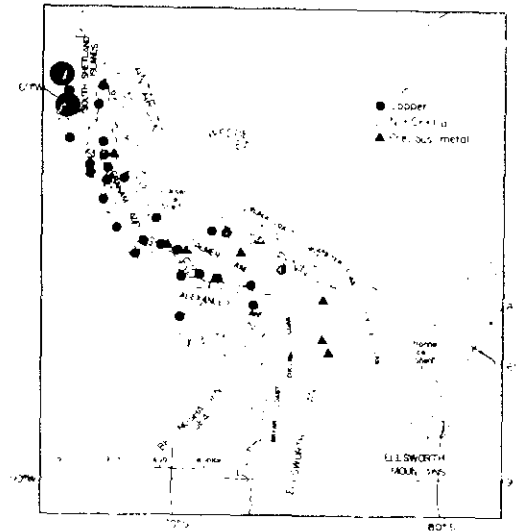


Fig. 6. Map of the Antarctic Peninsula showing mineral occurrences. Note the major occurrence of copper and related minerals in the mainland Antarctic Peninsula and islands(after Rowley et al., 1983 b).

구리, 몰리브덴 및 이와 관련된 금속광물들이 주로 남극반도에서 알려져 있다. 그러나 대부분이 심하게 침식되었거나 조사가 덜 되어서 현재로는 경제성이 적다. 가장 유망한 구리 산출은 남극반도 서쪽의 섬에서 알려져 있으며, 주로 남극반도 서측도와 남극반도를 중심으로 한 약 40여개소에서 산출이 알려져 있다 (Fig. 6).

앞에서 잠깐 언급한 Dufek Massif 은 염기성 화성암인 반려암 (Gabbro) 의 層狀貫入體이다. 규모가 대규모이고 세계의 우수한 광화대와 지질, 암상 및 수반하는 광물 등이 비슷하다는 점에서 가장 유망한 광체의 하나이다. 北 Pensacola 산맥에 있으며 두께는 7 km 또는 그 이상으로 생각되며, 분포면적은 약 50,000 km² 이상에 달한다 (Fig. 7). 대부분이 얼음으로 덮여 있기는 하나, 노출된 부분의 연구에 의한 구리, 크롬, 니켈, 코발트, 바나듐, 백금, 타이타늄 등이 산출되는 것으로 알려져 있다 (Ford, 1976, 1983). 기저가 노출되지 않고, 지금까지 연구가 개략조사이며 야외에서나 실내에서 정밀조사할 기회가 없었으나, Dufek 총상 반려암이 Ontario 의 Sud-

bury 니켈광체, Bushveld 광체 및 기타 총상 염기성 암석으로 된 광체와 비슷한 총상 화성암체라는 점을 고려하면 Dufek 광체는 남극대륙에서 가장 큰 광체가 될 것으로 기대된다 (Zumberge, 1979 a, b). 예정된 diamond drilling 이 된다면 보다 구체적인 평가를 하는 데에 도움이 될 것으로 믿어진다.

이 이외에도 금, 백금 등의 귀금속(10 개소), U-Th 의 방사능광물(4 개소), 연-아연-망간-주석-비스머스(9 개소), 몰리브덴(4 개소)의 산출이 알려져 있다.

금속자원은 거의 100 여곳에서 산출이 알려져 있으며, 자연조건이 가혹하고, 따라서 조사가 지표 조사에 국한된 개략조사가 대부분이다. 그러나 시간이 가면서 조사를 체계적으로 계속한다면, 새로운 금속 산지를 찾을 수 있을 것이며, 특히 서남극, 거기에서도 남극반도와 그 주변 도서에서의 발견 가능성이 가장 높다 (Wright and Williams, 1974).

3) 석 탄

두꺼운 석탄층이 남극빙단산맥과 동남극의 고생대 데본기에서 중생대 쥐라기에 걸친 지층에 부존되어 있다 (Wright and Williams, 1974). 또한 고생대 페름기에서 중생대 트라이아스기에 이르는 지층에서도 막대한 양의 석탄 부존이 알려져 있다 (Fig. 5). 현재는 경제성이 없으나 해안 가까이에 있는 것은 그래도 개발 가능성이 있으며 특히 동남극 Prince Charles Mountains 의 석탄은 대규모 철광상연에 있고 해안에 가까워 보다 개발 가능성이 있다고 생각된다 (Bennett and Taylor, 1972; Rowley et al., 1983 b; Mitchell, 1933).

V. 結 論

남극의 지질은 1930 년대 이후, 50 년간 급격히 알려지기 시작했으며, 그러할지라도 이들이 단편적이며 불충분하게 조사되었다. 연구가 계속되고 기술과 개념이 변함에 따라 새로운 사실이 계속 밝혀지리라 믿는다.

지금까지 남극에서 밝혀진 지하자원 가운데에는 석유가 가장 유망하며 서남극 해저에 그 부

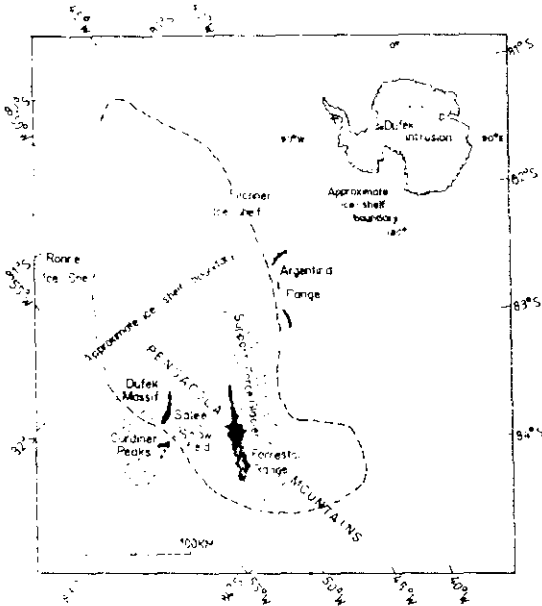


Fig. 7. Location of Dufek intrusion in Antarctica and its approximate outline under ice (dashed line). Dotted line near Forrester Range shows contact of the intrusion; queries indicate uncertainty (after Ford, 1983).

존 가능성이 제일 높다. Dufek 층상반려안의 급속광물도 상당히 유망하다.

현재는 조사가 단편적이고 가혹한 자연조건 때문에 경제성이 적으나, 남극에서의 자원 조사는 계속되어, 광체가 계속 발견되고, 시간이 갈수록 육상자원이 고갈되면 경제성도 지지리라 믿는다. 국제정치외교적 여건이 변함에 따라, 장차는 자원의 종류에 따라서는, 수십년 지난 다음 세기에는 개발도 되리라 믿는다.

V. 謝 辭

필자로 하여금 남극에의 관심을 일깨워 준 직접적인 계기는 1985년 11월 16일부터 12월 9

일에 걸친 南極 King George Island 탐사였다. 이는 한국해양소년단연맹(總長 尹碩淳) 및 주식회사 문화방송(社長 李雄熙)에 의하여 주관되었으며, 필자의 참가자는 한국과학기술원 해양연구소(所長 洪亨澤)의 권정에 의해서이다. 또한 1985년 11월 6일부터 12월 16일에 걸친 한국남극관측탐험(Korean Antarctic Research Expedition 1985-86)의 여정은 여러 관계기관들의 협조로 이루어졌으며, 특히 미국 Los Angeles 주재 韓國總領事官(總領事 金琪深) 및 남미 Chile 주재 韓國大使官(大使 徐京錫)의 협조가 컸다. 상기 여러 기관 및 그 관계자들에게 깊은 감사할 느린다. 이 일수는 한국과학기술원 해양연구소가 지원했다.

참 고 문 헌

- 蔣 舜樞, 1986, 南極 King George Island 調査, 한국지구과학회지 제 7 권, p. 56~58.
- 주우열, 목영수, 이진복, 1985, 남빙양 어장 조출의 합리적 추정 방향, 한국농촌경제연구원 연구보고 95호, p. 180.
- Ackley, S. F., 1979, Mass-balance aspects of Weddell Sea pack ice. *J. Glaciol.*, 24, p. 391~405.
- American Geographical Society, 1972, Antarctica, Scale 1 : 5,000,000, American Geographical Society, New York.
- Barker, P. J. and Burrell, J., 1976, The opening of the Drake Passage, *Abst.*, 25th Int Geol. Cong., Sydney, p. 881.
- Barton, C. M., 1965, The geology of the South Shetland Islands, III, The stratigraphy of King George Island: *British Antarctic Survey Reports No. 44*, p. 33.
- Behrendt, J. C., 1983, Are there petroleum resources in Antarctica? In: Behrendt, J. C. (ed.), *Petroleum and mineral resources of Antarctica*, Geological Survey Circular 909, U. S. Geological Survey, p. 3~24.
- Bennett, A. J. R. and Taylor, G. H., 1972, Coals from the vicinity of the Prince Charles Mountains, In: Adie, R. J. (ed.), *Antarctic geology and geophysics*; Oslo, Universitetsforlaget, p. 591~598.
- Cameron, P. J., 1981, The petroleum potential of Antarctica and its continental margin, *AP EA Journal*, 21, p. 99~111.
- Colbert, E. H., 1982, Mesozoic vertebrates of Antarctica, In: Craddock, C. (ed.), *Antarctic Geoscience*, Madison, p. 619~627.
- Craddock, C., 1982, Antarctica and Gondwanaland, In: Craddock, C. (ed.), *Antarctic Geoscience*, Madison, p. 3~13.
- Drewry, D. J., Jordan, S. R., and Jankowski, E., 1982, Measured properties of the Antarctic ice sheet: Surface configuration, ice thickness, volume and bedrock characteristics. *Ann. Glaciol.*, 3, p. 83~91.
- Dugger, J. A., 1978, Exploiting Antarctic mineral resources-Technology, economics, and the environment; *University of Miami Law Review*, 33, p. 315~339.
- Eittrheim, S. L., Cooper, A. K., and Scientific staff, 1984, Marine geological and geophysical investigations of the Antarctic continental margin, U. S. Geological Survey Circular 935, p. 12.
- Ford, A. B., 1976, Stratigraphy of the layered

- gabbroic Dufek Intrusion, Antarctica, Geological Survey Bulletin 1405-D, U.S. Geological Survey, p. 36.
- Ford, A. B., 1983, The Dufek intrusion of Antarctica and a survey of its minor and possible resources, In: Behrendt, J. C. (ed.), Petroleum and mineral resources of Antarctica, Geological Survey Circular 909, U.S. Geological Survey, p. 51~75.
- Heirtzler, J. R., 1975, The southern ocean floor, *Oceanus*, 18(4), p. 28~31.
- Holdgate, N. W. and Tinker, J., 1979, Oil and other minerals in the Antarctic, London, House of Print, p. 51.
- Ivanhoe, L. F., 1980, Antarctica-operating conditions and petroleum prospects: *Oil and Gas Journal*, 78, p. 212~220.
- Kennett, J. P., 1977, Cenozoic evolution of Antarctic glaciation, the circum-antarctic ocean, and their impact on global paleogeography, *Journal of Geophysical Research*, 82, (27), p. 3843~3860.
- Kou, K., Shinji, M. and Yoshiyuki, F., 1983, Science in Antarctica, 4 Ice and Snow, National Institute of Polar Research, Tokyo, p. 202, (in Japanese).
- McIver, R. D., 1975, Hydrocarbon gases in canned core samples from Leg 28 Sites 271, 272, and 273, Ross Sea, In: Hayes et al. (eds.), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, U.S. Govt. Printing Office, 28, p. 815~817.
- Mitchell, B., 1983, Frozen stakes: The future of Antarctic minerals, International Institute for Environment and Development, p. 135.
- National Geographic Society, 1981, National Geographic Atlas of the World, National Geographic Society, 5th Edition, Washington, D.C. p. 383.
- Nichols, R. L., 1982, Captain Scott and his last expedition, In: Craddock, C. (ed.), Antarctic Geoscience, Madison, p. 23~27.
- Quigg, P. W., 1983, A pole apart-The emerging issue of Antarctica, New York, McGraw-Hill Book Co., p. 299.
- Radok, U., 1985, The Antarctic ice: *Scientific American*, 253(2), p. 82~89.
- Rædon, J., 1985, Liqueues antarticos, Instituto Antartico Chileno, Santiago, p. 121, 21pls.
- Rich, P. V., 1982, Where did Australia's birds come from? - A question complicated by a new tectonic theory of the earth, Occasional Papers in Earth Science-Science Teachers Association of Victoria-Lab Talk special feature, 35, p. 19~30.
- Rich, P. V. and Berra, R., 1979, Bird history-the First 100 million years. *Aust. Nat. Hist.*, 19(12), p. 392~397.
- Rowley, P. D., 1983, Developments in Antarctic geology during the past half century, In: Boardman, S. J. (ed.), Revolution in the Earth Sciences-Advances in the past half-century, Dubuque, Iowa, Kendall Hunt Publishing Co., p. 112~135.
- Rowley, P. D., Ford, A. B., Williams, P. L., and Pride, D. E., 1983a, Metallogenic provinces of Antarctica, In: Oliver, R. L., James, P. R., and Jago, J. B. (eds.), Antarctic Earth Sciences, Canberra, Australian Academy of Science, p. 414~419.
- Rewley, P. D., Williams, P. L., and Pride, D. E., 1983b, Mineral occurrences of Antarctica, In: Behrendt, J. C. (ed.), Petroleum and mineral resources of Antarctica, Geological Survey Circular 909, U.S. Geological Survey, p. 25~49.
- Savin, S. M., 1977, The history of the earth surface temperature during the past 100 million years, *Ann. Rev. Earth & Planet. Sci.*, 5, p. 319~355.
- Savin, S. M., Douglas, R. G., and Stehli, F. G., 1975, Tertiary marine paleotemperatures, *Geological Society of America Bulletin*, 86, p. 1499~1510.
- Splettscoesser, J. F., 1977, Offshore development for oil and gas in Antarctica, In: POAC 77,

- International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 4th: University of New Foundland Memoir, p. 1~10.
- Torres, T., 1985, Plantas fosiles en la Antartica, Boletin Antartico Chileno, 5(2), p. 17~31.
- Westermeyer, W., 1982, Resource allocation in Antarctica-A review, Marine Policy, 6, p. 303~325.
- Wright, N. A. and Williams, P. L., 1974, Mineral resources of Antarctica, Geological Survey Circular 705, U.S. Geological Survey, p. 29.
- Zumberge, J. H., 1979a, Mineral resources and geopolitics in Antarctica, American Scientist, 67, p. 68~76.
- Zumberge, J. H., 1979 b, Possible environmental effects of mineral exploration and exploitation in Antarctica, Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge, p. 59.

요 약

금년은 “먼 남쪽의 알려지지 않은 땅”으로 알려진 南極의 極點에 인간이 발을 디딘지 75주년 되는 해이다. 남극의 자연환경의 地質 및 地下資源을 간단히 고찰했다. 1930年代 이후 남극의 지질이 많이 밝혀지고 있으나, 가혹한 자연환경 때문에 조사가 단편적이고 개략적이다. 연구가 계속됨에 따라 새로운 사실이 밝혀지리라 믿는다. 지하자원 가운데에서는 석유가 가장 유

망하며 특히 西南極海底에 그 부존 가능성이 가장 높다. 西南極 北部 Pensacola 산맥의 Dufek 層 狀斑巖에 부존되어 있는 금속 광물도 상당히 유망하다. 현재는 조사가 단편적이고 경제성이 적으나 국제외교적 역전이 변하고, 자원이 고갈됨에 따라 수십년 지나서는 개발도 되리라 믿는다.

南極 King George Island 調査

Korean Antarctic Research Expedition 1985/86

蔣舜權(Soon-Keun Chang)*

한국해양소년단연맹 및 문화방송이 주관한 韓國南極觀測探險隊에 동행, 1985년 11월 16일-12월 7일에 걸친 南極半島의 北端에 위치한 섬, King George Island에서의 調査活動을 간단히 보고한다.

서울을 1985년 11월 6일 출발, Los Angeles, Miami, Chile의 수도 Santiago를 거쳐 南美大陸의 最南端이며 Magellan海峽에 위치한 Punta Arenas에 도착한 것은 11월 12일 화요일이었다. 마지막 준비와 점검을 끝내고 King George Island로 들어가기 위해서 Punta Arenas를 출발한 시각은 현지시간 11월 16일 오전 11시 35분(서울시간 16일 23시 35분)이었다. Chile공군의 C-130 Hercules수송기로 Drake海峽을 지나 3시간만인 같은 날 오후 2시 30분 King George Island의 Chile공군의 군사기지(Base) Teniente Rodolfo Marsh에 도착했다. King George Island는 Punta Arenas에서 1,233km 떨어져 있으며, 南極半島에 대략 평행한 South Shetland Islands에서 가장 큰 섬으로 南緯 61°50'-62°15', 西經 57°30'-59° 사이에 위치하며 폭은 30 km, 길이는 80 km 정도이다(Fig 1). 남극은 1959년 南極條約이 체결되기 이전에는 7개국 (영국, Chile, Argentina, Australia, Norway, 불란서, New Zealand)이 영유권을 주장했으며, King George Island는 영국, Chile, Argentina 등 3개국의 영유권이 중복되는 지역에 위치해서 이름이 국가에 따라 다르다. 영국

과 Chile는 "King George Island"(스페인語로는 "Is a Rey Jorge")로 불리우나, Argentina에서는 "5월 25일섬"(Isla 25 de Mayo)이라 부른다. 현재 King George Island에는 Chile의 기상 Center인 Presidente Frei와 전술한 공군기지, 소련의 Bellingshausen과학기지(Station), Poland의 Arcowski과학기지, Brazil의 Commandante Ferraz과학기지, Uruguay의 과학기지, 中共의 長城과학기지, Argentina의 과학기지 등, 7개국의 과학기지가 있다. 남극조약체결이후, 영유권 주장이 동결되었다고 하나, Chile기지에서 느낀 것은, 적어도 King George Island는 Chile의 영토라는 점이었다는 것은 필자만의 느낌은 아니라 생각된다. 실제 King George Island에는 Chile 민간인이 거주하는 마을 "별"(Villa Las Estrellas)이 있으며 은행, 우체국, 국민학교가 있으며 의사도 상주하고 있으며, 최근에는 어린 아이들도 태어나고있다. Chile공군비행기인 수송기나 경비행기가 부정기적이거나 南美大陸과 King George Island사이를 운행되고 있다.

Farton(1965)에 의하면 쥬라기末期로 추정되는 火山岩과 백악기말기-제3기초기로 생각되는 Andean Intrusive Suite인 深成-半深成관입암이 섬의 대부분을 이룬다. 상부백악기-마이오세의 용암류가 상기 쥬라기암석의 측면에 단층작용으로 분포하며, 이 火山岩속에 얇은 퇴적암층이 협자되어있으며, 여기에서 식물화석이 나온다. Pliocene-제4기화산암이 섬의 남쪽해안을 따라 분포한다. 섬의 95%이상이 일년내내 얼음으로 덮여있으며, 섬의 남해안을 따라 기반암이 斑點狀으로 노출되어 있다. 남극 100여곳에서 금속, 비금속 자원의 露頭가 발견된 바, 구리는 남극

* Korea Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 29, Banweol, Ansan City, Kyonggi-do 171-14, Seoul, Korea

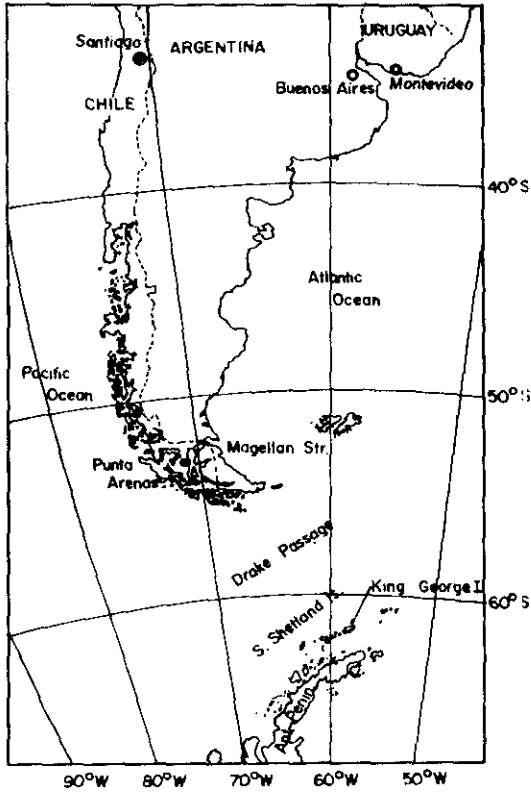


Fig. 1. South America, Punta Arenas, Antarctic Peninsula, and King George Island.

반도를 위시한 서측의 섬에서 많이 발견되고 있으며, King George Island에서도 막대한 양의 황철석과, 부차적으로 적철석, 갈철석을 수반하는 엄청난 규모의 석영맥이 발견되었다. 길이 2 km, 폭 155m인 석영맥, 길이 1.5 km에 폭 30 m인 석영맥, 길이 2km 이상에 폭 300m인 석영맥들이 발견, 보고되었다(Rowley et al., 1983).

필자는 韓國南極基地 주변 기반암이 노출된 곳에서 岩石(주로 安山岩, 集塊岩)을 채집했으며, 해변 퇴적물인 자갈, 모래 등도 채집했으며, 화산암사이에 협재된 얇은 퇴적암속에서 보균이 불량한 식물화석과 연체동물화석 등도 채집했다. 1972년 Covacevich and Lamperein의 시발자국 *Antarctichnus fuenzalidae*와 生痕化石의 산지로 생각되는 지점에서 새발자국 및 生痕이 선

명한 전석을 수거했다. 이 지점에서는 조사에 따라서는 다른 새발자국을 포함하여 보다 많은 자료를 채집할 수 있으리라 믿는다(Covacevich and Rich, 1982). 珪化木도 산출된다고 하나, 눈에 덮여서 채집이 불가능하였다. 웅기된 해변이 관찰되었고 퇴석물도 채집되었다. 斜面에서 점토, 모래, 자갈 등이 얼고 녹는 것을 반복하면서 흘러내러가기 때문에 粒度, 比重 등에 따라 점토와 자갈(또는 그이상)로 분리된 多角型인 平行線인 構造土(patterned ground)가 관찰되었다. 해변에 흩어져 있는 Penguin을 포함한 새들과 다른 동물들의 유해들을 遺骸生態學(Biostratonomy)적으로 해석하는 것도 흥미있으리라 믿는다.

체재기간중 기온은 밤에는 영하 12~13°C, 낮에는 영상 1~2°C 정도였으나 바람이 새어서(심한 경우 초속 15~20m 또는 그이상) 體感추위는 측정온도에서보다 심하였다. 바람이 불거나 진눈개비가 와서 3일에 하루정도만 정상야외활동이 가능하며, 낮의 길이는 20~21시간 정도였다. 공기는 건조했으며, 깨끗하다는 것을 피부로 느낄 수 있었다. 식물은 이끼류뿐이며 동물은 Penguin, 남극의 매인 Skua, 갈매기류, 큰바다새(Giant Petrel) 등이 있으며 곤충으로는 모기종류가 있었다. 해양생물로는 물개, 크릴 등의 갑각류, 삿갓조개, 성게와 모자반계통의 해조류 등이 관찰되었다.

Chile의 남극기상center인 Presidente Frei, 中공의 長城, 소련의 Bellingshausen 등을 방문하였다. 이들의 주 연구분야는 기상학, 지구물리학(지진학, 기자기), 지질학, 생물학, 해양학, 고층대기물리학 등이며, 여름에는 비교적 많은 사람이 연구하고, 겨울에는 감축된 인원이 잔류, 연구하고 있다. 11월만 해도 눈이 녹기는 하나 상당히 덮여 있으며, 12월 들어서는 많이 녹았다. 남극에서의 지질조사는 남극의 한 여름인 12~3월말까지, 눈이 녹아서 기반암이 가장 많이 노출되었을 때 행하여지며, 그 이외의 시기에는 지표지질조사는 어려우며, 지자기, 지진과 측정 등 지구물리학적 조사, 연구에는 큰 어려움이 없다고 생각한다.

한국남극관측탐험대는 King George Island섬의 남쪽인 Fildes반도 (남위 62°12'27", 서경 58°55'22")에 위치했으며, Chile 공군기지와 중공기지사이에서 Fildes灣과 Ardley섬을 바라보는 해안이었다. 텐트에서 생활했으며, 식생활은 익혀서 건조한 쌀에 뜨거운 물을 부은主食과 건조된 야채 및 두부로 된 국과 찬이었다. 눈녹은 물은 potassium이 모자라 體內的 電解質不均衡을 초래하고, 따라서 근육이 이완되고 기질이 공격적으로 변한다는 점에서 정상적인 물과 vitamin부족 예방을 위한 신선한 야채 및 과일의 공급이 중요하다.

12월 7일 King George Island를 Cessna기로 출발, Punta Arenas에 도착, 오던 길을 다시 돌아 서울에는 12월 16일 도착했다.

현재 南極海에는 막대한 양의 생물자원이 있고, 해저 및 대륙에는 방대한 양의 석유를 비롯한 지하자원이 매장되어 있는 것으로 생각된다 (Behrendt, 1983; Rowley et al., 1983). 현재로서는 조사가 불충분하고, 자연조건이 가혹하고, 환경과파 등의 문제가 있고, 정치, 외교적인 여건이 자원개발에는 부적당할찌라도(Zumberge, 1979), 언젠가는 개발될 것이라는 점을 고려하면, 우리나라도 국가예산이 허락한다면, 남극에 연구기지를 설치하는 것이 긴 안목에서는 국가에 도움이 되리라 믿는다. 끝으로 필자를 King George Island에서의 조사를 가능케 한 한국해양소년단연맹, 문화방송 및 한국과학기술원 해양연구소에 깊이 감사를 드린다.

Abstract

The Activity of the First Korean Antarctic Research Expedition was Briefly Noted.

參考文獻

Barton, C. M., 1965, The geology of the South Shetland Islands, III. The stratigraphy of King George island: British Antarctic Survey, Scientific Reports No. 44, 33p

Behrendt, J. C., 1983, Are there petroleum resources in Antarctica? IN: Behrendt, J. C. (ed.), Petroleum and Mineral Resources of Antarctica, U.S. Geological Survey Circular 909, p. 324.

Ccvacevich, V. and Lamperein, C., 1972, Ichnites from Fildes Peninsula, King George Island, South Shetland Islands, Adie, R. J. (ed.), Antarctic Geology and Geophysics, Oslo, Universitetsforlaget, 71-74.

Ccvacevich, V. and Rich, P. V., 1982, New bird ichnites from Fildes Peninsula, King George Island, West Antarctica. Craddock, C.(ed.), Antarctic Geoscience, Proceedings of the Symposium on Antarctic Geology and Geophysics, Madison, Wisconsin, U.S.A. Aug. 22-27, 1977, The University of Wisconsin Press, p. 245-254.

Rowley, P. D., Williams, P. L., and Pride, D E., 1983, Mineral occurrences of Antarctica. Behrendt, J. C.(ed.), Petroleum and Mineral Resources of Antarctica, U.S. Geological Survey Circular 909, p. 25-49.

Zumberge, J. H., 1979, Mineral resources and geopolitics in Antarctica. American Scientist, v. 67, p. 68-77.

Manuscript received Feb. 10, 1986.

南海岸 光陽灣의 潮間帶 海藻類에 關한 生態學的 研究

宋 春 福

(韓國科學技術院 海洋研究所)

An Ecological Study of the Intertidal Macroalgae in Kwangyang Bay, Southern Coast of Korea

Song, Choon Bok

Biological Oceanography Laboratory, KORDI, Ansan

The intertidal macroalgae in Kwangyang Bay were investigated in aspects to the flora, vegetation analysis and phytosociology. The influence of turbidity on the algal vegetation, caused by dredging and land-reclamation works, was also studied. As a result, 171 species of marine benthic algae, 8 blue-green, 24 green, 31 brown and 108 red algae, were identified. Vertical zonation was clear by the representative algae such as, *Gelidium divaricatum*, *Ulva conglobata*, and *Enteromorpha compressa* in the upper tidal zone, *Sargassum thunbergii* and *Ectocarpus confervoides* in the middle zone, and *Ulva pertusa*, Corallinaceae, *Chondria crassicaulis*, and *Undaria pinnatifida* in the low tidal zone. Species diversity indices appeared to be higher at Hangumi than Myodo. The period of higher standing crops was both in April by *Sargassum thunbergii*, *Hizikia fusiforme* and *Enteromorpha linza*, and in August by *Ulva pertusa*. According to cluster analysis based on the coverage, algal vegetation was recognized into three groups; spring type, summer type and autumn type. From the phytosociological point of view, algal community in Kwangyang Bay appeared to have intermixed characteristics both of west and middle to east half of the southern coast and of inland-sea and open-sea. On the other hand, the increment of mean turbidity less than 20 ppm seemed not to affect the intertidal algal vegetation in this area.

Key Words Algal vegetation, flora, Kwangyang Bay, southern coast of Korea

沿岸地域の埋立工事は國上の 효율적인利用과 균형적인 發展이라는 긍정적 側面에서國內 곳곳에서 행해지고 있다. 그러나 이와 같은 工事は 여러가지 物理的 環境이나 水質의變化를 야기하게 되어 海洋生物에 직접·

간접적으로 영향을 미칠 것으로 생각된다.

光陽灣의 경우 光陽製鐵所 建設을 위한 부기 조성, 수로 건설과 호안 축조 공사 등을 위한 浚渫·埋立作業 등으로 인하여 環境의 變化를 일으키게 되었으며 특히, 이들 환경

*本 論文을 拜讀을 맞이하신 姜悌源 博士께 獻呈함.

요인 중 濁度의 현저한 증가를 가져왔다. 그러나 潮間帶 海藻植生에 대한 濁度의 영향에 관해서는 별도로 調査된 바 없으며, 주로 자연 상태의 海藻群落을 對象으로 한 海藻相 및 生態調査가 수행되고 있을 뿐이다.

光陽灣 隣近地域에서의 海藻類 調査는 Kang (1966)이 採集地가 여수, 오동도인 海藻類의 출현종을 기재한 후, 송등(1970), 손등(1982), 손(1983)에 의한 오동도와 돌산에서의 群落調査가 있으며, 光陽灣에서는 李等(1975)과 Lee와 Kim(1977)에 의해 각각 해조 군집의 季節的 變化와 海藻相이 조사된 바 있다.

따라서 본 研究는 海藻相, 垂直分布, 群落分析을 통해 光陽灣 海藻類의 특성을 밝히는 한편, 光陽製鐵所 建設을 위한 浚渫 및 埋立 工事에 의한 濁度增加 등의 인위적인 環境變化가 海藻群落에 어떤 영향을 미치는지를 규명하고자 수행되었다.

材料 및 方法

南海岸 中部에 위치하는 光陽灣은 陸地와

南海島에 의해 형성된 灣으로, 서쪽은 低質이 주로 泥質로 되어 있어 透明度가 매우 낮으며 海藻植生이 빈약하다. 灣의 북쪽에는 蟾津江으로부터 淡水의 영향을 받으며 남쪽과 북동 쪽으로는 수로에 의해 해수의 流出入이 가능한 지역이다.

본 研究는 浚渫 및 埋立 工事로 인한 濁度 증가가 해조 식생에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위해, 공사 지점에서 비교적 가까운 묘도와 麗水쪽 水路 옆에 위치하여 공사로 인한 濁度의 직접적인 영향을 받지 않은 곳으로 생각되는 한구미를 對照區로 선정하여 조사 분석 하였다 (Fig. 1). 묘도의 경우 1984年 8월 이후에는 海岸道路 工事에 의해 조사 지점이 없어졌기 때문에 1983年 2월부터 1984年 6월까지 調査가 수행되었으며, 한구미는 1983年 2월부터 85年 4월까지 隔月別 調査를 실시하였다.

海藻類의 定量調査는 조사 지점의 最上部에 基準點을 표시한 후 line transect를 설치하고 (Fig. 2), 50cm×50cm 方形區를 10cm×10cm로

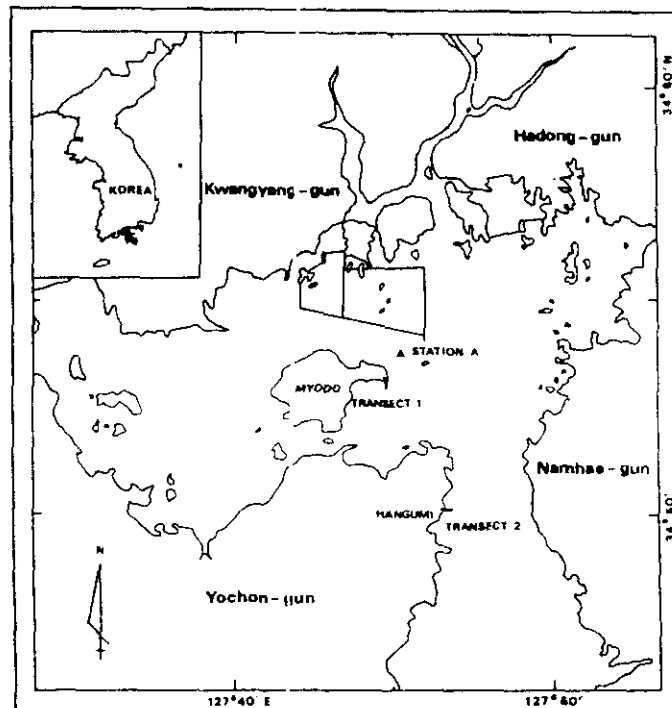


Fig. 1. A map showing the site of two transects and station A for the measurement of several environmental factors.

細分한 小方形區를 이용하였고 (Saito and Atobe, 1970), 묘도의 경우 1.5m 간격으로, 한구미는 연속적으로 方形區內 出現種의 被度를 측정하였다. 보다 정확한 海藻類의 垂直分布를 조사하기 위하여 直徑 12mm 비닐관과 潮位測定用 막대 그리고 7ℓ 들이 채집통을 이용하여 潮位를 측정하였다 (Price *et al.*, 1980). 現存量調査는 年中 出現하는 種의 純群落을 대상으로 量的으로 가장 풍부한 곳을 택해 方形區를 설치한 후 수량을 채취하여 10% 해수 포크말린에 固定한 후 실험실로 옮겨 105°C에서 48시간 乾燥시킨 후 乾重量을 측정하였다 (Wetzel and Westlake, 1974).

群落分析은 다음과 같이 실시하였다. 主要 出現種의 優點度는 相對頻度와 相對被度の 算術平均値를 계산하였고 (Greig · Smith, 1964), 조사 기간 중 多樣度 變化를 알아보기 위해 Shannon - Weaver의 種多樣度指數 H' (Pielou, 1977)와 이를 이용한 均等度指數 J' (Pielou, 1977)를 구했으며, 種多樣度指數 H' 는 2를 대수의 밑으로 사용하여 구했다. 主要種의 조위별 조사 시기별 被度の 變化를 보기 위해서 直接 徑度分析을 실시하였으며 (Bolton, 1981), 海藻群落의 변화 양상을 알아보기 위해 類似度指數 (Bray and Curtis, 1957)를 사용하여 Sneath와 Sokal(1973)에 따라 dendrogram을 작성하였다.

結果

1. 海藻相

본 調査에서 밝혀진 海藻類는 總 171種으로 藍藻類 8種, 綠藻類 24種, 褐藻類 31種, 紅藻類 108種이었으며, 調査地點別 出現種數는 묘도에서 藍藻類 3種, 綠藻類 19種, 褐藻類 26種, 紅藻類 80種으로 128種, 한구미에서는 藍藻類 5種, 綠藻類 15種, 褐藻類 21種, 紅藻類 91種으로 132種이 同定되었다 (Table 1).

이들 중 年中 보편적으로 出現하는 種은 *Gelidium divaricatum*, *Caulacanthus okamurai*, *Sargassum thunbergii*, Molobesioideae, Corallinaceae, *Ceramium japonicum*, *Chondria crassicaulis*, *Symphocladia latiuscula*, *Ulva pertusa* 등이었으며 調査期間中 出現種 및 分類群別 種組成의 變化는 Fig. 4와 같다.

묘도의 경우 1983年 2월에 76種으로 가장 많이 출현하였고, 4월에 56種, 12월에 52種 1984年 2월과 4월에는 각각 59種과 56種으로 出現種數가 많았으며 1983年 6월과 10월에는, 출현종수가 적었다. 1983年 8월에 61種으로 出現種이 많았던 것은 잠수 채집에 의해 潮下帶 棲息種들이 추가되었기 때문으로 생각된다. 한구미의 경우 出現種이 1983年 4월에 64種으로 가장 많았으며, 6월에서 8월까지의 점차 적어졌다. 1983年 10월부터 1984年 6월까지

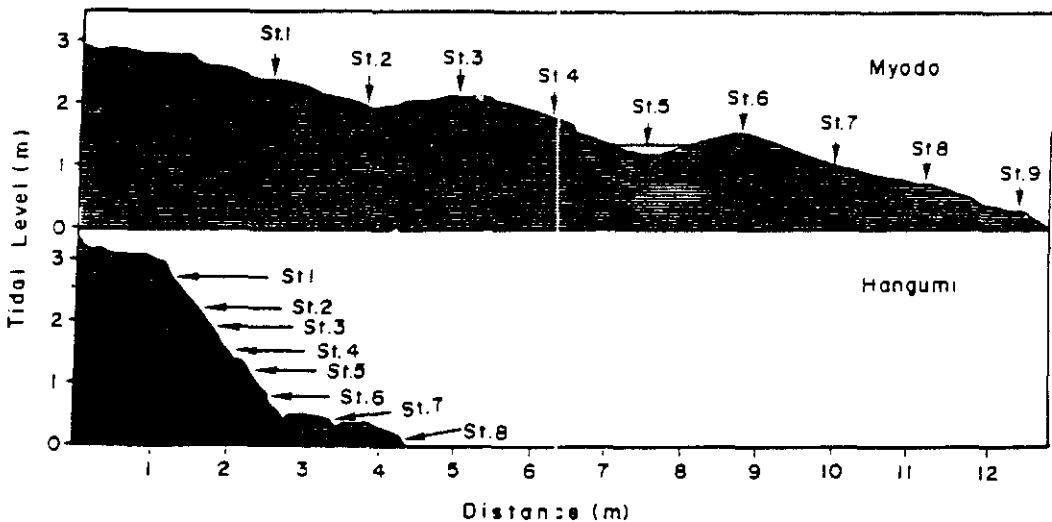


Fig. 2. A profile of the substrata in two transects and sampling stands in Kwangyang Bay.

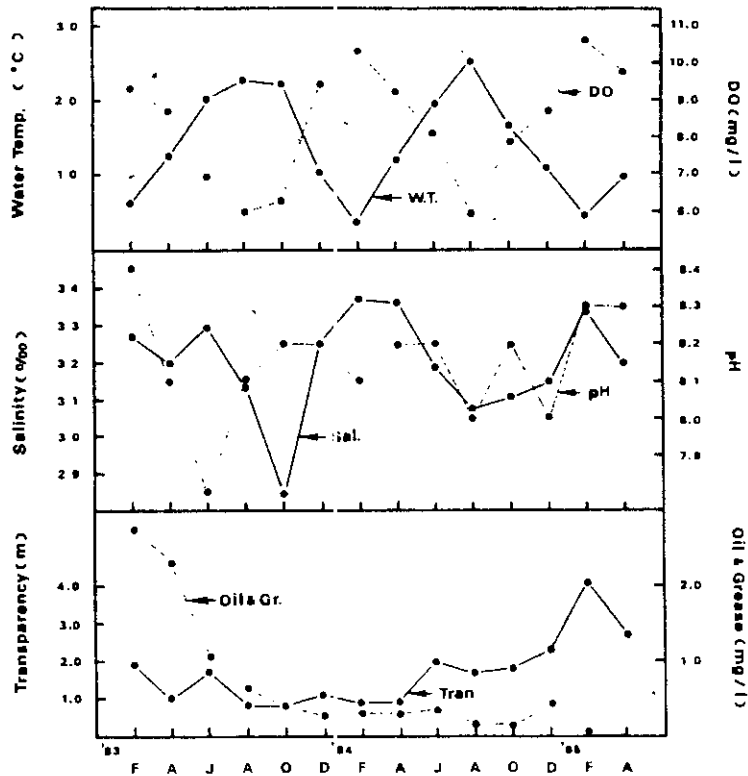


Fig. 3. Bimonthly variation of water quality at station A from Feb., 1983 to Apr., 1985 in Kwangyang Bay.

자는 각각 48種, 54種, 49種으로 증가하였다가 8月에는 32種으로 다시 감소하였으며, 10月에는 45種으로, 前年度에 비해 出現種이 많았다. 또한 1984年 10月 이후에는 出現種數의 큰 변화는 없었다.

分類群別 種組成은 두 조사 지점에서 모두 6月頃に 紅藻類의 出現比率이 줄어드는 반면, 褐藻類는 늘어나는 경향을 나타내었고, 綠藻類의 경우는 묘도에서 6月과 12月에, 한구미는 10月에 出現比率이 높아지는 경향을 나타내었다.

한편 조사 기간중 두 조사 지점에서의 海藻 植生과 棲息環境의 특징적인 變化는 다음과 같다.

묘도지역의 경우 1983年 2月에는 *Sargassum thunbergii*에 *Chondria crassicaulis*, *Ceramium boydenii*가 着生하여 붉게 보일 정도였으며 바위밑 응달진 곳에서 *Phycodryis radicata*

가 번무하였다. 4月에는 조사 지점 주변에 군데 군데 기름 덩어리가 산재되어 있었으며 原油로 덮혀 김게된 바위도 볼 수 있었다. 그리고 *Ishige okamurai*와 *Ishige sinicola*가 주로 *Sargassum thunbergii*의 藻體 밑에 棲息하고 있는 것이 관찰되었다. 6月에는 調査地點의 바로 앞에 위치하고 있는 비조개 養殖場의 종래 살포 작업으로 潮間帶 上部에서 서식하는 *Chthamalus challengerii* 위에 썰이 쌓여 있었으며 주변 海藻群落的의 훼손이 눈에 띄었다. 潮間帶 中部에는 葉長 1cm미만인 둥근모양의 *Porphyra* sp.가 분포하였으며 *Enteromorpha compressa* 幼體의 끝녹음이 관찰되었다. 8月에는 tide pool에 서식하는 *S. thunbergii*에 浮泥가 많이 침적되어 있었으며 그 정도가 6月보다 심하였다. 그리고 *Chondria crassicaulis*, *Pterocladia capillacea*, *Ulva araskii*의 끝부분이 탈색되어 있었다. 10月에는 *S. thunbergii*에 작

Table 1. A list of marine benthic algae at two investigated localities (Myodo; A, Hangumi; B) in Kwangyang Bay (T: tetrasporangium, C: cystocarp, S; spermatangium, M; monosporangium, U; unilocular sporangium, P; plurilocular sporangium, R; receptacle)

Species	'83						'84						'85	
	Feb.		Apr.		June		Aug.		Oct.		Dec.		Feb.	Apr.
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B	B
Cyanophyta														
<i>Microcoleus sanctae-crucis</i>					+									+
<i>M. chthonoplastes</i>														+
<i>Lyngbya confervoides</i>			+										+	
<i>Oscillatoria corallinae</i>					+									
<i>O. margaritifera</i>		+												
<i>O. chalybea</i>		+												
<i>Spirulina labyrinthiformis</i>		+												
Rhodophyta														
<i>Goniotrachum alsiedii</i>		+												+
<i>Erythrotrichia carnea</i>		+	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+
<i>Erythrocladia subintegra</i>	+													+
<i>E. parietalis</i>	+	+	+	+									+	
<i>Acrochaetium crassipes</i>		+								+				+
<i>Porphyra suborbiculata</i>	+		+	+	+	+	+			+			+	+
<i>P. tenera</i>		+							+	+	+	+	+	
<i>Rhodochorton densum</i>					+	M								+
<i>R. robustum</i>		+	M			+							+	M
<i>R. sancti-tomae</i>													+	
<i>R. hyalosphomae</i>							+							
<i>R. daviesii</i>	+	M											+	M
<i>Gelidium divaricatum</i>	+	+	+	+	+	+	+	T	+	+	+		+	+
<i>G. pusillum</i>	+	+	+	+			+		+	+	+		+	+
<i>G. amansii</i>	+		+	+	+	+	C	T	C	+	+	+	+	+
<i>G. vagum</i>	+		+	+	T	+			+	+	+	+	+	C
<i>G. pacificum</i>				+					+	+	+	+		+
<i>G. crinale</i>								+	+					+
<i>Pterocladia capillacea</i>		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Hyalosiphonia caespitosa</i>										+	+	+		
Melobesioideae	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Amphiroa ephedraea</i>						+					+			
<i>Marginisporum crassissima</i>		+												
<i>Bosielloa cretacea</i>			+	+									+	
<i>Corallina officinalis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>C. pulchra</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Jonia arborescens</i>				+										+
<i>Globopeltis furcata</i>	+		+	T	+								+	T
<i>G. tenax</i>	+								+	+	+	+		+
<i>Calpopeltis affinis</i>	+	T	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Grateloupia ramosissima</i>	+													
<i>G. livida</i>														+
<i>G. divaricata</i>	+					+	C	+	+	+	+	+	+	+
<i>G. turritura</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>G. prolongata</i>							+	C	+	+	T	+	+	+

Species	'83					'84								'85												
	Feb.		Apr.		June		Aug.		Oct.		Dec.		Feb.		Apr.		June		Aug.		Oct.		Dec.			
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
<i>Undaria pinnatifida</i>	+	+	+	+	+	+	+					+	+	+	+									+	+	+
<i>Peletia siliginosa</i>	+R				+R	+R					+R	+R														
<i>Huzikia fusiforme</i>	+	+			+	+R	+	+R	+R	+	+	+	+	+	+											+
<i>Myagropsis myagroides</i>	+																									
<i>Sargassum conjusum</i>																										
<i>S. piluliferum</i>																										
<i>S. fulvellum</i>																										
<i>S. thunbergii</i>	+	+	+	+	+R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>S. tortile</i>	+																									
<i>S. horneri</i>	+R	+	+R	+	+R	+R	+					+	+	+R	+	+	+							+R	+	+
<i>S. micracanthum</i>																										
<i>S. kjellmanianum</i>	+																									+
<i>S. ringgoldianum</i>																										
Chlorophyta																										
<i>Ulothrix flacca</i>																										
<i>Monostroma nitidum</i>																										
<i>Ulva pertusa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>U. conglobata</i>	+																									
<i>U. araskii</i>																										
<i>Enteromorpha compressa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. intestinalis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>E. clostrata</i>																										
<i>E. prolifera</i>																										
<i>E. linza</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Blidingia nana</i>																										
<i>Cladophora pusilla</i>																										
<i>C. densa</i>																										
<i>C. japonica</i>																										
<i>C. alba</i>																										
<i>C. stimpsonii</i>																										
<i>Cladophoropsis wöllingeri</i>	+																									
<i>Urospora penicilliformis</i>																										
<i>Bropsis plumosa</i>	+																									
<i>B. hypnoides</i>																										
<i>Codium fragile</i>	+																									
<i>C. adhaerens</i>																										
<i>Pseudodelia consociata</i>																										

생 해조가 거의 없었으며 *Ulva pertusa*, *Chondria crassicaulis*의 엽체 끝부분의 탈색이 관찰되었다. 12월에는 *Ectocarpus confervoides*와 저서성 규조류 *Navicula* sp.가 潮間帶 더下部를 덮고 있었으며 *Porphyra suborbiculata*가 45cm 정도의 수직 부착 범위로 조간대

중부에 서식하고 있었다. 그리고 *Ulva conglobata*의 엽체 끝부분이 녹고 있었다. 1984년 2월에는 前年度 12월과 마찬가지로 *Ectocarpus confervoides*와 *Navicula* sp.가 여전히 번무하였으며 4월에는 바위 밑 응달진 곳에 *Champhylophora crassa*와 *Phycodrys radicata*가 生育

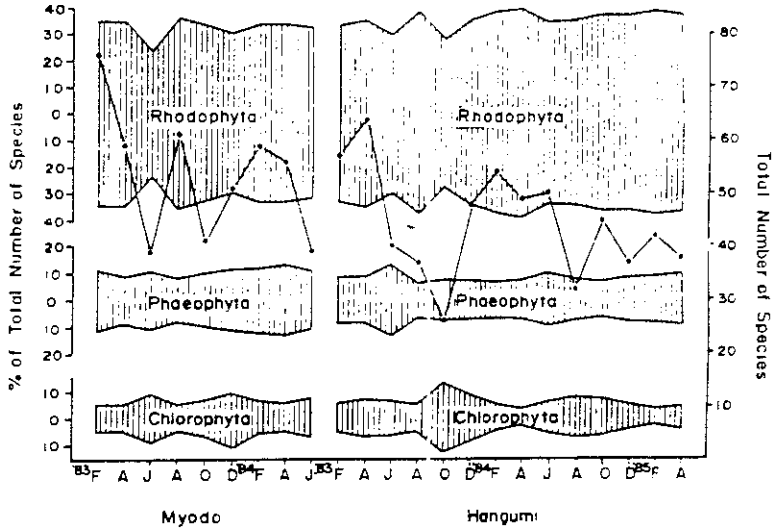


Fig. 4. Total number of species (-) and floristic composition based on algal division in Kwangyang Bay.

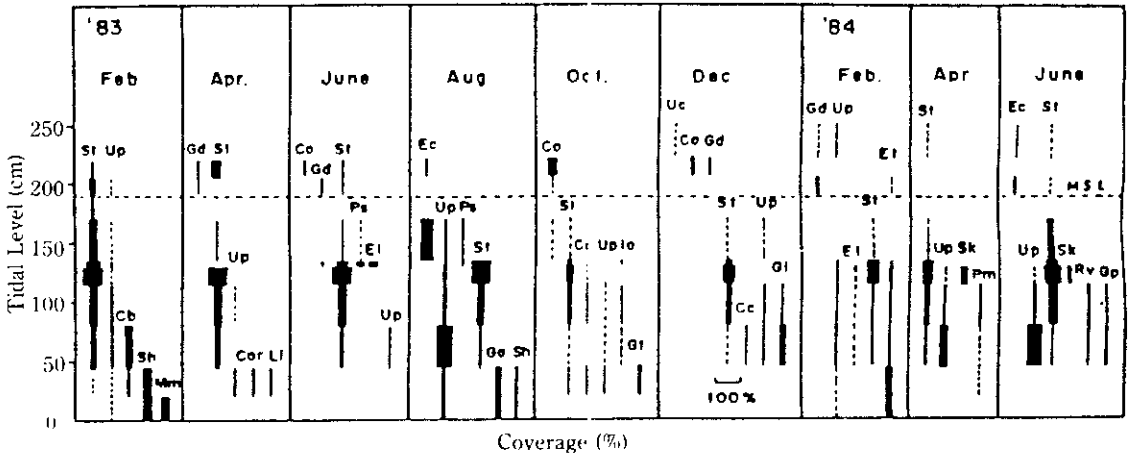


Fig. 5. Vertical distribution of major marine algae by a quadrat method at Myodo, Kwangyang Bay. (Cb; *Ceramium boydenii*, Cc; *Chondria crassicaulis*, Co; *Caulacanthus okamurai*, Cor; Corallinaceae, Ec; *Enteromorpha compressa*, El; *Enteromorpha linza*, Et; *Ectocarpus confervoides*, Ga; *Gelidium aman-sii*, Gd; *Gelidium divaricatum*, Gi; *Gigartina intermedia*, Gp; *Gelidium pusillum*, Gt; *Gigartina tenella*, Ito; *Ishige okamurai*, Li; *Laurencia intricata*, Mm; *Myagropsis myagroides*, Pm; *Polysiphonia morrowii*, Ps; *Pelvetia siliquosa*, Rv; *Ralsia verrucosa*, Sh; *Sargassum horneri*, Sk; *Sargassum kjellmanianum*, St; *Sargassum thunbergii*, Uc; *Ulva conglobata*, Up; *Ulva pertusa*).

하고 있었다. 그리고 2월에 번무하던 *E. confervoides*와 *Navicula* sp.의 植生이 4월에 현저히 줄어들었으며 1984년은 前年度와는 달리 潮間帶 上部의 *S. thunbergii* 群落 이 현저히 감소하였다.

한구미 지역의 경우 1983년 2월에 *S. thunbergii*에 *Ceramium boydenii*가 많이 着生하고 있었으며 潮間帶 上部에 *Enteromorpha lin-*

*za*가 번무하였다. 그리고 *E. linza*와 *Ulva conglobata*의 粘着음이 관찰되었다. 4월에는 *S. thunbergii*에 *Callithamnion callophyllidicola*의 着生이 현저하였고 6월에는 4월에 관찰되지 않았던 葉長 1cm 미만의 *Porphyra* sp.가 서식하였으며 上部에 生育하는 *Ulva pertusa*는 基部부근에 하얗게 탈색되어 있었다. 8월에는 潮下帶 水深 1~2m에 낭과를 가진 *Rhodymen-*

*ia cuneifolia*가 浮泥에 쌓여 生育하고 있었으며 潮間帶 암반 및 海藻의 葉上部에 浮泥가 침적되어 있었다. 10월에도 암반위에 부니 침적이 여전히 있었으며 上部쪽 *Enteromorpha linza* 群落이 아주 빈약해졌고 그 分布帶에 浮泥가 침적되어 있었다. 12월에는 潮間帶 中·下部에 *Ectocarpus confervoides*와 *Navicula* sp.가 번무하였으며 *Chondria crassicaulis*에 *Polysiphonia japonica*가 상당히 많이 着生, 分布하였다. 1984年 2월에는 潮間帶 암반에 浮泥가 얇게 침적되어 있었으며 *E. linza*의 끝녹음을 관찰되었다. 4월에는 1983年 12월과 마찬가지로 *E. confervoides*와 *Navicula* sp.가 번무하였으며 *Chondria crassicaulis*가 쇠퇴하는 반면 潮間帶 下部의 *Undaria pinnatifida* 群落이 현저하였다. 6월에는 潮間帶 上部에 葉長 1cm 미만의 *Porphyra* sp.가 서식하였으며 10월에는 海藻의 葉上部 및 암반에 全般的으로 浮泥가 침적되어 있었다. 12월에도 여전히 암반에 浮泥가 침적되어 있었으며 특히 潮間帶 下部에 生育하고 있던 *Hizikia fusiforme*에 부니 침적이 현저했다. 그리고 *Ulva pertusa*의 끝녹음을 볼 수 있었으며 *Porphyra suborbiculata*에 붉은갯병이 발견되었다. 1985年 2월에는 *Chondria crassicaulis*, *Corallina pilulifera*, *Gelidium divariatum*, *Gelidium pacificum*, *Grateloupia turuturu* 등의 藻體의 끝부분에서 탈색 현상이 관찰되었다.

2. 垂直分布

본 調査地域은 潮汐差가 大潮時 平均 3m이며, 平均海面(M.S.L.)이 潮位 1.9m인 곳으로, 海藻類의 垂直分布上限은 묘도가 潮位 250cm 한구미가 潮位 290cm로 한구미가 묘도보다 40cm정도 높았으며 出現種에서 相對被도가 5%이상인 海藻類의 垂直分布樣相은 Fig. 5~6에서 보는 바와 같다.

묘도 : 본 地域은 岩盤의 경사도가 10° 정도로서 매우 완만한 곳으로, 1983年 2월에서 6월까지 *Sargassum thunbergii*가 潮位 220cm에서 潮位 20cm까지 매우 넓게 分布하였으나 6월부터는 점차 줄어들기 시작하여 8월에는 潮位 135cm에서 40cm까지 줄어들면서, 海藻類의 垂直分布가 上·中·下部로 구별되는 경향을 나

타냈다. 그러나 10월부터는 다시 *S. thunbergii*의 수직 분포대가 넓어져 1984年 4월에는 潮位 250cm에서 潮位 40cm까지 분포하였으며 1983년에 비해 전반적으로 높아졌다. *Ulva pertusa*의 垂直分布帶는 1983年 2월에 潮位 200cm에서 하부까지 넓게 分布하였으며, 4월, 6월이 되면서 점차 넓어져서 潮位 45cm에서 80cm 사이에 主分布帶를 형성하였다. 그리고 10월에는 다시 附着層이 좁아졌다가 12월에는 넓어졌다. 1984年度 2월에는 *S. thunbergii*의 경우와 마찬가지로 垂直分布上限이 前年度에 비해 30cm정도 높아지면서 넓은 부차 범위를 보였으나 4월, 6월이 되면서 다시 좁아졌다. *Chondria crassicaulis*는 1983年 10월 *S. thunbergii*에 着生하거나 岩盤에 서식하며, *S. thunbergii*의 垂直分布帶보다 좁으나 그들과 중복되는 棲息帶를 형성하다가 12월이 되면서 *S. thunbergii* 附着層의 下部쪽으로 棲息帶가 낮아졌다. 그리고, 海藻類 棲息帶의 上部쪽 즉, 潮位 250cm에서 190cm에는 *S. thunbergii*, *Ulva pertusa*, *Caulacanthus okamurai*, *Enteromorpha compressa*, *Ulva conglobata* 등이 調査時期로 混生率을 낮라하면서 棲息하였다. 이들 種중 일반적인 海藻類의 垂直分布樣相과는 달리 *S. thunbergii*, *U. pertusa*가 부차층의 最上部까지 分布하고 있는 것은 調査地點의 地形이 강사가 완만하고 상부에도 암반의 흔이나 균열이 있어 水分을 함유하고 있기 때문인 것으로 생각된다.

한구미 : 調査地域의 岩盤의 경사도는 52° 내외이며, 光陽灣의 水路에 위치하고 있어 海藻類는 뚜렷한 帶狀分布를 나타내고 있다. 즉, 潮位 165cm 이상을 潮間帶 上部로, 潮位 165cm부터 50cm까지를 中部로, 그 이하를 下部로 大別할 수 있다.

海藻類의 垂直分布上限은 1983年 4월에 潮位 255cm였다가 6월에는 225cm로 내려왔으며, 8월과 10월에는 250cm까지 다시 올라가고 12월에는 *Ulva conglobata*에 의해 290cm까지 棲息帶가 높아졌다. 그리고 1984年 2월에는 다시 255cm로 되었다가 4월에는 225cm까지 떨어졌으며, 6월부터 1985年 4월까지 계속 潮位 225cm를 나타내었다.

潮間帶 上部에 棲息하는 種은 *Gelidium divaricatum*과 *Enteromorpha linza*가 主種을 이루고 있었으며 그외에 *Ulva pertusa*, *Ulva conglobata*가 混生比率를 달리하면서 分布하였다. 潮間帶 中部를 대표하는 *Sargassum thunbergii*의 棲息帶는 1983年 2月에 潮位 165cm에서 50cm 정도까지 分布하였으며, 8月에는 정착 쇠퇴되었다가 10月에는 지층이 棲息帶의 上限線이 潮位 195cm로 30cm정도 높아졌으며, 1984年 2月에는 다시 潮位 165cm로 떨어져서 6月, 8月에는 부착 범위가 潮位 165cm에서 潮

位 95cm로 매우 좁아졌다. 1985年에는 2月에 棲息帶의 上限이 潮位 195cm로 매우 높아졌다가 4月에 다시 165cm로 낮아졌다.

潮間帶 中部에서 下部에 걸쳐 分布하나 下部에 主分布帶를 形成하는 *Hizikia fusiforme*는 1983年 2月에 垂直分布 上限線이 潮位 165cm 이다가 4月에는 135cm로 낮아졌으며 8月에는 95cm로 되어 더욱 낮아졌으나, 12月에는 潮位 135cm로 다시 높아졌다. 1984年 8月에는 다시 潮位 95cm로 낮아졌다가 12月에는 165cm로 높아졌으며 1985年 2月에 潮位 135cm로 되었다. 그

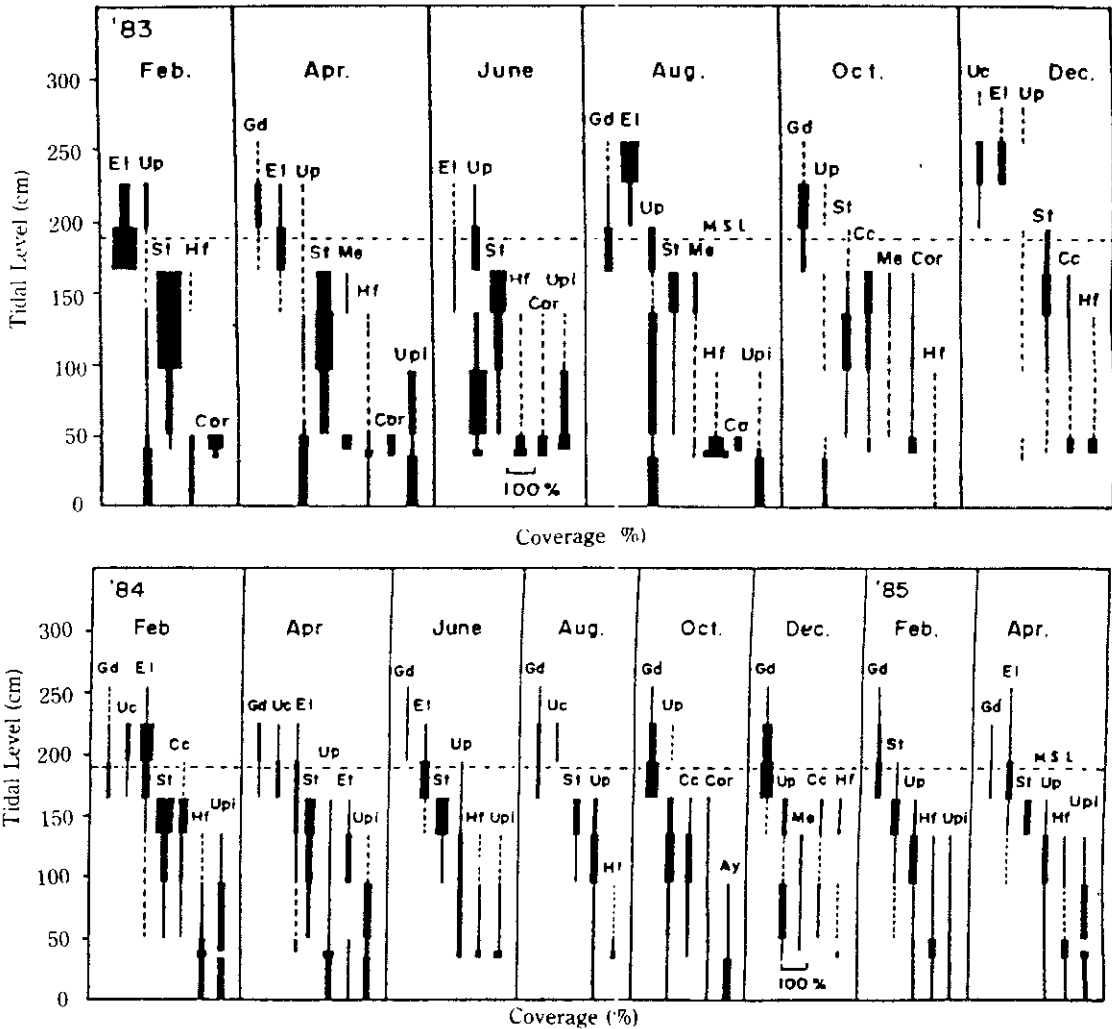


Fig. 6. Vertical distribution of major marine algae by a quadrat method at Hangumi, Kwangyang Bay (Ay; *Acrosorium yendoii*, Ca; *Callophyllis adhaerens*, Cc; *Chondria crassicaulis*, Cor; Corallinaceae El; *Enteromorpha linza*, Et; *Ectocarpus conjervoides*, Gd; *Gelidium divaricatum*, Hf; *Hizikia fusiforme*, Me; *Melobesioideae* St; *Sargassum thunbergii*, Uc; *Ulva conglobata*, Up; *Ulva pertusa*, Upi; *Undaria pinna-tifida*).

러나, 이 종의 主棲息帶는 潮位 50cm 이하였으며, 10월에 植生이 가장 빈약했다. 한편, 1984년 12월에는 이들의 主分布帶가 上·下部로 나눠지는 경향을 보였다. 片田(1952)은 *H. fusiforme*의 生態學的研究에서 이 종의 生體量은 *S. thunbergii*와 밀접한 聯關이 있으며, 이는 두 종의 競爭의 結果임을 밝힌 바 있다. 본 調查結果에서도 *H. fusiforme*와 *S. thunbergii*의 垂直分布帶가 相互 밀접한 관계가 있음을 나타내었다.

*Ulva pertusa*는 潮間帶 上部에서 下部까지 가장 넓게 分布하였다. 이들의 垂直分布 上限線은 1983년 2월에 潮位 225cm이었으며, 8월에는 195cm로 내려갔다가 10월에는 다시 潮位 225cm, 12월에는 280cm까지 높아졌다. 1984년에는 4월에 潮位 165cm, 6월에 195cm, 8월에

165cm, 10월에 225cm 그리고 12월에 潮位 165cm를 나타냈다. *Chondria crassicaulis*는 1983년 10월에 潮位 195cm부터 潮位 40cm까지 分布하다가 12월에는 垂直分布 上限線이 165cm로 다소 낮아졌고, 1984년 2월에 다시 195cm로 높아졌다. 그리고, 1984년 10월과 12월에는 潮位 165cm를 나타내었다. *Undaria pinnatifida*는 潮間帶 中部에서 下部에 걸쳐 分布하였다. 즉, 1983년 2월에는 潮位 95cm에서 潮間帶 下部까지 分布하다가 6월에는 垂直分布 上限線이 潮位 135cm로 높아졌다. 1984년 2월에는 이들의 分布 上限線이 潮位 135cm로 1983년 2월에 비해 높아졌으며, 4월에는 潮位 95cm 이하에서 分布하다가 6월이 되면서 쇠퇴하였다. 1985년에 들어 이들은 潮位 135cm까지 分布하였으나 主分布帶는 潮位 95cm 이하를 나타냈다.

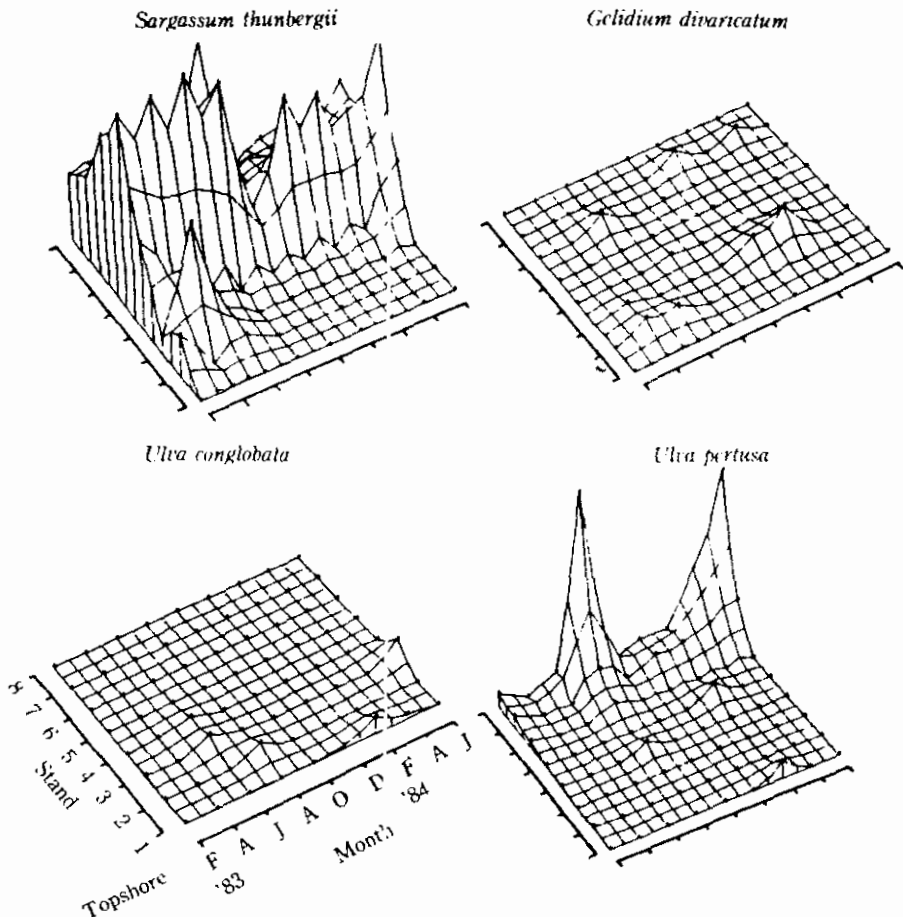


Fig. 7. Three-dimensional representations of major algal species at Myodo.

이와같이 垂直分布樣相을 종합해 볼 때 調査時期別로 다소 差異는 있으나 杓도의 경우 潮間帶 上部로부터 *Sargassum thunbergii*, *Gloiopeltis furcata*, *Gelidium divaricatum*, *Ulva conglobata*, *Caulacanthus okamurai*, *Enteromorpha linza* - *Sargassum thunbergii*, *Ishige okamurai*, *Ishige sinicola*, *Ectocarpus confervoides* - *Sargassum* spp., *Ulva pertusa*, *Corallina pilulifera*, *Chondria crassicaulis*, *Undaria pinnatifida*, *Gelidium amansii*, *Gigartina tenella*, *Gigartina intermedia*, *Ectocarpus confervoides*로 나타났으며, 한구미의 경우는 *Gelidi-*

um divaricatum, *Ulva conglobata*, *Enteromorpha linza*, *Enteromorpha compressa* - *Sargassum thunbergii*, *Ectocarpus confervoides*, *Chondria crassicaulis* - *Ulva pertusa*, *Corallinaceae*, *Hizikia fusiforme*, *Chondria crassicaulis*, *Undaria pinnatifida*로 나타났다.

3. 被度

본 調査에서 出現한 海藻類中 主要 海藻類의 植分(stand)別, 隔月別 被度の 變化는 Fig. 7~8과 같다.

杓도의 경우 *S. thunbergii*는 1983년 10月을 제외하고는 植分 5, 6, 7에서 매우 높은 被度値를

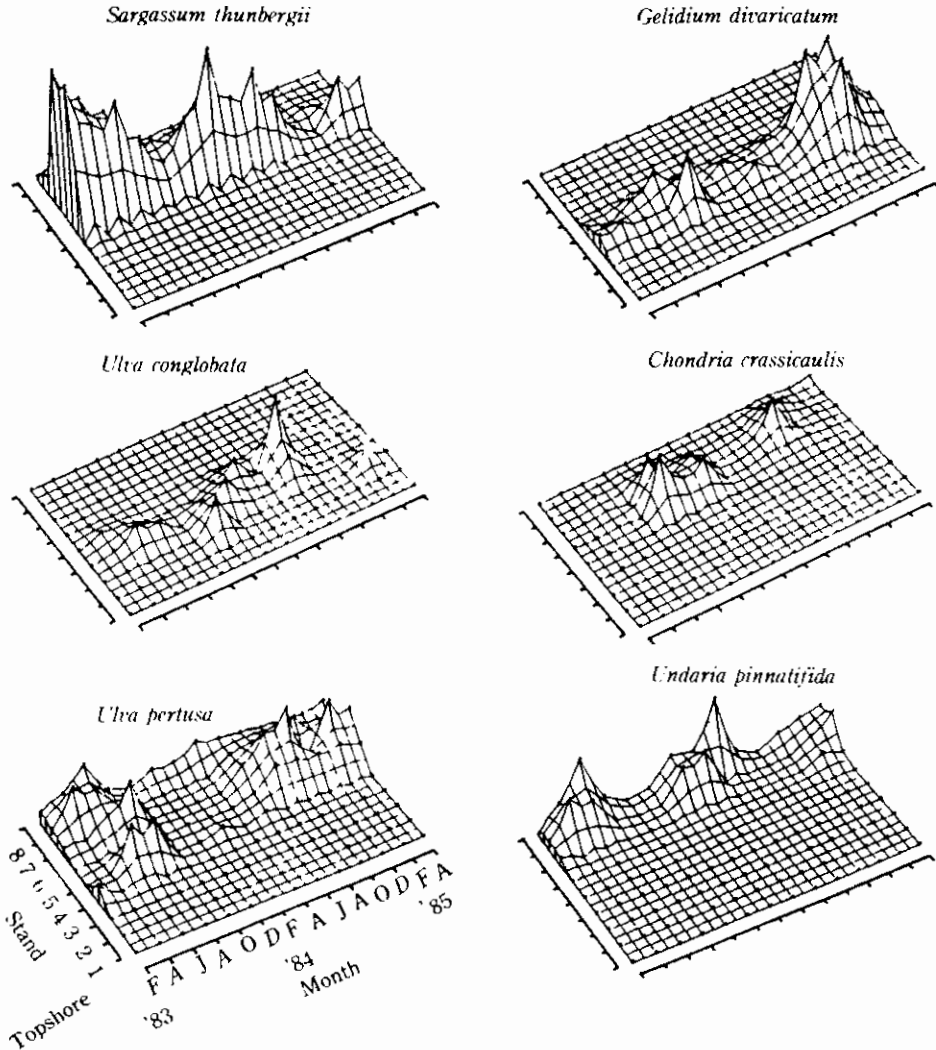


Fig. 8. Three-dimensional representations of major algal species at Hangumi.

보였으며, 1983년 2월, 4월에는 植分 2, 3에서는 작은 被度值의 頂點을 나타냈다. *Gelidium divaricatum*은 1983년 4월, 6월과 12월 1984년 2월과 4월에 植分 2, 3부분과 植分 6, 7부근에서 서식하였으며, 植分 6, 7부근에 이들이 棲息하는 것은 이곳이 tide pool 다음의 차례로 비교적 露出이 많은 곳이기 때문으로 생각된다. *Ulva pertusa*는 1983년 8월과 1984년 6월에 植分 8에서 가장 높은 被度值를 보였으나 1983년 2월, 4월과 1983년 10월부터 1984년 2월까지의 相對적으로 낮은 被度值를 보였다. *Ulva conglobata*는 1983년 6월과 1984년 6월에 植分 3에서 높은 被度值를 보였다. 한구미의 경우 *S. thunbergii*는 1983년, 19

84년 및 1985년 2월에 가장 높은 被度值를 나타냈으며 1983년 10월과 1984년 10월, 12월에 被度가 낮게 나타났고 1983년에서 1985년으로 감에 따라 被度가 점차 낮아지는 경향을 보였다. *Gelidium divaricatum*은 1983년 10월과 1984년 12월에 植分 4, 5에서 높은 被度值를 나타냈으며, 1984년이 1985년보다 被度值가 높았다. *Ulva pertusa*는 1983년 6월과 8월, 1984년 8월과 10월에 높은 被度值를 보였고, 1983년 10월부터 1984년 4월까지의 冬季節에는 被度가 낮았으며, 1984년 12월에는 뚜렷한 경향을 볼 수 없었으나 相對적으로 조금 낮은 수치를 나타냈다. *Ulva conglobata*는 1983년 6월과 1984년 8월에 植分 4에서, 1983년 12월과 1984

Table 2. Dominance ratio of major algal species at two investigated localities in Kwangyang Bay (species with dominance in less than 5.0 were excluded from the list)

Species	Mvodo										Hangum																
	'83					'84					'83					'84					'85						
	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	
<i>Sargassum thunbergii</i>	52.9	66.6	55.5	36.3	21.1	39.4	31.4	44.1	39.0	28.6	23.6	17.7	16.5	12.9	20.7	23.5	18.8	16.7	12.8	-	-	12.7	7.6				
<i>Ulva pertusa</i>	9.2	7.3	-	19.8	6.9	12.1	9.1	11.9	21.3	12.6	10.4	23.1	22.9	5.7	6.7	-	8.1	21.0	26.8	27.9	20.0	23.3	17.8				
<i>Gelidium divaricatum</i>	-	6.3	5.1	-	27.1	9.2	5.6	-	-	-	-	-	-	5.0	10.9	-	-	-	5.2	7.9	15.2	21.1	10.0	-	-	-	-
<i>Enteromorpha linza</i>	-	-	9.8	-	-	-	-	-	-	-	-	20.0	8.5	-	11.6	-	7.1	24.3	10.4	15.0	-	-	-	-	-	-	19.0
Corallinaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.3	7.3	8.3	-	23.1	-	-	-	-	-	6.7	6.9	6.7	5.7		
<i>Hizikia fusiforme</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.5	12.1	16.8	8.4	7.6	8.1	5.2	6.3	8.0	-	7.5	10.3	7.1			
<i>Undaria pinnatifida</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.9	17.6	10.1	-	-	6.0	7.6	5.0	-	-	-	5.5	5.2			
<i>Ulva conglobata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.5	6.0	7.4	-	19.2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Enteromorpha compressa</i>	-	-	-	14.6	-	-	-	-	-	-	14.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ishige okamurai</i>	-	-	-	-	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phorphyra suborbiculata</i>	-	-	13.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chondria crassicaulis</i>	-	-	-	-	8.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.1	14.7	6.7	-	-	5.0	10.9	8.5	-	-	-	-	
<i>Ceramium boydenii</i>	8.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sargassum hornem</i>	10.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gigartina intermedia</i>	-	-	-	-	-	8.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ectocarpus confervoides</i>	-	-	-	-	-	13.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sargassum kjellmansianum</i>	-	-	-	-	-	-	6.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ralfsia verrucosa</i>	-	-	-	-	-	-	10.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acosorium vandoi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	-	-	-	-	-	-
Meiobesioidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.2	-	-	-	-	-

年 2月에는 植分 3에서 높은 被度值를 보였으며, 冬季節에는 이들의 主分布帶가 높아지며 夏季節에는 낮아지는 경향을 나타냈다. *Chondria crassicaulis*는 1983年 10월에 植分 6, 7에서, 1984年 10월에 植分 7에서 가장 높은 被度值를 나타냈으며, *Undaria pinnatifida*는 全調查期間을 통해 12월부터 被度值가 증가하여 6월에 가장 높은 被度值를 보였다.

4. 優占度

본 調查에서 出現한 海藻類中 主要種의 調查時期別 優點度는 Table 2와 같으며, 調查時期別 優占 및 亞優占種의 變化를 보면 다음과 같다.

묘도의 경우 1983년에 *Sargassum thunbergii* > *Sargassum horneri* (2月) ; *S. thunbergii* > *Ulva pertusa* (4月) ; *S. thunbergii* > *Porphyra suborbiculata* (6月) ; *S. thunbergii* > *U. pertusa* (8月) ; *Gelidium divaricatum* > *S. thunbergii* (10月) ; *S. thunbergii* > *U. pertusa* (12月)였으며 1984년에는 *S. thunbergii* > *Ectocarpus confervoides* (2月) ; *S. thunbergii* > *U. pertusa* (4月)로, 1983年 10월을 제외한 全調查期間에 *S. thunbergii*가 優占種으로 나타났다. 이는 調查地點의 경사가 완만하고 tide pool이 발달해 있으며, 露出時에도 水分을 함유할 수 있는 岩盤의 골이나 균열이 潮間帶 上部까지 발달되어 있어서 *S. thunbergii*의 分布範圍가 확대되었기 때문으로 생각된다. 또

한 *Ulva pertusa*는 9회 조사중 5회가 亞優占種으로 6월을 제외하면 모두 優占度 5.0 이상을 나타내었다.

한구미의 경우 1983년에는 *S. thunbergii* > *Corallinaceae* (2月) ; *S. thunbergii* > *Undaria pinnatifida* (4月) ; *Ulva pertusa* > *S. thunbergii*, *Undaria pinnatifida* (6月) ; *U. pertusa* > *Hizikia fusiforme* (8月) ; *Corallinaceae*, *Chondria crassicaulis* > *S. thunbergii* (10月) ; *S. thunbergii* > *Chondria crassicaulis* (12月)로 12月, 2月, 4月, 6月的 겨울내지 봄에 *S. thunbergii*가 優占을 이루다가 여름에는 *Ulva pertusa* 그리고 가을에는 *Corallinaceae*와 *Chondria crassicaulis*가 優占을 이루었다. 1984년에는 *Enteromorpha linza*, *S. thunbergii* > *Hizikia fusiforme* (2月) ; *S. thunbergii* > *E. linza* (4月) ; *Ulva pertusa* > *S. thunbergii* (6月) ; *Ulva pertusa* > *U. conglobata* (8月) ; *Ulva pertusa* > *Gelidium divaricatum* (10月, 12月)으로 2月, 4월에 *S. thunbergii*가, 6月, 8月, 10月, 12월에 *Ulva pertusa*가 優占을 이루어 1983년에 비해 綠藻類인 *Ulva pertusa*가 우세하게 나타났다. 그리고, 1985년에도 역시 *Ulva pertusa* > *S. thunbergii* (2月) ; *E. linza* > *U. pertusa* (4月)로서 綠藻類가 優占하였다.

5. 多樣度

본 調查期間中 두 조사 지점에서의 海藻類의 多樣度 變化는 Fig. 9와 같다. 즉 묘도의

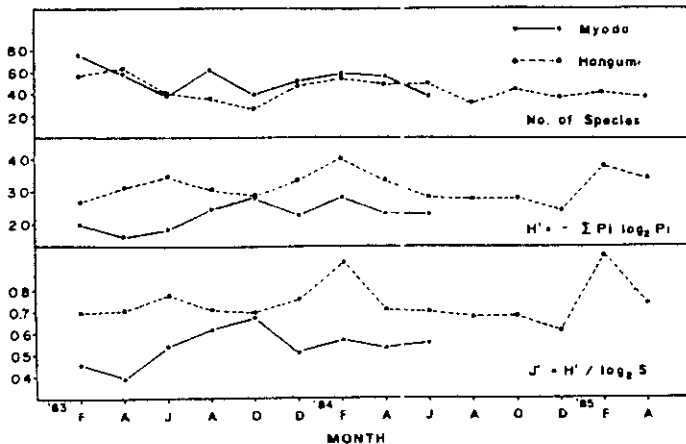


Fig. 9. Composition of diversity (H') and evenness (J) at two investigated localities.

경우 種多樣度는 1983年 10월에 2.90으로 가장 높았으며 1984年 2월에 2.74로 다시 높아졌다. 均等度는 *S. thunbergii*가 최되던 1983年 10월에 0.67로 가장 높았다. 이는 묘도의 海藻類 附着基質인 岩盤의 경사가 완만하여 넓게 分布하던 *S. thunbergii*의 被度가 낮아졌기 때문으로 생각된다. 한구미는 1984年과 1985年 2월에 각각 4.02, 3.82로, 2월을 前後로 가장 높은 多樣度를 나타냈으며 均等度 역시 2월에 높게 나타나 같은 경향을 보였다.

6. 現存量

본 調査에서 出現한 海藻類 가운데 年中 보편적으로 出現하는 4種의 現存量의 變化는 Fig. 10과 같다.

묘도 : *S. thunbergii*는 1983年 2월과 4월에 現存量이 각각 370.2 g, 350.5 g으로 높았으며, 6월에서부터 점차 줄어 들었다. 10월에는 100.0 g으로 가장 낮았다가 12월에서부터 점차 增加하여, 1984年 2월과 4월에 각각 436.8 g, 382.0 g을 나타냈다가 6월에는 다시 減少하는 경향을 보였다. *Hizikia fusiforme*는 1983年과 1984年 4월에 각각 118.0 g 52.8 g으로 가장 높게 나타났으나 1983年과

1984年의 6월에는 각각 27.6 g과 18.8 g으로 現存量이 급격히 감소했다. *Enteromorpha linza*는 1983年과 1984年 6월에 각각 37.6 g과 39.6 g으로 가장 높았으며 10월에는 가장 낮았다. 그리고 *Ulva pertusa*는 1983年 8월과 1984年 4월에 가장 높은 現存量을 나타냈다.

한구미 : *S. thunbergii*의 現存量은 1983年, 1984年, 1985年 모두 4월에 각각 270.0 g, 318.0 g, 242.0 g으로 많았으며, 1983年 8월과 12월, 1984年 8월과 12월에 적게 나타났다. *Hizikia fusiforme*는 1983年, 1984年, 1985年 4월에 각각 99.2 g, 104.8 g, 76.4 g으로 많았고, 1983年 10월과 1984年 12월에는 10.5 g, 12.8 g으로 적었다. *E. linza*는 1983年, 1984年, 1985年 4월에 각각 86.8 g, 44.0 g, 58.8 g으로 많은 現存量을 보였으나, 1983年 10월과 1984年 12월에 각각 4.3 g, 8.1 g으로 낮은 수치를 보였다. *Ulva pertusa*는 1983年과 1984年 8월에 각각 95.6 g, 74.8 g으로 現存量이 많았으나 1984年 2월과 12월에 각각 10.4 g과 10.8 g으로 적었다.

7. 類似度 分析

海藻植生の 隔月別 變化를 알아보기 위한

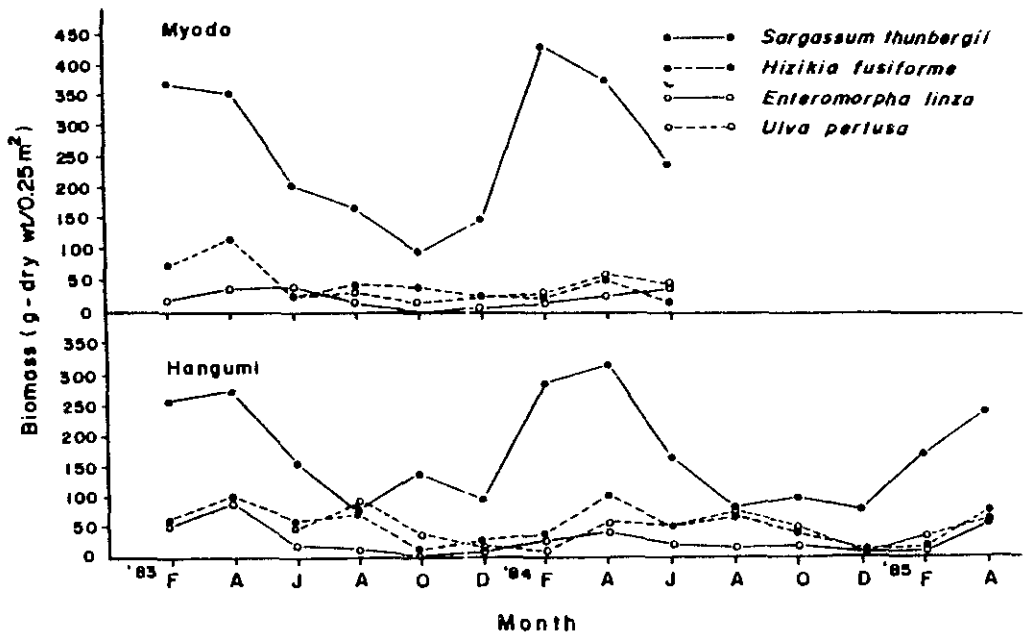


Fig. 10. Changes in biomass value of major algal species at two investigated localities.

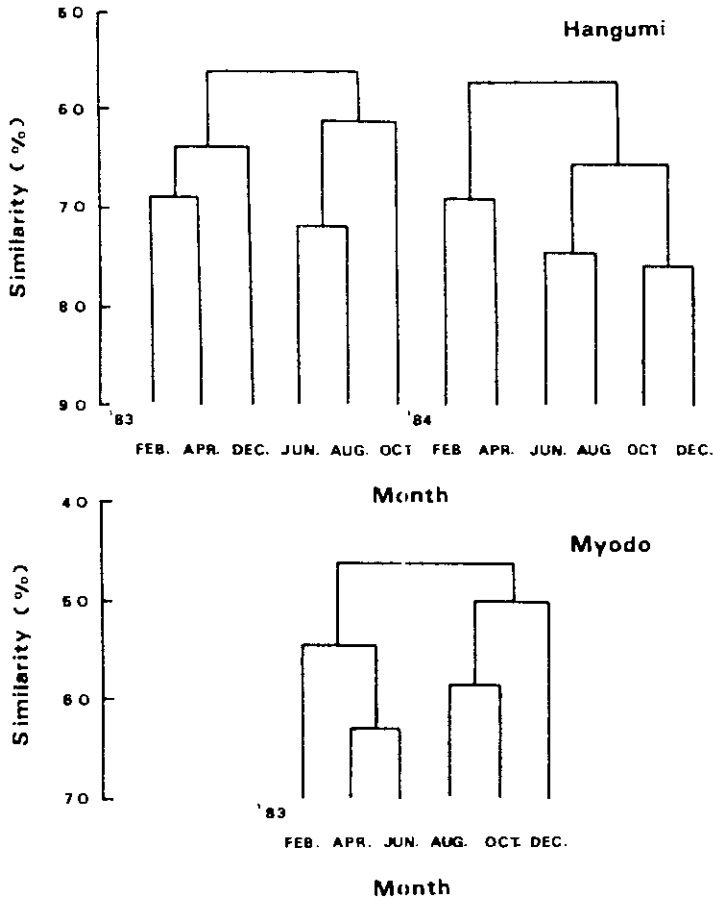


Fig. 11. Dendrograms (cluster analysis) depicting the percentage similarity between periods grouping of the floras at two investigated localities.

群分析 結果 (Fig. 11), 한구미는 1983년의 경우 60% 類似度 水準에서 2月, 4月, 12月 6月, 8月, 10月の 2개 群으로, 65% 類似度 水準에서 2月, 4月 6月, 8月 10月 12月の 4개 群으로 묶을 수 있었다. 그리고 1984년에는 60% 類似度 水準에서 2月, 4月 6月, 8月, 10月, 12月の 2개 群으로 65% 類似度 水準에서 2月, 4月-6月, 8月-10月, 12月の 3개 群으로 나눌 수 있었다. 1984년의 경우 1983년과 달리 65% 類似度 水準에서 10月과 12月이 가깝게 묶이는 것은 1984년은 이들 두 調査時期에 *Ulva pertusa* 群落이 優占을 이루었기 때문으로 생각되며, 이러한 現象이 遷移의 과정인지 혹은 인위적인 環境變化에 의한 것인지에 대해서는 앞으로 연구되어야 할 과제로 생각된다.

묘도의 경우는 50% 類似度 水準에서 2月, 4月, 6月-8月, 10月, 12月の 2개 群으로 묶을 수 있었으며, 60% 類似度 水準에서 2月-4月, 6月-8月, 10月-12月の 4개 群으로 묶이는 樣相을 나타내었는데 이는 海藻相에서 언급한 바와같이 2月과 4月사이의 유조선 원유 유출 사고와 4月과 6月사이의 피조개 종패 살포 작업에 의한 植生の 훼손 등 인위적 環境의 變化가 이들 海藻植生에 영향을 주었기 때문으로 생각된다.

考 察

본 調査에서 출현한 海藻類의 分類群別 種組成에서 묘도가 한구미에 비해 紅藻類의 出現 種數가 많았으며 出現比率도 높게 나타났다.

이는 한구미의 조사 지점이 外海로 향한水路 옆에 위치하고 있어 묘도에 비해 外海의 영향을 많이 받을뿐만 아니라 調査地點의 방향이 東쪽으로 향하고, 岩盤의 경사도가 52° 정도로 가파르며 調査地點 바로 뒤에 높은 산이 있는 점 등 地形的인 要因이 과도와 일조시간 등에 영향을 주고있기 때문이라고 생각된다. 한편 Lee와 Kim(1977)은 光陽灣의 海藻類에 관한 研究에서 묘도 지역 出現種의 分類群別 種組成을 남조류 2.1%, 녹조류 14.4%, 갈조류 21.6%, 홍조류 61.8%로 밝혔으며 이는 本調査結果인 남조류 2.4%, 녹조류 14.8%, 갈조류 20.3%, 홍조류 62.5%와 거의 일치하고 있다.

조사 시기별 種組成의 變化를 보면 1983年 6月을 제외하면 淺漂·埋立 工事地點으로 부터 가까운 곳에 위치하고 있어 한구미에 비

해 濁度가 相對的으로 높은(Fig. 12) 묘도지역에서 褐藻類의 出現比率이 높게 나타났다. 이는 일반적으로 濁度가 높은 內灣地域에서 濁度가 낮은 地域에 비해 褐藻類의 出現比率이 낮아진다는 西海岸에서의 조사 결과(高·李, 1982; 姜·宋, 1984)와는 다소 相異한 樣相을 보였다.

海藻類에 대한 濁度의 영향에 關해서 大槪(1981)는 *Porphyra yezoensis*의 경우 25~75 ppm에서 幼芽의 탈락 현상을 보이고 10ppm 이상에서 成長의 지연을 보이며, *Undaria pinnatifida*은 100ppm 이상에서 幼芽의 生殘率이, 200ppm 이상에서 芽胞體의 生殘率이 저하된다고 밝혔다. 또한 養殖김에 있어서는 150ppm에서 光合成의 抵害가 일어나나, 潮間帶 岩盤에서 生育하는 김의 경우는 500ppm 이상에서 光合成 抵害現象이 일어남을 밝혀

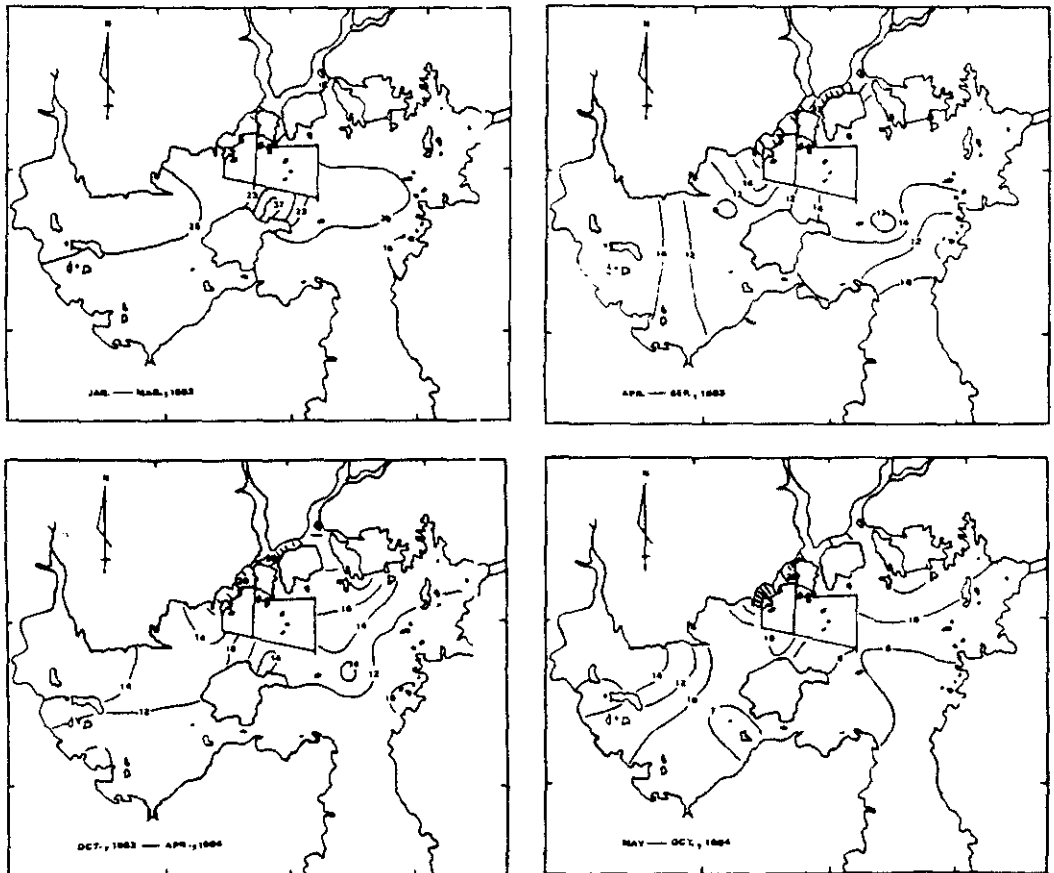


Fig. 12. Distribution of mean turbidity in Kwangyang Bay from Jan., 1983 to Oct., 1984. (Unit: ppm)

고 있어 岩盤에서 生育하는 自然産 김이 養殖 김보다 濁度에 대한 耐性이 우월한 것으로 보고하고 있다. 따라서 光陽灣內의 淺灘, 埋立 工事로 인하여 平均値로 볼 때 最高 20ppm 미만의 일시적인 濁度の 증가가 묘도 海藻群落의 種組成에 영향을 준 것으로는 생각되지 않으며 이는 工事前의 조사 결과(Lee and Kim, 1977)와 본 조사 결과가 거의 類似한 것으로도 알 수 있다. 또한 海藻相에서 前述한 바와 같이 淺灘, 埋立 工事に 의한 浮泥의 영향을 거의 받지 않는 곳으로 생각되는 對照群인 한구미 지역에도 조사 시기별로 다소 차이는 있으나 岩盤과 海藻葉上部에 浮泥가 침적된 것을 볼 수 있었으며, 특히 전반적으로 光陽灣의 濁도가 낮아진 1984年 5月 以後에도 그러한 現象이 계속되는 것을 볼 때 이들 海藻類는 光陽灣이라는 內灣의 特性에서 오는 높은 濁도에 오랫동안 적응해 온 것으로 생각된다.

潮間帶 海藻類의 垂直分布는 파도, 조류, 조석과 같은 물의 유동과 大氣와 海水의 相互作用에 의해 결정되며 파도의 飛沫에 의해 棲息帶의 上線이 上部쪽으로 이동 될 수 있다(Doty, 1957). 본 調査結果 海藻類의 垂直分布上線은 한구미 地域이 묘도에 비해 40cm 정도 높게 나타났다. 이는 한구미가 外海로 향한 水路옆에 위치하고 있고 調査地點의 경사도가 커서 파도의 영향을 상대적으로 많이 받기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 垂直分布樣相은 上部로부터 *Gelidium divaricatum*, *Ulva pertusa*, *Enteromorpha compressa* - *Sargassum thunbergii*, *Ectocarpus confervoides* - *U. pertusa*, *Corallinaceae*, *Chondria crassicaulis*, *Undaria pinnatifida* 등이 두 조사 지점에서 共通的으로 나타났다. 한편, 손(1983)은 오동도 海藻群落의 垂直分布를 潮間帶 上部로부터 *Gelidium divaricatum*, *Enteromorpha linza* - *Chondria crassicaulis*, *Ulva pertusa*, *Scytosiphon lomentaria* - *Sargassum sagamianum*, *Undaria pinnatifida*, *Sargassum thunbergii*로 밝힌 바 있다. 이를 본 調査結果와 比較해 볼 때 *G. divaricatum*, *U. pertusa*, *C. crassicaulis*, *U. pinnatifida*, *S. thunbergii* 등이 共通系列種으로 나타나 類似한 垂直分

布를 보였다. 그러나, 본 조사 지점에서는 潮間帶 上部내지 中部에서 外洋性 群落의 特徵種인 *Scytosiphon lomentaria*를 거의 볼 수 없었다. 이는 본 조사 지점의 植生이 오동도에 비해 상대적으로 內灣性을 띠기 때문인 것으로 생각된다. 본 調査에서 多樣度는 묘도 지역이 對照群인 한구미에 비해 전반적으로 낮게 나타났으며 묘도에서의 多樣度는 *S. thunbergii*群落의 分布樣相과 相關性을 나타내었다.

海藻植生の 季節의 消長에 대해 千原(1970)은 海藻의 繁茂狀態에 따라 冬季 海藻와 春-初夏 海藻로 구분하였으며, 齋藤(1970)은 被度の 增減에 따라 春型(*Scytosiphon lomentaria*, *Sargassum confusum* 등), 夏型(*Chaetomorpha moniliger* 등) 秋型(*Dictyota dichotoma*, *Corallina officinalis* 등)으로 植生을 구분하였다. 본 조사에서 被度を 이용한 集落分析(cluster analysis) 結果 採集時期와 場所에 따라 다소 달라질 수 있으나 光陽灣의 경우 대체로 春季型(2月頃), 夏季型(7月頃), 秋季型(11月頃)으로 代表되는 群落의 季節的 變化를 볼 수 있어 日本의 경우와 類似한 양상을 보였다.

李等(1975)은 光陽灣에 있어서 海藻群落의 特性을 鹽分이 낮은 內灣性의 特性을 일부 나타내고 있으나 韓國 固有의 特性을 이룬다고 報告하였으며, Yoo와 Lee(1980)는 南海岸 海藻群落의 特性을 *Myelophycus simplex* alliance로 규정하고 西部地域을 *Ishige okamurai* - *Ishige sinicola* association으로, 中·東部 地域을 *Colpomenia sinuosa* - *Ecklonia cava* association으로 大別한 바 있다. 본 조사 결과 光陽灣 海藻群落의 特性을 Taniguti(1962)에 따라 구분지워 볼 때 內灣性 海藻인 *Ulva pertusa*, *Enteromorpha linza*, *Undaria pinnatifida*, *Sargassum horneri*와 外洋性 海藻인 *Gelidium divaricatum*, *Corallinaceae*, *Chondria crassicaulis* 및 *Sargassum thunbergii*가 代表種으로 나타나 內灣과 外洋性 群落이 함께 나타났을 뿐만 아니라 Yoo와 Lee

(1980)에 의한 西部와 中·東部の 特徵種이 함께 분포하고 있어 西部와 中·東部 群落의 特性도 함께 나타났다.

한편 Taniguchi(1962)는 河川의 영향을 받는 灣의 경우 대부분 海藻群落의 特性은 *Ulva pertusa* alliance에 포함되나 局部的으로 鹽分이 낮은 곳에서는 *Enteromorpha* 群落의 優占하며, 外洋의 영향을 相對적으로 많이 받는 灣의 入口쪽에는 多様な 群落의 特性이 나타날 수 있을 뿐만 아니라 洪水時 일시적으로 淡水의 영향을 크게 받는 곳은 갑작스런 鹽分의 변화에 의해 特異한 群落의 特性이 나타나고 하여 같은 灣內에서도 地理的 條件 또는 灣의 特性에 따라 다소 相異한 群落의 特性을 나타낼 수 있음을 밝혔다. 본 조사에서도 두 조사 지점간에 다소 차이는 있으나 南海岸 海藻群落의 特性을 西部와 中·東部로 區分지키 볼 때 西部와 中·東部の 特性이 함께 나타나며, 鹽分이 낮은 內灣에서의 群落의 特性과 外洋性 群落의 特性이 함께 나타나는 것으로 생각된다.

한편 自然에서의 어떤 環境要因에 대한 生態調査는 그 要因만을 對象으로 완벽한 對照群을 선정하기란 실질적으로 매우 어려우며 비록 그들 요인이 植生變化의 한 요인으로 作用하고 있을지라도 여러가지 自然 및 人爲的인 환경이 복합적으로 작용하고 있기 때문에 海藻群落에 대한 어떤 특정 요인의 영향에 대한 分명한 인식은 힘들다. 본 조사 기간 중에 있었던 원유 유출 사고와 有用海藻類의 採取 및 潮間帶 岩盤에서의 피조개 증배 실험작업 등에 의한 植生의 훼손 등은 보다 직접적으로 海藻植生에 영향을 주는 것으로 생각된다.

摘 要

본 研究는 南海岸 中部에 위치한 光陽灣에서 海藻群落調査와 浚渫 및 埋立工事 등으로 인한 濁度의 海藻類 植生에 대한 영향을 밝히기 위해서 工事地點으로 부터 가까이 위치하고 있는 묘도와 對照群인 한구미를 조사 지점으로 선정하여 隔月別 調査를 실시하였다. 그

結果, 出現 海藻類는 總 171種으로 藍藻類 8種, 綠藻類 24種, 褐藻類 31種, 紅藻類 108種이었으며, 調査地點別 出現種數는 묘도에서 128種, 한구미에서 132種이 分類, 同定되었다. 그리고, 分類群別 種組成은 묘도의 경우 對照群보다 褐藻類의 出現比率이 높은 반면 紅藻類는 낮았다. 垂直分布樣相은 調査地點別, 調査時期別로 다소의 差異는 있으나 潮間帶 上部로부터 *Gelidium divaricatum*, *Ulva conglobata*, *Enteromorpha compressa* - *Sargassum thunbergii*, *Ectocarpus confervoides* - *Ulva pertusa*, *Corallinaceae*, *Chondria crassicaulis*, *Undaria pinnatifida* 등이 共通系列種으로 나타났다. 優占度를 볼 때 묘도는 *S. thunbergii* > *U. pertusa*, 한구미는 *U. pertusa* > *S. thunbergii*로 代表되는 群落特性을 보였다. 種多樣度는 對照群인 한구미가 묘도보다 年中 높게 나타났으며 調査時期別로는 한구미의 경우 2月頃에, 묘도는 10月頃에 가장 높게 나타났다. 純群落을 對象으로 한 現存量은 *S. thunbergii*, *Hizikia fusiforme*, *Enteromorpha linza*의 경우 대개 4月頃에, 그리고 *Ulva pertusa*는 8月頃에 最大値를 보였다.

類似度分析 結果 調査時期別로 다소 차이는 있으나 光陽灣 海藻群落의 季節的 消長은 春季(2月頃), 夏季(7月頃), 秋季(11月頃)의 3가지 類型으로 구분해 볼 수 있었으며, 植物社會學的인 觀點에서 볼 때, 南海岸의 西部, 中·東部の 群落 特性과 內灣, 外洋性 群落의 特性을 함께 나타내었다. 以上의 調査結果 浚渫, 埋立工事로 인하여 平均 20 ppm 미만의 일시적인 濁度의 증가가 潮間帶 岩盤의 海藻植生에 미치는 영향은 주목할만큼 認識되지 않았다.

謝 辭

本人은 海藻學에 入門하겠음 指導해 주신 姜梯源선생님의 回甲을 전심으로 축하드리며 이 論文을 드립니다. 또한 本 論文의 原稿修正에 도움을 주신 서울大學校 植物學科 李仁圭교수님, 研究를 物心兩面으로 도와주신 海洋研究所 許享澤所

장님, 宋源五 研究部長님, 洪在上 海洋生物室長님과 室員여러분들, 그리고 研究費를 지원해 주신 浦項綜合製鐵株式會社 관계자 여러분께 감사드립니다.

參 考 文 獻

- Bolton, J.J. 1981. Community analysis of vertical zonation patterns on a Newfoundland rocky shore. *Aquatic Botany* 10: 299-316.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27(4): 325-349.
- Brower, J.E. and J.H. Jar, 1977. Field and laboratory methods for general ecology. Wm. C. Brown Co. Publ., Iowa. p. 1-194.
- 平原光雄·吉崎誠. 1970. 對馬沿岸の海藻相と海藻群落. 國立科學專報 3: 143-158.
- Doty, M.S. 1957. Rocky intertidal surfaces. *Geol. Soc. Am. Mem.* 67: 535-585.
- Greig-Smith, P. 1964. Quantitative plant ecology. 2nd ed., Butterworth, London. p. 1-241.
- Kang, J.W. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish Coll.* 7(1): 1-25.
- 姜悌源·宋春福. 1984. 서해안 해조류에 관한 생태학적 연구. 學術院論文集 23: 195-219.
- 片田實. 1952. ヒジキの生態學的研究. 第1報 小湊に於るヒジキ及びウミトラノウの群落に就て. 農水講研報 2-1: 40-47.
- 高哲煥·李海福. 1982. 德積群島의 海藻相. 自然實態綜合調查 1: 229-248.
- 李仁圭·金英煥·李鉉浩·洪淳佑. 1975. 光陽灣의 海藻類에 關한 研究 1. 海藻群集의 季節的 變化. 韓植誌 18(3): 109-121.
- Let, I.K. and Y.H. Kim. 1977. A study on the marine algae in the Kwang Yang Bay, 3. The marine algal flora. *Proc. Coll. Natur. Sci., SNU* 2(1): 113-153.
- 大槻忠. 1981. いろいろな環境影響評價手法. 武藏野書房, 東京. p. 1-154.
- Pielou, E.C. 1977. Mathematical ecology. 2nd ed., J. Wiley & Sons, New York. p. 1-385.
- Price, J.H. D.E.G. Irvine and W.F. Farnham. 1980. The shore environment, Volume 1: Methods. Academic Press. p. 1-321.
- Sato, Y and S. Atohe. 1970. Phytosociological study of intertidal marine algae, 1. Usujiri Benten-Jima Hokkaido. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 21: 37-69.
- 齋藤讓. 1970. 日本海沿岸の海藻が貧弱な理由. 科學 40(10): 561-565.
- Sneath, P.H.A. and R.R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy. W.H. Freeman, San Francisco. p. 1-573.
- 손철현·이인규·강제원. 1982. 남해안 돌산도의 해조 I. 釜山水大海硯報 14: 37-50.
- 손철현. 1983. 오동도 해조군락에 관한 연구. 韓水誌 16(4): 368-378.
- 송상호·최정신·손철현. 1970. 여름철 오동도의 해조상. 여수수천논문집 4(2): 18-28.
- Taniguti, M. 1962. Phytosociological study of marine algae in Japan. Tokyo. p. 1-129.
- Wetzel, R.G. and D.F. Westlake. 1974. Periphyton. p. 42-50. In, R.A. Vollenweider (ed.), A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. 2nd ed., IBP Handbook 12: 1-255.
- Yoo, S.A. and I.K. Lee. 1980. A study on the algal communities in the south coast of Korea. *Proc. Coll. Natur. Sci., SNU* 5(1): 109-138.

(1986. 9. 20 接受)

都市와 海溢

姜 始 桓

韓國科學技術院 海洋環境工學室長

1. 머리말

아시아대륙의 東北南端에 위치한 우리나라는 아시아대륙과 태평양의 서로 다른 기후 영향을 받아 매년 급격한 氣象變化와 颱風, 暴風 등으로 큰 피해를 입고 있다.

과거 漁業과 海運이 주축이 되어왔던 우리의 沿岸利用形態는 1960년대 이래 경제적 급성장과 수출증대에 따라 港灣, 臨海工業團地造成등 沿岸域에 대한 개발정책이 본격화 되면서 경제활동 및 생활터전이 점차(海岸線쪽으로 옮겨짐으로써 연안역의 人口增加, 産業都市化가 가속화 되고 있다.

이에 따라 쾌적했던 도시환경이 침해를 받아 馬山, 蔚山等地에서 이미 경칩한 바와 같이 海洋環境汚染이 심각한 문제점으로 대두되고 있을 뿐 아니라 해안선을 끼고 개발된 臨海都市들은 大海에 직접 노출되어 惡氣象, 地震 등 자연조건의 급변에 의해 沿岸浸水, 港灣 및 沿岸施設物破壞, 流失 등 自然災害의 피해규모를 더욱 大型化하는 결과를 초래하고 있다.

2. 우리나라의 沿岸域 利用現況

한반도의 지리적 여건은 東高西低形으로 西·南海岸은 沈降海岸의 복잡한

■ 特輯 都市와 災害 ■

海岸線을 따라 水深이 얇고 潮汐差가 크며 東海岸은 陸起海岸의 단순한 海岸線과 깊은 水深을 특징으로 하며 潮汐差가 극히 적다.

우리나라 海岸線의 총연장은 12,452km이며 沿岸에 접한 陸地面積은 전 국토의 약 32%를 차지하고 있는데 1982년까지 이미 926km²의 干拓事業이 이루어졌고, 최근의 瑞山, 光陽灣一帶의 대규모 사업과 기존도시의 확장에 따른 沿岸埋立 등으로 연안역의 면적은 더욱 크게 늘어나고 있다.

우리나라의 연안역 이용현황을 개략적으로 살펴보면 (洪承湧 등, 1985) 행정구역 상으로는 2개 直轄市와 15개 市, 52개의 郡이 연안역에 위치하고 있으며 전국 인구의 약 1/3인 1,364만 여명이 거주하고 있는 것으로 나타나 있다.

都市化率は 현재 66% 정도로 內陸地域과 비슷한 수준에 있으며, 港灣은 港灣廳 산하의 釜山, 仁川과 같은 1種港이 24개소, 大川, 臨院 등 2種港이 22개소, 총 46개소이며 그의 水産廳 산하 총 1,814개소의 漁港이 海岸線을 따라 분포되어 있다.

沿岸域의 地域總生産額은 1981년의 경우 全國總生産(GNP)의 약 1/3을 차지하고 있으며, 이는 수출 주도적 경제성장 정책에 따라 앞으로 더욱 더 증가될 전망이다.

삼면이 바다를 접하고 있는 우리나라에 있어서 연안역은 이와같이 매우 중요한 위치를 점하고 있다. 따라서 장기적 안목의 沿岸域綜合開發計劃의 樹立은 물론 해일과 같은 자연재해의 피해를 방지할 수 있는 종합적이고 과학적인 방재대책의 수립이 시급한 실정이다.

3. 海 盜

海盜이란 지역에 따라 일정한 週期에 海水面變位를 갖는 潮汐과는 달리 海面의 水位가 이상적으로 상승하여 海水가 육지로 氾濫, 浸水되는 현상을 가리키는 말이다. 이러한 海盜의 발생원인은 크게 두 가지로 분류될 수 있다.

첫째는 海洋氣象學的 要因으로 颶風, 暴風과 같은 移動性低氣壓 등에 의해 발생된다. 平均海面(mean sea level)으로 부터의 海面變位는 海面氣壓에 반비례하여 상승 또는 하강한다. 冬季季節風과 같이 장시간 지속되는 強風에 의해서 해수가 일정한 방향으로 수송되면서 수송속도의 차이와 육지 등에 의한 沖積效果로 해면이 이상적으로 상승되거나 해일이 발생하게 되는데 이러한 해상의 기상적 조건에 의해 발생하는 것을 暴風海溢(storm surge)이라고 한다.

두번째는 海底의 火山爆發, 海底隆起, 陷沒, 地形崩壞 등 갑작스런 地球物理的 충격에 의해서 발생된다. 이 海溢은 발생빈도는 적지만 가공할 파괴력을 지닌 것이 특징이다. 이는 주로 해저지진에 의한 것으로서, 地震海溢(seismic sea ware), 또는 日本語의 語源을 따서 쓰나미(tsunami)라고 하며 英·美에서는 “tidal wave”라고도 칭한다.

해일은 바다의 內·外部에 대한 충격 내지는 급격한 변화에 대응하는 海面의 변화로서 긴 주기와 파장을 갖는 장파의 형태로 나타난다. 이는 바람에 의해 발생하는 주기 30초 미만의 과랑(wind wave)이나, 너울과는 달리 數分에서 數時間의 週期, 그리고 수십 내지 수백 킬로미터의 파장을 갖는다. 따라서 發生海域에서 沿岸으로의 傳播·移動되는 속도가 시속 수십 내지 수백 킬로미터에 달하므로 신속한 경보, 그리고 충분한 사전방지책의 수립이 없이는 큰 피해를 입기 마련이다.

가. 暴風海溢(storm surge)

지난 80년간 우리나라 연안에서 발생되었던 주요 海溢의 원인, 장소, 피해상황은 표 1에 있다(姜始桓 등, 1985).

큰 피해를 입힌 터일은 주로 颶風내습기간인 7, 8, 9월 동안 21 회 가량 발생되었으며, 겨울철의 강한 季節風에 의해서도 6 회 가량 발생되었다.

南海와 西海岸은 주로 颶風에 의해서, 東海岸은 強風에 의해서 피해가 발생하였으며, 특히 西海岸의 경우는 冬季의 北西季節風에 의한 高潮現狀이

〈표 1〉

우리나라의 주요 폭풍해일(1904~1980)과 피해상황(姜始桓등, 1985)

No	原 因	發 生 日 時	發 生 場 所	災 害 狀 況
1	颶 風	1904. 8. 20	慶尙南道 沿岸	監視船斗 各官署破損, 埠頭流失
2	強 風	1912. 5. 18	黃海道	堤防破壞 19 個所 (約 870m), 田畑冠水 約 410 町步, 家屋浸水 70 戶, 溺死者 1 名
3	颶 風	1921. 9. 23~26	東海岸	船舶破損
4	"	1923. 8. 13~14	平安道斗 龍岩浦	建物浸水 2,960 戶, 流失 1,860 戶, 全破 99 戶, 半破 166 戶, 死亡 538 名, 行方不明 619 名
5	"	1944. 8. 3	南海, 西海岸	
6	"	1952. 8. 17~18	南海, 西海岸	家屋斗 田畑浸水
7	強 風	1956. 2. 27~29	東海岸	船舶被害 700 余隻, 被害額 2 億 54 萬圓
8	颶 風	1956. 8. 16~17	南海岸	
9	"	1957. 8. 20	麗水地方	死亡 7 名 負傷 195 名, 行方不明 8 名, 家屋被害 6,948 棟, 船舶被害 328 隻, 農耕地被害 3,304 町步
10	強風高潮	1958. 4. 6~7	全北 扶安郡 忠南 牙山郡	堤防破壞, 田畑 15 萬坪 浸水 防波堤 400 m 崩壞, 田 11 町步浸水
11	颶 風	1959. 8. 8	南海岸	防波堤崩壞
12	"	1959. 9. 9	東海岸 江陵, 東草,	家屋: 浸水 250 棟, 全破 25 棟, 半破 16, 人命: 負傷 3 名
13	"	1959. 9. 17	南海岸 麗水, 珍島, 莞島	家屋 1,000 余棟 破壞, 1 萬余棟 浸水
14	"	1959. 9. 28	東海岸	船舶被害 26 隻, 防波堤流失 780 m, 家屋浸水 303 棟, 罹災民 1,166 名
15	強風高潮	1959. 11. 3~4	西海岸 牙山灣一帶 全南 務安郡	田浸水 17 町步, 畑 1,550 町步流失, 堤防 48 個所, 家屋浸水 100 余棟 防波堤 流失 17m, 田畑浸水 65 町步
16	強 風	1960. 6. 2	西海岸 牙山灣一帶	農耕地 500 余町步流失
17	強 風	1960. 6. 11~12	珍島	田畑, 畝田 150 余町步流失, 堤防崩壞

No	原因	發生日時	發生場所	災害狀況
18	颶風	1960. 8. 22	傍安郡一帶 南海岸	堤防 110m 崩壞, 農耕地浸水 225 町步 數百戶 家屋浸水
19	強風高潮	1961. 7. 29	唐津地方	堤防 30m 崩壞, 農作物 57 町步 浸水
20	強風	1961. 8. 12	瑞山, 保寧地方	漁船 19 隻 沈沒, 2 隻 全破, 堤防 745m 崩壞
21	強風, 前線	1961. 8. 21	瑞山, 몽산포 三千浦	漁船 8 隻 破損, 防波堤 25m 流失 漁船 3 隻 流失
22	強風	1962. 1. 2	東海岸 東草	死亡 35 名, 行方不明 14 名, 負傷 10 名, 建物全破 23 棟, 船舶 27 隻, 家屋浸水 187 棟
23	颶風	1962. 8. 2~3	南海岸 斗 濟州島	人命: 死亡 18 名, 失蹤 34 名, 罹災民 16, 504 名 家屋: 全破 50 棟, 半破 798 棟, 浸水 322 棟, 流失 5 棟 船舶: 全破 323 隻, 半破 347 隻, 沈沒 110 隻 農耕地: 流失 55 町步, 埋沒 60 町步
24	颶風 強風	1963. 1. 5	麗水地方 東海岸	道路 280 m 浸水, 100 m 流失, 旱岸岸壁 7 m 崩壞 罹災民 1,015 名, 被害額 3 千 9 百萬圓
25	強風高潮	1965. 7. 29	西海岸	堤防 6,423m 崩壞, 堤防 1900m 半破, 家屋全破 8 棟 田畑 1,391 町步流失
26	颶風	1966. 8. 11	麗水 浦項	農耕地 150 町步浸水, 家屋全破 1 棟, 道路 1 個所 破損, 堤防 6 個所破損 田畑 10 萬坪 被害
27	強風高潮	1966. 8. 19	西海岸	堤防: 全破 22 個所(2,502m), 半破 19 個所(4,085m) 田畑 287 町步浸水, 1.9 町步 流失
28	強風	1968. 10. 24	南海岸 東海岸	堤防: 10 余 m 崩壞, 鹽田 30 萬 7 千坪 浸水 建物: 全破 475 棟, 半破 554 棟, 流失 80 棟, 浸水 1,156 棟 船舶: 全破 595 隻, 半破 406 隻, 流失 831 隻

No	原因	發生日時	發生場所	災害狀況
29	強風	1970. 7. 6	嶺東地方, 東草	기타 도로, 교량, 횡단 등 破損, 總被害額 9億 921萬圓 船舶浸水 14隻, 遭難 11隻
30	強風	1971. 1. 3~5	東海岸	死亡 25名, 失蹤 39名, 負傷 17名, 財產損失 14億圓
31	強風高潮	1971. 10. 6	西海岸 牙山, 唐津, 瑞山 禮山	堤防流失 13個所, 農田地 浸水 50萬坪
32	強潮	1972. 2. 1~2	東海岸	船舶被害 15隻
33	強風	1972. 2. 29~3. 1	東海岸	死亡 4, 罹災民 300名, 防波堤流失 4個所, 建物被害 77棟, 船舶被害 18隻
34	強風高潮	1976. 10. 24	全南地方	堤防崩塌 30m, 田畑流失 3ha, 鹽田流失 10ha
35	颶風	1977. 9. 10	麗水沿岸	死亡 9名, 鐵道 50m 流失, 建物被害 3棟
36	強風	1978. 11. 27~12. 2	東海岸	死亡 13名, 失蹤 7名, 罹災民 7,881名, 建物被害 93棟, 船舶被害 959隻 기타 도로, 횡단, 교량 등 破損, 總被害額 57億圓

주요원인으로 분석된다.

해일의 높이는 沿岸浸水 높이와 직결된다. 태풍의 中心氣壓이 낮고, 風速이 클수록 큰 해일이 발생되며, 특히 地形的으로 태풍내습 방향쪽으로 노출된 灣에서 더 큰 피해를 입게된다. 北半球에서는 地球自轉 효과에 의해서 颶風影響圈의 바람이 시계 반대 방향으로 불게 되므로 태풍의 진행경로에 대해서 북쪽과 서쪽에 위치한 연안이 더 큰 海面上昇作用을 일으킨다. 海面氣壓의 平面的 變化分布에 의해 外海上에서 발생된 해일의 높이는 수십 cm에 지나지 않으나, 長週期波의 형태를 갖추고 淺海의 沿岸海域으로 접근하면서 浸水效果 및 河口堰, 댐 등에 의한 海水의 沖積現狀에 따라 더욱 커져 수미터 까지도 급격히 상승된다. 이러한 長週期의 波가 깊숙한 灣으로 진입하였을 때는 灣內의 固有震動波(seiche)와의 相互作用에 의한 共鳴現狀으로 크게 增幅되어 더욱 큰 浸水被害를 입히게 되는데 그 대표적인 예로써는 일본의 東京灣, 伊勢灣, 나가사키灣 등에서 발생한 “아비키(abiki)” 현상을 들 수 있다. 이들 지역에서는 이 아비키 현상으로 3~4m의 급격한 異常高潮가 발생, 많은 인명과 재산피해를 입었다.

나. 地震海溢(tsunami)

地震海溢은 주로 태평양에서 발생되며, 태평양의 地殼이 맞물리는 남·북 아메리카대륙, 알래스카, 남태평양群島, 필리핀, 일본 근처 海底의 地殼에 의해서 발생되고 있다. 우리나라는 다행히도 日本列島가 가로막고 있어 태평양에서 발생된 큰 地震海溢의 피해가 적으나, 일본을 위시한 기타 연안국가에 대해서는 막대한 재해를 주어 왔다. 이에 따라 이 지진해일의 피해를 줄이기 위한 國際機構가 형성되어 있으며, 쓰나미 경보센터가 하와이에 본부를 두고 있다. 우리나라의 경우는 東海의 北東部 日本近海에서 발생한 지진에 의한 쓰나미가 東海 및 南海岸일부에 큰 피해를 주고 있다. 1900 년대에 들어서는 10 개 정도의 큰 지진해일이 동해에서 발생되었으며, 역사적 기록 등에 의하면 서기 701년 부터 지금까지 약 22 개 정도가 동해에서 발

〈표 2〉 지진해일의 강도(m)와 피해정도

地震해일의 强度(m)	海波高(H)	被 害 程 度
-1	50cm	없 음
0	1m	매우 적은 被害
1	2	海岸 및 船舶의 被害
2	4~6	若干의 內陸까지의 被害와 人的 損失
3	10~20	400km 以上の 海岸線에 顯著的한 被害
4	30	500km 以上の 海岸線에 顯著的한 被害

생했던 것으로 나타나고 있다(姜始桓 등, 1985).

〈표 2〉에는 地震强度에 비례하는 쓰나미의 强度(m)와 이에 따른 海溢의 浸水높이 및 沿岸被害領域을 나타낸 것이다. 과거에 발생되었던 지진해일에 의한 피해상황 및 몇 가지를 살펴보면 다음과 같다.

1) 1960년 5월 22일 南아메리카의 칠레(Chile) 近海에서 발생했던 지진 강도 $M=8.5$ (richter scale)에 의한 쓰나미는 美國의 캘리포니아주, 하와이, 사모아섬 등에 큰 피해를 입혔을 뿐만 아니라 太平洋을 횡단하여 日本까지 그 세력을 미쳤는데 이 때의 日本의 피해는 다음과 같다.

주기 : ~1hr

최대 파봉높이 : 6.4m

사상자 : 1,863명

가옥피해 : 22,693동

2) 1933년 3월 2일 日本 北東部に 위치한 Sanriku 近海에서 발생한 지진 강도 $M=8.5$ (richter scale)에 의한 日本의 피해 상황은 다음과 같다.

주기 : 15~20min.

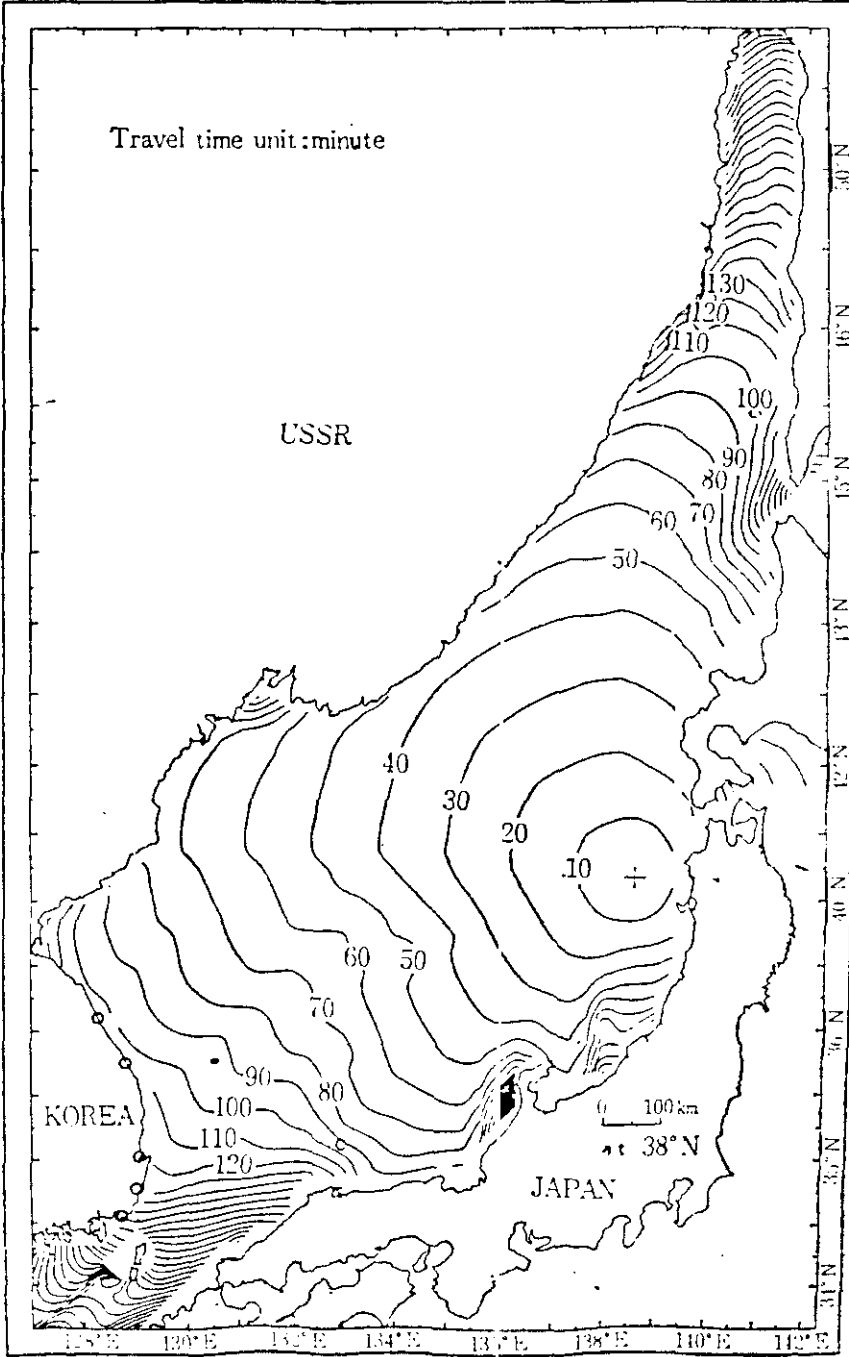
최대 파봉높이 : 24m

사상자 : 4,160명 (사망 3,008명)

가옥피해 : 11,841동

선박피해 : 8,204척

<그림 1> 아끼다 지진해일(1983. 5. 26)의 전파도(姜始桓, , 1985)



1983년 5월 26일 12시 정각 日本의 아끼다 沿岸으로 부터 약 100km 떨어진 수심 2,500m 海底에서 발생되었던 地震(7.7 richter scale) 海溢은 가까운 海岸에서는 ~15m, 東海岸의 臨院에서도 ~5m의 갑작스런 海面水位의 상승을 유발시켰다. 이로 인해 일본에서는 死傷者 324명(사망 104명), 家屋피해 12,083棟, 船隻피해 2,651隻 등 막대한 피해를 입었으며, 우리나라의 東海岸(星湖-臨院)에서도 5명의 사상자를 냈으며(사망 3), 42등의 가옥과 81척의 선박이 유실 또는 파괴되는 피해를 냈다. <그림 1>은 아끼다 海溢이 震源地로 부터 전파되어 나오는 데 걸리는 시간(分단위로 표시)을 전산기로써 계산한 것이다(姜始植 등, 1985).

이 계산에 의하면 東海의 水深分布에 따라 전파·이동속도에 조금씩 차이가 있기는 하지만, 平均時速 450km로서 울릉도까지 도달하는 데 소요된 시간은 92분, 東海市까지가 102분, 蔚山市까지가 128분 등으로 나타나 있다.

이렇게 가장 큰 피해를 냈던 연안의 도달시간 10~20분에 불과한 일본에 비해서는 1시간 40분 가량의 시간적 여유가 있었음에도 불구하고 우리나라 동해안이 큰 피해를 본 것은 쓰나미에 대한 事前知識이나 대비책이 미비하였음을 말해주고 있는 것이라 하겠다. 東海岸에서도 가장 많은 피해를 냈던 臨院港은 東海의 水深變化에 따른 쓰나미 진행의 屈折로 인해 주된 波動 에너지의 集約(wave energy focusing) 現狀과 위에서 기술한 沿岸의 얕은 水深에 의한 淺水效果(shoaling effect), 海水沖積效果가 복합적으로 나타나 5m 가량의 높은 해일을 일으켰다고 판단 된다.

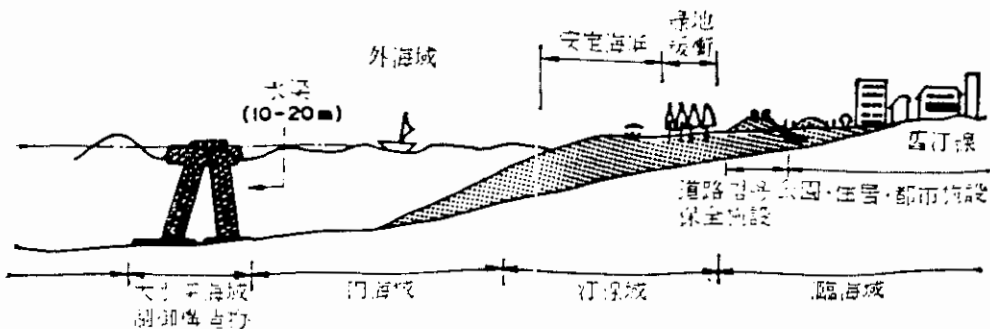
최근 科學技術處의 지원에 의해 海洋研究所에서 연구개발된 東海上의 쓰나미 전파·추적모델(姜始植 등, 1985)은 震源地의 위치가 파악되는 즉시 이를 전산처리함으로써 數分내에 도착예정시간과 피해 영향권을 예측할 수 있도록 한 것으로, 앞으로 지진해일의 피해를 줄이는 데 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 맺는말

지난 20여년간의 지속적인 經濟成長과 産業化施策으로 우리나라 沿岸域은 發電所, 製鐵所, 精油工場 등 基幹産業의 基地로 활발히 개발되어 왔으며 앞으로는 새로운 産業都市建設·既存都市의 整備·擴張, 臨海工業園地造成, 港灣施設 등으로 연안역의 비중은 날이 갈수록 커지고 있다. 이러한 연안역의 개발에 있어서 投資의 效率을 極大化하고, 自然災害로 부터의 施設物 保護와 安全事故 防止 및 人命과 財産上의 被害를 極小化하기 위해서는 보다 科學的이고 體系的인 沿岸防災에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

海溢은 海面水位의 일시적이고, 급격한 상승으로 인한 沿岸浸水 뿐만 아니라 海面水位의 下降은 大型油槽船의 坐礁, 航海船舶의 破壞, 그리고 특히 發電所와 같이 막대한 해수의 이용을 필요로 하는 臨海工業施設의 정상가동과 안전에도 큰 문제를 야기시킬 수 있다. 최근 日本 建設省에서는 臨海都市開發을 위한 새로운 구상으로서 그림에서 보는 바와 같이 연안역을 多目的 利用空間(marine-multi-zone)으로서 최대한 활용하는 방안을 검토중에 있다(그림 2). 이 구상에 따르면 外海로 부터의 海溢, 波浪을 滅殺시키는 構造物을 수심 10~20m에 설치하고, 해안에는 해수욕장, 요트장 등 위

그림 2 임해도시의 건설 구상도(일본 건설성)



□ 特輯 / 都市와 災害 □

락시설, 그 다음 內陸地域은 해일등 자연재해의 완충역할을 할 수 있는 綠地公園, 그리고 住居, 都市施設의 保全을 겸한 海岸道路의 순으로 개발한다는 것으로서 海岸環境의 保全과 沿岸防災를 아울러 고려한 연안개발계획의 좋은 예라 하겠다.

이와같이 앞으로의 臨海都市 建設은 보다 종합적인 海洋環境調査로 통한 立地選定과 과거의 災害要因에 대한 分析, 장기간에 걸친 海洋觀測 統計資料에 의한 沿岸施設物 設計 등으로 自然災害로 부터 住民의 財産과 人命被害를 極小化 시킬 수 있도록 하는 沿岸防災對策樹立이 선행됨으로써 연안역을 보다 쾌적하고 안전한 생활 및 산업활동의 공간으로 바꾸어 나갈 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

洪永湧, 崔棟鎰등, 1985. 한국 연안역 종합개발 연구.

해양연구소 연구보고서 (BSPE 00057-88-6), 과학기술처
姜始桓, 安熙道등, 1985. 해난·재해 체보시스템연구.

해양연구소 연구보고서 (BSPE 00056-87-1), 과학기술처

오천년에 처음기회 지혜롭게 이용하자



RANCE 潮力發電所稼動 20 年

20 years operation of Rance tidal power station

宋 源 吾*

目 次

- 1. 序 言
- 2. 發電所 概要
- 3. 運轉方式
- 4. 發電實績
- 5. 附隨效果
- 6. 結語 및 提言
- 參考文獻

1. 序 言

潮汐에너지의 利用은 인류의 오랜 꿈이었다. 이미 몇세기 전부터 潮汐방아는 家內工業工場의 動力源으로 利用되었고, 20세기 中반에는 潮力發電이 開發되기에 이르렀다.

불란서의 Rance 潮力發電所는 1966년 發電開始以來 20년간 계속稼動되고 있으며, Chausey 島 일대의 대단위 潮力發電開發을 염두에 두고 Prototype 試驗用 潮力發電所로 建設했다고 한다.

Rance 以後 竣工된 潮力發電所로서는 소련의 Kislaya 發電所, 캐나다의 Annapolis 發電所를 들 수 있으나, Rance 發電所보다 훨씬 작은 Pilot Plant 에 불과하다. 그간 세계 각국에서 실시된 潮力發電開發事業은 많았었지만, 아직도 妥當性 檢討段階를 넘어서지 못하고 있다. 主要事業地點은 불란서의 Chausey 島를 위시하여 캐나다의 Fundy 灣, 영국의 Severn 江河口, 소련의 白海, 아르헨티나의 San Jose 灣, 우리나라의 加露林灣

등을 들 수 있으며, 그 개발규모도 Rance 보다 훨씬 커서 새로운 代替에너지源으로서 潮力發電의 比重이 커질 전망이다.

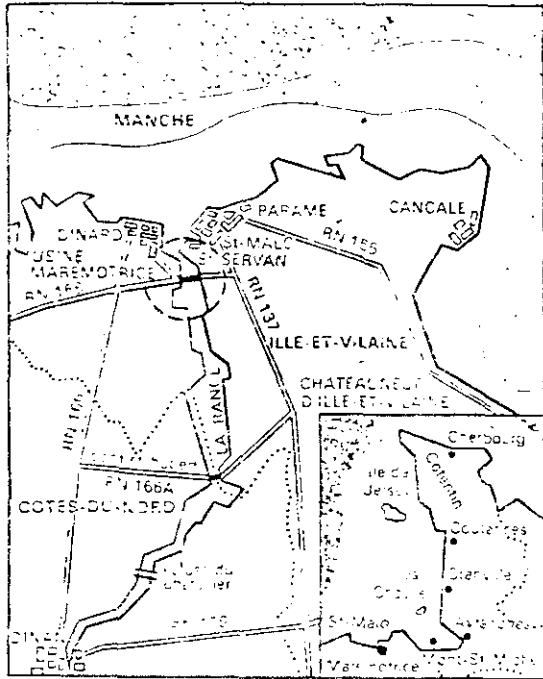
本稿에서는 Rance 潮力發電所의 立地條件, 發電所 概要, 發電所運轉方式, 지난 20년간의 發電實績과 運轉成果를 紹介한다.

2. 發電所 概要

Rance 潮力發電所는 불란서 北西쪽 Brittany 地方 St-Malo 港 근처에서 英佛海峽으로 흘러드는 Rance 江 河口에 위치한다(圖 1 참조). 여기 에 潮力發電所가 建設되기 직전까지만 해도 이 地方에는 2개의 潮汐방아가 稼動되고 있었으며, 潮力發電開發도 오래 전부터 제안되었다.

1906년 Gaston Boucher 교수는 Rance 江 河口 綜合開發을 위하여 港灣, 橋梁 및 潮力發電所 建設을 提案하였으며, 設備容量은 150kW 發電機 192 基였다. 1921년에는 Boisnier 가 Rance 에 潮力發電所 建設을 提案하였으며, 1943년에

* 土木技術士(港灣 및 海岸) · 工博 · 韓國科學技術院海洋研究所 第1研究部長



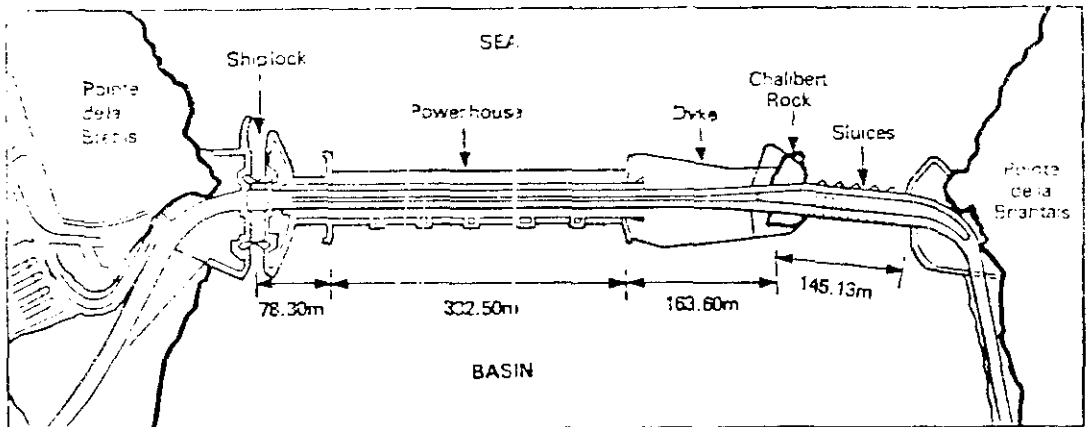
■ 1. Rance 潮力發電所 位置圖

Gibrat 박사는 SEUM 을 조직하여 潮力發電에 대한 본격적인 연구를 착수하여 오늘의 Rance 發電所의 기초를 닦았다. 現在의 Rance 發電所

는 EDF(불란서 電力公社)가 1951년부터 구체적인 發電所 建設計劃을 수립하여 1961년 1월 11일 착공, 1966년 11월 26일 제 1호기가 가동되었으며, 마지막 제 24호기의 가동은 1967년 12월 4일이었다. 제 1호기 가동식에는 그 당시 de Gaulle 대통령이 참석하였다.

Rance barrage 築造地點은 大西洋의 波浪으로부터 잘 保護되며, St-Malo 港의 入出港 船舶에도 妨害를 주지 않고, Barrage는 Brebis 岬과 Briantais 岬 사이의 직선거리는 750m, 潮池面積(潮力發電 貯水池) 22 km²로 潮力發電所로서의 立地條件은 좋은 편이다.

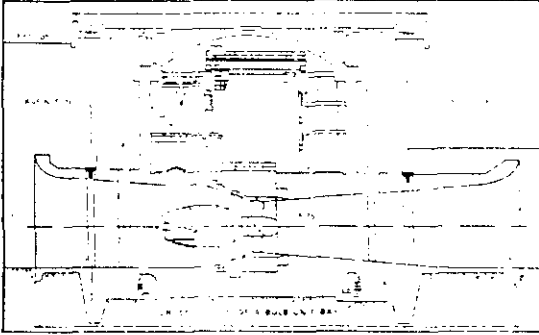
潮力發電所의 主要構造物은 左岸의 Brebis 岬에서 閘門, 發電所本館, 防潮堤, 水門순으로 배치되어 있다(圖 2 참조). 閘門(Shiplock)은 潮池內 船舶出入을 可能하게 하였다. 發電所本館(Power house)(圖 3 참조)은 철근 콘크리트 구조로서 그 속에 10MW Bulb 水車·發電機 24基가 설치되어 있다. Bulb 水車는 水下軸 Kaplan 型으로서 發電機는 兩方向(時計方向 및 反時計方向)으로 회전이 가능하므로 發電 및 揚水가 가능한 Reversible 형이다. 發電所本館과 Chalibert 岩 사이의 防潮堤(Dyke)(圖 4 참조)는 사석제



La Rance tidal barrage scheme

Scheme details		Turbogenerators	
Estuary width	750 metres	Turbine runner diameter	24 x 10 MW bulb type Kaplan turbines with reverse flow and pumping capability
Basin area	22 square kilometres	runner speed	5.35 metres
Mean tide	8.5 metres	maximum head	6.65 metres
installed generating power	240 MW	minimum head	11 metres
			3 metres

■ 2. Rance 潮力發電所一般配置圖



■ 3. 發電所 本館斷面

3. 發電所 運轉方式

Rance 發電所의 運轉方式에 대한 이론적인 연구는 1943 년경부터 시작되어 發電所設計 이전 부터라고 할 수 있다. 초기에 제안되었던 복잡한 방식은 후에 단순화되었고, 조차에 따라 적절한 방식이 선택되었다. Rance 發電所의 潮差는 3.5~13.5m이며, 계절변화는 거의 없지만, 2週期변화는 뚜렷하여 大潮差와 小潮差의 比는 2.5 정도 된다.

Rance 發電所는 單潮池式으로 潮池數가 1個이므로 發電方式은 單流式(潮池→外海)과 複流式(潮池↔外海)으로 나눌 수 있고, 必要에 따라 揚水(1~3m의 低揚程 揚水)도 가능하다. 일반적으로 運轉 Cycle은 充水→待機→排水가 계속 반복되며 各方式마다 실제 발전설비를 인용하여 段階別로 설명하면 다음과 같다.

1) 單流式 發電(1983년 12월 15~16일)(圖 6 참조)

(1) 潮池充水(Basin filling): Orifice mode로서 發電機는 發電하지 않고, 水門과 함께 개방된다. 이때 揚水도 가능하나, 전력에너지 수요와 양수전후의 에너지 가치 등을 고려하여 결정한다. 揚水時에는 潮池內水位를 높일 수 있으므로 小潮期에 효과가 있다.

(2) 待機(Standing period): 이것은 전력계통의 전력수요에 따라 융통성 있게 조정한다.

(3) 潮池排水(Basin emptying): 外海쪽으로 排水하면서 發電하며, 發電水頭가 1.2m 이하가 되면 發電이 中止된다.

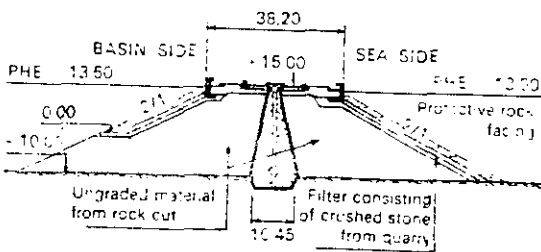
2) 複流式發電(1983년 9월 13일)(圖 7 참조)

(1) 潮池充水(Basin filling): 外海潮汐을 이용하여 漲潮時에 潮池를 充水하고, 潮汐과 潮池內水位 間의 水頭差가 1.7m 이하일 때 中止하므로 潮池內水位는 外海潮位보다 낮다. 이때 揚水를 하지 않으면 다음 Cycle에서 發電量이 감소된다. 潮池의 充水는 水門 이외에도 發電水路를 Orifice mode로 하거나 揚水($\Delta H=30\text{cm}$ 일 때)를 하여 가속시킬 수 있다.

(2) 待機(Standing period): 單流式과 같다.

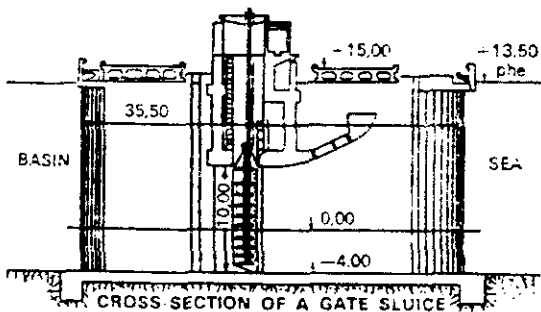
(3) 潮池排水(Basin emptying): 單流式 發電

이며 중앙에 Concrete core가 있어 누수를 방지한다. 水門(Sluice)(圖 5 참조)은 Chalibert 岩과 右岸의 Briantais 岬 사이에 위치하며, 여기에는 6連의 Fixed-roller gate(15×10m)가 설치되어 있고, 通水容量은 9600m³/sec(5m 水頭)이다. 水門은 正方向發電(Direct generation, 潮池→外海)後 潮池排水時(水頭差 1.2m), 逆方向發電(Reverse generation, 外海→潮池)後 潮池充水時(水頭差 1.6m)에 各各 開放된다. 이때 發電水路는 Orifice로서 水門의 기능을 보조하여 潮池의 充水나 排水를 촉진시킨다.



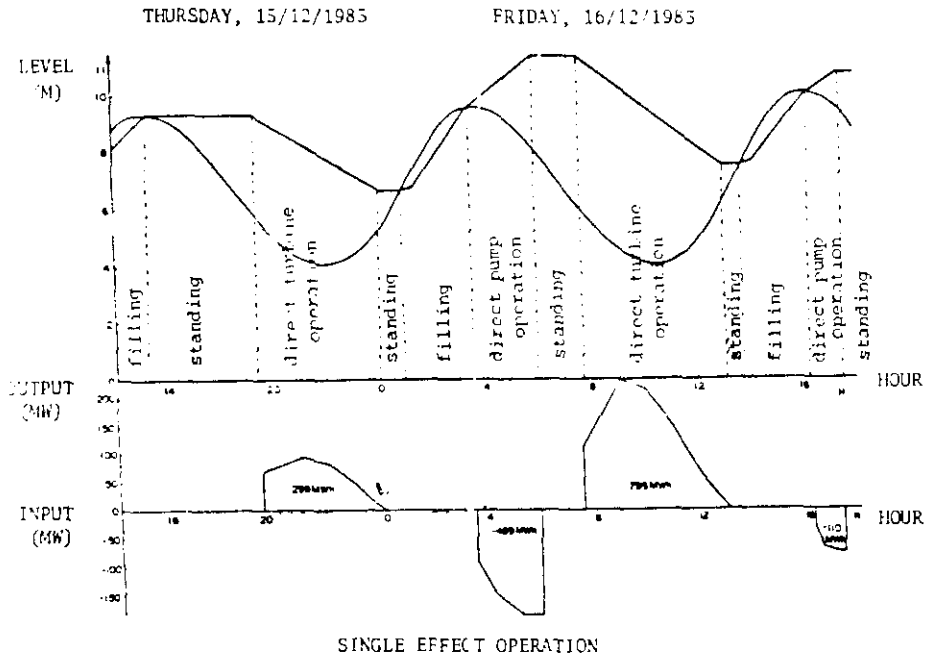
CROSS-SECTION OF ROCK-FILL DIKE

■ 4. 防潮堤 斷面

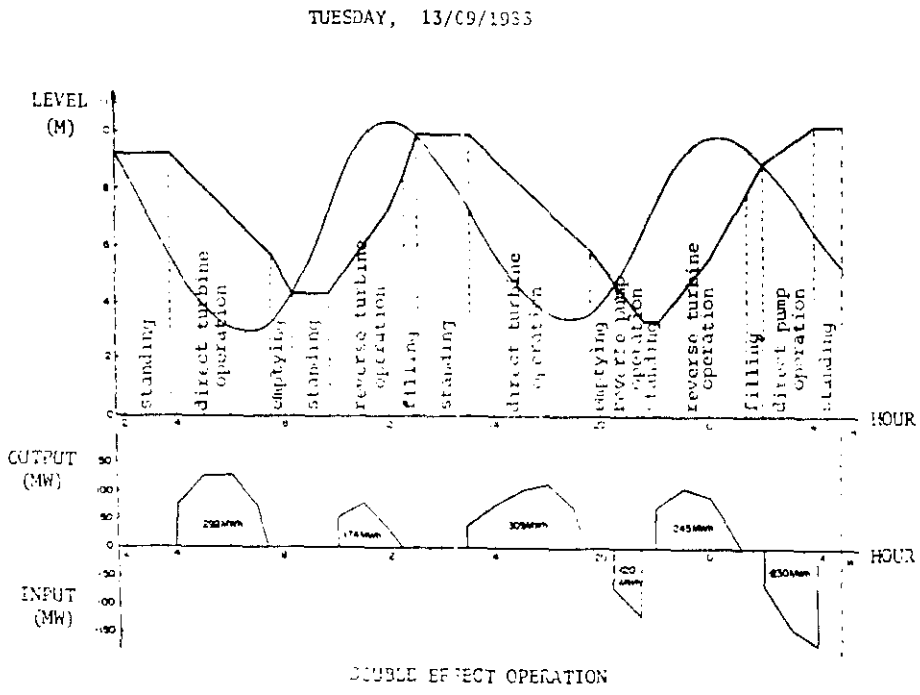


CROSS-SECTION OF A GATE SLUICE

■ 5. 水門斷面



■ 6. 單流式發電例



■ 7. 複流式發電例

後水門과發電機水路를 Orifice mode로 열어排水시킨다. 이 때 다음 Cycle의逆方向發電에有利하도록逆方向揚水를 하여潮池內水位를 낮추면 더 큰出力을 얻을 수 있다.

앞에서 소개한 바와 같이 Rance는 單潮池式發電所로서單流式 및 複流式發電이 가능하며, 필요시에는低揚程揚水(1~3m)로發電效率를 높일 수도 있어 運轉에 融通성을 기할 수 있다.

複流式運轉은 水頭損失이 커서 大潮期 3~4시간만 실시되고, 나머지 시간은單流式運轉을 한다. 發電所 運轉時에는 수시로 변하는 水頭變動에 대처해야 하므로 流量과 效率를 고려하여 出力을 極大化시킨다. 潮差에 따른 出力變動으로 大潮와 小潮期의 出力 및 發電時間의 變動폭이 크다. 즉 圖 8은 潮差가 11m와 5m일 때의 出力과 運轉方式으로서 出力比 약 4배, 大潮期에는 6배까지도 되며, 水頭比는 小潮의 3배, 發電時間은 2배 정도 길어진다. 특히 潮差가 11m 이상되면 複流式的 出力이 현저하게 증가된다.

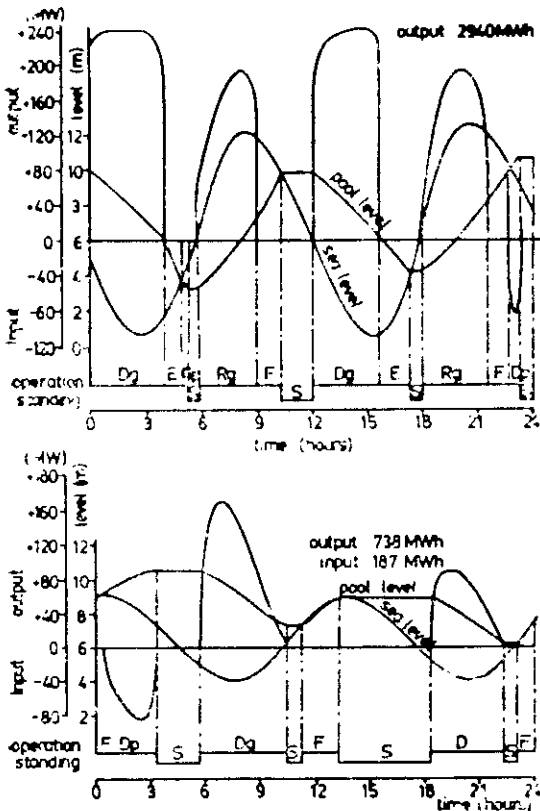


圖 8. Rance 潮力發電所 發電方式比較 (複流式, 單流式)

大潮期水頭는 水車定格水頭보다 커서 發電機의 出力制限 때문에 揚水의 매력은 없다.

Rance 發電所의 運轉方式은 주로 潮差에 따라 결정되며, 다음 事項을 고려하고 있다.

1) 大潮期(潮差 11m 以上) 運轉: 發電水頭가 충분하므로 複流式이 유리하다.

2) 中潮期(潮差 7~11m) 運轉: 逆方向發電 또는 揚水를 고려하며 發電時間은 연장되지만, 전체 發電量은 따져봐야 한다.

3) 小潮期(7m 以下) 運轉: 揚水는 出力과 에너지價値를 增加시킬 수 있으므로 有利하다.

4) 逆方向揚水는 逆方向發電과 연관시키는 것이 有利하다.

일반적으로 出力의 極大化를 위해서 潮差가 11m 이상이면 正方向 또는 逆方向發電(非揚水)을 하고, 그 이하이면 적당량의 揚水를 하면서 正方向發電을 한다.

潮力發電所의 運轉은 주로 潮差에 따르지만, 에너지價値(Value), 晝間에는 船舶航行을 위한 潮池內水位 維持 等の 變數에 따라 결정되며 구체적으로 潮池水位, 潮位, 稼動 水門數, 流量, 稼動 發電機 臺數, 揚水電力 등을 들 수 있다.

4. 發電實績

Rance 發電所의 發電實績은 試驗稼動期(1966~67년), 正常稼動期(1968~74년), 發電機 Overhaul 期(1975~82년) 및 正常稼動期(82년 이후)로 나뉘어서 생각할 수 있다. 1975년 1월~1982년 5월 사이에 실시된 대대적인 유지보수 및 수리 작업 때문에 發電實績에 대한 단정적인 결론을 도출하기는 어렵다.

또한 이 기간에 있었던 에너지 파동으로 에너지 가격의 변동은 發電所의 운전 방식에도 영향을 주었다.

水車製作者의 示方書는 正方向發電(DT)과 揚水(DP)를 권장하고 있다. 1980년 이전 수년간 揚水가 3% 以下였던 것은 불가피했지만 의도적인 점도 있다. 현재는 發電所 稼動時間의 18~20%나 되며, 24基에 대해 年間 약 28,000시간으로 무시할 수 없다. 正方向發電(DT)은 약 60%로서 약 93,000시간이나 된다. 그러나 逆方

表 1

Rance 發電所 發電實績(1980~84)

Year	Production (GWh)			Period (total for the 24 sets)%					
	Gross	Net	True	DT	RT	DP	RP	O	Hours
1980	503	495	485	6	5	3	0.1	28	116,800
1981	570	562	500	6	2	16	0	21	134,700
1982	607	599	511	5	2	18	0	21	151,000
1983	610	601	503	5	6	17	0.1	20	255,900
1984	609	601	494	5	3	18	0	21	257,500
	(100%)	(98.7%)	(81%)						

(1) Major normal maintenance works : 1976-82.

(2) Net = Gross - auxiliaries ; True = Net - pumping

(3) DT = Turbining Basin Sea

DP = Pumping Sea Basin

RT = Turbining Sea Basin

RP = Pumping Basin Sea

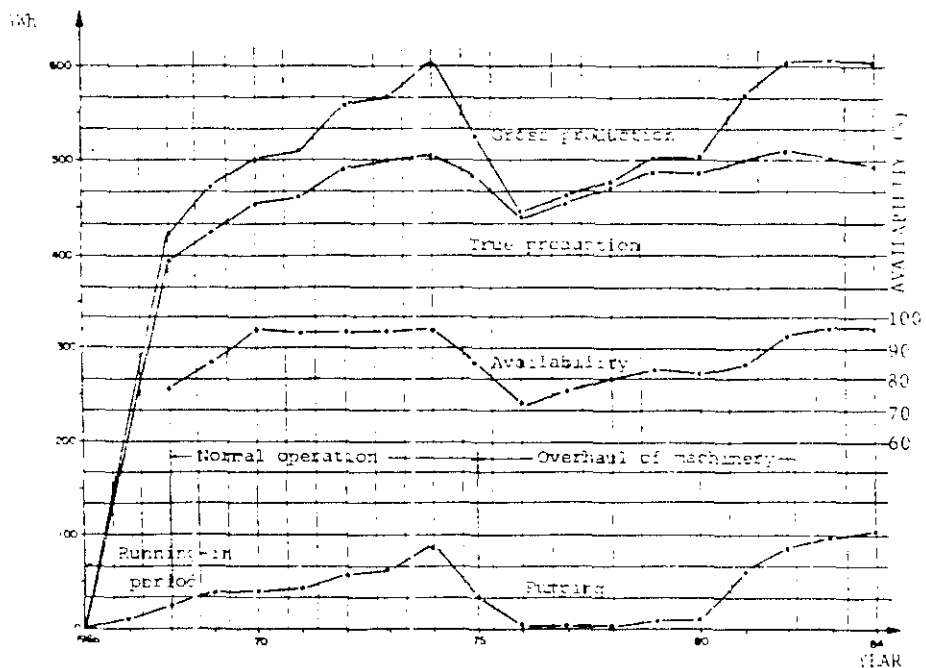
O = Orifice (generally Sea Basin)

向發電(RT)과 揚水(RP)頻度は 各各 5%, 0%로 무시할 수 있다(表 1 참조). 이것은 發電機에 부하를 주므로 특수한 경우에만 실시하며 운전방식을 결정할 때는 이 점을 고려해야 한다. Rance 발전소가 불완전 전체 발전설비의 작은 비중을 갖지만, 연간 8,000 시간 정도의 逆方向發電도 첨두부하시간대에서는 큰 기여를 한다.

Orifice mode 운전은 潮池內 充水を 가능한 많이 하려는데 있으므로 水車의 조절변도 최대로 개방시켜 통과유량을 최대로 크게 한다.

發電量은 1966년 1호기稼動以來 1968년까지 계속 증가되었으며, 1968년 5~6월에 惡劣 때문에 發電量의 減少가 있었다. 그 후 매년 증가되어 1974년에 606 GWh였으나, 그 이후 기

PRODUCTION, CONSUMPTION AND AVAILABILITY OF GENERATING SETS



■ 9. Rance 發電所의 年度別 發電實績 (1966~84)

기의 Overhaul 때문에 감소되었다가 1982년 부터 다시 600 GWh를 넘어서고 있다. 여기서 發電所 소내 소비 및 양수용 전력을 빼면 450~500 GWh 정도이다(圖 9 참조). 1983~84년도의 이용율이 97%나 되어 1976~82년도의 71~94%와 대조적이다.

Rance 發電所의 연간 경비의 구성은 表 2와 같다. 여기서 주목할 점은 자본비용과 감가상각비가 전체의 78%를 차지하고, 운전비는 22%로서 비중이 낮다는 것이다. 潮力發電에서는 연료비의 부담이 없는 대신에 자본비의 비중이 커서 민간회사 주도형의 사업추진은 정부의 정책적인 지원이 없는 한 어렵게 되어 있다.

表 2 Rance 發電所 年間 發電經費 構成比(%)

항 목	백분율(%)
운전비(Running Cost)	
1) 인건비(50명 기준)	3.3
2) 유지 보수비	6.2
3) 세 금	6.6
4) 세 잡 비	2.6
5) 경상비(Overhead)	3.3
	계 22.0
분할 상환금(Amortization)	
1) 자본비	58.5
2) 감가상각비	19.5
	계 78.0

5. 附隨效果

Rance 發電所稼動에 따른 附隨效果는 다음과 같다.

1) Bulb 水車·發電機의 設計 및 運轉技術을 蓄積할 수 있으며, 潮力發電機로서 Bulb의 위치가 확고해졌다.

2) 器機의 海水防蝕技術分野에도 상당한 發展이 있었다.

3) 發電所 주변해역에서의 最大潮位가 13.5 m에서 12.8 m로 낮아진 반면 最低潮位는 증전보다 높아졌다.

4) 閘門 때문에 선박출입에 다소 불편을 주지만, 발전소 건설 이후 潮流의 流速減少는 증전보다 船舶航海를 容易하게 했다.

5) 發電所 上部를 通過하는 4車線公道는 St-Malo와 Dinard 간의 自動車 走行距離를 40 km에서 7 km로 단축시켰다.

6) Rance 發電所는 세계 最大의 商用潮力發電所이므로 觀光名所로서 매년 약 20萬명 이상의 觀光 객들이 다녀간다.

한편 不利한 效果도 없는 것은 아니다.

1) 發電所와 水門上·下流 근처에서 發生하는 渦流現象으로 船舶航行禁止海域이 설정되어 있다.

2) 發電所의 갑작스런 稼動中止 때문에 上·下流에 예기치 않은 Surge가 發生한다. 이 現象은 Computer로서 緊急水門操作이나 水車회전속도 調整으로 矯正되기도 한다.

6. 結言 및 提言

Rance 發電所는 이미 제 2차 世界大戰中 戰後에 夕陽 전력부족에 대한 대비책으로 계획되었다. 1959년 발전소 건설이 결정되었을 때는 Suez 운하되기(중동 원유의 해상수송로 붕괴)가 사람들의 기억에서 채 사라지기도 전이었다. 이때쯤 불란서의 에너지 정책결정권자들은 Rance 조력발전소를 건설하여 새로운 대체에너지 및 Clean 에너지 자원을 개발하려는 정책적인 의지 이외에도 정치적인 배려도 있었다. 사실 불란서에서도 Brittany 地方은 개발이 잘 안된 지역으로 이 지난 주민들의 불만이 컸으며, 그 당시 즉각적으로 착수할 수 있는 지역개발사업이라고는 Rance 潮力發電所 建設이 고작이었다. 이 사업은 그때 까지만 해도 이미 여러 차례 고려되었지만 경제성 때문에 뒤로 밀렸다.

Rance 발전소가 발전을 개시할 때만 해도 오늘날과는 달리 전체적으로 에너지가격이 저렴했었기 때문에 Rance 조력발전소에 대한 평판이 좋지 못했다. 즉, Rance 발전소가 가동 안 되고 있다, 비경제적이다, de Gaulle 대통령이 불란서의 위신을 높이기 위해서 만든 사업이다, 등등 말이 많았다. 전례없는 실패는 대체적으로 사람들의 기억에서 잘 잊혀지지만, 성공이 이상스럽고 비경상적이거나 사실이 아닌 것처럼 보일 때는 그것을 부정하려는 무엇이 항상 있기 마

련이다.

앞서 기술한 바와 같이 Rance 다음 단계 사업은 Chausey 島 개발이며, Caquot 가 북조지 개발단에 대한 검토를 한 바 있다. 현재 불란서의 EDF 는 대규모 원자력발전소 건설사업(2,900 MW)의 자원조달 문제에 급급하고 있기 때문에 조력사업에 더 신경을 쓸 겨를이 없으며, 계획이 변경될 것 같지도 않다. 그러나 영국의 Severn 潮力開發, 캐나다의 Fundy 灣 潮力事業 등의 潮力發電所 建設이 본격적으로 시작되면 재고될 수도 있을 것이다. Rance 潮力發電所는 代替 에너지개발 분야에서 새로운 章을 열었고, 지난 20년간 稼動實績은 他潮力事業에도 귀중한 자료로 활용될 수 있으며, 자료의 교환이 아주 바람직하다.

Rance 에서 볼 수 있듯이 우리 나라 西海岸에 賦存하는 潮力에너지資源도 새로운 에너지資源으로서 큰 몫을 할 수 있음을 알 수 있다. 賦存 에너지資源이 빈약한 우리나라에서 國內 潮力資源開發은 에너지波動 때마다 거론되었지만, 아직 확실한 건설계획은 없다. 다만 海洋研究所를 포함한 관련기관에서 사업타당성에 대한 조사 연구가 계속되어 瑩맥을 유지해 왔을 뿐이다.

우리도 大單位 潮力發電을 念頭に 둔다면

Rance 발전소 같은 Pilot plant 를 건설하여 운전 경험을 쌓는 게 아주 바람직하다.

Rance 發電所는 아직도 세계에서 제일 규모가 큰 商業用 潮力發電所로서 獨步的 存在이며, 潮力發電分野의 Pioneer 로서 역사에 길이 남게 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Cotillon, J., La Rance tidal power station review and comments, Tidal Power and Estuary Management, Colston Papers No 30 (Ed. R.T. Severn, et al), 1979.
2. Megnint, L., The new design of tidal bulb units based on the experience from the Rance tidal power station and on-the-river bulb unit, Water for Energy, 3rd International Symposium on Wave, Tidal, OTEC and Small Scale Hydrodo Energy, BHRA, 1986.
3. Hillairet, P. and G. Weisrock, Concrete benefits from operational tidal power station. Water for Energy, 3rd International Symposium on Wave, Tidal, OTEC and Small Scale Hydrodo Energy, BHRA, 1986.

輸出入貨物の

荷役生産性 提高를 위한 研究

— 港灣荷役勞動을 中心으로 —

尹 相 鎬

(韓國科學技術院 海洋研究所 海洋經濟研究室)

Ⅰ 序

初期의 港灣荷役作業은 주로 人力中心의 作業으로 遂行되어 왔으며, 당시 機力作業은 補助的인 手段에 不過하였다.

그러나 점차 貨物の Container化, pallet化 등으로 荷役能力的 提高가 요구되어 貨物에 따라 差異가 있으나 人力作業에서 機力作業으로 代替가 되어 왔다.

이와같이 港灣荷役의 機械化가 進展됨에 따라 既存의 人力에 의한 荷役生産性보다 機力에 의한 荷役生産性이 크게 增加하게 되었으며, 作業段階도 直送(Direct Transfer)의 경우가 많아 作業段階의 單純化(Simplification)가 점점 이루어 지게 되어 勞使間의 作業段階로 인한 荷役料率上의 是非가 잦아지게 되었으며 그 結果 荷主에게 經濟的인 負擔을 加重시키는 原因이 되고 있다.

또한, 勞務供給이 外國저렴 常備化가 實施되지 못하고 있을 뿐만 아니라 現實的으로 勞組가 勞

務者를 過剩供給하는 경우가 發生하고 있다.

이와같은 勞務者의 荷役料率上에 대한 是非로 인한 過多한 勞務費의 支出과 勞動力의 過剩供給은 荷役生産性을 低下시키는 原因이 되고 있기 때문에 荷役生産性을 向上시키기 위해서는 埠頭勞務者의 港別 適正勞務者數가 事前에 算定되어야 할 것이다.

適正勞務者의 算定은 荷役會社의 勞務者에 대한 常備化의 基礎이 될 수 있으며 또한 勞務者의 適正生計維持의 한 方法이 된다 할수 있겠다

Ⅱ 港灣荷役勞動의 特徵

가. 作業條件과 作業組織

1) 作業條件

港灣效率化를 推進하는데 있어서의 港灣勞動의 特殊性은 일반적인 特性뿐만 아니라 다음과

註) 本 原稿은 韓國科學技術院 海洋研究所에서 1983 年의 港灣荷役合理化 方案에 關한 研究事業을 遂行하는 過程에서 蒐集한 資料를 基礎로 하였으므로, 資料의 年度는 거의 1983年 以前의 數值를 使用하였음.

같은 特殊한 作業條件을 가지고 있다.

첫째, 雇傭의 不規則性이다. 作業量의 豫測이 不可能하기 때문에 雇傭의 不規則性이 불가피하여 月勞動日數와 日平均勞賃의 幅이 심하다.

둘째, 勞動時間의 不規則性이다. 荷役作業은 港灣에 船舶이 碇泊하는 時間을 可能的 短縮시키는 船舶速達(Quick Dispatch)을 目的으로 하기 때문에 船舶이 入港하면 晝夜를 不問하고 長時間 繼續勞動을 敢行하게 되어 勞動時間의 不規則性을 가져오게 된다.

셋째, 肉體의인 重勞動이다. 가래기, 목도, 갈무리쓰기등의 重勞動 作業은 特別한 技能이 없어도 反復然達에 의한 肉體의 勞動으로 可能하기 때문에 荷役勞務者의 大部分은 教育程度가 낮은 靑長年層이다.

네째, 單純協同作業이다. 作業部問別 勞動者들의 協同作業이 이루어지지 않으면 能率的인 荷役作業을 할 수 없다. 즉 本船作業이 원활히 이루어지지 않으면 艇船이나 水切, 上車作業은 進행되지 못하기 때문이다.

다섯째, 作業環境의 劣惡이다. 港灣荷役作業은 船舶의 早出을 위하여 短時間內에 作業完了를 必要로 한다. 그렇기 때문에 酷暑, 酷寒, 荒天, 暴雨 등 自然的인 條件이 나쁘더라도 荷役作業이 可能하다고 判斷될 경우에는 作業을 遂行하게 된다.

2) 作業組織

港灣荷役作業은 入出港船舶에 따른 入出貨物의 多少에 따라 作業量이 달라지는 波動性이 높은 作業이다. 그것은 季節的으로 波動性이 심할 뿐만 아니라 每日每日의 作業量의 豫測이 不可能하다는 점에서 波動이 생기는 特殊한 作業인 것이다. 그렇기 때문에 荷役量이 일단 激增

하는 경우에는 自己保有 施設의 不足은 他人으로 부터의 賃借에 의존하고 勞動力은 勞組의 供給에 맡기고 있기 때문에 不足한 勞動量을 補充하기 위하여 勞組는 日傭勞務者를 召集하게 된다. 이처럼 勞務者의 募集 및 供給, 監督機能의 擔當者로 連絡員이 必要하게 되며, 連絡員의 中心으로 協同的인 荷役作業을 遂行하여야 한 作業組織이 形成된다.

作業組織은 班 또는 幫(Gang)이라고 불리는 作業單位로 편성되며 構成員은 連絡員, 데크맨, 원치맨, 一般作業員의 4職種으로 區分되며 普通 16人 程度로 編成되고 있다. 船內作業時에는 4職種 모두 投入되어 作業이 이루어지고 있으며 陸上作業의 경우 連絡員과 一般作業員만므로 作業하게 되며 또한 品目에 따라서 데크맨이 投入되는 경우도 있다. 그러나 勞賃은 職種과는 無關하게 同一配分方式으로 이루어지고 있다.

釜山港의 業種別 作業班을 보면 本船班은 常時 22명, 원목 12명의 1個班을 除外하고는 16명이 1個班으로 構成되며 本船班은 直上車貨物의 作業에도 同時에 投入되고 있다.

陸上班은 10명이 1個班으로 構成되며 上·下車 船側作業에 投入된다. 倉庫班은 20명이 1個班으로 構成되며 出庫上車, 下車入庫의 作業에 投入되며, 野積班은 6~7명이 1個班으로 構成되며 대개의 경우 野積時 重機를 使用한다.

日傭班은 4~6명이 1個班으로 構成되며 清掃日傭은 大部分 女子로 構成된다.

仁川港의 作業班은 船內班의 경우 1個班이 14~15名 정도로 構成되며 陸上班은 1個班이 4~12名까지 多樣한 形態를 보이고 있다.

나. 港灣勞動의 需要와 供給

港灣의 合理化와 能率化를 기하는 主된 要因인 港灣荷役勞動者는 港灣에서 肉體勞動에 의하여 直接 荷役用役에 따른 資本의 價値增殖을 이룩하고 있다.

輸出主導型 經濟開發戰略에 의해 무역량이 急激히 增大되고 이에 따라 荷役量은 1962年以後 10倍 以上으로 增大되었으나, 港灣勞務者數는 1.3~1.4萬名 内外를 維持하고 있다. 이러한 勞動市場에서의 機械化에 의한 需要停滯와 勞務者의 高齡化 教育水準의 低下 技術의 未熟練등은 勞動力의 過剩을 招來하였다.

釜山, 仁川에서는 機械化에 의한 大幅 減員으로 심한 空역을 치렀는데 作業量의 增加로 때로는 勞組가 組合員을 增員하고자 하나 海運港灣廳이 機械化에 對備한 增員抑制로 日傭勞務者를 充當하고 있다.

港灣勞務者의 雇傭狀態는 使用者의 團體인 荷役協會와 勞組가 團體協約에 의거하여 雇傭權은 協會가, 勞務供給權은 港運勞組가 管轄하도록 되어 있다. 또한 作業組織의 中心이 되는 連絡員은 勞組가 任命하며 分會間 勞務者의 交流는 禁해왔다. 이러한 結果로 仁川은 共同配置制度를 實施하여 3個月에 平均 50명정도씩 勞務者를 移動시키거나 아니면 會社別로 組織되어 있기 때문에 會社自體를 移轉하는 力法을 使用하고 있다. 하지만 釜山은 埠頭別로 構成되어 있기 때문에 勞務者의 埠頭間 交流, 同一 埠頭內의 業種間의 移轉도 不可能하기 때문에 勞務供給의 活用性에 支障을 招來하고 있으며, 日傭者 使用의 根本的인 動機로 擡頭되고 있다. 또한 荷役會社의 勞務動員要請에 따라 指定된 時間 指定된 場所에

連絡員이 組合員을 動員하고 作業을 監督·實施하고 있으나 勞務動員은 人力作業中心으로 構成된 人員으로 動員되기 때문에 모든 段階의 機械化趨勢인 現時點에서 勞務者의 人力浪費가 많다.

다. 港灣荷役機械化에 따른 勞動構造의 變化

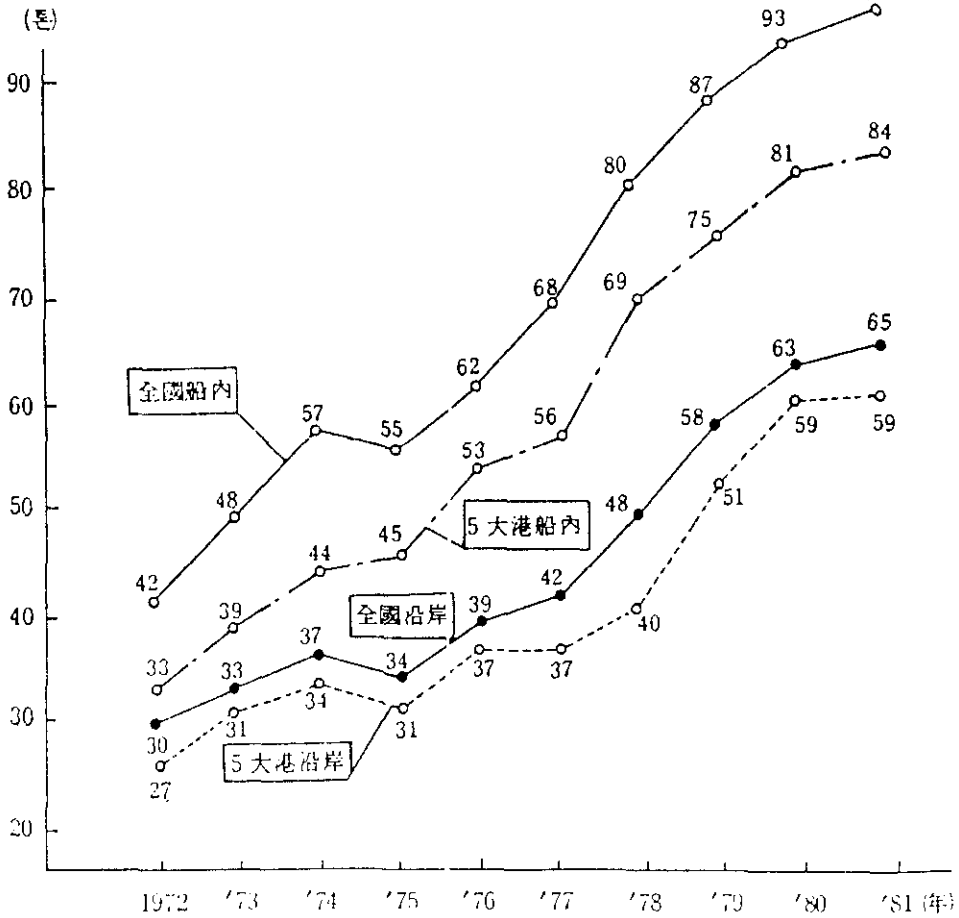
1) 港灣勞動의 質的變化

港灣荷役機械化는 종래의 肉體勞動을 質적으로 變化시킬 것이다. 그것은 港灣荷役의 技術革新이 人間勞動力의 補助로서의 機械化가 아니라 多數의 勞動力을 必要로 하는 港灣荷役에서 人間の 勞動을 省力化하고자 함에 그 目的을 두게 된 것이고 또한 機械化로 부터 出發하여 Container, pallet Ro-Ro 등에 이르기까지 技術革命의 過程은 불대 勞務者들로 하여금 機械造作者나 機械監視人으로서의 變化를 要求하게 되었다.

2) 港灣勞動의 生産性 變化

港灣荷役의 機械化는 勞動生産性의 提高에 寄與하게 되며 이러한 勞動生産性은 單位時間으로서의 勞動의 모든 結果를 包含하는 것으로 勞務者 自身의 內的要因인 (1)勞務者의 熟練과 質 (2)努力의 程度와 勞動強度 (3)體力과 精神力등 勞務者가 갖고 태어난 能力과 外的要因인 1)機械化 및 自動化的 程度 2)作業의 組織程度 特別히 協同화와 分業化등의 要因에 의하여 影響을 받게 되는 것이다.

그러나 實際 港灣荷役의 勞動生産性은 人力의 生産性보다는 機力에 의한 機械生産性으로 보아도 無理는 아닐 것이다. 또한 勞務者들도 역시 機械作業이 아닌 作業은 作業忌避現狀을 보이고 있어 生産性은 實際로 機械에 의한 機械生産性으로 보아야 할 것이다. 다음 <表-1>은 釜山, 仁川의 生産性指數를 나타낸 것으로서 점차 生産



〈그림-1〉 노동자 1인 1일당 하역량 추이

Year	港別生産性 (噸)			
	釜山	仁川	大田	京畿
'78	21.05	30.27	16.20	21.69
'79	20.55	28.25	19.19	21.74
'80	20.07	31.70	21.31	23.6
'81	19.80	31.91	23.23	24.8
'82	22.66	36.07	24.92	26.65

性이 증가하고 있는 것을 알 수가 있다.

〈圖-1〉은 1972년부터 1981년까지 日本의 5大港(京濱, 名古屋, 大阪, 神戸, 關門)과 全國의 船內沿岸의 生産性を 나타낸 것으로 점차 增加의 趨勢를 보이고 있다.

3) 港灣荷役勞動의 量的 變化

港灣荷役의 機械化는 勞動生産性的 變化를 招

來하게 되며 勞動生産性的 變化는 勞動의 量的 變化를 惹起시키게 된다. 釜山의 B.C.T.O.C.와 仁川의 T.B.T.의 退職補償金은 Container化 T.O.C化등으로 因한 裝備의 機械化에 의한 結果라 할 수가 있다.

4) 勞務組織의 變化

機械化는 作業의 質的 變化를 수반하게 되고 따라서 勞動需要的 量的·質的 變化를 요구하기 때문에 現 勞務組織은 本質的으로 變化하게 된다. 즉 Ro-Ro System은 소수의 인원으로 종래와 相異한 機械操作에 의한 荷役을 可能하게 하는 것이며 Container는 港灣荷役과 關聯되는 揚荷, 通關, 保稅등에서도 變化를 招來하여 港灣荷役勞

動全般에 대한 組織的 變化를 가져오게 한다.

여기에서 종래의 갱(Gang)을 中心으로 實施 하였던 協同作業形態에 變化를 가져오게 하고 이것은 現 勞務組織인 갱의 階級制의 解體를 가져오게 될 것이다.

또한 連絡員의 監視機能과 業務指導機能이 縮小되는 반면에 管理業務의 機能이 增大하게 되어 從來의 勞務組織에 變化를 促進시킬 것이다.

Ⅱ 港灣荷役勞動의 實態

가. 港灣荷役勞動의 實態

全國적으로 港灣勞務者의 趨勢를 보면 1980年의 14,589名에서 1981년에는 13,588名으로 1,001名이 減少하였으며, 1982년은 13,423名으로 1981년에 비해 4.1%減少한 것으로 나타났다.

<表-2>는 釜山港의 年度別, 連絡所別 勞務者의 推移를 나타내고 있는 바 每年 減少趨勢를 보이고 있는데 이것은 1979年의 TOC에 의한 失業補償에 의한 것으로 사료된다. 特히 4埠頭·中央埠頭·海上分會가 1,695名에서 1,093名으로 年平均 10.4%씩 大幅 減少하여 他埠頭分會보다 많은 人員이 退職한 것으로 思料가 된다.

<表-3>은 港灣勞務者가 會社別로 組織이 되어 있는 仁川港의 勞務者의 推移를 보여주고 있다. 特히 第7連絡所의 경우 1979년까지 增加하다가 1982년에는 大幅 減少하였는 바 이는 收入의 均衡을 維持하기 위한 勞務者移動의 結果라 하겠다.

나. 港灣勞動者의 稼働 및 賃金實態

1) 稼働實態

港灣勞務者의 稼働 shift數와 賃金은 作業量,

<表-2> 釜山港 埠頭勞務者 推移

連絡所		年度				
		'78	'79	'80	'81	'82
1	부두	328	323	315	316	287
2	"	407	358	377	364	356
3	"	319	290	289	284	276
4	"	459	338	315	302	302
중앙부두		358	266	250	231	217
연안도		266	245	230	205	192
남포		527	595	623	341	348
해상		878	678	633	603	574
부산진		283	188	179	165	162
3기		320	374	384	270	277
죽천		177	270	288	148	126
계		4,322	3,925	3,883	3,229	3,117

<表-3> 仁川港 埠頭勞務者 推移

連絡所		年度				
		1978	'79	'80	'81	'82
제1인락소		262	305	363	210	221
제2"		294	329	329	354	274
제3"		282	312	363	260	251
제4"		280	318	367	235	243
제5"		341	373	393	457	316
제6"		130	134	129	105	114
제7"		275	334	309	198	212
제8"		—	—	231	203	190
제9"		—	—	—	171	216
연안제2인락소		139	139	136	123	114
남수분회		46	47	—	—	—
계		2,049	2,291	2,600	2,316	2,151

年稼働人員, 總勞賃, 在籍人員등을 變數로 하여 算出되는 바 <表-4>는 釜山, 仁川港등의 月平均 稼働 shift數를 나타내고 있다. 特히 全國의 稼働 shift數보다도 釜山, 仁川港이 月別 稼働 shift數가 높은 것으로 나타나고 있다. <表-5>는 1980年부터 1982년까지의 釜山, 仁川港의 月別 稼働 shift數를 보여주고 있는 바 1982年 釜山港의 경우 4月이 29.1 shift로 最高, 8月이 24.0 shift로 最低를 기록하였으며, 仁川港은 6月이 41.1 shift로 最高, 2月이 27.2 shift로 最低를 기록하여 勞

〈표-4〉 港灣別 月平均 稼働 Shift數

年度	항별				
	부 산	인 천	기 다	진 국	
'78	23.35	31.57	20.21	22.97	
'79	30.36	38.77	22.55	27.43	
'80	27.54	30.06	22.69	25.27	
'81	32.09	37.6	25.06	28.92	
'82	26.41	32.9	23.89	25.92	

〈표-5〉 釜山, 仁川港 月別 稼働 Shift數

항별 년도별 월별	부 산			인 천		
	'80	'81	'82	'80	'81	'82
1	24.5	27.4	28.3	26.0	27.1	33.2
2	26.7	26.7	25.9	31.2	34.7	27.2
3	27.4	34.2	29.0	35.6	42.1	33.4
4	32.0	37.0	29.1	24.1	39.3	30.7
5	27.1	37.2	26.9	28.8	40.6	31.7
6	33.1	39.4	26.4	30.4	38.5	31.1
7	28.4	36.0	24.7	29.9	42.1	38.2
8	27.1	33.1	24.0	43.8	43.8	31.1
9	24.6	31.4	26.8	27.0	37.6	33.5
10	26.0	26.5	24.8	30.9	39.5	32.7
11	23.5	26.4	24.2	26.7	31.8	30.9
12	29.8	29.4	26.8	26.7	35.0	39.9
평 균	27.5	32.1	26.4	30.1	37.6	32.8

〈표-7〉

釜山, 仁川港 年度別, 月別 勞賃

(단위: 원)

항별 년도별 월별	부 산			인 천		
	'80	'81	'82	'80	'81	'82
1	206,290	303,674	311,809	192,166	322,056	313,508
2	220,489	291,270	294,664	258,055	306,679	310,678
3	233,201	334,750	330,774	255,110	397,803	358,983
4	316,096	375,883	329,528	202,561	353,386	337,240
5	235,689	353,586	337,192	222,307	378,351	378,435
6	302,700	330,645	297,475	275,698	350,620	495,337
7	281,927	259,632	346,245	264,406	366,944	327,853
8	250,458	378,666	321,696	265,910	384,082	335,445
9	262,187	333,405	365,204	243,621	353,139	416,338
10	282,074	302,622	345,588	283,106	384,098	405,415
11	245,928	307,138	305,235	247,402	334,472	393,394
12	304,675	332,602	384,902	225,882	366,940	449,952
평 균	621,855	335,670	330,475	246,760	357,388	375,166

〈표-6〉 港灣別 賃金 (단위: 원)

항별 년도	부 산	인 천	목 포	계 주	진 국
	'78	171,533	196,368	729,958	197,655	131,866
'79	231,994	248,555	145,054	280,318	173,212
'80	262,337	244,405	214,028	278,516	205,987
'81	335,560	361,446	293,199	332,852	264,790
'82	329,424	378,099	293,354	372,033	267,578
년평균 증가율	17.7	17.8	41.6	17.1	19.4

動者が 釜山港에 많이 分布되어 있다는 事實을 알 수가 있다. 또한 1981년보다 1982年の 平均 稼働 shift數가 적은 것은 物動量이 1981年보다 적다는 것을 의미한다.

2) 賃金實態

港灣勞務者の 賃金은 主要港別로 보게 되면 다음 <表-6>과 같다. 木浦는 4年間 平均 41.6%의 높은 增加率을 보여 왔으며, 濟州港은 17.1%의 增加率을 보이고 있으며 全國 港灣의 平均勞賃은 1982年の 경우 267千원으로 年平均 19.4%씩 增加하는 것으로 나타났다.

<表-7>은 釜山, 仁川港의 1980, 1981, 1982年の

〈표-8〉

釜山港 埠頭別, 業種別 勞賃

(단위: 원)

부 회	인 종	본 선	육 상	창 고	인 용		야 적
					중 기	청 소	
제 1	분 회	423,801	253,920	242,602	244,460	83,438	—
" 2	"	596,516	260,460	241,747	276,031	—	307,649
" 3	"	264,701	200,813	246,050	—	—	—
" 4	"	573,210	412,602	274,073	—	120,685	259,459
중 앙		370,513	708,816	—	—	64,253	—
영 도		—	393,480	—	—	—	—
해 상		236,850	—	—	—	—	—
부 산	진	—	179,518	283,285	—	—	—
적 기		—	355,230	—	—	—	—

月別 勞務者勞賃을 나타낸 것으로서 釜山港의 경우 1982年의 2월에 295千원, 12월에 385千원의 收入을 올리고 있으며, 仁川港은 1982年 6月の 약 50萬원의 높은 收入을 올리고 있어서 季節間 港灣間에 큰 差異가 나타나고 있으며 特히 釜山의 경우 〈表-8〉에서 보는 바와같이 埠頭別 業種別 賃金の 差異를 보이고 있어 2埠頭와 4埠頭와의 경우 業種別로 最高 25萬원 정도의 收入의 差異가 發生하고 있어 埠頭間 勞務者 移動이 되지 않고 있는 現 狀況에서 큰 問題點으로 提議되고 있다.

하저 設定된 料率을 基準으로 하여 每年 引上되 었기 때문에 점차 港灣荷役裝備의 機械化, 現代化 品目的 Container Pallet Ro-Ro System, Lo-Lo System 등으로 거의 모든 段階가 機力이 投入되고 있는 狀況에서는 機械化된 部分은 當然히 配分比率이 달라져야 한다고 하여 複數配分比率도 일부에서는 上張되기도 하고 있다.

기과같이 荷役料率과 勞賃과의 關係는 表裏關係에 있기 때문에 料率의 引上幅이 어느 程度나 에 따라서 勞賃의 引上率이 決定된다. 〈表-9〉는 1977年부터 1983年까지의 荷役料率 引上率을 나타내고 있다.

Ⅳ 港灣勞働者の 賃金水準決定

가. 港灣荷役料率과 賃金과의 關係

港灣勞務者の 賃金은 勞使交涉에 의해 決定되는 것이 아니라 政府가 勞使의 要求와 기타 제반 經濟實情을 考慮하여 決定 告示하는 荷役料率에 따라 決定된다. 이것은 屯當 基本荷役 單位가 荷役會社의 利潤 및 管理費와 勞務費로 構成되기 때문이다.

그러나 現 料率體制는 人力使用 당시를 基準

〈표-9〉

荷役料率引上率

년 도	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83
增 加 率(%)	20	20	22	22	13	10	4.8

〈表-10〉은 全國都市消費者 物價上昇率을 나타낸 것으로 荷役料率引上率이 物價上昇率보다 높 이 策定된 것을 알 수 있다.

〈표-10〉

物價上昇率

年 度	'77	'78	'79	'80	'81	'82
增加率(%) (前年對比)	10.1	14.4	18.3	28.7	21.3	7.3

나. 生計實態調查

港灣勞務者의 賃金水準을 決定하기 위하여 勞務者의 生計費 設問調查를 釜山, 仁川港에 實施하였는나 釜山港의 경우는 勞務者의 學歷은 中卒, 勤續年數는 19年으로 作業日數는 晝間이 13日 夜間이 7日로 1個月 平均 25日 作業하는 3

으로 나타났다. 作業時間은 晝間 9時間, 夜間 7時間 作業하여 한달평균 211時間 作業하여 하루 평균 8.5時間 作業하는 것으로 나타났다. 또한 1日 作業當 勞賃은 晝間이 7,987원, 夜間이 7,799원을 받고 있어 한달평균 晝間作業이 143,766원 夜間作業이 54,593원으로 총 198,359원으로 나타났다.

<표-11> 釜山, 仁川港의 作業條件

구분 항 연령	근무년수		작업일수				평균작업시간				작업노임			
			주간		야간		주간		야간		주간		야간	
	부산	인천	부산	인천	부산	인천	부산	인천	부산	인천	부산	인천	부산	인천
21~30		5	16	6		11	10		9,000		9,857			
31~40	11	6	17	18	6	8	9	10	7	9	9,999	8,096	8,332	8,143
41~50	15	12	18	14	7	7	9	10	7	9	8,628	8,083	9,073	8,520
51~60	20	18	17	16	6	7	9	11	6	9	8,506	8,628	8,417	9,084
61세이상	30	16	19	10	9	7	8	11	6	11	4,813	9,000	5,375	11,300
평균	19	11	18	15	7	7	9	11	7	10	7,987	8,561	7,799	9,381

<표-12> 生計實態調查結果

변수	구분	부산(1) 비율	인천(1) 비율	평균 비율	E.P.B(2)비율	노총(3) 비율					
수	입	334,567	100.0	317,750	100.0	327,915	100.0	349,174	100.0		
1. 본	인	260,705	77.9	281,630	88.6	268,982	82.0	280,755	80.4		
2. 기	다(4)	73,862	22.1	36,120	11.4	58,933	18.0	68,419	19.6		
지	출	331,682	100.0	310,634	100.0	323,357	100.0	279,428	100.0	494,906	100.0
1. 식	비	143,346	43.2	145,686	46.9	144,272	44.6	105,479	37.7	166,170	33.6
2. 주 거 광 열		22,853	6.9	41,282	13.3	30,143	9.3	31,384	11.2	117,788	23.8
3. 교 육 비		48,792	14.7	31,757	10.2	42,054	13.0	30,720	11.0	60,781	12.3
4. 시 부 비		26,193	7.9	24,622	7.9	25,572	7.9	21,690	7.8	36,598	7.4
5. 의 료 후 생 비		25,512	7.7	25,204	8.1	25,390	7.9	20,770	7.4	31,365	6.3
6. 공 과 금		16,912	5.1	13,039	4.2	15,386	4.8	19,306	6.9	30,661	6.1
7. 잡 비		48,064	14.5	29,043	9.3	40,540	12.5	50,079	17.9	51,543	10.4
평균 연령		43		44		42					
평균 가족수		5.1		5.4		5.3		4.4		5.0	

註 1) 1983. 5 부두노무자 대상 실제조사
 2) 경제기획원 통계월보 1983. 6 (도시노무지당 월평균 가계수지)
 3) 노동조합총연맹 도시노무자 최저 생계비
 4) 기타의 수입은 여자배임금 부업 타인의 수입등의 합계

〈표-13〉

港灣勞務者の 月平均勞賃

년 . 도	1977	'78	'79	'80	'81	'82	'83
대전년증가율(%)	20	30	20	22~23	13	-10	4.8
평균임금(원)	91,800	117,420	169,416	176,611	236,220	259,842	272,314

仁川港의 경우는 學歷은 中卒 勤續年數가 11年 作業日數는 晝間이 15日, 夜間 7日로 한달평균 22日 作業하는 것으로 나타났다. 作業時間은 晝間作業이 11時間, 夜間作業이 10時間 程度로 한 달 평균 235時間 作業하여 하루평균 10~11時間 作業하는 것으로 나타나고 있다. 1日 作業當 勞賃은 晝間作業이 8,561원, 夜間作業이 9,381원을 받고 있으며 한달 평균 晝間作業이 128,411원, 夜間作業이 65,667원으로 총 194,082원으로 나타났다. 〈表-11參照〉

이중 特히 釜山, 仁川港의 勞務者 生計費의 主 變數가 되는 收入과 支出의 內譯을 자세히 보면 〈表-12〉와 같다. 收入部門의 경우 釜山港 勞務者 收入中 本人所得은 77.9%, 仁川港은 88.6%로 平均 82.0%차지하고 있는 것으로 나타났으며, 支出部門은 釜山, 仁川의 平均支出額은 323,357원으로 이중 食費가 44.6%로 가장 많으며, 教育費가 13.0% 나타났다. 經濟企劃院의 자료에 의하면 食費가 37.7%, 住居光熱費가 11.2%로 나타났으며 勞總에서도 食費가 33.6%, 住居光熱費 23.8%, 教育費 12.3%로 나타났다.

다. 適正賃金水準을 위한 比較分析

年度別 埠頭勞務者の 月平均賃金を 살펴보면 〈表-13〉과 같이 年平均 19.8%의 上昇率을 보이고 있다.

또한 釜山港 埠頭開場에 따른 勞務者の 適正賃金의 建議(勞組建議)에서도 1981年 11月 基準으로 釜山도 221,000원을 主張하였으며 韓國勞

總에서 調査한 1982年 5月의 全國勞組別 平均賃金을 〈表-14〉에서 보면 港灣勞組가 月平均勞賃이 242,081원으로 나타났다.

〈표-14〉 全國產業別 勞組員의 月平均勞賃

구 분	평균노임	구 분	평균노임
철 도	350,782	선 배	295,665
석 유	152,218	화 학	204,282
광 산	313,062	금 속	243,908
진 력	261,772	출 판	211,300
의 기	424,072	자 동 차	327,048
우 편	332,654	연 합	210,922
항 운	242,081	관 광	277,629
해 원	482,293		
금 용	284,584	평 균	261,434

結局 基本生計費는 勞務者の 支出額中 本人의 收入比率을 乘하여 算出하여 다음 〈表-15〉와 같이 272,000원을 算定하였다.

〈표-15〉 港灣勞務者の 基本生計費

구 분	지출액	생계비
부 산	331,682	271,979
인 천	310,634	254,720
평 균	323,357	265,153
경제기획원	277,428	229,131

Ⅴ 港灣勞動者の 適正水準決定

가. 現行勞動者 利用의 問題點

名 港灣마다 高유의 勞務者管理의 問題點을 內包하고 있으나 特히 釜山, 仁川의 경우를 中心으로 勞務者利用의 問題點을 살펴보기로 한다.

첫째 釜山은 勞務者가 埠頭別로 配置되어 있

기 때문에 埠頭間的 勞賃隔차가 생기고 同一埠頭內라고 할지라도 業種間的 甚한 差異를 보이고 그나마 賃金の 均等を 維持하기 위한 勞務者의 業種間 埠頭間的 移動이 實施되지 않고 있어 勞務者 活用に 問題點이 臺頭되고 있다.

또한 重機日傭의 경우 현재 8時間 作業基準으로 日當 9,840원(4時間 未滿 4,920원, 4時間以上 9,840원)이 支給되고 있으나 實際적으로 生産性이 높기 때문에 오히려 勞働에 比해 勞賃이 低다는 理由로 作業의 忌避現狀이 臺頭되고 있다. 또다른 重要한 勞務者利用上의 問題點은 埠頭別로 勞務者가 配置되어 있기 때문에 物量의 波動性과 流動性으로 인하여 勞務者가 傭시에 不足한 경우가 發生하게 된다. 이럴 경우에 他埠頭 勞務者의 活用在 바람직하겠으나 日傭勞務者를 쓰는 경우가 發生하고 있어 埠頭間的 勞賃의 隔差를 점점 커지게 한다.

仁川港의 경우 實際적으로 收入이 釜山 勞務者보다 높은 편이라 82年의 38萬원, 83年의 50萬원(日平均 收入)의 收入을 올리고 있어 어느정도 安定된 生活를 할 수 있게 되어 人力爲主作業을 忌避하는 現狀이 臺頭되고 있다. 이것은 人力爲主作業은 勞働生産性도 낮고 料率또한 낮으며 大型災害發生率도 높아 忌避하고 있기 때문으로 思料된다.

나. 勞務者 適正水準의 算定

港灣荷役勞務者는 品目別 物動量, 機力·人力 作業比率, 標準作業量, 實所要人員등을 變數로 算出하였는 바, 그 方法을 보면 첫째로 年度別, 品目別 物動量 및 月別波動性的 豫測, 둘째로 需要變化에 따른 機械化的 趨勢 및 年度別, 品目別 作業段階別 機械化的 趨勢를 把握한다. 여기서

年度別 機械化的 趨勢는 實地調查한 結果를 土台로 基準하여 年度別로 機械化率을 算出하였다. 셋째로 現在の 品目別, 作業段階別 傭(Gang)當 標準作業量 및 實所要人員을 把握하여 이것을 作業段階別 作業量 噸當所要人員을 算出하여 月 20日, 25日로 作業할 경우로 區分하여 算出하였다. <表-16> 참조.

<表-16> 釜山, 仁川港의 年度別 適正勞務者數

	釜 山		仁 川	
	240shift	300shift	240shift	300shift
1985	2,858	2,287	1,996	1,596
1986	3,002	2,402	1,991	1,593
1991	3,411	2,726	3,076	2,463

註) 240shift는 月 20일 기준, 300shift는 月 25일 기준임.

그러나 여기서의 人員은 現在 實施되고 있는 荷役料率表上의 全段階를 基準으로 算出된 것이기 때문에 將來의 機械化率의 增加와 段階의 單純化로 實際의 所要人員은 算出值보다 훨씬 적은 人員으로 推定될 것으로 思料된다.

이와같은 勞務者의 算出은 앞으로 展望되는 常備化에 있어서의 基準으로서의 指針이 될 수 있을 것이다.

Ⅵ 結 論

지금까지 荷役生産性的의 向上을 위한 適正勞務者 算出過程과 그 結果值를 釜山, 仁川의 2個 港口에 對하여 살펴보았다.

港灣荷役生産性的의 提高는 荷役會社, 荷主, 勞務者등의 三者에게 共同利益이 될 뿐만 아니라 生産性的의 提高를 위한 適正勞務者의 算出은 荷役會社의 常備化의 하나의 基準이 될 수 있으며 勞組로 하여금 勞動力의 過剩供給을 阻止시키는 하나의 手段이 될 수 있다.

[표 1] 싱가포르의 일반현황

전관경세수역(BEZ)	200 해리
영 해	12 해리
EEZ 면적의 세계순위	149 위
총 육지면적	620.2 km ² (본섬 : 570 km ² , 54 섬 : 50.2 km ²)
연안선 길이	131.5 km
총인구	250 만명 (1983 년)
노동가능 인구비율 (15~64 세)	67 %
km ² 당 인구밀도	4,032
1인당 GNP	6,620 달러
기후조건 (1984)	기온 : 30.8 °C (최고), 24.0 °C (최저), 상대습도 : 74 %, 일일 일조시간 5.1 시간, 총 강우량 : 2,687 mm

- 자료 : 1. Development Academy of the Philippines, Asean National Maritime Interests : A Comparative Analysis, Vol. III (Singapore), 1981 (mimeo).
 2. Yearbook of Statistics, Singapore 1984 / 85. Department of Statistics, Singapore 1985.
 3. Information Division, Ministry of Communications and Information, Singapore Facts and Pictures 1985.
 4. World Development Report 1985, Oxford University Press, N. Y., 1985.

[표 2] 산업별 GDP 비율 (1968 요소비용 기준)

	1960	1970	1983
제조업	13.0	19.3	18.2
무역	33.0	29.5	21.7
재정, 금융, 서비스	13.8	11.4	18.8
교통, 통신	11.5	13.7	19.9
기타	28.7	26.1	21.4

자료 : Singapore Economic Development Board, 연례보고서 1983 / 84, p. 4.

[표 3] 싱가포르의 등록선박수와 총톤수

연도	척 수	총 톤 수
1975	1,356	6,224,738
1976	1,580	6,675,225
1977	1,780	7,514,330
1978	1,742	7,959,051
1979	1,583	7,689,900
1980	1,552	7,419,811
1981	1,682	7,776,585
1982	1,780	7,730,808
1983	1,743	7,140,014
1984	1,555	6,864,207

자료 : Marine Department Annual Report 1984, Republic of Singapore.

비교해 보면 선박척수에 있어서는 일반잡화선이 가장 많았고 선박톤수에 있어서는 유조선이 가장

[표 4] 선종별 분포 (1984년 12월 31일 기준)

선종	척수	총 톤	비율
원유탱커	113	1,958,189	28.53
제품유탱커	1	30,814	0.44
케미칼탱커	11	75,370	1.09
액체가스운반선	1	1,244	0.02
벌크선	74	1,861,162	27.11
OBO선	2	84,290	1.23
자동차운반선	7	77,566	1.13
가축운반선	2	53,798	0.78
컨테이너선	48	621,754	9.06
삼화선	242	1,475,221	21.49
화객선	14	2,141	0.03
원양예인선	167	34,883	0.51
항만예인선	48	7,895	0.12
코터 프로펠러 바아지	5	3,994	0.06
덤 (dumb) 바아지	715	513,168	7.47
기타	102	44,840	0.65

자료 : Marine Department Annual Report 1984, Republic of Singapore.

높은 비율을 차지하였다 ([표 4] 참조).

싱가포르의 총 선박량 가운데 약 1 / 3 은 국내 소유의 선박이고 나머지 2 / 3 는 외국인 소유의 선박들로 되어 있는데, 이는 1969년부터 1982년까지 싱가포르 정부가 외국인에게 선박등록을 개방했기 때문이다. 선박크기와 선령별 분포를 보

자료: 로이드선급협회 1985년 통계.

[표5] 싱가포르 선박의 크기 및 선령별 분포

크기	선령	0~4년		5~9년		10~14년		15~19년	
		척 수	총 톤	척 수	총 톤	척 수	총 톤	척 수	총 톤
100 ~ 499		90	21,731	46	11,920	56	13,339	40	11,873
500 ~ 999		20	13,972	7	5,880	12	10,722	17	15,573
1,000 ~ 1,599		11	13,620	4	4,993	7	10,516	7	9,112
1,600 ~ 1,999		3	5,278	2	3,997	3	5,649	2	3,828
2,000 ~ 3,999		7	22,000	8	25,920	20	65,041	8	21,933
4,000 ~ 5,999		5	21,668	12	57,988	17	84,942	7	35,550
6,000 ~ 6,999		1	6,970	9	58,964	8	52,455	2	12,956
7,000 ~ 7,999		2	15,916	4	29,853	1	7,188	...	...
8,000 ~ 9,999		7	61,695	10	90,255	18	165,772	11	101,788
10,000 ~ 14,999		12	147,665	21	268,122	6	76,950	7	80,275
15,000 ~ 19,999		6	117,188	15	256,824	15	258,803	5	84,235
20,000 ~ 29,999		9	213,363	4	98,227	9	194,669	1	20,222
30,000 ~ 39,999		15	500,106	7	215,559	5	190,484	...	...
40,000 ~ 49,999		3	127,616	8	346,855	22	960,238	...	...
50,000 ~ 59,999		1	59,396	3	154,533	3	161,545	...	...
60,000 ~ 69,999		1	66,413	2	127,578	3	196,957	...	...
70,000 ~ 79,999	
80,000 ~ 89,999	
90,000 ~ 99,999	
100,000 ~ 109,999	
110,000 ~ 119,999	
120,000 ~ 129,999	
130,000 ~ 139,999	
140,000 이상		1	150,471	...	...
계		193	1,414,597	162	1,757,498	206	2,605,741	107	397,345

크기	선령	20~24년		25~29년		30년 이상		계	
		척 수	총 톤	척 수	총 톤	척 수	총 톤	척 수	총 톤
100 ~ 499		14	4,217	4	969	5	1,047	255	65,096
500 ~ 999		4	3,315	4	3,310	1	518	65	53,340
1,000 ~ 1,599		6	8,248	4	5,633	1	1,336	40	53,508
1,600 ~ 1,999		3	5,317	2	3,944	2	3,662	17	31,685
2,000 ~ 3,999		9	25,651	4	13,611	1	2,319	57	176,555
4,000 ~ 5,999		4	20,389	...	...	1	5,853	46	226,390
6,000 ~ 6,999		1	6,718	1	6,814	...	...	22	144,957
7,000 ~ 7,999		1	7,567	1	7,638	1	7,582	10	75,794
8,000 ~ 9,999		6	57,932	2	18,100	...	...	54	495,542
10,000 ~ 14,999		2	22,064	4	44,024	...	...	52	639,110
15,000 ~ 19,999		1	17,444	...	...	...	...	42	734,494
20,000 ~ 29,999		1	23,859	...	...	...	...	24	550,350
30,000 ~ 39,999		27	906,149
40,000 ~ 49,999		33	1,434,749
50,000 ~ 59,999		7	375,444
60,000 ~ 69,999		6	390,948
70,000 ~ 79,999	
80,000 ~ 89,999	
90,000 ~ 99,999	
100,000 ~ 109,999	
110,000 ~ 119,999	
120,000 ~ 129,999	
130,000 ~ 139,999	
140,000 이상		1	150,471
계		52	202,721	26	104,363	12	22,317	758	6,504,582

[표 6] 세계 주요국 보유선박 선령별 분포

1985년 7월 1일 현재, 단위: %

선령별 국가별	총톤수	5년 미만	5~9년	10~14년	15~19년	20~24년	25~29년	30년 이상
세계 평균	416,268,534	19	26	31	13	6	3	2
한 국	7,168,940	17	18	32	26	5	1	1
중 공	10,568,236	16	15	21	17	16	10	5
일 본	39,940,135	30	27	36	6	1	-	-
싱 가 포 르	6,504,582	22	27	40	6	3	2	-
미 국	19,517,571	11	28	18	9	8	6	20

자료: 해운항만 통계연보, 1986, p. 434.

면((표 5), (표 6) 참조) 싱가포르 선복량 가운데 대부분이 6,000 총톤 이내의 선박들로 구성되어 있으며, 선령도 절반 정도가 10년 이내로 되어 있어서 싱가포르 정부가 적극적으로 선박의 노후화를 방지해 온 것을 알 수 있다.

한편, 싱가포르는 컨테이너 선복량을 지속적으로 증가시켜 왔다. 현재 민간선사인 퍼시픽 인터커셔널 라인은 미쓰비시사에게 컨테이너선 2척을 팔주한 바 있으며, 다른 민간선사는 大韓造船公社가 2척의 컨테이너선 건조를 의뢰하였다. 1983년에는 정부투자의 넵튠 오리엔트 라인(Neptune Orient Line)이 가장 큰 컨테이너선인 2,500teu급 2척을 아메리칸 프레지던트 라인(American President Line)에 5,800만 달러에 매각한 후 現代重工業으로부터 3,000teu급 컨테이너선 2척을 5,400만 달러에 주문한 바 있으며, 앞으로도 계속 노후화된 컨테이너선을 신형 선박으로 대체할 예정이다.

대외경제 협력관계를 살펴 볼 때 싱가포르는 1967년에 인도네시아, 말레이시아, 필리핀, 싱가포르, 타일랜드의 5개국이 주축이 되어 발족된 후 1984년 1월에 브루네이가 새 회원국으로 가입한 동남아국가협회인 아세안(ASEAN: Association of South East Asian Nations)의 회원국으로서 다방면에 걸쳐 이들 국가들과 경제적 협조체제를 유지하고 있다. 현재 아세안 회원국들 간의 교역량은 전 회원국 무역합계액의 15~20%를 점유하고 있는 실정이나 이들 교역량의 대부분은 서구국가들에 의해 소유, 운영되는 선박들에 의해 수송되고 있어서 아세안 회원국들은 자체 수송량 비중을 높이고 노력하고 있으나, 기술인력과 자본의 부족 및 운임의 저하 등으로 실효를 거두지 못하고 있다. 따라서 아세안 회원국들은 서구국가들과 경쟁하기 위해서 컨테이너 정기선과 살물전용선 등을 풀링(pooling)하여 운영하자는 제안이 제기되고

있으나 회원국들 가운데 싱가포르만이 지속적으로 컨테이너선의 비중을 높여 온 해운선진국인 반면, 그외 국가들은 해운분야에선 아직 개도국에 해당되어 싱가포르선사의 활동이 더욱 활발해질 전망이다.

싱가포르의 해운선사는 약 60여사로 크게 3그룹으로 분류할 수 있다. 첫째는 정부투자의 넵튠 오리엔트 라인(Neptune Orient Line)으로 1968년에 발족되어 세계 6개 항로에서 주로 컨테이너 화물을 싣고 있으며, 선복량은 37척에 약 1,200만중량톤에 해당되는 규모로 세계 20대 컨테이너 선사에 해당되며 최근에는 살물선도 확장시키고 있다. 넵튠 오리엔트 라인은 1981년에 싱가포르 증권시장에서 주식 공개를 하였으나, 총 지분 중 약 70% 정도를 여전히 정부가 소유하고 있어서 정부보조금은 없더라도 실질적으로 정부가 이익편리를 하고 있는 실정이다. 그러나 1982년도의 이익은 전년도의 1,500만 달러에서 620만 달러로 하락하였으며, 이중 절반이 선박매각수입에 의한 것이었다.

둘째 그룹은 민간소유의 정기선사들로, 주로 인도네시아와 중공과의 교역에 의존하고 있는 중소규모의 선사들로, 이들의 공통점은 수에즈운하 서쪽에서는 거의 운영하지 않고 되도록 중공이나 홍콩, 인도네시아 등의 항로와 가까운 쪽에서만 운영하려는 점이다.

셋째 그룹은 싱가포르에 기지를 두고 세계를 항해하는 살물선사들로 카팔 매니지먼트(Kapa Management)나 퍼시픽 캐리어즈(Pacific Carriers) 등의 선사들이다.

싱가포르의 정기선 교역량에서 인도네시아가 차지하는 비중은 매우 높아서 아세안 회원국들 간의 교역량 중 양국 교역량은 30% 정도를 차지하고 있다. 양국 간의 해상교역량은 20개 항로에

[표 7] 싱가포르의 연도별 화물처리 실적

단위 : 1,000 운임톤

연도	하 목			선 적		
	계	잡화 및 기타 살화물	광석 및 원유 살화물	계	잡화 및 기타 살화물	광석 및 원유 살화물
1977	39,833.8	11,302.5	28,531.3	24,284.8	7,501.9	16,782.9
1978	44,832.5	13,237.8	31,594.7	28,506.7	9,082.0	19,424.7
1979	48,424.4	15,745.2	32,679.2	31,388.4	10,762.1	20,626.3
1980	48,550.0	16,917.3	31,632.7	32,412.5	11,553.4	20,859.1
1981	53,598.7	18,419.5	35,179.2	33,745.1	12,120.6	21,624.5
1982	59,995.9	21,088.6	38,907.3	35,665.0	12,610.2	23,054.8
1983	63,848.9	23,579.0	40,269.9	36,277.6	12,987.0	23,290.6

자료 : Institute of Shipping Economics Bremen, 1985, p. 339.

[표 8] 싱가포르의 지역별 화물 처리량(1983)

단위 : 1,000 운임톤

지 역	하 목			선 적		
	계	잡화 및 살화물		계	잡화 및 살화물	
		직 항	환 적		직 항	환 적
동남아	12,490.0	2,411.1	1,513.2	10,033.8	1,775.2	1,335.7
극동	12,459.6	10,981.4	695.9	12,081.5	2,260.3	318.7
남아시아	1,262.3	241.2	99.7	2,180.1	627.0	155.8
홍해 및 페르시아만	26,755.3	150.8	51.6	3,451.7	1,823.5	264.0
지중해	872.3	483.6	150.4	708.0	348.4	147.9
아프리카	621.8	277.1	60.9	636.3	464.1	73.2
대서양안 유럽	3,179.5	1,908.6	933.1	1,742.5	1,115.5	598.5
북유럽	200.7	130.6	70.1	85.4	45.4	40.0
소련 및 동구	457.8	142.7	6.7	121.9	112.7	1.0
호주	1,948.8	1,198.4	238.5	3,309.4	360.3	262.9
북미	3,212.1	948.7	430.9	1,555.0	518.2	189.2
중남미	388.7	239.9	53.9	372.0	135.2	14.3
계	63,848.9	19,114.1	4,454.9	36,277.6	9,585.8	3,401.2

자료 : Department of Statistics Singapore, Monthly Digest of Statistics, February 1984, Vol. 23 No. 2 pp. 51, 52.

※ 광석별크화물은 제외, 지중해는 프랑스 제외.

절차 약 120 척의 선박이 수송을 담당하며, 거의 3일마다 한번씩 양국 간을 항해하는 선박이 발생할 정도이다. 싱가포르는 연중 약 87 만톤에 이르는 인도네시아 화물의 환적(transshipment) 창구로서의 기능을 담당하고 있다.

싱가포르의 화물 船積量과 下陸量을 보면([표 7], [표 8] 참조) 1983 년도의 하륙량은 약 6,400 만톤으로 석유류 관련화물량이 약 60% 이상을 차지하였으며, 지역별로는 주로 동남아시아와 동북아시아, 홍해, 페르시아만 등지와와의 교역량이 높은 비중을 차지하고 있었다. 그리고 선적량은 약

3,600 만톤으로 석유류 관련화물량이 약 70% 이상을 차지하였으며, 지역별로는 동남아시아와 동북아시아와의 교역량이 높은 비중을 차지하였다.

컨테이너화물([표 9] 참조)은 1983 년도에 약 1,700 만톤으로서 전체 화물량의 약 10% 이상을 차지하였으며, 1983 년 전체 화물량은 1973 년에 비해 1.5 배 증가한데 비하여 컨테이너화물량은 약 3.4 배 증가한 것으로 나타났다. 컨테이너 교역량([표 10] 참조)으로 볼 때 싱가포르는 1984 년에 약 155 만teu로 세계 9위에 해당되었으며, 수입 컨테이너가 약 1,200 만톤을, 수출 컨테이너가 약

[표 9] 싱가포르의 컨테이너 터미널에서의 화물처리량

연도	컨테이너 수 (teu)	컨테이너화 화물량 (운임톤)
1972	14,000	184,900
1973	97,900	1,404,300
1974	153,400	1,900,300
1975	191,600	2,565,500
1976	295,200	3,902,900
1977	344,200	4,908,200
1978	498,800	7,347,500
1979	663,500	9,049,100
1980	865,000	11,030,500
1981	987,800	12,859,900
1982	1,039,000	13,846,400
1983	1,199,000	16,901,800

자료: Port of Singapore Authority, Annual Report 1983.

[표 10] 싱가포르의 컨테이너 교역량 단위: eu

		1983	1984	1985(추정치)
수입				
찬 컨테이너		589,548	683,263	654,712
빈 컨테이너		79,031	95,748	103,754
톤		10,130,272	11,829,155	11,403,716
수출				
찬 컨테이너		520,931	600,735	601,416
빈 컨테이너		150,499	172,438	172,928
톤		8,636,404	10,271,539	10,568,676
계	teu	1,340,009	1,552,184	1,532,820
	톤	18,766,676	22,100,694	21,972,392

자료: Containerization International Yearbook, 1986, p.163.

1,000 만톤을 차지하였다.

싱가포르는 해양관련산업의 비중이 전체 수입액 (revenue) 중 19%를 차지하고, 고용면에서도 근로자 11명 중 1명 비율로 이 분야에 종사할 정도였으나 최근 선원고용에서 큰 하락세를 나타내고 있는 실정이다.

1980/81년 선원고용실태를 나타낸 한 보고서에 의하면 전년도 실적에 비해 21.7%의 감소현상을 나타내고 있었으나, 이는 다른 나라에 비해 싱가포르 선원의 임금수준이 상대적으로 높아졌기 때문인 것으로 알려져 있다.

[3] 싱가포르의 해운정책

일반적으로 한 국가의 해운정책은 네 가지 면에서 파악할 수 있다. 첫째는 稅制와 연관된 정책이며, 둘째는 금융, 셋째는 국적선 對 외국선의 화물적취 비율, 넷째는 선박등록에 관련된 정책이다. 이와 연관시켜 싱가포르의 해운정책을 살펴 보기로 한다.

싱가포르는 1981년부터 1990년에 걸친 경제개발 10개년계획을 수립하여 실시하고 있다. 이 계획의 특징은 경제구조의 고도화를 위한 정부, 민간부문의 장기 경제운용 지침으로서의 성격을 지닌 것으로, 다른 開途國에서 일반화된 分配的計劃이 아닌 目標提示的인 指標的計劃 (indicative plan)이다. 이의 주요 목표는 高附加價值 산업 중심으로 경제구조를 개편하여 연평균 8~10%의 성장을 통해 1990년까지 선진국 대열에 합류하며, 연평균 6~8%의 생산성 향상을 이룩하는 동시에 국제수지를 개선하고 물가를 안정시키겠다는 것 등이다.

이와 같은 계획은 해운산업 분야에도 정책적으로 잘 반영되어 있다. 먼저 관세제도 면에서는 원칙적으로 자유무역을 최대한 실시하고 있기 때문에 대부분의 수입품에 대해 과세하지 않고 있으나, 자국산업 보호라는 측면에서 석유제품, 소비재, 담배, 酒類 등 181개 품목에 대해서는 관세를 부과하고 있다. 關稅率은 一般稅率, 英聯邦特惠稅率, 아세안 特惠稅率 등으로 구분되며 아세안제국들과의 무역확대를 위하여 적극적인 입장을 견지하고 있다.

해운금융정책에 있어서는 선박전조나 신형선박의 구입, 노후화된 선박의 대체 등에 싱가포르정부가 적극적으로 금융지원을 하고 있는 실정이다. 싱가포르개발은행 (Development Bank of Singapore)은 정부를 대표해서 선박금융을 담당하고 있는데, 원칙적으로 내국인과 외국인의 선박을 구매할 때에 금융지원을 하고 있다. 선박의 건조시에는 100총톤 이상의 선박 (500 BHP 이상의 예선 포함)에 대하여 금융지원을 하고 있으나 군함에는 지원하지 않으며, 화물선과 여객선에 대해서만 지원하고 있다. 선박의 개조시에는 계약금액이 100만 싱가포르달러의 한도 내에서 지원하고 있으나 개조된 선박의 용도는 화물 및 여객 운송의 경우에만 한정되고 있다. 선박의 구매시에는,

내국인이 구매할 경우에는 계약금액의 85%나 2,000 만싱가포르달러 중 낮은 쪽을 최고한도로 금융지원을 하고 있으며, 외국인이 구매할 경우에는 계약금액의 80%나 2,000 만싱가포르달러 중 낮은 쪽을 최고한도로 지원하고 있다. 그리고 용자금은 구입자의 선택에 따라 싱가포르달러나 미국달러 중 하나를 택하여 지급되고 있다.

용자금의 이자율은 싱가포르달러의 경우는 연율 10%를 최고한도로 설정하고 있으며, 미국달러의 경우에는 연율 12%를 최고한도로 설정하고 있다. 용자금 상환조건은 내국인이 구입할 경우에는 선박인수 후 2년 거치 10년을 최고한도로 분할상환하고 있으며, 외국인이 구입할 경우에는 8년 6개월을 최고한도로 상환하고 있다. 또한 자국 조선산업의 발전을 위하여 내국인이 자국 조선소에서 선박을 건조할 경우에는 500 총톤 이상되는 선박에 대하여 계약금액의 90%까지 금융지원을 하고 있으며, 상환조건도 선박인수 후 3년 거치 최고 12년까지를 한도로 상환하도록 하는 특례를 실시하고 있다.

이러한 정책의 결과, 1985년도 금융지원은 약 6억달러에 이르고 있다. 싱가포르 선주들은 중고선 구입이나 외국 조선회사에서 신조 발주할 경우에도 금융지원해 줄 것을 희망하고 있으나 싱가포르 통상성(Ministry of Trade & Industry)은 이를 받아들이지 않고 있다.

싱가포르는 자국선 적취율을 높이기 위해 특별히 제정된 관계법령을 갖고 있지는 않으며, 이는 선주의 이익과 화주의 이익이 반드시 일치하지 않기 때문에 자국선 우대조치를 취할 경우, 무역업에 주는 타격을 방지하기 위해서이다. 그러나 싱가포르 海運協會와 인도네시아 船主協會 간에는 50:50 기준의 해운협정이 체결되어 있으며, 그밖에는 특별한 국적선 우대조치가 없는 것으로 알려지고 있다.

싱가포르와 인도네시아는 1954년 이후부터 양국 간의 교역량을 지속적으로 신장시켜 왔으며, 1975년에는 양국 선주협회 사이에 교역협정을 체결하여 본격적으로 활발한 거래를 해 왔다. 교무와 원목이 주로 인도네시아에서 싱가포르로 수출되어 왔으나 교무수송량의 1985년 실적은 1980년에 비해 약 5% 정도 감소되었으며, 원목수송량도 1980년 65만톤에서 1985년에는 50만톤으로 감소되었다. 이것은 인도네시아가 자국내 소비와 제조량을 증가시키는 동시에 외국선사의 수송 비중

을 줄이고 자국선 적취비율을 증가시키려는 정책에서 기인되고 있다. 이에 따라 1980년대 초에는 120여척의 선박이 양국간 운송을 담당하였으나 1985년에는 약 40여척만이 배선되고 있는 실정이다. 최근에는 인도네시아 뿐만 아니라 말레이시아도 싱가포르 국적선 운송분을 점차 자국선으로 운송하려는 활발한 움직임을 나타내고 있으며, 싱가포르 화주들도 서어비스를 제공하는 선박이면 어느 나라 선박이건 관계없이 운송을 의뢰하고 있어서 싱가포르선사들을 우월하게 만들고 있다.

싱가포르의 선박등록정책은 1970년대까지는 고등효과와 국적선대 선복량 증가를 위하여 자유롭게 등록할 수 있도록 개방하였으나 1979년부터는 공해방지 및 선박의 안전성과 국적선의 현대화를 위하여 선박등록에 제재를 가하기 시작하였다. 즉, 선박의 노후화 방지를 위하여 1980년 1월 1일부터 1981년 12월 31일까지는 선령이 22년 이상되는 선박의 등록을 규제하였으며, 1982년도에는 20년 이상, 1983년에는 17년 이상, 1984년 1월 1일부터는 15년을 한도로 규제하고 있다. 한편, 편의치적선의 경우에는 1979년 이후부터 15년을 한도로 규제해 왔으며, 선박규도가 1,600 총톤급 이상에 대해 자체 추진기관을 설치한 경우에만 등록을 허가하였다. 싱가포르는 70년대 등록개방정책에 힘입어 1978년경에는 선복량이 800 만총톤에 이르고 편의치적선 비율이 약 60% 가량 되는 것으로 알려졌다. 그러나 선박등록을 규제한 이후부터는 점차 선복량이 감소되는 동시에 선령도 (표 6)에 나타난 바와 같이 세계 평균치보다 낮으며, 우리나라보다는 훨씬 낮다는 것을 알 수 있다.

이상의 싱가포르 해운정책을 종합해 볼 때 싱가포르는 70년대 평균 10%씩의 지속적인 경제성장률 보였던 낙관적 관점으로부터 향후 경제성장목표를 약 4~5% 정도로 수정하고 있는 단계이며, 위험도가 큰 석유산업과 해운산업 등의 비중을 줄이는 대신에 다른 산업 등을 발전시켜 산업의 다각화를 꾀하고 있으며, 해운분야에서도 아세안제국과의 거래에 의존하기 보다는 다른 지역의 국가들과도 거래를 다각화시키려 하고 있다. 그리고 선대구성에 있어서도 노후화된 선박을 신형선박으로 대체하는 동시에 국제적인 추세에 발맞추어 컨테이너선의 비중을 점차 높이고 있는 단계이다.

□□

올림픽 요트競技場(水營灣)의 海上狀態 研究



理學博士 姜 始 桓

(海洋研究所 環境工學 研究室長)

1. 序 論

1986년 아시안 게임과 1988년 올림픽 競技의 주요 競技 種目인 요트競技는 競技場 주변 海上의 自然條件을 利用하고, 또한 海上狀態의 諸般與件에 지배를 받게 된다. 따라서 競技에 임하는 요트선수 뿐만 아니라 主催側의 원활한 競技進行 및 運營을 위하여 開催豫定期間과 그 前後한 海上狀態에 대한 事前把握과 이를 根據로 한 豫測이 先決되어야 할 것이다.

경기코스는 Yachting Class에 따라 [Fig. 1]에서와 같이 A, B, C, D點을 中心으로 한 Alpha(1.23 miles), Bravo(1.5miles), Charlie(2.0 miles), Delta(2.2 miles), Course(尹炯完, 1986)이며, 競技日程은 아시안게임이 1986年 9月 23日부터 9月 30日까지, 올림픽 게임이 1988年 9月 20日부터 9月 28日까지로 豫定되어 있다.

本 研究에서는 '86아시안 게임, '88 올림픽 요트競技가 열릴 釜山 水營灣의 競技場 周邊 海上에 대한 9月과 10月の 바람, 波浪分布 등 海上條件과 兩大會의 進行에 큰 影響을 초래할 颱

風의 頻度에 대해서 研究調査 하였다.

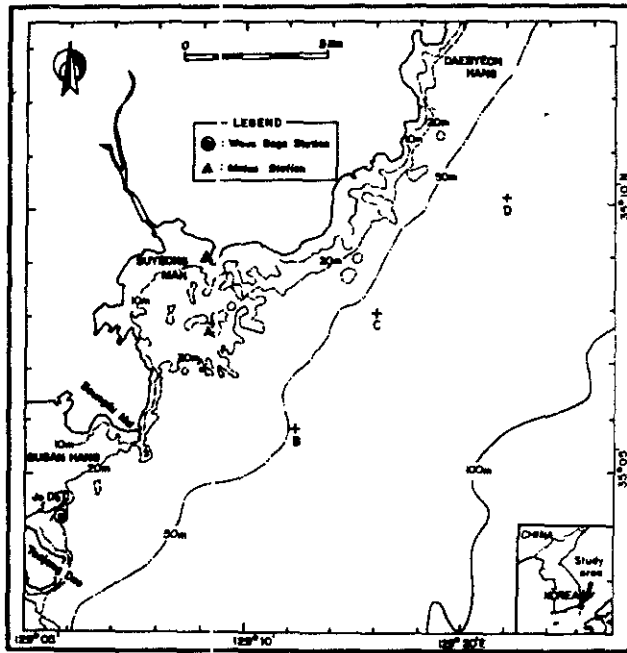
2. 觀測資料 分析

氣象條件은 每年 變하고 이에 相應하는 海上 狀態 또한 다르므로 本 研究에서는 9月과 10月 두 달간의 과거 颱風, 바람, 波浪 觀測資料를 蒐集分析하였다. 특히 1985年 9月 15日부터 水營灣 동백섬 남단에 위치한 國立 釜山水產大學校의 海洋科學研究所에 氣象觀測器械(Fig.)를 설치하여 競技場에 대한 바람을 觀測하였다.

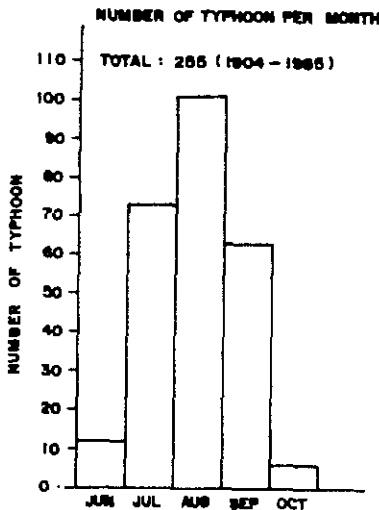
2.1 颱 風

가. 颱風來襲의 月別分布

1904년부터 1985년까지의 지난 82年間 우리나라에 來襲했던 颱風資料를 蒐集分析하였다. 한반도와 周邊海上을 통과했던 總颱風數는 255個이며, 이에 대한 月別統計分析 結果는 [Fig. 2]에 있다. 6月은 4.7%(12回), 7月은 28.6%(73個), 8月은 39.6%(101個), 9月은 24.7%(63個), 10月은 2.4%(6個)



(Fig. 1) 1988-Olympic yacht racing site(racing courses: A, B, C, D)



(Fig. 2) Histogram of the typhoons passed the Korean Peninsula (1904-1985).

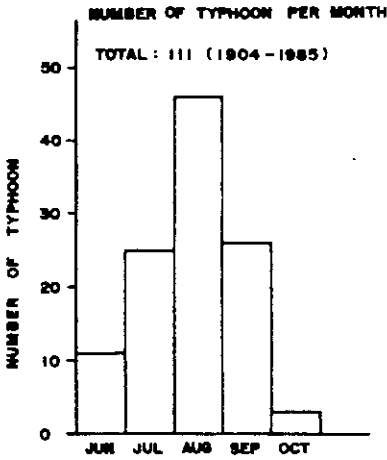
의 來襲頻度率로 나타났다. 同 期間동안의 颱風 來襲頻度は 8月, 7月, 9月, 6月, 10月 順 이다.

255 個의 颱風進行經路分析에 의하면 Olympic 요트競技場에 큰 影響을 미칠 것으로 생각 되는 南海岸 (33°N~36°N, 127°E~131°E) 을 통과했던 111 個의 颱風에 대한 月別來襲頻度 結果는 (Fig. 3)과 같다.

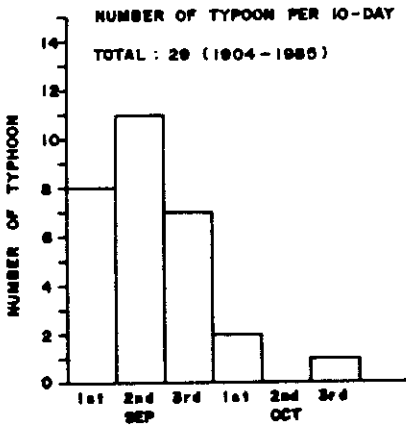
月別 分布를 보면, 6月은 9.9%(11 個), 7月은 22.5%(25 個), 8月은 41.5%(46 個), 9月은 23.4%(26 個), 10月은 2.7%(3 個) 의 來襲頻度率을 보였다. 南海岸에 影響을 끼친 颱風來襲頻度 順으로 보면 8月, 9月, 7月, 6月, 10月로 나타났고, 특히 9月에는 西海보다 南海 쪽으로 더 많은 颱風이 來襲하였다.

나.大會豫定期間中 過去颱風의 來襲頻度

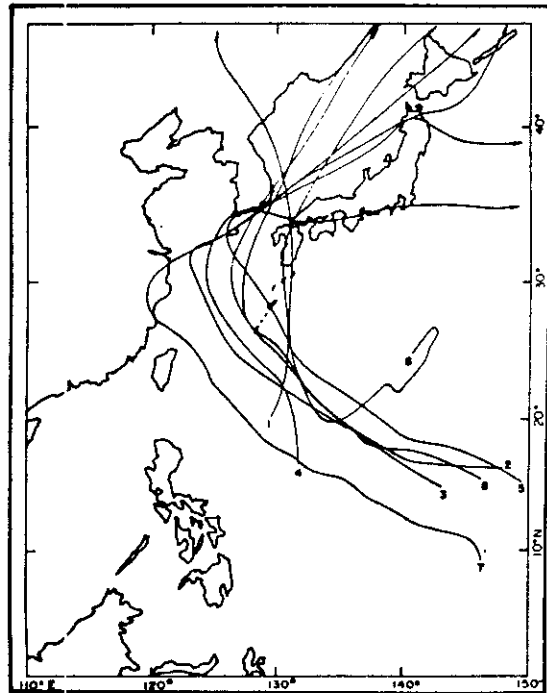
1986年, 1988年의 國際大會開催豫定期間 동안에 대한 颱風來襲 豫測은 不可能하므로 過去 颱風에 대한 統計分析을 통하여 來襲狀況과 頻度率을 求하였다. 南海를 통과한 颱風 111個中에서 9月~10月에 통과한 것은 29個로서, 10日 間隔의 旬別分布는 [Fig. 4]와 같다. 9月 上旬 27.6%(8個), 中旬 37.9%(11個), 下旬 24.1%(7個), 10月 上旬 6.9%(2個), 中旬 0%, 下旬 3.5%(1個)의 颱風來襲頻度率을 보이고 있다. [Fig. 5~Fig. 8]에는 來襲經路가 表示되어 있으며, Table 1에 각각의 颱風에 대한 期間 및 釜山地方을 통과한 날차,



[Fig. 3] Histogram of the typhoons passed the southern region of Korea (1904-1985).



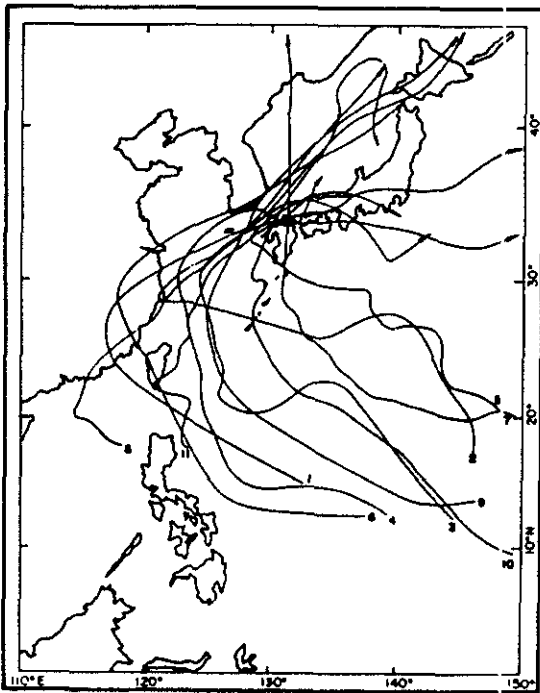
[Fig. 4] Histogram of the typhoons passed the southern region of Korea (September-October in 1904-1985).



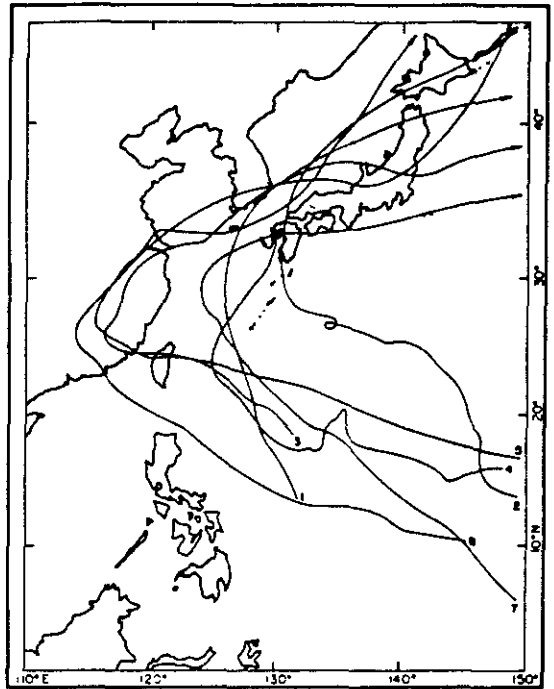
[Fig. 5] Typhoon tracks passed the southern region of Korea for September 1-10, (1904-1985).

最低氣壓, 最大風向風速, 降雨量이 수록되어 있다.

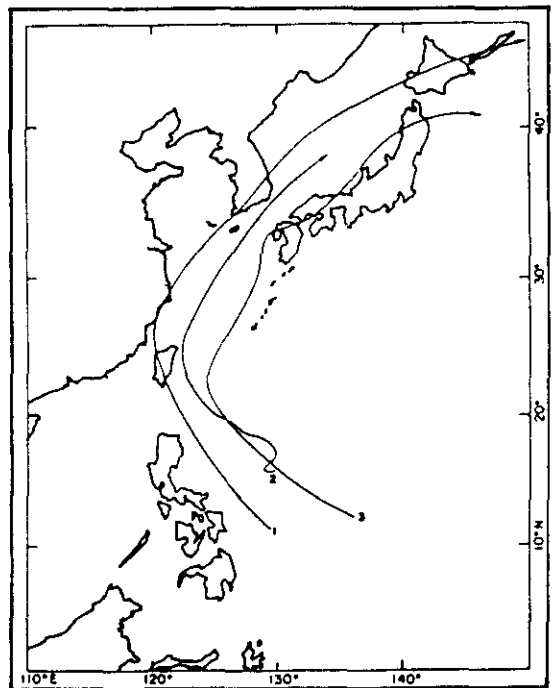
위의 分析結果에 의하면 9月 中旬, 上旬, 下旬 順으로 颱風來襲頻度가 낮아지며, 10月에는 급격히 감소하였다.



(Fig.6) Typhoon tracks passed the southern region of Korea for September 11-20, (1904-1985).



(Fig.7) Typhoon tracks passed the southern region of Korea for September 21-30, (1904-1985).



(Fig.8) Typhoon tracks passed the southern region of Korea for October 1-31, (1904-1985).

(表 1) 남해 (위도: 33°N ~ 36°N, 경도: 127°E ~ 131°E)를 통과한 颱風의 內譯 (단, 괄호안은 釜山地方의 값)

Table 1 Typhoons passed the southern region of Korea during 1904-1985;

a) 9月 上旬 (September 1-10)

번호	颱風名	期 間	最低氣壓 (mb)	最大風向風速 (m/s)	降水量 (mm)
1	0711	9. 5 ~ 9.10(9. 8)	980(992.8)	(NE 22.6)	(28.5)
2	1531	9. 2 ~ 9.10(9. 8)	966(975.4)	(WNW 26.2)	(172.9)
3	2563	8.31 ~ 9. 8(9. 7)	960(973.4)	(S 21.4)	(65.6)
4	3384	8.29 ~ 9. 7(9. 4)	973(984.3)	(N 11.2)	(64.2)
5	3590	9. 1 ~ 9.11(9. 9)	959(990.9)	(SSW 17.8)	(59.3)
6	5612	9. 1 ~ 9.11(9.10)	935(968.6)	(NNW 30.2)	(125.2)
7	5819	8.29 ~ 9. 8(9. 6)	905(999.4)	(S 29.7)	(51.3)
8	8118	8.26 ~ 9. 5(9. 3)	950(987.9)	(E 20.3)	(129.3)
平均	-	-	953(984.1)	(22.4)	(87.0)

b) 9月 中旬 (September 11-20)

번호	颱風名	期 間	最低氣壓 (mb)	最大風向風速 (m/s)	降水量 (mm)
1	1736	9. 9 ~ 9.17(9.14)	- (1,006.9)	(N 9.3)	(59.5)
2	2870	9. 7 ~ 9.24(9.17)	- (1,008.7)	(N 7.3)	(112.7)
3	3177	9. 2 ~ 9.13(9.12)	986 (991.3)	(NW 15.8)	(68.2)
4	3385	9.10 ~ 9.22(9.20)	973 (995.7)	(SE 10.3)	(280.6)
5	4027	9. 5 ~ 9.13(9.11)	953 (1,001.1)	(N 17.2)	(9.2)
6	4515	9. 5 ~ 9.14(9.13)	986 (999.1)	(SSW 24.5)	(63.0)
7	5412	9. 6 ~ 9.15(9.14)	910 (977.0)	(E 12.0)	(81.7)
8	5913	9. 8 ~ 9.14(9.13)	990 (1,003.9)	(ENE 7.7)	(50.4)
9	5914	9.11 ~ 9.19(9.17)	905 (951.5)	(ENE 34.7)	(100.4)
10	7617	9. 4 ~ 9.16(9.13)	910 (994.7)	(NNE 13.7)	(23.9)
11	7818	9. 9 ~ 9.17(9.15)	970 (1,003.9)	(NNE 12.3)	(52.9)
平均	-	-	953.7(994.0)	(15.0)	(82.0)

c) 9月下旬 (September 21-30)

번호	颱風名	期 間	最低氣壓 (mb)	最大風向風速 (m / s)	降水量 (mm)
1	1633	9.18 ~ 9.26 (9.25)	- (1,011.3)	(NN 15.2)	(11.9)
2	5522	9.20 ~ 10.1 (9.30)	930 (994.4)	(N 16.9)	(28.3)
3	5613	9.13 ~ 9.23 (9.22)	990 (1,006.0)	(EN 13.5)	(114.3)
4	6816	9.12 ~ 9.27 (9.25)	930 (1,011.0)	(NNE 16.3)	(24.6)
5	6911	9.22 ~ 10.2 (9.30)	895 (1,006.0)	(NE 11.3)	(25.4)
6	8120	9.14 ~ 9.28 (9.24)	945 (1,004.0)	(SSW 5.7)	(189.5)
7	8310	9.20 ~ 9.29 (9.28)	885 (999.9)	(NE 12.3)	(127.1)
平均	-	-	929.2 (1,004.7)	(14.5)	(74.4)

d) 10月 (October 1-31)

번호	颱風名	期 間	最低氣壓 (mb)	最大風向風速 (m / s)	降水量 (mm)
1	2250	9.26 ~ 10. 2 (10.1)	(1,009.8)	(WNW 9.8)	(55.5)
2	8520	9.30 ~ 10. 5 (10.5)	955 (992.7)	-	-
3	0608	10.18 ~ 10.25 (10.24)	(1,005.0)	(N 17.9)	(65.0)
平均	-	-	(1,002.5)	(13.9)	(60.3)

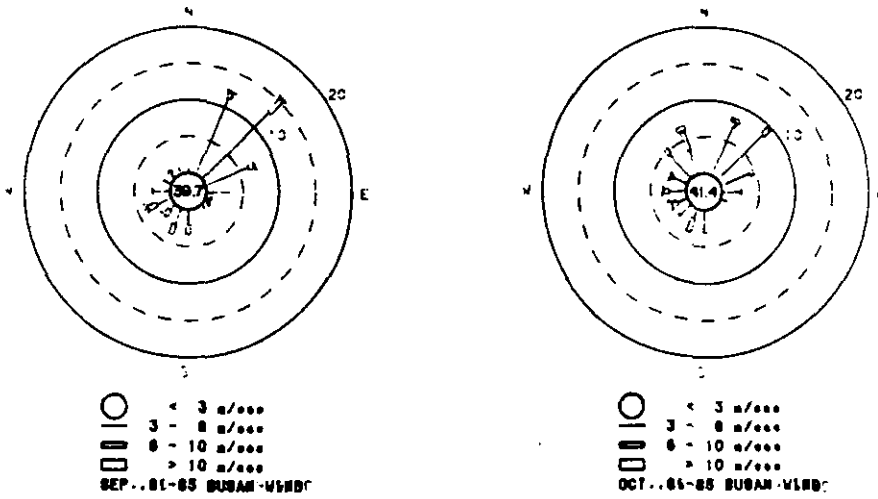
2.2 바람

釜山地方의 9, 10월에 대한 바람 分布狀態를 把握하기 위하여 1981年~1985年 (5年)에 대한 釜山測候所 觀測資料를 蒐集分析하였다. [Fig. 9]는 同期間의 9, 10月 觀測資料를 統計處理한 結果를 바람장미 (Wind Rose)로 나타내었다.

한편 요트競技場의 바람을 觀測하기 위하여 동백섬 남단에 位置한 海洋科學研究所에서 Andersona Meteo Station을 設置하여 每 20分 間격으로 9月 15日부터 10月 15日까지 觀測된 바람資料를 統計分析한 結果를 바람장미로 圖示하면 [Fig.10]과 같다. [Fig.11]은 每

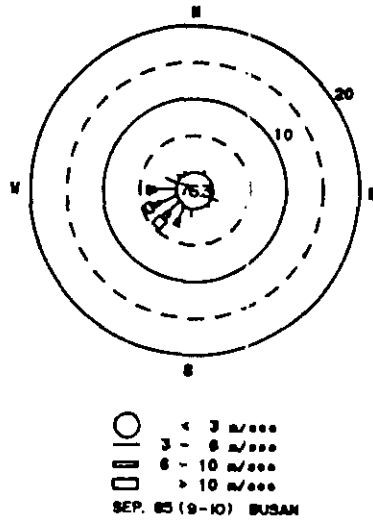
時間別 風向風速을 벡터로 나타낸 것이다. 中央氣象臺의 釜山測候所 觀測資料는 위치적으로나 地理상으로 水營灣의 요트競技場과 멀리 떨어져 있을 뿐만 아니라 沿近海上의 바람은 沿岸地形, 大氣의 安定性 등에 크게 영향을 받으므로 水營灣 競技場의 바람과는 크게 다른 것으로 나타났다 (姜始恒, 1986).

水營灣의 '85年 觀測結果는 다음과 같다. 風速 3 m / s 以下는 76.3%, 5 m / s 以下는 90.3%, 5 m / s ~ 10 m / s 사이는 6.7%, 10 m / s 사이는 6.7%, 10 m / s 以上の 强風은 3%로 나타났다. 風向別 頻度率은 NW12.7%, NNW 11.6%, WNW10.8%, W10.4%, WSW10%, SW8.8%, SSW6% 順이며, 10 m / s 以上되

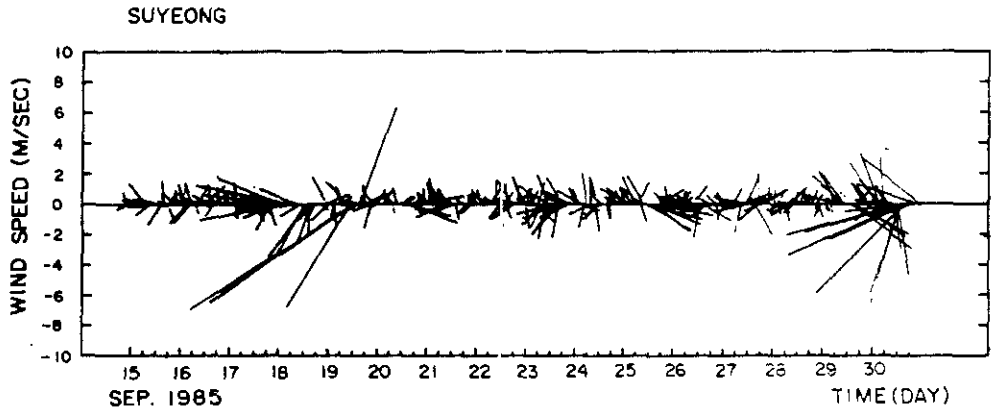


[Fig.9](a). Wind rose for September in 1981-1985 at Busan station

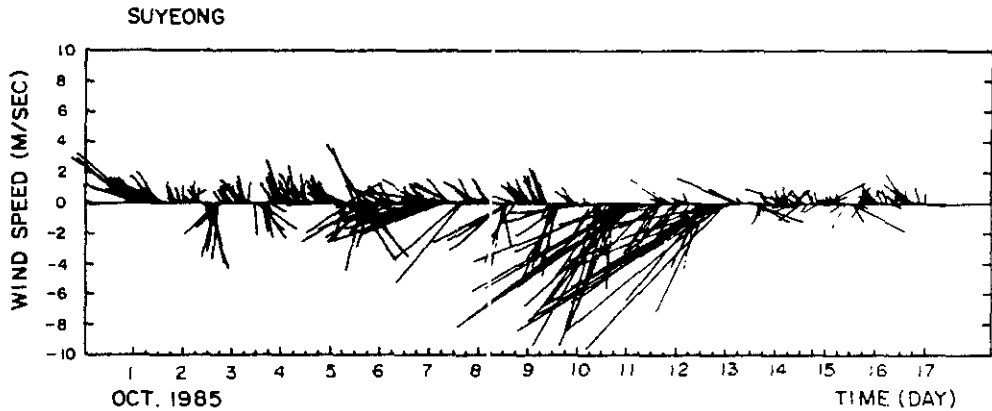
(b). Wind rose for October in 1981-1985 at Busan station.



[Fig.10] Wind rose for September 15-October 15, 1985 at Suyeong Fay station.



(Fig. 11) (a). Vector diagram of the wind for September 15-30, 1985 in Suyeong Bay.



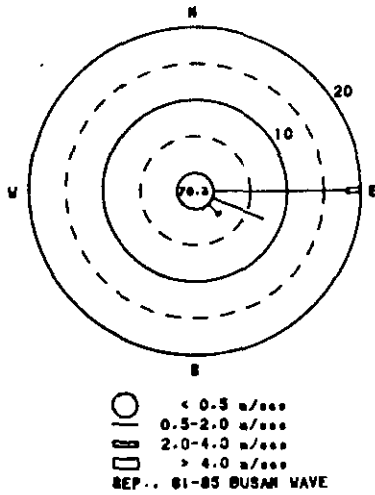
(b). Vector diagram of the wind for October 1-15, 1985 in Suyeong Bay.

는 强風은 주로 SSW, SW, WSW, W方向이었다. 9月 15日~9月 30日간의 平均風速은 1.8 m/s, 10月 1日~10月 15日 간의 平均風速은 2.9 m/s로 10월에 바람이 더 강한 것으로 나타났다. 姜始桓등 (1985)의 海上風 推定結果에 의하면 앞바다의 바람은 陸上觀測所의 觀測值보다 2~3배 정도 큰 것으로 나타났다. 그러므로 競技場 海上의 바람은 水營灣 Station의 觀測值보다 2~3배 정도 클 것으로 생각된다.

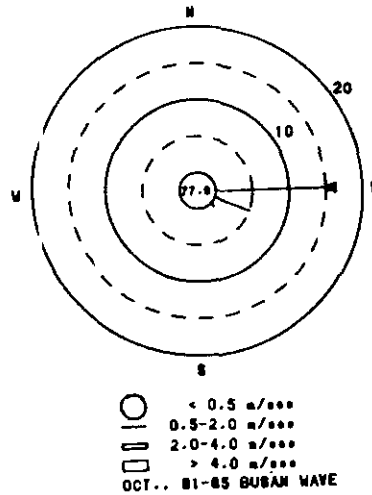
2.3 波 浪

모트와 競技場 附近 海上에서의 波浪觀測資料가 전혀 없기 때문에 精確한 波浪分佈를 알 수 없다. 釜山近海의 波浪分佈를 概觀적으로나마 把握하기 위하여 釜山港 岾도 [Fig.1]에 設置된 海連港灣處의 水營式 波高計 (SGW) 觀測資料를 蒐集하여 統計處理하였다.

[Fig. 12]는 1981~1985年의 5年間 觀測資料를 月別 (9月, 10月)로 統計分析한 것을 波浪장미 (Wave Rose)로 나타낸 것이다.



[Fig.12](a). Wave rose for September (1981-1985) at Busan Harbour.



(b). Wave rose for October (1981-1985) at Busan Harbour.

最近 5年間の釜山港波浪觀測結果에 의하면 9月중에는 有義波高 (H_s) 0.5 m 以下の 平穩한 海上狀態는 전체의 70.3%, 1 m 以下는 88.9%, 1~2 m 사이는 9.1%, 比較的 큰 波浪인 2 m 以上은 2%의 出現頻度로 나타났다. 10月中에는 有義波高 0.5 m 以下는 77.9%, 1 m 以下는 94.1%, 1~2 m 사이는 4.8%, 2 m 以上은 1.1%의 出現頻度를 갖는다.

釜山港 觀測資料 分析結果는 [Fig. 1] 에서와 같이 요륙도, 승두만이 조도의 波浪觀測地 點과 競技場 海域을 가로막고 있어 競技場 海上에서의 波高, 波向과는 크게 차이가 있을 것이며, A, B, C, D의 요트코스에서보다 波高가 적을 것으로 사료된다.

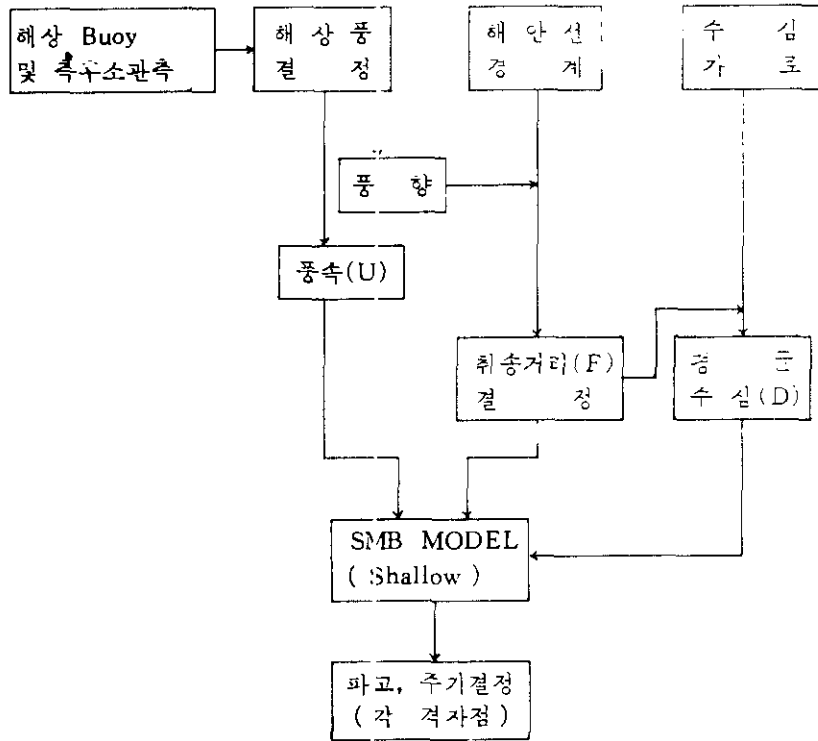
3. 요트競技場의 波浪分布

水營灣 요트競技場 海上의 波浪觀測資料가 전

혀 없기 때문에 波浪모델 (姜始桓 등, 1984, 1985)을 利用하여 1985年 9月~10月에 대한 波浪分布를 水營灣에서 觀測된 바람資料를 使用하여 計算하였다.

3.1 波浪計算過程

海上의 風域 (Wind Field) 變化가 심한 颱風의 境遇를 除外한 期間에 대해서는 SMB 計算方法에 의한 波浪모델 (姜始桓 등, 1984)을 使用하였다. 波浪모델의 計算格子 間隔은 $\Delta X = \Delta Y = 1$ mile, 總格子點 2,601 個로 構成되어 있다. 各各의 計算格子點마다 海域의 水深, 취송거리 (Fetch Length), Wind Fetch를 따라 平均한 平均水深 (Mean Depth)이 風向의 22.5° 間隔으로 16개 方向에 대해서 주어져 있다. 波浪모델의 構成과 計算段階는 [Fig. 13] 에 있다. 颱風通過時의 境遇는 Wilson (1961) 에 의한 波浪推定法 (姜始桓 등, 1984)이 使用되었다.

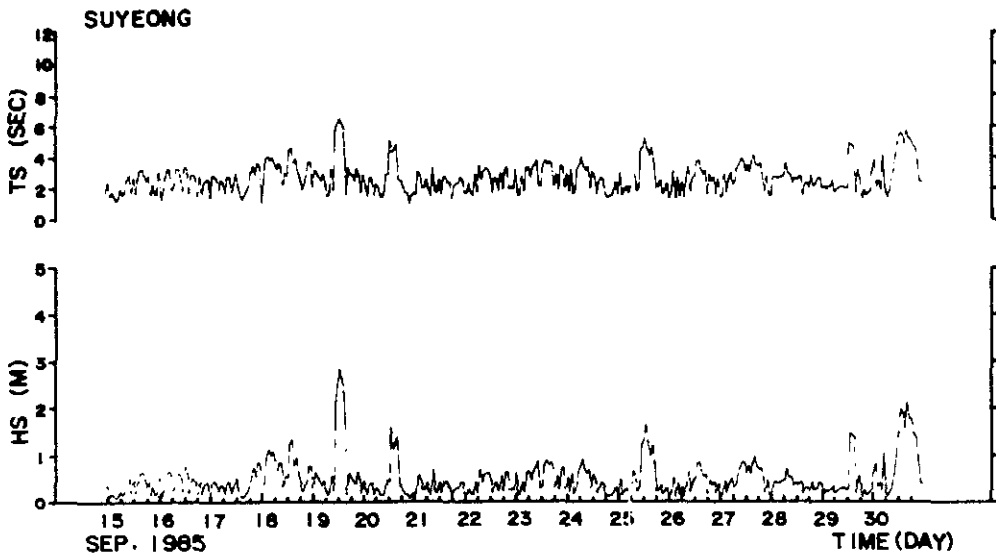


[Fig.13] 波浪모델의構成과計算段階
Flow diagram for wave-model calculation.

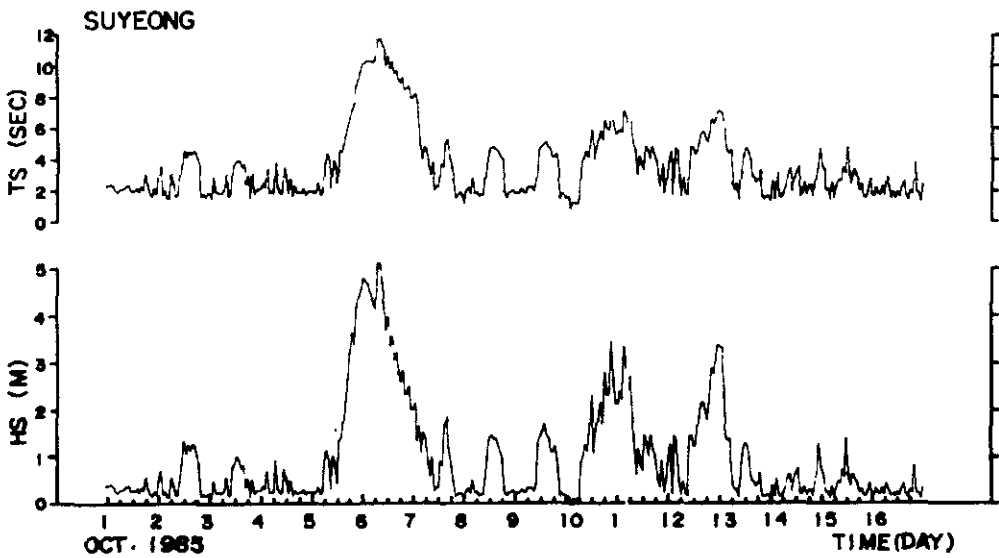
3.2. 1985年9月~10月の波浪計算結果

1985年 9月15일부터 10月15日の 한달간 水營灣에서 바람觀測資料 [Fig.11]를 海上風으로 변환하여 競技場 海域을 代表할 수 있는 競技코스 C點 [Fig.1]에 대해서 波浪모델을 사용하여 每 時間別 波浪을 計算하였다. 同期間中 10月5~6日の 颱風 Brenda號 通過時의 境遇는 Wilson法에 의해서 波浪과 너울을 計算하였다. [Fig.14]와 [Fig.15]는 計算된

波高와 週期를 Time Series로 나타낸 것이다. 위의 計算結果에 대한 85年9月15日~9月30日, 85年10月1日~10月15日의 每 15日 동안에 대한 波高分布의 統計處理結果는 Table 2에 있다. 요트競技 豫定期間을 包含하는 9月15일부터 30日 사이에는 有義波高(Hs) 1m 이상은 8.6%의 出現頻度率을 나타내고 있다. 10月1일부터 15日 사이에는 有義波高 1m 이상은 32.9%의 出現頻度率을 나타내고 있다. 快適한 Yachting을 위해서는 波高 1m 정도를 상한값으로 볼 수 있다(尹炯完, 1986).



[Fig.14] Significant wave calculated at Suyeong Bay(C point) for September 15-30, 1985.



[Fig.15] Significant wave calculated at Suyeong Bay(C point) for October 1-15, 1985.

[表 2]

波浪 統計分析 結果

a) 1985.9.15 ~ 9.30 동안의 유의파고 (H_s)

有義波高	$0.0 \leq H_s < 0.5$	$0.5 \leq H_s < 1.0$	$1.0 \leq H_s < 2.0$	$2.0 \leq H_s < 3.0$	$3.0 \leq H_s$	계
類 度	249	102	27	6	0	384
百 分 率	64.8	26.6	7.0	1.6	0	100

b) 1985.10.1 ~ 10.15 동안의 유의파고 (H_s)

有義波高	$0.0 \leq H_s < 0.5$	$0.5 \leq H_s < 1.0$	$1.0 \leq H_s < 2.0$	$2.0 \leq H_s < 3.0$	$3.0 \leq H_s$	계
類 度	198	58	69	29	30	384
百 分 率	51.6	15.5	18.0	7.6	7.3	100

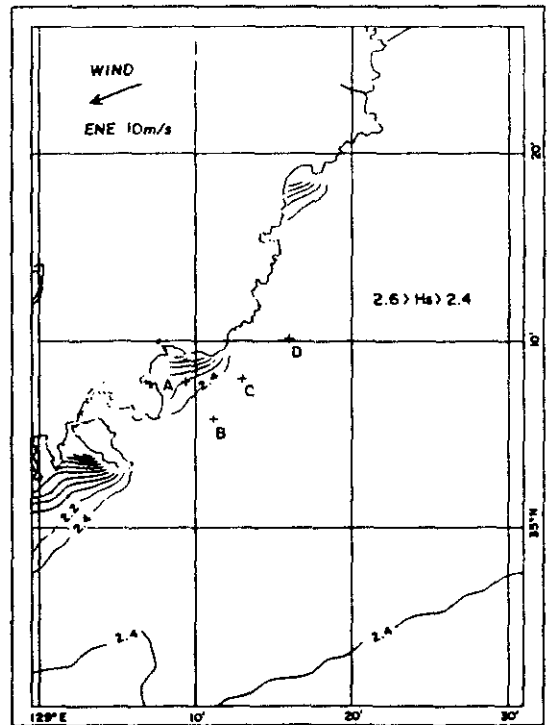
3.3 風向 風速別 波浪計算 結果

颱風, 暴風과 같이 風域 (Wind Field)의 變化가 심한 境遇를 除外한 狀況에 대해서는 SM B 波浪推定法이 대체로 定確한 것으로 알려져 있다.

競技場 周邊海上에서 가장 큰 波浪을 발생시킬 수 있는 바람의 主風向 ENE, ESE, SSW에 대해서 風速 10m/s를 假定하여 波高를 計算하였으며, 波高分布圖는 [Fig.16 ~ Fig.18]과 같다.

요트 競技코스 A, B, C, D地點에 대해서 風向 ENE의 境遇는 有義波高 $H_s = 2.2m \sim 2.6m$, ESE의 境遇는 $H_s = 1.8m \sim 2.2m$, SSW의 境遇는 $H_s = 1.6m \sim 2.0m$ 의 分布를 보이며, 浬송거리가 가장 긴 ENE方向의 境遇에 가장 큰 波高分布를 보이고 있다.

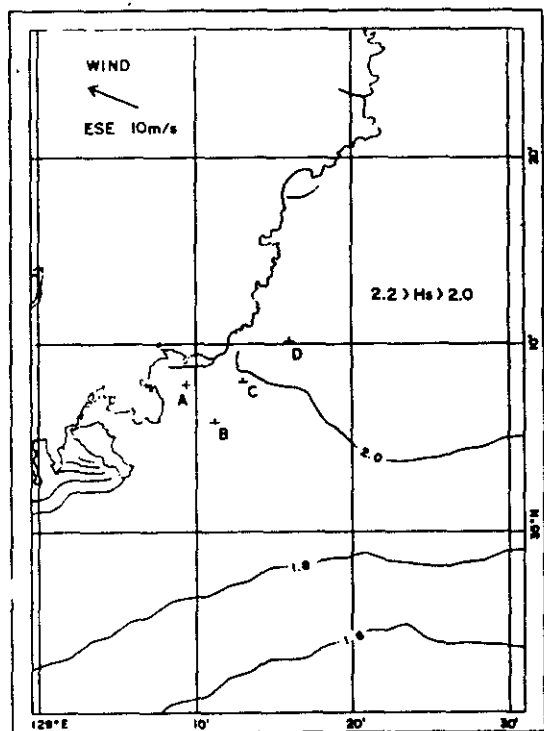
Table 3은 16個 風向과 風速, 5m/s, 7.5



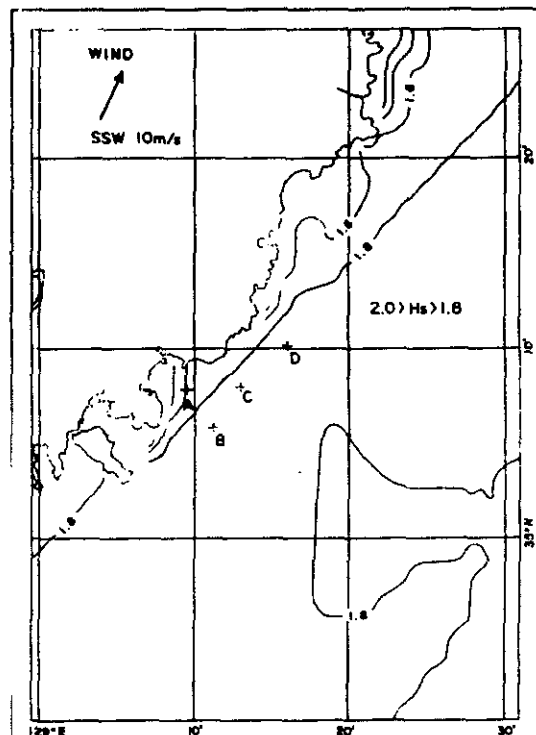
[Fig.16] Distribution of wave height (H_s in m) for wind speed 10m/s in ENE direction.

m/s, 10m/s, 12.5m/s, 15m/s에 대한 각

巖技코스 地點에서의 波浪計算 結果이다.



(Fig. 17) Distribution of wave height (H_s in m) for wind speed 10m/s in ESE direction.



(Fig. 18) Distribution of wave height (H_s in m) for wind speed 10m/s in SSW direction.

[表 3] Wave-climate information obtained by wave model for the sits of A, B, C, and D.

Speed		5.0 m/s	7.5 m/s	10.0 m/s	12.5 m/s	15.0 m/s
		H_s (T_s) (m) (sec)	H_s (T_s) (m) (sec)	H_s (T_s) (m) (sec)	H_s (T_s) (m) (sec)	H_s (T_s) (m) (sec)
N	A	0.5(2.7)	0.8(3.4)	1.0(4.0)	1.3(4.4)	1.5(4.8)
	B	0.6(3.2)	1.2(4.3)	1.8(5.2)	2.3(5.9)	2.8(6.5)
	C	0.6(3.2)	1.2(4.3)	1.8(5.2)	2.3(5.9)	2.9(6.5)
	D	0.7(3.3)	1.3(4.5)	1.9(5.4)	2.6(6.2)	3.2(6.9)
NNE	A	0.6(3.2)	1.2(4.2)	1.7(5.0)	2.2(5.7)	2.6(6.3)
	B	0.7(3.5)	1.4(4.8)	2.2(5.8)	3.0(6.7)	3.8(7.5)
	C	0.7(3.5)	1.4(4.8)	2.2(5.9)	3.0(6.7)	3.8(7.5)
	D	0.7(3.5)	1.4(4.9)	2.3(6.0)	3.1(6.9)	3.9(7.7)

Speed		5.0 m / s	7.5 m / s	10.0 m / s	12.5 m / s	15.0 m / s
		H_s (T_s) (m) (sec)	H_s (T_s) (m) (sec)	H_s (T_s) (m) (sec)	H_s (T_s) (m) (sec)	H_s (T_s) (m) (sec)
Direction	A	0.7(3.4)	1.4(4.6)	2.1(5.6)	2.8(6.4)	3.4(7.1)
	B	0.7(3.6)	1.5(5.0)	2.4(6.2)	3.4(7.2)	4.3(8.0)
C	0.7(3.6)	1.5(5.0)	2.4(6.2)	3.4(7.2)	4.3(8.0)	
D	0.7(3.6)	1.5(5.0)	2.4(6.2)	3.4(7.2)	4.4(8.1)	
ENE	A	0.7(3.5)	1.4(4.8)	2.2(5.9)	3.0(6.8)	3.9(7.6)
	B	0.7(3.6)	1.5(5.0)	2.4(6.3)	3.5(7.3)	4.5(8.2)
	C	0.7(3.6)	1.5(5.0)	2.4(6.3)	3.5(7.3)	4.5(8.2)
	D	0.7(3.6)	1.5(5.0)	2.5(6.3)	3.5(7.3)	4.5(8.2)
E	A	0.7(3.4)	1.4(4.8)	2.2(6.9)	3.0(6.8)	3.8(7.6)
	B	0.7(3.5)	1.4(4.9)	2.3(5.1)	3.3(7.1)	4.2(8.0)
	C	0.7(3.5)	1.5(4.9)	2.3(5.1)	3.3(7.2)	4.3(8.1)
	D	0.7(3.5)	1.5(4.9)	2.4(5.1)	3.3(7.2)	4.3(8.1)
ESE	A	0.7(3.3)	1.3(4.5)	2.0(5.6)	2.7(6.4)	3.4(7.2)
	B	0.7(3.3)	1.3(4.5)	2.0(5.6)	2.7(6.4)	3.4(7.2)
	C	0.7(3.4)	1.3(4.6)	2.0(5.6)	2.7(6.5)	3.5(7.3)
	D	0.7(3.4)	1.3(4.6)	2.0(5.7)	2.8(6.6)	3.5(7.3)
SE	A	0.6(3.2)	1.1(4.3)	1.7(5.2)	2.3(6.0)	2.9(6.6)
	B	0.6(3.1)	1.1(4.2)	1.7(5.1)	2.2(5.9)	2.8(6.6)
	C	0.6(3.2)	1.1(4.3)	1.7(5.2)	2.3(6.0)	2.9(6.7)
	D	0.6(3.2)	1.2(4.4)	1.8(5.3)	2.4(6.1)	3.1(6.9)
SSE	A	0.6(3.2)	1.1(4.3)	1.7(5.2)	2.3(5.9)	2.9(6.6)
	B	0.6(3.2)	1.1(4.3)	1.7(5.2)	2.3(5.9)	2.9(6.6)
	C	0.6(3.2)	1.2(4.3)	1.7(5.3)	2.4(6.1)	3.0(6.8)
	D	0.6(3.2)	1.2(4.4)	1.8(5.3)	2.4(6.2)	3.1(6.9)
S	A	0.6(3.2)	1.1(4.2)	1.7(5.1)	2.3(5.9)	2.9(6.6)
	B	0.6(3.3)	1.2(4.4)	1.9(5.4)	2.5(6.2)	3.2(6.9)
	C	0.6(3.3)	1.2(4.4)	1.9(5.4)	2.5(6.3)	3.2(7.0)
	D	0.6(3.3)	1.2(4.5)	1.9(5.5)	2.6(6.3)	3.3(7.0)
SSW	A	0.6(3.1)	1.1(4.1)	1.6(5.0)	2.1(5.7)	2.7(6.3)
	B	0.6(3.3)	1.2(4.5)	1.9(5.4)	2.5(6.2)	3.2(7.0)
	C	0.6(3.3)	1.2(4.5)	1.9(5.4)	2.5(6.2)	3.2(7.0)
	D	0.6(3.3)	1.2(4.5)	1.9(5.4)	2.6(6.3)	3.2(7.0)
SW	A	0.5(3.0)	1.0(3.9)	1.4(4.6)	1.8(5.2)	2.3(5.8)
	B	0.6(3.2)	1.2(4.4)	1.8(5.3)	2.4(6.0)	3.0(6.7)
	C	0.6(3.2)	1.2(4.3)	1.8(5.3)	2.4(6.0)	3.0(6.7)
	D	0.6(3.2)	1.2(4.4)	1.8(5.3)	2.4(6.1)	3.0(6.7)

Speed		5.0 m / s	7.5 m / s	10.0 m / s	12.5 m / s	15.0 m / s
		$H_g (T_g)$ (m) (sec)	$H_g (T_g)$ (m) (sec)	$H_g (T_g)$ (m) (sec)	$H_g (T_g)$ (m) (sec)	$H_g (T_g)$ (m) (sec)
Direction	A	0.4(2.5)	0.7(3.2)	1.0(3.8)	1.2(4.2)	1.5(4.6)
	B	0.6(3.0)	1.0(4.0)	1.5(4.8)	2.0(5.5)	2.5(6.0)
C	0.6(3.0)	1.0(4.0)	1.5(4.8)	2.0(5.4)	2.4(6.0)	
D	0.6(3.1)	1.1(4.0)	1.5(4.8)	2.0(5.5)	2.5(6.1)	
W	A	0.2(1.8)	0.3(2.2)	0.5(2.5)	0.6(2.8)	0.7(3.1)
	B	0.5(2.7)	0.8(3.5)	1.1(4.1)	1.5(4.6)	1.8(5.1)
	C	0.5(2.7)	0.8(3.4)	1.1(4.0)	1.4(4.5)	1.7(5.0)
	D	0.5(2.7)	0.8(3.5)	1.1(4.2)	1.5(4.7)	1.8(5.2)
WNW	A	0.2(1.5)	0.3(1.9)	0.4(2.2)	0.5(2.4)	0.6(2.7)
	B	0.2(1.9)	0.4(2.4)	0.5(2.8)	0.7(3.1)	0.9(3.5)
	C	0.2(1.8)	0.4(2.3)	0.5(2.7)	0.6(3.0)	0.8(3.3)
	D	0.2(1.8)	0.3(2.3)	0.5(2.7)	0.6(3.0)	0.8(3.3)
NW	A	0.2(1.5)	0.3(1.9)	0.4(2.2)	0.5(2.5)	0.6(2.7)
	B	0.2(1.9)	0.4(2.3)	0.5(2.7)	0.7(3.0)	0.8(3.3)
	C	0.2(1.8)	0.3(2.2)	0.5(2.6)	0.6(2.9)	0.7(3.2)
	D	0.2(1.8)	0.4(2.3)	0.5(2.7)	0.6(3.0)	0.8(3.3)
NNW	A	0.2(1.6)	0.3(1.9)	0.4(2.2)	0.5(2.5)	0.6(2.7)
	B	0.3(2.0)	0.4(2.5)	0.6(2.9)	0.8(3.3)	0.9(3.6)
	C	0.3(2.0)	0.4(2.5)	0.6(2.9)	0.7(3.2)	0.9(3.5)
	D	0.4(2.6)	0.8(3.4)	1.1(4.0)	1.4(4.5)	1.7(5.0)

4. 結論 및 提言

本 研究를 통해서 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

1. 요트競技 豫定期間인 1986.9.23 ~ 9.30 (Asian Game), 1988.9.20~9.28 (Olympic Game) 동안 競技場 周邊海域을 包含한 南海岸 쪽으로 來襲했던 颱風은 지난 82年間 (1904~1985) 總 255 個中 7 個였으며, 兩 大會期間의 10日 前後를 包含해서는 約 20 個 정도였다.
2. 1904~1985年까지 9月과 10月의 두달

간에 競技場 周邊海域을 通過했던 颱風資料分析에 의하면 9月 上旬 (8 個), 中旬 (11 個), 下旬 (7 個), 10月 上旬 (2 個)로서 10月로 접어들면서 颱風來襲이 급격히 감소되었다.

3. 1985.9.15 ~ 10.15 한달간 水峯灣에서 觀測된 바람資料에 의하면 9.15 ~ 9.30 사이에는 平均風速이 1.8 m/s, 10.1 ~ 10.15 사이에는 平均風速이 2.9 m/s로서 10월에 바람이 더 강하게 부는 것으로 나타났다. 한달간 主風向은 NW, NNW, WNW, W, WSW, SW, SS W順으로 나타났다. 陸上觀測資料에 의한 競技場 周邊 海上의 平均風速은 約 5m/sec (9月)와 6m/sec (10月)内外로 推定된다.

4. 最近 5年間(1981~1985) 釜山港에서 觀測된 波浪觀測 結果에 의하면, 요트競技에 支障을 줄 수 있는 有義波高(H_s) 1m 以上에 대한 出現頻度率은 9月에는 11.1%, 10月에는 5.9%로 나타났다. 이는 9月中의 淸은 颱風來襲으로 인한 큰 波浪에 起因된 것으로 思料된다.

5. 1985年9月15日부터 10月15日까지 水營灣에서 觀測된 바람을 使用하여 波浪모델에 의한 競技場 海上의 波浪分布 計算結果에 의하면, 9月15日~9月30日 동안은 有義波高 1m 以上の 出現頻度率은 8.6%, 10月1日~15日 동안은 32.9%로 나타났다. 이는 1985年의 경우 10月 上旬의 颱風 Brenda (10.3~10.5) 통과, 그리고 中旬頃의 淸한 바람에 의해서 10月에는 9月보다 有義波高(H_s) 1m 以上の 큰 波浪에 대한 出現頻度率이 높은 것으로 나타났다.

水營灣 競技場에서의 海上風, 波浪觀測資料가 없이 使用된 波浪모델의 結果가 比較檢證되지 못했다. 1988년에 開催될 Olympic 競技를 對備하여 1986年~1987年의 2年間に 걸친 觀測資料에 의해서 보다 淸확하게 海上狀態를 豫測할

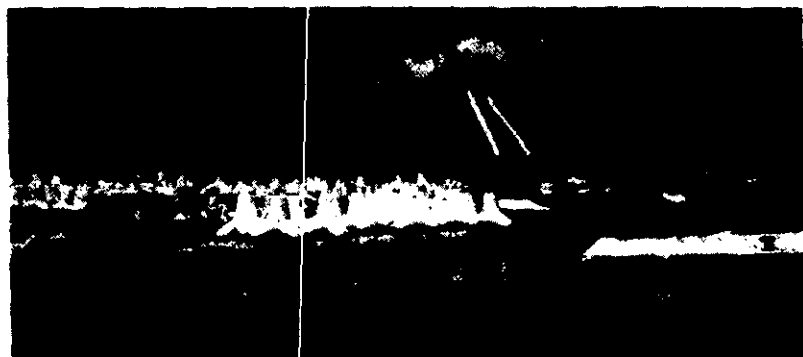
수 있는 數置모델이 開發되어야 할 것으로 본다.*

《謝辭》

本 研究를 爲해 支援해 주신 科學技術處 및 波浪資料를 提供하여 주신 釜山地方海運港務廳에 對하여 感謝를 드립니다.

= 參考文獻 =

- 姜始桓, 1986. 올림픽 요트競技場(水營灣)의 海上狀態 研究. 海洋研究所 BSPE-00070-113-2.
- 姜始桓, 蔡璋源, 崔齊國 등. 1984. 韓國 近海域에서의 波浪모델研究. 海洋研究所 BSPE-00050-81-7.
- 姜始桓, 安熙道, 李相龍 등. 1985. 海難·災害 豫防시스템研究(I). 海洋研究所 BSPE-0056-87-1.
- 尹炯完, 1986. 올림픽 요트競技를 위한 釜山港 MARINA建設. 港灣 第10卷1號: 29-49
- Wilson, B.W. 1961. Deep water wave generations by moving wind systems. ASCE. Vol. 87, No. WW2:131-141.



潮 力 發 電

宋 源 吾
(海洋研究所 第 1 研究部長)

1. 序 論

우리나라 西海岸은 潮汐干滿의 差가 커서 潮力發電立地로서 아주 적당하다는 말은 많이 들어 왔지만, 아직도 潮力發電所가 建設된 바 없다. 단지 있었다면 거창한 建設計劃이 있었을 뿐이다.

潮力發電이란 말 외에도 潮汐發電, 潮力에너지, 潮汐에너지 등이 있고, 英語로는 Tidal Power, Tidal Energy, Tidal Power Generation, Utilization of Tidal Energy 등의 用語가 있으나 내용상 같은 말이다.

이번에 원고청탁을 받고나서 潮力發電과 化學工學의 관계에 대해서 생각도 해 보았다. 潮力發電이 化學反應결과 생기는 물질은 아니지만, 해수부식에 걸리는 防蝕塗料, 生物附着防止用塗料, 高爐 시멘트개발 등의 문제를 고려한다면 化工分野도 무관 할 수가 없다.

이거서는 潮汐방아에서 시작된 潮力에너지 이용이 潮力發電으로 발전된 과정, 현재 가동중인 조력방앗간, 국내 사업추진현황, 결론 및 제언을 기술 하고자 한다.

2. 潮汐방아

인간이 潮汐을 動力源으로 이용하기 시작한 시기는 명확하지 않으나, 中世이전 中國, 프랑스, 스웨덴 등지의 北大西洋 沿岸에서 潮汐을 이용하

는 간단한 조석방아가 가능되었다 한다. 조석방아는 일반적인 물레방아가 변형된 것으로 제작과 운전의 특별한 기술을 요했을런지 모르나 그 원리는 비슷하다.

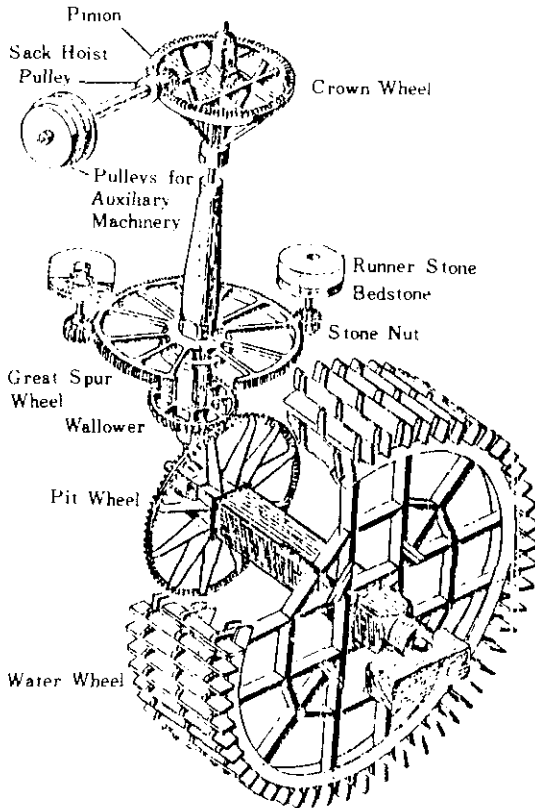
潮汐干滿의 차가 큰 灣이나 江河口를 가로질러 防湖堤나 水門을 축조하여 潮池를 만들고 밀물시(漲潮時)에 水門을 열어 海水를 채우고 靜潮때 수문을 닫는다. 이때 潮池水位와 外海間에 水位差가 생길 때까지 기다렸다가 물레방아(水車)를 돌린 후 외해로 빠지게 한다. 이와같이 조석방아는 潮時에 맞춰서 가동해야 하기 때문에 潮汐週期와 인간의 生活週期와 맞지 않아 한낮이던 全日중이긴간에 潮汐에 맞출 수 밖에 없었다.

著者は 前年 7 月 영국 出張중 우연히도 Woodbrdge Tide Mill에 가 볼 기회가 있었다. Woodbrdge는 London에서 동북쪽으로 기차로 약 2시간 떨어져 있다. Deben 강 하구의 이 조석방앗간을 1170년부터 1957년까지 787년간 가동되었으리 주로 밀, 후추, 콩, 옥수수 등 곡물을 擄았었다 한다. 초기의 방앗간 건물은 엉성했겠지만, 세월이 지나면서 여러번 개축 되어 오늘의 형태가 되었다. 1938년까지만 해도 영국에는 9 개의 조석방앗간이 가동되었으나, 그외 하나씩 폐쇄되어 1950년대 초에 와서는 Woodbridge 조석방아는 지나간 시대의 유일한 진존 유물이 되었다. 이때 즈음에는 기다란 물레방아바퀴는 조석이 한때만 한바퀴 가동되어 기록용 자료를 擄는 정도에 그쳤다. 따라서 水車바퀴의 일부만 물에 오래 잠겨 있게 되어 바퀴 腐蝕이 가속화되었다. 드디어 1957년에는 침체부화된 水車輪대가 부러지고, 엄청난 보수비 부담때문에 수리를 단념하고 그대로 방치 되었으나, 다음세대의 교육용으로서 역사적 유물로 보존해야 한다는 여론때문에 방앗간은 다시 복원되었다.

現在の 방앗간은 1977년에 박물관으로 개관되었



- 1965 서울대학교 공과 졸업
- 1973 美 Texas A & M Univ. 석사 박사
- 1976~현재 순천대학교의 부장학장인원수업부장(조력방앗간)을 맡는다.
- 저술서적: 「방앗간」



The Principal Machinery

그림 1. Woodbridge 조석방아

고, Woodbridge Town Council 이 관리하고 있다. 원래의 潮池(Mill Pond)는 요트 계류장으로 개발되어 면적이 아주 줄어들었지만, 潮差가 클 때는 방아를 가동하고있다. 물레방아 水車의 직경은 18ft, 두께 1inch, 폭 15inch, 길이 6ft 의 참나무판자 56개로 되어있다. 動力은 여러가지 형태의 톱니바퀴를 거쳐 2 개의 맷돌방아(2 층)으로 전달되며, 一部動力은 곡물을 2 층으로 달아 올리는데도 이용되어 구조가 꽤 복잡하다(그림 1 參照).

3. 潮力發電所

현재 전세계에서 稼動中인 조력발전소는 프랑스의 Rance 발전소, 소련의 Kislaya 발전소, 중공의 Jiangxia 발전소, 캐나다의 Annapolis 발전소 등을 들 수 있다.

여기서는 대표적인 조력발전소로서 Rance 발전소와 Annapolis 발전소를 간단히 소개한다.

3-1. Rance 潮力發電所

Rance 조력발전소는 프랑스의 Brittany 지방의 Rance 강 하구에 위치한다. 이 지점의 최대 조차는 13.5m 나 되어 조력발전소 입지로서 아주 이상적인 곳이다. 이곳에 조력발전소 건설을 제안한 것은 1906년 Gaston Boucher 교수이다. 그러나 현재의 Rance 발전소는 1951년 Gibrat 박사의 주도로 하여 프랑스전력공사(EdF)가 건설계획을 수립하여 1961년 착공, 1967년 완공되었다. 조력발전소의 주요 구조물은 발전기실, 수문, 감문 및 이들을 연결시키는 방조제로 구성되어 있다.

발전기실에는 24기의 Bulb형 수차·발전기가 설치되어 있고, 단위기용량은 10MW, 설비용량은 240MW 이다. 이당시만 해도 Bulb 수차는 몇개소의 저낙차 하천수력 발전소에 설치 될 정도였으나, 이 사업 때문에 본격적으로 개발되어 실용화되었다 해도 과언이 아니다.

발전소건설은 가물막이 공법으로 가물막이를 한 후 물을 완전히 배수시키 공사를 진척시켰다. 프랑스는 이때의 경험을 살려서 우리나라 관당댐 건설시에 가물막이를 초조 했으며, 여기에 설치된 Bulb 형 수차·발전기도 Rance 발전소와 비슷하다. 이것은 선진국이 기술을 개발하여 팔아먹었던 좋은 예라고 할 수 있다. 이외에도 프랑스는 Bulb 수차를 개발한 덕분에 저낙차 수력발전소사업에서 재미를 톡톡히 보았다는 후문도 있다. Rance 발전소의 연간 발전량은 약 500GWh로서 현재까지 가동되고 있으며, 아직도 상입용 조력발전소로서는 세계 최대규모이다. 또한 Bulb 수차는 조력발전용으로써 널리 알려지게 되었으며, 현재도 조력발전 타당성 검토사업에서 널리 채택되고 있다.

3-2. Annapolis 潮力發電所

Annapolis 조력발전소는 1984년 8 월 25일 준공되었으며, 북미대륙에서는 처음으로 가동되는 조력발전소이다. 발전소는 Nova Scotia주 Annapolis Royal 근처 Annapolis 강 하구에 위치하며, 이 지점의 평균조차는 6.4m 로서 우리나라 仁川보다 조금 크다. 이곳에는 이미 1960년에 방조제와 수문이 축조되어 Annapolis 강 하구의 수위를 조절하고 있었다.

이 사업은 기존방조제를 이용하여 Hog 섬에 발전소를 건설하고, 防潮堤와 水門일부를 보수하여 활용 하고 있다. 施工은 먼저 기존도로를 우회시키고(사진 1 참조)터파기, 발전기실 시공, 퇴배우



사진 1. Annapolis 조력발전소 시공 장면

기, 우회도로 원상 복구, 취배수구 운하개통 순이다.

이 사업의 특징은 새로 대형 Straflo 수차·발전기를 개발하여 조력발전에 시험해 보는데 있다. Bulb 형 수차는 조력발전소에 설치되어 그 성능이 널리 입증되고 있으나 좀더 효율적이고 가격이 저렴한 수차발전기의 개발이 소망스럽다. 조력발전소 건설비가 절반이상이 수차·발전기 값이므로 새로운 형의 기기를 개발 하는 것은 아주 바람직하다. Straflo 수차는 원래 서남차 하천수력발전용으로 개발되었으나, 조력발전에 적용된 실적이 없다. 그러나, 예비설계결과 토목공사, 발전기, 보조기기, 설비, 보수공의 측면에서 상당히 유리할 수 있다. 검토를 하였다.

수차직경은 7.6m로서 미국 Rock Island 조력발전소에 설치된 Bulb 수차나 Fundy灣 조력발전 사업보고서에 인용된 Bulb 수차와 비슷한 크기이므로 바로 비교할 수 있다.

발전소에는 운전원이 항상 상주하지 않고, 현장에서 국동쪽으로 약 100km 떨어진 Hell's Gate 수력발전소에서 원격조정되고 있다. 발전방식은 단조차 다류식으로 청조시에 조지에 해수를 채워서 낙조시에 발전한다. 평균조차의 발전시간은 약 6시간, 충수 3시간, 정지 3.5시간으로 조석 한 주 기동안의 절반만 발전이 가능하며, 구체적인 발전 계획은 한 주일전에 수립된다. 여기서 발전된 전력은 69KV로 약 5km 떨어진 Lequill 수력발전소로 송전되어 기존 계통에 병입되므로 출력의 斷續이 문제시 되지 않는다는.

발전소의 가동실적은 이용률이 99%나되어 아주

만족스럽다. 즉 728회의 조석 가운데서 8회만 가동하지 못했다. 조석 전기간을 사고 없이 발전한 것은 75%이고, 나머지 25%는 보조계통의 기계적 결함때문에 발전시간이 산출되었다. 그다음 6개발전소는 353회중에서 단지 4회만 가동 못했다. 가동회기에는 다른 발전소에서 지면 산소한 문제 등이 발생되었으나 지금은 거의 해결 되었다.

Annapolis 조력발전소의 건설은 Straflo 수차를 시험하는 조력발전에 실험용 발전소에 불과하지만, 새로운 수차발전기의 개발이라는 측면에서 볼때 그 의미는 아주 크다. 지금 이 사업의 경제성을 논하는 것은 무리이지만, 서남차 하천수력개발, Fundy 만 대단위 조력개발사업을 염두에 둔다면 이런 류의 Pilot Plant의 건설은 아주 바람직하다. 또한 조력발전소 운전이 주변환경에 미치는 환경영향 조사결과도 Straflo 수차개발에 못지않게 귀중한 자료를 제공해 줄 것이다.

4 國內 潮力發電事業 推進現況

우리나라의 潮力發電은 1930년에 출판된 潮力發電, 電力政策基本計劃調查 등의 문헌에 江華島 外側 潮力發電計劃案이 처음으로 소개되고 있다. 지점의 위치는 京畿道 江華郡 下道面, 吉祥面 海岸, 東桮島 일대의 해역이며, 개발규모는 작지만 여러 가지 발전방식이 제시되고 있어 아주 흥미롭다. 그 당시의 선원개발계획은 북한지방의 풍부한 수력자원, 京仁지방의 조력자원개발로 지역간의 균형있는 전원개발을 추진할 것으로 되어있다. 또한 경기도 일대의 8 개지점에서 총 166萬 KW의 조력부존량을 추정하고 있어, 50년전에 이미 조력개발에 착안하여 타당성을 검토한 선배기술자들의 정기적인 안목에 경의를 표하지 않을 수 없다.

8·15 해방 이전에는 仁川灣에 조력발전소를 건설하기 위해 공유수면 매립 및 공작물 설치 허가원을 제출한 적도 있었다고고는 하나 가세한 것은 알려지지 않고있다. 1957년 조선전업주식회사는 지해인 10개 지점에 대한 현장조사 및 개략적인 발전량을 검토한 결과 설비용량을 약 150萬 KW로 추정했으나 단편적인 검토에 불과하였다.

1974년 프랑스의 Sogreah 사가 아산만 조력발전 예비타당성을 검토하여 조력발전 단독개발안, 항만겸용안 등을 제안하였다. 그 당시 건설부는 아산만 종합개발사업의 일환으로 조력발전을 고려한 것 같다. 아산만은 조력발전입지로서는 가장 좋은 여건을 갖추고 있으나, 제 2 제철소(지금의 광

양개조소) 및 농업항개발에 관련된 입지논쟁이후에 빛을 보지 못했다.

한편 1974년 해양개발연구소(지금의 해양연구소)가 조력발전 기초조사사업을 실시하여 서해안 일대의 潮力地點을 비교검토하여 加露林灣을 최적 후보지로 추천하였으며, 주변해역에 대한 개략적인 계획도까지 작성하였다.

이 사업을 계기로 海洋研究所는 潮力發電事業과 인연을 맺게 되었으며, 1975년 淺水灣, 1976년 加露林灣 海洋資料調査, 1977년 仁川灣에 대한 예비 타당성 검토사업을 연차적으로 실시하였다.

이때쯤 한국전력(주)은 조력발전소 건설안(潮力發電推進計劃案)을 발표하여, 1986년도에 40萬 KW급 발전소 건설을 목표로 하였다. 첫단계사업(조력부존량 확인 및 개발우선순위 결정)은 해양연구소와 캐나다의 Tidal Power Consultants (TPC)와 공동 수행 되었고, 서해안의 10개 조력 지점이 확인 되었다.

사업내용은 지점확인, 최적설비용량결정 및 발전량계산, 조력발전소건설에 따른 조석특성변화연구, 주요구조물 및 발전기 세원결정, 전력계통분석, 사회 및 경제성 검토 등 광범위한 내용을 포함하였다. 개발 우선순위는 牙山, 仁川, 加露林灣 순이었으나, 牙山灣은 정부의 중화학사업(제 2 제철소 및 공업항 건설)과 중복되고, 仁川은 仁川港에 미치게 될지도 모르는 악영향 등을 고려하여 加露林灣을 최적 후보지로 추천했다.

그다음 단계로서 加露林灣에 대한 타당성검토는 프랑스의 Sogreah 사를 중심으로 해양연구소를 포함한 국내전문기관들에 의해서 공동 수행되었다.

加露林灣은 忠南 瑞山郡에 위치하며, 大山面, 吾池甲와 梨北面 內里사이 2.1km를 채설하여 여기에 潮力發電所를 建設하는 計劃이다. 이 地點의 平均大潮差는 6.48m로서 立地條件은 비교적 구난한 편이다. 妥當性 檢討結果 發電方式은 單潮池單流式으로 設備容量 480MW이며 年長 발전량은 890GWh 정도이다. Bulh형 수차의 직경은 8.0m이며 단위기용량은 20MW, 총 24基로서 세계최대의 Rance 조력발전소를 능가한다. 총 공사비는 약 6億弗, 공사기간 6年, 1988년 준공예정이다. 施工法으로는 콘크리트재 發電所, 水門케이슨을 현장에선 제작하여 설치장소에 예인·설치하고, 灣內 船舶通行을 위한 閘門施設은 가동막이 工法으로 築造하는 방식이 提案되었다.

現在 潮力發電立地로서는 加露林灣, 信島, 淺水

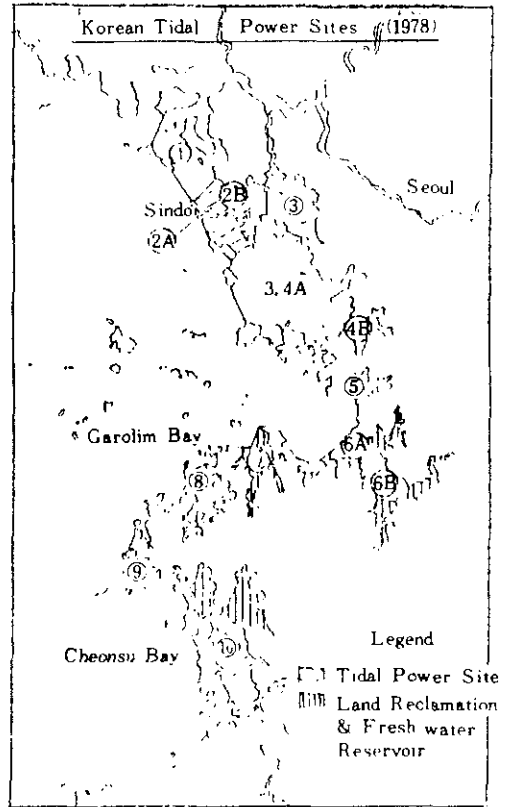


그림 2. 한국조력발전소 입지 위치도

灣이 留保되어 있다. 신도지섬에서는 가로림의 2~3배의 규모로 개발이 가능 할 것이다. 지리적으로 휴전선에 너무 인접하고 있어 현재로서는 어렵다. 천수만은 조차도 가로림만 보다 못하는데, 灣안쪽에 瑞山 A,B 지구 간척사업으로 조지면적이 상당부분 잠식되어있으므로, 조력입지로서 가치를 크게 상실하고 있다.

따라서 남은 것은 가로림만 뿐이며, 가로림이 성공할 경우 다음으로 신도지섬개발을 생각해 볼 수 있을 것이다.

현재 한국전력공사는 조력발전은 아직 개발단계이므로 경제적, 기술적인 면에서 신중한 검토와 계속적이고 충분한 관측·조사가 필요하다고 보고 있다.

또한 조력발전은 국내부존자원개발이라는 측면에서도 개발·활용이 긴급하므로 국내의 전문가를 활용하여 면밀한 재검토 후 개발방향을 결정한다라는 방침이다. 따라서 가로림 조력발전소의 착공은 빨라야 1990년대이므로, 우리는 이 기간을 충분히

간용하여 차간공부에 발전을 기대해 볼 것이다.

5. 結論 및 提言

현재 先進各國의 潮力發電事業은 다수성검토 및 실용발전소 조사가 단계에 있으며, 대담위 潮力開發事業에 始動하는 것을 보면 또한 장차에 고심하고 있다.

우리나라에서도 앞으로 조력발전소 건설에 실험용 발전소 건설 및 실용발전소를 찾는데 바람직하다. 그 곳을 실제로 추진과 캐나다에서 찾을 수 있다. Kislaya 발전소는 북극지방에 대담위 조력발전용 염부에 수로 건설 할 것이고, Annapolis 발전소는 Fundy灣 개발을 염두에 두고, Straflo 수차를 직접 Proto type로 시험해 보기 위한 사업이다. 이렇게 함으로써 대담위 개발시에 생길지도 모르는 시행착오를 줄일 수 있을 것이다.

우리나라에서 소규모의 실험용 발전소를 건설할 적당한 위치를 찾기는 쉽지 않지만, 얼마 전에 일본에 보고된 이산항개발계획은 이런 실험용 발전소를 추진하기에 적당한 위치가 아닐까 생각된다. 이미 1978년 해양연구소에서는 1차 실험개발안을 검토한 바 있으며, 그배의 규모를 축소시키면 실용운영에 필요한 지장을 주지않고 발전소를 운영할 수 있기때문이다. 더 구체적으로 이 실험용 발전소로 개발 할 경우, 우선 방파제 및 수문을 조조 해야한다. 수문은 침류의 삼고로 및 이진로의 등주량차리를 위해서도 필요하므로 이 수문을 조조한 개조하면 조력발전용으로 가용 할 수 있다. 그러면 추가되는 것은 수차·발전기의 설치만 남게 되므로, 일척이조의 효과를 얻을 수 있을 것이다.

이와같이 제한된 위치를 다목적으로 활용하는 방법에 대한 연구가 아주 소망스럽다.



중부 캄브리아계 풍촌석회암층의 미량 원소

Trace Elements of the Middle Cambrian Pungchon Limestone Formation, Korea

박병권(Byong-Kwon Park)* · 한상준(Sang-Joon Han)**

요 약

이 연구는 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 미량 원소의 분포를 밝히고, 이들의 분포와 퇴적상 혹은 원래의 구성 광물과의 관계 및 풍촌석회암층의 속성과정의 일부를 밝혀 보고자 하였다. 시추코름에서 44개 시료를 선택하여 분석한 결과 Ca 36.9%, Mg 8,151 ppm이고 미량 원소들의 평균함량값은 Fe 2,772 ppm, Mn 903 ppm, Sr 180 ppm, K 253 ppm 및 Na 159 ppm이고, 불용성 물질은 평균 9.5% 함유되어 있다. 이들 원소의 함량은 풍촌석회암층의 수직면을 따라서는 많은 변화를 보이거나 어란상 구조를 보이는 최하부층, 회색의 탄산염질 각역암인 하부층, boundstone인 중부층 및 적색의 탄산염암질 각역암인 상부층의 각 층내에서는 대체로 유사한 값을 보여주고 있다.

풍촌석회암층이 현생퇴적물에 비해 Na와 Sr함량이 훨씬 적고 Mn 함량이 많은 것은 일차적으로 담수의 영향을 받은 속성과정의 결과이며, 이차적으로는 원래의 구성광물의 차에 의한 것으로 해석된다. 이번 미량 원소 연구 결과에 의하면 풍촌석회암층은 육붕(shallow-subtidal)에서부터 내륙사면의 상부에 이르는 환경에서 퇴적된 것으로 해석된다.

Abstract : This study was intended to investigate the distribution of trace elements, the relationship of trace element contents and the original mineralogy, and also the diagenetic alteration of carbonate composition of the middle Cambrian Pungchon Limestone Formation.

Forty-four carbonate samples were selected and analyzed for this study. The averages of each element of samples studied were as follows: Ca, 36.9%; Mg, 8,151 ppm; Fe, 2,772 ppm; Mn, 903 ppm; Sr, 180 ppm; K, 253 ppm; Na, 159 ppm; and insoluble residue, 9.5%. The contents of each elements were varied in the vertical sequences of the Pungchon Limestone Formation, and however the lowermost oolitic bed, gray lower carbonate breccia bed, middle boundstone bed and reddish upper carbonate breccia bed contain similar amounts of trace elements, respectively.

Lower contents of Na and Sr, and higher content of Mn of the Pungchon Limestone Formation than those of Holocene carbonate sediments were interpreted as the results of primarily diagenesis influenced by fresh water, and secondarily differences of the original carbonate minerals. The results of trace elements study suggested that the Pungchon Limestone Formation might be deposited at the shelf (shallow-subtidal) and the upper slope environments.

서 론

조선누층군은 우리나라에 분포하는 캄브리아계

및 오노비스계로서 Inoue(1907)가 최초로 조선층으로 명명하였고, 그 후 1915년에는 조선계를 개칭하면서 하부층을 양덕동으로, 상부층을 대석회암층으로 이대분 하였다. 현재는 조선계를 조선누층군으로 부르며, 양덕동과 대석회암층은 각각 양덕층군 및 대석회암층군으로 부르고 있다. 특히 태백산 지역에 분포하는 조선누층군은 분포지역, 암상, 층서 및 화석군의 차이에 따라 두위봉형, 임월형, 정선형, 평강형 및 문성형으로 구분

* 육군사관학교 지구과학과 (Department of Earth Sciences, Korea Military Academy)

** 한국과학기술원 해양연구소 해양지질연구소 (Geological Oceanography Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute)

되어 오고 있다. 풍촌석회암층은 두위봉형 조선 누층군에 속하는 중부캠브리아계에 해당되는 지층으로 Kobayashi (1930)는 대기층이라 명명하였으나 태백산지구 지하자원 조사단(1962)이 이를 풍촌석회암층으로 개칭한 후 현재까지 사용되고 있다. 풍촌석회암층은 대석회암층군의 최하부 지층으로, 양덕층군의 상부층인 묘봉스레이트층 위에 정합적으로 놓여있고 그 위에 화절층이 정합적으로 놓여있다. 풍촌석회암층에 관한 연구는 그간 여러 학자들에 의해 연구되어 왔으나(손치무와 전창희, 1965; Yun, 1978; Kim and Park, 1981; 박병권 과 우경식, 1986). 미량 원소들이 용한 풍촌석회암층에 관한 지화학적 연구는 이제 시작하는 단계라 할 수 있다. 풍촌석회암층은 주로 탄산염 성분으로 구성되어 있으며, 지질시대가 오래되어 축적작용을 장기간 받았으며, 퇴적작용을 이해할 수 있을 만큼 충분한 화석들이 포함되어 있지도 않다.

일반적으로 해성기원 탄산염 퇴적물들은 고결작용시 담수의 영향을 받는 경우가 대부분이나, 이 과정에서 탄산염암을 구성하는 탄산염 성분의 조직(texture), 광물성분 및 화학성분이 변화하게 된다. 그러나 주성분 원소들은 놀로마이트화 작용을 받는 경우를 제외하고는 큰 변화가 적으나 부성분 원소나 미량 원소들은 많은 변화를 하게 된다. 따라서 탄산염 성분의 미량 원소에 관한 연구는 고결과정과 축적작용을 이해하는데 필요한 많은 퇴적학적 정보를 제공해 준다고 알려져 있다(Harris and Matthews, 1968; Kinsman, 1969; Veizer and Demovic, 1974; Pingitore, 1976, 1978; Veizer, 1977; Brand and Veizer, 1980; Al-Aasm and Veizer, 1986). 따라서 이 연구에서는 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염암 성분내에 함유되어 있는 미량 원소의 분포를 밝히고, 이러한 분포와 퇴적상 및 구성광물과의 관계 그리고 풍촌석회암층의 축적과정의 일부를 밝혀보고자 하였다.

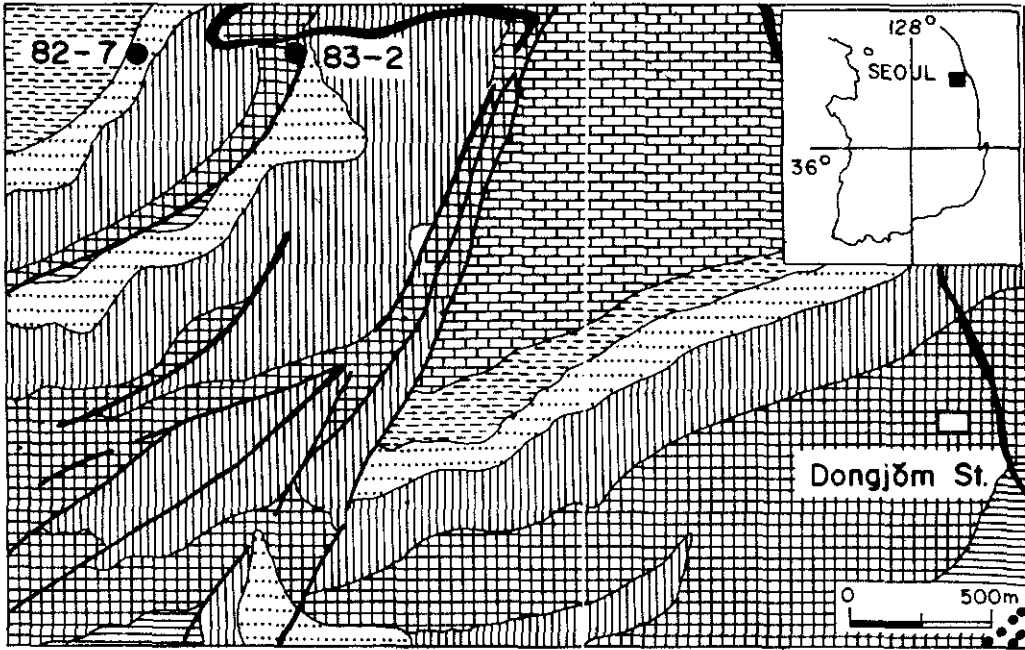
이 연구는 한국과학재단의 연구 지원 사업의 일환으로 이루어졌음을 밝혀둔다. 이 논문에 사용한 시료의 분석과 측정을 도와주신 동력자원연구소 지구화학탐사실의 김상엽 박사께 깊은 사의를

표한다. 또한 이 논문을 읽고 많은 조언을 해주신 서울대학교 장호완 교수, 그리고 제도를 도와주신 권수재씨에게도 감사를 표한다.

연구재료 및 방법

이 연구에는 강원도 장성 지역에서 시추하여 얻은 시추공 83-2 (그림 1)의 시추 표본 중에서 이 연구에 적합한 탄산염암 표본 44개를 선택하여 사용하였다. 풍촌석회암층은 캠브리아계 지층으로 장기간에 걸쳐 많은 축적작용을 받았기 때문에 탄산염암의 특징적인 속성을 표시해 주는 구성 물질들의 구분이 명확하지 않다. 따라서 우선 야외에서 식별이 용이한 oolite, oncolite, boundstone 및 탄산염 각역들과 실내 연구를 통해 놀로마이트화 작용을 많이 받은 표본들을 선택하여 분석에 사용하였다.

각 표본들은 분쇄하여 탄산염암 성분으로 구성되어 있는 암설들을 분말로 만들어 각각 1g의 시료들을 milligram까지 정확히 무게를 달아 분리하였고, 분리된 시료들은 5% 염산 35 ml로 용해시켰다. 산에 용해될 수 있는 성분들을 완전히 용해시키기 위하여 24시간 반응시킨 후 용액을 불용성 잔류물 (insoluble residue)과 분리시켰다. 불용성 잔류물은 다시 증류수를 사용하여 2번 이상 세척한 후 증류수를 더하여 100ml로 만들었다. 이때 알칼리금속의 가리움 효과(masking effects)를 방지하기 위하여 5% lanthanum chloride 20 ml를 혼합하였다. 이렇게 만든 시료들은 Instrumentation Laboratory 제작 AA-AE Spectrophotometer-551을 이용하여 분석하였다. 이때 air-acetylene flame을 사용하였으며, 시료들은 원소 종류에 따라 필요시 희석하기도 하였다. 각 원소별 표준용액(standard solution)은 다음과 같이 만들어 사용하였다. Ca의 경우는 시험관에 300 ml의 증류수와 CaCO_3 2.4973g과 1 mol 염산 10 ml를 혼합하여 CO_2 가스를 발생시켜 제거한 후, 용액을 1,000 ml로 희석하였다. Mn의 경우는 1 mol 염산 10 ml와 1 mol 질산 1 ml를 혼합한 후 금속 Mn 1g을 용해시킨 후 용액을 1,000 ml로 희석하였다. Sr의 경우는 1 mol 염산 10 ml와 증류



LEGEND

- | | | | | | |
|--|-------------------|--|--------------------|--|-------------------|
| | Magdong Limestone | | Hwajŏl Formation | | Jangsan Quartzite |
| | Dumudong Shale | | Pungchon Limestone | | Fault Line |
| | Dongjŏm Quartzite | | Myobong Slate | | Boring Sites |

그림 1. 동점-장성지역 지질도에 본 연구에 사용한 시추표본을 획득한 시추공의 위치가 표시되어 있다 (영풍광업 조사실, 1983).

수 300 ml을 혼합한 후 SrCO_3 1.6849g을 용해시킨 후 용액을 1,000 ml로 희석하였다. K와 Na의 경우는 각각 KCl 1.9067g과 NaCl 2.5421g을 증류수에 용해시킨 후 용액을 1,000 ml로 희석하였다. 이 분석의 정확도(accuracy)는 $\pm 5\%$ 정도이나 정밀도(precision)에 대한 검증은 실시하지 못했음을 부언해 둔다. 불용성 산류분들은 $0.45 \mu\text{m}$ 여과지에 걸러 건조시킨 후 무게를 측정하였다. 이 연구에서 실시한 안정 산소 동위원소의 분석방법은 박병권과 우경식(1986)에 기술되어 있다.

풍촌석회암층

지금까지 알려진 바에 의하면 풍촌석회암층은 주로 유백색, 임회색, 담홍색의 괴상 석회암으로 구성되어 있고 중간석회암 역암과 어란상 석회암 및 돌로마이트질 석회암이 협재되어 있으며, 하부에는 암회색 이암층이 협재되어 있다. 풍촌석회암층은 야외에서 식별이 가능한 암색 및 암상을 기준으로 하여 8개 지층으로 구분 사용되고 있다 (한갑수, 1969; Yun, 1978).

이 연구에 사용한 시추공 83-2의 시추표본을 이

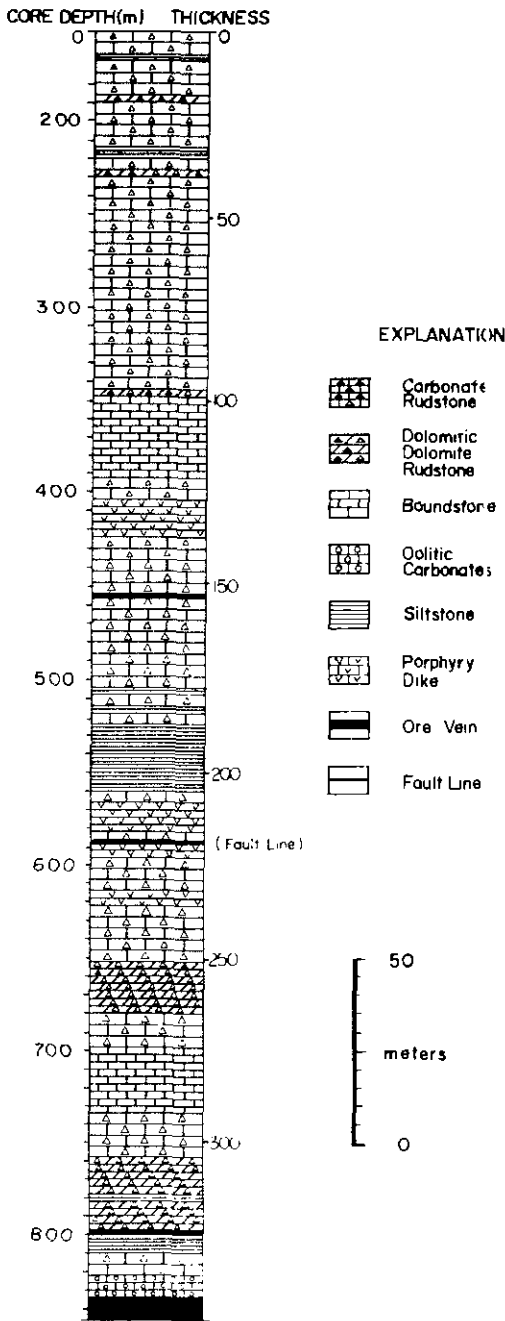


그림 2. 시추공 83-3의 시추표본을 이용하여 만든 풍촌 석회암층의 주상도.

용한 풍촌석회암층의 주상도는 그림 2와 같다. 시추지역에 발달한 탄산염암층의 주향은 N 45°W에서 N 10°W 사이, 그리고 경사는 20°SW에서 70°SW사이에서 변하고 있다. 이 시추지점에는 깊이 580 m 부근에 큰 단층이 존재하며, 이 단층선을 따라 반암이 관입되어 있고, 풍촌석회암층을 구성하는 지층이 반복되어 산출되고 있다. 따라서 반복 지층을 감안하고 특징적인 지층인 흑색 셰일층과 유백색 내지 담회색의 boundstone을 기준으로 삼으면 시추표본 중 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염암층은 다시 4개 층으로 세분할 수 있다. 즉 흑색셰일층 하부를 최하부층, 흑색셰일층과 boundstone층 사이를 하부층, boundstone층을 중부층, 그리고 그 상부를 상부층으로 구분 가능하다. 풍촌 석회암층을 구성하는 탄산염암 성분들의 대표적인 암석의 조직(texture)과 그 암석을 구성하는 광물 성분들은 그림 3과 그림 4의 현미경 사진에서 볼 수 있다.

최하부층은 암회색을 보이며 이 층의 하부는 어란상 및 oncolitic 구조를 보여주며 그 사이에 박층의 탄산염암 각역암들이 협재되어 있고 상부는 회색을 보이며 주로 탄산염암 각역암으로 구성되어 있다. 하부층은 회색을 보이며 탄산염암 각역암으로 구성되어 있다. 하부층 내에는 이암 성분이 박층 혹은 탄산염암 각역암 사이에 기질로서 협재되어 있다. 또한 하부층의 하부는 돌로마이트화 작용을 받아 거의 돌로마이트로 구성되어 있다. 중부층은 유백색 내지 담회색을 보이며 기질이 거의 포함되지 않은 boundstone으로 구성되어 있고 국부적으로 중부층 상부에 돌로마이트화 작용을 받은 부분도 있다. 상부층은 암회색, 회색 등 다양하며 특징적인 것은 적색의 탄산염암 암설이 포함되거나 혹은 적색 이암이 탄산염암 각역암의 기질로 많이 포함되어 있고 또한 탄산염암 암설 내에도 적색의 이질 성분이 포함되어 있다. 국부적으로 다양한 종류의 암설과 다양한 크기로 구성된 polymictic carbonate breccia로 구성되어 있다. 상부층에는 다른 층들보다 비교적 이질물의 기질들이 많이 함유되어 있음이 특징적이다.

결과와 토의

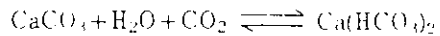
이론적 배경

탄산염암을 구성하는 탄산염 성분은 축성작용이 진행됨에 따라 자연수와 평형 상태를 유지하기 위하여 물리·화학적 변화를 하게 된다. 이 과정에서 탄산염 성분들은 micrite에서 microspar와 pseudospar로 변하고 마지막에는 sparite로 변하게 되며, 동시에 미량원소들은 증가하거나 (Sr^{2+} 와 Na^+), 감소한다고 (Mn^{2+} 와 Fe^{2+}) 알려져 있다. 이러한 축성작용을 이해하는데 유용한 기초적인 지화학적 이론들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 미량원소들이 탄산염 광물의 격자구조 내의 주성분 광물과 치환이 이루어지려면 화학식과 이온반경이 유사하여야 한다. 탄산염 성분을 구성하는 방해석과 아라고나이트는 동전이상(polymorph)으로서 방해석은 6-배위(coordination)를, 아라고나이트는 9-배위를 형성하고 있다. 또한 탄산염 광물내에 미량원소의 치환이 일어나는데 중요한 요인은 전기음성도(electronegativity)이다. (Ringwood, 1955; Ahrens, 1964). 전기음성도가 크면 극수화 전자들은 원자핵 중심으로 끌어당겨져 힘이 커지고, 따라서 이온반경이 감소하게 되며 원자의 극성(polarizability)을 감소시켜지게 된다. 따라서 화학식이 유사하고, 원래의 극 수화원소보다 이온반경은 작고, 두 원소 사이의 전기음성도의 차이가 크고, 축성

작은 미량원소들일수록 주성분 원소와 쉽게 치환하지 된다. 표 1에 이번 연구에서 분석한 미량원소들의 이온반경, 전기음성도와 해수중에 용해되어 있는 평균함량을 표시 하였다.

둘째, 탄산염 광물들은 주변 환경에 따라 해수나 자연수 내에서 침전 및 용해작용이 반복해서 일어나며 이때 불안정 상태의 광물들은 광물학적 또는 화학적 변화를 통해서 그 환경에 맞추도록 안정화 된다. 이 과정의 화학적 반응을 간략히 표시하면 다음과 같다.



이와 같은 화학 반응중에 미량원소들은 정도의 차이는 있으나 탄산염 광물격자 내의 Ca^{2+} 을 동형이온 치환형(diadochic) 혹은 틈새형(interstitial)으로 치환하거나 또는 불충족 전하(unsatisfied charges)에 흡착되거나 혹은 결함격자(defect lattice)내 빈 위치를 채움으로서 치환어진다.

셋째, 해성기원 탄산염 물질들은 해수와 평형 상태에서 침전된 물질들이므로 미량원소와 양경동위 원소들도 해수로부터 생성된다. 그러나 일단 자연수에 노출되게 되면 부분적으로 혹은 전부기 용해되므로 미량원소나 양경동위원소들도 공극수와 혼합되어 축성작용으로 침전되는 dLMC (diagenetic low-Mg calcite)에 함유되게 된다. 그러나 공극수에는 일반적으로 해수보다 적은 양의 Sr^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , $\delta^{13}C$ 와 $\delta^{18}O$ 이 함유되어 있고, 많은 양의 Mn^{2+} 와 Fe^{2+} 등이

표 1. 미량원소들의 이온 반경, 전기음성도 및 해수중 농도량

element	radius for 6-coordination (Å)	electron negativity*	conc in sea water(ppm)
Ca^{2+}	0.94	1.0	400
Mg^{2+}	0.66	1.2	1350
Mn^{2+}	0.80	1.5	0.002
Fe^{2+}	0.74	1.8	1.3
Sr^{2+}	1.12	1.0	8.0
Na^+	0.97	0.9	10500
K^+	1.33	0.8	380

* 이 표에서 전기음성도 = 황소(F)의 전기음성도를 4.0으로 정하고 다른 원소들의 값을 비교하여 정한다. (Pauling, 1940)

포함되어 있다(Turekian, 1974). 따라서 dLMC에는 원래의 해성기원 탄산염 성분보다 Sr^{2+} 과 Na^+ 은 감소되어 있고 Mn^{2+} 과 Fe^{2+} 은 많게 된다. 그러나 Mg^{2+} 이 감소하거나 증가하는것은 주로 탄산염 광물의 종류 (aragonite, high-Mg calcite, low-Mg calcite, dolomite)에 영향을 받는다. 축성작용으로 형성되는 dLMC의 화학성분은 축성과정에 작용하는 물/암석의 비에 크게 영향을 받는다. 물/암석 비가 큰 경우는 열린계(open system)와 같은 효과로 용해-침전작용이 여러번 반복되어 주로 자연수와 평형상태를 이룬 dLMC가 형성된다. 이와 반대로 물/암석 비가 작은 경우는 닫힌계(closed system)와 유사한 효과로 용해-침전이 많이 발생하지 않으며 자연수와는 평형상태의 dLMC가 형성된다.

비예, 해성기원 퇴적화강이나 축성환경에서 탄산염 광물들(aragonite, LMC, HMC, dolomite)이 무기기원으로 형성될 때 분배계수(partition coefficient)를 정확히 알면 미량원소들의 분배 작용(elemental partitioning)을 이해할 수 있다.

분배계수는 다음과 같은 공식으로 정의된다.

$$K = \frac{(mt/c)s}{(mt/m)l}$$

이 여기서 t는 미량원소, c는 주성분원소, s는 고체 상태, l은 액체상태, m은 mole 수, K는 분배계수이다(McIntire, 1963)

축성과정에서 증가하는 미량원소들(Sr^{2+} , Na^+ , Mg^{2+})은 Kealcite-water < 1이고, 감소하는 미량원소들(Mn^{2+} , Fe^{2+})은 $K > 1$ 이 된다. K가

1과 큰 차이가 있을수록 미량원소들의 증감폭이 커진다. 지표면 부근에서의 방해석에 대한 미량원소들의 분배계수는 다음과 같다(Brand and Veizer, 1980).

$$K_{Sr}^c = 0.055 \text{ 내지 } 0.27$$

$$K_{Na}^c = 2.0 \times 10^{-5} \text{ 내지 } 3.0 \times 10^{-5}$$

$$K_{Mg}^c = 0.02 \text{ 내지 } 0.06$$

$$K_{Fe}^c = 1 \text{ 내지 } 20$$

$$K_{Mn}^c = 5.4 \text{ 내지 } 1700$$

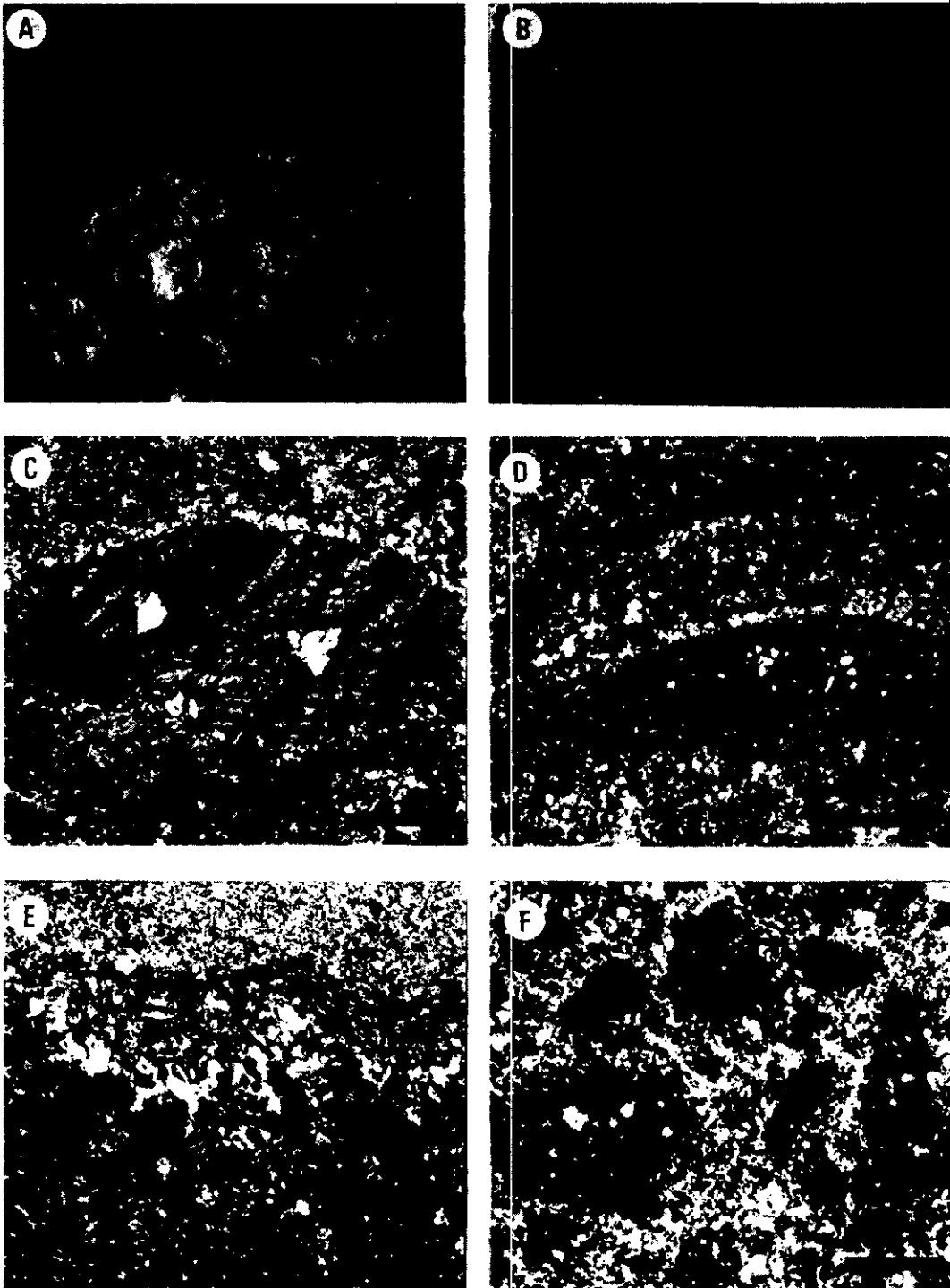
동위원소에서는 분배계수의 차이가 많이 나는 것은 실험시 주어진 조건의 차이에 기인된 것이다. 이 중 Mg^{2+} 의 증감은 주로 탄산염 성분의 원래상태(aragonite, HMC, LMC)에 영향을 받는다.

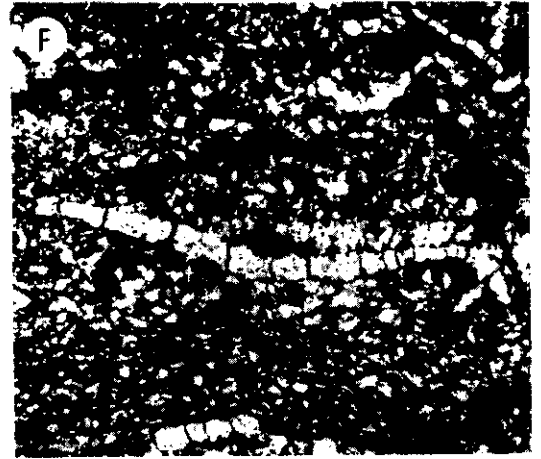
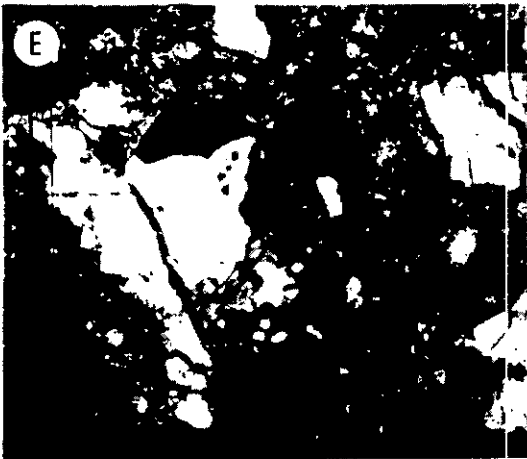
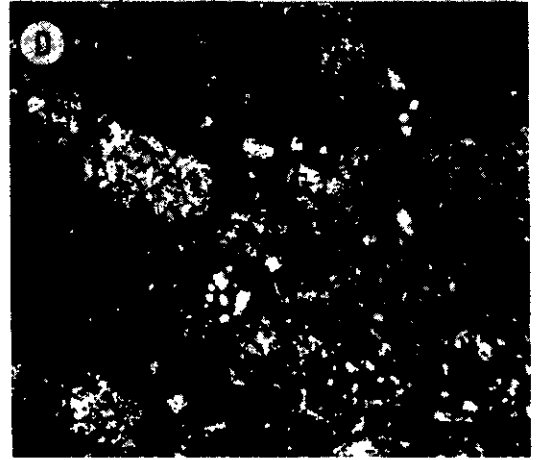
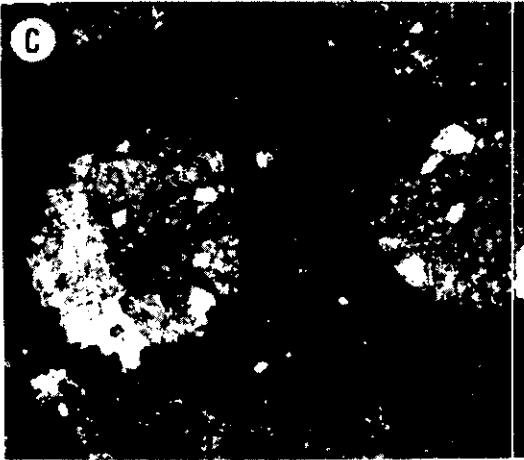
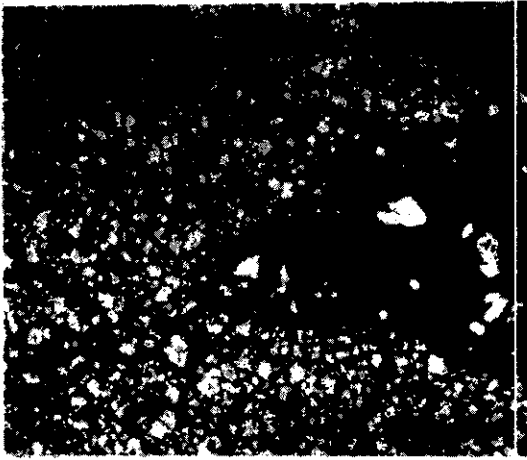
다섯째, 해수나 자연수에서의 탄산염 광물들의 열역학적 안정도는 축성과정 중 평형상태에 도달하는 속도에 어느 정도 영향을 미친다. HMC, A(aragonite)와 LMC는 원래의 퇴적환경에서는 안정상태를 이룬다. 그러나 자연수의 축성환경에서는 HMC와 A는 불안정하며 LMC가 안정하다(Land, 1967; Bathurst, 1975). 따라서 불안정 상태의 HMC와 A는 보다 안정된 상태로 급격히 변화하게 되고, 반면에 LMC는 변화하지 않고 원래의 화학적 특성을 그대로 유지하게 된다. 이렇게 평형상태에 달한 후에는 고체 상태의 확산작용으로 야기되는 화학적 성분의 변화는 속도가 대단히 느려서 그 영향은 매우 적은 것으로 알려져 있다 (Anderson, 1969; Bathurst, 1975).

여섯째, 불안정한 상태의 A, HMC 및 기질들이 dLMC로 변화할 때는 화학성분의 변화 뿐

- 그림 3. 발초석의 굵을 구성하는 최하부층과 최상층의 탄산염암 석미경 사진. 축성 초기물의 pH가 0.5 mm이다.
- A 최하부층을 구성하는 oolitic 전백색 돌로마이트와 작용을 한대 형성된 돌로마이트 결정이다. (표본번호, 830.2).
 - B 최하부층을 구성하는 oolitic 수반에 형성된 radial fibrous calcite cement이다. (표본번호, 832.0).
 - C 최하부층을 구성하는 oolitic 초기 암석작용에 의해 생성된 대리석을 이루고 있다. 내부에는 석영입자들이 해를 이루고 있다. (표본번호, 812.0).
 - D 최하부층에 함유되어 있는 침입체의 액체침출물 내부에 geopotial fabric를 보여준다. (표본번호 812.1).
 - E 최하부층의 탄산염 성분과 기질 성분의 경계 부분으로 이질성분의 최상부, 규질작용으로 형성된 석영입자, 중간적 환부 및 미세입자 pseudospars와 microspars(아랫부분)들이 순서대로 평행하게 배열되어 있다. (표본번호, 775.0).
 - F 최하부층을 구성하는 탄산염암으로 sparry calcite의 입자들과 석회질 침출물암으로 구성된 기질로서 입자들이 용식되어 있음을 볼 수 있다. (표본번호, 776.0).

중부 캄브리아계 풍촌석회암층의 미량 원소





아니라 암석 조직상의 변화(textural alternation)도 동시에 수반된다. 이 때 탄산염 성분은 기질이 나저지고 교질작용(cementation)이 증가됨에 따라 공극수위는 폐쇄된 상태로 남게 된다. 이러한 작용이 해수 중에서 이루어 진다면 교질물들은 불안정한 상태의 A와 HMC가 형성될 수 있으므로 위에서 언급한 축성과정의 이루어지게 된다. 만약 교질물들이 자연수 환경에서 형성되면 LMC가 침전되게 된다. 따라서 교질물이 침전될 수 있는 공극률이 크면 갈수록 자연수 환경과 평형에 접근하게 된다.

분석결과

이 연구에서 분석한 각 시료에 함유되어 있는 주성분, 미량원소, 불용성물질의 함량 및 1,000 Ca/Sr 값을 표2에 제시하였다.

이 연구에서 분석한 44개 표본 전체의 평균 함량은 Ca는 36.91%, Mg는 8,151 ppm, Fe는 2,772 ppm, Mn은 903 ppm, Sr은 180 ppm, K는 253 ppm, Na는 159 ppm 이고 불용성 물질은 평균 9.5%가 함유되어 있다. 다만 표본번호 155.4의 Ca와 1,000 Cr/Sr값은 상하의 표본의 값들과 너무나 큰 차이가 있으므로 평균치 계산에서 제외하였다.

풍흔석회암층을 구성하는 각 시층-최하부층, 하부층, 중부층 및 상부층의 각 성분별 평균값은 풍흔석회암층 전체 평균값과 함께 표3에 제시하였다.

표 3, 표 4 및 그림 5에서 보는 바와 같이 각 원소들의 평균값은 중부층을 중심으로 변화하고

있음을 볼 수 있다. Ca은 중부층 하부에서는 36.03% 내지 37.28%이며 상부층에서 약간 증가한다. Mg값은 중부층에서 18,316 ppm으로 제일 크며 하부층으로 갈수록 10,225 ppm 내지 7,002 ppm으로 감소하며, 상부층에서는 3,518 ppm으로 큰차이를 보여준다. Fe값은 중부층에서 3,782 ppm으로 제일 크며 하부층에서는 2,452 ppm과 2,539 ppm으로 감소하고 상부층에서 2,757 ppm으로 감소하고 있다. Mn값은 중부층에서 627 ppm으로 가장 적고 상부층에서 970 ppm과 1,002 ppm으로 증가하고 있다. Sr값은 최하부층에서 225 ppm으로 가장 높은 값을 보여주며 상부로 갈수록 점차 감소하여 중부층에서 149 ppm이고 상부층에서 147 ppm이다. K값도 역시 최하부층이 532 ppm으로 감소한다. Na값은 최하부층이 제일 작은 100 ppm이며 상부로 갈수록 증가하여 중부층이 177 ppm이고 상부층이 190 ppm으로 증가한다. 불용성 잔류물(IR)은 최하부층에만 유난히 높은 값인 18.6%가 함유되어 있고 그 뒤는 3.9%에서 5.9% 정도가 함유되어 있다. 이와같이 미량원소의 함량은 풍흔석회암층의 암상에 따라 변화하고 있음을 알 수 있다.

토 의

풍흔석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 미량원소중 그동안 여러학자들에 의하여 많이 연구되어 온 Na, Mn, Sr 및 Fe 원소에 관해서만 논의하고자 한다.

(1) 나트륨 (Na)

- 그림 4. 풍흔석회암층을 구성하는 중부층과 상부층의 탄산염의 현미경 사진. 축적표시물의 길이는 0.5 mm이다.
- A 중부층을 구성하는 세립질 돌로마이트로 형성된 돌로마이트 암석과 sparry calcite암석로서 calcite의 한 결정은 석영입자이다(표본번호, 714.1).
 - B 중부층을 구성하는 세립질 돌로마이트로 형성된 돌로마이트 암석들이 sparry calcite에 부유되어 있다(표본번호, 664.6).
 - C 상부층을 구성하는 탄산염 결정 내의 oolith들이 선택적 돌로마이트화 작용을 받아 형성된 돌로마이트로서 대부분이 이격적으로 형성된 자갈의 석영입자들이 포함되어 있다(표본번호, 652.9).
 - D 상부층을 구성하는 탄산염 암석들이 석회질의 암석들의 기질내에 함유되어 있으며, 세립의 석영입자는 기질부분이 기질내에 소량 함유되어 있다(표본번호, 169.1).
 - E 상부층을 구성하는 자갈질 암석에 함유되어 있는 세립질 석영입자로서 분급도가 낮고 원마도도 낮다. 기질을 이질암으로 구성되어 있다(표본번호, 168.0).
 - F 상부층을 구성하는 탄산염내에 함유되어 있는 잔염층의 맹해산물(bioclasts)들로서 구성성분은 모두가 규질화 작용을 받아 유수으로 변화되어 있다(표본번호, 153.5).

표 2. 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 주원소, 미량원소, 불용성 물질 및 1000 Ca/Sr의 양

Serial No.	Sample No.	Ca (%)	Mg (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Sr (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	iR (%)	1000 Sr/Cs
1	153.2	28.60	1,305	1,390	498	125	33	155	2.82	0.32
2	155.4	32.59	4,068	5,370	936	125	184	234	4.89	0.26
3	187.2	38.04	7,337	4,910	1,139	220	30	210	4.59	0.58
4	209.0	33.22	2,545	5,210	958	167	45	259	7.98	0.50
5	220.9	37.86	1,826	2,670	333	179	62	195	6.73	0.47
6	243.4	40.23	2,493	1,320	625	176	31	197	3.60	0.44
7	265.1	39.57	1,232	1,720	1,892	107	31	188	2.39	0.27
8	197.7	36.02	3,236	1,050	692	158	59	114	8.59	0.44
9	306.2	36.13	1,155	1,920	1,665	128	45	142	7.76	0.35
10	315.0	37.54	11,950	3,750	1,111	144	121	197	7.11	0.38
11	337.3	33.98	2,246	1,020	819	86	82	194	8.30	0.25
12	352.7	38.12	5,961	1,890	1,252	178	30	173	3.56	1.27
13	370.7	42.76	2,278	4,440	660	117	45	189	2.98	0.27
14	400.8	41.71	12,210	2,660	1,656	195	93	203	2.96	0.47
15	443.1	32.48	9,020	2,630	513	168	185	151	8.11	0.52
16	500.1	43.00	5,195	3,040	157	228	59	172	3.48	0.53
17	650.9	36.83	9,560	2,540	299	193	129	161	5.48	0.52
18	687.7	39.54	6,980	1,750	541	152	134	238	1.66	0.38
19	696.5	35.14	3,017	3,510	577	103	120	228	3.26	0.29
20	702.0	33.73	22,230	3,640	498	137	137	176	5.64	0.41
21	709.0	38.30	3,174	1,930	383	170	30	260	2.39	0.44
22	716.4	29.57	71,000	9,620	921	124	464	98	9.81	0.42
23	722.5	41.18	5,250	1,170	48	170	45	163	2.90	0.41
24	731.2	37.81	6,700	2,000	579	169	170	253	1.54	0.45
25	758.2	34.16	2,293	2,250	507	152	75	231	10.48	0.44
26	762.4	38.21	41,740	3,400	605	117	36	192	1.50	0.31
27	784.7	33.88	5,171	2,950	1,535	200	285	204	2.51	0.59
28	795.5	38.08	1,215	1,810	912	130	173	187	4.59	0.34
29	812.1	40.55	4,233	2,300	1,393	212	213	146	2.07	0.52
30	822.0	41.08	4,092	2,900	643	201	243	158	1.81	0.49
31	822.8	34.14	22,344	5,380	1,078	133	520	106	29.00	0.39
32	823.8	16.80	7,002	1,026	354	204	378	32	27.00	2.25
33	825.4	39.42	9,918	3,294	1,226	205	565	108	17.00	0.52
34	827.8	32.28	4,880	1,180	588	226	358	134	5.00	1.10
35	828.6	38.42	5,618	1,860	894	249	790	64	24.00	0.65
36	829.4	35.14	12,572	3,470	1,506	212	118	44	18.00	0.60
37	829.6	38.72	4,400	1,820	1,288	234	1,140	168	19.00	0.60
38	829.6	28.58	3,340	1,620	1,162	291	440	102	25.00	0.75
39	830.9	38.72	4,996	2,254	942	281	744	32	25.00	0.73
40	830.6	37.58	4,134	1,680	1,166	290	724	94	15.00	0.77
41	832.1	36.58	6,088	3,346	1,530	154	290	118	20.00	0.42
42	832.3	38.86	4,160	2,628	1,200	295	468	109	18.00	0.76
43	832.5	38.58	7,218	2,836	1,098	206	248	114	16.00	0.53
44	833.7	36.06	42,66	2,796	1,344	202	956	122	19.00	0.56

중부 캄브리아계 풍촌석회암층의 미량 원소

표 3. 풍촌석회암층을 구성하는 주원소, 미량원소 및 불용성 물질의 각종별 평균 값

	Ca(%)	Mg (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Sr (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	IR(%)
상 부 층 (11개)	37.12	3,518	2,757	970	147	66	190	5.9
중 부 층 (6개)	37.28	18,316	3,782	627	149	125	177	4.5
하 부 층 (6개)	37.12	10,225	2,452	929	163	159	110	3.9
최하부층 (15개)	36.06	7,002	2,539	1,002	225	532	100	18.6
전 층 (44개)	36.91	8,151	2,772	903	180	253	159	9.5

표 4. 분석한 시료의 $\delta^{18}O$ 값, Mn 및 Sr 함량

Serial No.	Sample No.	$\delta^{18}O$	Mn(ppm)	Sr(ppm)
1	153.2	-13.43	498	125
2	169.0	-14.18	275	54
3	187.2	-15.90	1,139	220
4	702.0	-12.89	498	137
5	709.0	-13.27	383	170
6	825.4	-14.27	1,226	205
7	827.8	-15.13	588	226

풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내 함유되어 있는 Na^+ 양은 32 ppm 내지 260 ppm으로 평균 159 ppm이다. 이 Na^+ 양은 최하부층에서 상부층으로 점차적으로 증가하고 있다. 이러한 탄산염 성분내 함유되어 있는 Na^+ 의 성인에 관하여 많은 연구가 있으며 그 중 중요한 이론을 이번 연구와 결부시키면 다음과 같다.

첫째, 탄산염 광물을 형성하는 6-배위 결정구조에서 Na^+ 와 Ca^{2+} 의 이온반경은 각각 0.97\AA

과 0.99\AA 이므로 Na^+ 은 Ca^{2+} 와의 치환이 용이하다. 따라서 탄산염 광물에 Na^+ 이 많이 함유되어 있고, 현생 탄산염 광물에는 일반적으로 1,000 ppm 이상의 Na^+ 이 함유되어 있으나 (Land and Hoops, 1973), 풍촌석회암층에는 그보다 훨씬 적은 양의 Na^+ 이 함유되어 있는 것으로 보아 속성과정에서 상당량의 Na^+ 이 감소된 것으로 해석된다. 지질학적 시간념으로 비교적 길지 않은 플라이오세의 방해석 중에는 110 ppm 내지 1,340 ppm의 Na^+ 이 보고된 바 (Sibley, 1979) 있는 반면, 오드비스기 탄산염 성분에서는 42 ppm 내지 265 ppm의 Na^+ 양이 보고된 바 있다 (Eadiozamani, 1973). 이와 같이 지질시대가 오래된 지층에서 Na^+ 양이 일반적으로 감소하는 현상은 Na^+ 함량이 매우 적은 담수의 영향에 의한 속성작용의 결과로 해석되고 있다 (Churnet and Misra, 1981). 이번 연구의 대상 지층인 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내 대부분 자연수의 영향에 의한 속성작용을 받은 것으로 알려져 있다

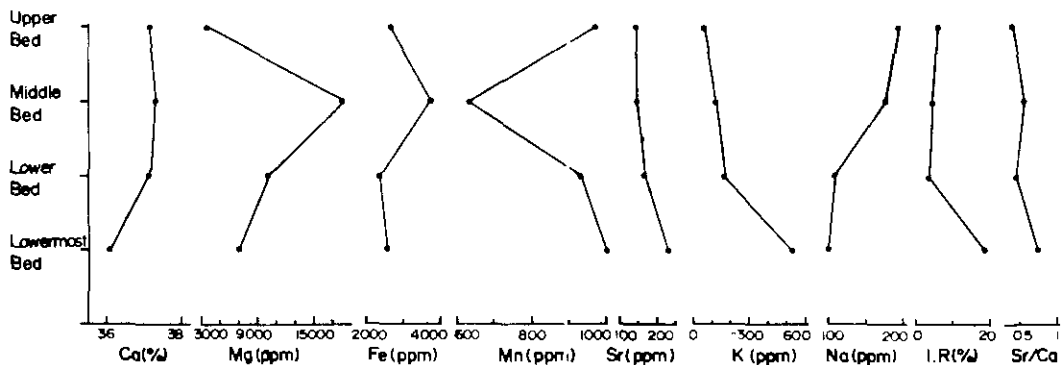


그림 5. 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 주원소 및 미량원소의 각종별 평균값 표시도.

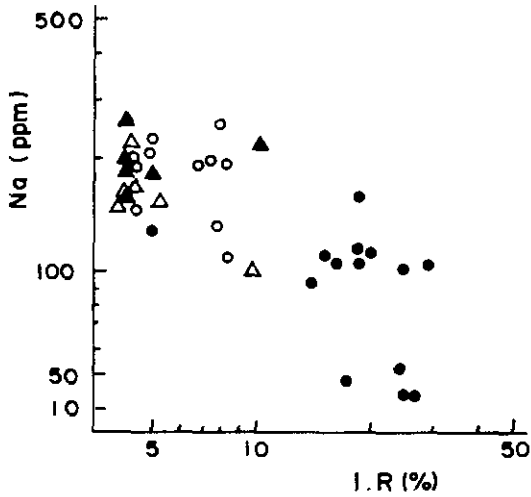


그림 6. 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 Na함량 대 불용성 물질 함량의 표시도 (검은 원 : 최하부층; 검은 삼각형 : 하부층; 흰 삼각형 : 중부층; 흰원 : 상부층).

(박병권과 우경식, 1986).

둘째, 탄산염 성분과 공존하는 Al-규산염 물질인 점토광물내에 상당한 양의 Na^+ 이 함유되어 있어서 탄산염 성분을 약한 염산으로 용해시킬 때 점토광물중의 Na^+ 이 용탈(leaching)되어 용액에 함유될 수 있다. 따라서 불용성 잔류물의 양과 Na^+ 의 양은 일반적으로 비례한다고 한다. 그러나 이번 연구에서는 그와 반대로 일반적으로 반비례하고 있음을 볼 수 있다(그림 6) 따라서 풍촌석회암층내에 Na^+ 의 함량은 불용성 잔류물의 양과의 관계보다는 탄산염 성분의 퇴적환경에서 보다 큰 영향을 받는 것으로 해석된다. 이러한 현상은 Sr^{2+} 의 분포 현상에서도 유사성을 볼 수 있다. 그림 6에서 보는 바와 같이 풍촌석회암층을 구성하는 각 지층에 따라 Na^+ 의 양이 상이하며, 각 지층 내의 Na^+ 양은 유사함을 알 수 있다(표 3).

Veizer *et al.* (1979)은 고생대 하부층의 탄산염암 내에 함유되어 있는 Na^+ 의 양을 연구한 후 탄산염암에 함유되어 있는 Na^+ 양 230 ppm을 기준으로 정상적인 해양환경 (normal marine environment)과 과염분(hypersaline)환경을 구분할 수 있다고 하였다. 그러나 150 내지 300 ppm에

서는 구분이 명확치 않다고 부연하고 있다. 이번 연구에서 얻은 Na^+ 의 양은 평균이 159 ppm이고 최고로 260 ppm에 불과하므로 그들의 기준에 의하면 풍촌석회암층은 정상적인 해양 퇴적환경에서 형성된 것으로 해석된다.

세째, 탄산염 성분 내에는 NaCl 성분이 고체 또는 액체상태의 별도 포유물로 함유되어 있을 수도 있다. 그러나 현생 및 고기탄산염암 내의 Na^+ 성분과 Cl^- 성분을 함께 연구한 바에 의하면 Na^+ 성분이 Cl^- 성분보다 항상 더 많이 함유되어 있는 바, Na^+ 성분이 NaCl상태로 함유되어 있는 양은 상대적으로 매우 적다.

지금까지의 여러 연구 결과에 의하면 탄산염 성분 내의 Na^+ 양은 일차적으로 탄산염 성분이 퇴적 당시 퇴적환경의 염도에 영향을 받으며 이차적으로 숙성작용에 의해서 점차로 감소된다고 알려져 있다(Land and Hoops, 1973; Veizer *et al.*, 1977).

(2) 망간 (Mn)

풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 Mn^{2+} 함량은 48 ppm에서 1,892 ppm에 이르며 평균 903 ppm이다. 풍촌석회암층의 Mn^{2+} 함량은 중부층에서만 특히 적고 그 외에는 유사한 값을 보여주고 있다.

탄산염 광물에서는 Ca^{2+} 의 자리에 Mn^{2+} 이 치환하여 산출되는 경우가 많다. 그 이유는 서로 이온반경의 크기가 유사하고 전하의 크기가 같기 때문이다. 그러나 탄산염 광물인 방해석과 아라고나이트는 형성될 당시 원소의 화학형식에 차이가 있어서 아고나이트는 9-배위의 형식을, 그리고 방해석은 6-배위의 형식을 취한다. Mn^{2+} 의 이온반경 0.80Å은 6-배위의 결정인 방해석내 Ca^{2+} 의 이온반경 0.99Å보다 작고 전하는 +2로서 같으므로 아라고나이트 보다는 방해석과 쉽게 치환하게 된다. 또한 Mn^{2+} 과 Ca^{2+} 의 전기음성도가 각각 1.4와 1.0이므로 Mn^{2+} 들은 방해석의 격자구조를 변형시키지 않고 Ca^{2+} 과 치환하게 된다. Mn^{2+} 은 무제로 약 40%까지 방해석 격자를 치환하여 MnCO_3 를 형성하기도 하며, 이의 존재는 electron paramagnetic방법에 의해 확인된 바 있다(Wildeman, 1970). 또한

Mn²⁺은 환원환경에서 Ca²⁺와 보다 쉽게 치환한다. 따라서 Mn원소들은 환원환경에서 용해됨으로(Lynn and Bonatti, 1965; Eaton, 1979; Davison, 1981) 산소가 부족한 환경에서 Mn이 많은 방해석이 형성되며, 산화환경에서는 Mn은 산화물이나 수산화물을 형성하며 결정을 이루는 성질이 있으므로 방해석 구조 내에 삽입되지 못한다.

Shanmugan and Benedict (1983)는 미국 동부의 오드버스기 중부 탄산염암층 내의 Mn의 분포를 연구한 후 Mn이 탄산염 성분내에 함유되어 있는 불용성 잔류물과 상관관계가 있을 것이라고 언급한 바 있다. 그러나 풍흔석회암층을 구성하는 탄산염 성분내 Mn²⁺양과 불용성 잔류물과는 전혀 상관관계가 없다(그림 7). 어란상 및 oncolite 구조를 보여주는 최하부층은 불용성 잔류물이 특히 많아 평균 약 18.6%가 되며 기타 층은 4 내지 6%에 불과하나 이와 비례적으로 Mn²⁺의 양이 변하지는 않고 있다. 오히려 각

지층내의 Mn²⁺양은 크게 변하나 불용성 잔류물의 양은 대체로 일정함을 볼 수 있다. Shanmugan and Benedict (1983)가 보고한 상관관계 분석이 의하면 풍흔석회암층은 육봉에서 대륙사면의 상부 퇴적 환경에서 형성된 것으로 해석된다. 즉 풍흔석회암층의 최하부층은 육봉 중에서도 shallow-subtidal에서, 하부층 및 중부층은 육봉 중의 deep-subtidal에서 그리고 상부층은 대륙사면의 상부 퇴적환경에서 각각 형성된 것으로 해석된다.

탄산염암에 함유되어 있는 Mn원소들은 거의 전부가 약한 염산에 용해되는 탄산염 광물내에 내포되어 있으며 속성과정에서도 Mn²⁺양의 변화는 거의 없는 것으로 알려져 있다(Bencini and Turi, 1974; Rao and Nagvi, 1977; Robinson, 1980). 그러나 이와 반대로 Mn²⁺양이 속성과정에서 증가한다는 의견도 있다(Pingitore, 1978). 그에 따르면 방해석내의 Mn²⁺ 분배계수는 상온 (25°C)에서 일정한 값 (15)을 가지며, 해수 중에는 Mn이 0.002 ppm 용해되어 있고, 정상적으로 침전된 방해석 구조에는 약 30 ppm 정도 밖에 함유될 수 없다고 한다. 그러나 담수에는 비교적 많은 Mn이 용해되어 있으므로 탄산염암이 속성작용시 담수의 영향을 많이 받았다면 속성과정에서 Mn²⁺이 증가할 수 있을 것이다(Brand and Veizer, 1980). 또한 탄산염암층 주위에 이질암이 존재하는 경우에는 이질암으로부터 Mn이 공급될 수도 있으며 또한 광화작용을 받은 지역이면 열수용액에 의하여 Mn이 공급되어 Mn의 양이 증가될 수도 있다(Churnet and Misra, 1981).

풍흔석회암층의 안정동위원소 연구에 의하면 풍흔석회암층의 δ¹⁸O값이 많이 감소되어 있으며 이는 자연수의 영향을 받은 속성작용에 의한 결과로 해석되고 있다(박병권 과 우경식, 1986). 동일한 시료에서 Mn²⁺과 δ¹⁸O를 분석한 바에 의하면 Mn²⁺의 양과 δ¹⁸O값의 상관관계가 뚜렷하지는 않으나 대체로 Mn²⁺양이 증가함에 따라 δ¹⁸O값이 감소하고 있다(그림 8). 이번 연구지역의 풍흔석회암층 최하부에는 연-아연의 광화대가 존재하고 부분적으로 망간탄산

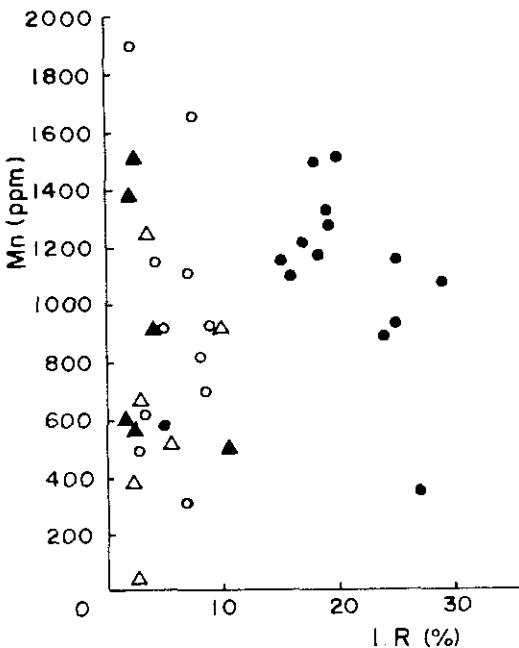


그림 7. 풍흔석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 Mn함량 대 불용성 물질 함량의 표시도 (검은 원: 최하부층; 검은 삼각형: 하부층; 흰 삼각형: 중부층; 흰 원: 상부층).

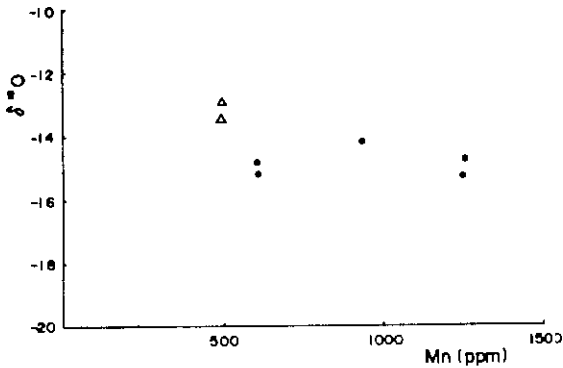


그림 8. 풍촌석회암을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 Mn 함량 대 $\delta^{18}O$ 값의 표시도 (검은원 : 최하부층; 흰삼각형 : 중부층).

염 광물들이 형성되어 있으나 본 연구에 사용한 탄산염암 시료들은 박편을 만들어 현미경하에서 관찰한 후 순수한 탄산염암 성분만을 선택하였으므로 광화작용에 의한 영향은 없으리라 생각된다. 또한 풍촌석회암층의 중부층에서 유난히 Mn^{2+} 함량이 작은 것은(평균 627 ppm) 이 지층이 다른 지층에 비해 담수의 영향을 적게 받았거나 원래의 구성광물이 주로 방해석이 아닌 아카고나이트로서 원래부터 Mn 함량이 적었던 결과로 해석된다.

(3) 스트론튬음 (Sr)

풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내 함유되어 있는 Sr^{2+} 양은 86 ppm에서 295 ppm으로서 평균 180 ppm이다. 풍촌석회암층의 시추 표본에서 Sr^{2+} 양은 최하부층에 최대(평균 225 ppm) 함유되어 있으며 상부로 갈수록 감소하고 있다.

탄산염암 성분 내의 Sr에 관한 연구는 여러 학자들에 의해서 활발히 연구되어 왔다(Graf, 1960; Kinsman, 1969; Veizer, 1974; Brand and Veizer, 1980; Churnet and Misara, 1981; Cross and Cross, 1983). 속성과정을 거친 고기 탄산염암에 함유되어 있는 Sr양은 주로 탄산염암을 구성하는 원래의 탄산염 광물의 종류, 속성작용에 영향을 미친 자연수의 양 및 공극수의 화학 성분 등에 영향을 받는다고 한다. Sr^{2+} 의 이온반경은 1.12\AA 으로 6-배위 방해석 내의 Ca^{2+}

$+$ 이온반경 0.99\AA 보다 더 크다. 따라서 Sr^{2+} 과는 반대로, 방해석 내의 Ca^{2+} 와는 치환이 어렵고, 9-배위 구조를 가지며 큰 양이온을 함유할 수 있는 아카고나이트의 Ca^{2+} 위치에 쉽게, 더 많이 치환하게 된다. 또한 Oxburgh *et al.* (1959)와 Holland *et al.* (1963, 1964)에 의하면 aragonite/solutin과 calcite/solution의 Sr분포계수(distribution coefficient)는 약 10배 정도 차가 있으므로 같은 조건에서는 아카고나이트는 방해석보다 10배의 Sr양을 함유할 수 있다. 따라서 탄산염암을 구성하는 원래의 광물의 종류에 따라 Sr의 양이 큰 차를 보일 수도 있다. 현생 탄산염 퇴적물에서 아카고나이트에는 약 9,800 ppm의 Sr^{2+} 이, 그리고 방해석에는 400 ppm 내지 1,000 ppm 그리고 최대로 5,000 ppm의 Sr^{2+} 이 함유되어 있다(Kinsman, 1969; Veizer, 1974). 현생 탄산염 퇴적물 보다 고기 탄산염내에 적은 양의 Sr이 함유되어 있는것은 일반적으로 속성과정에서 자연수의 영향을 받은 결과로 해석된다(Land and Hoops, 1973; Badiozamani, 1973; Veizer, 1974; Morrow and Meyers, 1978; Brand and Veizer, 1980).

풍촌석회암을 구성하는 탄산염 성분내 Sr이 비교적 적은 양(평균 180ppm)함유되어 있는 것은 원래의 구성 광물이 주로 HMC(high-Mg calcite)로 구성 되었거나 혹은 아카고나이트나 HMC로 구성된 후 속성과정에서 자연수에 의한 용해와 침전작용을 여러번 받았기 때문인 것으로 해석된다. Morrow and Meyers(1978)에 의하면 용해와 침전작용은 대부분 속성작용 초기에 일어나는 것으로 알려져 있다. 그러나 고기 탄산염암에 Sr이 400ppm이하로 적게 함유되어 있는 것은 속성작용 초기에 형성되지 않고 오히려 속성작용 후기에 Sr이 감소되어 이루어진 결과로 해석된다.

그림 9에서 보는 바와 같이 풍촌석회암층에서 어란상 내지 oncolitic한 구조를 보여주는 최하부층은 높은 Sr값을 나타내며, 다른 층들과 명확히 구별된다. 이와같이 명확히 구분되는 것은 원래의 구성광물의 차가 있었으며 그 후 속성과정에서 본래의 특성을 부분적으로 유지하였거

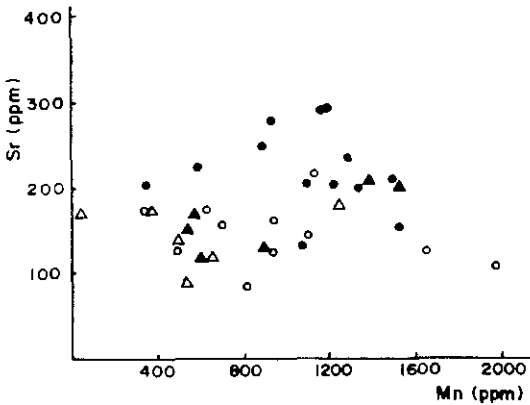


그림 9. 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 Sr 함량 대 Mn 함량의 표시도 (검은 원: 최하부층; 검은 삼각형: 하부층; 흰 삼각형: 중부층; 흰 원: 상부층).

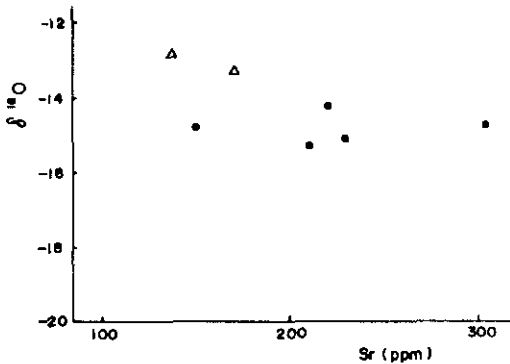


그림 10. 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 Sr 함량 대 $\delta^{18}O$ 값의 표시도 (검은 원: 최하부층; 흰삼각형: 중부층).

나, 혹은 두 종류의 상이한 속성과정 즉 상이한 용액의 영향을 받은 결과로 현재와 같이 상이한 값을 보여준다고 해석할 수 있다. 풍촌석회암층의 탄소 및 산소 동위원소 연구 결과 (박병권과 우경식, 1986)에 의하면 풍촌석회암층의 최하부층은 많은 자연수의 영향을 받은 것으로 보아 아마도 Sr값의 차이는 원래의 구성광물 성분의 차이로 해석된다. 또한 그림 9와 그림 10에서 보는바와 같이 최하부층의 Mn함량은 다른 층

과 유사하고, $\delta^{18}O$ 값은 중간층보다 낮으며, 다만 Sr의 함유량만 높다는 것은 원래의 구성광물 성분의 차이로 해석된다. 최하부층의 oncolitic 구조는 캠프리아기의 해조류(algae)에 의해 형성되었으며, 이들은 주로 아라고나이트 광물로 구성되어 있었던 것으로 알려져 있다. 또한 어란상 구조를 형성하는 oolite들도 대부분 아라고나이트 광물로 형성되었던 것으로 해석된다. (박병권의, 1986). 또한 고기 탄산염암을 구성하는 원래의 광물이 LMC(low-Mg calcite)였다고 가정할 수도 있다. 왜냐하면 LMC는 현생 퇴적물에서 약 1,000ppm의 Sr를 함유하나 속성과정에서 다른 광물에 비해 안정하므로 지질시대가 오래된 암석에서도 상대적으로 Sr의 양이 많이 함유될 수 있기 때문이다. 현재 대부분의 LMC로 구성된 패각을 가진 생물들은 깊은 바다에서 서식하고 있는 것으로 보아 풍촌석회암층의 최하부층이 깊은 바다에서 퇴적되었다는 주장도 가능하나, 최하부층의 어란상 및 oncolitic구조를 감안하면, 퇴적환경이 아조간대(subtidal zone)로 해석됨으로 원래의 구성광물이 아라고나이트이었을 것으로 해석된다.

현생의 해수에 함유되어 있는 Sr^{2+}/Ca^{2+} 비는 $(0.86 \pm 0.04) \times 10^{-2}$ 이며, 이 값은 캠프리아기 이후 대체로 일정하다고 한다(Turekian, 1974).

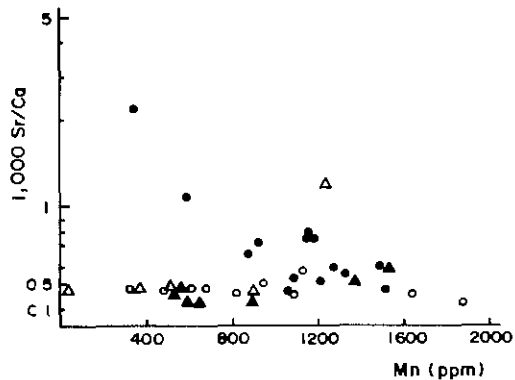


그림 11. 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분내에 함유되어 있는 Mn 함량 대 1000 Sr/Ca 값의 표시도 (검은 원: 최하부층; 검은 삼각형: 하부층; 흰 삼각형: 중부층; 흰 원: 상부층).

따라서 고기 탄산염암에 함유되어 있는 Sr^{2+}/Ca^{2+} 값은 속성작용의 특성을 의미하거나 혹은 원래의 광물성분과 밀접한 관계가 있다고 한다 (Brand and Veizer, 1980). 그들에 의하면 HMC는 0.44, 아라고나이트는 0.78 그리고 LMC는 1.40의 $1,000 \times Sr/Ca$ 값을 가진다고 한다. 풍촌석회암층의 최하부층은 평균 0.74 그리고 그 상부층들은 0.44, 0.54, 0.40의 값을 보여주고 있다. 이 값들은 Brand and Veizer (1980, p. 1223)의 연구결과와 비교하면 최하부층의 원래 광물 성분은 아라고나이트이고 그의 층들은 HMC로 구성되어 있었다고 할 수 있다. 또한 그들의 $1,000 Sr/Ca$ 과 Mn양에 의한 모형(p. 1230, Fig. 9)과 이번 연구결과의 하나인 그림 11과 비교하여 보면, 역시 풍촌석회암층의 원래 구성 광물들은 최하부층은 아라고나이트 그리고 기타층은 HMC로 구성되어 있었다고 해석된다.

(4) 철 (Fe)

풍촌석회암층을 구성하는 탄산염 성분에서 함유되어 있는 Fe^{2+} 함량은 특히 높은 값을 보인 9.620 ppm의 한 표본을 제외하면 1,020 ppm에서 5.380 ppm의 값을 가지며, 평균 값은 2.772 ppm이다. 풍촌석회암의 Fe^{2+} 함량은 중부층에서만 특히 높고 그 외에는 유사한 값을 보여주고 있다.

Fe는 자연계에서 산화상태(Fe^{3+}) 또는 환원상태(Fe^{2+})로 존재한다. 탄산염 성분을 구성하고 있는 방해석 격자내에서 Ca^{2+} 를 치환할 수 있는 것은 Fe^{2+} 이므로 방해석 성분에서 Fe가 많이 함유되어 있기 위해서는 수용액중에 Fe가 Fe^{2+} 상태로 함유되어 있어야 한다. 일반적으로 해수에는 Fe^{2+} 이 1.3 ppm 정도 함유되어 있어서 해수에서 침전된 방해석의 Fe농도는 0.01% FeO를 초과하지 않는다 (James and Klappa, 1983). 지하수에는 산소가 많이 함유되어 있는 산화상태이므로 Fe^{3+} 상태의 철이 함유되어 있고 따라서 Ca^{2+} 을 치환하기 곤란하다. 그러나 퇴적물이 퇴적되어, 특히 세립질 퇴적물인 경우에는 매몰된 후 공극수가 산화상태에서 환원상태로 점차 변하게 되어 Fe^{2+} 증가하게 되고 따라서 Ca^{2+} 와 많은 치환이 일어나게 되고 Fe의

함량이 증가된다. 따라서 풍촌석회암층의 탄산염 성분에서 함유된 높은 Fe^{2+} 함량은 풍촌석회암층이 퇴적 매몰된 후 연속적으로 이루어지는 속성과정 중에서 담수의 영향을 받은 용해 작용과 침전작용이 여러번 반복되면서 형성된 것으로 해석된다.

결 론

첫째, 풍촌석회암층을 구성하는 탄산염암질 표본 44개를 분석한 결과 각각의 평균값은 Ca는 36.91%, Mg는 8.151 ppm, Fe는 2.772 ppm, Mn은 903 ppm, Sr은 180 ppm, K은 253 ppm, Na는 159 ppm, 그리고 불용성 물질은 평균 9.5% 함유되어 있다.

둘째, 미량원소의 여러 원소들이 중부층을 중심으로 변화를 보여주나 각 층내에서는 각 원소의 함량이 유사하며 층별로 구분이 가능한 경우가 많다. Ca는 하부층에서 상부층으로 약간 증가하며, Mn은 중부층에서 가장 적고 상, 하층에서 증가하며, Mg와 Fe는 반대로 중부층에서 가장 많고 상, 하층으로 가며 감소한다. Sr과 K는 최하부층에서 가장 많고 상부층에서 감소하며, Na는 최하부층이 가장 적고 상하층에서 증가하며, 불용성 물질은 최하부층에서 유난히 많고 그 상부층에서는 유사하다.

셋째, 풍촌석회암층에 함유되어 있는 Na의 평균 함량(159 ppm)은 현생 탄산염광물에 함유되어 있는 양(1,000 ppm)에 비해 훨씬 적으며, 이는 담수의 영향을 받은 속성작용의 결과로 해석된다. Na의 함량은 불용성 산류물의 양과 무관하며, 이들은 층별로는 차이가 많으나, 각 층내의 함량은 유사하다. 고기 탄산염암내의 Na의 연구결과와 비교하면 풍촌석회암층들은 아마도 정상적인 해양환경에서 형성된 것으로 해석된다.

넷째, 풍촌석회암층에 비교적 많은 양의 Mn과 Fe가 함유되어 있는 것은 자연수의 영향을 받은 속성작용의 결과로 해석되며, 풍촌석회암층의 중부층에 유난히 적은 양의 Mn이 함유되어 있는 것은 원래의 구성광물이 아라고나이트

이었던 것으로 해석된다.

다섯째, 풍촌석회암층에 Sr이 비교적 적은 양 함유되어 있는 것은 원래의 구성 광물이 주로 HMC(High Mg-Calcite)이나 혹은 아라고나이트와 HMC로 구성되어 있었던 것이 후에 자연수의 영향을 받은 속성작용의 결과로 Sr양이 감소된 것으로 해석되며 특히 후기의 속성과정 중에서 Sr이 많이 감소된 것으로 해석된다. 그러나 최하부층이 Sr을 많이 함유하고 있는 것은 원래 아라고나이트 광물을 많이 함유하고 있었기 때문인 것으로 해석된다.

참고문헌

- 박병권, 우경식, 1986, 중부 캄브리아계 풍촌석회암층의 탄소 및 산소 동위원소 성분: 대한지질학회지, 제22권 p. 40-52.
- 박병권, 홍성민, 오재경, 1986, 중부캄브리아계 풍촌석회암층 하부 이란상 탄산염암의 속성작용: 대한지질학회지 (인쇄예정)
- 손치무, 정창희, 1965, 태백산지구의 퇴적환경과 지질구조: 서울대, 과학기술잡지, 제15권 p. 1-31
- 영풍광업조사실, 1983, 장성-동점지역 지질도(미발표자료)
- 태백산지구 지하자원조사단, 1962, 태백산지구 지질도: 대한지질학회
- 한갑수, 1969, 연화광산의 지질광상: 광산지질, 제2권 제3호, p. 47-57.
- Ahrens, L. H., 1964, The significance of the chemical bond for controlling the geochemical distribution of the elements—Part 1: In, Ahrens, L. H., Press, F and Runcorn, S. K., (eds.) Physics and Chemistry of the Earth: MacMillan, New York, N. Y., p. 4-54.
- Al-Aasm, I. S. and Veizer, J., 1986, Diagenetic stabilization of aragonite and low-Mg calcite, I. Trace elements in Rudists: Jour. Sed. Pet., v. 56, p. 138-152.
- Anderson, T. F., 1969, Self-diffusion of carbon and oxygen in calcite by isotope exchange with carbon dioxide: Jour. Geophys. Res., v. 74, p. 3918-3932.
- Badiozamani, K., 1973, The Dorag dolomitization model-application to the Middle Ordovician of Wisconsin: Jour. Sed. Pet., v. 43, p. 965-984.
- Bathurst, R. G. C., 1975, Carbonate Sediments and their Diagenesis (2nd ed.). Elsevier, Amsterdam, 620p
- Bencini, A. and Turi, A., 1974, Mn distribution in the Mesozoic carbonate rocks from Lima Valley, northern Apennines: Jour. Sed. Pet., v. 44, p. 773-783
- Bolger, G. W., Betzer, P. R., and Gordeev, V. V., 1978, Hydrothermally derived manganese suspended over Galapagos spreading center: Deep-Sea Res., v. 25, p. 721-733.
- Brand, U. and Veizer, J., 1980, Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system-I: Trace element: Jour. Sed. Pet., v. 50, p. 1219-1236.
- Churnet, H. G. and Misra, K. C., 1981, Genetic implication of the trace element distribution pattern in the Upper Knox carbonate rocks, Copper Ridge District, East Tennessee: Sed. Geol., v. 30, p. 173-194.
- Cross, T. S. and Cross, B. W., 1983, U, Sr, and Mg in Holocene and Pleistocene corals *A. palmata* and *M. annularis*: Jour. Sed. Pet., v. 53, p. 587-594.
- Devison, W., 1981, Supply of iron and manganese to an anoxic lake basin: Nature, v. 190, p. 241-243.
- Eaton, A., 1979, The impact of anoxia on Mn fluxes in the Chesapeake Bay: Geochim. Cosmochim. Acta, v. 43, p. 429-432.
- Fredman, G. M., 1965, Occurrence and stability relationship of aragonite, high-magnesian calcite, and low-magnesian calcite under deep-sea conditions: Jour. Geol. Soc. London, v. 136, p. 157-164.
- Graf, D. L., 1960, Geochemistry of carbonate sediments and sedimentary carbonate rocks—Minor element distribution: Illinois State Geol. Surv. Circ., 301, 71p.
- Harris, W. H. and Matthews, R. K., 1968, Subaerial diagenesis of carbonate sediments; efficiency of the solution-reprecipitation process: Science, v. 160, p. 77-79.
- Holland, H. D., Borcsik, M., Munoz, J. and Oxburgh, U. M., 1963, The coprecipitation of Sr^{+2} with aragonite and of Ca^{+2} with strontianite between 90° and 100°C: Geochim. Cosmochim. Acta, v. 24, p. 957-977.
- Holland, H. D., Holland, H. J. and Munoz, J. L., 1964, The coprecipitation of Sr^{+2} with calcite between 90° and 100°C: Geochim. Cosmochim. Acta, v. 28, p. 1287-1301.
- Inoue, K., 1907, Geology and mineral resources of Korea: Bull. Imp. Geol. Surv. Japan, v. 20, no. 1.
- James, N. P. and Klappa, C. F., 1981, Composition of particles and cements in Lower Cambrian reefs and precipitation of metastable carbonates in paleozoic ocean: Bull. Am. Assoc. Pet. Geol., v. 65, p. 941. (Abstract)
- James, N. P. and Klappa, C. F., 1983, Petrogenesis of early Cambrian reef limestones: Jour. Sed. Pet., v. 53, p. 1051-1096.
- Kin, J. Y. and Park, Y. A., 1981, Sedimentological study on the Pungchon and the Hwajeol formations, Gangweon-do, Korea: Jour. Geol. Soc. Korea v. 17, p. 225-240.
- Kinsman, D. J. J., 1969, Interpretation of Sr^{+2} concentration in carbonate minerals and rocks: Jour. Sed. Pet., v. 39, p. 486-508.
- Kobayashi, T., 1930, Three types of the Chosen and

- Sinian systems in Korea and Manchuria and the bearing of the Tsingling-Keijo line on the paleogeography: *Jour. Geol. Soc. Japan*, v. 3.
- Land, L.S., 1967. Diagenesis of skeletal carbonates: *Jour. Sed. Pet.*, v. 37, p. 914-930
- Land, L.S. and Hoops, C.K., 1973. Sodium in carbonate sediments and rocks: A possible index to the salinity of diagenetic solutions: *Jour. Sed. Pet.*, v. 43, p. 614-617.
- Lynn, D.C. and Bonatti, E., 1965. Mobility of manganese in diagenesis of deep-sea sediments: *Mar. Geol.*, v. 3, p. 457-476.
- McIntire, W.L., 1963. Trace element partition coefficients—a review of theory and applications to geology: *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 27, p. 1209-1264.
- Morrow, D.W. and Meyers, I.R., 1978. Simulation of limestone diagenesis—model based on strontium depletion: *Can. Jour. Earth Science*, v. 15, p. 376-396.
- Oxburgh, U.M., Segnit, R.E. and Holland, H.D., 1959. Coprecipitation of strontium with calcium carbonate from aqueous solutions. Program Geol. Soc. America Meeting, Pittsburgh, 95A-96A.
- Pauling, L., 1940. *The Nature of the Chemical Bond*: Cornell Univ. Press, Ithaca, N.Y., 450p.
- Pingitore, N.R. Jr., 1976. Vadose and phreatic diagenesis: Processes, products and their recognition in corals: *Jour. Sed. Pet.*, v. 46, p. 985-1006
- Pingitore, N.R. Jr., 1978. The behaviour of Zn^{2+} and Mn^{2+} during carbonate diagenesis: Theory and applications: *Jour. Sed. Pet.*, v. 48, p. 799-814.
- Rao, C.P. and Naqvi, I.H., 1977. Petrography, geochemistry and factor analysis of a Lower Ordovician subsurface sequence, Tasmania, Australia: *Jour. Sed. Pet.*, v. 47, p. 1036-1055
- Ringwood, A.E., 1955. The principles governing trace element distribution during magmatic crystallization—Part I. the influence of electronegativity: *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 7, p. 189-202
- Robinson, P., 1980. Determination of calcium, magnesium, manganese, strontium, sodium and iron in the carbonate fraction of limestones and dolomites: *Chem. Geol.*, v. 28, p. 135-146.
- Shanmugan, G. and Benedict III, G.L., 1983. Manganese distribution in the carbonate fraction of shallow and deep marine lithofacies, Middle Ordovician, Eastern Tennessee: *Sed. Geol.*, v. 35, p. 159-179.
- Sibley, D.F., 1979. Dolomitization of Plio-Pleistocene carbonate sediments, Bonaire, Netherlands Antilles. *Am. Assoc. Pet. Geol. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Abstr. with programs*, v. 6, p. 164 (Abstract).
- Turekian, K.K., 1974. The marine geochemistry of strontium. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 28, p. 1479-1496.
- Veizer, J., 1974. Chemical diagenesis of Belemnite shells and possible consequences for paleotemperature determinations. *Neues Jahrb. Geol. Paläont. Abh.*, v. 147, p. 91-111.
- Veizer, J., 1977. Diagenesis of Prequaternary carbonates as indicated by tracer studies: *Jour. Sed. Pet.*, v. 47, p. 565-581
- Veizer, J. and Demovic, R., 1974. Strontium as a tool in facies analysis: *Jour. Sed. Pet.*, v. 44, p. 93-115.
- Veizer, J., Lemieux, J., Jones, B., Gibling, M.R. and Savelle, J., 1977. Sodium, paleosalinity indicator in ancient carbonate rocks: *Geology*, v. 5, p. 177-179.
- Wildeman, T.R., 1970. The distribution of Mn^{2+} in some carbonates by electron paramagnetic resonance: *Chem. Geol.*, v. 5, p. 167-177.
- Yun, S.K., 1978. Petrography, chemical composition and depositional environments of the Cambro-Ordovician sedimentary sequences in the Yeonwha 1 mine area, Southeastern Tae Bag San Region, Korea: *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 14, p. 145-174.

Manuscript received Dec. 15, 1985.

중부 캄브리아기 우이드 여울 퇴적층 : 풍촌석회암층 하부의 어란상 탄산염암

Middle Cambrian Ooid Shoal Deposits:

The Oolitic Carbonate Rocks of Lower Pungchon Limestone Formation, Korea

박병권(Byong-Kwon Park)* · 한상준(Sang-Joon Han)**

要 約

중부 캄브리아기 풍촌석회암 하부층을 구성하고 있는 어란상 탄산염암은 누위봉형 조선누층 퇴적분지에 비교적 넓게 분포되어 있다. 이 연구는 두위광형 조선누층군의 보식지역인 장성-동점지역에 분포하는 어란상 탄산염암을 구성하고 있는 암상을 구분하고 퇴적환경을 밝히고자 하였다. 이 연구에 시는 장성지역에서 시추하여 얻은 시추코플과 동점지역의 연화광염소 함대의 코플들을 주로 사용하였다.

이 지역의 어란상 탄산염암은 우이드, 펠로이드, 온코이드, 단산염 암설 및 생체신물의 압착물로 구성된 집가암과 팩스톤(packstone)으로 구성되어 있다. 구성암자를 기준으로 이들을 분류하면 어란상 암상, 온코리틱 암상 및 펠로이드-온코리틱 암상으로 구분된다. 어란상 암상은 주로 oosparite 혹은 lime-grainstone으로 구성되어 있으며 수평 및 경사층리가 발달되어 있다. 온코리틱 암상은 주로 oncosparite 혹은 oncoids lime-packstone으로 구성되어 있으며 수평층리가 비교적 잘 발달되어 있다. 펠로이드-온코리틱 암상은 주로 pelsparite 및 peloncosparite 혹은 peloids-oncoids lime-packstone으로 구성되어 있으며, 이 암상에는 층리가 뚜렷하지 않으며 코플에 따라 침식면과 생물학 burrowing구조가 관찰된다. 어란상 암상을 구성하고 있는 암상들은 퇴적물의 구성입자, 퇴적구조 및 산출 상태가 령형 탄산염암 대지의 우이드 여울중 mobile fringe와 sand flats퇴적상과 유사하다.

따라서 어란상 탄산염암은 캄브리아기에 존재하였다. 수심 3-5m 미만의 우이드 여울 퇴적환경에서 형성된 것으로 해석된다.

Abstract : The middle Cambrian Pungchon Limestone Formation consists largely of carbonate rocks and interbedded thin shale unit, but it also contains thin oolitic carbonate bed at the lower part of the formation. This study was intended to investigate the sublithofacies and depositional environments of the oolitic carbonate rocks in Dongjeom-Jangseong area, the type locality of the Duwibong-type Joseon Supergroup, Korea. Cores drilled at the study area and samples collected from the underground tunnels were mainly used to analyze sublithofacies of the rocks.

The oolitic carbonate rocks are a grainstone or packstone consisted mainly of ooids, peloids, oncoids, intraclasts and bioclasts. Three sublithofacies within the oolitic carbonate facies are differentiated by the proportions of grain types: oolitic, oncolitic and peloidal-oncolitic sublithofacies. Oolitic sublithofacies is largely a coarse-grained oosparite or lime-grainstone with plane or inclined bedding. Oncolitic sublithofacies is a very coarse grained oncosparite or oncoids lime-packstone with well developed plane-bedding. Peloidal-oncolitic sublithofacies is a relatively fine to medium grained pelsparite and peloncosparite or peloids oncoids lime-packstone with several erosional surfaces and burrowing structures. By analogy of grain types,

* 육군사관학교 지구과학과(Department of Earth Sciences, Korea Military Academy)

** 한국과학기술원 해양연구소 해양지질연구실(Geological Oceanography Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute)

sedimentary structures and occurrence with recent oolite environment along the carbonate platform. each of the sublithofacies corresponds to a subenvironment within the middle Cambrian shoal. Oolitic sublithofacies represent a mobile fringe, and oncolitic and peloidal-oncolitic sublithofacies represent a sand flats of ooid shoal environments of 3 to 5m deep. developed along the carbonate platform.

서 론

어란상 탄산염암은 석유의 중요한 지류암이므로 또한 광화용액의 모암으로서 오랫동안 중요한 연구 대상이 되어왔다. 이는 주로 우이드(ooids)로 구성되어 있으며 내부조직(fabric)과 광물 성분은 다양하다. 현생 탄산염퇴적물 내의 우이드는 주로 아라고나이트로 구성되어 있고 대부분 동심원형의(concentric) 구조를 보여주는 반면 고기 탄산염암 내에 포함되어 있는 우이드는 주로 LMC(Low Mg-Calcite)로 구성되어 있고 대부분 방사상(radial) 구조를 보여거나 혹은 타원의 결정들이 서로 연결되어 있다(James and Klappa, 1983). 고기 탄산염암 내에 함유되어 있는 우이드의 광물 성분을 저질시대별로 구분하여 연구한 결과에 의하면 아라고나이트와 LMC가 주기적으로 산출되고 있으며 특히 대륙이 상대적으로 융기하는 기간에 아라고나이트가 많이 형성되고, 침강할 때 LMC가 많이 형성된다고 한다(Mackenzie and Pigott, 1981, Sandberg, 1983; Brand and Veizer, 1983). 이러한 현상들은 해수면의 변화와 연관이 있으며 또한 해수의 Mg/Ca 함량도(Sandberg, 1975; Wilkinson, 1979), 대기중의 pCO₂(Mackenzie and Pigott, 1981, Sandberg, 1983), 해저의 풍화작용(sumarine weathering)등 탄산염이 평형을 유지하는데 영향을 미치는 요인들과 해저 열수의 활동(hydrothermal activity)에 연관된 물리 화학적 변화(Wilkinson *et al.*, 1985)에 기인하는 것으로 해석되고 있다. 이와 같이 어란상 탄산염암에 관한 연구는 Sorby(1879)의 연구 이래 다양하게 연구되고 있다. 이 연구에서는 어란상 구조를 보여주는 풍촌석회암층 하부층의 암상과 퇴적환경을 밝혀 보고자 하였다.

풍촌석회암층을 구성하는 어란상 탄산염암에 관한 연구는 아직 미진한 상태이나 풍촌석회암층의 퇴적환경과 지구화학에 관한 연구는 문헌에 부분적으로 이루어지고 있다(Yun, 1978, Kim and Park, 1981, 박병권과 우경식, 1986, 박병권과 한상준, 1986). 이 연구는 한국과학재단의 연구지원 사업의 일환으로 이루어졌음을 밝힌다. 또한 이 논문을 읽고 많은 조언을 해주신 서울대학교 김수진교수께 감사한다. 끝으로 길재 연구와 제도를 도와주신 안하대학교 홍성민 박사께 감사한다.

연구재료 및 방법

이 연구는 강원도 장성 지역에서 시추하여 얻은 시추량 83-2(그림 1)의 시추표본과 열화광업소 항내에서 채취된 표본 중에서 풍촌석회암층 하부의 어란상 구조를 보여주는 탄산염암이 선별 사용되었다. 시추표본에서는 0.5내지 1m 간격으로 표본을 선별하였으며 항내에서는 항내수준(level)에 따라 11개 지역에서 표본을 채취하였다. 특히 어란상 구조가 뚜렷한 부분을 우선적으로 선별하였다. 실내로 운반된 표본들은 수직으로 절단한 후, 한 면은 연마하여 육안 관찰에 사용하였으며 다른 한 면은 박편 제작에 사용하였다. 표본중 100여개 암편을 선별하여 박편을 제작한 후 Alizarine red-S와 Potassium ferri-cyanide로 착색시켜 광물 감정에 사용하였다. 또한 30여개의 암편을 선별하여 착색시키지 않은 박편을 만들어 구성 성분 식별과 구조(fabric) 연구에 사용하였다.

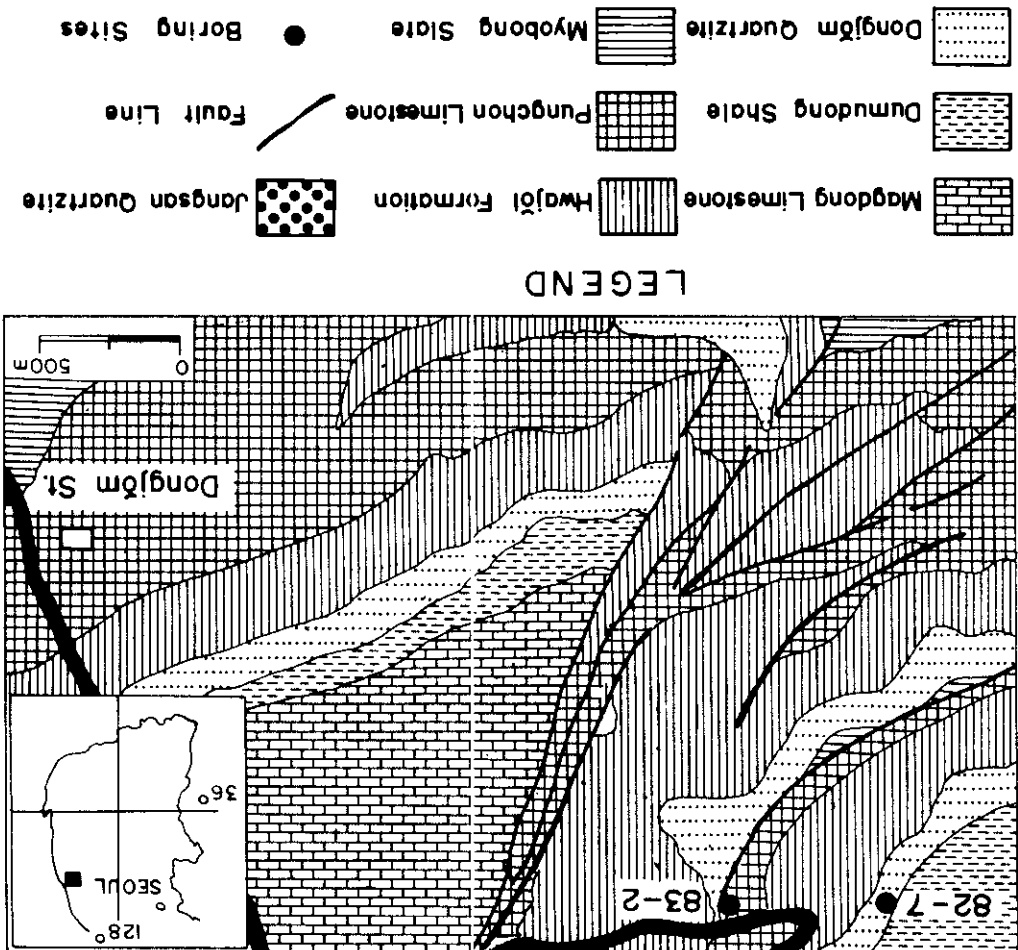
지질 개관

풍촌석회암층은 대석회암층군의 하부 지층으

한 야외에서 식별이 용이한 암색 및 암상을 기준
으로하여 8개 지층으로 구분 사용되고도 있다
(라갈수, 1969; Yun, 1978). 그러나 이 연구에
사용한 시추표본(시추공 83-2)의 대체적인 구성
도(박병권과 한상준, 1986)에 의하면 풍화석회
암층은 특징적인 지층인 흑색 셰일층과 유백색
내지 탄회색 boundstone를 기준으로 하여 좌하
부층, 셰일층, 하부층, 중부층(boundstone) 및
상부층으로 5대분할 수 있다.

모서 암석층군의 상부층인 표본스트레이트층 위
에 정형적으로 용여있고, 풍화석회암층 상부에
는 좌편층이 정형적으로 용여있다. Kobayashi
(1930)는 이 층을 대기층이라 명명하였으나 태백
산지구 지하자원조사단(1962)이 이를 풍화석회
암층으로 개칭한 후 현재까지 사용되고 있다.
지름까지 보고된 바에 의하면 풍화석회암층은
중부 캄브리아기 지층으로 주로 유백색, 암회
색, 탄회색의 피상 석회암으로 구성되어 있고
층간 석회암역암과 이리산 및 북모마이트릴 석
회암이 협재되어 있으며, 하부에는 이암층이 협
재되어 있다고 알려져 있다. 풍화석회암층은 또

그림 1. 동점-장성지역 시추도상에 본 연구에 사용한 시추표본을 획득한 시추공의 위치가 표시되어
있다(영동광업조사선, 1983).



동부 캄브리아기 용여층 퇴적층

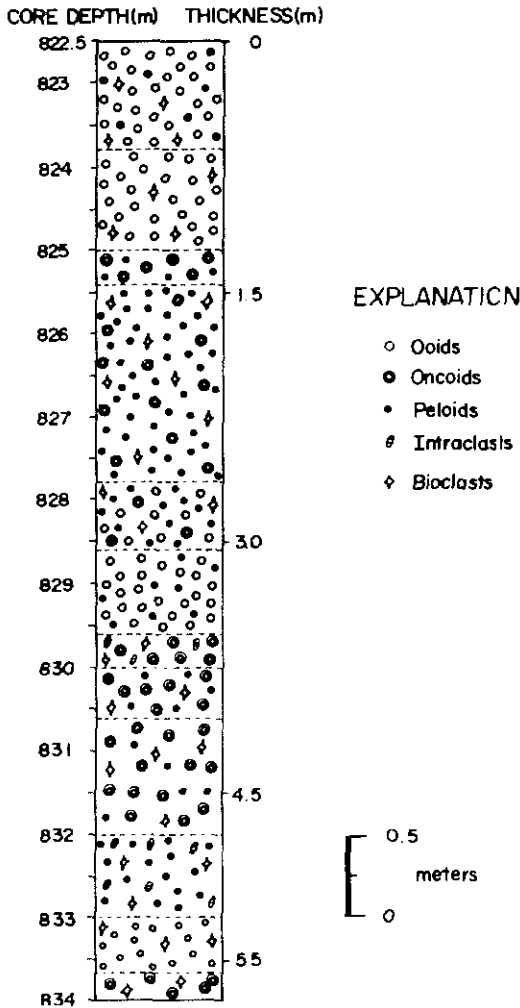


그림 2. 시추공 83-2의 시추표본을 이용하여 만든 풍촌석회암층 하부의 어린상 탄산염암의 두께이다.

(oncolite) 및 생체절물 등이 포함되어 있으며 종래의 분류에 의하면 풍촌석회암층의 P₁층에 해당된다. 이 연구 대상인 어린상 탄산염암층의 주향은 N20°W에서 N10°E, 경사는 45-50° SW 혹은 NW이고 시추표본에 의하면 두께가 5m 내외에 달하며 주로 오라이트(oolite)와 온코라이트(oncolite)로 구성되어 있고, 연화광염소 지역 향내 조사에 의하면 이 층의 두께는 약 25m 내외

에 달한다. 누워봉형 조선누층군의 표식 분포 지역인 장성-동점 지역에서의 어린상 탄산염암층의 두께는 지역에 따라 많이 다르나 퇴적분지 내에 비교적 연속적으로 분포하고 있다.

결과 및 토의

구성입자

이 연구에 사용한 표본중에서 지표 노두나 향내 표본에서는 연속적인 암상의 변화를 깨닫기 관찰할 수 없었으므로, 시추공표본을 기준으로 풍촌석회암층 하부의 어린상 탄산염암의 암상을 구분하여 보면 오라이트암상, 온코라이트암상 및 켈로이드-온코라이트암상으로 구분된다(표 1). 이 암상을 구성하는 입자들은 주로 암회색의 우이드, 켈로이드, 온코이드, 탄산염암 암결(carbonate intraclasts) 및 생체절물(bioclasts)로 구성되어 있다.

우이드(ooids): 풍촌석회암층의 하부를 구성하는 어린상 탄산염암의 주요 구성입자중의 하나는 우이드이다. 우이드의 핵을 구성하는 물질들은 대부분 용해작용과 재결정작용을 받아 식별이 어려우며, 일부에서는 생체절물 특히 알과충물체절편과 채갈성 석영입자들이 핵을 구성하고 있다. 이들 생체절물의 원마도가 매우 높은 것으로 보아 winnowing 작용이 강한 높은 에너지 환경(high-energy environment)하에서 장시간 머무른 후 우이드 형성시 핵의 역할을 한 것으로 해석된다. 그러나 핵을 이루고 있는 석영입자들은 원마도가 낮은 세립 입자층이다. 우이드의 크기는 473 μm 에서 1,054 μm 에 달하며, 형태는 구형 또는 타원형으로 그 중 변형된 우이드의 장경과 단경의 비는 1.48에서 2.11에 이른다. 우이드 내부의 성장 구조(growth fabric)는 용해 작용으로 소진되고 광다형성과 neomorphism의 결과로 단일 방해석 결정이나 25 μm 에서 75 μm 크기의 pseudospar 혹은 150 μm 에서 200 μm 의 equant한 소립질 sparry calcite가 모자이크된 형태로 충전되어 있다.

풍촌석회암층 하부에 산출되는 우이드를 내부

표 1. 중기 캠브리아기 몽촌석회암층 최하부에 발달한 어린상 탄산염암의 분류.

Sample No.	Folk(1959)	Dunham(1962)	Lithofacies
822.5	bioosparite or peloosparite	peloids-oids lime-grainstone with bioclasts	oolitic lithofacies
823.8	bioosparite	oids lime-grainstone with bioclasts	oolitic lithofacies
825.0	peloncosparite or oncosparrudite	peloids-oncoids lime-packstone	oncolitic lithofacies
825.4	biopelsparite or dolomitized oncopelsparite	selectively dolomitized peloids-oncoids lime-grainstone	peloidal- oncolitic lithofacies
827.8	biooncopelsparite or dolomitized bioopelsparite	selectively dolomitized oids peloids lime-packstone with bioclasts	peloidal- oncolitic lithofacies
828.6	pelsparite or peloosparite or dolomitized oosparite	selectively dolomitized peloids-oids lime-grainstone	oolitic lithofacies
829.6	silicified and/or dolomitized biointraoncosparrudite or intraoncosparrudite	selectively and/or dolomitized peloids-intraclasts -oncoids lime-packstone with bioclasts	peloidal- oncolitic lithofacies
830.0	biopeloncosparrudite or peloncosparrudite	peloids-oncoids lime-packstone with bioclasts	peloidal- oncolitic lithofacies
830.6	silicified biopeloncosparrudite or peloncosparrudite	silicified peloids-oncoids lime-packstone with bioclasts	peloidal- oncolitic lithofacies
832.0	silicified and/or dolomitized biointrapelsparite or intrapelsparite	silicified and/or dolomitized intraclasts-peloids -oncoids lime-packstone	peloidal- oncolitic lithofacies
833.0	bioosparite	oids lime-grainstone with bioclasts	oolitic lithofacies
833.7	dolomitized biooncosparrudite or oncosparrudite	dolomitized oncoids lime-packstone with bioclasts	oncolitic lithofacies

조직 형태에 따라 분류하면 mouldic ooid, neomorphic sparry ooid, radial fabric ooid 및 coarse calcite spar ooid의 4형태로 분류된다(그림 3).

Moldic ooids는 생성시 내부구조가 용탈되어 외각엽리 (cortical laminae) 등이 보존되어 있지 않고, 내신 sparry calcite 결정이 공극충진

(void-filling)상태로 채워져 있다(그림 3A).

Neomorphic sparry ooids를 구성하는 sparry calcite의 크기는 25 μm 내지 100 μm 에 이르며 대부분 pseudospar로 구성되어 있다. 이들은 동심원형상(concentric)의 호상구조가 희미하게 보존되어 있거나 혹은 크기가 일정하지 않은 결정들이 불규칙한 경계면을 형성하고 있다(그림

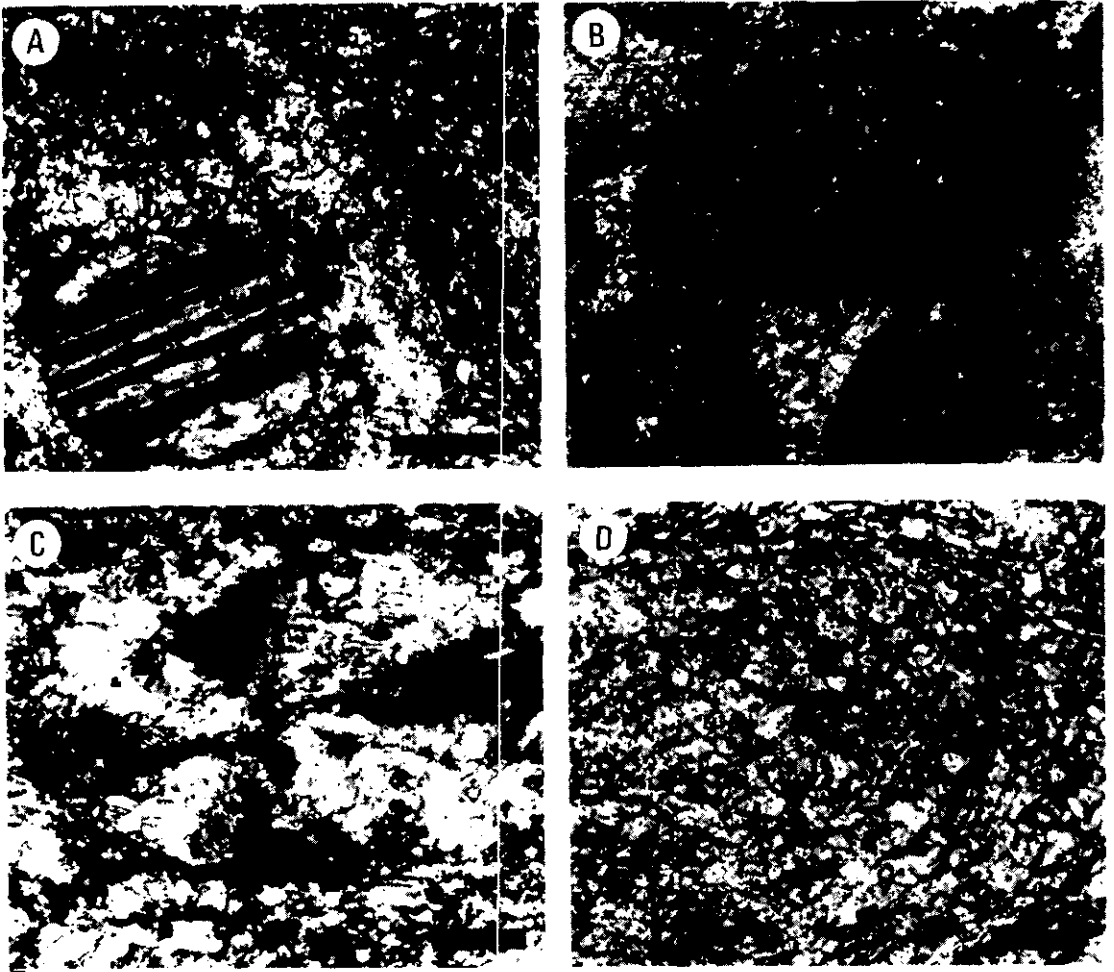


그림 3. 어린상 탄산염암을 구성하는 우이드(ooid)의 현미경 사진이다.
 A. 좌측하단의 우이드는 내부구성 성분이 용해된 후 고결물이 충전되어 형성된 moldic ooid이다. 우측 우이드 내부에는 microspar가 구성된 벨로이드 핵을 가지고 있다(축삭표시봉의 길이는 0.5mm).
 B. Neomorphic sparry ooid로서 방해석 microspar가 구성되어 있으며 내부에 동심원형 구조가 희미하게 남아있다(축삭표시봉의 길이는 0.5mm).
 C. Radial fabric ooid로서 세물대를 수계방향으로 회전할 시 소광된상이 반시계방향으로 회전한다(축삭표시봉의 길이는 0.1mm).
 D. Coarse calcite spar ooid로서 방해석 검정입자들이 다른 종류의 우이드에 비해 더 큰 축삭표시봉의 길이는 0.1mm).

3B). 이들 결정들은 pseudo-pleochroic하거나 단열소광(unit-extinction)현상이 나타나며 미세한 포획물이 많이 함유되어 있다.

이들 우이드의 내부 조직은 공극상(cavity phase)이 없이 구성광물인 아라고나이트가 용해되면서 동시에 LMC가 침전되는 thin-film교대

작용에 의해 형성된 것으로 해석된다.

Radial fabric ooids는 우이드 내부 조직이 방사상 조직을 보여주는 것이 특징이며, 이들은 일차적 퇴각조직이 radial fibrous한 결정들로 형성된 것으로 해석된다(그림 3C).

풍촌석회암층 하부의 어린상 탄산염암을 구성

하는 우이드는 방사상 조직중에서도 radial-fibrous mosaic 보다는 radiaxial fibrous mosaic의 구조를 보여주고 있다. Radial fibrous mosaic을 보여주는 우이드에서는 탄산염 광물들의 결정간 경계면이 불규칙하며, 중심부가 microspar로 형성되어 있지 않은 점이 radial-fibrous 조직과 다르다. 현미경하에서는 파장의 빠른 진동 방향(fast vibration direction)이 우이드의 중심에서 멀리질수록 집중되고 있으며, 현미경의 새물때(stage)를 시계 방향으로 회전시켜 소광시키면 소광 현상이 시계 반대 방향으로 회전하는 현상이 나타나는데 이것이 radiaxial-fibrous 조직의 특징이다(그림 3C). 이러한 조직을 갖는 우이드의 원래 광물 성분은 아라고나이트라고 알려져 있으며(Kendall and Tucker, 1973, Mazzullo, 1980), 그 후 속성작용으로 현채와 같은 dLMC(diagenetic Low Mg-Calcite)가 형성되었다고 해석된다.

Coarse calcite spar ooids는 우이드 내에 어떤 성장구조나 조직의 흔적이 없이 조립질의 sparry calcite로 구성되어 있는 것이 특징이다(그림 3D). 이 우이드는 drusy calcite spar로 구성된 공극충진 세멘트(cement) 기원과 방해석 광물의 결정간 경계면이 불규칙하며 결정의 크기도 다양하고 포유물이 많이 함유되어 있는 neomorphic spar기원으로 형성된 것으로 해석된다.

온코이드(oncoids): 풍흔석회암층 하부의 어란상 탄산염암에는 주구성원인 우이드와 더불어 온코이드가 층위에 따라 비교적 다량 함유되어 있다. 야외 노두에서는 회색 내지 암회색을 띠고 있으며, 직경 약 1cm 내외의 온코이드가 주위의 기질과의 차별용화작용으로 노출된 형태가 뚜렷하게 관찰된다. 온코이드의 직경 및 형태는 균일하지 않고 대체로 원형 내지 타원형이며, 직경이 커질수록 타원률이 증가하고 분급도가 양호하다(그림 4A). 시추코름에서는 크기가 비교적 작은 pseudo-oncoid (Dahanayake, 1977)가 산출되는데 반하여 연화광암소 상내에서는 동일한 층위에서 대단히 큰 온코이드가 다량 산출되고 있다. 일반적으로 평균 직경은 약 0.7 cm, 1.06 cm 및 1.83 cm의 세 부류로 구분되며, 가장 큰

온코이드는 다짐작용을 받아 장경과 단경의 비가 2.09 내지 2.41에 이른다.

온코이드의 동심원형 엽리는 대부분 aggrading neomorphism에 의해 구분이 명확치 않으나, 돌로마이트화 작용을 받은 온코이드의 엽리구조들은 연마된 표품이나 착색된 박편에서는 엽리층의 구분이 가능하다. 이 온코이드의 엽리구조는 대체로 두 형태로 구분된다. 첫째, 비교적 작은 크기의 온코이드는 연속적이고 잘 발달한 호상구조의 엽리조직을 갖고 있다. 이는 아마도 온코이드의 성장 과정중 어느 정도 구름작용(rolling)이 있었던 것으로 해석된다(Given and Wilkinson, 1985). 둘째, 상대적으로 직경이 큰 온코이드의 엽리조직은 불연속적이며 불규칙한 호상구조를 보이며 엽리의 두께도 일정하지 않다. 이는 온코이드의 성장시 간헐적인 구름작용으로 형성되었거나 혹은 온코이드의 엽리들이 석회질 해조류인 Girvanella의 tubules들로 형성된 것으로 해석된다(Coniglio and James, 1985) (그림 4A).

어떤 온코이드의 외각 엽리에는 저서동물에 의해 형성된 생물교란구조(burrowing structure)가 형성되어 있고, 그 내부에는 sparry calcite가 충전되어 있다.

펠로이드(peloids): 풍흔석회암층 하부의 어란상 탄산염암내에 우이드 및 온코이드와 더불어 함유되어 있는 펠로이드는 주로 microspar로 구성되어 있고, 크기는 직경이 최소 280 μm 에서 최대 1,800 μm 로, 평균직경이 480 μm 에 달하고, 형태는 대개 구형이나 타원형이다(그림 4B).

펠로이드는 구성성분 및 성인에 따라 fecal pellets, algal peloids, pseudo peloids, Bahamite peloids 및 pelletoids로 구분되며(Flügel, 1982). 성인은 유기체에 의한 pelletizing, 해조류의 calcification, 혹은 화학적 과정인 nucleation의 반복에 의해 형성된다고 한다(MacIntyre, 1985). 이중 풍흔석회암층 하부의 어란상 탄산염암내에 온코이드와 더불어 함유되어 있는 펠로이드는 주로 해조류 펠로이드(algal peloids)로 해석된다. 캠브리아기에 서식하였던 석회질 해

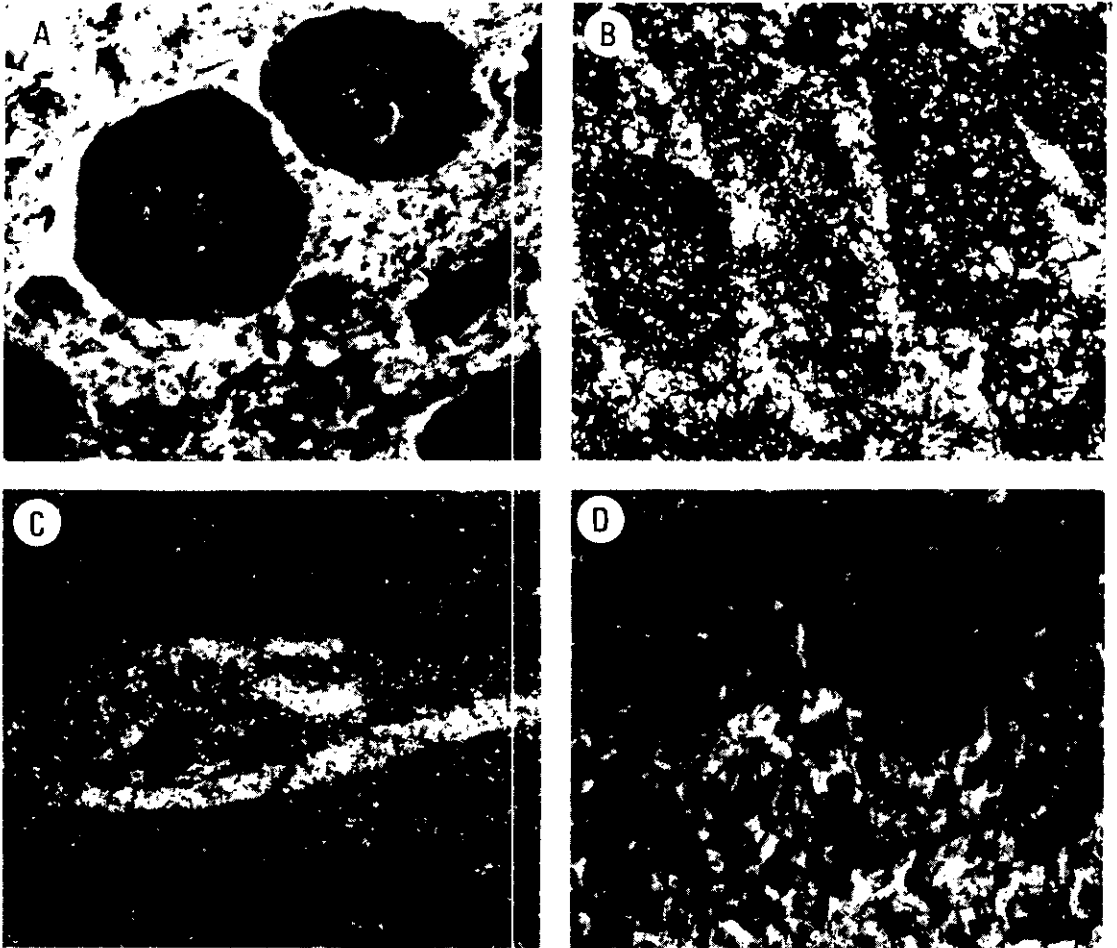


그림 4. 어란상 탄산염을 구성하고 있는 암석들의 종류이다.
 A. 온코이드의 암편 사진으로 핵주위를 둘러싸고 있는 석회질 해조류들의 암편들이며 그 주변에는 불규칙한 형태의 탄산염암 암석이 보인다(축척표시물의 길이는 5mm).
 B. 타원형 펠로이드의 현미경 사진으로서 주로 방해석 microsparite와 pseudosparite로 구성되어있다(축척표시물의 길이는 0.1mm).
 C. 삼엽충의 생체실물의 현미경 사진으로서 작은 생체실물이 내부에 함유되어 있다(축척표시물의 길이는 0.5mm).
 D. 각이진 타원형 암실과 튜브형의 석회질 해조들의 현미경 사진이다(축척표시물의 길이는 1.5mm).

조류인 *Girvanella*와 *Epiphyton* 등은 탄산염암 암석을 형성하기도 하고 혹은 그 자체들이 파쇄되어 석회질 펠로이드를 형성하기도 한다(Ccniglio and James, 1985).

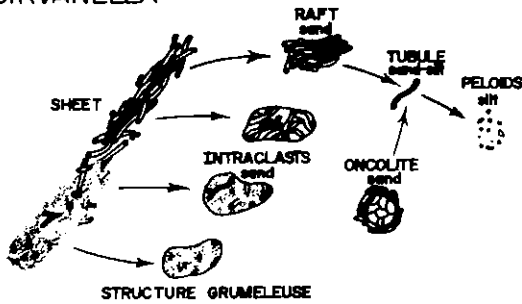
이러한 현상들은 그림 5에서 보는 바와 같이 석회질 해조류들이 파쇄되어 석회질 이암인 미

크라이트(micrite)와 펠로이드를 형성하는 것과 같은 과정이다. 이와 같이 풍존석회암층 하부의 어란상 탄산염암대에 온코이드와 같이 산출되는 펠로이드는 주로 캄브리아기에 서식하던 석회질 해조류인 *Girvanella*와 *Epiphyton* 등에 기인한 것으로 해석된다.

기타 구성입자 : 풍촌석회암층 하부의 어란상 탄산염암을 구성하는 입자들은 우이드, 온코이드 및 펠로이드 이외에 생체설물(bioclasts)과 탄산염암 암설 등이 있다(그림 4C). 생체설물들은 대부분 재결정작용과 돌로마이트화작용 및 규화작용을 받아 확실한 종(genus)의 동정은 불가능하였으며, 단지 외형상의 형태와 부분적인 내부 구조를 참고하여 구분하면, 주로 극피동물(echinoderm), 삼엽충(trilobite) 및 완족류(brachiopod) 등으로 구성되었으며 석회질 해조류의 부분들이 소량 함유되어 있다. 이중 비교적 많이 함유되어 있는 극피동물의 생체설물은 LMC의 커다란 단일 결정으로 구성되어 있고 sparry calcite 성분이 syntaxial overgrowth가 형성되어 있어서 쉽게 구분된다. 삼엽충과 완족류 생체설물들은 형태에 따라 구분되며 대부분 규화작용을 많이 받아 옥수(chalcedony)로 변해 있다. 그외 석회질 해조류들은 암회색의 불규칙한 형태나 신장된 튜브형등으로 산출된다(그림 4D).

탄산염암 암설들은 대체로 500 μm 의 크기

GIRVANELLA



EPIPHYTON

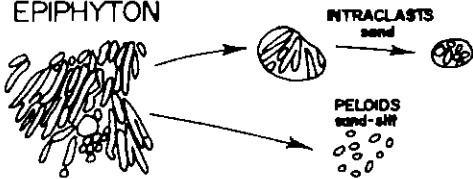


그림 5. 석회질 해조인 Girvanella와 Epiphyton들이 파쇄되어 우이드, 온코이드 및 암설을 형성하는 과정이다(after Coniglio and James, 1985)

비교적 원마도가 높으며 박층으로 산출된다. 이 암설들은 대부분 펠로이드와 유사한 구성성분을 가지며 내부에 생체설물의 파편이나 돌로마이트 혹은 규질물의 입자들이 함유되어 있다(그림 4D). 그 크기가 대체로 500 μm 이상이 되고 내부에 미세한 조직들이 관찰되면 펠로이드암설 (peloidal intraclasts)이라고 하고, 내부구조가 실트 내지 모래 크기의 펠로이드가 함유되어 있고 우이드, 생체성 물질 혹은 탄산염 물질들이 다량 함유되어 있는 암설들은 peloidal interclasts라 분류한다(Coniglio and James, 1985). 풍촌석회암층의 하부를 구성하는 어란상 탄산염암 내에 함유되어 있는 암설들은 대부분 미크리틱 암설(micritic intraclasts)들이다.

암 상

풍촌석회암층 하부의 어란상 탄산염암은 야외 노두에는 전 층후가 노출되어 있지 않으므로, 암상을 연속적으로 관찰 기재할 수 있는 시추표품을 주로 이용하여 탄산염암의 구성입자를 기준으로 어란상 탄산염암의 암상을 분리하면 어란상 암상(oolitic lithofacies), 온코리틱 암상(oncolitic lithofacies) 및 펠로이드-온코리틱 암상(peloidal-oncolitic lithofacies)으로 구분된다(그림 6).

어란상 암상(oolitic lithofacies) : 시추공 83-2의 표본에 의하면 어란상 탄산염암은 그 층후가 약 6m에 달하며 어란상 암상은 상, 중, 하에 1.2m, 0.7m 및 0.3m 두께로 협재되어 있다. 이 암상의 두께는 연화광업소 항내 조사에 의하면 지역에 따라 심한 변화를 보이고 있다. 이 암상은 주로 우이드로 구성되어 있고 펠로이드가 소량 함유되어 있으며, 입자들 사이에는 극피동물, 삼엽충 및 완족류의 생체설물이 소량 불규칙하게 산재되어 있으나, 분급도가 비교적 높은 입자암(grainstone)으로 형성되어 있다. 이 암상을 구성하는 암석은 Folk(1959)의 분류에 의하면 bioosparite, peloosparite 및 pelsparite들이며, Dunham(1962)의 분류에 의하면 ooids lime-grainstone 혹은 peloids-ooids lime-grainstone이다. 이중 어란상 탄산염암 중간부에 위치한 표

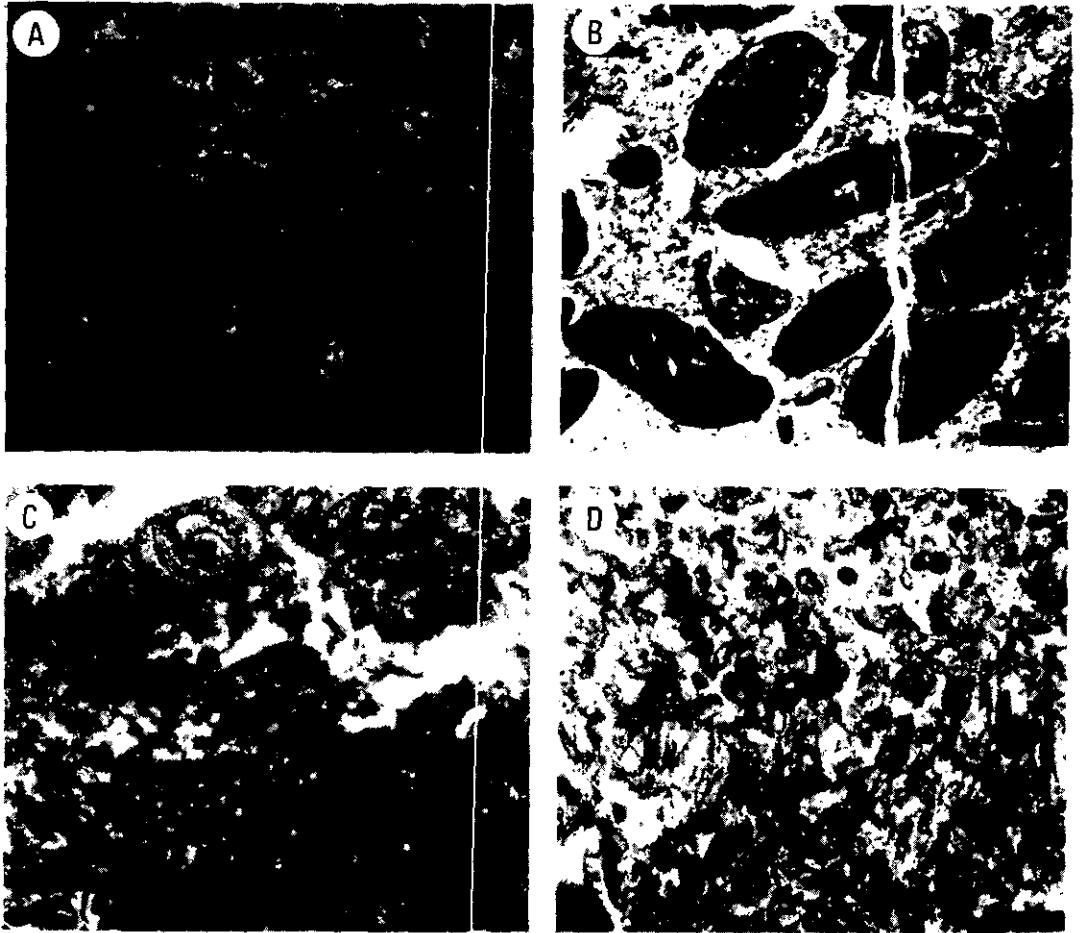


그림 6. 이란상 탄산염암을 구성하는 암상들이다.

- A. 어란상 암상의 현미경 사진으로서 우이드들이 압축 작용으로 타원형의 모양을 가지며 좌측경나래 스타이로라이트와 중진부에 틀어 보인바 주석교질물의 길이는 1.5mm.
- B. 온크리틱 암상의 암질 사진으로서 온크리틱과 수평의 온크리틱으로 구성된 타원형의 암상 및 미세적 microsparte로 구성된 암상들이 보인다. 중진부에는 방해석의 세맥이 발달되어 있다(주석교질물의 길이는 1cm).
- C. 펠로이드-온크리틱 암상의 암질 사진으로서 온크리틱, 펠로이드 및 석회질 액소유들이 복잡하게 혼합되어 있다. 중진에는 암질 용해 작용으로 암상들의 일부가 용해되고 유백색의 미세적 교질물들이 광대 충전 상태로 정착되어 있다(주석교질물의 길이는 0.5mm).
- D. 펠로이드-온크리틱 암상의 현미경 사진으로서 미세한 펠로이드와 석회질 액소유들로 구성되어 있다(축척교질물의 길이는 1.5mm).

품은 선택적인 돌로마이트화 작용을 받아 세립질 돌로마이트 결정들이 우이드 내에 산재되어 있다.

이 암상을 구성하는 우이드들은 주로 moldic ooids로 구성되어 있으며 neomorphic sparry ooids와 coarse calcite spar ooids가 소량 함유

되어 있다. 우이드의 직경은 0.5 cm 내외이고, 우이드의 핵으로는 생체세포의 세립질 암상들이 대부분이다. 이 암상에 함유되어 있는 펠로이드들의 직경은 300 μ m에서 500 μ m에 달하는 비교적 작은 암상들이며 주로 microsparte로 구성되어 있다. 이 암상에는 수평 내지 경사 층리가 아

의 노두에 발달되어 있으며 (그림 7A), 지추포 례내에서는 입자들의 성분과 크기에 따른 층리의 발달을 뚜렷하게는 알지못할 수 있었다.

온코리틱 암상(oncolitic lithofacies): 이 암상은 지추포 표층에서는 0.5m 내외의 박층으로 어린 상 탄산염암 중부 및 하부에 함재되어 있다. 지추포 시료에서는 온코이드의 크기가 1cm내외인 비교적 작은 pseudo-oncoids가 많이 산출되나 연화강암질 형태에는 크기가 약 2cm에 달하는 온코이드들이(그림 7C) 수 cm내지 수 십cm 수께의 박층이나 렌즈상으로 함재되어 있다. 이 암상은 비교적 분급이 잘 된 온코이드로 구성되어

있으나 같은 층층에 크기가 다른 pseudo-oncoids가 함유되어 있기도 한다. 온코이드 사이의 기질에는 생쇄질물, 우이드 및 펠로이드들과 석회-이암(lime-mudstone)이 축적작용으로 형성된 microspar들로 구성되어 있다. 온코이드의 모양은 곧 것일수록 타원형에 가까우나(그림 7B), 석회질 해조류가 업리를 형성하는 형태에 따라 다양한 모양을 가진다(그림 7D). 또한 퇴적후 다짐작용(compaction)에 의해 선장된 타원형을 이루기도 하나 이러한 형태는 직경이 큰 온코이드와 pseudo-oncoids에서 모두 관찰 된다. 이 암상을 구성하는 암석의 종류는 Folk(1959)의 분류에 의하면 peloncospartite, oncospartite

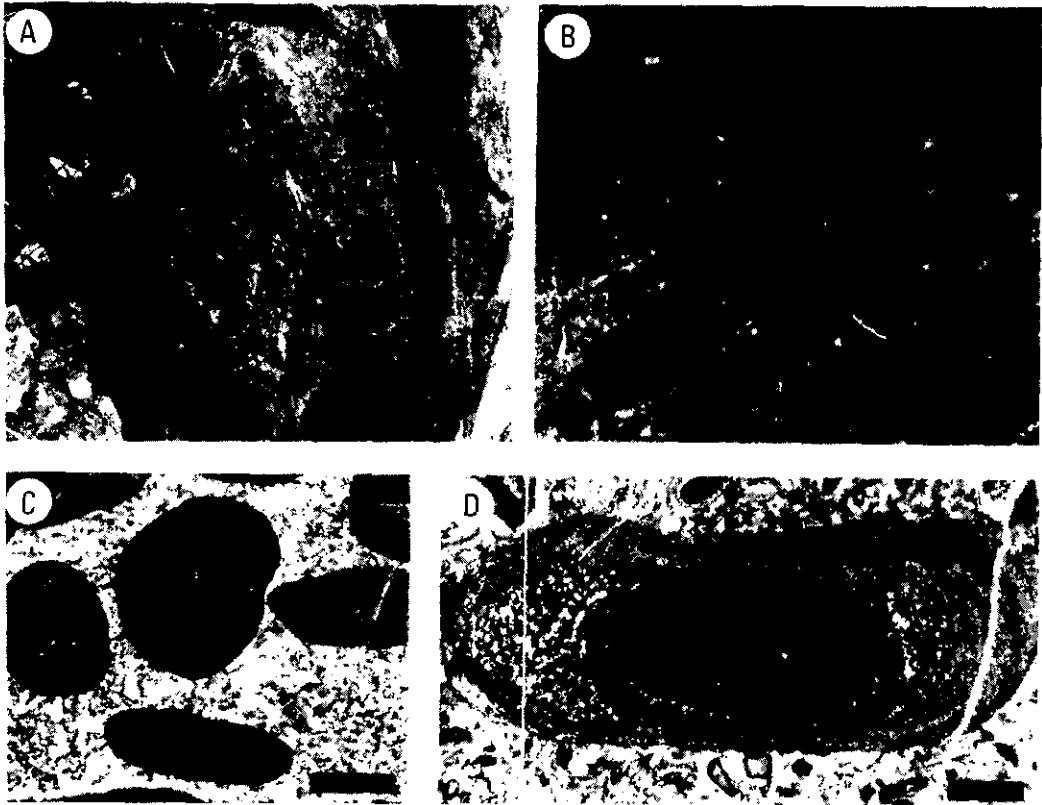


그림 7. A 이리산 탄산염암의 노두에서 저미하게 층리가 발달되어 있다.
 B 온코이드가 암상질층에 저미하게 산포되어 타원형의 형태를 보인다(온코이드의 길이는 0.5mm).
 C 온코이드의 위양도가 높은 것으로부터 낮은 것까지 다양하게 크면서도 여러 종류가 있다(온코이드의 길이는 0.5mm).
 D 타원형 온코이드의 대부분은 노저 렌즈에서 해물 이후에 그 주변에 미세강각으로 석회질 해조류의 업리층이 발달되어 있다(온코이드의 길이는 0.5mm).

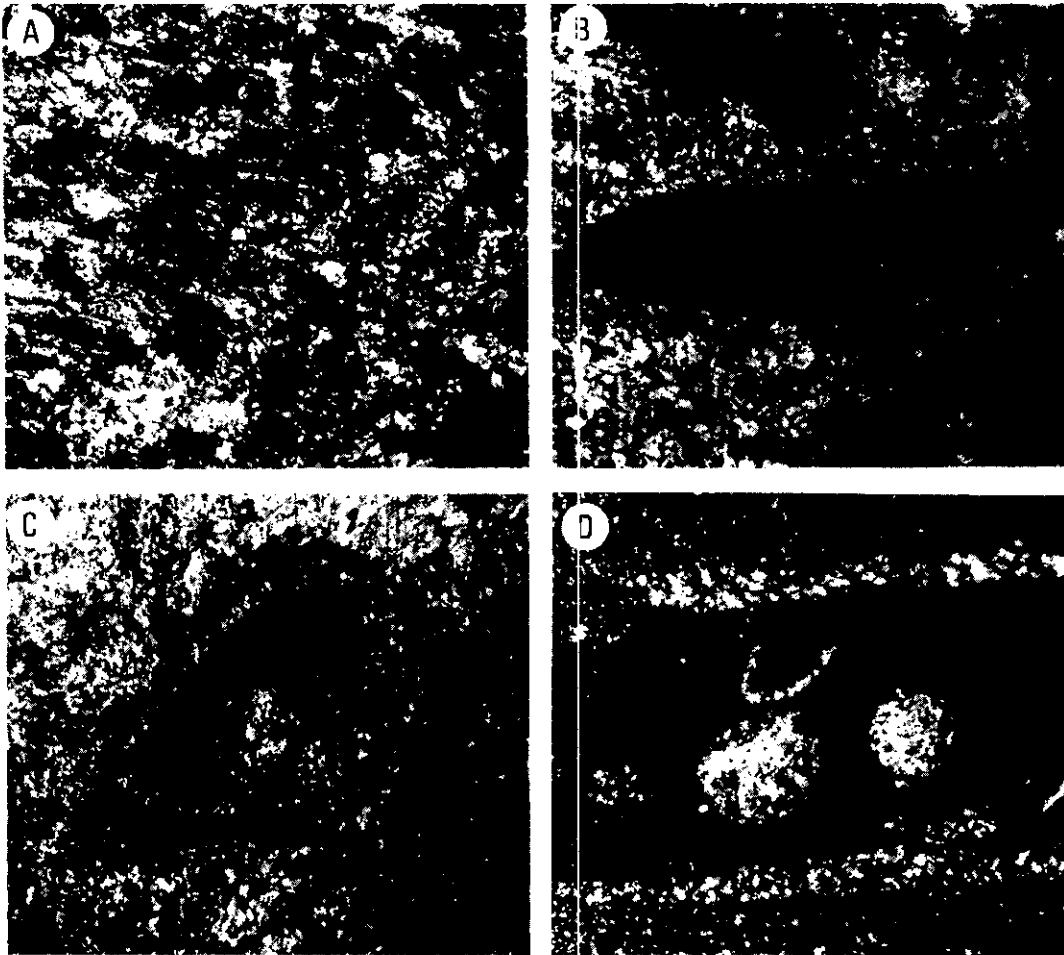


그림 8. A 석회질 매조류 부분이 많은 부분의 석회질 사진으로서 *Girvanella tubeles*들과 *micritic* 부분들이 작은 입자들로 정렬되어 있으며 부분적으로 미세적 *microspira*와 *pseudospira*들이 관찰되어 있다 (축적표지물의 길이는 0.5mm).
 B 편모이드의 석회질 사진으로서 주로 미세적 *microspira*로 구성되어 있으며 암조각판에 의해 잘려져 배열되어 있다 (축적표지물의 길이는 0.5mm).
 C 암조각 판 상부에 인접한 세립질 편모이드가 함유되어 있으며 편모이드는 선택적인 *neomorphism*에 의해서 미세적 *microspira*와 *pseudospira*로 변화되어 있다 (축적표지물의 길이는 0.5mm).
 D 집합층 내각부에 편모이드 및 세립질 생체상수가 함유되어 있으며 선택적인 *neomorphism*에 의해서 미세적 *microspira*와 *pseudospira*로 변화되어 있다 (축적표지물의 길이는 0.5mm).

엄임준(Cantrell and Walker, 1985) 등에서 보고된 바 있으며, 현생 탄산염이 퇴적되고 있는 Persian gulf(Loreau and Purser, 1973), Yucatan Shelf(Logan *et al.*, 1969), Shark Bay(Hogan and Logan, 1974) 및 Bahama Banks(Harris, 1979)등의 갯벌(tidal flats)이나 어울에서 형성되고 있다고 알려져 있다. 이중 비교적 상세

히 연구된 Bahama Banks 탄산염에서 연면부에서 형성된 우이드 어울은 대개 수심이 3m 내외로 높은 에너지 수준을 유지하는 좁고 긴 mobile fringe와 비교적 에너지 수준이 낮고 수심이 1m 이하인 넓은 사갈갯벌(sand flat)로 구분된다. 고 2에서 보는 바와 같이 이층 mobile fringe는 주로 우이드로 구성되어 있고 우이드의 크기가 중

표 2. 탄산염 대지 연변부 무이드 여울의 퇴적환경에 관한 요약 (Harris, 1979의 수정).

Environment	Description	Water Depth	Structures	Sediments
Mobile Fringe	Shallow mobile sand shoal fringing margin of stabilized sand flat	Intertidal to shallow subtidal (2m)	Inclined and horizontal laminae(rare), Cm thick coarse sand layers, 1-2mm thick fine sand laminae	Well to very well sorted, medium (fine sand upper to coarse sand lower) ooid sand average 1% mud
Sand Flat Organic mat bottom	Vast, shallow, vegetation-established flat. Bankward of marginal sand shoal	Shallow subtidal (<1m)	Bioturbation, distinct burrows, root disruption, Cm thick horizontal coarse sand layers (rare)	Moderately to poorly sorted medium (very fine to coarse) ooid-fine peloid-aggregate, muddy sand, average 5% mud (fewer aggregates, more fine peloids and mud in grass)
Mounded grassy bottom				
Tidal Channel	Extend partway through stabilized sand flat, trend at high angle to long axis of marginal sand shoal	Shallow subtidal (2-4m), generally 2-4m	Borings, inclined beds, bioturbation	Poorly to well sorted, medium to very coarse, ooid-skeletal sand, < 1% mud

립 내지 조립이며 분급도가 높는데 반하여 사질 갯벌(sand flat)은 우이드, 펠로이드, 온코이드 등의 다양한 퇴적물로 구성되어 분급도가 낮고 상대적으로 이질성분이 많이 함유되어 있다. 이 퇴적층에서는 하부층에서 상부층으로 갈수록 입자의 크기, 우이드의 양 및 입자지지조직(grain support fabric)들이 증가한다(Harris, 1979). 이번 연구 지역의 어란상 암상은 비교적 수평 층상의 박층으로서 수차 반복되어 산출되고 있다. 이 암상은 주로 중립 내지 조립질 모래 크기의 우이드로 구성되어 있으며 분급이 잘 된 입자암들로 구성되어 있다. 이러한 분급이 잘 된 입자암들은 높은 에너지 수준 환경인 beach ridge나 갯벌(tidal flats)사이에 발달되는 sand sheets나 bars등에서 형성되는 퇴적물과 유사하다. 이 암상의 퇴적층 내에는 수평 내지 경사층리가 회미하거나 발달되어 있으며 생물에 의한 퇴적물의 교란작용(bioturbation)이 거의 없는 퇴적학적 특징을 가지고 있으며 이것은 Bahama Banks의 우이드 어울 퇴적물의 특징과 거의 유사하다. 또한 입자 사이의 교질물들은 해수에서 형성된 것으로 해석되는 fibrous cement들이 많다. 이번 연구 지역의 온코이드 암상이 박층으로 층상이나 렌즈상으로 협재되어 있으며, 펠로이드-온코이드 packstone이나 입자암들이 두꺼운 층을 가지며 넓은 지역에 분포되어 있는 것은 현생 퇴적환경중 탄산염대지 연변부에 수심이 낮은(0-3m) 여울이나 사질 갯벌(sand flats)에서 형성되는 퇴적층과 유사하다(Hogan and Logan, 1974; Harris, 1979). 특히 작은 크기의 펠로이드나 우이드들(평균 직경 0.3mm), 재운반된 생체물질과 다른 입자들, 탄산염암질, 생체물질이나 펠로이드 또는 우이드들이 함유되어 있는 점, 그리고 석회질 조류들이 온코이드를 구성하거나 혹은 개별적으로 다양하게 다른 퇴적물내에 함유되어 있는 점들은 현생 탄산염대지 연변부의 갯벌 퇴적물과 유사하다. 온코리틱 암상에 보이는 fibrous cement는 해수중에서 교결작용(cementation)이 있었던 증거이며, 온코이드를 둘러싸고 있는 석회질 해조류들의 엽리가 비대칭적으로 형성되어있음으로 보아 여울과 갯벌중

의 약간 깊은 환경하에서 형성되었을 가능성이 있다(Hine, 1977). 이 암상의 특징인 낮은 분급도와 퇴적물 사이의 침식면, 그리고 원형의 온코이드와 비대칭적인 형태를 가진 온코이드가 혼합되어 있는 점 등은 이 퇴적물들이 간헐적으로 폭풍우(storm)의 영향을 받았음을 암시한다. 이 암상에 비교적 많이 함유되어 있는 석회질 해조류들은 다른 퇴적물과 같이 퇴적지역에서 생존하여 석회질 퇴적물을 형성하였을 가능성도 없지 않으나 주변 해역에 존재하였을 bioherms에서 운반 공급되었을 가능성도 있다.

이번 연구 지역의 어란상 암상들은 mobile fringe의 탄산염암질 우이드 입자암층과 유사하며, 온코리틱 암상과 펠로이드-온코리틱 암상은 사질갯벌환경의 여러 종류로 구성된 입자 및 석회질 해조류들로 구성된 packstone 암층과 유사하다. 따라서 풍존석회암층 하부를 구성하고 있는 어란상 탄산염암은 Bahama Banks의 우이드 어울(oid schoal)과 같은 퇴적환경하에서 형성된 것으로 해석된다(그림 9).

결 론

(1) 풍존석회암층 하부를 구성하는 어란상 탄

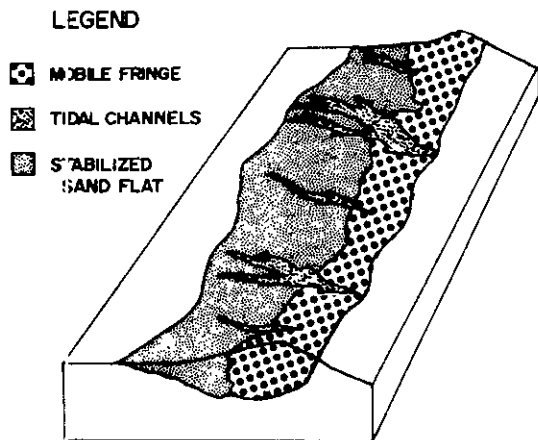


그림 9. 풍존석회암층 하부 어란상 탄산염암의 퇴적환경 모식도이다.

- : 대한지질학회.
 한갑수, 1969, 연회광산의 지질광상: 광산지질, 제2권, p. 47-57
- Ahr, W. M., 1973, The carbonate ramp-an alternative to the shelf model. *Gulf Coast Assoc. of Geol. Soc. Trans.*, v. 23, p. 221-225.
- Brand, U. and Veizer, J., 1983, *Origin of coated grains-trace element constrains*. In: Peryt, T., ed., *Coated Grains*, Springer-Verlage, p. 9-26.
- Cantrell, D. L. and Walker, K. R., 1985, Depositional and diagenetic patterns, ancient oolite Middle Ordovician, Eastern Tennessee: *Jour. Sed. Pet.*, v. 55, p. 518-531.
- Coniglio, M. and James, N. P., 1985, Calcified algae as sediment contributors to early Paleozoic limestones: evidence from deep-water sediments of the Cow Head Group, Western Newfoundland: *Jour. Sed. Pet.*, v. 55, p. 746-754
- Dahanayake, K., 1977, Classification of oncoids from the Upper Jurassic carbonates of the French Jura: *Sed. Geol.*, v. 18, p. 337-353
- Dunham, R. J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W. E., ed., *Classification of Carbonate Rocks- A Symposium* Am. Assoc. Petr. Geol. *Memoir* 1, p. 108-130.
- Folk, R. L., 1959, Practical petrographic classification of limestone. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, v. 43, p. 1-38.
- Flügel, E., 1982, *Microfacies Analysis of Limestone*. Springer-Verlag, 633p
- Given, R. K. and Wilkinson, B. H., 1985, Kinetic control of morphology, composition, and mineralogy of abiogenic sedimentary carbonates: *Jour. Sed. Pet.* v. 55, p. 109-119.
- Harris, P. M., 1979, Facies anatomy and diagenesis of a Bahama ooid shoal. In: Ginsburg, R. N., series ed., *Sedimenta VII*, Univ. of Miami, Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science, Miami, 163p.
- Hine, A. C., 1977, Lily Bank, Bahamas: History of an active oolite sand shoal. *Jour. Sed. Pet.*, v. 47, p. 1554-1581.
- Hogan, G. M. and Logan, B. W., 1974, Development of carbonate banks and hypersaline basins, Shark Bay, Western Australia. In: *Evolution and Diagenesis of Quaternary Carbonate Sequences, Shark Bay, Western Australia*. Am. Assoc. Petr. Geol., *Memoir* 22, p. 61-139
- James, N. P. and Klappa, C. G., 1983, Petrogenesis of early Cambrian reef limestones: *Jour. Sed. Pet.*, v. 53, p. 1051-1096.
- Kendall, A. C. and Tucker, M. E., 1973, Radial fibrous calcite: a replacement after acicular carbonate: *Sedimentology*, v. 20, p. 365-389.
- Kim, J. Y. and Park, Y. A., 1981, Sedimentological study on the Pungchon and Hwajeol formations, Gangweondo, Korea: *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 17, p. 225-240.
- Kobayashi, T., 1930, Three types of the Chosen and Sian systems in Korea and Manchuria and the bearing of the Tsingling-Keijo line on the paleogeography: *Jour. Geol. Soc. Japan*, v. 37
- Logan, B. W., Harding, J. L., Ahr, W. M., Williams, J. D. and Snead, R. G., 1969, *Carbonate sediments and reefs, Yucatan shelf, Mexico*: Am. Assoc. Petrol. Geologists, *Mem.* 11, p. 1-198.
- Lorrau, J. P. and Purser, B. H., 1973, Distribution and ultrastructure of Holocene ooids in the Persian Gulf. In: Purser, B. H., ed., *The Persian Gulf*, New York, Springer-Verlange, p. 279-328.
- MacIntyre, I. G., 1985, Submarine cements-the peloidal question. In: Schneidermann, N. and Harris, P. M., ed., *Carbonate Cements, Soc. Econ. Paleont. and Min., Spec. Pub.*, No. 36, p. 109-116.
- MacKenzie, F. T. and Pigott, J. D., 1981, Tectonic controls of Phanerozoic sedimentary rock cycling: *Jour. Geol. Soc. London*, v. 138, p. 183-196.
- Markello, J. R. and Read, J. F., 1981, Carbonate ramp-to-deeper shale shelf transitions of an Upper Cambrian intrashelf basin, Nolichucky Formation, southwest Virginia Appalachians *Sedimentology*, v. 28, p. 573-597.
- Mazullo, S. J., 1980, Calcite pseudospirals replacive of marine acicular aragonite and implication for aragonite cement diagenesis: *Jour. Sed. Pet.*, v. 50, p. 409-422.
- Read, J. F., 1985, Carbonate platform facies models: *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, v. 69, p. 1-21.
- Sardberg, P. A., 1975, New interpretations of Great Salt Lake ooids and ancient non-skeletal carbonate mineralogy: *Sedimentology*, v. 22, p. 497-537
- Sardberg, P. A., 1983, An oscillating trend in Phanerozoic nonskeletal carbonate mineralogy. *Nature*, v. 305, p. 19-22.
- Sepkoski, J. J., 1978, Taphonomic factors influencing the lithologic occurrence of fossils in Dresbachian (Upper Cambrian) shaly facies (abstr.). *Geol. Soc. Am. Abstr. W. Progr.*, v. 10, p. 490
- Sorby, H. C., 1875, The structure and origin of limestone. *Proc. Geol. Soc. London*, v. 35, p. 56-95
- Wilkinson, B. H., 1979, Biomineralization, paleoceanography, and the evolution of calcareous marine organisms: *Geology*, v. 7, p. 524-527.
- Wilkinson, B. H., Owen, R. M. and Carrol, A. R., 1985, Submarine hydrothermal weathering, global eustasy, and carbonate polymorphism in Phanerozoic marine oolites: *Jour. Sed. Pet.*, v. 55, p. 171-183.
- Yun, S. K., 1978, Petrography, chemical composition and depositional environments of the Cambro-Ordovician sedimentary sequences in the Yeonwha I mine area, south-eastern Taebag San Region, Korea: *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 14, p. 145-174.

Manuscript received Feb. 28, 1986.

FUNDY灣 潮力發電事業

(Fundy Bay Tidal Power Projects)

宋 源 岳
(KAIST 해양연구소 연구부장)

1. 序 言

世界的인 潮力發電후보지로서는 Canada 의 Fundy 灣을 위시하여, 미국의 Cobscook 灣, 영국의 Severn江 河口, 불란서의 Chausey 島 일대, 소련의 Mezen 灣, 韓國의 京畿灣 일대 등을 들 수 있다. 이들 地點에서 潮力發電開發은 이미 오래전부터 검토된바 있으며, 그때그때의 국내외정세, 에너지 需給動向등의 요인에 따라서 潮力에 대한 관심도 起伏이 있었다. 특히 1970 년대의 에너지波動, 2000 년대에 예상되는 석유자원의 고갈, 기존 발전소의 環境汚染, 원자력발전소의 안전사고 등의 요인으로 代替에너지 資源開發의 必要性이 強調되고 있다.

本稿에서는 그간 수차에 걸쳐 실시되었던 Fundy 灣 潮力發電 妥當性 檢討事業, Annapolis Royal 에 建設된 Annapolis 試驗 潮力發電所를 紹介한다.

2. 豫備妥當性 檢討事項

Fundy 灣은 캐나다의 東쪽 Nova Scotia 州와 New Brunswick 州 사이에 위치하는 Y 字形의 灣이다. (圖 1 參照) 灣의 總延長은 약 300 km, 入口幅은 약 100 km로 灣의 西쪽 入口는 Passamaquoddy 灣으로 美國에 연결되고 兩西쪽으로 大西洋에 接한다. 灣안쪽에는 Shepody, Cumberland, Cobequid 등의 크고작은 灣이 산재해 있고, 灣内の 最大潮差는 18 m나 되어 세계에서 제일 크다. 이러한 潮汐干滿의 差를 利用하여 오래전 부터 潮汐방아를 돌렸고, 최근에 와서는 潮力發電開發을 생각하게 되었다.

潮力發電所建設計劃은 이미 1919年 Turnbull 박사에 의해서 Petitcodiac 江, Memramcook 江 河口의 潮力開發案이 提案되었다. 그 후, 1944年 Canada 연방정부와 New Brunswick 州政府가 공동으로 Shepody 複潮池 開發案을 검토하였으나 經濟性은 없었다.

1956~61年에 International Joint Commission 주관하에 美國과 접하는 Passamaquoddy 灣과 Cobscook 灣 複潮池開發을 共同

으로 檢討한바 있으며, 1930 년대 대공황시에는
 실업자 구제사업으로 Passamaquoddy 潮力發
 電所 建設을 推進하였으나 美議會의 반대로 事
 業이 중도에서 중지되기도 했다. 그후 1960
 年代 中盤에 美工兵隊의 追加檢討가 있었고, 다
 시 1970 年代 中盤에도 檢討되었으나 檢討로서
 끝났다.

綜合的인 檢討는 1966~69 年 캐나다 연방
 정부, New Brunswick 州과 Nova Scotia 州
 政府 공동으로 Atlantic Tidal Power Pro-

gramming Board 주관하에 Fundy 灣 전역을
 대상으로 開發可能 후보지의 순위를 결정하고
 예비타당성을 검토하였다. 事實結果 Shepody
 灣, Cumberland 灣, Cobequid 灣에 대한 技
 術的 妥當性은 입증되었지만 經濟性은 의문시
 되었고, 후속사업 착수시기를 다음 경우에나
 가능한 것으로 전망했다.

i) 金利下落으로 經濟的인 潮力開發이 可能
 할 때 (潮力發電事業도 대규모 토목사업 처럼
 기초 投資費가 많이 소요되므로 金利 부담이 커
 서 金利가 建設費에서 차지하는 比重도 크다)

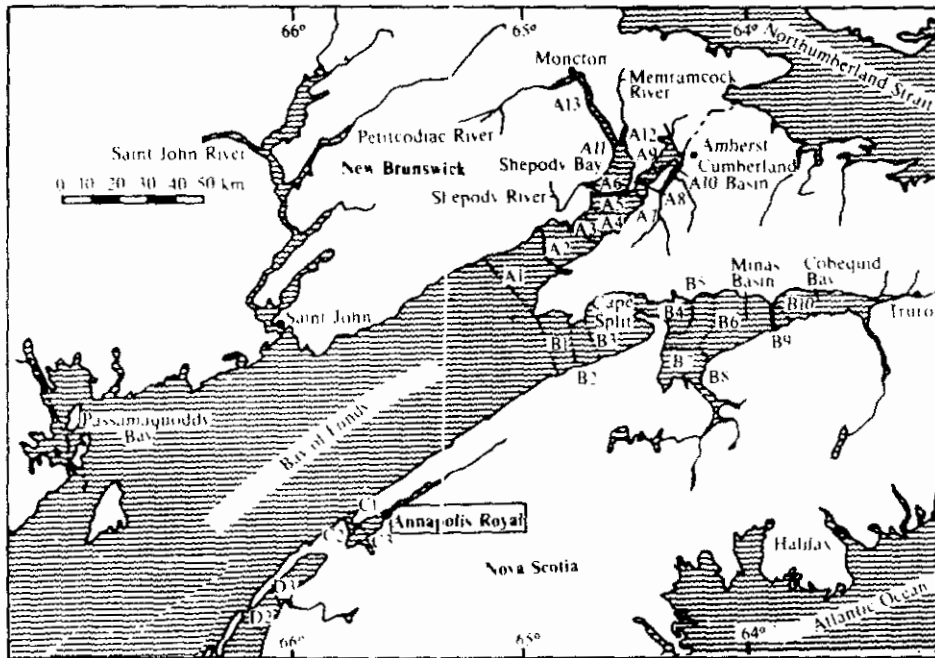


圖-1 Fundy 灣 位置圖

州 政府에서 차출된 7명의 高級 技術者로 구성된 Management Committee가 實務를 담당하였다. 이 Committee가 各 專門分野別로 用 役會社와 契約를 체결하였고, 各 會社의 Study Coordinator의 協助로 事業을 집행하여 事業 進行時 그때 그때의 狀況變動에 融通性있게 對 處하였다. 事業期間은 2年, 事業費는 365萬 CDN \$ (Canadian Dollar)로서 豫備妥當性 調査事業으로서는 가장 큰 것이었다.

地點 A 8에 대한 Phase II Program(Preinvestment Design)은 현장조사, 조석특성 모델, 상세설계, 전력계통설계, 사회·경제 및 환경문제 검토이며, 사업기간 3년, 사업비는 2700萬CDN \$로 추정했으나 아직도 事業着手는 지연되고 있다.

1982年 Update 보고서는 早期縮切, 新工法, 새 Market Philosophy를 도입하여 工事費節

減에 중점을 두었다. 便益對 費用(B/C比)는 석유와 他 燃料費 上昇에 민감하므로 1977年度 油價는 1982年度 時價로 上向調整되었고, 新工法에 의한 工事費 節減 및 早期縮切로서 早期發電이 可能해져 B/C比는 더욱 높아졌다.

3. Annapolis 潮力發電所 (사진 1참조)

Annapolis 潮力發電所는 Nova Scotia 州의 Annapolis Royal 근처 Annapolis江 河口(圖 2 參照)에 위치하며, 北美大陸에서 처음으로 稼動되는 潮力發電所로서 大容量 Straflo 水車를 試驗하는 潮力發電所이다. Annapolis 江은 Berwick에서 發源하여 西쪽으로 흘러 Annapolis 계곡을 따라 Fundy 灣으로 流入된다. 이 地點은 Fundy 灣 入口에 위치하

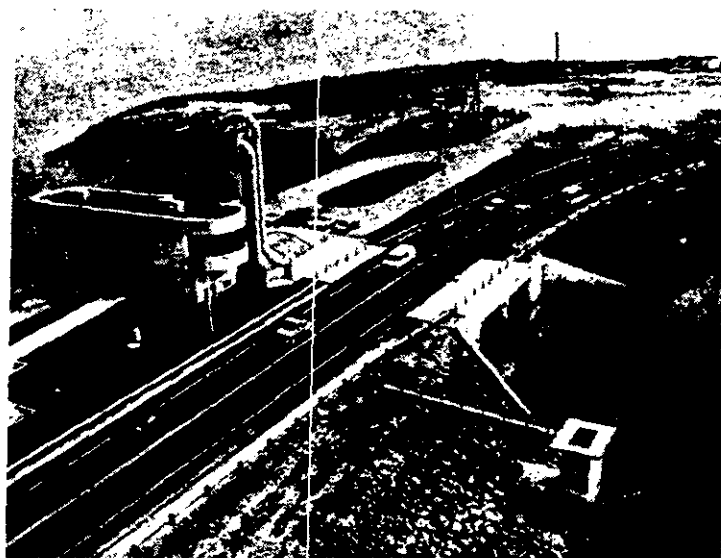


사진 1. Annapolis 潮力發電所 全景

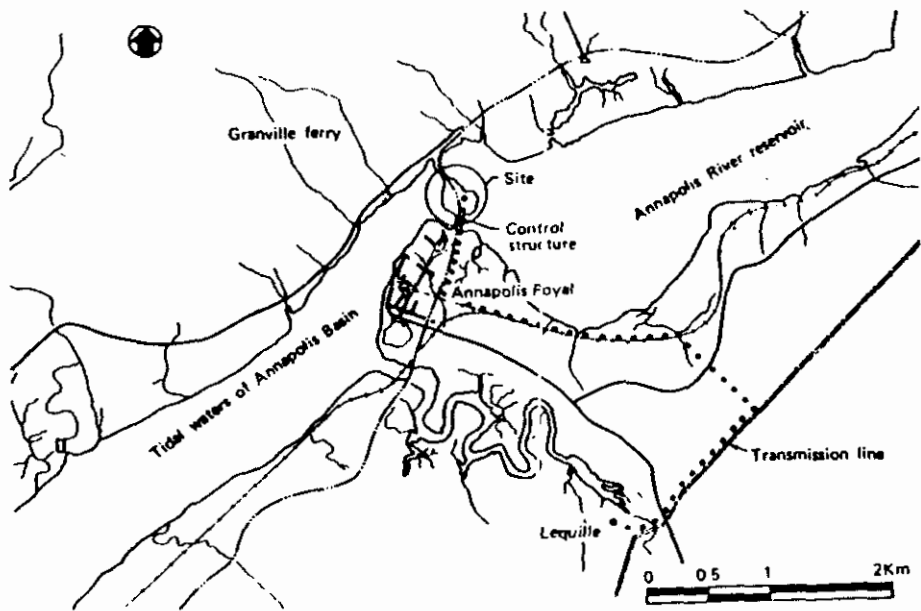


圖 - 2 Annapolis 潮力發電所 位置圖

여 灣内部 보다 潮差는 작지만, 大潮差 8.7m 小潮差 4.4 m, 平均潮差 6.4 m로서 우리나라 仁川 보다 조금 크다.

이곳에는 1963年 防潮堤가 築造되어 潮汐으로 부터 上流側 低濕地의 海水沈水를 방지하고 있다. 우리나라의 防潮堤는 淡水湖로서 灌溉用水를 貯水해야 하나, 이곳에서는 農耕地의 沈水만 막으면 되므로 試驗用 潮力發電所의 建設地로서는 安성맞춤이다. 또한 이 事業은 農業과 潮力發電을 共存시키는 一種의 多目的開發이라 할 수 있다.

發電所 建設工事は 1980年 5月 着工, 1983年 6月 竣工 豫定이었으나, 中間에 勞動者罷業 때문에 工事が 중단되기도 하여 竣工이 지

연되어 1984年 8月 25日 竣工되었다. 필자도 그때 준공식에 參席할 기회가 있었으며 감회가 깊었다.

이 事業은 Nova Scotia Tidal Power Corp (TPC)의 副社長 Mr. Baker가 10년간 功을 들여 成事시켰다. TPC는 發電所의 所有權을 갖지만, 發電所 施工, 運轉, 送電 등 實務는 Nova Scotia Power Corp(NSPC)가 담당했다. 여기서 생산된 電力은 Displaced Energy Value로 환산되어 TPC에 지불된다. 總工事費 5,200萬CDN \$ 중에서 聯邦政府가 2,500萬CDN \$를 지원하고, 나머지는 自體調達이었다.

建設事業은 Hog 섬에 水車·發電機와 魚道를 設置하는것 외에는 기존 방조제와 수문을 부분적으로 보강하였다. 施工은 우선 기존도로를 우회시키고, 터파기, Power House 施工, 되메우기, 우회도로 원상복구, 取排水路 開通 順이다. Power House 의 콘크리트 기초는 46.5m(長) × 25m(幅)이며, 取水口의 크기는 15.5m × 15.5m이다. Straflo의 取水路 길이는 Bulb 水車보다 짧아서 土木構造物의 크기가 줄어들므로 工事費의 節減도 가능하다.

潮力發電檢討事業에서 水車·發電機의 比價이 가장 크지만 이에 대한 研究·開發은 신분치 못했다. 表1 에서와 같이 Fundy 灣 B9 潮力地點을 開發할 경우 한꺼번에 106臺의 水車·發電機가 설치되며, 單位機容量 38MW, 水車直徑 7.5m 直接建設費의 약 50%를 차지한다. 따라서 Fundy 灣 潮力開發에 앞서 적절한 水車·發電機를 開發, 試驗하는 Pilot Plant 建設이 강조되었다. 潮力發電機로서는 Bulb 형과 Straight Flow형 초저낙차용 수차를 들 수 있다. Bulb수차는 이미 Rance 潮力發電所に 設置되어 있고, 하천수력발전소에 水車直徑 7.7m까지 設置된 기록도 있으나, 發電機의 冷却 System, 크기에 한계점이 있다. 그러나 Straight Flow 수차는 그런 제한점을 극복할 수 있지만 水車直徑 3.7m 이상 제작된 것도 없고 潮力發電所に 설치된 실적도 없다.

이렇게 하여 水車直徑 7.6m의 Straight Flow 水車가 Annapolis 發電所に 試驗用으로 設置되기에 이르렀다.

Straflo (Straight Flow 水車의 Trade

Mark)는 1919年 美國人 Harza 特許로서 1938~50년간에 스위스의 Escher-Wyss 사가 73臺를 製作하여 유럽의 14개 低落差 河川水力發電所に 설치한바 있다. 그러나 水車直徑 2m, 單位機容量 1.5~1.9MW로 소형이었으며, 처음에는 Seal의 漏水問題로 논란이 있었지만 現在까지도 대부분이 稼動되고 있다. 그 뒤 改良을 거듭하여 1980~82년도 만해도 10臺가 벨기에, 스위스, 오지리의 저낙차 하천수력발전소에 설치되었으나 單位機容量이 10MW를 넘지 못했다. 그러나 Bulb 水車는 더욱 개발되어 美國의 Rock Island 水力發電所に 設置되었고 Fundy 灣 潮力事業에서도 水車直徑 7.5m가 檢討된바 있다. 따라서 Annapolis 發電所に 설치된 水車直徑 7.6m의 Straflo는 성능을 직접 비교할 수도 있어, 潮力發電 器機分野에서 또 하나의 發展으로 기대가 크다. Annapolis에 설치된 Straflo의 設計는 Escher-Wyss社가 直接擔當하였으나 水車製作은 Montreal의 Dominion Bridge-Sulzer社 (Straflo 製作을 위해서 Canada의 Dominion Bridge社와 스위스의 Sulzer社가 공동 출자하여 만든 會社), 發電機는 Canadian General Electric社가 각각 製作하였으며, 水車·發電機의 諸元은 表2와 같다.

表2 Annapolis 水車·發電機 諸元

水車 諸元
直徑 : 7.6m
Blade數 : 4
Wicket Gate數 : 18
發電水頭 : 1.4~6.8m (最大 7.1m)

定格水頭 : 5.5 m
定格出力 : 17.8 MW (最大 19.9 MW)
定格 回轉速度 : 50 rpm
放出水量 : 378 m ³ /sec (定格水頭下)
發電機 諸元
定格出力 : 19.1 MVA (最大 21.25 MVA)
周波數 : 60 Hz
定格電壓 : 4.16 kV
效率 : 96.4 %

發電所는 單潮池 單流式으로 運轉되며, 漲潮時에 水門과 水車水路 (Orifice Mode)를 통하여 海水를 潮池에 채운후, 落潮時에 潮池와 外海潮汐간의 水頭差가 1.4 m 以上될 때 發電을 開始한다. 夏節期 平均潮差時 運轉은 圖 3과 같고, 12.5時間 中에서 6時間 發電, 3時間 充水, 3.5時間 待機이며, 發電時間이 大潮期에는 길어지고 小潮期에는 짧아진다. 潮池의 最高水位는 夏節期 1.83 m, 冬節期 2.29 m로 制限되는데, 이것은 농작물의 파종, 추수, 강우량, 배수등의 요인을 감안한 것이다.

구체적인 發電計劃은 한 주일전에 결정되며, 生産된 電力은 69kV 送電線路로 약 5 km 떨어진 Lequille 水力發電所로 送電되어 기존 NSPC 係統에 병입된다. 年間發電量은 약 45 GWh로서 전체 NSPC 係統에 차지하는 비중이 적어서 潮力의 出力斷續이 係統全體에 미치는 영향은 거의 무시할 수 있다. 發電所는 北東쪽으로 약 100 km 떨어진 Hell's Gate 水力發電所에서 遠隔運轉을 하므로 運轉員이 常駐할 필요가 없다.

竣工後 1年間 發電利用 可能한 728개의 潮汐中에서 利用하지 못한 것은 8개 뿐이었으며, 75%는 無事故運轉이었으며, 나머지 25%는 보조계통의 기계적 고장 때문에 運轉時間이 短縮되었다. 그 다음 6개월 동안은 353개의 潮汐중에서 4개를 잃어 發電所의 利用率은 99%로 稼動實績이 良好하다. 1985年6月에 發電所 竣工後 처음으로 器機에 대한 전체점검이 실시되었다. 그 결과 Hydro Static Seal의 狀態는 良好했고, Upstream St-

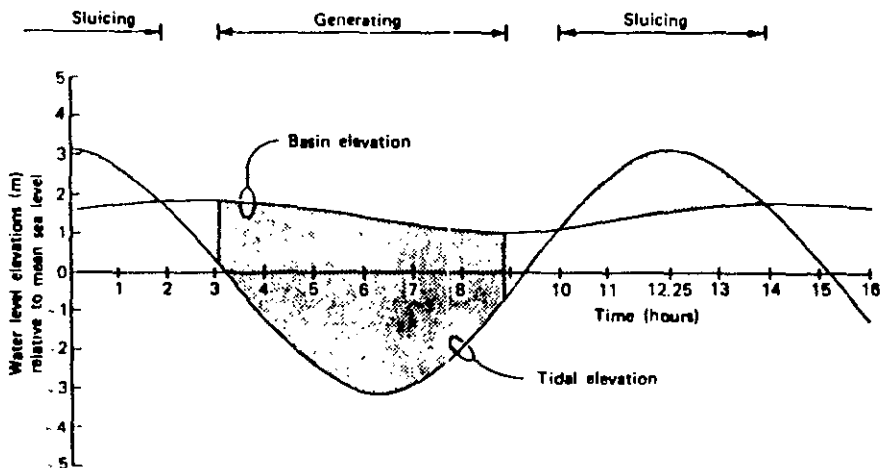


圖-3 運轉方式

and Still Seal 에 손상이 있었으나 그 원인은 밝혀지지 않았다. 아마도 Start up 중에 생겼거나, 파업기간 동안 Seal이 Rim에 녹아 붙었을 가능성도 있다. 우려했던 Runner Blade 의 Cavitation 이나 Corrosion 도 없었고, 다만 Runner Hub에 작은 Pitting 이 생겼을 뿐 다른 모든 部品들은 원형 그대로였다. 따라서 Cathodic Protection System도 그 기능을 잘 발휘하고 있다고 볼 수 있다.

전체적으로 Annapolis 의 Straflo Unit은 만족스런 결과를 주고 있다.

4. 結 言

Fundy 灣 潮力發電事業은 豫備 妥當性 段階를 넘어서 試驗發電所 稼動段階까지 進陞되고 있다. 그러나 Phase II Program 착수가 지연되고 있는 데는 다음과 같은 곡절이 있다.

Canada 는 방대한 수력자원을 보유하고 있고, 현재 공사중인 James Bay 와 Churchill Falls 의 大單位 水力發電所 建設 때문에 潮力이 뒤로 밀리고 있다.

1977年 豫備妥當性調査 事業에서 Cumberland 灣 (A 8) 을 最適候補地로 선정된 것이 이 地點이 New Brunswick 州와 Nova Scotia 州 境界에 位置하므로 兩 州政府의 共同事業으로 相互間의 利害가 일치하고, 또한 3개 지점중에서도 가장 규모가 작아 小規模地點부터 開發할 수 있다는 利點이 고려된 것이다. 그러나 그후 New Brunswick 州는 原子力發電

에 投資하여 Point Lepreau 發電所 (630 MW, CANDU-10HW型)가 稼動中이다. New Brunswick 州는 原子力에 더 큰 관심을 갖고 있다. Canada 의 CANDU型 發電所의 販賣不進으로 政策的으로라도 原子力發電事業을 밀어 주어야 할 판이다. 따라서 Fundy 灣 潮力開發은 Nova Scotia 州 單獨事業이 될 公算이 크며, 1982年 Update 에서는 Cobequid 灣 (B 9) 을 주로 檢討되었다.

이와 같이 電源開發優先順位는 州政府間의 利害, 電源開發政策에 따라 方向이 달라진다.

한편 Nova Scotia 州는 大西洋 沿岸 大陸棚에서 海底天然가스를 生産하고 있어 大西洋 沿岸의 Habifax 는 大陸棚開發의 前進基地로서 活氣를 먹고 있다. 따라서 Nova Scotia 州로서도 Fundy 灣 潮力開發은 개스資源 枯竭時에나 고려될 만큼 시간적여유가 있다. 또한 Canada 는 아직도 개발 가능한 방대한 賦存에너지 資源이 死藏되어 있으므로 選擇의 餘地가 많다. 이런 점은 賦存에너지 資源이 貧弱한 우리나라와는 狀況이 다르다.

Annapolis 潮力發電所는 단순히 Straflo 水車を 潮力發電에 應用해 보는 試驗發電所에 불과하나, 새로운 水車의 開發이라는 면에서 볼 때 그 意義는 아주 크다. 또한 그간의 發電所 稼動實績도 아주 만족스러워 Straflo도 潮力發電에 크게 기여 할 수 있을 것으로 기대된다. 이 사업에서 經濟性을 기대할 수는 없다. 그러나 Canada 의 방대한 低落差 河川水力開發이나 Fundy 灣 大單位 潮力開發을 念頭

參 考 文 獻

에 든다면 이런 類의 Pilot Plant 建設 및稼動은 아주 바람직한 일이다. 우리도 西海岸에 大單位 潮力開發을 시도하기 전에 試驗發電所를 建設하여 經驗을 쌓고, 문제점을 미리 파악하는 방안도 한번쯤은 고려해 보아야 할 것이다.

1. Douma, A and Stewart, G. D., Annapolis Straflo turbine will demionstrate Bay of Fundy tidal power concept, Modern Power Systems, Jan, 1981.
2. Delory, R. P., Annapolis achieves 99 per cent availability, Modern Power Systems, July, 1986.

◇ 첫 태양에너지충전소

西獨의 쾰른에 세워진 세계최초의 태양 에너지충전주유소. 최근 슈바르츠발트 (혹립) 근처의 프라이부르크에서 세계최초의 태양에너지추진 자동차경주 세계선수권대회가 열렸는데 태양전지판을 단 각양각색의 자동차들이 참가, 시속 1백 10 km의 기록을 세우기도 했다고.

〈서독대사관 제공〉



韓國南東海 底棲有孔蟲의 生物場

蔣 舜 植

韓國科學技術院 海洋研究所

Biotope Analysis of the Total Benthic Foraminiferal Assemblage
off the Southeastern Coast, Korea

Soon-Keun Chng

Korea Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 29, Banweol, Ansan City,
Kyonggi-do 171-14, Seoul, Korea

要約 : Kim and Han이 1972년 발표한, 한국남동해안 연안해저표면퇴적물 21점에서 살아있는 개체와 죽은 개체를 합한 시서유공충 전체군집 자료를 기초로 하여 Dice 相似係數를 구하여 非加重 變群方法 (Unweighted Pair Group Method)으로 군집분석 (Cluster analysis)해서 生物場 (Biotope)을 구했다.

결과는 남쪽상과 북쪽상으로 대별되며, 남쪽상은 固有相과 깊은 상, 북쪽상은 沿岸相과 固有相으로 세분된다. 생물장들은 연구지역에서 우세한 해류와 연관이 있어서 남쪽고유상은 對馬暖流의 영향이 뚜렷하며, 남쪽깊은상은 南下하는 底層冷水의 영향을 받았다. 북쪽연안상은 北韓寒流의 영향이 뚜렷하며, 북쪽고유상은 북한해류와 일부 東海固有水의 영향이 있다. 위의 현상은 연구지역의 상반부에는 北上하는 東韓暖流보다 南下하는 北韓寒流가, 바깥쪽에서는 東海固有水가 큰 영향을 미치며, 이는 동한난류가 연구지역의 오른쪽 지역의 표면을 따라 북상하기 때문인 것으로 믿어진다.

Abstract

Biotope analysis (UPGM) of the data on the total benthic foraminiferal assemblage (Kim and Han, 1972) collected from the southeastern sea off the Korean Peninsula shows that foraminiferal assemblages are related to the water masses prevailing in the study area. South Proper facies is governed by the Tsushima Warm Current, and Southern Deep facies is influenced by the cold water mass moved down along the bottom. Northern Nearshore facies is governed by the North Korea Cold Current, and North Proper facies is affected by the North Korea Cold Current and Japan Sea Proper Water. It is also evident that the upper part of the study area is under the influence of the North Korea Cold Current rather than the East Korea Warm Current which flows northward along/off the right side of the study area. Planktonic foraminiferal occurrence also supports this biotope analysis.

緒 論

Kim and Han(1972)은 ECAFE-CCOP 報告書 6 권에 한국남동해에서의 유공충의 조성과 분포를 발표하였다. 이들의 연구지역은 北緯 33°22' -37°30', 東經 127°00'-130°30' 까지이다. 남쪽 연구지역은 우리나라와 일본사이의 비교적 평탄한 大陸棚인 반면, 북쪽 연구지역은 東海로 이어져서 경사가 급하다(그림 1). 연구지역안

쪽 해안을 따라서는 silt, 좀 나아가서는 mud, 가운데에는 모래섞인 mud(sandy mud), 바깥쪽에는 모래가 帶狀으로 분포해서 바깥으로 나갈수록 粒度가 커지며, 바깥쪽 연구지역의 粗粒 모래는 殘留堆積物이다(Emery, 1968; Kim and Han, 1972; 朴, 1983; Park, 1982, 1984, 1985; Park and Choi, 1986).

연구지역의 표면수온은 2월이 8~15℃, 8월이 23~28℃의 분포를 보여준다. 수심 50 m의

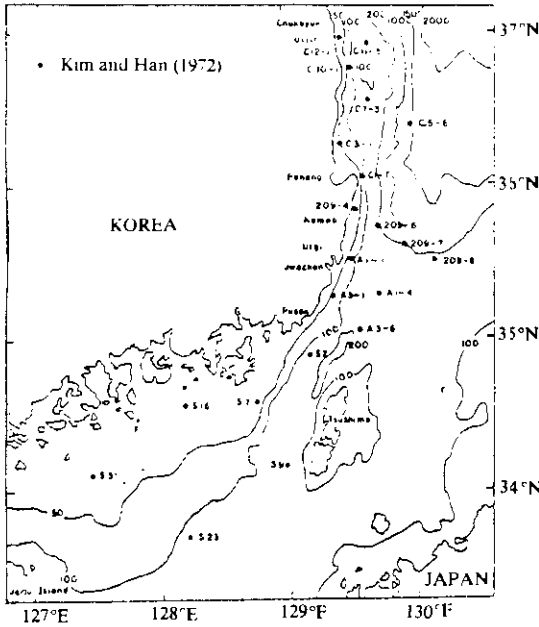


Fig. 1. Index map. Water depth in meters.

수온은 2~3월이 7-14°C, 8월이 23-28°C 이며, 수심 100 m의 수온은 3월이 7-14°C, 10~11월이 9-22°C이며,南下하는 北韓寒流 및 北上하는 對馬暖流 때문에 等溫線이 연구지역에서는 남쪽까지 내려가고, 연구지역 오른쪽으로는 훨씬 북쪽까지 올라간다. 연구지역의 表面塩分은 연평균이 33.20-33.75‰에 속하며 하계가 동계보다 낮아서(洪, 1968) 9월이 32.0-32.6‰, 3월이 34.2-34.6‰이다. 수심 50m의 경우, 9월이 33.8-34.0‰, 3월이 34.1-34.7‰이며, 100 m의 경우 9월이 34.0-34.3‰, 3월이 34.1-34.6‰로써 水溫의 分布와 비슷한 분포를 보인다(수로국, 1982).

그림 2는 Uda (1934)에 근거한 Ujiie (1973, Text-fig. 1)에 따르는 우리나라와 일본 주변의 해류로써, 이에 따르면 남쪽연안 연구지역은 北太平洋海流에서 발원한 高温, 高塩分の Kuroshio에서 갈라진 對馬暖流가 지나가는 지역이다. 북쪽연구지역의 연안지역은 대마난류가 東韓暖流로 北上하는 지역과 東海岸을 따라 海류가 남하하는 사이지역이며, 바깥쪽 연구지역은 북상하는 對馬暖流가 일본연안을 따라 東韓暖流와 갈라지는 곳이다. 따라서 여름에는 表層-

中層을 따라서는 난류가 우세하다. 겨울에는 우리나라 서해중부 해안에서 해안을 따라 남하해서, 남해안을 따라 남동해안까지 흘러가는 찬해류의, 제주도사이의 연안에서부터 남동해의 경상남도 울주군 속기근해까지는 북상하는 대마난류사이에 강한 前線이 형성됨이 인공위성영상연구에서 밝혀졌다(Zheng and Klemas, 1982). 따라서 겨울에는 해안가까이에서는 찬해류의 영향이 우세하고 바깥쪽에서는 더운해류의 영향이 우세하다.

底層에서는 동해안해저 및 大韓海峽 西水道를 따라 남하하는 냉수의 영향이 對馬島 서쪽에서까지 관찰되며, 영일만, 울산 등지의 연안가까이에서는 湧昇현상도 있다. 예를 들면, Lim and Chang (1969)은 1932-1941년, 1962-1967년의 해양자료에 근거, 대한해협에서의 저층의 냉수는 진출한 울기남동쪽 8-18해리의 해저를 따라서 연구지역에 가까운 西水道에만 왜기狀으로 있으며, 계절별 변화가 심해서 6월에 나

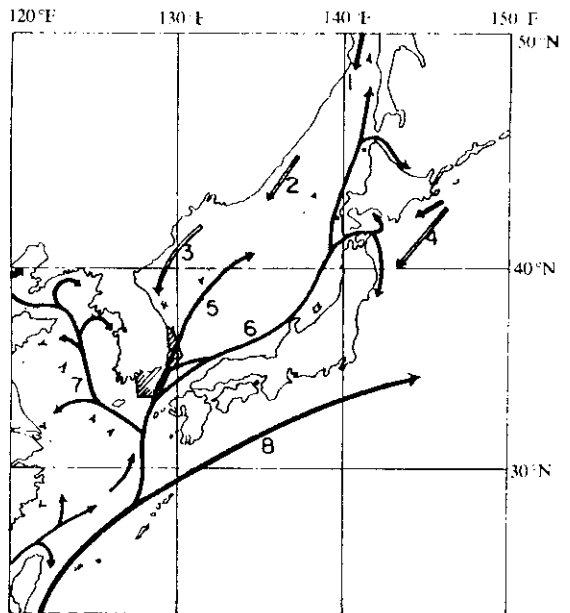


Fig. 2. Study area with current systems around the Korean Peninsula and the Japanese Islands (after Ujiie, 1973 adopted from Uda, 1934). 1, Liman Cold Current; 2, Maritime Province Cold Current; 3, North Korea Cold Current; 4, Oyashio Cold Current; 5, East Korea Warm Current; 6, Tsushima Warm Current; 7, Yellow Sea Current; 8, Kuroshio Warm Current.

타나기 시작해서 8월에 가장 강하며, 2월에는 사라진다고 보고했다. 남쪽한계는 불화실하나, 부산앞을 지나서(히, 1975) 대마도 서쪽 남쪽끝까지 이른다고 보고했다(Lim, 1973). 그늘에 의하면, 저층의 냉수와 상부의 따뜻한 해수사이의 경계는 동쪽으로 감에 따라 깊어지며, 냉수는 한국해안 가까이에서는 용승하기도 한다. 대한해협의 저층수는 尙馬中層水(Intermediate Waters)와 東海中層水가 섞이기 때문에 만들어지며 겨울에는 高塩分の 尙馬中層水가 동해입구에서 빨리 가라앉아서 東海中層水의 대한해협유입을 막는다고 보고했다(An, 1974). 따라서 2월에는 저층수가 사라진다는 Lim and Chang(1969)의 보고는 이 현상과 관계있으리라 생각된다. 우리나라 東海岸의 冷水塊형성에는 바다-대기간의 熱水支가 작용하며(한, 1972) 형성된 저층냉수 및 상부 따뜻한 물의 밀도와 운동, 해면에 대한 바람의 영향 및 해저지형, 조석 등과도 관계있으리라 믿어진다(Lim, 1973; 承, 1974; Lee, 1978; 김과 정, 1982).

Kim and Han(1972)은 연구지역의 살아있는 유공충과 죽은 유공충을 합한 全体群集의 組成,

分布, 水深에 따르는 군집 등을 연구했으며, 울기연안의 용승현상도 기록했다. 연구지역 중앙부 장기곶-부산 남쪽사이의 堆積物, 부유물질 및 現世堆積作用이 Park(1982, 1984, 1985), 朴(1983), Park and Choi(1986)에 의해서 연구되었으며, 이에 따르면 현생퇴적 작용은 연안을 따르는 mud지역에서만 진행되며 바깥쪽 모래는 残留堆積物이다. 부산-거제도 남쪽에서의 後第四紀 및 現世堆積環境이 Suk(1986)에 의해서 연구되었다. 이에 따르면 粗粒質 砂質 및 礫質 퇴적물은 잔류퇴적물이다. 또한 연안보다는 중앙부에서 현세해류보다 古海流가 더 강했다. 大韓海峽의 西水道를 포함한 대한해협 퇴적물내의 浮游有孔蟲의 군집분석을 통하여, 군집간의 부유유공충의 조성사이에는 生態的 요인보다는 堆積學的 環境이 더 작용하는 것으로 판단됐다(Ujjié, 1973).

이 연구의 목적은 우리나라 남동해저에서 산출되는 底棲有孔蟲 전체군집의 군집분석을 통한 生物場(Biotope)과 해류와의 관계를 규명하는 데에 있다.

Table 1. Location of stations associated with water depths and of sediments (after Kim and Han, 1972).

Station	Location	Depth	Type of Sediment
C12-1	About 10 Km SE of Chukpyon	About 30 m	Mud
C11-3	About 30 Km SE of Chukpyon	About 150 m	Mud
C10-1	About 5 Km E of Uljin	About 80 m	Mud
C7-3	About 25 Km NE of Chuksan	About 150 m	Muddy sand
C5-6	About 60 Km E of Chuksan	About 1,500 m	Mud
C3-1	About 30 Km SE of Chuksan	About 90 m	Mud
C1-1	About 10 Km of Cape Janggi	About 100 m	Mud
209-4	35° 47.3 'N; 129° 32.8 'E	62 m	Mud
209-6	35° 41.3 'N; 129° 49.0 'E	About 220m	Sandy mud
209-7	35° 36.8 'N; 130° 00.3 'E	250 m	Sand
209-8	35° 30.8 'N; 130° 16.9 'E	About 200m	Sand
A1-1	About 10 Km SE of Ulgi	106 m	Mud
A1-4	About 40 Km SE of Ulgi	149 m	Sandy mud
A3-1	About 10 Km SE of Jwachon	73 m	Mud
A3-5	About 50 Km SE of Jwachon	150 m	Sandy mud
S2	34° 57.6 'N; 129° 11.2 'E	96 m	Sandy mud
S7	34° 29.6 'N; 180° 41.2 'E	69 m	Sandy mud
S9	34° 15.3 'N; 180° 58.0 'E	110 m	Muddy sand
S16	34° 31.0 'N; 120° 12.2 'E	48 m	Mud
S23	33° 37.3 'N; 128° 09.2 'E	72 m	Sandy mud
S31	34° 06.7 'N; 127° 26.8 'E	41 m	Sandy mud

研究材料 및 分析方法

結果 및 論議

연구에 이용된 재료는 Kim and Han (1972)의 연구결과인 그들의 表 II-4에 나타난 저서 유공충의 산출상태이다. 그들은 21지점의 자료를 연구했으며 위치, 수심, 퇴적상은 表 I에 수록되어 있다. 연구자료채집 및 실내처리 방법은 Kim and Han (1972)에서 설명되어 있으며, 보다 깊은 내용은 그들을 참조하기 바란다. 그들 (1972, Tab. II-4)의 연구에서는 底棲有孔蟲 80屬 196種이 산출되었으며, 이들의 결과를 군집분석했다. 群集分析 (Cluster analysis)은 1966년 Kaesler에 의해서 멕시코 Baja California의 Todos Santos만의 저서유공충 및 介形類의 生態 및 分布연구에, Maddocks (1966)에 의해서 北 Madagascar의 介形類분포연구에 도입, 응용된 이후, 미고생물 연구에 널리 쓰인다. 군집분석의 기초자료로써 자료(또는 구형種)간의 상관계수나 비슷한 정도가 필요하다. Ujiié and Kusukawa (1969)는 군집분석의 원리상 種의 분포정도에 따르는 상관계수를 사용해야만 한다고 결론지었으나, 많은 연구는 비슷한 정도 즉 相似係數를 사용한다. 상사계수에는 여러가지가 있어서 “있고-없음”에 근거한 계수들 (Cheetham and Hazel, 1969), 또는 “존재정도”를 고려한 지수 (Sanders, 1960) 등이 있으며, 보다 종합적인 논의는 Sokal and Sneath (1963, p. 121-157)에 있다. 이 연구에서는 “있고-없음”에 근거한 Dice 상사계수를 사용하였다. Dice 상사계수는 $\frac{2C}{N_1 + N_2}$ 로 계산되며 N_1 , N_2 는 비교하려는 2 지점 1, 2내에 각각 존재하는 種의 數이고 C는 양쪽 지점에 공통적으로 존재하는 種의 수이다. 이 연구에서는 單純算術平均 (Simple Arithmetic Average)을 사용하여 非加重雙群方法 (Unweighted Pair Group Method)으로 분석했다. 非加重雙群方法은 加重雙群方法 (Weighted Pair Group Method)보다 원래 상사계수와 더 높은 상관관계에 있음이 실험적으로 밝혀졌으며 (Sokal and Sneath, 1963, p. 189), Farris (1969)는 이론적인 근거로 非加重雙群方法을 지지했다 (Hazel, 1970).

1. 生物場

群集分析한 결과 남쪽相 (Southern facies)과 북쪽相 (Northern facies)으로 나누어진다 (Fig. 3). 남쪽상은 자료 A 3-1, A 1-1, S 7, S 9, S 2, A 3-5, S 23, S 31, S 16, A 1-4, 209-8, 209-7 등 12개 지점이며 경상북도 감포 남쪽까지 즉 남쪽 연구지역에 분포한다. 뒤 3개 지점은 깊은相 (Deep facies)으로 세분되며 울기 앞 원양에 위치한다. 나머지 9개 지점은 남쪽고유상 (South Proper facies)에 해당하며, 연구지역 남쪽에 분포한다. 북쪽상은 자료 C 12-1, C 3-1, C 1-1, C 10-1, C 11-3, 209-4, 209-6, C 7-3, C 5-6 등 9개 지점이며 북쪽 연구지역으로써 감포 북쪽해안 및 연안에 분포한다. 뒤의 3개 지점은 고유相 (Proper facies)으로 세분할 수 있으며 비교적 바깥쪽 깊은 곳에 위치한다. 나머지 6개 지점은 연안상 (Nearshore facies)이며, 어원을 따라 분포한다 (그림 4).

Kim and Han (1972)의 유공충 산출 도표인 Tab. II-4에서 보면 남쪽상은 북쪽상에 비하여, 表가 半定量的이기는 하나, 유공충 개체수가 뚜렷이 대단히 많으며, 산출되는 種의 數가 167:96으로 훨씬 多樣하다. 남쪽상에서도 고유상과 깊은상은 뚜렷한 차이가 있어서 고유상은 깊은상에 비하여 유공충 개체수는 훨씬 많고, 種의 수도 144:70으로 훨씬 다양하다. 북쪽상에서는 연안상이 고유상보다 유공충 개체수가 많고, 더 다양하나, 그렇게 큰 차이는 없다 (Tab. 2).

남쪽 고유상에 특유한 種 가운데에는 *Bolivina robusta*, *Bulimina marginata* 등이 있으며, 이들은 우리나라 동해의 동쪽인 일본 중부 本州에 연한 연안에서 확인된 4개의 A, B, C, D형 군집 가운데, A형군집인 수심 50-150m에 분포하며, 楚馬海流中層水塊에서 우세한 種들인 *B. robusta*, *Nonion pulchella*, *Elphidium clavatum*, *Elphidium* sp., *Siphogenerina raphana* 및 *Bulimina marginata* 등에 포함된다 (Matoba

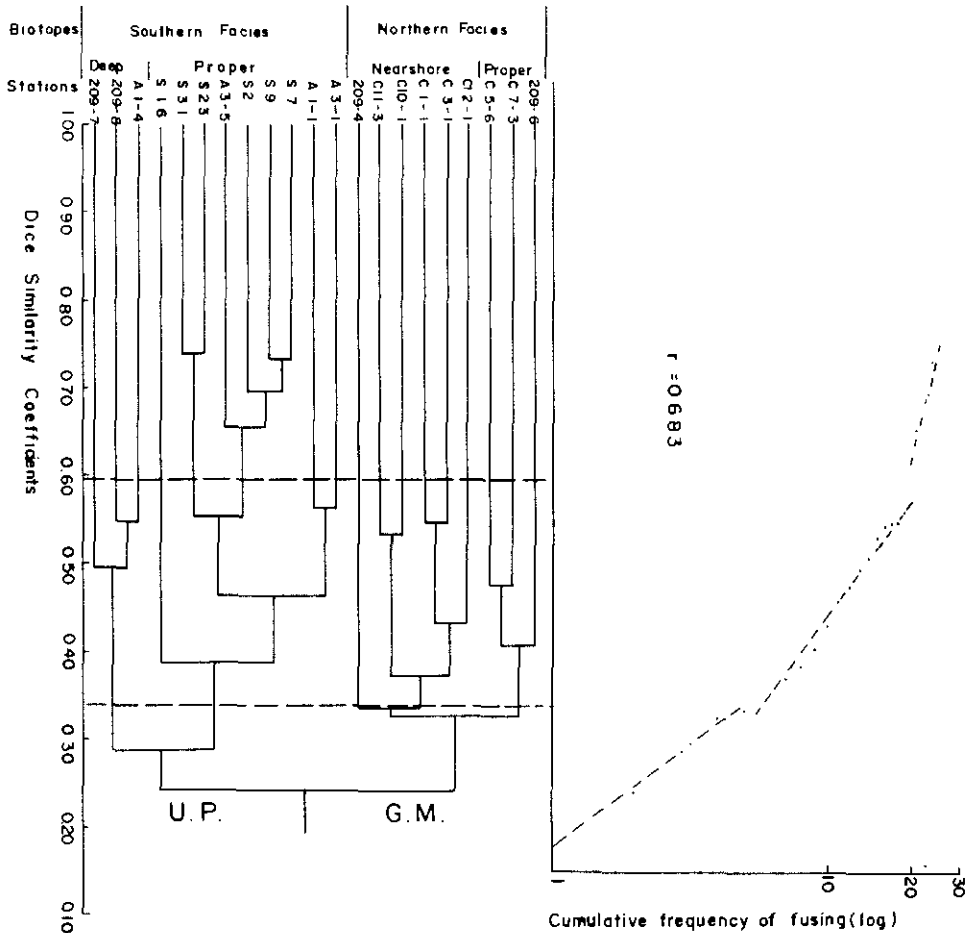


Fig. 3. Dendrogram (UPGM) based on Dice similarity coefficients, associated with the cumulative frequency of fusing to present a criterion for subdividing stations into clusters. r means Pearson's product-moment correlation coefficient.

and Nakagawa, 1972, p. 667). 산출되는 유공충과 진술한 연구지역에서의 해류를 고려할 때 남쪽고유상은 杼馬暖流의 영향이 압도적이라 생각된다. 남쪽깊은상은 남쪽고유상의 조성과는 다르고, 개체수, 種의 數도 뚜렷이 다르다는 점을 감안하면, 남하하는 底層冷水의 영향이 큰 것으로 생각된다. 실제 1966-1970년까지의 黑潮共同調査研究 (CSK: Cooperative Study of Kuroshio and Adjacent Regions) 자료에 의하면 한국남동해 저층의 냉수는 북위 37°의 죽변 앞 근해에서 수심 100m 정도의 等深線을 따라 영일만 앞 근해까지 내려오며, 여름에는 울산근해에서 용승하며, 경우에 따라서는 해면에서 관찰되지 않기도 한다 (An, 1974). 김과 정 (1982)

은 1981년 9월 포항, 감포해역의 수심 100 - 200m에 존재하는 해수가 수심 75-100m의 울기연안 10해리 이내를 따라서 大韓海峽에 도달함을 관찰했으며 이 저층냉수는 수온, 염분, 용존산소의 관계로 보아 남하한 北韓寒流로 결론지었으며, 1982년 4월에 관찰된 포항-감포앞해역 수심 100-200m의 냉수가 北韓寒流系인 東海固有水인지 구별하기 어렵다 하였다.

남쪽상 전체에 특유한 *Nonionella stella* 는 Matoba and Nakagawa (1972)에 의하면 北東日本 秋田대륙붕의 대마해류하에서 대단히 풍부한 種이다. C형 군집은 수심 200-1,000m의 東海固有水塊에 분포하며 *Uvigerina*, *Angulogerina* (= *Trifarina*) *kokozuraensis*, *Trocha* -

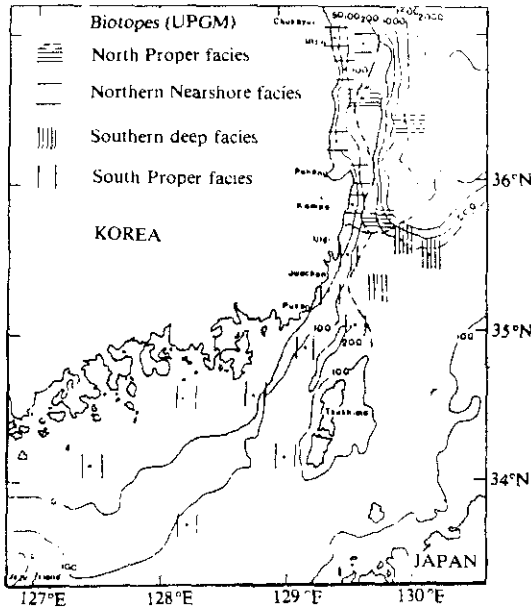


Fig. 4. Total benthic foraminiferal biotopes based on UPGM in the southeastern sea of Korea.

mmina japonica 등이 우세하며, B형은 A-C번 환경으로 第 1 層層에 해당하는 수심 150 - 250 m에 분포하며, *Cassidulina*가 가세한 군집이다. 이를 참고할 때 *C. norcrossi*, *Uvigerina akitaensis*, *U. peregrina dirupta*, *T. kokozuraensis*가 우세한 북쪽 연안상은 B형에 해당한다고 볼 수 있다. 북쪽 고유상에서는 *Globocassidulina japonica*, *C. translucens*, *T. kokozuraensis*가 우세하다는 사실과, 채집된 시료들이 해안에서 비교적 멀리 떨어져 있다는 사실을 고려하면 북쪽연안상보다는, B형에서 더 멀다고 할 수 있다. 실제 시료 C 5-6는 수심이 1,500m 정도로서 이는 B형의 서식 환경과는 거리가 멀다고 생각된다. 연구지역이 일본 중부 지방 서쪽에 연한 東海연안에서 멀다는 점을 감안하면 연구지역의 북쪽상이 일본 중부에서의 B형에 속한다라기 보다는, 그에 해당하는 연구지역에서의 水塊를 생각하는 것이 타당하다고 생각된다. 연구지역에서 그에 해당하는 水塊는 남하하는 北韓寒流와 東海固有水를 생각할 수 있다. 北韓寒流는 東海의 寒流水系로 Vladivostok 동쪽에서 발원하여 우리나라 동해안까지 내

리으며, 북쪽상 특히 북쪽 연안상과 일부 북쪽 고유상에도 큰 영향을 미쳤으리라 생각된다. 북쪽상에서는 유공충이 비교적 적게 산출되며, *U. peregrina dirupta* 및 *T. kokozuraensis*가 우세하다는 점을 고려하면 동해고유수의 영향을 생각할 수 있다. 실제 북쪽고유상에는 동해고유수의 영향이 있을 것으로 믿어진다. 다른 연변해(marginal sea)에 비하여 東海深海水 순환은 특징적이다. 즉 Bering海나 Okhotsk海와는 달리, 太平洋深海水(Pacific Deep Water)가 유입되지 못하며, 독특한 수직순환이 생겨서 東海固有水(Japan Sea Proper Water)가 만들어진다. 동해고유수는 그 성질이 대단히 일정해서 수심 200m부터 해저까지 水温은 0~0.5°C, 塩分은 34.0~34.1‰이며 용존산소도 대단히 높고 일정해서 5.8~6.0ml/l이며, 이러한 균질한 현상은 동해고유수가 만들어지는 위치와 환경이 비슷해서 생기는 현상으로 볼 수 있다(Hidaka, 1966). 따라서 앞서 이야기한 시료 C 5-6수심의 1,500m 정도되는 사실을 고려하면 東海固有水의 영향이 절대적이며, 반면 시료 C 7-3의 209-6은 위치와 수심을 고려할 때, 동해고유수의 일부 영향도 있었으나, 北韓寒流의 영향을 더 받는다라고 보는 것이 합리적이라 생각된다.

Kim and Han(1972)의 表 II-2의 저서유공충 조성에 의한 相(Facies)에서 Facies III인 수심 약 250m의 시료 209-7과 수심 약 200m인 Facies IV인 시료 209-8은 이 연구에서는 남쪽 깊은상에 해당되며, Facies I인 수심 약 80m인 시료 C 10-1은 북쪽 연안상에 해당된다. Facies II인 수심 약 130m의 시료 C 7-3은 북쪽고유상에 해당된다.

Kim and Han(1972, Tab. II-4)에서 보면 浮游有孔蟲도 9속 23종을 확인했으며 이들의 산출은 남쪽고유상에서는 개체수도 많고, 多樣해서 *Globoquadrina dutertrei*, *Pullenia obliquiloculata*가 대단히 우세하고, *Globigerina bulloides*, *Turborotalia*(=*Globorotalia*) *inflata*, *Globigerinoides* spp. 등이 비교적 우세하고 *Globigerina falconensis*, *Globorotalia*

Table 2. Occurrence of species according to biotopes (UPGM) (based on the semi-quantitative faunal list of Kim and Han, 1972). One asterisk shows the species in A-type assemblage and two asterisks those in C-type assemblage; B-type assemblage includes species A-C transition assemblage and *Cassidulina* after Matoba and Nakagawa (1972).

Biotopes	Southern facies			Northern facies		
	Proper facies	Deep facies	Both	Nearshore facies	Proper facies	Both
Foram. Number	Very abundant	Common	abundant	small	Very small	Very small
Number of species	144	70	167	77	63	96
Highly dominant species	<i>A. takanabensis</i> <i>H. nipponica</i> <i>L. lucidus</i> <i>P. gaimardii</i> <i>B. robusta</i> *	<i>k. buccata japonica</i> <i>E. advenum</i> <i>C. yabei</i>	<i>H. nipponica</i> <i>A. takanabensis</i> <i>E. advenum</i> <i>L. lucidus</i> <i>B. robusta</i> *	<i>C. noronssi</i> <i>U. akitaensis</i>	<i>G. japonica</i>	<i>C. noronssi</i> <i>U. akitaensis</i> <i>T. kokozuraensis</i> *
Dominant species	<i>E. haidingeri</i> <i>E. advenum</i> <i>C. pseudoungerianus</i> <i>B. marginata</i> * <i>B. frigida</i> <i>F. labradoricum</i> <i>U. proboscidea vadeszens</i>	<i>H. nipponica</i> <i>C. sublimbata</i> <i>E. crispum</i> <i>B. ? makiyamae</i> <i>C. subpraecinctus</i>	<i>E. haidingeri</i> <i>P. gaimardii</i> <i>C. pseudoungerianus</i> <i>B. frigida</i> <i>B. marginata</i> * <i>F. labradoricum</i> <i>U. proboscidea vadeszens</i>	<i>U. peregrina</i> <i>P. disrupta</i> <i>T. kokozuraensis</i> <i>E. naruensis</i>	<i>C. translucens</i> <i>T. kokozuraensis</i> ** <i>U. akitaensis</i>	<i>C. japonica</i> <i>U. peregrina</i> <i>disrupta</i>
Indigenous species	<i>B. robusta</i> * <i>A. umbilicatum</i> <i>B. substriatula</i> <i>E. haidingeri</i> <i>G. nipponica</i> <i>L. lucidus</i> <i>N. stella</i> <i>L. depressus</i> <i>L. orbicularis</i> <i>U. proboscidea vadeszens</i> <i>A. takanabensis</i> <i>P. gaimardii</i> <i>Q. lamarekiana</i>	<i>C. sublimbata</i>	<i>H. nipponica</i> <i>B. ? makiyamae</i> <i>E. advenum</i>		<i>C. translucens</i> <i>G. setunaensis</i>	<i>T. kokozuraensis</i> ** <i>U. peregrina</i> <i>disrupta</i> <i>C. noronssi</i>
Universal species	<i>F. marginata</i> <i>C. aknerianus</i> <i>G. japonica</i>	<i>B. marginata</i> * <i>F. labradoricum</i>	<i>U. akitaensis</i> <i>E. clavatum</i> * <i>C. subpraecinctus</i>	<i>E. naruensis</i>		

menardii 등도 있다는 점을 고려하면 이는 亜熱帶區 (Subtropical province)에 속하며 뚜렷한 난류의 영향이다. 남쪽 깊은 상에는 *G. dute-rtrei*, *P. obliquiloculata*가 적어지는 반면, *Globigerina pachyderma*가 대단히 많아지는 점을 고려하면 *G. pachyderma*의 특징적인 “감기는 방향”이 조사되지는 않았지만 이 조성은 亜熱帶-熱帶種과 亞寒帶種이 섞여서 산출되는 漸移區 (Transition province)에 해당된다. 반면 북쪽 상에는 *G. pachyderma*가 군집의 대부분을 차지하며 몇 종으로 되어 있어서 亞極區-極區 (Subpolar-Polar province)에 속하며 이는 뚜렷한 찬물의 영향이다 (Bé., 1977). 이러한 현상을 볼 때, 연구지역의 남쪽에는 난류가, 북쪽에는 한류가 우세하다고 볼 수 있다. 북

쪽 연구지역은 우리나라 동해안을 따라 북상하는 東韓暖流의 영향하에 있는 것으로 보고되기도 했으나 (Hidaka, 1966, Fig. 6), 그렇지만은 않은 것 같다. 실제 앞서 이야기한 Ujiie (1973, Text-Fig. 1)의 1934년 Uda에서 인용한 우리나라와 일본 주변의 해류를 보면, 연구지역 북쪽까지는 北韓寒流가 동해안을 따라 남하하는 것으로 되어 있으며 東韓暖流는 연구지역의 북동쪽으로 올라가는 것으로 되어 있다 (Fig. 2). 김과 김 (1983)에 의하면 北韓寒流系水는 冬季보다 夏季에 더 우세하게 남하하여, 1973년의 경우 속초, 주문진 즉 연구지역의 북쪽 끝까지에는 연중 존재하나 북호 이남으로 내려오면서는 급격히 축소되며 여름 (8월)에는 죽변, 장기곶 해역에서는 극히 연안에서만 관찰되며 가을-겨울

(10, 12월)에는 외해에서 관찰되었다. 1963-1979년까지의 하계 해양자료에 근거, 대마해류의 북상한계를 검토한 Hong and Cho (1983)에 의하면, 대마해류는 연구지역의 오른쪽 가장자리를 지나서 북상한다. 따라서 과거의 연구, 관찰 등을 고려할 때, 연구지역의 북쪽이 잔류의 영향을 받은 것은 연구지역이 해안에 비교적 가까워서 남하하는 북한한류 및 동해고유수의 영향을 받는 것으로 생각되며, 대마난류의 연속인 동한난류는 연구지역의 오른쪽 해역을 통해서 북상하는 것으로 생각된다.

시료간의 원래상사계수와 군집으로 묶는데에 사용된 값간의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson's Product-moment Correlation Coefficient (r)를 구했다. 이값은 0.683으로 Guilford (1950, p. 164-165)에 의하면 상대적으로 중간상관관계 (moderate correlation)에 실질적인 관계 (substantial relationship)를 갖는다고 할 수 있다.

2. 論 議

분산된 군집이 살아있는 개체와 죽은 개체를 합한 전체군집이므로 생태적 요인 및 유공충死後變化 (Post-mortem Changes) 요인이 작용했다. 전사에는 위기, 지형, 海流, 底質, 서식생물에 따르는 生物間關係 등으로 유공충의 棲息水塊 (Ecological Water Mass)에 관련되며, 후사에는 섭질의 운반, 섭질의 기계적 파괴나 화학적 용해에 의한 소실, 뒤섞임 등의 변화가 있다 (Murray, 1976, 1984). 그러므로 전치군집은 연구지역에 영향을 미치는 水塊에 따르는 생태적 요인 이외의 요인에 의한 변화를 나타내며, 따라서 연구지역의 각 水塊에 따르는 살아있는 底棲有孔蟲의 群集을 조사, 연구할 필요가 있다. 연구지역에 서식하는 살아있는 저서 유공충의 조성, 분포, 서식수심범위, 다양성, 미고생물학적 특징을 연구함으로써 원래 살아있을 때의 생태와 유공충 사후 변화의 영향을 조대로 알 수 있고 각수 변화의 요인도 알 수 있기 때문이다. California 연안 (Douglas and Heitman, 1979)이나 Mexico 灣 (Poag, 1931)

등에서는 이러한 연구가 많이 되어 있다. 실제 이 연구에서 인용한 Matoba and Nakagawa (1972) 자료는 같은 동해內이기도 하나 연구지역에서 먼 지역의 연구자료이므로 연구지역과의 자연환경의 차이에 기인한 유공충군집에 차이가 있다는 점을 인정해야 한다.

이 연구에서는 묶인 시료들을 冑으로 나누는데에는 Ujiie (1973)의 頻度累積代數值 (Cumulative and Logarithmic Values of the Frequency)를 사용했다. 그림 3에서 보다시의 Dice 계수 0.60과 0.35부근 2곳에서, 시료들의 묶인 순서를 찍은 점들을 연결하는 가장 근사한 직선의 기울기에 현저한 변화가 보이며 따라서 0.35 근처의 값을 택해서 冑으로 나누었다. 그러나 冑으로 나누는 값을 택하기에 따라 冑이 영향받으므로, Kaesler (1966, p. 33)는 "생물상 분석에서 가장 좋은 방법은 아마도 어떤 선을 긋지 않고 Dendrogram 자체를 그대로 놓아 두는 것"이라 하였다 (Mello and Buzas, 1968). 이 연구에서는 위에서 이야기했듯이 상사계수 0.35 근처에서 상으로 나누었지만 다른 값에서 상으로 나누는 것이 자연상태에 보다 가깝고 의미있을 수 있다는 가능성을 배제할 수 없다. 이 연구에서는 비가중평균방법에 의한 생물상을 논의했지만, 가중평균방법에 의한 생물상이 보다 의미있을 수도 있다. 또한 Dice 상사계수 아닌 다른 계수를 택하고, 단순산술평균에 의한 방법이 아닌 다른 방법을 택한다면 이 연구 결과와 비슷할지라도 다른 결과가 나올 수 있다는 가능성을 생각할 수 있다.

謝 辭

이 연구는 한국과학기술원 해양연구소의 지원하에 이루어졌다.

參考文獻

- 김구, 정승불, 1982. 대마난류의 Branching과 대한해협 저층냉수의 기원. Oceanographic studies on the South eastern sea of Korea, 서울대학교 기초과학연구소 보고서, p. 2-40.

- 김철호, 김구, 1983, 韓[東海岸에 出現하는 冷水塊의 特性和 起源, 韓國海洋學會誌, 18: 73-83.
- 朴龍安, 1983, 韓國大陸棚의 홀로세 堆積作用의 본질과 堆積相, '83국내의 한국과학기술자학술회의 논문집 하계 심포지움(별책), 1-8.
- 수로국, 1982, 한국해양환경도, 수로국 서지 1451호, 서울, 41p.
- 承永編, 1974, 8월의 韓國東岸에서의 水溫分布에 關한 力學的 考察, 韓國海洋學會誌, 9: 52-58.
- 한영호, 1972, 1월의 동해남서해역에서의 열수지와 대한해협의 냉수괴, 韓國海洋學會誌, 7: 19-23.
- 허영규, 1975, 1973년 한국해협의 수온, 염분 및 저층수에 대하여, 수로기술연보 1973-1974, 수로국 서지 1101호: 3-5.
- 洪承明, 1968, 한국연해의 표면염분의 년변화, 수로연보 1967, 수로국 서지 제 1101호, 183-192.
- An, H.S., 1974, On the cold water mass around the south-east coast of Korean peninsula. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 9: 10-18.
- Bé, A.W.H., 1977, An ecological, zoogeographic and taxonomic review of Recent planktonic foraminifera, in: Ramsay, A.T.(ed.), *Oceanic Micropaleontology*, Academic Press, London, 1: 1-100.
- Cheetham, A.H. and Hazel, J.E., 1969, Binary (presence-absence) similarity coefficients. *J. Paleont.*, 43: 1130-1136.
- Douglas, R.G. and Heitman, H.L., 1979, Slope and basin benthic foraminifera of the California Borderland, in: Doyle, L.J. and Pilkey, O.H. (eds.), *Geology of Continental Slopes*, S.F.P.M. Spec. Pub. 27, p. 231-246.
- Emery, K.O., 1968, Relict sediments on continental shelves of world. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 52: 445-464.
- Farris, J.S., 1969, On the cophenetic correlation coefficient. *Syst. Zool.*, 18: 279-285.
- Guilford, J.P., 1950, *Fundamental statistics in psychology and education*. McGraw-Hill Book, Co., New York, 633p.
- Hazel, J.E., 1970, Binary coefficients and clustering in biostratigraphy. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 81: 3237-3252.
- Hidaka, K., 1966, Japan Sea, in: Fairbridge, R.W. (ed.), *The Encyclopedia of Oceanography*, Encyclopedia of Earth Sciences, Series, van Nostrand Reinhold Co., New York, 1: 417-424.
- Hong, C.H. and Cho, K.D., 1983, The northern boundary of the Tsushima Current and its fluctuations. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18: 1-9.
- Kaesler, R.L., 1966, Quantitative re-evaluation of ecology and distribution of Recent foraminifera and Ostracoda of Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Kansas Univ., Palent. Contr. Paper* 10, 50p.
- Kim, B.K. and Han, J.H., 1972, A foraminiferal study of the bottom sediments off the southeastern coast of Korea. *United Nations ECAFE, CCOP Tech. Bull.*, 6: 13-29, pls. II-1-11-4.
- Lee, K.B., 1978, Study on the coastal cold water near Ulsan. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 13: 5-10.
- Lim, D.B., 1973, The movement of the cold water in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 8: 46-52.
- Lim, D.B. and Chang, S.D., 1969, On the cold water mass in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 4: 71-82.
- Maddocks, R.F., 1966, Distribution patterns of living and sub-fossil podocopid Ostracodes in the Nosy Bé area, Northern Madagascar. *Kansas Univ., Paleont. Contr. Paper* 12, 72p.
- Matoba, Y. and Nakagawa, H., 1972, Recent foraminiferal assemblages from the continental shelf and slope off Akita, Japan sea coast of northeast Japan. in: Prof. Jun-Ichi Iwai memorial volume, p. 657-671 (in Japanese with English abstract).
- Mello, J.F. and Buzas, M.A., 1968, An application of cluster analysis as a method of determining biofacies. *J. Paleont.*, 42: 747-758.
- Murray, J.W., 1976, Comparative studies of living benthic foraminifera, in: Hedley, R.H. and Adams, C.G. (eds.), *Foraminifera*, 2: 45-109.
- Murray, J.W., 1984, Benthic foraminifera. Some relationships between ecological observations and palaeoecological interpretations. in: Oertli, H.J. (ed.), *Benthos '83: 2nd International Symposium on Benthic Foraminifera* (Pau, April 1983), p. 465-469.
- Park, Y.A., 1982, The nature of Late Quaternary sedimentation on the continental shelf off the south-east coasts of Korea. *Res. Inst. Bas. Sci. Seoul Nat. Univ.*, p. 86-102.
- Park, Y.A., 1984, The nature of Late Quaternary sedimentation on the continental shelf off the southeastern coast of Korea. *Proceed. Coll. Nat. Sci., Seoul Nat. Univ.*, 9: 127-134.
- Park, Y.A., 1985, Late Quaternary sedimentation on the continental shelf off the south-east coast of Korea-A further evidence of relict sediments. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20: 55-61.
- Park, Y.A. and Choi, J.Y., 1986, Factor analysis of the continental shelf sediments off the southeast coast of Korea and its implication to the depositional environment. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21: 34-45.
- Peag, C.W., 1981, *Ecologic atlas of benthic foraminifera of the Gulf of Mexico*, Marine Science International, Woods Hole, 174p.
- Sanders, H.L., 1960, Benthic studies in Buzzards Bay III. The structure of the soft-bottom community. *Lim. & Oceanogr.*, 5: 138-153.
- Seckal, R.R. and Sneath, P.H.A., 1963, *Principles of numerical taxonomy*. W.H. Freeman & Co., San Francisco, 359p.
- Stark, B.C., 1986, Depositional environment of Late Quaternary sediments and suspended particulate matter on the southeastern continental shelf, Korea. *J.*

- Geol. Soc. Korea, **22**: 10-20.
- Uda, M., 1934, Hydrographical studies based on simultaneous oceanographical surveys made in the Japan Sea and in its adjacent waters during May and June, 1932. Oceanogr. Works Japan. Soc., **6**: 19-107.
- Ujiié, H., 1973, Sedimentation of planktonic foraminiferal shells in the Tsushima and Korea Straits between Japan and Korea. Micropal., **19**: 444-460.
- Ujiié, H., and Kusukawa, T., 1969, Analysis of foraminiferal assemblages from Miyako and Yamada Bays, northeastern Japan. Nat. Sci. Mus., Tokyo, Bull., **12**: 735-772.
- Zheng, Q.A. and Klemas, V., 1982, Determination of winter temperature patterns, fronts, and surface currents in the Yellow Sea and East China Sea from satellite imagery. Remote Sensing of Environ., **12**: 201-218.

Received July 24, 1986

Accepted August 22, 1986

BIAPERTURAL *CASSIDULINA* FROM SANTA CATALINA BASIN, CALIFORNIA CONTINENTAL BORDERLAND

SOON-KEUN CHANG* and ROBERT G. DOUGLAS

*Department of Geological Sciences,
University of Southern California,
Los Angeles, CA 90089-0741*

**Present address*

*Korea Ocean Research and Development Institute,
P.O. Box 29, Banweol, Ansan City,
Kyonggi-do 171-14, Seoul, Korea*

ABSTRACT

An abnormal specimen of *Cassidulina*, having two apertures, is recorded from a piston core located in Santa Catalina Basin, California Continental Borderland.

INTRODUCTION

A single specimen of *Cassidulina braziliensis* Cushman, 1922, having two apertures, was found at the 165-166 cm level in a piston core (AHF 30986, 33°24' N., 118°50' W., 1,290 m in depth) recovered from Santa Catalina Basin off southern California (Fig. 1). The 395 cm-long core is Holocene in age, and shows two regimes of deposition: early Holocene sedimentation which was dominated by turbidities originating from the southeast, and late Holocene pelagic sedimentation with occasional turbidites derived from the northwest (Brandsma and others, 1984).

The lithology of the studied sample is greenish grey silt, containing abundant microfossils (mainly foraminifera with lesser numbers of radiolarians and diatoms), mica flakes, scarce ostracodes, bryozoans, and pelecypod valves. Micropaleontological study of the sample shows that the following species are major components in the benthic foraminiferal assemblage: *Bulimina mexicana*, *Cassidulina delicata*, *C. subcarinata*, *Chilostomella czizeki*, *Epistominella smithi*, *Cassidulinoides rotundata*, *C. cornuta*, *Uvigerina curtica*, *Globulimina hoeglundi*, *Bolivina argentea*, *B. spissa*, and *B. pacifica*.

No record of aberrant *C. braziliensis* is found in the literature, but there are some records of abnormal foraminifera having unusual number of apertures: *Uvigerina canariensis* d'Orbigny forma *distoma* De Amicis from the Lower Pliocene of Sicily (De Amicis 1895, in Dhillon, 1970), *U. curta* Cushman and Jarvis (1929) from the Eocene shales of Trinidad, B.W.I., *U. cocoaensis* Cushman, 1925 from the Upper Eocene, Mississippi (Ellison, 1953), *U. batjesi* Kaasschieter from the Clays of Ypres, Lower Eocene of northern Belgium (Willems, 1974).

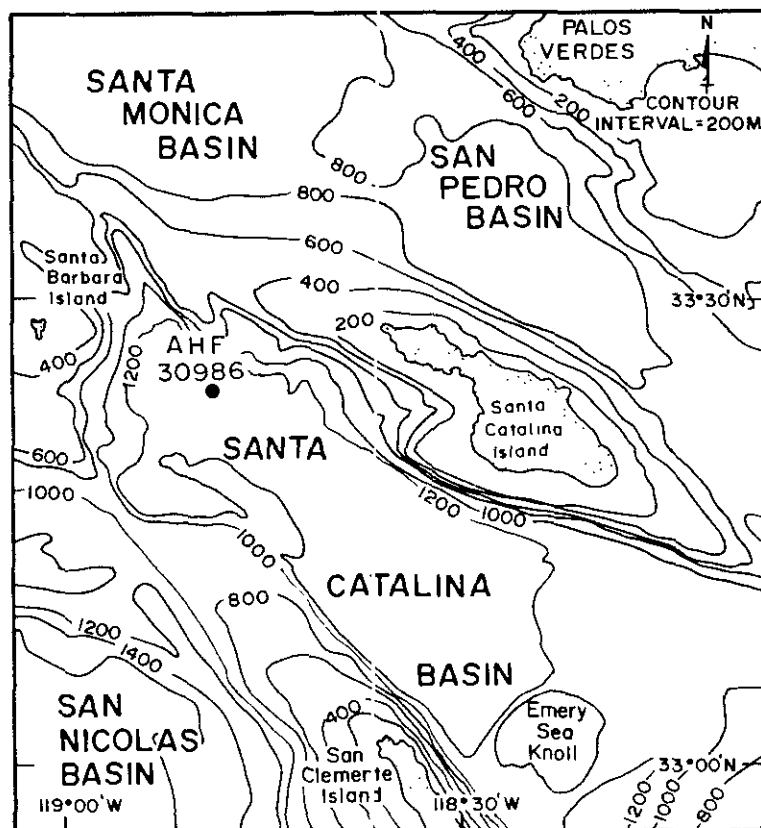


Fig. 1. Map showing location of the core AHF 30986.

Quinqueloculina sp. from the Recent sample of North Pacific (Brady, 1884, Pl. 5, Fig. 15), and *Ammotium salsum* (Cushman and Bronnimann, 1948) from the Recent mud sample *Quinqueloculina* sp. from the Recent sample of North Pacific (Brady, 1884, Pl. 5, Fig. 15), and *Ammotium salsum* Cushman and Bronnimann, (1948) from the Recent mud sample collected in West Malaysia (Dhillon, 1970). A single specimen of *Miliolinella* sp. cf. *M. chukchiensis* Loeblich and Tappan, having two apertures, one at each end of test, is recorded from the Recent bottom sample collected in the Newfoundland Grand Banks (Hooper, 1966). In addition, a single specimen of *Astacolus reniformis* (d'Orbigny), having an aperture not in its usual position was recorded from the sediment collected in Gantheaume Bay, Western Australia (Dhillon, 1969)

DISCUSSION

The aberrant *Cassidulina* specimen (Fig 2) is similar to the *C. braziliensis* of Cushman, 1922 (P. 130-131, Pl. 25, Figs. 4, 5) except for the more robust test of the aberrant specimen. Based on the general resemblance of the double apertured form to the holotype of Cushman, it is suggested that the aberrant specimen be identified as *C. braziliensis*. Specimens from the sea bottom off San Diego (Uchio, 1960) also closely resemble the aberrant specimen described in this study. The specimen in this study has two relatively small apertures, one developed in

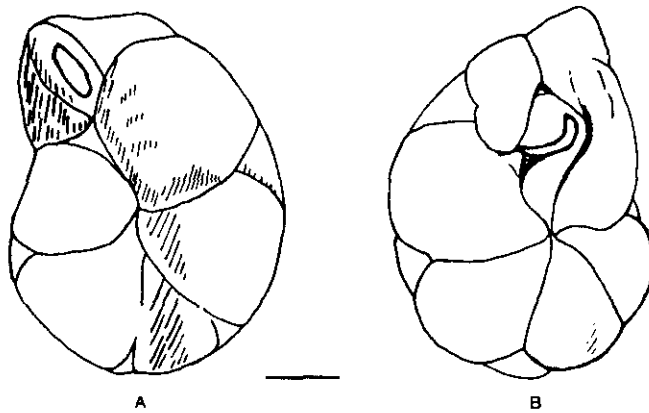


Fig. 2. Biapertural specimen of *Cassidulina braziliensis* Cushman from the 165-166 cm level of the core AHF 30986.

A, lateral view with the big aperture;
 B, lateral view with the small aperture.
 Scale bar = 0.10 mm.

the usual position, but turned more toward the side, and the other comma-shaped developed at the junction of the last chamber with the second and fourth chamber from the last one. Therefore, the two apertures face in opposite directions. This specimen is relatively small in size in comparison with other specimens of the same species picked in the core. It is differentiated from them in having relatively smaller apertures than the other specimens which have large apertures longer than one-third of total test length. The relative small size of the apertures may be compensated by the complimentary action of two apertures instead of one found in normal individuals. It has the dimension as follows: length 0.50 mm, width 0.39 mm, big aperture length 0.13 mm, and small aperture length 0.11 mm.

The specimen is filled with pyrite in the last chamber of the big aperture side, as well along the inside sutures of the fourth chamber from the last. Black materials found deep within other chambers on the same side suggest a similar phenomenon. The other side of test is not pyritized. The lower half of the studied core has abundant pyritized biogenic materials such as plant tissues and foraminifers. The aberrant specimen is the only abnormal individual among the 480 individuals of *Cassidulina braziliensis* picked from the core.

Discussing pathology and regeneration of foraminifera, Boltovskoy and Wright (1976) suggest two possible explanations for the abnormalities of foraminiferal tests; mechanical or ecological causes. They may also be linked with disease (Ellison, 1953). It may also be the result of an accident or problem during shell formation. The very rare occurrence of this abnormal form in the core suggests that the two apertures of this specimen seem more likely to be linked with mutation, as in the biapertural *Uvigerina* reported by Willems (1974). However, we cannot reject that this abnormal specimen would be linked to an accident or problem during shell formation.

The rarity of the aberrant specimen is not believed to be a problem to taxonomists (Ellison, 1953; Dhillon, 1969; Willems, 1974), even if the family CASSIDULINIDAE d'Orbigny, 1839 and the genus *Cassidulina* d'Orbigny 1826 are identified as possessing a single aperture (Cushman, 1922: p. 122; Loeblich and Tappan, 1964: C 736-738):

The aberrant specimen is deposited in the laboratory of Micropaleontology and Paleoeco-

logy of the Department of Geological Sciences, University of Southern California, Los Angeles, California.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out during the post-doctoral training at the Department of Geological Sciences, University of Southern California by one of authors, S.K. Chang, supported by the Korea Science and Engineering Foundation and the Korea Ocean Research and Development Institute, Seoul, Korea.

산타카타리나 해분에서 산출된 비정상 *Cassidulina*

장순근 * Robert G. Douglas

한국 과학기술원 해양연구소

* 南加州大學校 地質學科

요 약

미국 California 주의 태평양연안에 위치한 Santalina Basin에서 연세 Holocene 시 추심에서 산출된 미공(aperture)이 2 개인 비정상 지사유공충 *Cassidulina* 를 간단히 보고했다.

REFERENCES

- Boltovskoy, E., and Wright, R., 1976, Recent foraminifera: Dr. W. Junk, b.v. Publishers, The Hague, 515p.
- Brady, H.B., 1884, Report on the foraminifera dredged by H.M.S. Challenger, during the years 1873-1876: Report of the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger, London, v. 9, 1-814p.
- Brandsma, D, Chang, S.K., Lund, S.P., Douglas, R.G., and Henyey, T., 1984, Secular variation as a magnetostratigraphic dating and correlation tool in the recovery of a high resolution, Holocene paleo-climatic/Oceanographic record from Santa Catalina Basin, California Continental Borderland: American Geophysical Union, Transactions, v. 65, p. 869.
- Chushman, J.A., 1922, The foraminifera of the Atlantic Ocean: United States National Museum Bulletin 104, Part 3, Textulariidae, p. 1-149.
- Cushman, J.A., and Jarvis, P.W., 1929, New foraminifera from Trinidad: Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research, v. 5, p. 6-17.
- Dhillon, D.S., 1969, An abnormal *Astacolus* from the Holocene, Gantheaume Bay, Western Australia: Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research, v. 20, p. 99. 22, p. 99.

- Dhillon, D.S., 1970, An abnormal *Ammotium* from the Holocene, West Malaysia: *Micropaleontology*, v. 16, p. 59-60.
- Ellison, S.P., JR., 1953, An abnormal *Uvigerina* from the Upper Eocene, Mississippi: *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, v. 4, p. 66-67.
- Hooper, K., 1966, A note on an anomalous milioid: *Micropaleontology*, v. 12, p. 371.
- Loeblich, A.R., and Tappan, H., 1964, Sarcodina chiefly "Thecamoebians" and Foraminifera, in: Moore, R.C. (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Lawrence, Kansas, Part C. Protista 2, v. 1-2, 1-900p.
- Uchio, T., 1960, Ecology of living benthonic foraminifera from the San Diego, California, area: *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, no. 5, 1-72p.
- Willems, W., 1974, An aberrant *Uvigerina* from the Lower Eocene of Belgium: *Micropaleontology*, v. 20, p. 478-479.
-

Manuscript received May 5, 1986

A Comparative Study of Primary Production by using the ^{14}C and Oxygen Methods

Jae H. Shim* and Sung H. Kahng**

* Dept. of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151, Korea

** Korea Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 29,
Panwol Ind. 171-14, Korea

^{14}C - 法과 酸素法에 의한 一次生産 比較研究

沈載亨* · 姜聖玄**

*서울대 海洋學科 **韓國科學技術院 海洋研究所

Abstract

Photometric Winkler titration provides high precision enough to use the oxygen method in moderately productive waters. In short incubation (2-4hr), about $2 \mu\text{g C/l/h}$ can be differentiated by the photometric titration.

The oxygen and ^{14}C methods resulted in good agreement with each other in the diurnal primary production measurements. Despite small discrepancies the severe underestimation of ^{14}C -technique was not observed in short-term incubation. Size-fractionated production studies indicated the importance of nanoplanktonic production in the coastal water (62-88%).

Bacterial respiration may lead to significant underestimation in estimating net photosynthesis in the oxygen method. In spite of some problems associated with the ecological application of antibiotics, it seems feasible to use Gentamycin in separating planktonic respiration from that of total community.

요약 : Winkler 광적정법을 이용하면 산소법이 연안의 생산량추정에 있어서 충분한 정확성을 갖고 있음이 입증되었다. 2~4 시간 정도의 단기 배양을 할 경우에도, 광적정법에 의하여 약 $2 \mu\text{g C/l/h}$ 의 양까지 측정할 수 있다.

산소법과 ^{14}C -법에 의한 일차생산량 추정에 있어서는 두 방법의 결과가 잘 일치하였으며, 단기 배양에서는 ^{14}C -법의 심한 과소추정치가 관찰되지 않았다. 세포크기별 생산량에서는 연안해역에서 미세 플랑크톤의 일차생산이 62-88% 정도로서 상당히 중요한 부분을 차지하였다.

산소법에 의하여 순 광합성량을 추정할 때에는 박테리아의 호흡 때문에 상당한 과소추정치를 야기할 수 있다. 항생제를 생태학적으로 적용하는데 있어서 다소의 문제점이 있으나, Gentamycin을 사용하여 전체군집의 호흡량에서 플랑크톤에 의한 호흡량을 분리 측정할 수 있을 것으로 보인다.

INTRODUCTION

Accurate measurement of phytoplankton photosynthesis has been one of the most important concerns in marine ecology, because primary production is essential in understanding the trophic transfer of energy and materials in aquatic ecosystem processes. However, the practical performance of pro-

duction measurement on natural waters inevitably includes manifold problems of methodology.

Furthermore, ^{14}C -tracer technique first introduced by Steemann Nielsen in 1952 has intrinsic uncertainties as to not only whether the method measures net or gross photosynthesis, or something between the two, but also whether or not there is substantial underes-

mination from the several error sources (e.g. Ryther 1956, Nalewajko and Lean 1972, McMahon 1973, Pugh 1973, Lean and Burdison 1979, Peterson 1980, and Carpenter and Lively 1980).

In practice, ^{14}C -technique, owing to its high sensitivity sufficiently applicable to the low rates of carbon uptake, has been almost the only standard method for estimating the flux associated with primary production in aquatic environments. But some potential error sources peculiar to ^{14}C method make it complicated to interpret the production data; i) release of dissolved organic matter (Anderson and Zeutschel 1970, Gieskes 1973), ii) high dark uptake possibly due to bacterial or algal dark carbon uptake (Morris et al. 1971) iii) leakage of fixed carbon from algae due to cell rupture during the filtration (Theodorsson and Bjarnason 1975, Silver and Davoll 1978).

Oxygen method, which was already undertaken in the late 1920s and early 1930s, has been almost superseded by the ^{14}C method in the phytoplankton production studies, because of its principal difficulties in the poor sensitivity of oxygen measurements. Using chemical method or oxygen probe, it is nearly impossible to detect the planktonic assimilation rates which have low oxygen change by photosynthesis or respiration. In order to have measurable oxygen differences, oxygen method must suffer from either long incubation or concentrating the samples (Berman 1973). But these may cause the selective changes in populations and physico-chemical conditions in the bottle, or make it difficult to interpret the results due to the changes of natural conditions (Vollenweider 1974).

However, a recently introduced precise Winkler titration method by the sensitive photo-electric end point detector has made it feasible to use the oxygen method in the coastal primary production measurements (Bryan et al. 1976, Harthwig and Michael 1978, Williams and Jerkinson 1982). This means that the oxygen method by the photometric titration will provide more simple and straightforward results of gross and net production, and will be applicable to respiration studies of phytoplankton and bacteria.

In this study, we examined the validity of oxygen method with the photometric titration by evaluating possible error sources. In an effort to separate bacterial respiration, we in-

vestigated the ecological application of antibiotics in oxygen method. ^{14}C and oxygen methods were compared through *in situ* primary production measurements, and size-fractionated production studies were also performed by ^{14}C -technique.

MATERIAL AND METHODS

The study area

The present study was carried out in marine and fresh water. Diurnal productivity was measured for 36 hours in Lake Soyang, the artificial lake of North Han River (Fig. 1). Size-fractionated production was measured at two stations in Gyeonggi Bay of the Yellow Sea (Fig. 1). Two sampling stations in Gyeonggi Bay have comparatively different environmental conditions: station A is relatively unpolluted, but station B receives large untreated domestic and industrial wastewater.

Sampling dates and other physico-chemical conditions were listed in Table 1.

Sampling and incubation

All the experiments of ^{14}C and oxygen

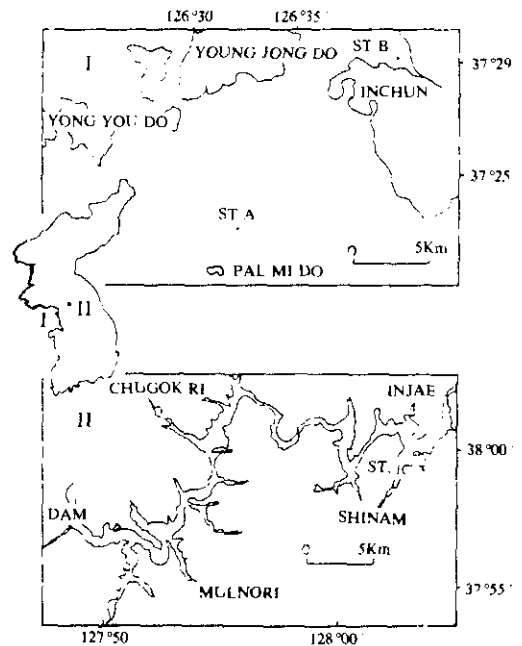


Fig. 1. Map showing sampling stations in Gyeonggi Bay (I) and in Lake Soyang (II).

Table 1. Sampling stations, dates, and physico-chemical conditions

Station	Date	Sampling Depth (m)	Hours Incubated	Water Temp. (°C)	Salinity (‰)	NH ₄ -N (µg at-N/l)	NO ₃ -N (µg at-N/l)	PO ₄ -P (µg at-P/l)	BOD (ppm)
Gyeonggi Bay									
A	15 May	1,5,10	1.8-2.2	12.5-12.8	31.7	N.D.	1.5-8.5	0.21-0.70	12.3-16.4
B	14 May	1	2	14.0	30.9	3.80	1.2	0.24	14.6
A	24 July	1,6	2.0-2.2	22.7-23.7	30.1	2.21-4.39	1.1-3.6	0.40-0.41	2.4-6.9
B	25 July	1	3	24.8	27.3	61.70	8.7	0.54	7.6
B	*24 Oct.	0	6	15.0	29.6	16.50	9.8	0.64	9.3
Lake Soyang									
C	25-26 Sept.	1	3.0-24	20.3-24.5	N.D.	0.90-2.50	20.2-38.8	0.18-0.24	N.D.**
C	*28 Oct.	0	9	15.5	N.D.	0.90	30.7	0.28	N.D.

*: laboratory incubation under fluorescent light

**N.D.: not determined

method were conducted by composite sampling. Water samples were filtered through 300 µm Nitex screen in order to remove large zooplankters. Acid-cleaned twelve light bottles and eight dark bottles (ca. 300 ml) were used at a time for duplicate and triplicate analyses. Bottles were laid down on the incubation cartridge (80×80×100 cm), which could fix the bottles vertical to the incident light (Fig. 2).

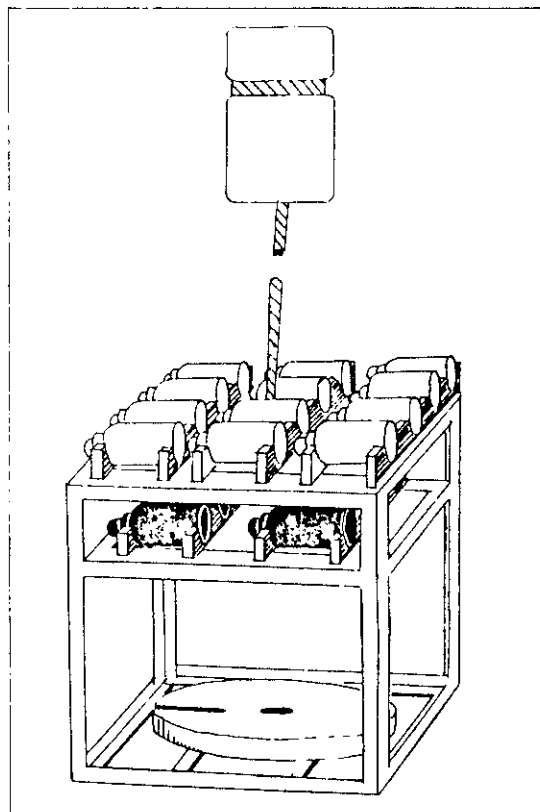


Fig. 2. *In situ* incubation cartridge (80 × 80 × 100 cm)

Oxygen Method by the Photometric Winkler Titration

The conventional Winkler method for dissolved oxygen determination was improved by the photometric endpoint detection (Bryan et al. 1976). The intense near UV absorption spectrum of tri-iodide ion (350 nm) disappears as liberated iodine is titrated, and the logarithmic increase of photocell signal ceases immediately after the small addition of thio-sulfate at the end point (Fig. 4).

The photometric titrator was in principle the same as that described by Bryan et al. (1976). But light sources was improved as fluorescent UV lamp from a fluorometer (F4/T4 UV light lamp), and UV light narrow pass filter at 360 nm (Color # 7-60) was used (Harthwig and Michael 1978). In the light-path, two convex lenses (focal length 10 cm) was placed on either side of the sample to spread the beam (Williams and Jerkinson 1982). The driving voltage of the photocell (General Electric 1P39 tube) was reduced to 40 V and provided by a voltage regulator rather than batteries. Another major improvement of this method, the whole bottle titration (Green and Carritt 1966), eliminated the volatilization of liberated iodine due to the transference of acidified solution. Also, Thomas motor-driven automatic burette was used in order to carry out rapid and accurate titration suitable for field and shipboard use. (Fig 3-1, 3-2)

Dissolved oxygen changes between light and dark bottles were measured with photometric titrator described above. In all cases, duplicated or triplicated samples were analyzed and fixed samples were titrated as im-

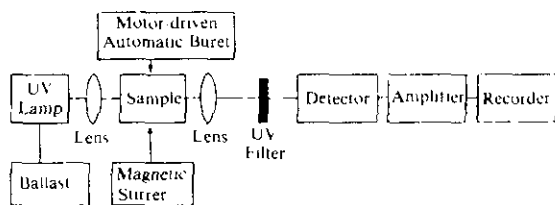


Fig. 3. Block diagram of the Winkler phototitrator.

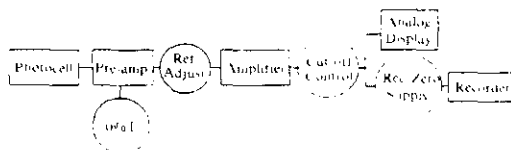


Fig. 3-2. Electronic system of the Winkler phototitrator.

mediately as possible.

Respiration correction

We used Gentamycin, broad-spectrum antibiotics with $100\mu\text{g}/\text{ml}$ samples for respiration corrections. Before the incubation, one or more hours of pre-incubation was needed. Plate count was also accompanied in order to estimate the Gentamycin-negative bacteria. Water samples were also pre-filtered with $0.45\mu\text{m}$ GF/C, and the oxygen changes of filtrate were measured to compare the Gentamycin correction (Pratt et al. 1959).

We measured ^3H -glucose uptake in order to ascertain the bacterial inhibition of Gentamycin. To 300 ml BOD bottle, $3\mu\text{Ci}$ of D-glucose-6- ^3H (Amersham Corp.) was added with an automatic pipette. Control samples were prepared by adding formalin before the addition of ^3H -glucose. Duplicate test and control samples were incubated *in situ* for 2 hr.

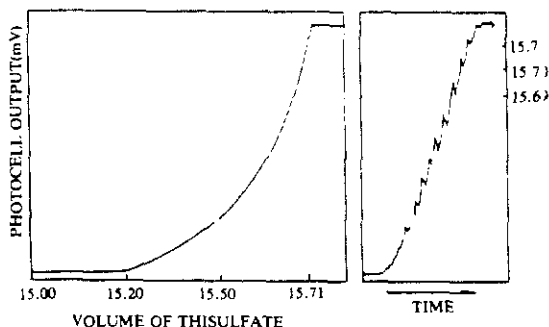


Fig. 4 Diagram showing the photocell output and the trace of pen recorder during the titration of a sample.

They were filtered with $0.2\mu\text{m}$ Nuclepore filters under mild vacuum ($< 200\text{ mm Hg}$) and were radioassayed with the counting efficiency of average 26% (Azam and Holm-Hansen 1973).

^{14}C -experiments and size-fractionation

^{14}C -bicarbonate working solution ($10\mu\text{Ci}/\text{ml}$) was prepared from the stock solution (Amersham Corp. $1\text{ mCi}/\text{ml}$). It was oxidized with strong UV light for 12 hours in order to remove organic ^{14}C -labelled impurities (Williams et al. 1972). 5-10 μCi of working solution was added to the different experiments. At the end of an incubation, samples were fixed with Lugol iodide or immediately filtered.

In all cases, 300 ml aliquots were filtered sequentially through a series of $22\mu\text{m}$ Nitex screen and Nuclepore filters of decreasing pore size ($3\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$, $0.4\mu\text{m}$, and $0.2\mu\text{m}$). After filtration, filters were washed with filtered ambient water and then removed from filter holders and acid-fumed for 20 min.

1 ml of 2-methoxyethanol and 0.2 ml of ethanolamine were used to dissolve the filters. Vials were counted in liquid scintillation counter (Packard TRI-CARB 4550) in 10 ml scintillation cocktail (2:1 toluene: 2-methoxyethanol plus 5 g of PPO and 0.1 g POPOP per liter).

For the purpose of correcting the errors derived from exudation and cell rupture, dissolved production was measured. The filtrate from the ^{14}C -incubated samples was immediately frozen and later processed in the laboratory. 1N HCl was added to give about pH 2.0 and the solution was bubbled vigorously with air for 2 hr to drive off all ^{14}C -bicarbonate. After the pH of the filtrate was readjusted to 8.4 to 8.5 with NaOH, they were placed in tightly stoppered 500 ml flask, in each of which was suspended a scintillation vial containing 1 ml of Hyamin 10-X. The samples were irradiated with strong short-wave UV light (Armstrong et al. 1966, Berman and Holm-Hansen 1974) for 6 to 12 hours to oxidize residual dissolved organic matter. They were acidified with HCl, and stirred for 4 hr at room temperature. Evolved $^{14}\text{CO}_2$ was trapped by Hyamine (Efficiency 95-98%), and counted with the same method. Counting efficiency was recalibrated with a series of quen-

ched standards containing Hyamine 10-X (Herbland and Bois 1974).

Nutrients and chlorophyll etc.

Ammonia was analyzed in the field station by the method of Solorzano (1969). Other nutrient samples were deep frozen (-20°C) until analysis (Strickland and Parsons 1972). Chlorophyll-a was also size-fractionated. Nuclepore filters were changed at every 100-300 ml lest the filters should be clogged. Photosynthetically active radiation (PAR) was measured with a LiCor quantum sensor.

RESULTS

Dissolved oxygen measurements by the photometric Winkler titration method

The precision of the photometric Winkler titration was tested by replicate analyses of natural water samples. The normalities of 0.02 N thiosulfate solution were standardized by titrating known equivalents of iodates ($r^2 = 0.998$).

Table 2 shows the results of dissolved oxygen measurements. The range of coefficients of variation (0.03-0.11) implies that the precision at 95% confidence limits is in the range of about 0.005-0.018 ml O_2/l at 6 ml O_2/l level. If the photosynthetic quotient is assumed to be 1.2, this range can be converted to 2.2 to 8.0 $\mu\text{g C/l}$ in the carbon flux.

Although this result means the photometric titration may make it possible to discriminate average 6 $\mu\text{g C/l}$ by the oxygen method, it is practically difficult to maintain the precision, because of the natural population inhomogeneities and handling errors of sampling procedure in the production and

Table 2. Precision of the phototitrator in dissolved oxygen measurements

mean oxygen conc. (ml O_2/l)	n	SD	CV
5.440	6	0.005	0.09
5.736	5	0.004	0.07
6.268	5	0.007	0.11
6.514	6	0.006	0.09
6.820	3	0.002	0.03
7.254	4	0.005	0.07
7.857	3	0.004	0.05

n: number of samples

SD: standard deviation CV: coefficient of variation

Table 3. Bottle volume corrections and possible error boundary at 5ml/l level

Bottle type	n	Volume inscribed (ml)	V	Error (ml O_2/l)
A	18	300.0	1.17 ± 1.20	0.021
B	29	299.7 ± 6.08	0.40 ± 0.31	0.007
C	12	308.9 ± 6.28	0.92 ± 0.56	0.017
D	7	299.2 ± 6.42	1.56 ± 0.72	0.028

respiration experiments (Harthwig and Michael 1978). One of the serious error sources was the inaccurate volume inscribed in the BOD bottle (Table 3). Four types of incubation bottles were recalibrated.

Diurnal primary production by the ^{14}C and oxygen methods

Previous studies concerning diurnal patterns of photosynthetic activity suggested the 'afternoon depression' in the photosynthetic rate (Newhouse et al. 1967, McAllister 1961, Tijssen 1979). In order to examine asymmetrical photosynthesis in natural population, time-series *in situ* measurements of primary production were measured in Lake Soyang for about 36 hours. ^{14}C and oxygen methods were simultaneously used. Supplementary incubations for the separation of planktonic respiration from the community respiration were performed by two other methods: i) inhibition of bacterial metabolism by gentamycin, and ii) elimination of phytoplankton by prefiltration before incubation.

Figure 5 demonstrated changes in photosyn-

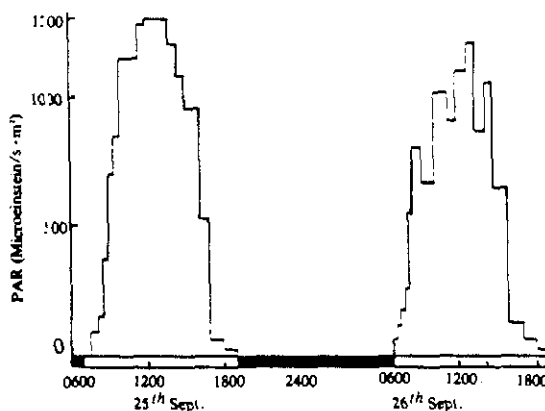


Fig. 5. Incident photosynthetically active quantum flux over the experimental period 25-26 Sept. 1984. Surface reflection was corrected (PAR: photosynthetically active radiation).

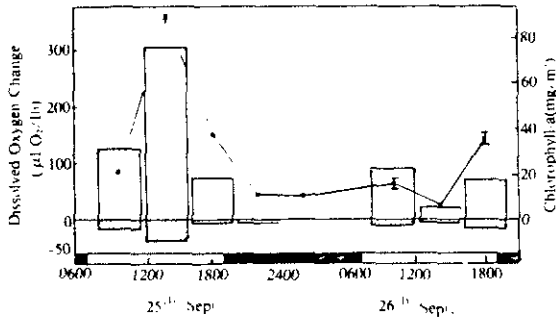


Fig. 6. Dissolved oxygen changes and chlorophyll-a concentrations (The hatched portion is the corrected respiration of phytoplankton and open is net production. The line connecting solid circles represents the changes of chlorophyll-a concentration).

thetically active quantum flux over the experimental period 25-26 September.

Time-series measurements of *in vitro* dissolved oxygen changes (Fig. 6) represented marked fluctuations during the experimental period, and the highest afternoon peak of the first day experiment was observed, which had not been expected. If three- to four-fold diurnal oscillations of pigment contents cannot be practically allowed, close relation between oxygen evolution and chlorophyll concentrations means the inequality of sampling at an interval of 4 hours. One of the possible explanations was the patch distribution of natural phytoplankton. As all these samples for the oxygen and ^{14}C incubations were not taken within the enclosed water column trapped on the large-volume bag (McAllister et al. 1961), it may be possible for small patch derived by wind or water movement to intrude on the sampling station located in the vial. Also these assumptions were supported by the observation of dense patch of *Peridinium* sp.

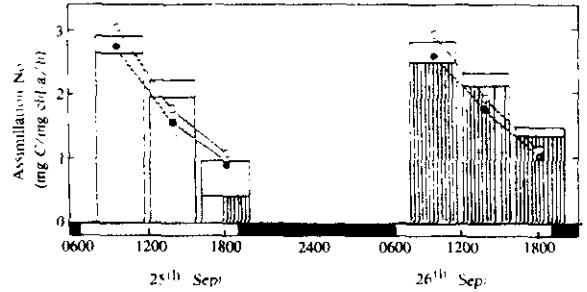


Fig. 7. ^{14}C - and oxygen-derived primary productivity per unit chlorophyll-a concentration (Histogram refers to the ^{14}C -fixation; hatched portion is particulate production and open is soluble production. Upper line connecting open circles is gross production converted from O_2 method, and lower line connecting solid circles is net production calculated by correction method).

^{14}C - and oxygen-derived rates of photosynthesis were normalized by chlorophyll-a. Fig. 7 shows the diurnal changes of the photosynthetic rates per unit of chlorophyll-a. The results of assimilation number (mg C/mg chl-a/h) indicates the obvious asymmetrical and periodic pattern of photosynthesis. Although the ^{14}C data were quite closely tracking gross oxygen production in the morning, there were small discrepancies between the two sets of experiments.

Oxygen-derived net and gross production was corrected by gentamycin and prefiltration methods. Oxygen consumption of dark bottle was generally large, which indicated the possible underestimation of net production without correction method (Table 4).

Size-fractionated productivity and biomass

Table 5 shows size-fractionated primary productivity and biomass in Gyeonggi Bay and

Table 4. Respiratory corrections by the gentamycin and prefiltration methods in Lake Soyang

Time	Pg	Rc	Pn	Gentamycin		Prefiltration	
				Pn'	Pn'-R'	Pn''	Pn''-R''
		(ml O ₂ /l/h)					
25 Sept.							
8-12	0.14	0.113	0.027	0.125	8.3	0.042	0.4
12-4	0.345	0.058	0.288	0.305	7.6	0.313	9.8
4-8	0.091	0.029	0.062	0.074	4.4	0.080	7.3
26 Sept.							
8-12	0.101	0.056	0.045	0.090	8.9	0.091	9.1

(Pg: gross photosynthesis, Rc: community respiration, Pn: uncorrected photosynthesis, Pn': net photosynthesis corrected by gentamycin, and R': true respiration of phytoplankton corrected by gentamycin)

Table 5. Size-fractionated primary productivity and chlorophyll-a concentration in Gyeonggi Bay and Lake Soyang

Station	Date	Depth (m)	Total chl-a(mg/m ³) P(mgC/ m ³ /h)		% of Total				Nano/ Total (%)	
					<2μ	2-3μ	3-10μ	>10μ		
A	15 May	1	chl-a	4.26	17	69	7	7	83	
			P	3.81	38	44	6	7	62	
		5	chl-a	3.80	12	51	24	14	88	
		P	1.10	29	36	14	16	71		
		10	chl-a	9.11	58	33	5	4	42	
		P	0.36	—	—	—	—	—	—	
	24 July	1	chl-a	1.11	12	64	14	10	88	
			P	0.92	22	44	24	10	78	
		6	chl-a	1.29	23	36	23	18	77	
		P	0.43	25	36	30	9	75		
B	24 May	1	chl-a	5.56	36	46	11	7	64	
			P	1.39	26	64	7	3	74	
		25 July	1	chl-a	2.00	3	62	25	10	97
		p	0.72	12	56	25	7	88		
C	26 Sept.	1	chl-a	30.10	90	5	—	5	10	
			P	75.55	87	8	3	1	13	

Lake Soyang. Size-fractionated productivity in Gyeonggi Bay indicated that small nanoplankton species were responsible for most of the carbon fixation in the phytoplankton assemblage. Nanoplankton production comprised 62-88% of total phytoplankton production. The contribution of the < 3 μm cells was variable at each season and station.

As noted in the carbon fixation rate, nanoplankton chlorophyll concentrations comprised the major fraction of total chlorophyll in this area.

In Lake Soyang the contribution of net phytoplankton production reached average 87%. But this may be overestimated owing to the abundant colonized microflagellates (3-7 μ).

Planktonic v.s. bacterial respiration

Bacterial respiration is one of the most significant problems in estimating net oxygen evolution of phytoplankton. If additional respiration is severe, the calculation of net photosynthesis ($DO_{light} - DO_{control}$) will be erroneously low by the 'same' amount.

Practically *in vitro* measurements (i.e. bottle incubation) have the possibility that there can be a larger bacterial growth on the bottle wall than the surrounding water mass. Pratt et al. (1959) proposed the correction procedure by prefiltration of phytoplankton before incubation, but this was blind to the bacterial attached to the particles larger than filter pore

size.

So, if it is possible to apply antibiotics gentamycin as the inhibitor of bacterial population, it seemed that oxygen method could give us better informations about the rate of carbon or energy flux in the ecosystem as well as about the net planktonic production.

Although vial counts indicated the over 95% reduction of bacterial colonies, these results do not mean the immediate inhibition in short-term experiments but the percentage of gentamycin-sensitive strain. Also short-term uptake experiments of ³H-glucose after 2 hr preincubation represented average 61% inhibition of bacterial metabolism (Table 6).

Therefore in order to apply the bacterial inhibitor in the short-term production measurements, the verification by the time-course

Table 6. ³H-glucose turnover time, turnover rates and percentage inhibition of Gentamycin in Gyeonggi Bay on May, 1984

Station	Depth (m)	³ H-glucose turnover time (day)	³ H-glucose turnover rate (%/hr)		% Inhibition
			total	Gentamycin	
A	1	2.2	1.94	0.61	69
	5	5.6	0.75	0.31	59
	10	10.7	0.39	0.17	56
B	1	1.0	4.34	1.69	61

Southern California Bight, USA (Azam, March 1979)

*S/v = 5/f (Azam and Holm-Hansen 1973)

S: substrate concentration, v: uptake rate, t: incubation time, and f: fraction of the added tracer taken up in time t (S/v = turnover time).

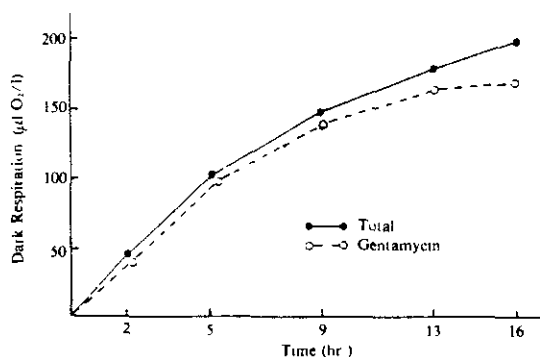


Fig. 8. Time-course experiment of gentamycin test to the samples of St. B, October (Gentamycin-treated samples were preincubated for 2 hours).

incubation was needed (Fig. 8, 9). Figure 8, however, does not show linear respiration rate in the original sample. Figure 9 indicated another time-course inhibition test accompanied by ^3H -glucose uptake experiments. It appeared that gentamycin could not block the bacterial respiration in early incubation periods.

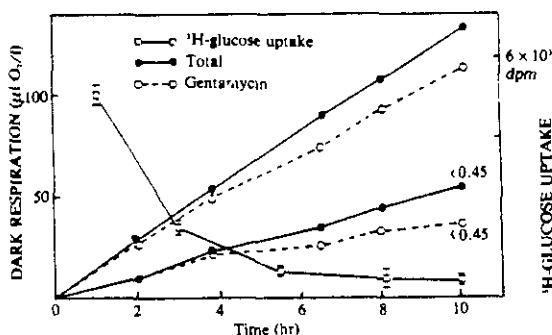


Fig. 9. Time-course experiment of gentamycin test to the pond water (Lower two lines represented the dark respiration of samples filtered with glass fiber filter (GF/C). Tritium glucose uptake experiment was carried out in the filtered water).

DISCUSSION

Some problems of production measurement by the oxygen method

Although the Winkler method has been subject to some criticism and modification (Carpenter 1965, Carrit and Carpenter 1966) it has been most commonly used in the determination of dissolved oxygen in natural water because of its precision superior to oxygen

electrode. Furthermore, the introduction of the photometric titration made it possible to quantify small oxygen concentration change.

There are, however, some problems in using the oxygen method in the production and respiration measurements. Incubation time is an important factor which controls the precision of the method. If 24 hour incubations are permissible without errors, then the precision will be average $7 \mu\text{l O}_2/\text{l/day}$. But this precision is inadequate for oligotrophic water, and practically such long exposure are more susceptible to a variability of possible errors. If short incubation (2-4 hr) is used, about $2 \mu\text{g C/l/h}$ can be only differentiated by the photometric titration.

Furthermore, oxygen method has two basic uncertainties: bacterial respiration and photorespiration. Bacterial respiration correction was attempted in this study, but photorespiration cannot be solved, though ^{14}C method is also blind to the photorespiration.

In order to attain maximum performance in the production measurements, much attention should be paid to handling of the samples rather than titration procedure. The volume of all the bottles should be determined to 0.01 ml, if possible (Williams and Jerkinson 1982). Much care must be given to composite sampling in order to make same oxygen concentrations. The presence of reducing and oxidizing agents if homogeneously dispersed, may not affect the changes due to photosynthesis and respiration through the constant under- or overestimation of the true oxygen concentration. But it seemed that the interference from the oxidation of organic matters could be only minimized by immediate analysis (Phillips 1973).

Several error sources found in the experiments are described below.

i) Intrinsic problems of the routine Winkler method

- 1) air bubbles trapped in the bottle during the sampling procedure
- 2) iodine volatilization during the titration
- 3) interfering substances including oxidizing and reducing agents which are naturally occurring (e.g. NO_2^- , Fe (II), Fe (III), Cu(II), Cr(VI), OCl^- , H_2S , hydrazine, thiosulfate, thiourea, and organic matters acting reducing agents such as glucose, peptone etc.) (Phillips

1973).

ii) Problems in the photometric and whole-bottle titration

- 1) inaccurate volume of oxygen fixatives (manganous sulfate and alkaline iodide: 1.00 ± 0.05 ml)
- 2) possible volume inequalities from the temperature differences of samples (Williams and Jerkinson 1982)
- 3) transparency shift due to the optical inconsistency of bottles or sample turbidity
- 4) interference in the near UV absorption band such as Hg (Carpenter 1965).

Diurnal primary productivity by the ^{14}C and oxygen methods

Many authors suggested that ^{14}C -technique may underestimate primary production in the oligotrophic lake and open ocean water (Stemann Nielsen 1955, Gieskes et al. 1979). But these discrepancies have not been fully understood. Although ^{14}C and oxygen methods were compared under a wide variety of culture and field conditions (Ryther 1956, McAllister 1961, Antia et al. 1963, Linderboom and De Bree 1982, Davis and Williams 1984), their results were often contrary to each other. The major discrepancies between the ^{14}C - and oxygen results seems to be that the excreted early products of photosynthesis were not measured in the routine ^{14}C experiment. Another basic difficulties in comparing ^{14}C - and oxygen methods were the variability of photosynthetic quotient (PQ) (Williams et al. 1979) as well as the several problems caused by long incubation.

Although the two methods measure different processes (carbon flux vs. energy flux), our *in situ* data represented good agreement between the two methods of measuring plankton photosynthesis. We could not find the severe underestimation of ^{14}C -technique in short-term incubation. These may implies that conventional ^{14}C -technique provides fairly accurate results of organic production.

Diurnal productivity experiments by the two methods showed that ^{14}C method measured the approximate gross production in the morning, but there were small discrepancies between the two in the afternoon. The observation that more severe afternoon depression was in the oxygen method may suggest i) the

uncertainty in adopting a PQ of 1.2, or ii) active photorespiration at high light intensity and high O_2 , low CO_2 conditions.

Diurnal changes in the rate of photosynthesis seems to be responsible for the endogenous factors which affect the overall rate of photosynthesis per cell (Yentsh and Ryther 1957). The presence of phased cell division in semi-synchronous natural population or photorespiration and photoinhibition (Harris 1980) may be one possible explanation of the afternoon depression.

Size-fractionated productivity and biomass

Many ecological studies emphasized the relative importance of different size fractions of phytoplankton on the ground that species succession in marine phytoplankton can be influenced by the several biological differences related with cell size (e.g. nutrient requirement and uptake kinetics, photosynthesis and respiration rates, sinking rate, and susceptibilities as food for grazer: Durbin et al. 1975). It has been reported that a variable but significant portion of primary production in lakes and oceans is contributed by the nanoplankton (e.g. Malone 1971, Kalff 1972, Sells 1983).

Our results also support the dominance of nonplanktonic production in the coastal water. It seems that small cells generally have shorter generation times and higher growth rates in a given environment than do larger cells. In addition, the observation of higher percentage in nano-fraction at the polluted area (St. B) suggests that rather selective effects of certain pollutants may enhance the survival of small cells because nanoplankton may persist in situation where pollution has resulted in the loss of netplankton (Eppley and Weiler 1979). Low assimilation rate in Station B seems to be due to toxic effects of domestic and industrial wastewater.

Low productivity on 15 May resulted from low light intensity, but low assimilation rate in summer was ascribed to small biomass. In summer, we observed a large bloom of *Noctiluca scintillans*, a non-photosynthetic dinoflagellate. The decline of phytoplankton biomass may be ascribed to the active grazing of zooplankters, and the increase of nano-fraction in summer implies high grazing pressure on the net-fraction of the phyto-

plankton species assemblage.

Assessment of bacterial respiration

Ecological application of antibiotics as metabolic inhibitors of bacterial population includes many methodological problems. The one is the interfering substance contained in the commercial gentamycin sulfate. Gentamycin which consists of several complexes (C_1 , C_{1a} , C_2 , A etc.) is a kind of aminoglycoside antibiotics inhibiting bacterial protein synthesis. Also gentamycin is non-reducing sugar, which does not interfere the oxidation and reduction reactions in the Winkler method. But small amount of sodium bisulfite contained in the commercial gentamycin sulfate acts as a reductant. The oxidation of sodium bisulfite consequently leads the apparent decrease of dissolved oxygen concentration. If reagent grade is not used, gentamycin should be added to the samples before subsampling and thoroughly mixed.

Another problem is that we have no evidence that gentamycin only blocks bacterial metabolism and that of eukaryotes and blue-green algae remains relatively unaffected.

Also there are some uncertainty about gentamycin-resistant strain with the aminoglycoside-inactivating enzyme (Davies 1975). And the most important problem is whether the effect of gentamycin leads a substantial decrease in oxygen uptake in short-term experiments. Time-course experiments shows how many hours of preincubation will be required to depress bacteria respiration. The results represented that during the early incubation period (1-4 hr), susceptible cells showed relatively small respiration inhibition.

The respiratory inhibition by antibiotics would be greatest during early log-phase, but late-log or stationary phase bacteria would not be readily affected, because the production and activity of respiratory enzymes in early log-phase cell are greatest and then interference with protein synthesis would have maximum effect (Yetka and Wiebe 1974). Therefore our results suggest that at least 4-6 hr of preincubation should be required to the complete suppression.

CONCLUSION

The introduction of the photometric end point detection to conventional Winkler method made it possible to measure small dissolved oxygen changes from photosynthesis and respiration. Although sensitivity is still unable to overtake that of ^{14}C -tracer technique, this method seems to be comparable to ^{14}C -method for the production measurements and the related respiration studies.

Bacterial respiration is one of the most significant problems in estimating net oxygen evolution of phytoplankton. Practically the ecological application of antibiotics has some problems, but it seems that bacterial respiration must be corrected in case of high microbial activity.

Our in situ data represented good agreement between ^{14}C and oxygen methods, and the severe underestimation of ^{14}C -technique was not observed in short-term incubation. These result may suggest that conventional ^{14}C -method provide fairly accurate estimates of organic production in short-term incubation.

REFERENCES

- Anderson, G.C., and R.P. Zeutshel, 1970. Release of dissolved organic matter by marine phytoplankton in coastal and offshore areas of the Northwest Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, **15**: 402-407.
- Antia, N.J., C.D. McAllister, T.R. Parsons, K. Stephens, and J.D.H. Strickland, 1963. Further measurements of primary production. *Limnol. Oceanogr.*, **8**: 166-183.
- Armstrong, F.A. J., P.M. Williams, and J.D.H. Strickland, 1966. Photooxidation of organic matter in sea water by ultra-violet radiation. *Nature, Lond.*, **211**: 481-483.
- Azam, F., and O. Holm-Hansen, 1973. Use of tritiated substances in the study of heterotrophy in seawater. *Mar. Biol.*, **23**: 191-196.
- Berman, T., 1973. Modification in filtration methods for measurement of inorganic ^{14}C uptake by photosynthesizing algae. *J. Phycol.*, **9**(3): 327-330.
- Berman, T., and O. Holm-Hansen, 1974. Release of photoassimilated carbon as dissolved organic matter by marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, **28**: 305-310.
- Bryan, J.R., J.P. Riley, and P.J. LeB. Williams, 1976. A Winkler procedure for making precise measurements of oxygen concentration for productivity and related studies. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **21**: 191-197.
- Carpenter, H.H., 1965. The accuracy of the Winkler

- method for dissolved oxygen analysis. *Limnol. Oceanogr.*, **10**: 135-140.
- Carpenter, E.J., and J.S. Lively, 1980. Review of estimates of algal growth using ^{14}C tracer techniques. In "Primary productivity in the sea" Falkowski, P.G., ed., 161-178.
- Carrut, D.E., and J.H. Carpenter, 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining oxygen in sea water. A NASCO Report, *J. mar. Res.*, **24**: 286-318.
- Daries, J.M., 1975. Energy flow through the benthos in a Scottish sea loch. *Mar. Biol.*, **31**: 353-362.
- Davis, J.M., P.J. LeB. Williams, 1984. Verification of ^{14}C and O_2 derived primary production measurements using an enclosed ecosystem. *J. Plankton Res.*, **6**(3): 457-474.
- Durbin, E.G., R.W. Krawiec, and T.J. Smayda, 1975. Seasonal studies on the relative importance of different size fractions of phytoplankton in Narragansett Bay (USA). *Mar. Biol.*, **32**: 271-287.
- Eppley, R.W., and C.S. Weiler, 1979. The dominance of nanoplankton as an indicator of marine pollution: a critique. *Oceanologica Acta.*, **2**(2): 241-245.
- Gieskes, W.W., and A.J. Bennekoum, 1973. Unreliability of the ^{14}C method for estimating primary productivity in euphotic Dutch coastal waters. *Limnol. Oceanogr.*, **18**: 494-495.
- Gieskes, W.W., G.W. Kraay, and M.A. Baars, 1979. Current ^{14}C methods for measuring primary production: gross underestimates in oceanic waters. *Netherlands J. Sea Res.*, **13**(1): 58-78.
- Green, E.J., D.E. Carrut, 1966. An improved iodine determination flask for whole bottle titration. *Analyst* **91**: 207-208.
- Harris, G.P., 1980. The measurement of photosynthesis in natural populations of phytoplankton. In "Physiological Ecology of Phytoplankton," Morris, I., ed., pp. 129-187.
- Harthwig, E.O., and J.A. Michael, 1978. A sensitive photoelectric Winkler titrator for respiration measurements. *Environ. Sci. Technol.*, **12**: 712-715.
- Herbland, A.M., and J.F. Bois, 1974. Assimilation et minéralisation de la matière dissoute dans la mer: méthode par comptage en scintillation liquide. *Mar. Biol.*, **25**: 203-212.
- Kalff, J., 1972. Net plankton and nanoplankton production and biomass in a North Temperate Zone Lake. *Limnol. Oceanogr.*, **17**: 712-720.
- Lean, D.R.S., and B.K. Brunson, 1979. An evaluation of errors in the ^{14}C method of primary production measurement. *Limnol. Oceanogr.*, **24**(5): 917-928.
- Linderboom, H.J., and B.H.H. De Bree, 1982. Daily production and consumption in an eelgrass (*Zostera marina*) community in saline lake Grevelingen: Discrepancies between the O_2 and ^{14}C method. *Netherlands J. Sea Res.*, **16**: 362-379.
- Malone, T.C., 1980. Size-fractionated primary productivity of marine phytoplankton. In "Primary Productivity in the Sea" Falkowski, P.G., ed., pp. 301-319.
- McAllister, C.D., 1961. Observations on the variation of planktonic photosynthesis with light intensity using both the O_2 and ^{14}C methods. *Limnol. Oceanogr.*, **6**(4): 483-484.
- McAllister, C.D., T.R. Parsons, K. Stephens, and J.D.H. Strickland, 1961. Measurements of primary production in coastal seawater using a large-volume plastic sphere. *Limnol. Oceanogr.*, **6**: 237-258.
- McMahon, J.W., 1973. Membrane filter retention a source of error in the ^{14}C method of measuring primary production. *Limnol. Oceanogr.*, **18**: 319-324.
- Morris, I., C.M. Yentsch, and C.S. Yentsch, 1971. Relationships between light carbon dioxide fixation and dark carbon fixation by marine algae. *Oceanogr.*, **17**: 854-856.
- Nalewajko, C., and D.R.S. Lean, 1972. Retention of dissolved compounds by membrane filters as an error in the ^{14}C method of primary production measurement. *J. Phycol.*, **8**: 37-43.
- Newhouse, J., M.S. Doty, and R.T. Tsuda, 1967. Diurnal features of a neritic surface plankton population. *Limnol. Oceanogr.*, **12**: 207-212.
- Peterson, B.J., 1980. Aquatic primary productivity and the ^{14}C - CO_2 method: a history of the productivity problem. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **11**: 359-385.
- Phillips, J., 1973. The Winkler method and primary production studies under special conditions. In "A Guide to the Measurement of Marine Primary Production and under Special Conditions" UNESCO, pp. 48-54.
- Pratt, D.M., and H. Berkson, 1959. Two sources of error in the oxygen light and dark bottle method. *Limnol. Oceanogr.*, **4**: 328-334.
- Pugh, P.R., 1973. An evaluation of liquid scintillation counting techniques for use in aquatic primary production studies. *Limnol. Oceanogr.*, **18**: 310-319.
- Ryther, J.H., 1956. The measurement of primary production. *Limnol. Oceanogr.*, **1**: 72-84.
- Seller, K.G., 1982. Planktonic productivity and biomass in tributary of the upper Chesapeake Bay. I. Importance of size-fractionated phytoplankton productivity, biomass and species composition in carbon export. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.* **1983**: 197-206.
- Silber, M.W., and P.J. Davoll, 1978. Loss of ^{14}C activity after chemical fixation of phytoplankton: error source for autoradiography and other productivity measurements. *Limnol. Oceanogr.*, **23**: 362-368.
- Soerzono, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.*, **13**: 799-801.
- Soerokin, Y.I., 1971. On the role of bacteria in the productivity of tropical ocean waters. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, **56**: 1-48.
- Steeman Nielsen, E., 1955. The interaction of photosynthesis and respiration and its importance for the determination of ^{14}C discrimination in photosynthesis. *Physiol. Plant.*, **8**: 945-953.
- Strickland, J.D.H., and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Res. Bd. Canada* 167.
- Theodorsson, P., and J.O. Bjarnason, 1975. The acid bubbling method for primary productivity measurements modified and tested. *Limnol. Oceanogr.*, **20**: 1018-1019.
- Tijssen S.B., 1979. Diurnal oxygen rhythm and primary production in the mixed layer of the Atlantic Ocean at 20°N . *Netherlands J. Sea Res.*, **12**(1): 79-84.
- Volenweider, R.A., ed., 1974. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environ-

- ments.
- Williams, P.J. LeB., T. Berman, and O. Holm-Hansen, 1972. Potential sources of error in the measurement of low rate of planktonic photosynthesis and excretion. *Nat. New Biol.*, **236**: 91-92.
- Williams, P.J. LeB., R.C.T. Raine, and J.R. Bryan, 1979. Agreement between ¹⁴C and oxygen methods of measuring phytoplankton production: reassessment of the photosynthetic quotient. *Oceanologica Acta*, **2**(4): 411-416.
- Williams, P.J. LeB., and N.W. Jerkinson, 1982. A transportable microprocessor-controlled precise Winkler titration suitable for field station and shipboard use. *Limnol. Oceanogr.*, **27**: 476-584.
- Yentsch, C.S. and J.H. Ryther, 1957. Short-term variations in phytoplankton chlorophyll and their significance. *Limnol. Oceanogr.*, **2**: 140-142.
- Yetka, J.E., and W.J. Wiebe, 1974. Ecological application of antibiotics as respiratory inhibitors of bacterial populations. *Appl. Microbiol.*, **28**: 1033-1039.

Received April, 1986

Accepted May 27, 1986

5th Congress
Asian and Pacific Regional Division
International Association for Hydraulic Research
Seoul, Republic of Korea
18-20, August, 1986

REFRACTION OF DIRECTIONAL WAVE SPECTRA

W.O. SONG

Research and
Development Institute,
P.O. Box 29, Panwol, Korea

Associate Director,
Korea Ocean Research and
Development Institute,
P.O. Box 29, Panwol, Korea

ABSTRACT

A two-dimensional numerical model is presented for the computation of the change of the directional spectral density of steady -state irregular waves due to current-depth refraction. The basic equation is the energy conservation equation, which is applied to individual frequency band of the spectrum. For solving the equation a global finite difference scheme is used. Several sample computations are made to compare with analytical solutions. The model results are compared with field data and the capability and utility of the model for real coastal applications are illustrated.

INTRODUCTION

A great deal of interest and concern is being directed towards the coastal environment. The accurate assessment of wave condition in nearshore area is very important for the safe and economical design of coastal structures. It is also one of the important factors to be considered in the generation of nearshore currents and the response of coastal sediments to the currents. There is a definite need for an efficient and effective method for the estimation of irregular wave conditions taking account of the combined effects of depth and current refraction.

Longuet-Higgins and Stewart (1961) treated wave-current interaction theoretically by introducing the concept of the radiation stress. Peregrine(1976) and Phillips(1977) analysed this phenomenon comprehensively. A few attempts have been made in the development of numerical techniques concerning for this problem.

The numerical models were proposed by Noda et al.(1974) using a finite difference scheme, Skovgaard and Jonsson(1976)and Iwagaki et al.(1977) based on wave ray method. All of these methods were for regular waves and were not sufficient for practical use. Tayfun et al.(1976) analysed irregular wave refraction due to shearing currents in water of varying depth. Sakai et al.(1983) suggest a numerical technique for the computation of directional spectral changes.It adopted Karlsson's method(1969) and used wave action conservation principle. Recently, Chae(1983) and Brink-Kjaer(1984) used a backward-tracing method for wave spectra on a current field as that by Abernethy and Gilbert(1975) for depth refraction. This is an efficient method for the estimation of wave condition at a specified point in shallow water but over a large expanse of shoreline it is not practical tool.

The numerical model is presented that computes the wave field resulting from the transformation of directional wave spectrum due to current-depth refraction. In this model the energy balance equation (Longuet-Higgins and Stewart, 1961) is applied to the frequency-directional components of the spectrum. The solution technique employed is finite difference approach, which is adopted from Noda et al.(1974), Wang and Yang(1981).

The model was verified with analytical solution and applied to field data. In this study the directional spectral changes were extensively investigated.

GOVERNING EQUATIONS

The governing equations for wave refraction are the kinematical equations for the wave number and wave direction, and the dynamical equation for wave energy in current system.

To compute wave number, κ and direction, θ we need the conservation equation of the wave number, and the irrotationality condition of wave number vector. The first equation for steady-state reduces to the following form:

$$n = \omega(\kappa; h) + \vec{\kappa} \cdot \vec{u} , \quad (1)$$

or

$$n = (g\kappa \tanh kh)^{1/2} + u\kappa \cos\theta + v\kappa \sin\theta . \quad (2)$$

where n is the absolute angular frequency; ω is the relative angular frequency; κ is the wave number; \vec{u} is the current velocity; g is the acceleration due to gravity; \hat{s} is the wave (orthogonal) direction; u and v are x- and y-components of \vec{u} ; h is the water depth. Definition of the coordinate system is shown in Fig.1. The second equation reads

(3)

or $\nabla \times \vec{k} = 0$.

$$\frac{\partial(\kappa \cos \theta)}{\partial y} = \frac{\partial(\kappa \sin \theta)}{\partial x} \quad (4)$$

The wave ray path is defined as the trajectory of the absolute group velocity, \vec{c}_{ga} :

$$\vec{c}_{ga} = \vec{c}_{gr} + \vec{u}. \quad (5)$$

The wave energy balance equation can be applied to the component wave energy associated with a certain frequency band, if the non-linear wave-wave interaction is negligible. When formulated in terms of wave number it is found that

$$\frac{\partial}{\partial x_\alpha} \{ E(\kappa_\alpha) [u_\alpha + (C_{gr})_\alpha] \} + S_{\alpha\beta} \frac{\partial u_\beta}{\partial x_\alpha} = Q. \quad (6)$$

where $E(\kappa_\alpha)$ is the component wave energy in wave number space ($\int E(\lambda) d\lambda = \frac{1}{8} \rho g H^2$); $S_{\alpha\beta}$ is the radiation stress tensor such that:

$$S_{\alpha\beta} = E(\kappa) \left[\frac{C_{gr}}{C_r} \frac{\kappa_\alpha \kappa_\beta}{\kappa^2} + \left(\frac{C_{gr}}{C_r} - \frac{1}{2} \right) \delta_{\alpha\beta} \right] \quad (7)$$

The subscript r denotes relative to the fixed reference frame, and α, β are tensor notations; Q is the rate of energy dissipation.

The wave number spectrum $E(\kappa_1, \kappa_2)$ can be interpreted as a directional frequency spectrum $S(f, \theta)$ using the dispersion relation between κ and n (Phillips, 1977; LeMehaute and Wang, 1982):

$$E(\kappa_1, \kappa_2) = \frac{C_{ga}}{2\pi\kappa} S(f, \theta). \quad (8)$$

Substitution of $C_{ga} = \frac{dn}{dk}$ gives

$$S(f, \theta) df = \kappa E(\kappa_1, \kappa_2) d\kappa \quad (9)$$

The three equations of Eqs. 2, 4 and 6 describe the changes of the directional frequency spectrum under the assumptions of $|\nabla h| \ll \kappa h$, $|\nabla u| \ll \kappa u$ and $|\frac{\partial u}{\partial t}| \ll \kappa u$ in order to exclude reflective and diffractive effects due to abrupt changes of bottom slope and current field, respectively. The wave energy dissipation is mainly due to bottom friction and wave breaking. In the present model the bottom frictional dissipation and wave breaking by strong opposing current are neglected because of their complexity.

The wave breaking dissipation in the surf zone are taken account of following Wang and Yang (1981):

$$(H_s / L)_b = 0.12 \tanh(\kappa h)_b \quad (10)$$

This criterion is imposed on the total energy in terms of significant wave height, H_s and it is applied to the wave spectrum.

NUMERICAL SOLUTION

The set of equations, Eqs. 2, 4 and 6 are solved using finite difference methods. A mixed forward, backward and centered difference scheme is used to minimize boundary restrictions.

Specifications of the wave spectrum at the offshore boundary, current and depth fields at all the grid points are the input required by the model. Solving the dispersion relation and Snell's law at every point on the grid with the input conditions provides the initial estimate of wave directions and wave heights over the entire grid in the absence of current. With the known initial values the wave number conservation equation,

Eq.2 and the irrotational wave number equation, Eq.4 are coupled and are solved simultaneously.

The finite difference form for Eq.4 is used:

$$\theta_{i,j}^{n+1} = \left\{ \frac{1}{\kappa_{i,j}} \left[(\cos\theta \frac{\partial \kappa}{\partial y})_{i,j} - (\sin\theta \frac{\partial \kappa}{\partial x})_{i,j} \right] + \theta_{i,j} \frac{(\sin\theta)_{i,j} - \theta_{i+1,j} \frac{(\cos)_{i,j}}{\Delta x}}{\Delta y} \right\} / \left\{ \frac{(\sin\theta)_{i,j}}{\Delta y} - \frac{(\cos\theta)_{i,j}}{\Delta x} \right\} \quad (11)$$

Subscripts i,j represent space-steps and subscript,n,iteration-steps. The averaging scheme over adjacent grids was accomplished by the use of Taylor series expansion of sinθ and cosθ.

The energy balance equation, Eq.6 can be written in terms of wave height by using $E(\kappa a) = \frac{1}{8} \rho g \Delta H^2$. Energy generation and dissipation are neglected in the present model. The finite difference form of the equation results:

$$\Delta H \frac{\partial}{\partial x} (u + C_{gr} \cos\theta) + 2(u + C_{gr} \cos\theta) \frac{\partial \Delta H}{\partial x} + \Delta H \frac{\partial}{\partial y} (v + C_{gr} \sin\theta) + 2(v + C_{gr} \sin\theta) \frac{\partial \Delta H}{\partial y} + S_{\alpha\beta} \frac{\partial u\beta}{\partial x_{\alpha}} \frac{8}{\Delta H^2} = 0. \quad (12)$$

and

$$\Delta H_{i,j}^{n+1} = (A_{i,j} \Delta H_{i,j-1} - B_{i,j} \Delta H_{i+1,j}) / (A_{i,j} - B_{i,j} - C_{i,j}/2), \quad (13)$$

where $A_{i,j} = (v + C_{gr} \sin\theta)_{i,j} / \Delta y$,

$$B_{i,j} = (u + C_{gr} \cos\theta)_{i,j} / \Delta x,$$

$$C_{i,j} = \left\{ C_{gr} \left(\sin\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} - \cos\theta \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \left[\cos\theta \left(\frac{\partial C_{gr}}{\partial x} \right) + \sin\theta \left(\frac{\partial C_{gr}}{\partial y} \right) \right] - \left(S_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + S_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} + S_{yx} \frac{\partial u}{\partial y} + S_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\}_{i,j}.$$

Approximating the y derivatives of θ and ΔH in Eqs.11 and 13 with 1st order upwind differences and the x derivatives with backward differences were used. The values of the magnitude of θ and ΔH can be computed for all points on rows. The wave

number, k and the wave angle, θ obtained from the coupled iterative solutions of Eqs.2 and 11 are fed into Eq.13 to solve the wave height, ΔH using row by row relaxation method. This procedure is repeated until the shoreline is reached. The computations are to be carried out for as many spectral components, $S_0(f, \theta)$ as specified. The directional frequency spectrum at any grid point is then computed as follows

$$S(f, \theta) = \frac{\kappa (\Delta H)^2}{\kappa_0 (\Delta H_0)^2} S_0(f, \theta) . \quad (14)$$

MODEL VERIFICATION

The numerical model results are compared with analytical solutions of regular waves. A region shown in Fig. 1 is considered for the computation. The water depth is taken to be 40m at the offshore boundary and gradually decreases to the shore. The sea bed contours are parallel with a uniform slope of 1/50. The current field is considered to be constant as $v=-1.5\text{m/s}$ for the computation of the test solution of monochromatic waves. With the condition of no lateral variations of current and sea bed Eqs.4 and 6 can be reduced to give the solutions of wave direction and wave height, respectively:

$$\theta = \sin^{-1} \left[\frac{\kappa_0}{\kappa} \sin \theta_0 \right] . \quad (15)$$

and

$$\begin{aligned} H &= H_0 \left(\frac{\sin 2\theta_0}{\sin 2\theta} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{G_0}{G} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= H_0 K_S K_R . \end{aligned} \quad (16)$$

where

$$G = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2\kappa h}{\sinh(2\kappa h)} \right]$$

In Figs.2 and 3 computed wave direction and wave height are in excellent agreement with analytical results. The computed

results can be physically interpreted following Skovgaard and Jonsson (1976): The negative currents shorten the waves and so they feel the bottom at a shorter depth than without the current. Therefore, the bending of the wave orthogonal is less than for no current. It can be shown that if we are in shallow water, the influence of the current on the orthogonal and on the wave height is exceedingly small in this case.

The spectral changes due to current and depth effects are extensively tested. The directional spectrum of Mitsuyasu et al. (1975) type is used as the deepwater wave spectrum. This spectrum is given by

$$S_0(f, \theta) = S_0(f) G(\theta) \quad , \quad (17)$$

where

$$S_0(f) = 0.25 \frac{H_{1/3}^2}{T_{1/3}} (T_{1/3} f)^{-5} \exp \left[-1.03 (T_{1/3} f)^{-4} \right]$$

$$G(\theta) = \frac{1}{\pi} 2^{2s-1} \frac{\Gamma^2(s+1)}{\Gamma(2s+1)} \cos^{2s} \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad ,$$

Γ = Gamma function ,

$$s = \begin{cases} s_{\max} \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-2.5} & \text{for } f > f_p \quad , \\ s_{\max} \left(\frac{f}{f_p} \right)^5 & \text{for } f \leq f_p \quad , \end{cases}$$

f_p = peak frequency (assumed $1/(1.05 T_{1/3})$) .

The computational region, current and bottom conditions are shown in Fig. 1. An incident wave with a period, $T_{1/3} = 7s$, a height, $H_{1/3} = 2m$ was used. The value of s_{\max} indicating the degree of directional spreading of wave energy is taken to be 10 (assuming wind seas). The frequency ranges from 0.07Hz to 0.37 Hz, where the most of the energy is contained, and is divided into 15 segments with $\Delta f = 0.02$ Hz. The wave direction ranges from 95° to 265° and is divided into 17 segments with $\Delta \theta = 10^\circ$. The corresponding component waves, $S(f, \theta)$ are 255 (= 15x17).

The computational procedure similar to that used for the case of monochromatic waves is applied to every component waves of $S(f, \theta)$. The prevailing wave direction containing the maximum energy, θ_0 is taken as 135° . The components with the direction smaller than 95° and greater than 265° are neglected. Those spectra are for the point of water depth, $h = 6m$.

Figs. 4 and 5 show the computed changes of the frequency spectrum, $S(f)$ and the directional spectrum, $S(\theta)$, respectively in the cases of current and depth refractions. The positive current to the major direction of the spectrum generally increases the wave energy in comparison to the pure depth refraction. The current-depth refracted spectrum is most sharply peaked, but the direction of the peak spectral density is nearly same as that of the depth refracted spectrum in this case.

The changes of directional frequency spectrum at the water of 6m deep are shown in Figs. 6(a) to 6(e). Fig. 6(a) is the input spectrum at the offshore boundary, which is assumed to be homogeneous over that boundary. Fig. 6(b) shows the current effects on the spectral change: the high frequency components are significantly skewed to the left by the current, but it is not obvious in the low frequency. This is mainly due to smaller celerity than that of low frequency component in comparison to the current velocity. The wave energy is increased by the positive current to the wave direction ($\theta < 180^\circ$)

In Fig. 6(c) the pure depth refraction effect on the spectral density distribution can be seen. The low frequency component having large wave length are more affected by the water depth than the high frequency, the peak energy is a little increased by shoaling effect. Fig. 6(d) shows the changes of directional frequency spectrum by the combined current-depth effect. In the low frequency range the water depth effect is dominant on both

the wave direction and energy. The opposite current to the main wave direction increases the energy in comparison to the 'pure depth refraction. The main direction is less shifted shoreward. However, in the high frequency range of the spectrum the current effect is dominant on the wave direction. The change of wave energy is not obvious in this range. The contour lines of spectral densities are in general skewed to the right in the direction of $\theta < 180^\circ$. This is due to the increase of wave energy by the opposing current.

Fig.6(e) shows the change of directional frequency spectrum having the main direction θ_0 of 225° . The energy of the components of $\theta > 180^\circ$ decreases in comparison to the input and depth refracted spectra, which is caused by the negative component of the current. The lengthening effect of the current shifts the main direction more shoreward than the depth refraction.

Three-dimensional view of the spectral change is shown in Fig.7. The convergence of the energy distribution and the shift of the main direction, and also the change of energy level can be clearly seen in the figure.

The change of the significant wave height, which is calculated from the spectrum, is shown in Fig. 8. When the main direction of the waves is opposite to the current ($\theta_0 = 135^\circ$), the significant wave height increases in general. The pattern of the changes in the cases of current- depth refraction ($\theta_0 = 135^\circ$ and 225°) is different from that of regular wave in this case. It is thought that this is mainly due to the difference in the current field and the convergence (or divergence) effect of the directional spectrum.

PRACTICAL APPLICATION

The present model was tested with field data in order to illustrate its applicability in predicting the spectral transformation of waves propagating on a current field in water of irregular bathymetry around Hupo harbor in the east coast of Korea. The computational region ($8.5 \times 10.5 \text{ km}^2$) consists of 525 rectangular grid points where the grid spacings are $\Delta x = 250 \text{ m}$ and $\Delta y = 750 \text{ m}$. One set of field data were chosen, which were simultaneously observed at two stations, W1 and W2 in fig.9 by Datawell Waverider buoy and an ultrasonic wave gauge, respectively. The magnitude of the coastal current was assumed as 0.5 m/s and the direction was ENE in February (Lie, 1984). The directional spectrum at the offshore boundary was determined from the product of $S(f)$, obtained from the field data, and $G(\theta)$ in Eq.17 with $s_{\text{max}} = 75$. The waves were considered to be a swell with long decay distance (Goda, 1977) and the main direction, was ENE.

The computation was made for the wave spectrum in the ranges of frequency, $f = 0.07 - 0.3 \text{ Hz}$ ($\Delta f = 0.02 \text{ Hz}$) and direction, $\theta = 95^\circ - 265^\circ$ ($\Delta \theta = 10^\circ$). The bottom frictional dissipation is not included in the computation since it is negligible when the waves propagate the short distance. The results are shown in Fig.10. The current-depth refracted spectrum is in better agreement with the field measured one than the depth refracted one. These spectra lie under the depth controlled limiting form for spectral shape (Vincent, 1985). The vector plots of significant wave heights and prevailing directions are shown superimposed over the depth contours (Fig.9).

CONCLUSIONS

The results of this study indicate that the model can be used to accurately simulate the transformation of steady - state irregular waves propagating on a current field in water of irregular bottom configurations. The work of the model follows closely the formulation of Shiau and Wang(1977), but the first upwind differencing method is used for the governing equations instead of their method . It gives a stable solution over the entire grid.

From the examination of the changes of broad banded directional spectrum, it can be noted that depth effects are dominant in the low frequency range and current effects in the high frequency range of the spectrum. In such cases, the spectral approach provides more reliable results than the depth refraction for regular waves.

This model is a linear and stationary one that ignores nonlinear wave - wave interactions and wave generation by wind. Also the model is applicable only for the steady waves on slowly varying current field and bottom contours. The vigorous wave breaking process by opposing current and bottom frictional dissipation are excluded. Even with the simplified assumptions in the model, the numerical computation yield quite acceptable results prior to wave breaking.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was partially supported by the Ministry of Science and Technology through Basic Research Program.

REFERENCES

- Abernethy, C.L. and G.Gilbert. 1975. Refraction of wave spectra. HRS report INT 117, Wallingford, Oxfordshire, England.
- Brink - Kjaer, O. 1984. Depth - current refraction of wave spectra. Proc. Symposium on Description and Modelling of Directional Seas. Copenhagen.
- Chae, J.W. 1983. Transformation of wave spectra on non-uniform currents in water of varying depth. Ph.D. Thesis, Salford Univ., U.K., 181pp.
- Goda, Y. 1977. Design of port and harbor construction for wave protection, Kashima Pub. Co., 237pp (in Japanese).
- Iwagaki, Y. Sakai, T. Tsuda, T. and Y.Oka. 1977. Wave refraction and wave height variation due to current. Bulletin of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., Japan. 27, 81pp.
- Karleson, T. 1969. Refraction of continuous ocean wave spectra. J. Waterw., Harbors Coastal Eng. Div., ASCE, 95(WW4): 437-448.
- Le Mehaute B. and J.D. Wang. 1982. Wave spectrum changes on sloped beach. J. Waterw., port, Coastal and Ocean Div., ASCE, 108(WW1) : 34-47.
- Lie, H.J. 1984. Coastal current and its variation along the East Coast of the Korea. Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas., Elsevier Science Pub. B.v., Amsterdam. : 399-408.
- Longuet - Higgins, M.S. and R.W. Stewart. 1961. The changes in amplitude of short gravity waves on steady non-uniform currents. J. Fluid Mech., 10: 529-549.
- Mitsuyasu, H. et al. 1975. Observation of the directional spectrum of ocean waves using a cloverleaf buoy. J.P.O., 5(4): 750-760.
- Noda, E.K., Sonu, C.J., Rupert, V.C., and J.I. Collins. 1974. Nearshore circulations under sea breeze conditions and wave-current interactions in the surf zone. Tetra Tech Report, Tc-P-72-149-4.
- Peregrine, D.H. 1976. Interaction of water waves and currents.

- Advances in Applied Mechanics, C.-S. Yih, ed., Academic Press, 16.
- Phillips, O.M. 1977. The dynamics of the upper ocean, 2nd ed., Cambridge Univ. Press, London, 336pp.
- Sakai, T., Koseki, M. and Y. Iwagaki. 1983. Irregular wave refraction due to current. J. Hydraulic Eng., ASCE, 109(9): 1204-1215.
- Skovgaard, O. and I.G. Jonsson. 1976. Current depth refraction using finite elements. Proc. of 15th Conf. on Coastal Eng., ASCE, 1: 721-737.
- Tayfun, M.A., Dalrymple, R.A. and C.Y. Yang. 1976. Random wave-current interactions in water of varying depth. Ocean Eng., Pergamon Press, Oxford, England. 3:403-420.
- Vincent, C.L. 1985. Depth controlled wave height. J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 111(3): 459-475.
- Wang, H. and Wei-C. Yang. 1981. Wave spectral transformation measurements at Sylt, North Sea. Coastal Eng. 5:1-34.

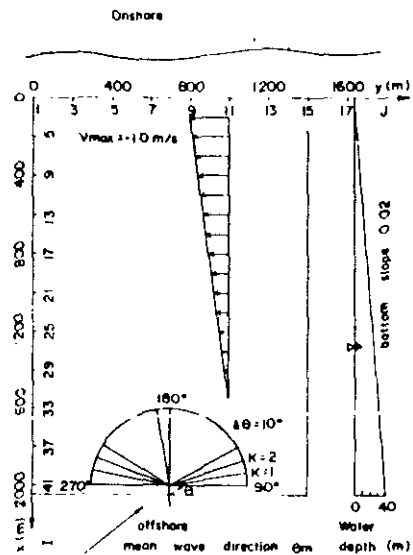


Fig.1. Coordinate system, bottom and current conditions for the computation.

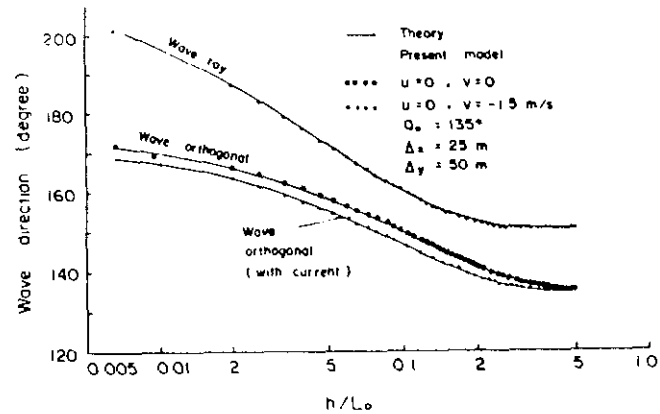


Fig.2. Comparison between model results and theory for wave direction.

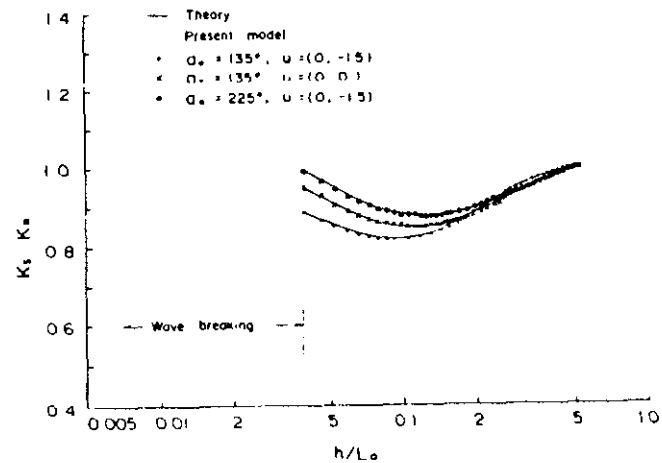


Fig.3. Comparison between model results and theory for wave heights.

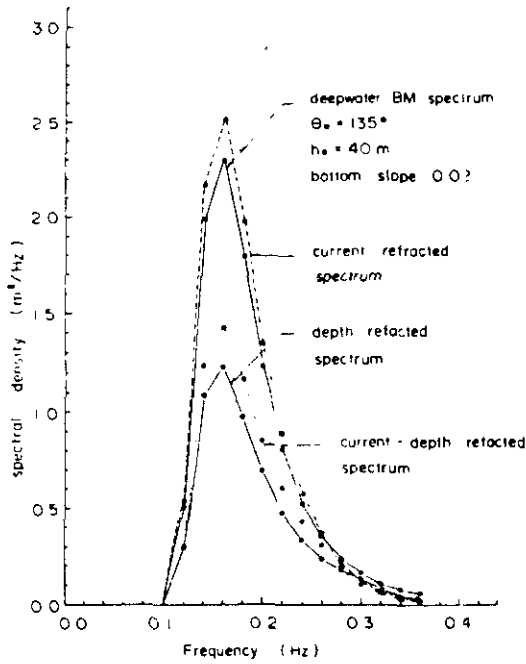


Fig. 4. Changes of frequency wave spectra.

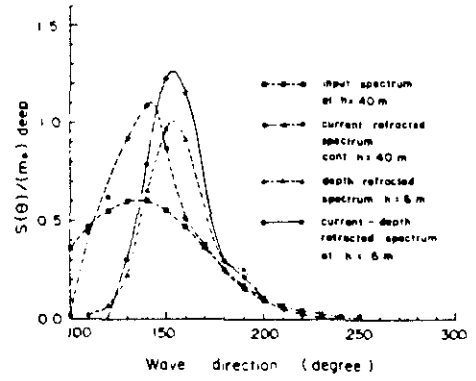


Fig. 5. Changes of directional wave spectra.

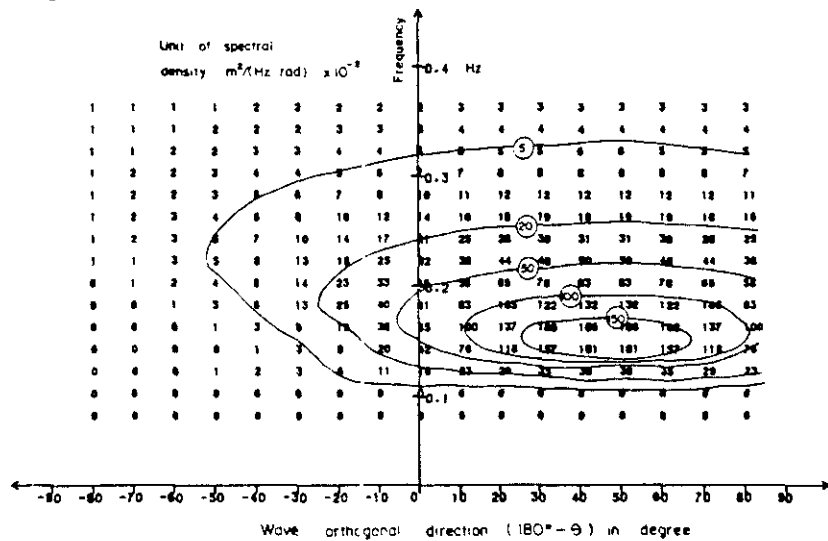


Fig. 6(a). Input $S_0(\theta, \theta)$ $\theta_0 = 135^\circ$.

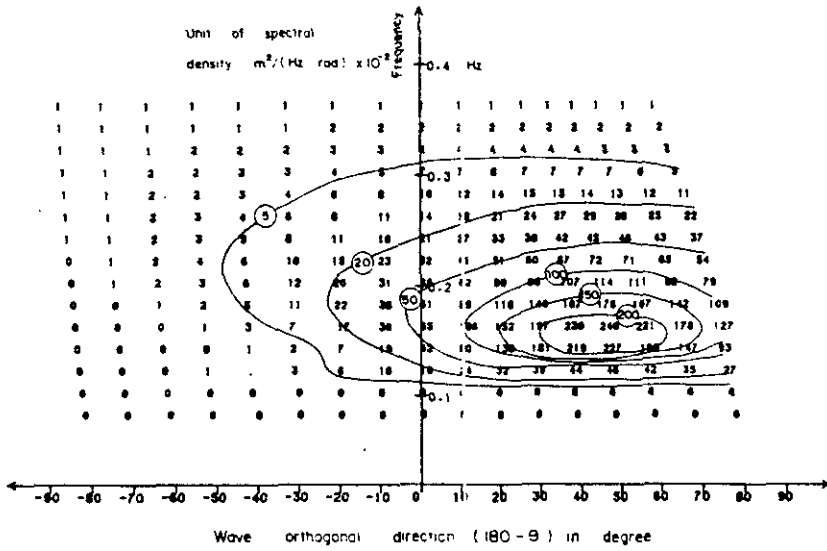


Fig.6(b). Current refracted $s_c(f, \theta)$ $\theta_0 = 135^\circ$

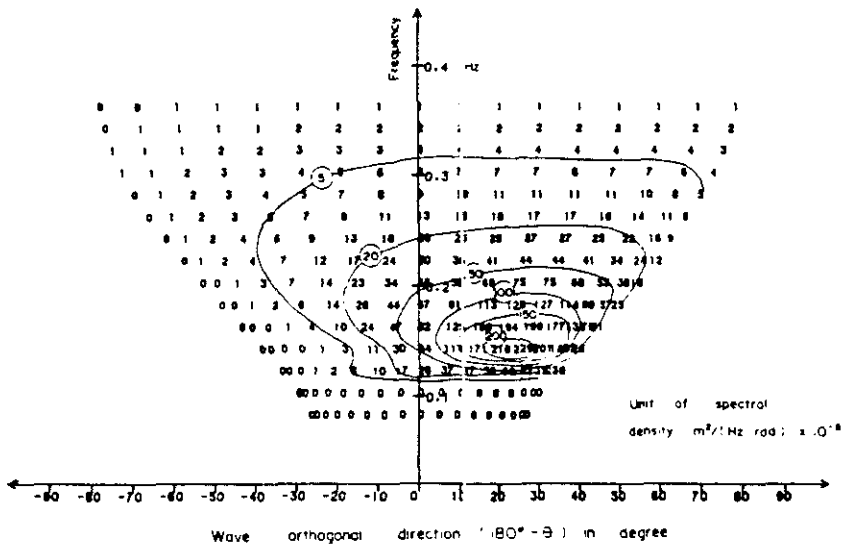


Fig.6(c). Depth refracted $s_d(f, \theta)$ $\theta_0 = 135^\circ$

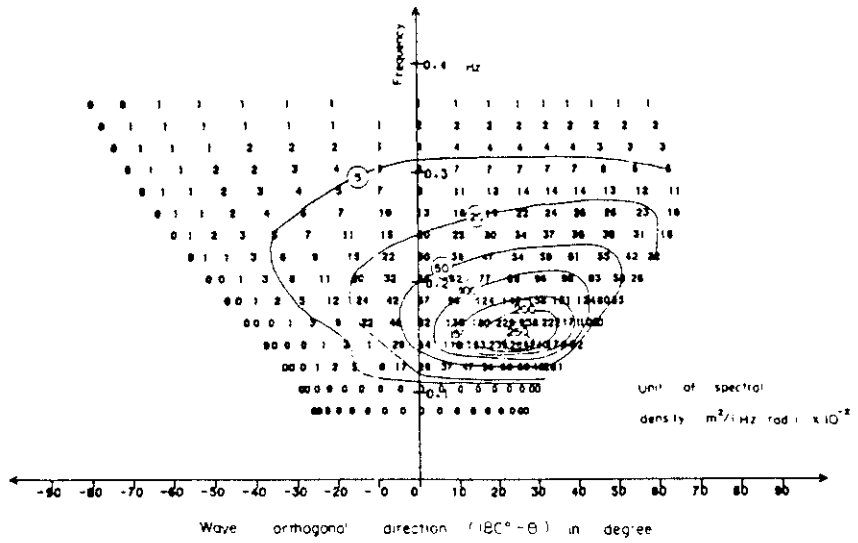


Fig.6(d). Current-depth refracted $S_{cd}(f, \theta)$ $\theta_0 = 135^\circ$

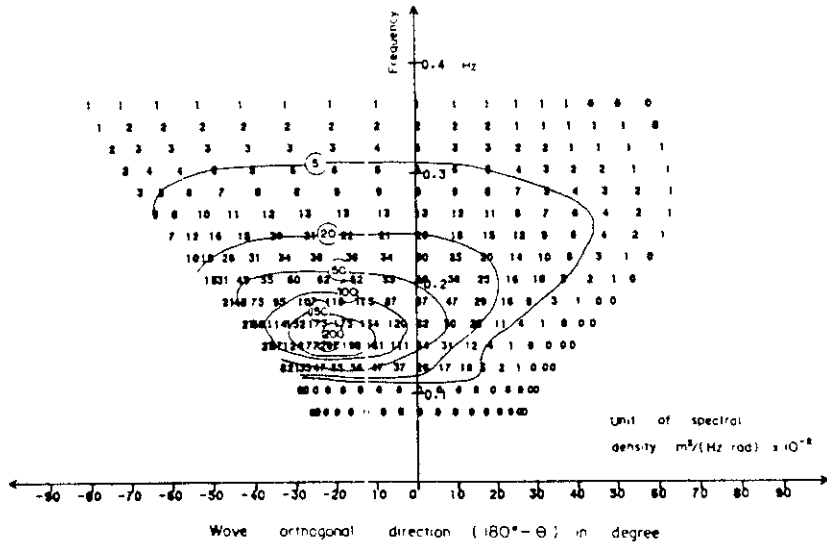


Fig.6(e). Current-depth refracted $S_{cd}(f, \theta)$ $\theta_0 = 225^\circ$

Fig.6. Changes of directional frequency spectra.

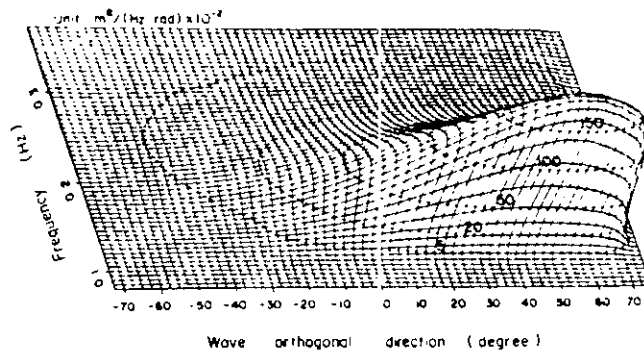


Fig.7(a). $S_0(f, \theta)$ with $\theta_0 = 135^\circ$.

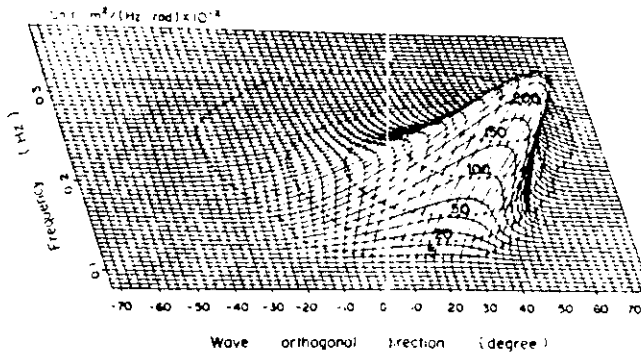


Fig.7(b). $S_{cd}(f, \theta)$ with $\theta_0 = 135^\circ$.

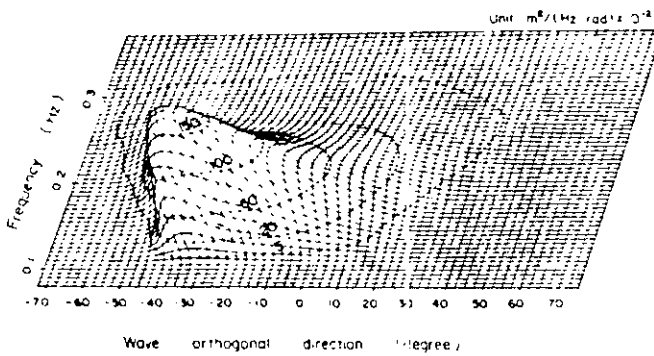


Fig.7(c). $S_{cd}(f, \theta)$ with $\theta_0 = 225^\circ$.

Fig.7. Three-dimensional view of directional frequency spectra.

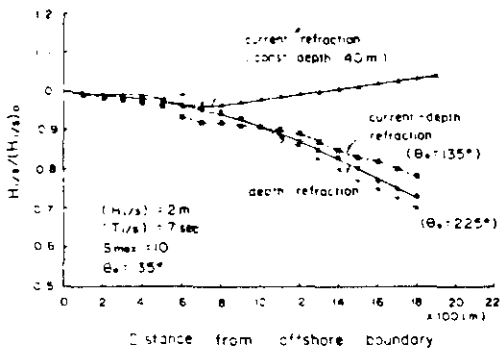


Fig.8. Changes of significant wave heights.

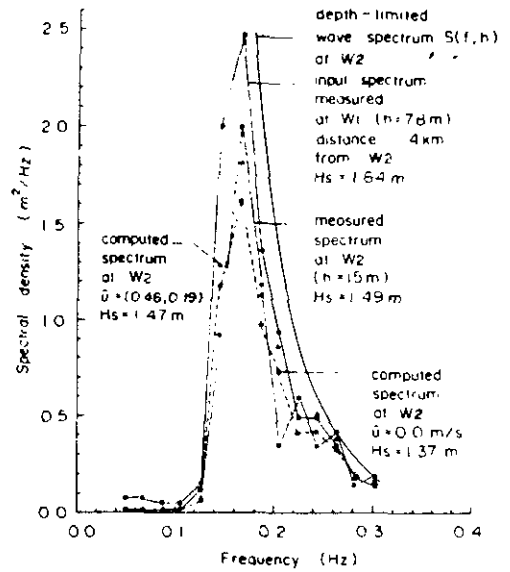


Fig.10. Comparison between computed and measured wave spectra.

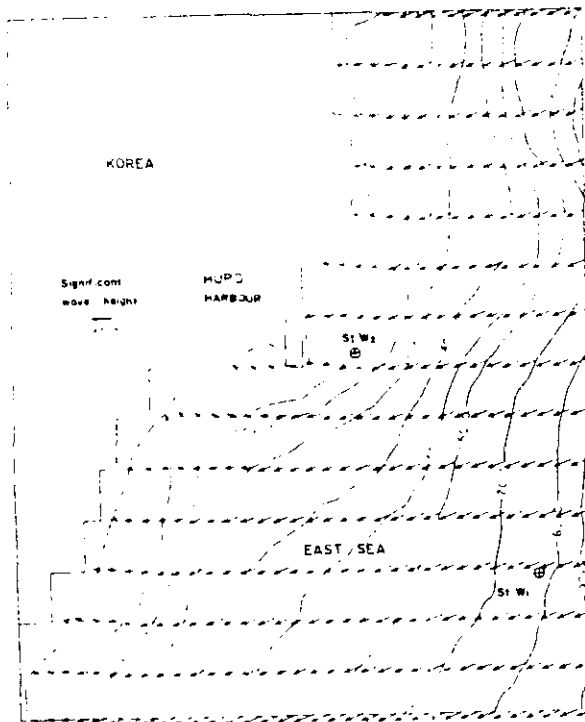


Fig.9. Computed wave condition around Hupo harbour.

Depositional Environment of Late Quaternary Sediments and Suspended Particulate Matter on the Southeastern Continental Shelf, Korea

韓半島 南東海域 大陸棚의 第四紀後期의 堆積環境과 浮遊物質含量

Bong Chool Suk(石奉出)*

Abstract : 132 bottom sediment samples and a total of 66 water sample from the continental shelf of Korea Strait were studied in order to delineate the depositional environment of the late Quaternary sediment and to study the dispersal pattern of suspended particulate matter. Sedimentary facies can be mainly distinguished into two provinces; one is a long and narrow belt of nearshore mud along the Korean Peninsula and the second is sandy deposits seaward of nearshore mud belt. The coarser sandy and gravelly sediments show the typical characteristics of relict deposits. Comparison of the mean grain size between the surficial and subbottom deposits shows that paleocurrents were stronger than present current in the central area of the Korea Strait. Muddy sediment in this area seems to be derived from the Nagdong river, from the erosion of the local coastline and from the large rivers of mainland China flowing into the East China Sea and the Yellow Sea. Most of the sandy sediment deposits in the Korea Strait were subaerially exposed during the lower sea level in the late Pleistocene. Since then, finer sediments have been winnowed away or prevented from being deposited by the Tsushima current. The Nagdong river, coastal muds erosion and the large rivers of China also might be significant source of suspended matter.

要 約

한반도 남동부에 위치한 대한해협 후계사기 및 현생 퇴적환경을 규명하기 위하여 대륙붕에서 총 132개의 해저 퇴적물이 채취되었으며, 또한 부유물질의 근포 및 이동양상을 규명하기 위하여 총 66 표본의 해수가 채수되었다. 조사지역은 한반도를 따라 연안가까지 좁게 대상으로 발달하는 니질퇴적상지역과 니질퇴적상지역 바깥쪽에 넓게 분포하는 사질퇴적상지역으로 크게 구분된다. 조사지역의 조립질 사질퇴적물과 역질퇴적물은 잔유(relict)퇴적물의 특징을 잘 나타내고 있다. 해저표층퇴적물과 표층하 30 cm 주상퇴적물의 비교는 조사해역연안에 비해 중앙부에서 현생해류보다 고해류(paleocurrent)가 더 강했음을 시사한다. 조사지역에 분포하는 니질퇴적물의 공급은 중국내륙의 큰 하천(황허, 양자강)에서 유입된 퇴적물이 동지나해 및 황해를 거쳐 공급된 퇴적물과, 한반도 동남부의 낙동강에서 공급된 퇴적물 및 해안가까지의 지역적 침식작용에 의해 퇴적된 것으로 나타난다. 대한해협 대부분을 차지하는 사질 퇴적물은 Pleistocene 빙하기에 현재보다 낮은 해수면하에서 퇴적하거나, 또는 subaerially expose된 특징을 나타내며 미세퇴적물은 대마해류에 의해 이 지역에서의 퇴적이 방해되거나, winnowing action에 의해 연안가까지 퇴적된 것으로 판명된다. 조사지역의 부유퇴적물은 한반도의 낙동강, 중국내륙의 대하천을 통한 미세 퇴적물이 흑조해류에 의한 유입, 또한 연안해역의 지역적 침식에 의한 재이동(remobilization)에 의한 것으로 사료된다.

INTRODUCTION

* Korea Ocean Research and Development Institute, KAIST (韓國科學技術院·海洋研究所)

The present study area is the continental shelf between 34°00' and 35°10'N latitude and between

128°30' and 120°30'E longitude. The Korea Strait is about 280 Km in length and had a breadth 200 km.

A study on the depositional environment by textural analysis had been done by many scientists (Chappell, 1967; Folk, 1968; Folk and Marson, 1958; Folk and Ward, 1957; Friedman, 1951; Moiola and Weiser, 1968; passega, 1957, 1964).

Emery *et al.*, 1969; Honza, 1978; Kwon and Park, 1973; Nino and Emery, 1961; Park and Han, 1985; Park and Song, 1971; Suk, 1981; Suk and Park, 1983; Wageman *et al.*, 1970 studied marine geology of the East China sea and/or the south sea near the present study area. However there are few studies for the depositional environment and suspended matters of the Korea Strait except for physical oceanographical studies (An, 1974; FRJA, 1961-78, 1980; Kong, 1971; Lim and Chang, 1969; Lim, 1973; Moriyasu, 1972; Tanioka, 1968; Yi 1966, 1970) Therefore, this study is intended to study the sediment distribution pattern and the depositional environment of the late Quaternary and Recent sediments, and the dispersal pattern of suspended matter of the Korea Strait

GEOLOGIC AND OCEANOGRAPHIC SETTING

The study area is shallow with depths of about 30-200m and submarine contours to run parallel to the coast line of Korean Peninsula. One submarine trough extending in the northeast direction (with a maximum depth of 225 m) was found in the central part of the Strait. The slope shows a gradual pattern of 1:100 in the nearshore area, increasing rapidly up to 1:100 in the submarine trough (Fig. 1).

There are many islands adjacent to the southern coast which is characterized by a ria type shoreline. The drainage basin of the Nagdong river, one of the largest rivers in Korea, is located in southeast of Korea, between 35° and 37°N latitude and between 128° and 129°E longitude. The southern boundary of the Nagdong river basin is characterized by the low hills of ria coast facing the Korea Strait. The highest peak in the basin is the Jiri Mt. (EL. 1,915 m). The TaeBaik Mt. at the northern end of the basin has an elevation of 1,573 m. The drainage system is dendritic with river densities of 2-3 Km/Km² indicating a mature stage. Through Nagdong estuary, the river discharges about 63 billion tons per year and 71.4% (45 billion

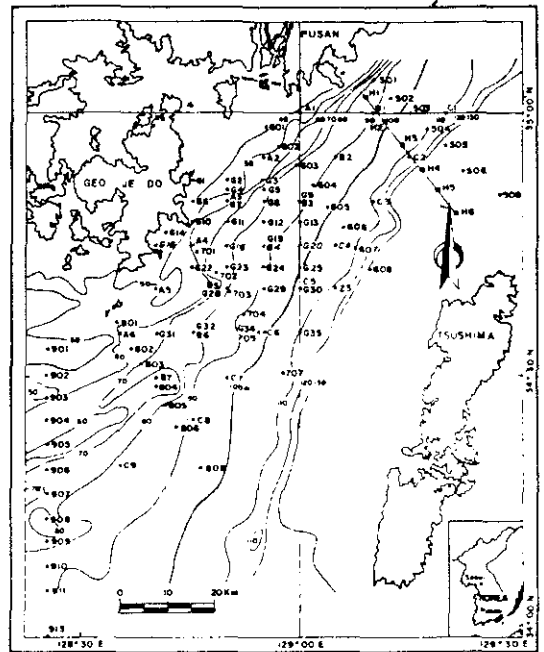


Fig. 1. Location of sample stations, and bathymetry of the contour interval in 10 m

tons) are concentrated during the flood time from June to September. The average amount of sediment discharge of the Nagdong river is up to 400t/Km² per year, the total amounts of sediment discharge are 10million tons per year (Ministry of Construction, 1974).

The Quaternary deposits of unconsolidated conglomerates cover about 1,500 Km² of the alluvial plains. The consolidated rocks, conglomerates, sandstones, shales, marls, some coal seams, porphyrite and red tuffs of Cretaceous (Nagdong and Silla Series) occupy about 10,000 Km² of the drainage basin. These sedimentary rocks are intruded by late Cretaceous granites. Granite gneiss of Precambrian origin is associated with meta-sedimentary crystalline shists in the northern and southern areas. These rocks are also intruded by the late Cretaceous granite. Minor extents of Triassic and Cambrian sedimentary rocks are recognized in the northern and northwestern areas. (Geological Map of Korea, 1981)

The Korean Peninsula, lies within the Asiatic monsoon circulation and experiences hot, short, humid summers and long, cold, dry winters. Spring

and fall generally represent a transitional period between these two important climatic regimes. In the southeast of the Korean Peninsula, the Tsushima warm current characterized by both high temperature and high salinity flows. By current measurement from the nearshore area east of Geoje Island, this region also may be influenced by the Tsushima warm current. Bottom current speeds measured at the nearshore stations using an Aanderra current meter (RCM-4) ranged from 5 cm/sec to 30 cm/sec. The low current speed occurred in March, and maximum current speed occurred in February. In February and in September the current speed was around 25 cm/sec. The current speeds in fall and winter months are faster than those in spring and summer months.

According to Byun *et al.* (1982), in summer (Fig. 2 & 3) the tsushima warm current water is confined in a middle layer between the upper seasonal thermocline and the lower permanent thermocline. And Fig. 2 also shows the characteristic two branches of the Tsushima warm current having northward high surface velocity of more than 50 cm/sec.

Vertical profiles of temperature, salinity and sigma-t measured between Pusan and Tsushima Island are given in Fig. 3 (Byun *et al.*, 1982). Fig.3 shows water temperature variation from more than 25°C at the surface to 6°C near the bottom, salinities of 32.0‰ to 34.3‰, and sigma-t of 20 to 27 respectively. The seasonal thermocline is characterized by 24°-18°C water temperature about 20 m below the surface, and the permanent thermocline appears at a depth of 130-160 m with water

temperatures of 12°-8°C.

The south coast is characterized by both semi-diurnal tides and a mixed tide, which shows both diurnal and semidiurnal characteristics. The mean tidal range is 0.9-2.3 m along the south coast with spring values reaching 3.5 m. The tidal range increase westward from 1.2 m at Pusan to 3.3 m at Yeosu harbor. The flood tide generally sets in west changing to northwest, and then north around the southwest tip of the Peninsula. The ebb tide sets in the reverse direction. Speed ranges from 1.5 Knot

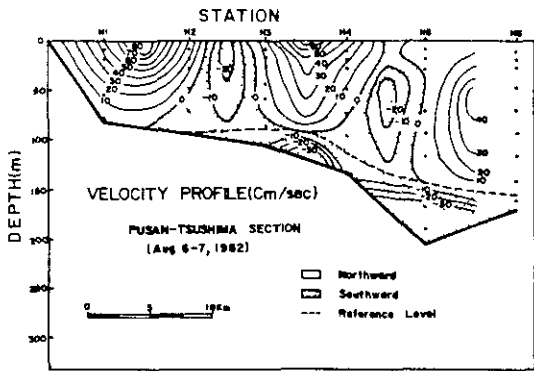


Fig. 2. Velocity profile of section Pusan and Tsushima (H1-H6) which is represented in Fig. 1. (after Byun *et al.* 1982).

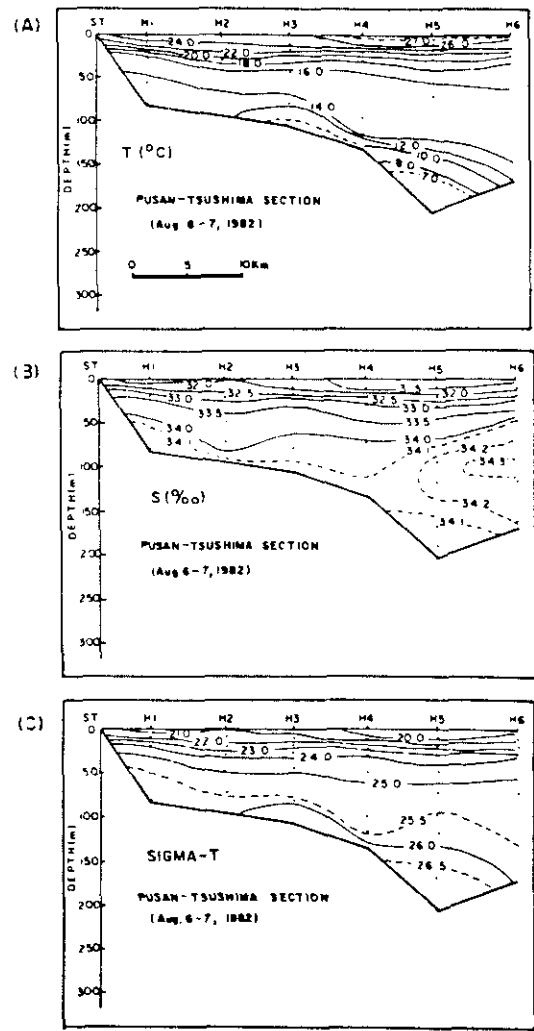


Fig. 3. Vertical distribution of (A) temperature, (B) salinity and (C) density in Pusan-Tsushima section. (after Byun *et al.* 1982).

in offshore areas to more than 10 knots in near-shore and between the various island.

MATERIALS AND METHODS

Sediments sample were collected using Phleger gravity corer at 94 stations during August in 1976, 1979 and 1980. (Fig. 1).

Seawater samples of the measurement of suspended matter were taken using Van Dorn water sampler at three layers (surface, middle and bottom) at a total of 22 stations on November in 1980. The term "surficial sediment" refers to the top 0-5 cm unit of the sediment column and "subsurface sediment" represent 28-32 cm of the sediment column below sea floor. Grain size, calcium carbonate content and total suspended matter was measured for each sample. For grain size analysis, 50.0 grams from the bulk sample was dried and weighed. The samples were washed three times to remove soluble salts, and the sand and mud fractions were separated by wet sieving. Grain size analysis was done by standard sieving, 1/2 phi unit interval, and by pipetting (Chester, 1970; Folk and Ward, 1957). Sodium hexametaphosphate was used for disaggregation of the fine sediment particles prior to pipette analysis. For comparison of the result of the R-mode factor analysis, the data were also plotted on Visher's probability scale and a C-M diagram. A Vax 780 computer was used for calculating textural parameters and for drafting the figures.

For total suspended matter, water samples were filtered immediately using millipore filterpaper (pore size 0.45μ) on deck.

RESULT AND DISCUSSION

Bottom sediment facies and grain size.

Surficial and subsurface sediment in the study area were investigated through textural analysis of more than 130 sample and the gross distribution pattern of sediment facies is shown in Fig. 4 and 5, respectively.

The fine sediments of the surficial sediment i.e. sandy silt, sandy mud, silt and mud are dominant in nearshore areas along the coast. Coarse sediments of the surficial sediment (muddy sandy gravel, gravelly muddy sand, sand and silty or muddy sand) are dominant in the outer region of the narrow and long fine sediment belt which ex-

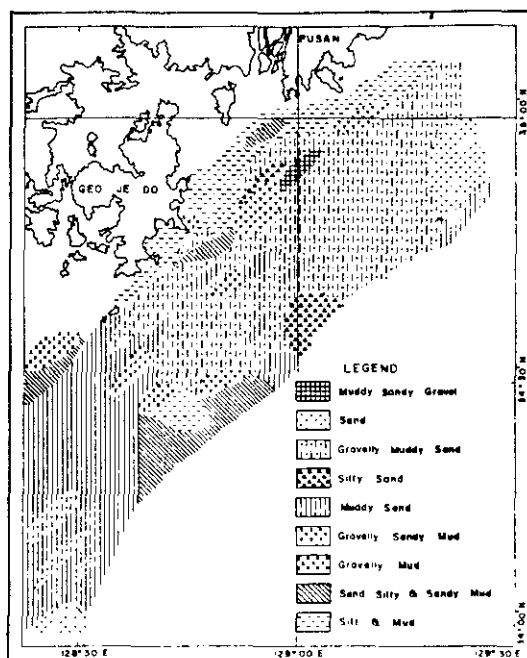


Fig. 4 Map showing bottom distribution of surficial sediments. Classification of sediments follows Folk (1954).

tends from the nearshore to the trough of Korea Strait.

The fine sedimentary facies is limited to approximately ten kilometers from shore and runs parallel to the coast line. Patches of fine sediment are also distributed in southern part of the strait about 30 Km from the Geoje Island.

Nino and Emery (1961) suggest that fine sediment is more rapidly supplied by rivers and streams than can be removed by the current. Coarse sediment probably largely remained in response to the winnowing of fine grains by the Kuroshio current in East China Sea

The subbottom sediment which is at 28 to 32 cm from the sea floor is similar in overall textural character to the surface sediment. There is however, a small but significant change in the relative distribution of the grain size classes, that will be discussed later.

Depositional environments of the bottom sediment were mainly classified by grain size analysis and by factor analysis. The grain size distributions of the study area are shown in Fig 6 and 7. The

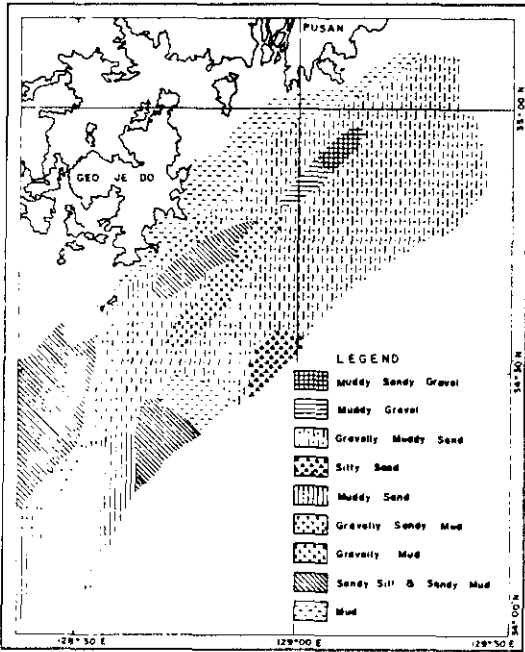


Fig. 5 Map showing bottom distribution of subsurface sediments. Classification of sediments follows Folk (1954)

mean grain size ranges from 1.64 to 7.77 (average, 4.18) phi for surficial sediments (Fig. 6) and from 1.6 to 7.96 (average, 4.86) phi for subsurface sediments (Fig. 7). These size ranges indicate medium sand to clay using Wentworth's size scale.

The distribution of mean grain sizes in the study area shows a general pattern of finer size near-shore and coarser size in the outer part of the Korea Strait. The coarsest sediment is located near western side of the center of the Strait. There is also a tendency towards fine grain sizes, southward from Geoje Island apparently reflecting the influence of fine sediment influx, from the Korean Peninsula and from the East China Sea.

The mean grain size of the subsurface sediment is relatively similar to that of the surface, however finer sediment which has a grain size greater than 5 phi extends further into the central area of the Korea Strait compared to surface sediment distribution pattern. The mean grain size versus water depth is shown in Fig. 8. In the study area the mean grain size, in general, does not have lineation increases linearly with water depth for both surficial

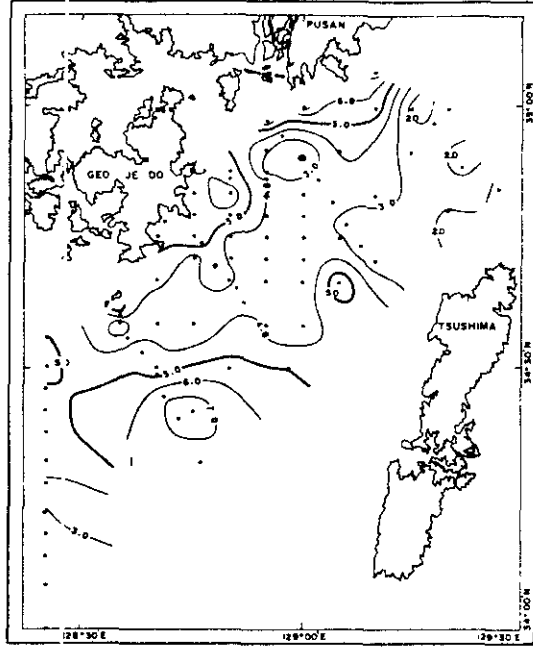


Fig. 6 Distribution of mean grain size of the surficial sediment.

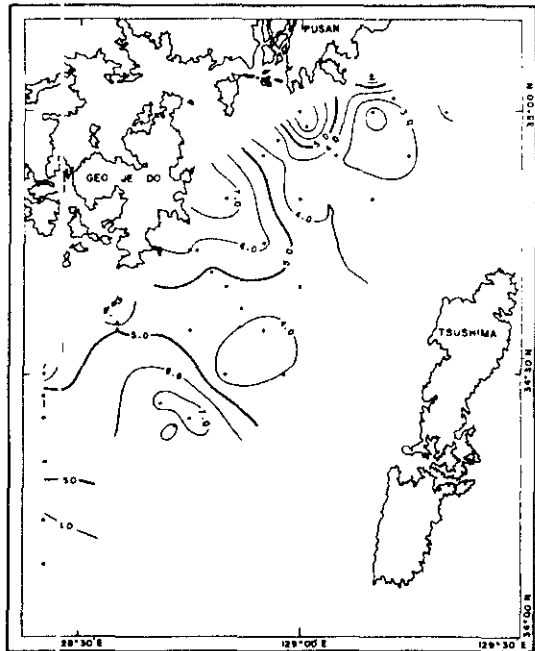


Fig. 7. Distribution of mean grain size of the subsurface sediment.

Depositional Environment of Late Quaternary Sediments and Suspended Particulate Matter

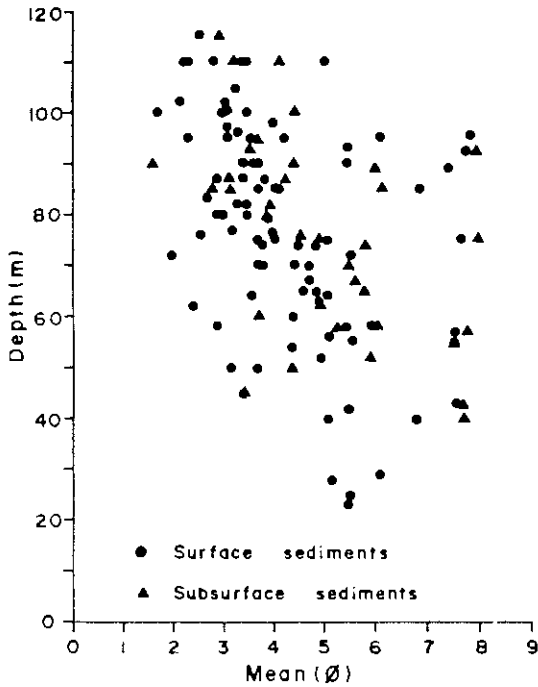


Fig. 8. Diagram showing relationship between water depth and mean grain size. Solid circles are surficial sediments and triangles are subsurface sediments

and subsurface sediments. On the other hand, vertical profiles and distribution patterns of mean grain size between surface and subsurface sediment show that depositional environment for each layer is slightly different.

In the nearshore area and in the outer part of Korea Strait, the vertical mean grain size distribution gradually changes until the trend is relatively coarser grains towards the surface. On the other hand, the vertical trend of mean grain size reverses in the central part of the Korea Strait trending northeastward (Fig. 9).

This suggests that current patterns must have been quite different at the time when the sub-bottom deposit now 28 to 32 cm below the sea floor were formed.

This indicated that the speed of present day currents both in the nearshore and near the trough is greater than paleocurrent speeds. On the other hand, the paleocurrent was stronger at the central area of the Korea Strait. It also suggests that the

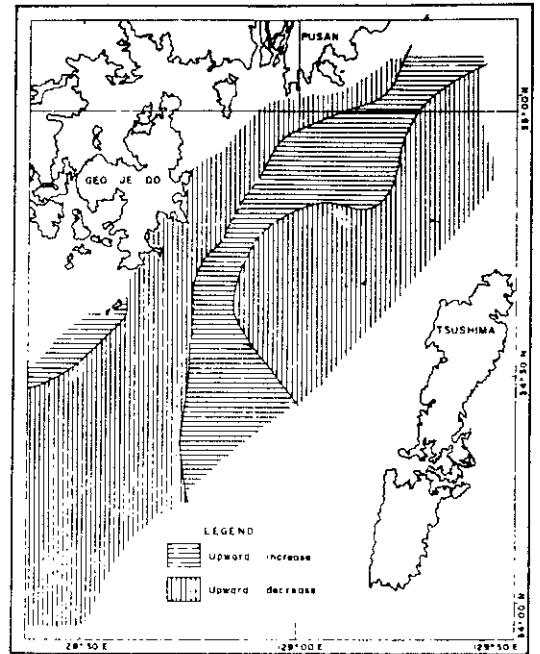


Fig. 9. Upward trend of mean grain size (unit in phi), upward increase represent in upward finer

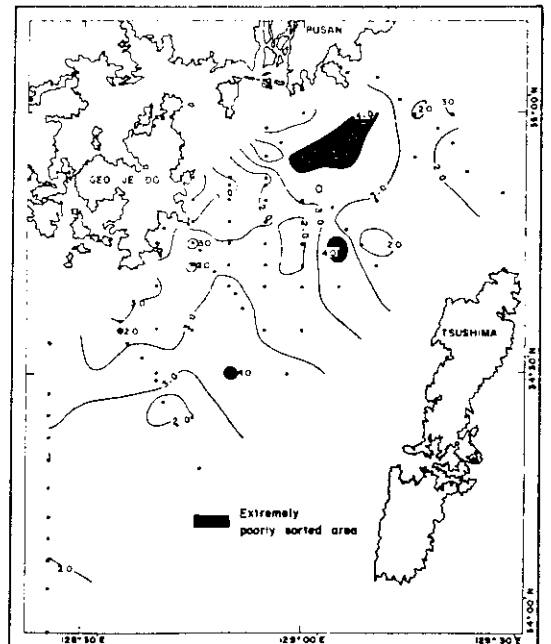


Fig. 10. Distribution of sorting (Standard deviation, phi unit) of the surficial sediment.

axis of paleocurrent shows the same northeastward trend as is found today. (see Fig. 9).

Sorting value (standard deviation) ranges from 0.53 to 4.95 ϕ which indicates a change from moderately well to extremely poorly sorted (Fig. 10). The sorting value of subsurface sediment ranges from poorly to extremely poorly sorted (1.51 to 5.42 ϕ), most are very poorly sorted (Fig. 11).

The distribution pattern of sorting for both surficial and subsurface sediment is more or less similar. However in the middle area which is mainly coarse sediment, the sorting is poorer as depth increases.

Skewness ranges from coarse to strongly fine skewed (-0.51 to 0.85) but most samples are strongly fine skewed for surficial sediment. Subsurface samples ranges from strongly coarse skewed to strongly fine skewed (-0.46 -0.90), most are fine skewed.

Sorting vs skewness of the surficial sediment are shown in Fig. 12. It does not show any distinctive trend, however, skewness value of the mud is more shifted to the negative than that of sand. A simple model for sediment deposition.

In order to understand the transport mechanism

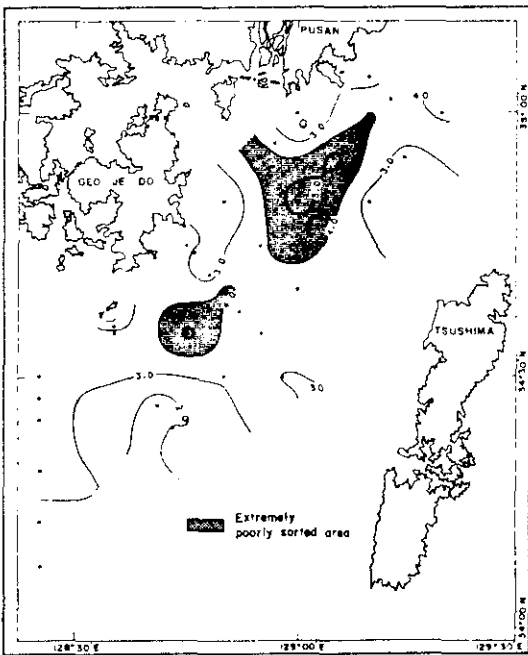


Fig. 11. Distribution of sorting (standard deviation, unit in ϕ) of the subsurface sediment.

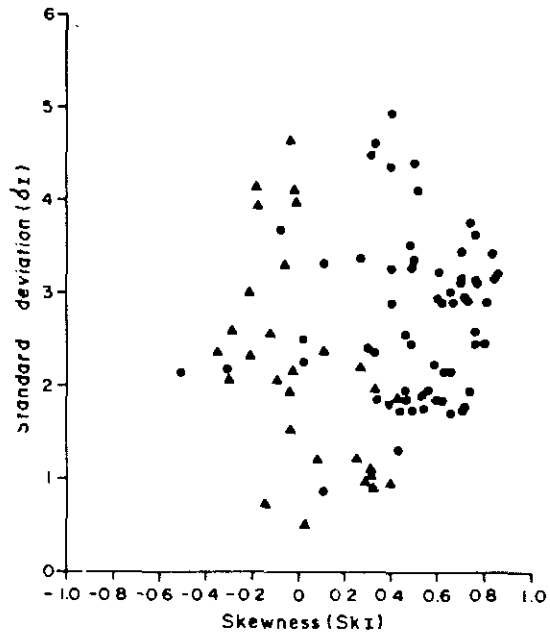


Fig. 12 Diagram showing relationship between standard deviation and skewness of the surficial sediment. Solid circles are sandy sediments, solid triangles are muddy sediments.

in the study area, R-mode factor analysis has been done for surficial and subsurface sediment. Grain size is also plotted following Visher's probability scale and a Passega's C-M diagram was prepared.

Three different distribution groups were found in the study area by R-mode factor analysis and from Visher's probability curves.

A simple transporting model is as follow. For surficial sediment-sediment distributions less than 7 ϕ ; suspension; for 6 ϕ to 2 ϕ ; saltation; more than 1 ϕ size class; bedload transport. For subsurface sediments-sediment distribution less than 5 to 6 ϕ ; suspension; 4 ϕ - 3 ϕ ; saltation; more than 2 ϕ size class; bedload transport (Fig. 13).

The dominant colors of the surficial and subsurface sediment on the Korea Strait range from olive gray (5 Y 4/2) to dark gray (5 Y 4/1) and gray (5 Y 5/1) (Musell Rock soil Charts, 1975).

Origin of Modern and Relict sediments

The distribution of sediments is well divided into two sedimentary facies, one is a long and narrow belt of nearshore mud and the other is sandy sediment seaward of the belt of nearshore mud.

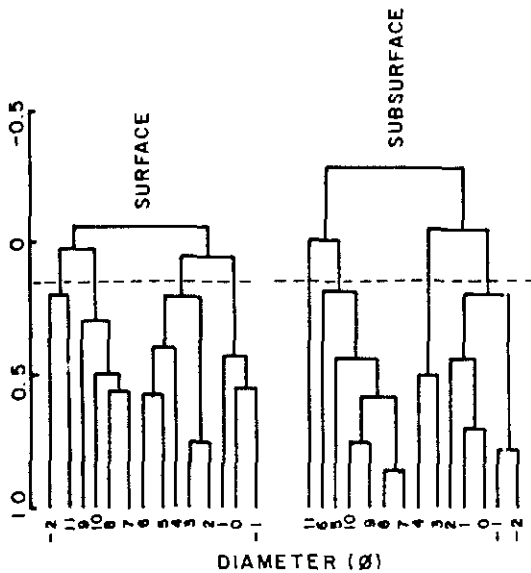


Fig. 13 Dendrogram for R-mode cluster analysis of the total grain size classes.

Wells et al. (1983) suggested that coastal muds eroded during winter in the southeastern Yellow Sea are transported south into the Korea Strait at rates of $25-250 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$. These volume transport rates are 1-2 orders of magnitude greater than can be explained by input from Korea rivers alone, suggesting that muds may be derived from other parts of the Yellow Sea.

The total amount of sediment discharged by the Nagdong river in Korea is as much as 10 million tons per year. It is obvious that muddy sediment in the study area is derived from the Nagdong river and from the local erosion of Korean Peninsula and from the large rivers of mainland China.

Surface muddy sediments on the nearshore area appear to be mainly Holocene in age. The Hwangho River which ranks second in sediment discharge among the world's rivers is reported to discharge about 1,100 million tons of sediment annually. The Yangtze River in the southeastern China contributes about 500 million tons of fine sediments with subordinate amount of sands annually to the East China Sea (Milliman and Meade, 1983; Schubel et al., 1984). This river borne sediment is debouched to the ocean and much material is also transported to the Korea Strait by Kuroshio current.

Park and Han (1985) suggested that clay minerals in the Korea Strait contained on average 53% illite, 19% Kaolinite, 16% intergrade clay, 6% chlorite, 5% smectite and trace amounts of sepiolite and attapulgite.

The clay fractions of the sediments near the land are supplied by river-borne sediments and are mixed with sediments transported landwards from the offshore.

The distribution of clay minerals in the offshore area of the Korea Strait, does not show any distinctive patterns. The distributions appear to have been influenced by the supply or redistribution, or both, of fine grained sediments of river runoff from the Korean Peninsula as well as fine grained sediments of Tsushima warm current from the East China Sea.

Most of the Korea Strait sediment was subaerially exposed when sea level in late Pleistocene time stood about 130 meters below the present levels.

Evidence of this exposure is provided by the partial alteration of iron bearing minerals in the offshore sands to hematite in this study area and by patchy deposits of bare and buried well rounded beach gravels located at some places in the study area. A general discussion of the relationship between Modern and Relict sediments is given by Curry (1965) and Emery (1952).

The sediment on the outer shelf of the Korea Strait was also considered to be relict because of the anomalous distribution of grain size and the abundance of calcium carbonate.

Emery (1968) reported that sands on the outer half of the shelf in the East China Sea and Yellow Sea are calcareous and they are iron-stained, typical of relict sediments that remained unburied on most continental shelves of the world during the Pleistocene time of glacially lowered sea levels.

In this region, sandy sediments seaward of the muddy belt are, in general, slightly mixed with Holocene muddy sediment but these deposits are a broad distribution of coarse sandy sediment from which finer sediments are winnowed away or prevented from being deposited by the strong Tsushima current.

Radio-carbon dates for several samples of the adjacent East China Sea range from 4,000 to 30,000 years (Emery et al., 1969).

Calcium carbonate

Calcium carbonate in bottom sediment of the Korea Strait composed mainly of entire calcareous

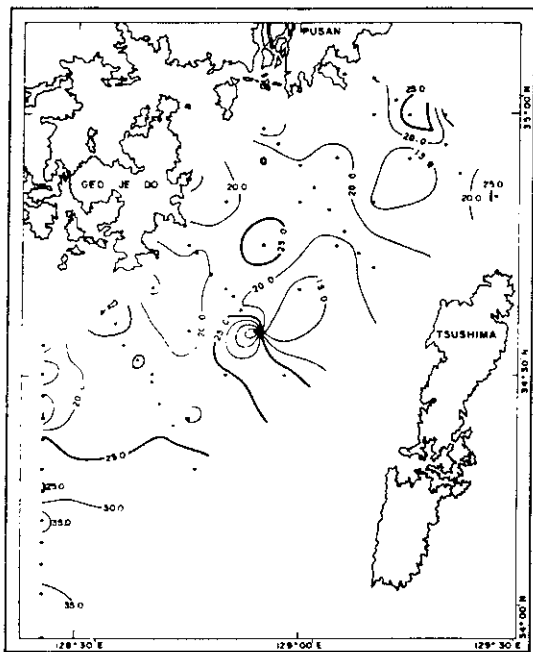


Fig. 14. Distribution of CaCO_3 content of the surficial sediment.

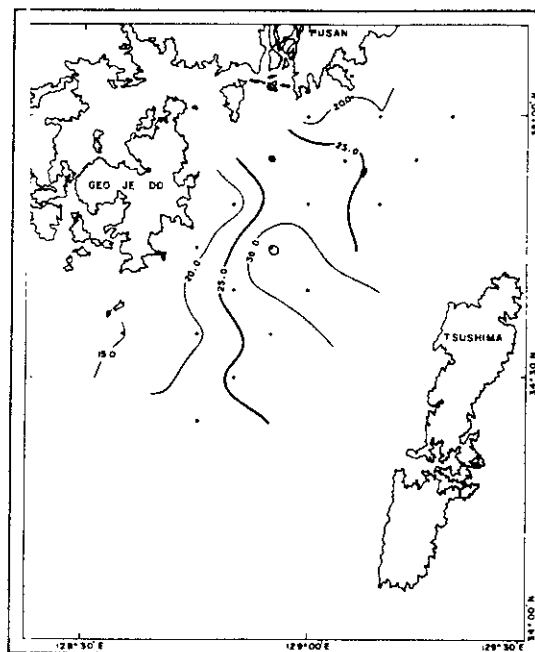


Fig. 15. Distribution of CaCO_3 content of the subsurface sediment.

biogenic remains were investigated by a total of 83 surface and subsurface samples. The content of calcium carbonate in the study area ranges from 9.7 to 41.1 percent in surface samples and from 10.77 to 35.37 percent in subsurface sediment samples, respectively, and average abundances are 21.68 and 22.71 percent, respectively. There is little variation between surface and subsurface sediment.

Fig. 14 and 15 show the distribution of biogenic remains in bottom sediments of the Korea Strait. Shell material is dominant in the central part of the Korea Strait and increases from north to south in the Korea Strait.

Comparison of Fig. 14 and 15 indicate clearly that shell abundance is greatest in the area of coarse sediment (gravelly muddy sand deposits) relative to those in muddy sediments.

Most of the calcium carbonate in the Yellow Sea of Korea and East China Sea is of direct organic origin, chiefly in the form of foraminiferal tests, followed in order by broken mollusk shells (mostly pelecypods, gastropods, and pteropods), echinoid spines, and bryozoans (Nino and Emery, 1961).

Kim and Han (1972) reported that they identified 23 species belonging to a genera of planktonic foraminiferas and 196 species belonging to 80 genera of benthic forms in the bottom sediments off the southeastern coast of Korea. The warm and shallow water species became more common towards the south.

Distribution of Suspended Matter.

The suspended matter consists mainly of plankton and other organic material with minor amounts of mica, quartz and feldspar. The concentration of suspended matter varies a little, depending on the stations and depth of the samples, the maximum concentration is 8.17 mg/l at St. C5, the minimum concentration is 0.28 mg/l at St. A5, in the surface water. Total average is 1.85 mg/l.

Suspended matter in the surface water in the northeastern area is lower than that in the southwestern area. This implies that suspended sediment is transported from southwest to northeast along the same pathway as the Tsushima current.

Vertical profiles of suspended matter at each line of stations are shown in Fig. 16.

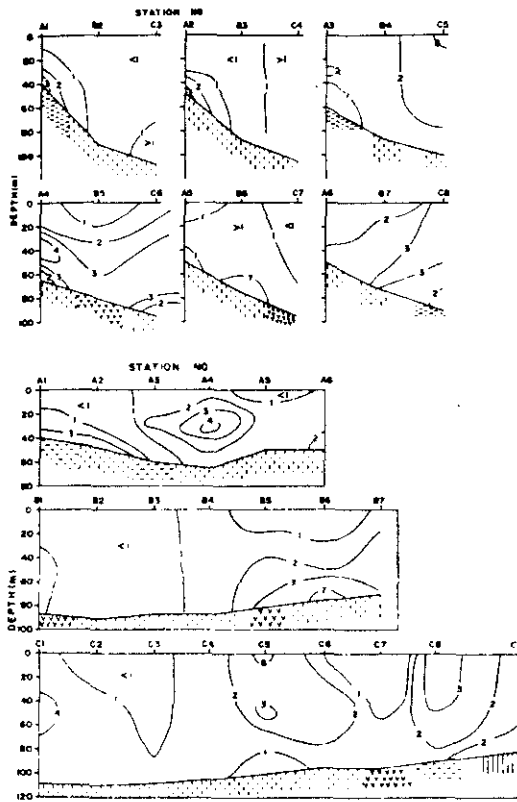


Fig. 16. Vertical profiles of total suspended matters in each section

High concentration at St. A4 indicates sediment of being transported southward along the eastside of Deoguk Island without affecting resuspension of bottom sediment. The core of highest concentration in middle layer of station A4 is the result of the thermocline barrier preventing easily mixing with the high density water mass below the thermocline.

The High concentration which is found at St. B6 is the result of the resuspension caused by irregular and complicated sea bottom topography.

The concentrations in the surface water along line C is, in general, higher than those of the near-bottom layer.

There is no distinctive pattern to the spatial distribution of total suspended matter. However the result of clay mineral analysis indicate that the Nardong river, local erosion and East China Sea might be significant as a source of suspended matter

CONCLUSIONS

1. The distribution of sediment is distinctly divided into two sedimentary facies; one is a long and narrow nearshore mud such as sandy silt, sandy mud, silt and mud, and the other is a sandy deposit seaward of the nearshore mud belt, that consists of muddy sandy gravel, gravelly muddy sand, sand and silty or muddy sand.

2. Comparison of the mean grain size of surficial and subsurface sediments indicates that the present current both nearshore and near the trough relatively stronger than paleocurrent. On the other hand, the paleocurrent was stronger at the central area of the Korea Strait.

3. Most of the Korea Strait sediments were sub-aerially exposed when sea level in late Pleistocene time stood about 30 meters below the present levels. Iron bearing minerals in many of the offshore sands are partially altered to hematite and bare and buried well rounded beach gravels are located at some places with patchness. The sediment on the outersheif of the Korea Strait was also considered to be relict because of the anomalous distribution of grain size and the abundance of calcium carbonate.

4. Calcium carbonate content in bottom sediment samples of the Korea Strait containing entire calcareous biogenic remains. The content of calcium carbonate ranges from 9.7 to 41.1 percent in surface and from 10.77 to 35.37 percent in subsurface sediments, respectively.

5. Suspended matter content in the surface water in the northeastern area is less than that of the southwestern area. By considering the spatial distribution of total suspended matter, one does not find any distinctive pattern, but the Nardong river, local erosion, and East China Sea might be significant as source suspended material.

REFERENCES

- An, H. S., 1974. On the cold water mass around the south-east coast of Korean Peninsula. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 9: 10-18.
- Byun, S. K., Lee, H. J., Kim, C. S. and Jun, H. K. 1982. Water circulation of the East Sea and its applicability to industry. Report KORDI, BSPE 00042-62-1, 145pp.
- Chappell, J., 1967. Recognizing fossil strand lines from grain size analysis. *J. Sed. Petro.*, 37: 157-165.

- Chester, F., and Royse, F. Jr., 1970. An introduction to sediment analysis. Arizona State University, 180pp
- Curry, J. R., 1965. Late Quaternary history, continental shelves of the United States, In: H. E. Wright, Jr. and D. G. Frey (Editors), The Quaternary of the United States. Princeton. University Press, Princeton, New Jersey, pp. 723-735.
- Emery, K. O., 1952. Continental shelf sediments of southern California. Geol. Soc. Amer. Bull., 63: 1105-1108.
- Emery, K. O., and Nino, H., 1967. Stratigraphy and petroleum prospects of Korea Strait and East China Sea. Geol. Sur. Korea Rept. Geophys. Explor., 1: 249-263
- Emery, K. O., Hanyashi, Y., Hilde, T. W. C., Kobayashi, K., Koo, J. H., Reynolds, C. Y., Wageman, J. M., Wang, C. S., and Yang, S. J., 1969. Geological structure and some water characteristics of the East China Sea and Yellow Sea. CCOP. Tech. Bull., 2: 3-43.
- Folk, R. L., 1954. Distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. J. Geology, 62: 344-359.
- Folk, R. L., 1968. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's, Univ. Texas, U S A. 170pp.
- Folk, R. L., and Marson, C. C., 1958. Differentiation of beach, dune, and eolian flat environments by size analysis. Mustang island, Texas. J. Sed. Petro., 28: 211-226.
- Folk, R. L., and Ward, W. C., 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameter. J. Sed. Petro., 27: 3-26
- FRDA, 1961-78, 1980. Annual Report of oceanographic observations. Fisheries Reserch and Development Agency, KOREA.
- Friedman, G. M., 1961. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. J. Sed. Petro., 31: 514-529.
- Geological Map of Korea, 1981. Published by the Korea Institute of Energy and Resources, Seoul, Korea.
- Kim, B. K., and Han, J. H., 1971. Foraminifera in the bottom sediments off the southeastern coast of Korea. J. Geol. Soc. Korea, 7: 11-36.
- Kong, Y., 1971. A study on the south Korean coastal front. J. Oceanolo. Soc. Korea, 6: 25-36.
- Kwon, N. Y., and Park, S. J., 1973. On the bottom sediments of off the southern coasts of Korea, Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 10: 39-52.
- Lim, D. B., 1973. The movement of the cold water in the Korea Strait. J. Oceanolo. Soc. Korea, 8: 46-52.
- Lim, D. B., and Chang, S. D., 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. J. Oceanolo. Soc. Korea, 4: 71-82.
- Milliman, J. D., and Meade, R. H., 1983. World-wide delivery of river sediments to the Oceans. J. Geology, 91: 1-21.
- Ministry of Construction, 1974. A survey report on Nagdong river basin. Bull. ISWACO. pp. 1-56.
- Morala R. J., and Weiser, D., 1968. Textural Parameters: an evaluation. J. Sed. Petro., 38: 45-53.
- Moriyasu, S., 1972. The Tsushima current, Kuroshio, its physical aspects, In: H. Stommel and K. Yoshida (Editors) Kuroshio, Univ. Tokyo Press, Tokyo, p. 353-369.
- Munsell Rock soil Charts, 1975. Munsell color. Macbeth division of Kollmorgen Corporation.
- Nino, H. and Emery, K. O., 1961. Sediments of shallow portions of East China Sea and South China Sea. Geolo. Soc. Amer. Bull., 72: 731-762.
- Park, B. K., and Han, S. J., 1985. The distribution of clay minerals in Recent sediments of the Korea Strait. Sedimentary Geology, 41: 173-184.
- Park, Y. A., and Song, M. Y., 1971. Sediment of the continental shelf off the south coasts of Korea. J. Oceanolo. Soc. Korea, 6: 16-25.
- Passaga, R., 1957. Texture as characteristics of clastic deposition. AAPG Bull., 41: 1952-1984.
- Passaga, R., 1964. Grain size representation by CM patterns as a geological tool. J. Sed. Petro., 34: 830-847.
- Schubel, J. R., Shen, H. T., and Park, M. J., 1984. A comparison of some characteristic sedimentation process of estuaries entering the Yellow Sea. In: Y. A. Park, O. H. Pilkey and S. W. Kim (Editors), Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea, Proceedings of Korea-U. S. Semina and Workshop. Jun. 19-23, Soul, Korea, p. 286-308.
- Suk, B. C., 1981. Depositional environment of Recent sediment on the continental shelf around the Jeju island. Bull. Korea Ocean Res. Dev. Inst., 3: 123-131.
- Suk, B. C., and Park, B. K., 1983. Heavy metal content in the sediments from the continental shelf around Jeju Island and southern castal area, Korea. J. Oceanolo. Soc. Korea, 18: 29-42.
- Tanioka, K., 1968. On the Eastern Korean warm current (Josen Warm Current). Oceanogr. Mag., 20: 31-38.
- Wageman, J. M., Hilde, T. W. C. and Emery, K. O., 1970. Structural framework of East China Sea and Yellow Sea. AAPG Bull., 54: 1611-1643.
- Wells, J. T., Huh, O. K., and Park, Y. A., 1983. Disposal of silts and clays by winter monsoon surges in the southeastern Huanghai Sea. Proceeding of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, With Special Reference to the East China Sea. 1: 462-472.
- Yi, S. U., 1966. Seasonal and secular variations of the water volume transport across the Korea Strait. J. Oceanolo. Soc. Korea, 1: 7-13.
- Yi, S. U., 1970. Variations of oceanic condition and mean sea level in the Korea Strait. In: S. C. Marr (Editor) the Kuroshio, East-West Center Press, Honolulu, pp. 125-141.

하계 진동만의 해양화학지수의 분포

양동범 · 이광우*

해양연구소
*한양대학교 지구해양학과

Distribution of Chemical Oceanographic parameters during Summer in Jindong Bay

Dong-Beom Yang · Kwang-Woo Lee*

Chemical Oceanography Laboratory Korea Ocean Research and Development Institute
*Department of Earth and Marine Sciences Hanyang University

Distributions of chemical oceanographic parameters were measured in Jindong Bay in July and September, 1982 and in July, 1983.

In July, 1982, low concentrations of nutrients were observed in the surface waters of high salinity. In September, 1982, lowering of surface salinity accompanied an increase in nutrient concentrations which were too low for red-tide bloom. In July, 1983, although the sampling was done just after heavy rainfall, concentrations of dissolved inorganic nitrogen in the surface waters seemed to be not sufficient for red-tides to occur. And dissolved phosphate contents were over 20 $\mu\text{gP/l}$ in the surface waters, suggesting that phytoplankton growth was not limited by phosphates.

Introduction

For water quality protection in the coastal environments, it is essential to monitor and to be able to predict the phytoplankton biomass since undesirable phytoplankton blooms deteriorate water quality by depleting dissolved oxygen in the bottom waters during their decay. Furthermore, some dinoflagellate species produce, during the bloom, toxins harmful to other organisms and human.

Since late 1960's, red-tide outbreaks on the southern coasts of Korean peninsula have damaged coastal fisheries and aquaculture. Several studies have been reported on the occurrence and causes of red-tide blooms in this

area (Cho, 1979; Park, 1980, 1982; Yoo and Lee, 1980). And from 1979 extensive physical, chemical and biological investigations have been undertaken in Jinhae Bay by Korea Ocean Research and Development Institute (Lee et al., 1980, 1981, 1982, 1983).

Although the phytoplankton blooms are not yearround as in Masan Bay, more serious damages were encountered in Jindong Bay by red-tide outbreaks, since this region is an important areas for various aquaculture.

Red-tide outbreaks in this region have mainly occurred in summer and oceanographic observations were carried out in summer months. Distributions of chemical oceanographic parameters are discussed in this paper.

Materials and Methods

Oceanographic observations and sampling was carried out at the ten stations in Jindong Bay on July 19 and September 15 in 1982, and on July 25 in 1983. Location of sampling stations (St. 11 through 20) are shown in Fig. 1.

Methods of measurements for salinity and dissolved oxygen are described elsewhere (Lee et al., 1983). Analyses for dissolved nitrates, nitrites and phosphates were carried out with the Technicon Autoanalyzer II using the method of Zimmermann et al. (1977). The concentration of ammonia was determined by the indophenol-blue method (Koroleff 1969) and the extinction at 630 nm was measured in 1 cm cuvettes in a Perkin Elmer 552 spectrophotometer installed on board. Chlorophyll a was determined on acetone extracts method (SCOR-UNESCO method, 1966). For the analysis of particulate carbon (PC) and particulate nitrogen (PN), seawater samples were filtered onto the preignited glass fiber filters (Whatman GF/C) and measurements were carried out with an elemental analyzer (Perkin Elmer 240B) by the method of Kerambrun and Szekiela (1969).

Results

Mean values of oceanographic parameters at each sampling depth in Jindong Bay in July, 1982 are shown in Table 1.

Surface water temperature ranged from 22.7 to 25.2°C, whereas it varied from 18.0 to 21.2°C in the bottom waters. Salinity ranged 33.5–34.1‰ both in the surface and bottom waters.

Mean DO concentration was 5.6 ml/l in the surface waters and 6.3 ml/l at 5m depth and 4.3 ml/l in the bottom waters. Nitrate concentrations were lower than 16 µgN/l at the surface and at 5m depth, whereas in the bottom waters they reached 100 µgN/l at two stations.

Nitrite concentrations, being quite low in the surface waters, increased slightly in the bottom waters.

Phosphate concentrations were also low, ranging 1.6 to 4.3 µgP/l in the surface waters, 2.5–10.5 µgP/l at 5m depth and 15.2–40.0 µgP/l in the bottom waters. In contrast to nearby Masan Bay waters receiving high amounts of dissolved inorganic nutrients from wastewaters, surface waters of Jindong Bay were relatively poor in nutrients.

Surface chlorophyll a contents were lower than 2 µg/l except at St. 11 (6.3 µg/l).

Mean values of chemical oceanographic parameters at each sampling depth in September, 1982 are summarized in Table 2.

Surface temperature ranged from 23.5 to 24.9°C, as were at 5 and 10m depth. Below 15m depth, water temperature varied from 20.7 to 22.0°C. From surface to 10m depth, salinity was near 30‰ whereas it exceeded 32‰ in the bottom waters. Mean DO contents were 5.9 ml/l at the surface and at 5m depth and in the bottom waters they were 1.8 ml/l, which were significantly lower value than those of July. Anoxic bottom waters were encountered at St. 18 and 19, where the same conditions were encountered in the summer of 1979 and 1980 (Lee et al., 1980).

Surface nitrate concentrations were generally lower than 50 µgN/l, except at St. 12 and 14 while it reached 100 and 200 µgN/l, respectively. In the bottom waters, nitrates

were more than $50\mu\text{gN/l}$ at St. 12, 14 and 16. At St. 18 and 19, nitrate contents were only 14 and $21\mu\text{gN/l}$, respectively, which might suggest that a significant fraction of nitrites were removed by denitrification processes, following oxygen depletion.

Nitrite contents were low at all stations. Surface phosphate concentrations, ranging from 5.0 to $22.3\mu\text{gP/l}$, were higher than that in July. At St. 18 and 19, phosphate concentrations in the bottom waters exceeded $100\mu\text{gP/l}$, probably due to the decomposition of organic materials and leaching from anoxic sediments.

Chlorophyll a contents were lower than $3\mu\text{g/l}$ in the surface waters, whereas they increased slightly at 5 and 10m depth

Mean values of chemical oceanographic parameters at each sampling depth in July 1983 are presented in Table 3.

Since sampling was carried out three days after a heavy rain, influence of freshwater runoff was expected.

Salinity distribution in the surface waters ranged from 29.0 to 31.90‰.

Although these values being lower than annual mean surface salinity in 1983 (Lee et al., 1983), the influence of landwater runoff during the rainy season was not so pronounced as in Masan Bay. Mean salinity at 5 and 10m depth were 31.8 and 32.5‰ respectively, which were similar to salinity at the same depth in Masan Bay (Lee et al., 1983).

Dissolved oxygen concentrations in the surface waters varied from 5.0 to 6.7ml/l (102.0–135.8%). Saturation percentage of DO exceeded 130% at St. 15 and 16, where chlorophyll a contents were relatively high. In the bottom waters, oxygen depletion, like the bottom waters of the inner Masan

Bay, did not occur in Jindong Bay. More than 50% of saturation percentage of DO was observed on the bottom waters of all stations. Dissolved nitrate contents in the surface waters were relatively low. More than $20\mu\text{gN/l}$ was observed at St. 11 and 16. Dissolved nitrate contents increased below the thermocline at about the 10m depth. In the bottom waters, relatively high concentrations of nitrate ($m=70.1\mu\text{gN/l}$) existed in association with degradation of organic matter.

Nitrite concentration also increased from the thermocline reaching $21.9\mu\text{gN/l}$ of mean value in the bottom waters. Dissolved ammonia contents in the surface waters of Jindong Bay were also low, average being $16.7\mu\text{gN/l}$. Mean dissolved ammonia contents at 10m depth and at bottom was 55.6 and $32.4\mu\text{gN/l}$, respectively, showing a subsurface maximum of ammonia concentrations in many stations.

Subsurface maximum of ammonium is known to occur from the regeneration of ammonium by zooplankton and/or bacteria together with the stratification in summer (Saino et al., 1983).

Dissolved inorganic nitrogen (nitrate + nitrite + ammonium) contents in Jindong Bay did not exceed $100\mu\text{gN/l}$ at the surface and at 5m depth.

Dissolved phosphate concentrations in all surface waters were over $20\mu\text{gP/l}$, below which level phytoplankton growth is limited by phosphates (Kuhl, 1974).

Highest chlorophyll a content was measured in the surface waters of St. 15 with $7.6\mu\text{g/l}$. Mean surface chlorophyll a concentration was $4.3\mu\text{g/l}$, indicating that phytoplankton blooms were not to be initiated. Particulate nitrogen and particulate carbon

contents were 86.5 and 523.7 $\mu\text{g/l}$, respectively in the surface waters. Mean C/N ratio in the surface waters was 6.07 suggesting that land-driven organic material was

not an important fraction of particulate organic materials. River particulates has an average C/N ratio of 8.8 whereas marine phytoplankton has a ratio of 5.7 (Meybeck 1978).

Table 1. General characteristics of sea water in Jindong Bay in July, 1982

Depth (m)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Salinity (‰)	DO (%)	Nitrates ($\mu\text{g N/l}$)	Nitrites ($\mu\text{g N/l}$)	Phosphates ($\mu\text{g P/l}$)	Chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$)
0	24.2	33.52	166.3	7.6	4.3	3.0	1.4
5	23.1	33.64	183.5	9.7	5.0	4.5	1.5
B	19.0	34.01	121.9	74.2	17.6	25.8	1.4

Table 2. General characteristics of sea water in Jindong Bay in September 1982

Depth (m)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Salinity (‰)	DO (%)	Nitrates ($\mu\text{g N/l}$)	Nitrites ($\mu\text{g N/l}$)	Phosphates ($\mu\text{g P/l}$)	Chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$)
0	24.2	30.19	169.8	54.3	3.2	9.1	2.0
5	23.8	30.17	169.0	34.4	3.3	9.0	1.6
10	23.3	30.29	124.7	38.4	6.0	7.0	2.5
B	21.2	32.05	42.7	43.2	12.6	66.5	0.9

Table 3. General characteristics of sea water in Jindong Bay in July, 1983

Depth (m)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Salinity (‰)	DO (%)	Ammonia ($\mu\text{g N/l}$)	Nitrates ($\mu\text{g N/l}$)	Nitrites ($\mu\text{g N/l}$)	Phosphates ($\mu\text{g P/l}$)	Chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$)	PN ($\mu\text{g/l}$)	PC ($\mu\text{g/l}$)	C/N
0	23.9	30.64	116.2	16.7	6.1	5.4	24.7	6.5	87	524	6.1
5	22.2	31.82	90.4	14.7	0.6	5.4	25.4	5.3	75	488	6.5
10	19.2	32.49	62.3	55.6	29.1	14.8	35.3	2.3	51	360	7.2
B	16.2	33.11	61.7	32.4	70.1	21.9	39.5	0.9	50	384	7.8

Discussions and conclusion

Comparison of the results of July and September, 1982, showed that surface nutrient concentrations increased with lowering of salinity. Nevertheless, nutrient concentration in the surface waters seemed to be too low for the phytoplankton blooms. In fact, extensive red tide blooms were not reported in the area in 1982.

In July, 1983, dissolved phosphate were not likely to be limiting, since its concentration in the surface waters exceeded $20\mu\text{gP/l}$ below which level phytoplankton growth is limited by phosphates (Kuhl, 1974). Furthermore, the minimum level for large scale outbreaks of red-tides is $13.5\mu\text{gP/l}$ (Japanese Association of Fishery Resources Protection, 1972) above which phosphates may not be limiting.

In July, 1983, dissolved inorganic nitrogen contents above the thermocline was far less than $100\mu\text{gN/l}$, which is the minimum level for large scale outbreaks of red-tides (Japanese Association of Fishery Resources Protection, 1972).

It may indicate that red-tides in July, 1983, resulted from the maximum effective utilization of dissolved inorganic nitrogen by phytoplankton. Several studies of nitrogen cycling in near-shore waters have concluded that the majority of nitrogen required for maintenance of high standing stocks and productivity ratio comes from rapid in situ mineralization (McCarthy, 1972; Harrison, 1978).

In this respect, the recycling of nitrogen compounds in this region should be studied extensively when the undesired phytoplankton blooms were to be predicted from oceanographic data.

The role of turbulent mixing which ensure the considerable quantities of nitrogen compounds to be supplied to the surface layer from bottom layer should also be investigated, since the red-tides are frequently induced by these processes (Honjo, 1974).

요 약

진동만 해역에서 1982년 7월과 9월, 1983년 7월에 해양화학지수의 분포를 조사하였다.

1982년 7월에는 고염분의 표층수에서 낮은 영양염 농도가 측정되었다. 1982년 9월에는 염분의 감소와 함께 영양염 농도가 다소 높아졌으나 적조 발상에 이르기에는 낮은 농도였다. 1983년 7월에는 장마직후에 조사를 실시하였으나 표층수의 용존성 무기질소의 농도는 대규모 적조 발생을 위한 최소농도 보다 훨씬 낮았다.

용존성 인은 표층수에서 $20\mu\text{g P/l}$ 이상이므로 제한인자가 아닌것으로 보여진다.

References

Cho, C. H., Mass mortalities of oysters due to red tide in Jinhae Bay in 1978, Bull. Korean Fish. Soc., 12, 27-33 (1978).

Harrison, W. G., Experimental measurements of nitrogen remineralization in coastal waters, Limnol. Oceanogr., 23, 684-694 (1978).

Honjo, T., Studies on the mechanism of

- red tide occurrence in Hakata Bay. V. Experimental conditions during the blooming season and essential factors of red tide occurrence, *Bull. Tokai Reg. Fish Lab.*, 79, 77-127 (1974).
- Japanese Association of Fishery Resources Protection, Water quality standards for fishery environment (1972).
- Kerambrun, P. and K. H. Szekielda, Dosage simultane du carbone, de l'hydrogene et de l'azote dans le matériel en suspension dans l'eau de mer, Note technique, *Tethys*, 1, 581-584 (1969).
- Koroleff, F., Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue, *Int. Cons. Explor. Sea, C.M.*, C.9 (1969).
- Kuhl, A., Phosphorus, *Bot. Monogr.*, 10, 636-654 (1974).
- Lee, K. W., K. S. Nam, H. T. Huh et al., A preliminary investigation on the monitoring system for the red tides in Jinhae Bay, *KORDI Rep.*, BSPE 00022-43-7 (1980).
- Lee, K. W., K. S. Nam, H. T. Huh et al., A study on the monitoring system for the red tides in Jinhae Bay, *KORDI Rep.*, BSPE 00031-56-7 (1981).
- Lee, K. W., K. S. Nam, H. S. Kwak et al., A study on the monitoring system for the red tide in Jinhae Bay, *KORDI Rep.*, BSPE 00044-66-7 (1982).
- Lee, K. W., K. S. Nam, H. S. Kwak et al., A study on the monitoring system for the red tide in Jinhae Bay, *KORDI Rep.*, BSPE 00048-80-7 (1983).
- McCarthy, J. J., D. Kamykowski, Urea and other nitrogenous nutrients in La Jolla Bay during February, March, and April 1970, *Fish. Bull.*, 70, 1261-1274 (1972).
- Meybeck, M., Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers, *Am. J. Sci.*, 282, 401-450 (1982).
- Park, J. S., Studies on seasonal changes in population and their effects on oysters and local fishery resources as food organisms and as cause of red tide in the south coast of Korea, *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 23, 7-157 (1980).
- Park, J. S., Studies on characteristics of red tide and environmental conditions in Jinhae Bay, *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 28, 55-88 (1982).
- Saino, T., H. Otake, E. Wada, A. Hattori, Subsurface ammonium maximum in the northern North Pacific and the Bering Sea in summer, *Deep. Sea Res.*, 1157-1171 (1983).
- SCOR-UNESCO, Determination of photosynthetic pigments in seawater, *Monogr. Oceanogr. Methodol.*, 1 (1966).
- Yang, D. B., S. H. Kim, and K. W. Lee, Vertical distribution of chemical oceanographic parameters in Jinhae Bay in July, 1983, *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 19, 89-93 (1984).
- Yoo, K. I., and J. H. Lee, Environmental studies of the Jinhae Bay 2. Environmental parameters in relation to phytoplankton population dynamics, *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 15, 62-65 (1980).
- Zimmermann, C. M., M. Price, and J. Montgomery, Operation, methods and quality control of Technicon Autoanalyzer II systems for nutrient determinations in seawater, Harbor Branch Foundation, Inc. Technical Report 11 (1977).

Effects of Different Processing Techniques on Interpretation of Marine Seismic Data

海上彈性波 探查資料 解釋을 위한 多樣한 處理技法의 效果

Oong Koo Youn(尹雄求)*, Sang-Joon Han(韓相俊)**,
and Byong-Kwon Park(朴炳權)***

Abstract : A batch of normal incidence model data was generated to evaluate processing effects. The input model includes primary reflectivity series, its potential multiples, linear dipping noise, and random noise. Spike models were created and convolved with minimum phase and zero phase Butterworth wavelets for the generation of reasonable synthetic seismic model data. Bandpass filtering, predictive deconvolution, array former, and f-k filtering were tested individually to see their parameter variations and corresponding outputs. Optimum parameters for each algorithm were selected and applied in the combined sequence test. From the result, individual parameter variations and combined steps are evaluated. Multiple suppression is well performed by predictive deconvolution. The selected lag was 24 ms and operator length was 200 ms for the model data. On the real marine seismic data with airgun source, the lag of 24 ms is generally good, and the operator length is flexible with water depth and operator design window length. Coherent noise is reasonably attenuated by f-k filtering of array former. F-k filtering is preferred to array former because a considerable reduction of lateral resolution power is inevitable in an array former operation. The f-k filtering is designed for only specific noise or primary zones with high frequency limit to minimize edge effects and aliasing. The array former mixes adjacent shot and/or receiver traces with temporal and spatial weighting factors, hence affecting good data zones as well as noisy zone in a similar fashion. It is recommended that brute stacks (field data stack before any processing) along with intermediate stacks are considered against the test results when evaluating the total processing effect. A few key lines should be taken through a detail evaluation of processing effects and be extrapolated to other lines in the area.

要 約

海上 彈性波 探查作業시 발생되는 잡음을 제거하기 위하여 주요 資料處理 技法을 적용하여 최적의 處理變數를 결정하였으며, 이를 다시 일련의 처리과정을 거쳐 결과를 검토하였다. 또한 處理效果를 評價하기 위하여 多重反射, 線形的으로 增幅되는 雜音 및 任意雜音을 고려한 重直反射資料를 인위적으로 합성하여 모형을 만들어 각 처리기법에 대한 最適變數의 適用結果를 검토하여 잡음제거를 위한 최적 變數算定 방안을 다음과 같이 수립하였다.

(1) 豫測니론 : 모형에서는 演算子의 길이를 200 ms, 豫測距離 (lag)를 24 ms로 選定하여 多重反射를 우수하게 제거할 수 있었다. 실제의 해상탐사 자료에서는 예측거리는 24 ms를 사용하는 것이 좋으며, 연산자의 길이를 水深과 設計범위에 따라 變動성을 주는 것이 좋다.

* International Oil Division, Union Oil Company of California, L.A., CA 90017, U.S.A.

** Geological Oceanography Lab., Korea Ocean Research and Development Institute, Seoul 135, Korea

*** Department of Earth Sciences, Korea Military Academy, Seoul 130, Korea.

(2) f-k filtering : 특정한 삽입제거나 주변효과(edge effect)와 aliasing을 최소화하기 위해 高周波限界의 一次反射域(primary zones)에 대해서만 적용한다.

(3) array former 실행시에는 수평적인 分解能의 상당한 감소가 불가피해지며, 인접 trace 간에 時空間的인 加重因數들이 혼합되므로 雜音領域에는 물론이고 약소한 기록영역에도 같은 형태의 영향이 미침을 고려해야 한다.

(4) 선제적인 處理效果를 평가코자 할 때는 重間重疊(intermediate stacks)과 함께 初期重疊(brute stacks)을 고려해야 하며, 몇 개의 測線을 선정해 상세한 처리결과 평가를 거친후 탐사지역내 다른 測線에 挿入시켜 보아야 한다.

INTRODUCTION

Customary a final filtered migrated stack section is used for the interpretation and subsequent mapping. A final section after 10-20 processing steps may really depend on the various processing parameters and combined sequence. The most optimum parameters and sequence can be defined only for a well defined interpretive objective. If the objectives are scattered around and several noise problems exist, the best singular processing sequence with optimum parameters of each step might be hardly definable. Therefore, the evaluation of processing effects on the final section is an important factor for a more accurate interpretation

This study is aimed to the analysis and evaluation of several important processing techniques which are needed in most marine seismic data processing and also leave apparent footprints on the final section. Multiples and dipping noises are selected as main targets of suppression by several computer processing algorithms. Generally these two problems of multiples (mostly water layer reverberations) and dipping coherent noises (mostly marine cable jerks) are the most serious problems in the marine seismic data had been well defined and analyzed by Larner *et al.* (1983).

An input spike model was generated in the order of primary reflectivity series generation, addition of multiples, addition of dipping noise, and addition of random noise. This spike model was convolved with zero phase and minimum phase wavelets. For all the subsequent testings, the zero phase wavelet convolved model which had primaries, multiples, dipping noise, and random noise was used and displayed in true amplitude with a constant excursion parameter except deconvolution testings. (Fig. 5 and 6) which were relatively gained to peak amplitude due to amplitude reduction of spiking deconvolution.

Multiple suppression was tried by predictive de-

convolution with 3 different lags. Other parameters such as operator length, additive white noise and autocorrelation window design were unchanged.

Dipping noise attenuation was tried by f-k filtering and array former. Two reject fans in f-k filtering were varied to evaluate optimum range. Weighting factors of array former are varied to see pattern length.

Random noise attenuation was tried by band-pass filter with varying bandlimits from wide band to narrow band. But the best random noise attenuation was achieved by array former as unintentional side-effect.

The combined processing sequence to achieve maximum elimination of multiples, dipping noise, and random noise with maximum relative enhancement of primary reflection signals was tested with various sets of combined steps. Whether multiples should be treated first or dipping noise should be treated first is always questionable in most marine survey, but in most cases the dipping noise problem is treated before multiple attenuation if both are treated in a consecutive sequence. Processing order problem seems depend on the various factors such as input data, computer algorithms with their inherent side effects, and optimization of parameters.

MODEL DATA GENERATION AND TEST PROCEDURE

Model Data Generation

The input model data was generated in following 4 steps.

1. Generation of primary reflectivity series: A geologic model with 6 interfaces (horizons; reflectors), including free surface and one below the last reflector, was created in depth with velocities and densities for 5 layers. Horizontal distance covers 5000 ft and vertical depth reaches 300 ft. Trace

interval is 200 ft giving total of 26 traces. This depth model was put into a normal incidence ray-tracing modeling program to create reflectivity series. During ray-tracing, energy losses due to geometric spreading of wave front, partial reflections above a horizon, and wave attenuation were not accounted. Sampling interval is 2 ms and data length is 100 ms (Fig. 1-A). Reflection times falling in-between samples were linearly interpolated into two adjacent samples.

2. Addition of multiples: All the possible and significant multiples were added to the primary reflection sequences by multiple generator program. Multiples include waterbottom reverberation assuming the free surface is water, peg-leg multiples and interbed multiples. The output consists of primaries and multiples (Fig. 1 B).

3. Addition of dipping noise: A group dipping noise was added to the output of previous step. Simulated dips of the coherent noise are ± 67 ms/trace (symmetric at trace 16). The velocities of the dips are ± 2985 ft/sec which is much slower than the water velocity, but trace spacing can be assumed differently to have particular velocity (Fig. 1-C). The amplitude of each symmetric noise train has same value.

4. Addition of random noise: Random sequences were generated and added to the previous model which has primaries, multiples and dipping noise. The RMS amplitude of each sequence was scaled to 10 % of input and event probability of having non-zero values was set to 100%. It means random noise power is 20 db and all samples have values (Fig. 1-D).

These 4 sets of spike model were convolved with a minimum phase Butterworth wavelet (Fig. 2) and a zero phase Butterworth wavelet (Fig. 3). A zero phase Butterworth wavelet is generated as follow,

$$W(f) = (1/(1 + (f/FH)^{2N})) \times (1/(1 + FL/f)^{2M})$$

where: W(f)=Butterworth wavelet power spectrum

f=frequency

FH=high-cut frequency, 3 db point

FL=low-cut frequency, 3 db point

N,M=filter order at FH and FL, depend on the slopes.

Actually used parameters were bandlimit of 10 hz/18db to 60 hz/36 db and 120 ms of filter length. The minimum phase wavelet was shaped from this zero phase wavelet by least-squares inverse filter

design.

Test Procedure

Input model for all the testings is Fig. 3-D which has primaries, multiples, dipping noise, random noise with zero phase wavelet shape. Equivalent minimum phase wavelet model (Fig. 2-D) is additionally used for predictive deconvolution testing because spiking deconvolution (predictive deconvolution with unit lag) is sensitive to the phase. Other algorithms were pretty phase independent and general resolution of zero phase model was better than the minimum phase one. All the plots are displayed in true amplitude with a constant excursion parameter except deconvolution tests (Fig. 5 and 6). Spiking deconvolution weakened amplitude in the extent of several times making it unable to compare with other deconvolution with an identical scaling.

Bandpass filtering was tested to evaluate general noise suppression with 3 different bandwidths such as 10 hz/38 db-60 hz/36db, 20 hz/18 db-50hz/36db and 30 hz/18 db-40 hz/36db (Fig. 4). High and low cuts were defined at 3db point. Operator is designed in frequency domain and transformed into time domain for convolution or correlation.

Predictive deconvolution with various lags (gaps or predictive distances) such as 2 ms, 24 ms 100 ms, was applied to see the effectiveness of multiple suppression (Fig. 5 and 6). Operator length was set to 200 ms even though presumed water depth at trace 1 is 240 ms. This is due to short data length. A design window length must be bigger than 4 times of an operator to get acceptable stability. The additive white noise amount was set to 0.1 % of peak autocorrelation power within a design window. This white noise is a stabilizer to prevent zeros or negative values in the windowed spectrum, but undesirable side-effects of the white noise are phase distortion, poor inverse filtering and prevention of spiking. It is recommended to limit this white noise less than 0.1% for marine data. Deconvolution was tested on both of zero phase and minimum phase models to evaluate its phase dependency. Although predictive deconvolution expects minimum phase input data, only spiking deconvolution is strongly affected by non-minimum phase input. Due to strong reduction of amplitude by spiking deconvolution (the reason is not traceable yet), plots were relatively gained to show same peak amplitude in each trace.

Array former tested to evaluate dipping noise suppression (Fig. 7). Receiver array width was enlarged by mixing 3 adjacent traces with 3 different weighting factors such as 1:1:1, 1:2:1 and 1:3:1. It did not correct normal moveout (not applicable to zero offset data) and averages incompletely on the both edges of a batch.

For the same purpose as array former, f-k filtering was tested with various reject fans (Fig. 8). The coherent noise has dips of about ± 67 ms/trace and it is digitized manually due to lack of computer algorithm. The program transforms 2-D space-time(x-t) domain seismic data into 2-D frequency-wavenumber(f-k) domain. Two reject fans were designed for each test to attenuate both symmetric dipping noises. The dip adjustment was invoked to minimize aliasing and tapering edges of fans was invoked to reduce edge effects. The edge effect of f-k filtering means that the edges of fans formulate mild noise trains because they become clean linear boundaries in the f-k domain after surgical operation.

Combined processing sequences with array former (Fig. 9) and with f-k filtering (Fig. 10) were evaluated for the selection of an optimum sequence. The order of processing steps affects the output as much as algorithm and parameter variations. Bandpass filtering is placed at the last because it is not desirable to cut-off available frequency band in the middle of data-dependent processing.

DISCUSSIONS

Wavelet Processing and Interpretability

The goal of wavelet processing is to recover the reflectivity function from the seismic data without wavelet convolution effect. It can be considered as a removal of wavelet component from the simple convolutional model,

$$S(t) = W(t) * R(t) + N(t)$$

or, $S(f) = W(f) \times R(f) + N(f)$

where: S = seismic trace

W = wavelet

R = reflectivity

N = noise.

There are two approaches to get the wavelet information. One is deterministic measurement and the other is statistical estimation. Generally both approaches have problems of temporal and spatial invariance. A seismic wavelet changes its shape, amplitude and phase along time domain and along

offset domain and this variance problems are almost ignored in the wavelet processing.

Spectral whitening effect of the wavelet processing is achieved by specifying the desired output wavelet with flat spectrum. This usually boosts high frequency contents, but sometimes causes invalid breakups of solid events in time axis and leads to poor migration.

The choice of final wavelet phase could be different for different objectives. But a zero phase wavelet is generally preferred because of its centralized energy concentration and smaller side lobes. The zero phase wavelet model (Fig. 3) gave clearer delineation of events than the minimum phase wavelet model (Fig. 2). For stratigraphic or minor structural interpretation, phase rotated sections reveal different features frequently. Polarity and minor time shift problems can be reevaluated by phase changes. Frequency domain phase rotation can be performed as following,

where, $Y(t) = X(t)\cos P - H(t)\sin P$

$Y(t)$ = P-degree phase rotated trace

$X(t)$ = input trace

$H(t)$ = Hilbert transform of input trace

P = phase rotation angle.

Thus a 90 degree phase rotation gives the maximum difference in the wavelet shape and time lag. It is recommendable to compare 45- and 90-degree phase rotated sections with normal and reverse polarity ones for the stratigraphic objectives.

Multiple Suppression Processing and Interpretability

In the marine seismic data, waterbottom reverberations are one of the most important problems. Particularly near group traces are frequently dominated by ringing (or singing) of this water-confined multiples. The filter design for the removal of this reverberation has simple form such as $(1 + cz^n)$ in z-transform because the reverberation is a geometric series of $1/(1 + ca^n)$ (here, c is waterbottom reflection coefficient, n is water depth 2-way time in number of samples).

Predictive deconvolution works well on the attenuation of any periodic event which has period between lag and operator length. It finds period and amplitude of multiples on the autocorrelations of each trace and zeros out.

Two models with minimum phase and zero phase wavelets were tested with the lags of 2 ms,

24 ms and 100 ms (Fig. 5 and 6). The wavelet is contracted to the length of lag, thus w ms lag will have spiky result for 2 ms sampling data. The spiking deconvolution results (Fig 5-B and 6-B) showed poor multiple suppression but minimum phase result had clean spiky series. Minimum phase input wavelet is strongly expected by the spiking deconvolution, but most source wavelets are not minimum phased.

Predictive deconvolution with a lag of 24 ms showed good multiple suppression. A 100 ms lag did not perform effectively because half of the waterbottom is shallower than the lag. Operator length could not be optimized due to short data length and deep waterbottom. Some of deep water seismic data or far traces of long cables have this problem.

Unoptimized deconvolution will leave residual multiples if the lag is too big or operator length is too small. Also it will cause primary attenuation and pseudo-event generation with small lag and long operator especially after stack.

Coherent Noise Suppression Processing and Interpretability

The coherent dipping noise is a common problem in marine seismic data and frequently masks out important primaries. The mechanisms of the coherent marine noise are classified as inlined waves, mechanical cable motion, and side-scattered waves (Iarner *et al.*, (1983).

Common approach to treat the coherent noise is a multichannel processing such as f-k filtering and array former. An array former technique is a simple adjacent shot or receiver trace mixing in time domain. It suppresses random noise effectively as well as coherent noise. It always enlarges array length and consequently reduces lateral resolution. Berkhoult(1984) expresses lateresolution in relation to pattern length as follow.

where. $A_{max}(f) = \arcsin(c/f \cdot L)$.

A_{max} = maximum spatial resolution dip
 f = frequency

c = medium velocity

L = pattern length

In above equation, the spatial resolution has an inverse relation with a pattern length

Fig. 7 shows considerable attenuation of radom noise by array former processing, but many of dipping events are laterally flattened. Generally array former processing gives cleaner section with good

horizontal continuity, even though there are many over-enhanced pseudoevents. Minor structures and stratigraphic features might be easily disappeared by the lateral mixing.

F-k filtering (velocity filter or dip filter in frequency domain) works on the dipping noise removal and frquently, is compared with array former or beam steering (NMO corrected summing) for the performance evaluation. Fig. 8 shows the results of f-k filtering with various fans of dipping noise rejection. Random noise was not much suppressed and the wider fan rejection (Fig. 8-B) showed overkilling of primaries and multiples. Narrower fans (Fig. 8-C and D) showed less destruction of signals and some work on the dipping noise.

The comparison between array former and f-k filtering shows that an array former reduces overall lateral resolution, while f-k filtering can be confined in the narrow fan of coherent noise. It is more recommendable to use f-k filtering than array former for the coherent noise suppression.

Processing Sequence and Interpretability

The combination of processing steps to attack several problems is an important subject but many processing centers use routine sequence based on their experience and theoretical background.

In this test model, multiples and dipping noise were the main targets of attenuation by processing. Whether multiple suppression should be done before dipping noise suppression or it should be the other way around, was tested with different processing orders. Multiple suppression was done by predictive deconvolution and coherent noise attenuation was done by array former or f-k filtering. Fig 9 shows a combined process test with array former. One is the result of predictive deconvolution before array former (Fig 9-B) and the other is the result of predictive deconvolution after array former (Fig. 9-C). Fig.10 shows similar sequences with f-k filtering instead of array former to treat the dipping noise and multiples. Individual algorithm parameters were selected by previous testings.

The results reveal that multiple suppression before coherent noise treatment is better sequence than the other. This might be due to that multiple problem is dominant over the dipping noise problem, and or the side-effects of coherent noise suppression algorithms are severer than the predictive deconvolution. Based on this general inference, more serious problems should be attacked before

less serious ones. Side-effects of computer algorithms are so delicate and multi-variant that it is hard to point-out the proof of inherent algorithm problems. F-k filtering and array formers are generally considered to have pretty strong side-effects. Processing orders should be a subject of testing, as well as algorithm selection and parameter optimization, not a matter of checking out a pre-printed processing sequence form

CONCLUSIONS

A study with model data, which has known answers, was performed to evaluate multiples and coherent noise suppressions. Individual algorithm was tested to find optimum parameters and the order of their combination was also tested. The interpretability of a seismic section reaches its peak with the best processing algorithms, their parameters and combined sequence. But it was beyond of reasonable capacity to test all the algorithms, and their parameters. Furthermore, in the real data case, the correct answers are rarely known and processing becomes more complicated. Various test results showed that it is a difficult task to suppress noises and to bring up the signals even in the model data with known answers. Some conclu-

REFERENCES

- Graul, J. M., 1982, Deconvolution: Course Note, Geoquest International, Houston, Texas.
- Larner, K., Chambers, R., Yang, M., Lynn, W., and W. Wai, 1983, Coherent noise in marine seismic data, *Geophysics*, v. 48, p. 854-886.
- McQuillin, R., Bacon, M., and Barclay, W., 1979, *Seismic Interpretation*, London.
- Oppenheim, A. V., and Schacter, R. R., 1975, *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- Robinson, E. A., 1980, *University Course in Digital Seismic Methods used in Petroleum Exploration*, Pexcon International, Houston, Texas.
- Robinson, E. A., and Treitel, S., 1980, *Geophysical Signal Analysis*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- Sheriff, R. E., 1973, *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics*, SEG, Tulsa, Oklahoma.
- Ziolkowski, A., 1983, *Deconvolution: Course Note*, IHRDC, Boston, Massachusetts.

sive results could be summarized as follow.

I. Predictive deconvolution is an effective algorithm for multiple suppression. The optimum prediction distance (lag; gap) is chosen to be 24 ms which is shorter than any multiple generating layer depth and not too short to build up high frequency noise with poor multiple suppression. The optimum operator length should be longer than any multiple generating layer depth and shorter than 1/4 of window length. Test data dissatisfies this rule and optimum operator length could not be designed. Many deep water data, short length data, and long offset data have this problem and show residual multiples. Spiking deconvolution is phase sensitive and not effective in multiple removal.

II. Array former and f-k filtering are pretty effective for coherent noise attenuation. Array former works on overall data but f-k filtering is designed for specific dips of noise which is a good advantage over array former. Also array length enlargement by array former gives inverse relation to the lateral or spatial resolution power. Thus f-k filtering is preferred for dipping noise attenuation.

III. The order of processing steps affects data as much as algorithm and parameter selections. It seems to be data and objective dependent. Generally more serious problems should be attacked before less ones.

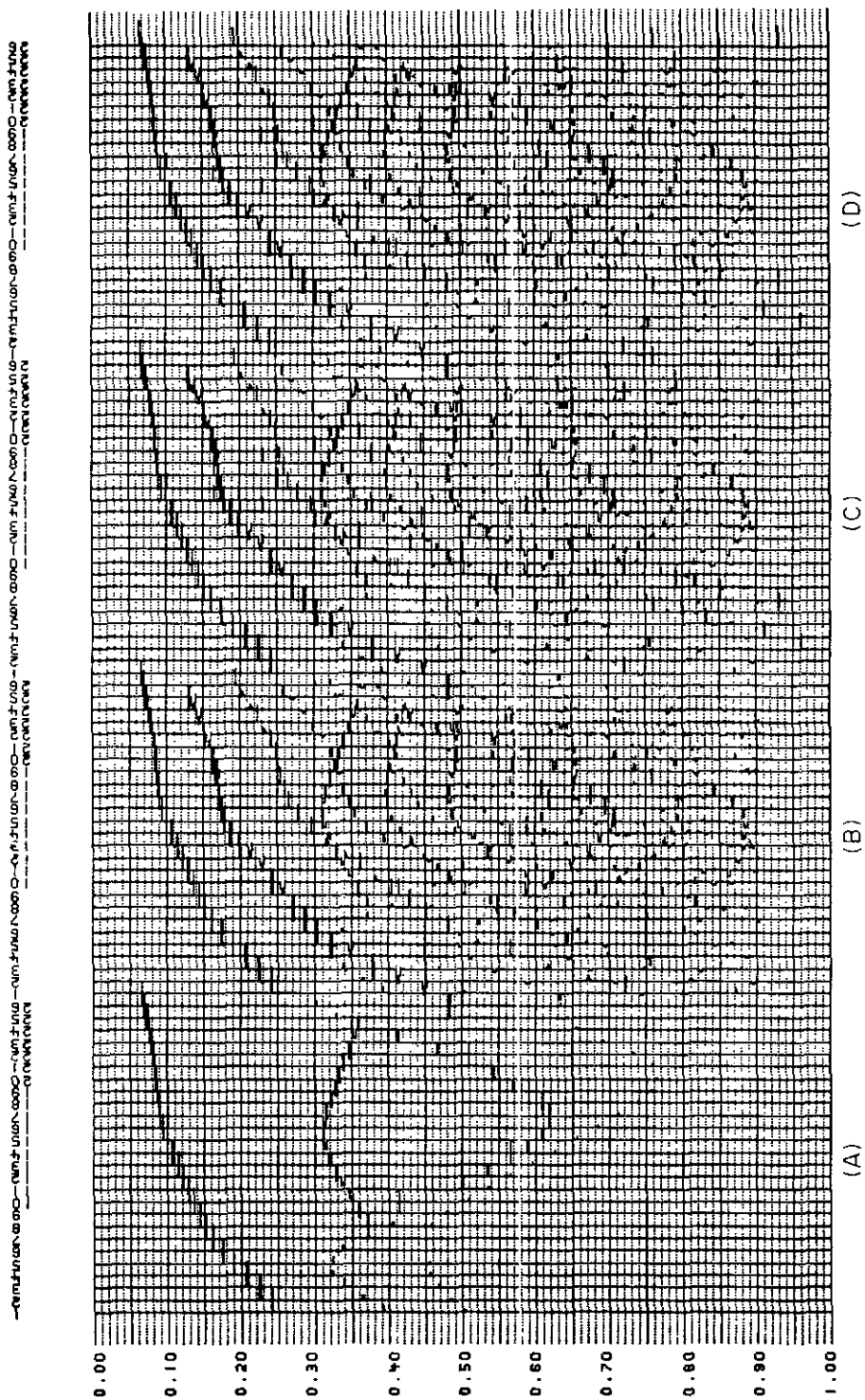


Fig. 1 Normal incidence spike models, (a) Primary reflectivity series in 2 way times, (b) multiples are added to (A); (c) clipping noises are added to (B); (d) random noises are added to (C)

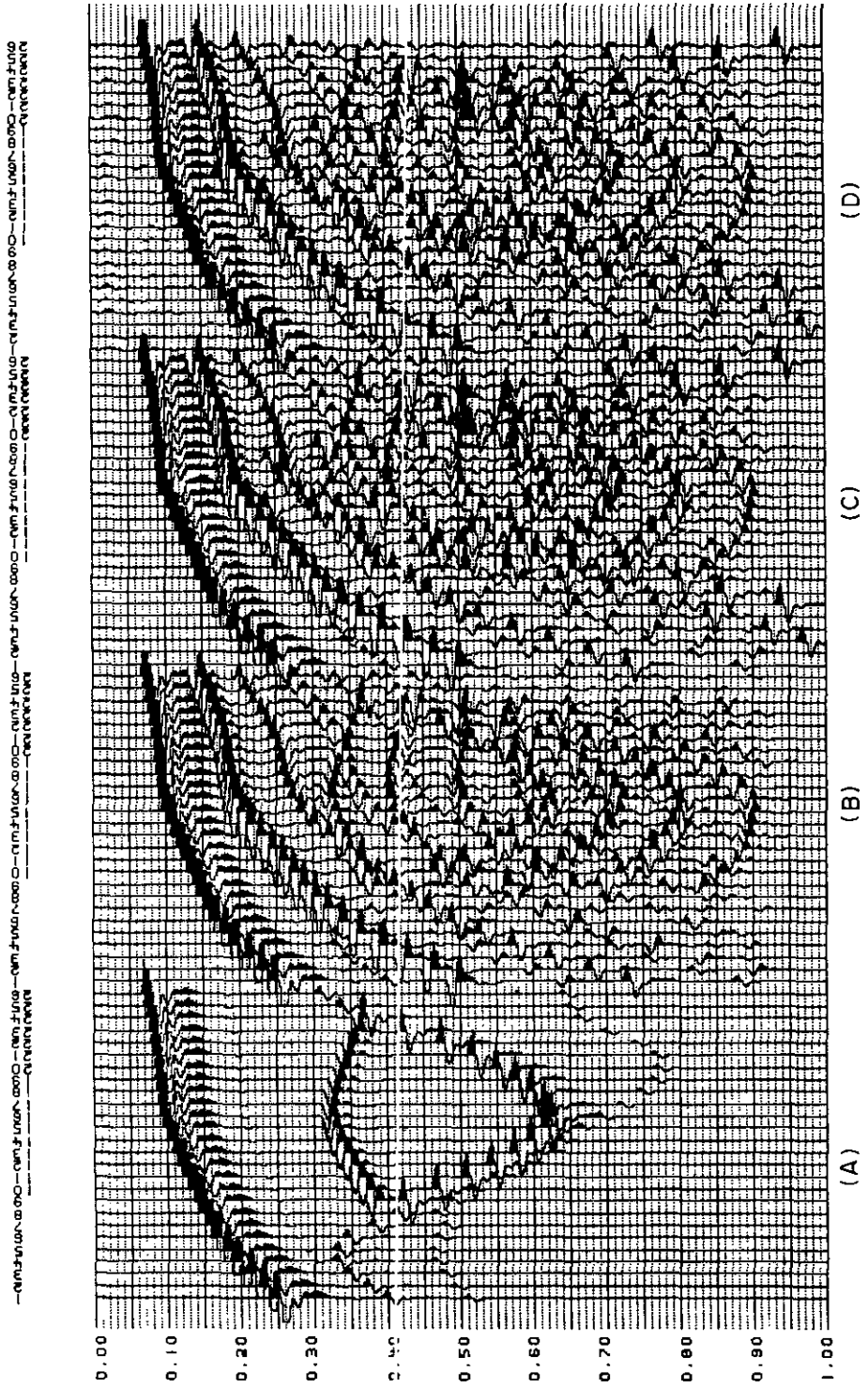


Fig. 2. Minimum phase wavelet models; a Butterworth minimum phase wavelet is convolved to Figure 1 spike models.

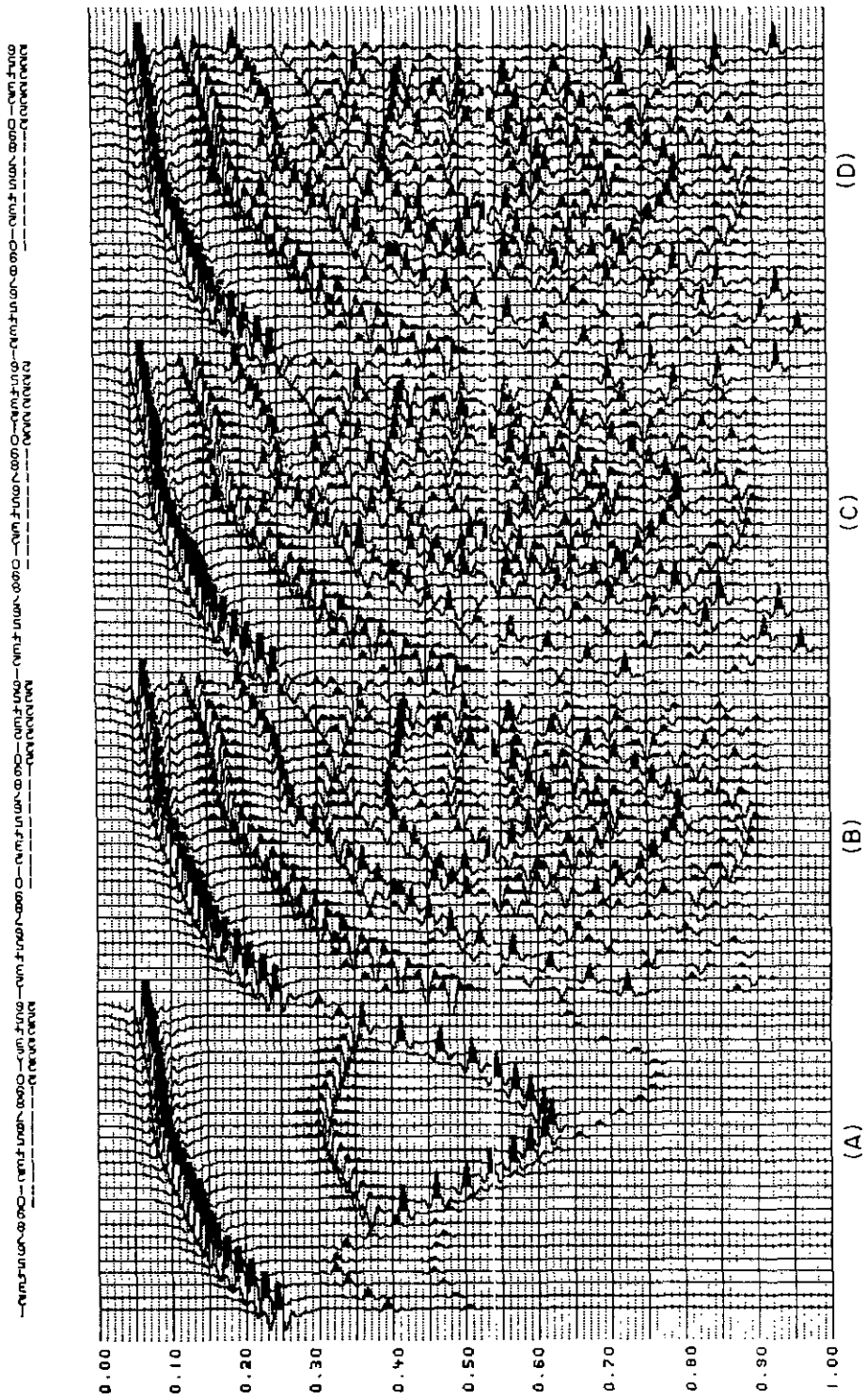


Fig 3 Zero phase wavelet models, a Butterworth zero phase wavelet is convolved to Figure 1 spike models

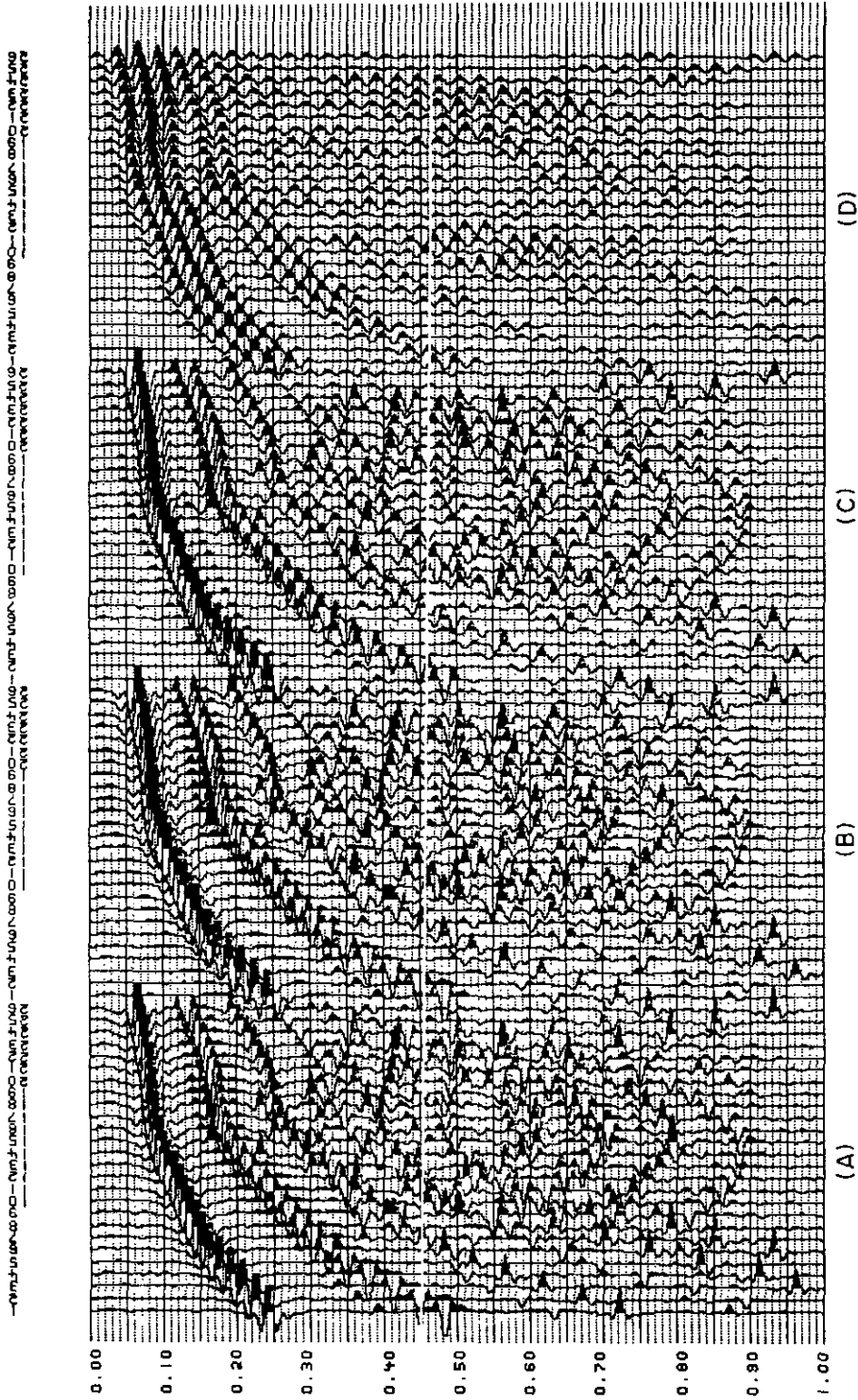


Fig. 4. Bandpass filter process; (A) input data which is Figure 3 (D); (B) bandpass 10 hz/18db-60 hz/36 db; (C) bandpass 20 hz/18 db-50 hz/37 db; (D) bandpass 30 hz/18 db-40 hz/36db

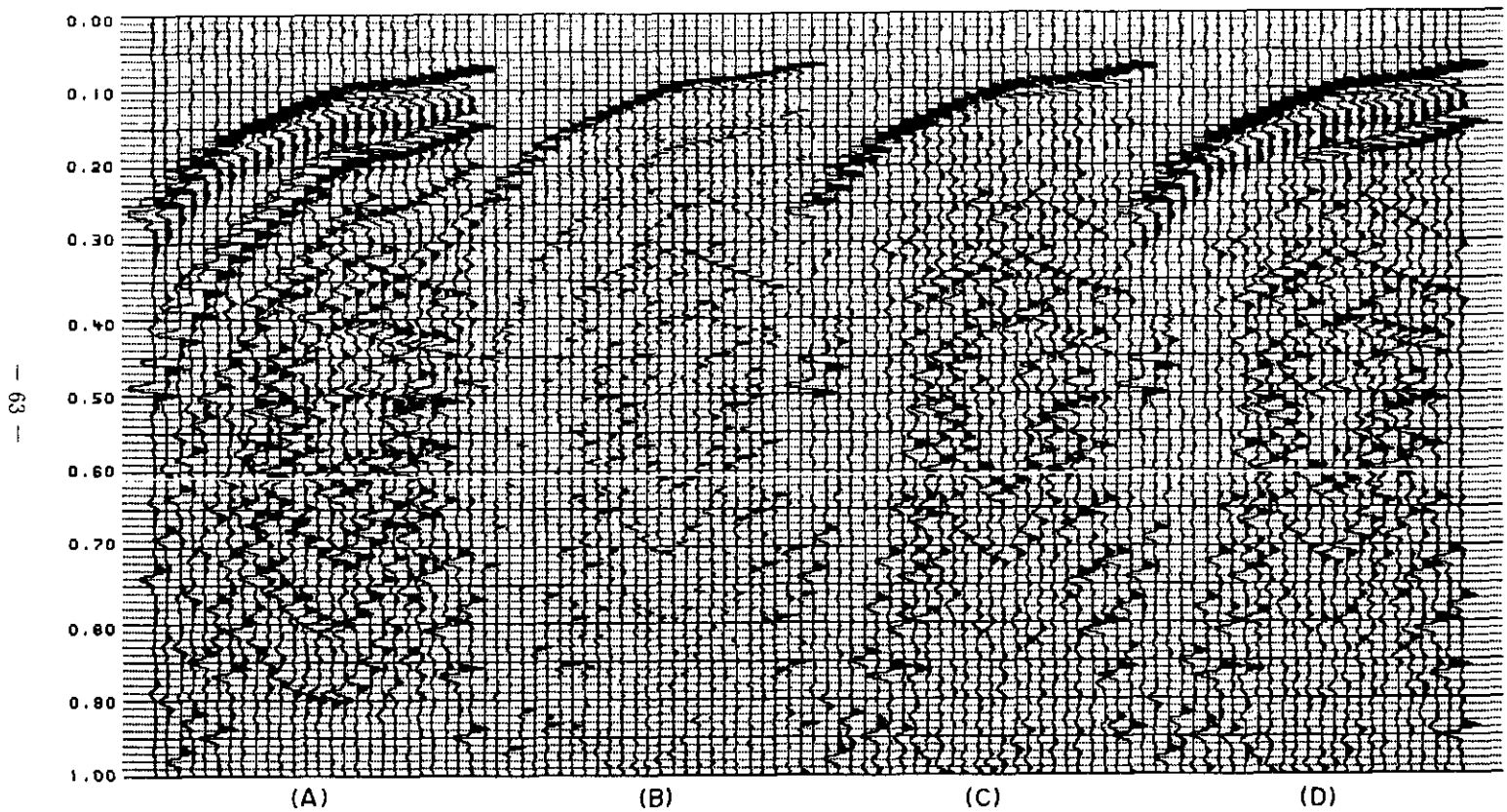


Fig 5. Predictive deconvolution process on the minimum phase wavelet models; (A) input data which is Figure 2 (D), (B) lag 2 ms and operator length 200 ms (spiking deconvolution, note its clean result); (C) lag 24 ms and operator length 200 ms, (D) lag 100 ms and operator length 200 ms. Traces are individually scaled due to weakening of true amplitude by spiking deconvolution

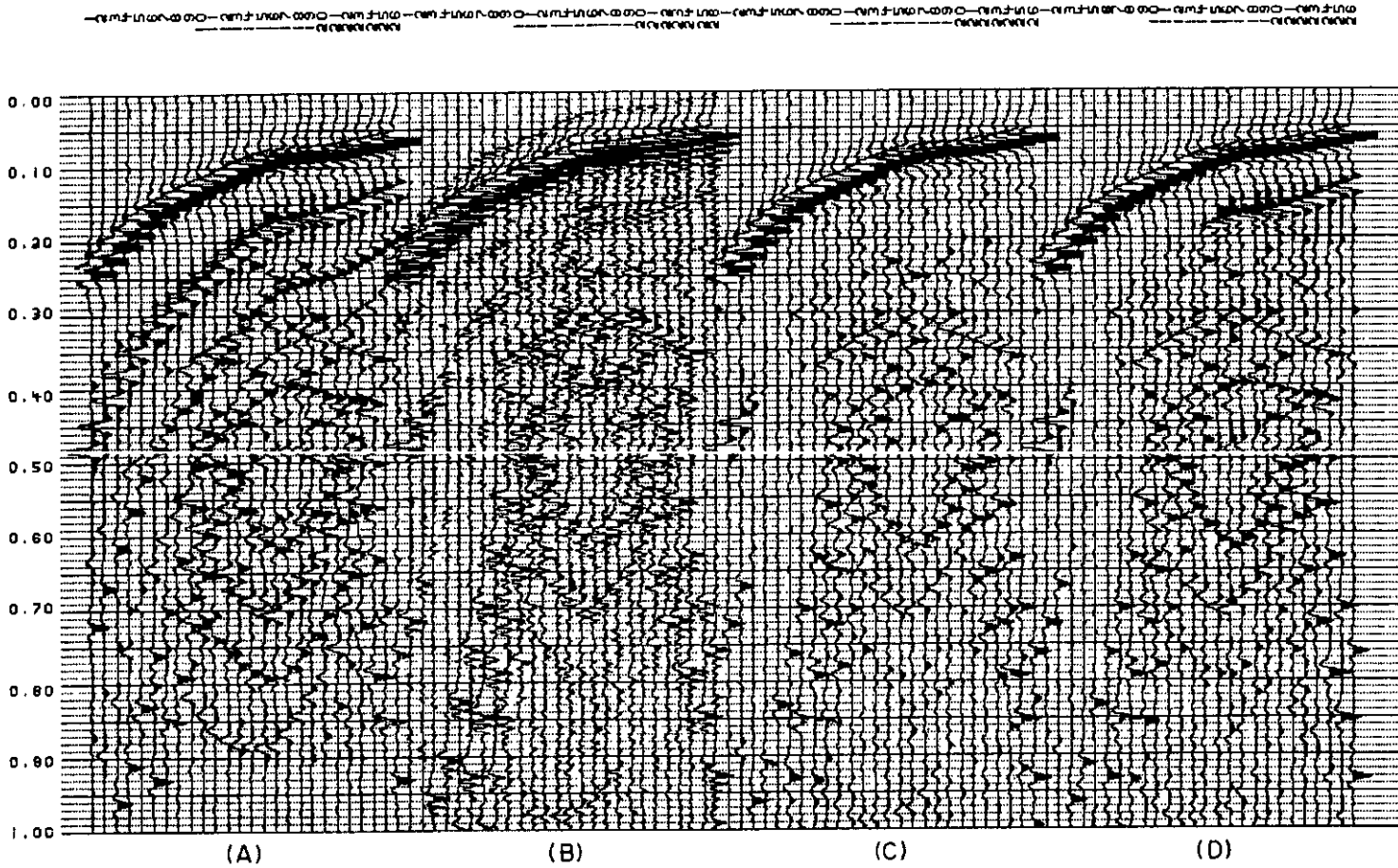


Fig. 6 Predictive deconvolution process on the zero phase wavelet models. (A) input data which is Figure 3 (D) . (B) lag 2 ms and operator length 200 ms (spiking deconvolution, note its noisy results). (C) lag 24 ms and operator length 200 ms. (D) lag 100 ms and operator length 200 ms. Traces are individually scaled due to weakening of true amplitude by spiking deconvolution.

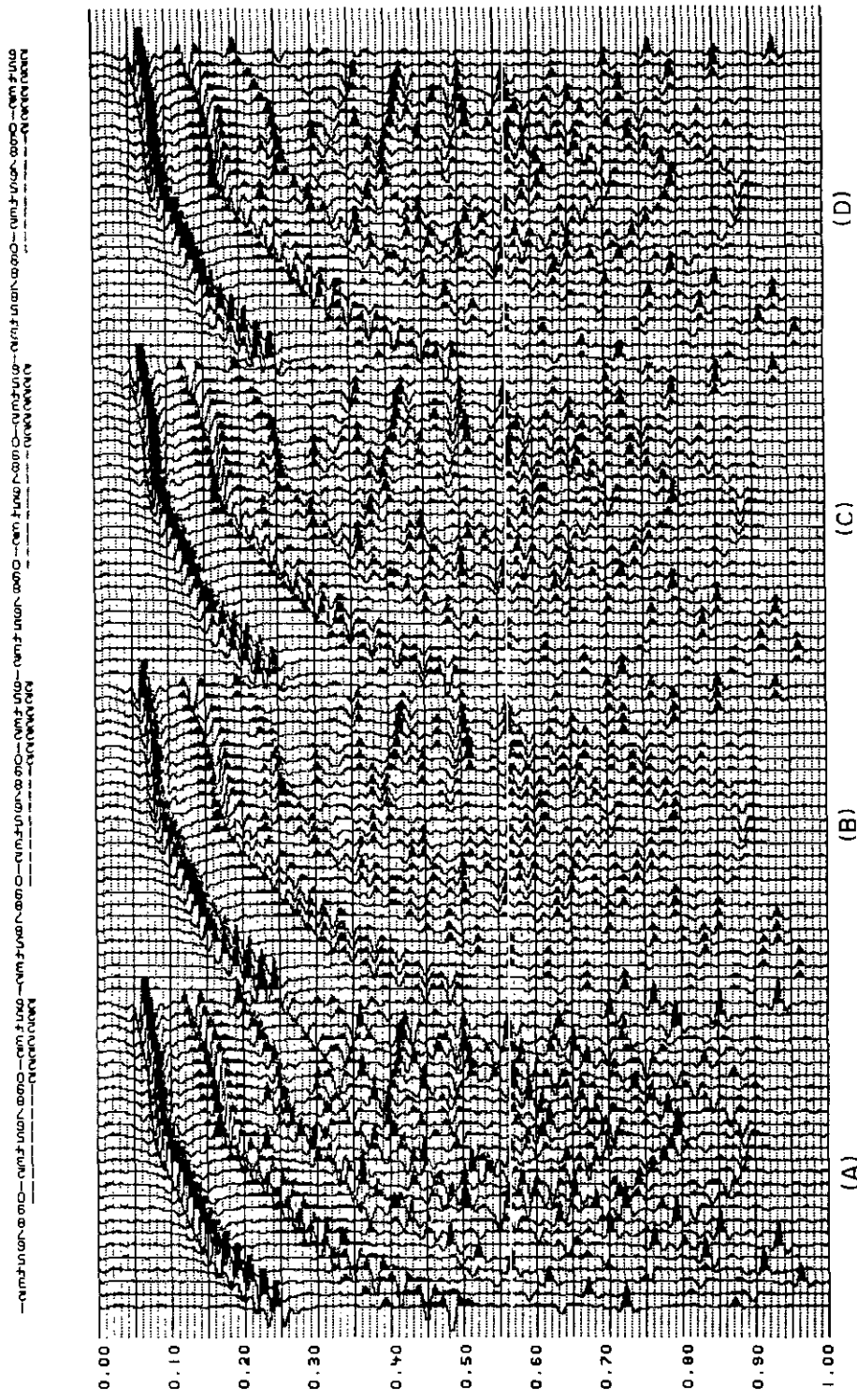


Fig 7 Array former process which has mixed adjacent 3 traces. (A), input data which is Figure 3 (D). (B) mixing weight 1:1:1. (C) mixing weight 1:2:1. (D) mixing weight 1:3:1

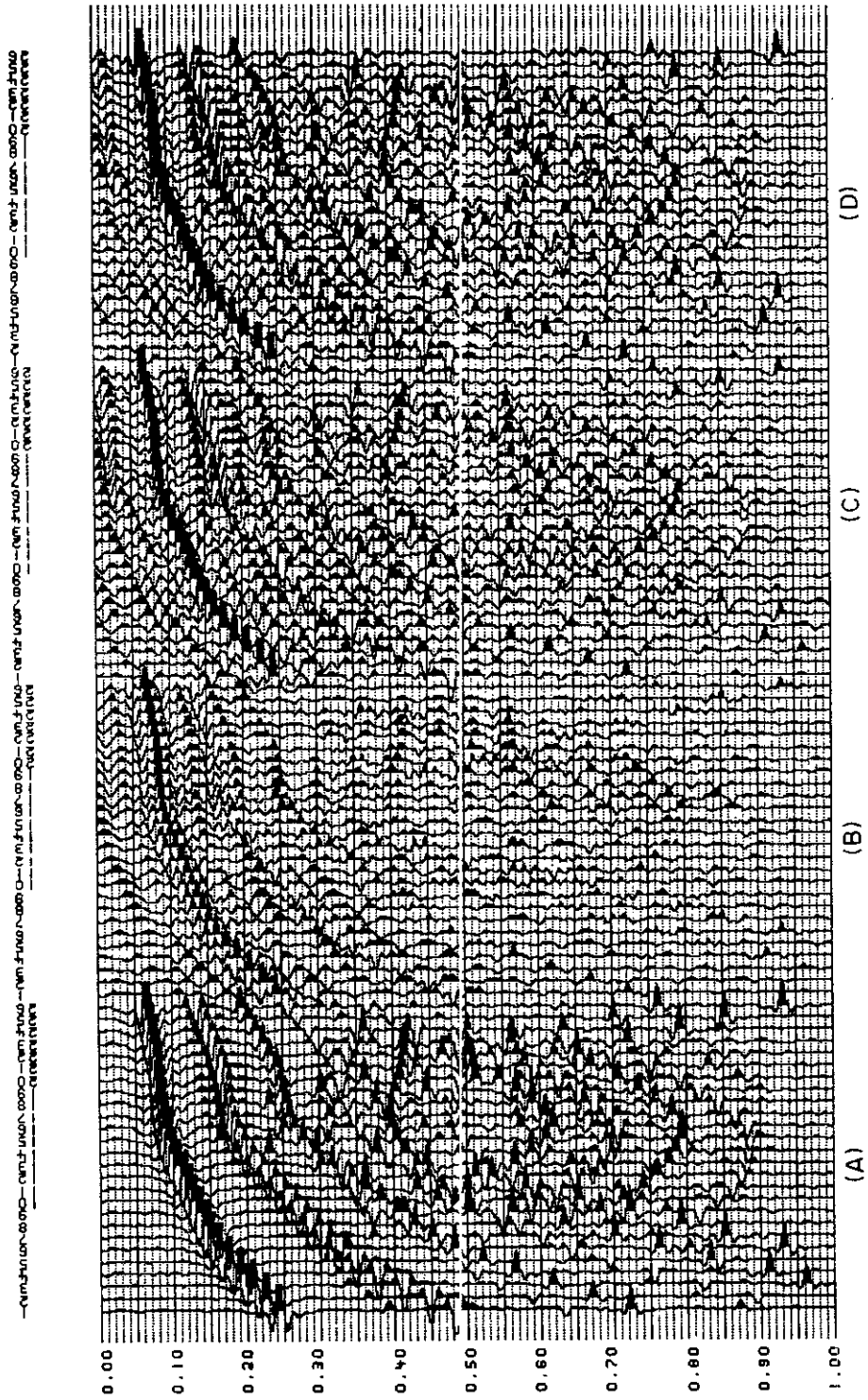


Fig 8 F-K filter process. (A) input data which is Figure 3 (B): reject fans + 57 to + 77 ms/trace. (C) reject fans + 62 to + 72 ms/trace. (D) reject fans + 76 ms/trace. (D) reject fans + 76 ms/trace of dip adjustment are applied to reduce edge-effect and aliasing problems associated with f-k filtering.

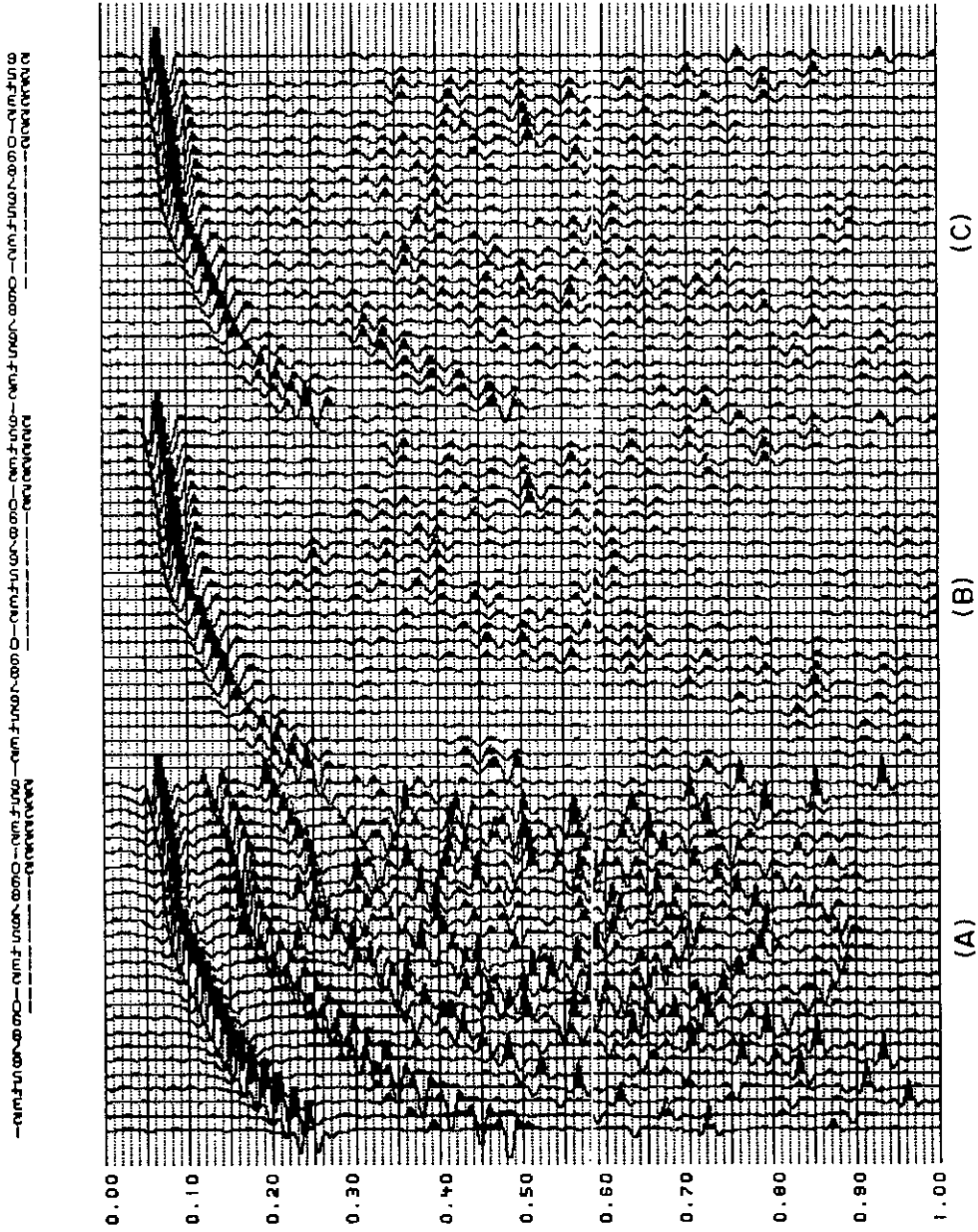


Fig. 9. Combined process with array former (weight 1.2.1), predictive deconvolution (lag 24 ms, length 200 ms) and bandpass filter (20Hz/18db-50Hz/36db); (A) input which is Figure 3 (D); (B) predictive deconvolution array former-bandpass filter; (C) array former-predictive deconvolution-bandpass filter.

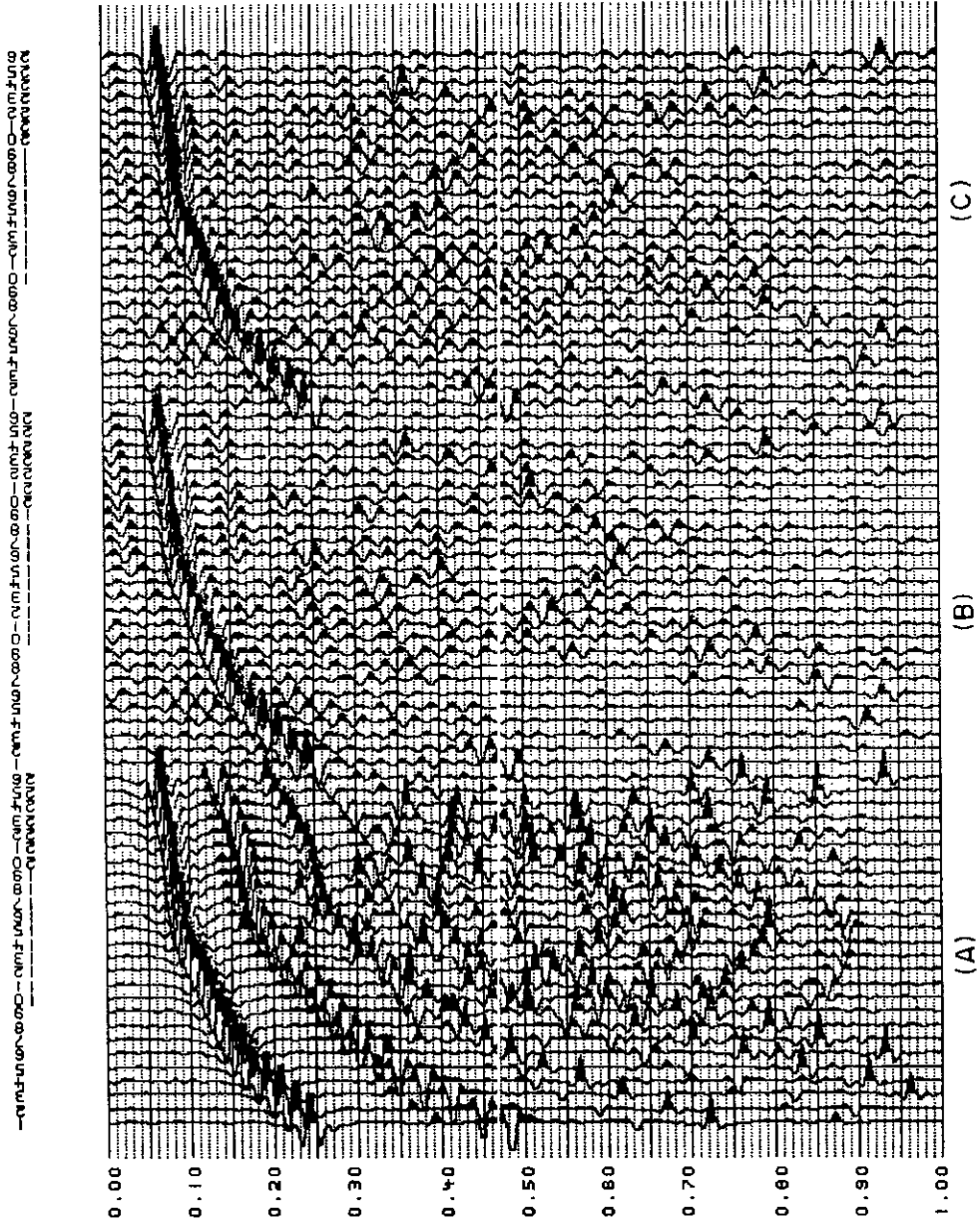


Fig 10. Combined process with F-K filtering (refl. taps = 64 to + 70 ms trace), predictive deconvolution (lag 24 ms, length 200 ms) and bandpass filter (20Hz 18Hz: 50Hz 35Hz): (A) input which is Figure 3 (D); (B) predictive deconvolution F-K filtering-bandpass filter; (C) F-K filtering, predictive deconvolution-bandpass filter

Empirical Orthogonal Function Analysis of Seawater Temperature in the Southeastern Hwanghae

Heung-Jae Lie*, In Kwon Bang* and Yong Q. Kang**

*Korea Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 29, Panwol Ind., Korea

**Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, Pusan, Korea

東南黃海에서 海水溫度의 EOF 分析

李興宰* · 方仁權* · 姜容均**

* 海洋研究所 ** 釜山水産大學 海洋學科

Abstract

Spatio-temporal variabilities of seawater temperature at 0 and 30 m in the southeastern Hwanghae were studied by variance and empirical orthogonal function (EOF) analysis of long records of temperature between 1967 and 1982. The spatial distribution of monthly mean sea surface temperature has a pattern similar to the long-term annual mean which decreases from south to north. On the contrary, the total variance computed from the annual mean of sea surface temperature (SST) increases from south to north. The variance of SST is found to be two times greater than that at 30 m in the study area except coastal area south of Kyunggi Bay. The important variance of temperature seems to be closely associated with the seasonal change of temperature because the first and second modes of EOF having a seasonal cycle explain 97.6% and 85.2% of variances at 0 and 30 m, respectively. There is a large difference in temperature between the northern and southern parts of the study area during winter, while the difference becomes very small during summer. This might reflect that in summer the heat gain of sea surface from the incoming radiation is much more important than the heat loss or the oceanic heat advection. In summer coastal waters south of the Kyunggi Bay and around Mokpo are observed to be colder than offshore waters due to tidal mixing.

요약 : 황해 동남해역에서 해면과 30m층 수온의 시·공간 변동성을 1967-1982 장기 수온 자료의 variance와 empirical orthogonal function(EOF) 분석으로 연구하였다. 월평균 해면수온의 공간분포는, 남에서 북으로 감소하는 장기 년평균과 유사한 형태를 갖고 있다. 반면에 년평균 해면수온으로 부터 계산한 분산은 남에서 북으로 증가한다. 해면수온의 variance가 경기만 남부해역을 제외한 연구해역에서 30m층보다 2배이상 크다. EOF의 첫째와 둘째 모드가 계절변화를 갖고 있으며 해면과 30m층 variance의 97.6%와 85.2%를 각각 설명하기 때문에 수온의 큰 variance는 계절변화와 밀접한 관계가 있다. 겨울철 조사 해역 북부와 남부사이 수온의 차이가 크나 여름철에는 작아진다. 이것은 여름철 북부에 의한 해면의 열흡수가 열손실이나 해양열이류보다 훨씬 크다는 것을 반영해준다. 여름철에 경기만 남부와 목포주변 연안수가 조석혼합에 의해 외해수보다 수온이 낮게 나타난다.

INTRODUCTION

The Hwanghae (Yellow Sea) is a very shallow and wide basin with its mean depth of about 40 m. The typical pattern of climate controlling sea conditions is the Asian mon-

soon which is known to be driven by seasonal variation of polar continental air masses and tropical maritime air masses. The Hwanghae Warm Current as a major heat source in the southern part of the Hwanghae is thought to have a large seasonal change mostly due to the

monsoon and oceanographic conditions inside the sea. Sea water temperature can be thus expected to have large seasonal and spatial variations.

Sea surface temperature (SST) at coastal stations of the eastern Hwanghae has been known to have a dominant annual periodicity with its amplitude of $5.9\text{--}12.5^\circ\text{C}$ (Gong, 1968; Kim, 1983). The large seasonal variability of temperature was also observed in the southeastern Hwanghae from hydrographic data observed in 1968 (Kang, 1971). Kang and Jin (1984) have reported that applying a harmonic analysis to monthly mean SST data the annual amplitude has a range of 7° west of Cheju-do to 10.5° in the 307 hydrographic section (Fig. 1). According to temperature-salinity diagram based on the long-term data (1961-1980), sea water temperature in the southeastern Hwanghae has a wide temperature range in summer, being $5.0\text{--}30.0^\circ\text{C}$ in August, and a narrower one in winter, being $1.0\text{--}18.0^\circ\text{C}$ in February (Lie, 1985). Such a large seasonal variation of sea water temperature should be closely associated with the seasonal change of the incoming radiation and the heat advected by the Asian monsoon and the ocean currents in the area (Kang, 1985; Lie, 1984).

So far studies on the sea water temperature in the Hwanghae have been focused on the seasonal variation of SST using harmonic methods, not on the spatial variability of temperature. For more comprehensive understanding on sea water temperature this paper is intended to investigate temporal and spatial variabilities based on the long-term hydrographic data observed during 1967-1982.

The discussion on the variabilities will be done using temperature data both on the surface and at 30 m because waters below 30 m in the deeper area of the Hwanghae are mainly the Hwanghae Cold Water which has little change of hydrographic properties from one season to another. Data analysis in the paper was done by a simple statistical method to

catch general patterns of surface temperature with its monthly variation and also by an empirical orthogonal function method to describe the variability in time and space of temperature.

DATA AND METHOD

To analyze temporal and spatial variabilities of sea water temperature in the southeastern Hwanghae, we used long-term hydrographic data collected regularly by the Fisheries Research and Development Agency of Korea (FRDA). The data considered here were those obtained for a period of sixteen years between 1967 and 1982 at 61 stations on sea surface and 57 stations at 30 m located in the sections 307 to 313 (Fig. 1). Most hydrographic surveys were carried out bimonthly in the first part of February, April, June, August, October and December. When there were more than or equal to two data at a

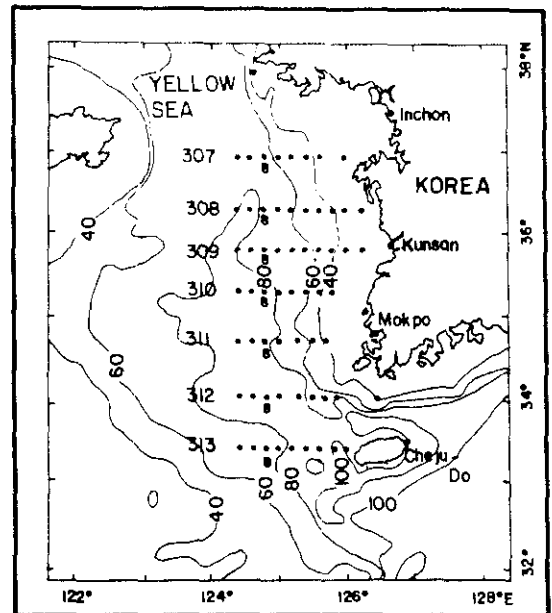


Fig. 1. Hydrographic stations in the study area. Bottom depths are in meters and numbers 307 to 313 indicate the hydrographic sections. The number 8 on each section is Station 8.

given station between the sixteenth of the preceding month and the fifteenth of the following month; we averaged all data to get the representative data in the corresponding month of the year. The total number of data were finally 5,552 on the sea surface and 5,256 at 30 m, so that the missing rates were 5.2% on the sea surface and 3.9% at 30 m, respectively.

The first step of data processing is the preparation of long-term mean temperature and monthly mean sea surface temperature for the entire period of 16 years. For the long-term mean temperatures at both depths we calculated the mean value at each station by averaging all data at the station observed during the whole period. The monthly mean sea surface temperatures were obtained by averaging all observations in the sample months over a 16 year period of 1967-1982 (February, April, June, August, October and December).

The second step of data processing is an application of empirical orthogonal function (EOF) analysis to temperature data observed between 1967 and 1982. Bimonthly temperature data for each station were demeaned by subtracting the long-term annual mean from the data and the variances of the resampled data sets were then calculated. From the resampled data we constructed a 61×61 covariance matrix for the sea surface temperature and also a 57×57 covariance matrix for the temperature at 30 m. According to the procedure of EOF analysis, eigenfunctions and eigenvalues representing the seasonal cycle were estimated using International Mathematics and Statistics Library (IMSL). Time coefficients were then obtained for a few lowest modes of empirical orthogonal functions.

SEASONAL VARIATION OF SEA SURFACE TEMPERATURE

The horizontal distribution of the long term annual mean sea surface temperature is

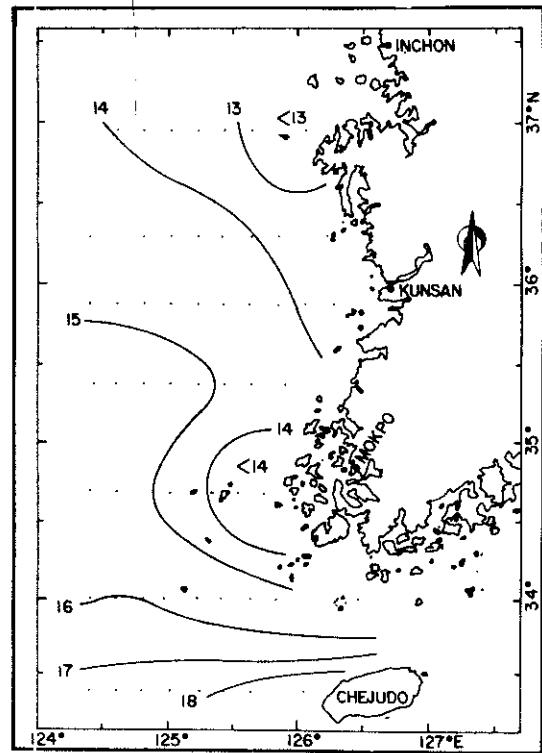
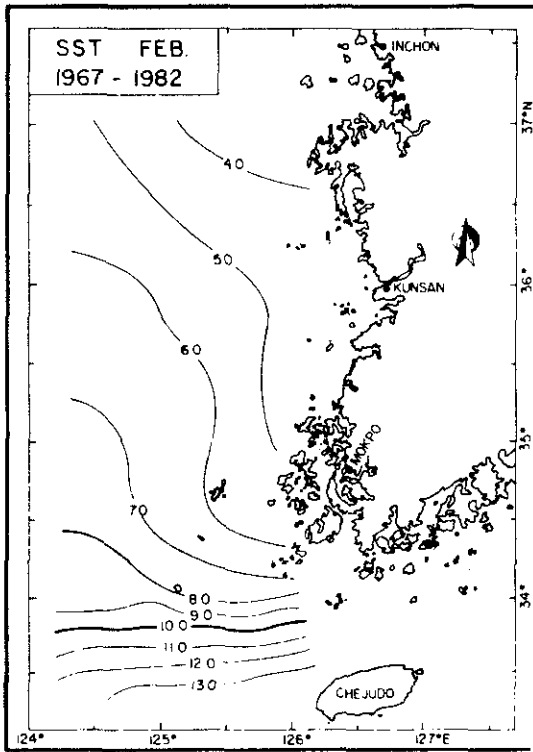
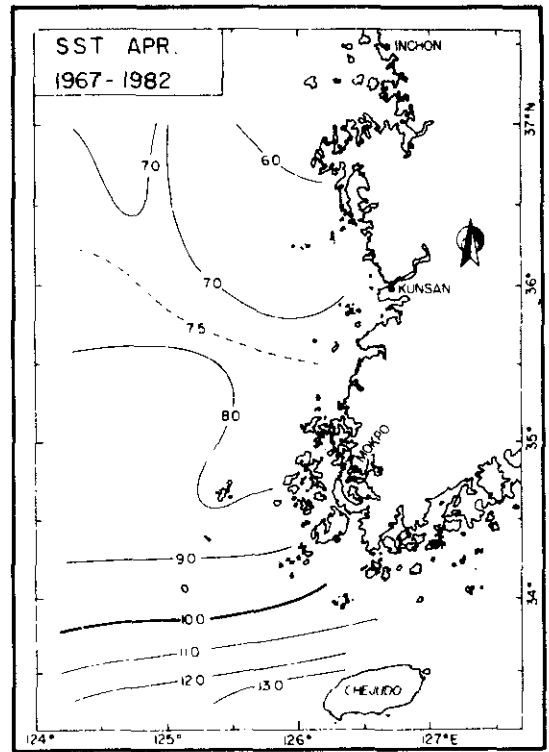


Fig. 2. Long-term annual mean of surface temperature for a period of 16 years from 1967 to 1982.

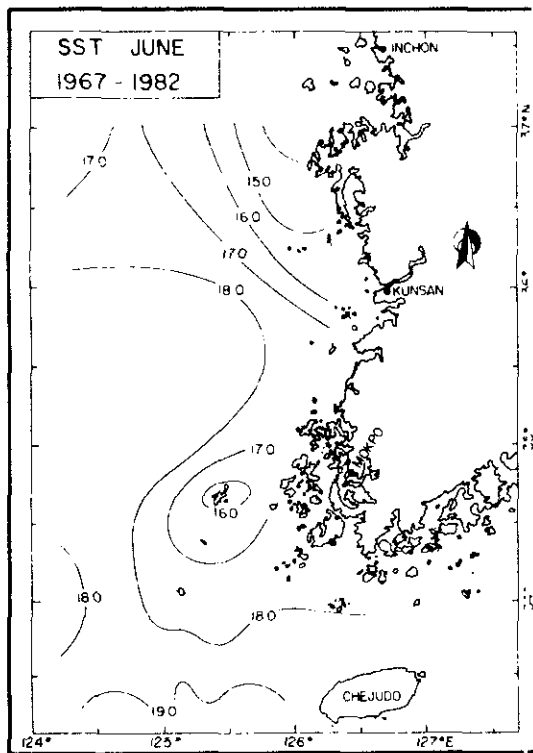
illustrated in Figure 2 for the whole period of 16 years. This figure can be considered as a basic pattern of sea surface temperature (SST) in the study area. Generally SST decreases from the south to the north and SST in the coastal area is lower than that in the offshore area when comparing temperatures at the same latitude. Isotherms having temperature 16 to 18°C are found to be located in the area between the southwest coast of the Korean Peninsula and Cheju-do, which represents a strong south-north gradient of temperature. Those isotherms are known to extend from the west to the east along the coast and to form a coastal front in the sea south of the Korean Peninsula separating coastal water from offshore water which can be observed by infrared satellite images (Hue, 1982; KORDI, 1985; Zheng and Klemas, 1982) and also hydrographic data (Gong, 1971). The annual



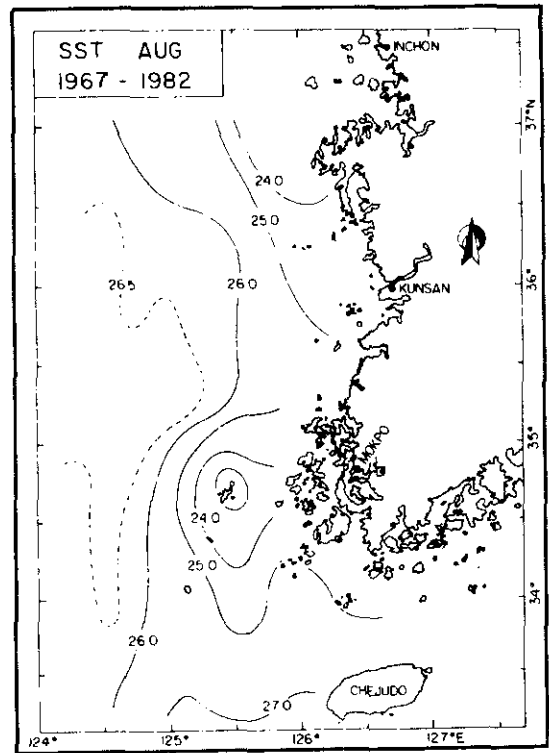
(a)



(b)



(c)



(d)

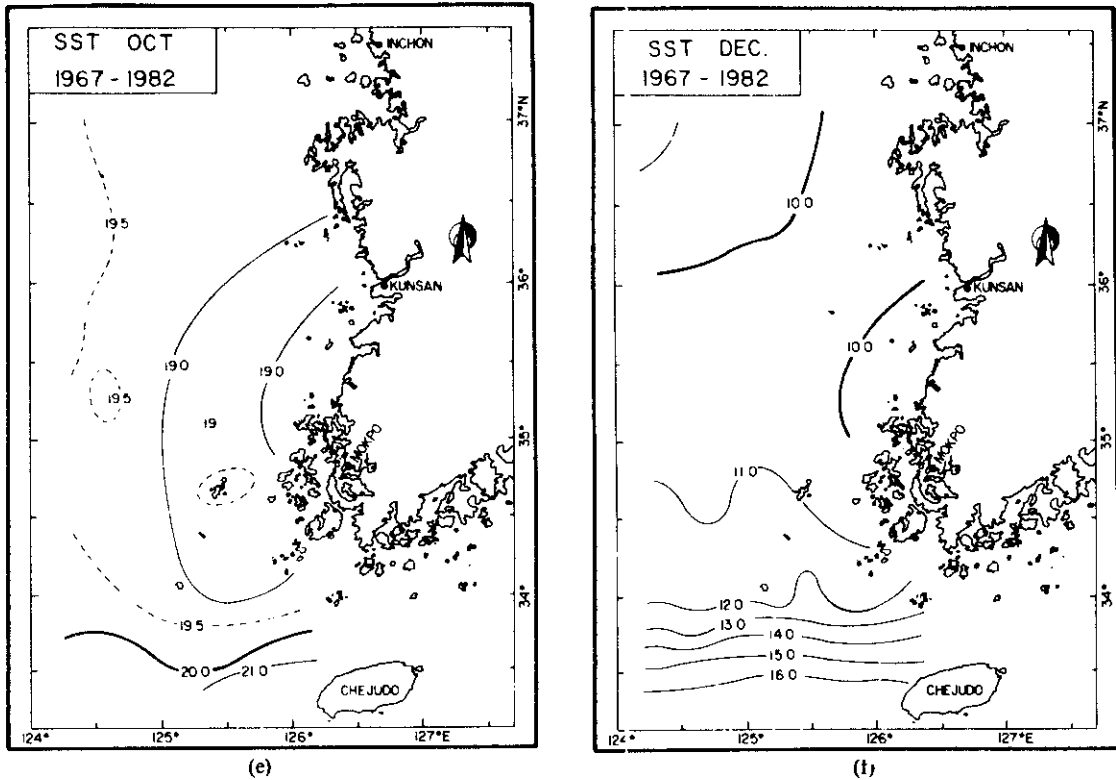


Fig. 3. Long-term monthly means of surface temperature for a period of 16 years from 1967 to 1982. (a) February, (b) April, (c) June, (d) August, (e) October, and (f) December.

mean SST seems to have the general pattern similar to the monthly mean SST in winter presented in Figure 3.

Monthly mean SST for February, April, June, August, October and December are shown in Figure 3. As indicated in the spatial distribution of the annual mean SST, the monthly mean SST is concordant with the general pattern of the annual mean. All the year round, isotherms west of Chejudo are running from west to east. Temperature difference in mid-winter between the area west of Chejudo and the coastal area located at 37° N reaches about 10° C, but in summer it decreases to about 3° C. Figure 3 also shows that seasonal change of SST is about 12° C west of Chejudo and 20° C in the region between 36° N and 37° N. A strong thermal front running west to east is formed west of Chejudo during winter, which was found to

be a thermohaline front extending from surface to bottom (Lie, 1985). Cold coastal water in summer occurs in the regions south of the Kyunggi Bay and west of the southwestern Korean Peninsula. The appearance of such cold water is due to tidal mixing recently reported by Lie et al (1986).

Figure 4 shows the spatial patterns of seasonal variance on the sea surface and at 30 m in the southeastern Hwanghae, which were computed from deviations of the temperature data from the long-term annual mean based on the 16 year data. Variance in the northern part of the study area is much more important than that in the southern part, being two times larger on the surface and four times larger at 30 m. The low variance west of Chejudo is due to the small seasonal fluctuation since in winter waters in the region receives heat from the Hwanghae Warm Current, waters in the

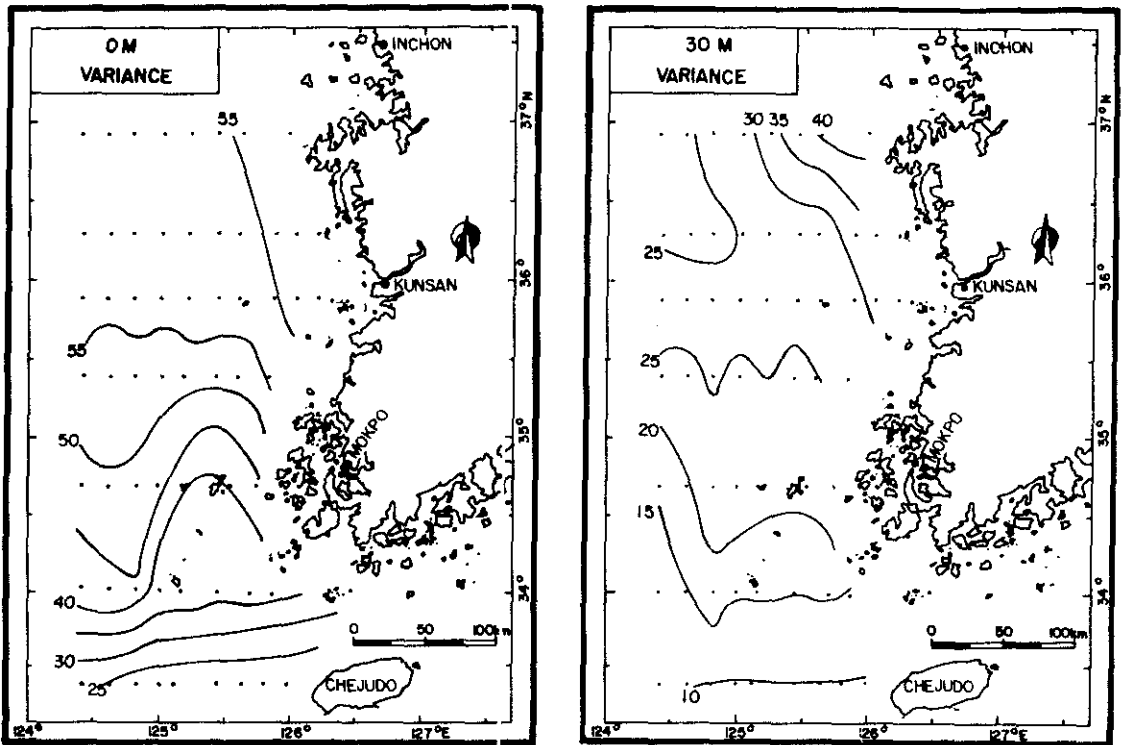


Fig. 4. Variances of water temperature computed from the long-term annual mean over 1967-1982. (a) sea surface and (b) 30 m.

northern part being far from the effect of the warm current. Relatively low variance on the surface in the coastal area and around Hwang-sando, comparing with that in the offshore area, can be explained by low temperature in summer by tidal mixing. Offshore waters at 30 m have lower variance in comparison with surface waters. This results from the fact that the Hwanghae Cold Water, defined by a temperature less than 10° C and a salinity of 32.0-33.0‰, occupies the lower layer below the thermocline (or halocline) located around 20 m (Lie, 1984; Nakao, 1977). The strong stratification in summer seems to be broken in the coastal area by tidal mixing, so that coastal water is vertically homogeneous, compared with the offshore water.

EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION ANALYSIS

Empirical orthogonal function method

(EOF) has been broadly employed for the long term oceanographic records over a vast area since only a small number of variables obtained by the analysis can account adequately for the spatial and temporal variabilities of oceanographic and meteorological factors like temperature, sea level, atmospheric pressure, and current (e.g. Davis, 1976; Inoue, 1985; Kundu and Allen, 1976; Weare et al., 1976). In this paper we consider seasonal temperature variations, not non-seasonal ones computed from deviations of temperature from

Table 1. Percents and cumulative percents of total variance explained by the lowest five modes of empirical orthogonal functions.

	MODE	1st	2nd	3rd	4th	5th
SST	Percent	96.6	1.0	0.6	0.4	0.3
	Cumulative Percent	96.6	97.6	98.2	98.6	98.9
30 T	Percent	81.8	3.4	2.8	1.4	1.2
	Cumulative Percent	81.8	85.2	88.0	89.4	90.6

the long-term monthly means. Table 1 gives fractions and cumulative percentages of the total variance explained by the lowest five modes of empirical orthogonal functions. The table shows that the five orthogonal functions can describe 98.9% of the total variance on the surface and 90.6% at 30 m. The most important function is the first mode which explains 96.6% and 81.8% of the corresponding variances, respectively.

Figures 5 and 6 presents the spatial distributions of the first two orthogonal eigenfunc-

tions explaining 97.6% of the total variance and their time coefficients on the surface. The same sign of functions over an area considered means that temperature changes in the area are in phase but the opposite sign means that temperature changes are anticorrelated. The spatial pattern of the first EOF explaining 96.6% of the total variance coincides well with that of the variance. The time coefficient indicates the seasonal variation of SST which is maximum in August and minimum in February as can be shown in the monthly

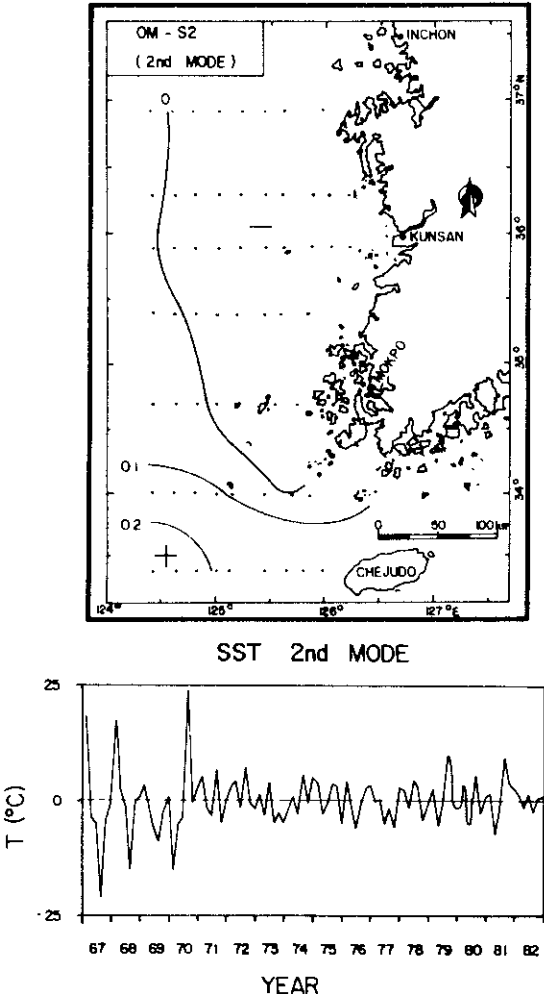
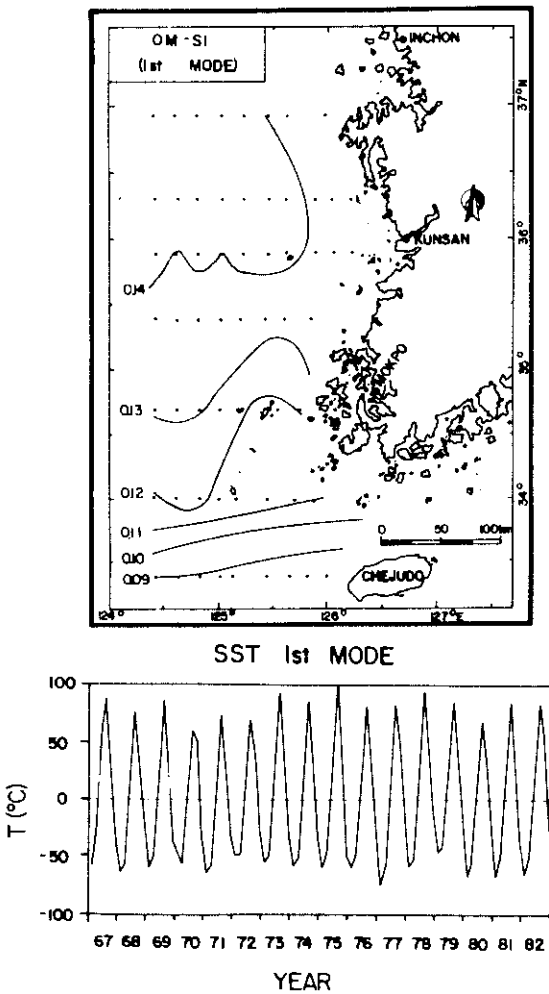


Fig. 5. The first mode empirical orthogonal function, explaining 96.6% of the variance, of SST and its corresponding time coefficient.

Fig. 6. The second mode empirical orthogonal function, explaining 1.0% of the variance, of SST and its corresponding time coefficient.

mean distributions (Fig. 3). The contribution of a given mode to the temperature deviation from the long-term annual mean for given station and time is the product of the value of the function at the station and the time coefficient at the time. Thus temperature deviations at northern stations are about 1.5 times larger than those west of Chejudo located in the vicinity of the northern boundary of the Hwanghae Warm Current. The second mode of EOF explains 1.0% of the total variance. It is of interest to note that the second mode has negative sign in the northern part and positive in the southern part, while the first mode is of same sign over the whole study area. The boundary of the two regions of opposite signs is parallel to the bottom contour of about 80 m. Such a dominant periodicity as the first mode is not shown. The exceptionally large amplitude of time coefficient occurred in 1967-1970. Although the contribution of the second mode to the variance is small, the pattern seems to separate shallow water region partly influenced by cold coastal water from deeper water region having relatively warm water. We did not present here eigenfunctions and time coefficients of the other higher modes because of their small contribution to the total variance less than 1%.

Spatial distributions and time coefficients of the empirical orthogonal functions at 30 m are shown in Figures 7 to 9. The spatial pattern of the first mode eigenfunction resembles generally that of the total variance at 0 m. In the region between Kunsan and Inchon, surface coastal water has a little less seasonal variation than offshore water but coastal water at 30 m has a larger variation than offshore water. This is why the offshore water below the thermocline is less sensitive to the air-sea interaction and far from the effect of tidal mixing, compared with the vertically homogeneous coastal water. The same situation could also happen in the shallow coastal area of the southern part including few hydro-

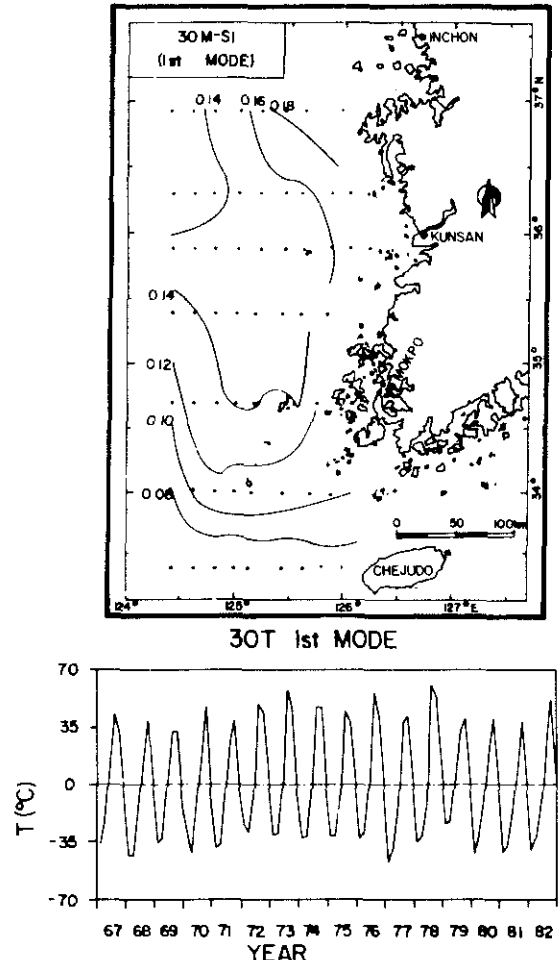
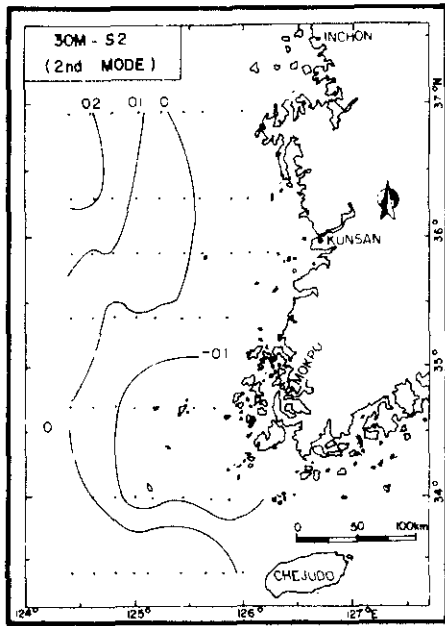


Fig. 7. The first mode empirical orthogonal function, explaining 81.8% of the variance, of temperature at 30 m and its corresponding time coefficient.

graphic stations when we refer to cold water band along the coast detected by infrared imagery in summer (Lie et al., 1986). The second mode of EOF, explaining 3.4% of the total variance, shows anti-correlation between coastal water and offshore water. Considering that the time coefficient shows a dominant seasonal cycle, the temperature deviation due to the second mode is positive (negative) in the coastal area and negative (positive) in the offshore area in summer (winter). The third mode of EOF, accounting for 2.8% of the total variance, indicates an anti-phase between the northern and southern parts. The



30T 2nd MODE

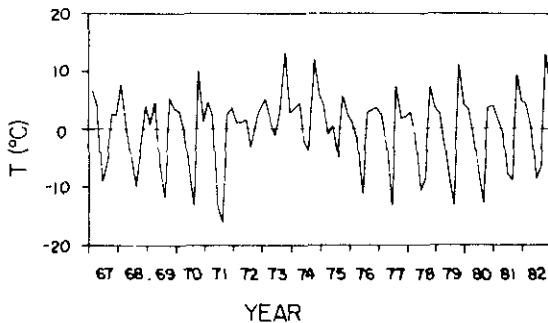
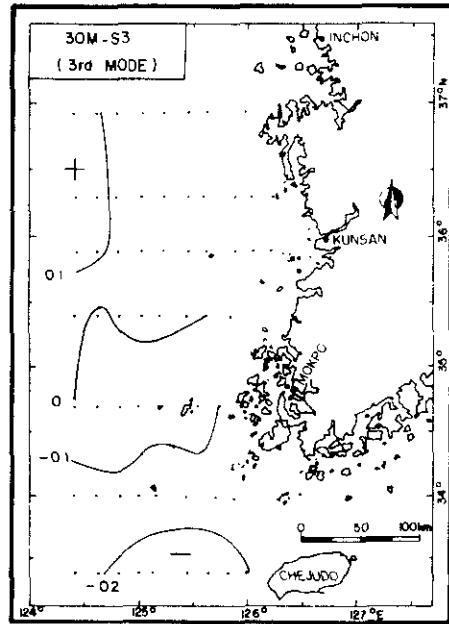


Fig. 8. The second mode empirical orthogonal function, explaining 3.4% of the variance, of temperature at 30 m and its corresponding time coefficient.



30T 3rd MODE

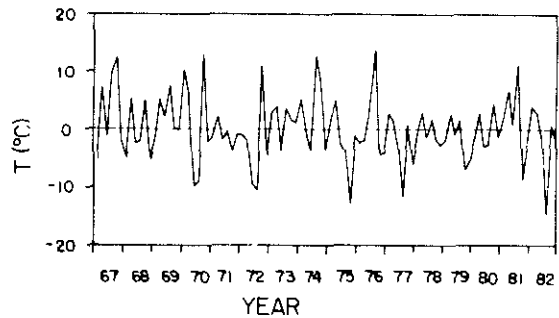


Fig. 9. The third mode empirical orthogonal function, explaining 2.8% of the variance, of temperature at 30 m and its corresponding time coefficient.

corresponding time coefficient shows the semi-annual cycle fluctuations.

DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

Water temperature in the southeastern Hwanghae has a very large variance, specially in the surface layer. The total variance computed from the long-term annual mean increase from south to north in the study area. The variance of SST is found to be two times larger than that of temperature at 30 m over the whole study area with an exception of coastal area south of the Kyunggi Bay.

General patterns of the monthly mean SST is concordant with the long-term annual mean. According to the EOF analysis, the important variance is closely associated with the seasonal variation. The first and second modes of EOF explain most of the total variances; 97.6% and 85.2% of the variances on the surface and at 30 m, respectively.

The horizontal distributions of long-term monthly mean SST show that in winter there is a large difference in temperature between the northern and southern parts of the area, while the difference becomes very small in summer. The Asian monsoon is the typical

pattern of climate in the Hwanghae such that in winter the strong northerly wind carries cold and dry continental air masses to the sea, while in summer warm and humid maritime air masses are brought into the Asian Continent. In winter when the incoming radiation is small, waters in the southern part gains heat advected by the Hwanghae Warm Current, but waters in the northern part, far from the influence of the warm current (Lie, 1985), losses just heat by the cold northerly wind. Thus such a large difference in temperature is formed in the study area. Meanwhile in summer when the heat gain from the incoming radiation is more important than the heat loss (Kang and Jin, 1983), water temperature has a small difference in the study area except the coastal area.

The east-west gradient of SST is negligible west of Chejudo all the year round because isotherms are running from west to east. However, the monthly mean SST in summer indicates a good contrast of temperature between offshore and coastal areas both south of the Kyunggi Bay and west of Mokpo where the coastal water is much colder than the offshore water (Fig. 3d) and the tidal current is strongest around the Korean Peninsula (Choi, 1980). Lie et al. (1986) have reported that coastal waters in the southwestern corner of the Korean Peninsula are vertically homogeneous, offshore waters being well-stratified. They introduced tidal mixing proposed by Simpson and Hunter (1974) to explain such a vertical structure. The stratified water column has in general high temperature in the upper layer and lower temperature in the lower layer before mixing. After mixing, the water temperature of the water column is colder than the upper layer and warmer than the lower layer provided that no heat is supplied from the outside.

REFERENCES

- Choi, B.H. 1980. A tidal model of the Yellow Sea and Eastern China Sea. Rep. Korea Ocean Research and Development Inst. No. BSPI00019, 72 pp.
- Davis, R.E. 1976. Predictability of sea surface temperature and sea level pressure anomalies over the North Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 5, 240-268.
- Gong, Y. 1968. On the seasonal variation of coastal surface water temperature. Bull. Fisheries Research Development Agency, 3, 59-79 (in Korean).
- Inoue, M. 1985. Modal decomposition of the low-frequency currents and baroclinic instability at Drake Passage. *J. Phys. Oceanogr.*, 1157-1181.
- Kang, Y.Q. 1985. Influences of the Asian monsoon and the Kuroshio on the sea surface temperatures in the Yellow, the Japan and the East China Seas. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20, 1-9.
- Kang, C.J. 1971. On the seasonal variation of the oceanographical conditions in the eastern part of the Yellow Sea. Bull. Fisheries Research Development Agency, 8, 9-29 (in Korean).
- Kang, Y.Q. and M.S. Jin, 1984. Seasonal variation of surface temperature in the neighbouring sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 31-35.
- Kim, B.K. 1983. Periodic and correlation analysis between water temperature and air temperature in the Korean waters. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18, 55-63 (in Korean).
- Kundu, P.K. and J.S. Allen, 1976. Some three-dimensional characteristics of low-frequency current fluctuations near the Oregon coast. *J. Phys. Oceanogr.*, 6, 181-199.
- Lie, H.J. 1984. A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 187-194.
- Lie, H.J. 1985. Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Hwanghae (Yellow Sea). *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 41, 291-298.
- Lie, H.J., D.C. Jun, H.J. Kwon, and S.C. Hwang, 1986. Tidal front in the southwest area off Korea. Rep. of Korea Ocean Research and Development Institute. No. BSPE00058-93-1, 106 pp. (in Korean).
- Nakao, T. 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Technol. Tokai Univ.*, Spec. No., 199-367.
- Simpson, J.H. and J.R. Hunter, 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature*, 250, 404-406.
- Weare, B.C., A.R. Navato, and R.E. Newell, 1976. Empirical orthogonal analysis of Pacific sea surface temperatures. *J. Phys. Oceanogr.*, 6, 671-678.

Received July 7, 1986

Accepted October 30, 1986

Heavy Metals in the Surface Waters of Kwangyang Bay During 1983-84

Soo Hyung Lee, Eun Soo Kim, Suk Hyun Kim, Jae Ryoung Oh
and Kwang Woo Lee*

Korean Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 29, Panwol Ind. 171-14, Korea

光陽灣 表層 海水中的 重金屬 含量

李壽珩 · 金銀洙 · 金錫柱 · 吳在龍 · 李光雨*
海洋研究所

Abstract

The concentrations of Cu, Pb and Zn in the surface waters of Kwangyang Bay were determined bimonthly at 20 stations during 1983-84. The ranges and mean concentrations were $<0.03 - 2.68 \mu\text{g/l}$, $1.08 \mu\text{g/l}$ for Cu, $<0.03 - 7.19 \mu\text{g/l}$, $0.76 \mu\text{g/l}$ for Pb and $0.3 - 23.1 \mu\text{g/l}$, $5.6 \mu\text{g/l}$ for Zn, respectively.

The slightly higher levels of heavy metals studied were shown in Sueo and Seonjin River Estuaries.

Analysis of correlation coefficients showed that Cu, Pb and Zn were closely associated not only to one another but also to SS and COD in seawater.

요약: 1983년 1월부터 1984년 12월까지 광양만의 20개 정점 표층에서 Cu, Pb, Zn 등의 중금속 함량을 16회에 걸쳐 조사하였다.

전 조사기간을 통한 각 원소의 변동범위와 평균농도는 Cu: $<0.03 - 2.68 \mu\text{g/l}$, $1.08 \mu\text{g/l}$, Pb: $<0.03 - 7.19 \mu\text{g/l}$, $0.76 \mu\text{g/l}$, Zn: $0.3 - 23.1 \mu\text{g/l}$, $5.6 \mu\text{g/l}$ 있다. 광양만의 중금속 농도는 전반적으로 낮았으나 일반 해역보다는 수이천 리우 및 신진강 하구 등 담수의 영향을 많이 받는 지역에서 다소 높은 농도를 나타내었다.

동계학적 상관관계를 보면 Cu, Pb, Zn는 상호간 즉 물론 SS와 COD외도 유의성 있는 상관관계를 나타내었다.

INTRODUCTION

Estuaries are an important stage in the supply to the oceans of trace elements including heavy metals from continental weathering and man's activities. In addition, many industrial complexes for heavy and chemical industries have been established along the coastlines of Korea over the last two decades, thereby increasing the pollution load on the coastal environment.

Kwangyang Bay is one of such polluted

areas in Korea. And Kwangyang Steel Mill Site was reclaimed during 1983-84. The present study, which was conducted as a part of the environmental survey during the Kwangyang Steel Mill Site Construction, reports on the distribution of heavy metals, such as Cu, Pb and Zn in the surface waters of Kwangyang Bay during Jan., 1983-Dec., 1984. The results are compared with data from elsewhere in the world. Other parameters measured include suspended solids (SS) and chemical oxygen demand (COD) and are related to

* Present address: Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang Univ. (Panwol).

the concentrations of heavy metals.

SAMPLING AND ANALYTICAL METHODS

The locations of sampling stations in Kwangyang Bay are shown in Fig. 1. The surface water samples were collected 16 times monthly or bimonthly during the period from Jan., 1983-Dec., 1984. Samples collected were placed in 2 l-polyethylene bottles which were pre-acid-washed, and acidified by adding 2 ml of conc. HNO_3 . Heavy metals in the samples were concentrated by the Fe-APDC coprecipitation method and were determined by flame atomic absorption spectrophotometry (Lee *et al.*, 1980), with a varian Model 875 atomic absorption spectrophotometer with deuterium-source automatic background correction.

RESULTS AND DISCUSSION

The ranges and annual mean concentrations of Cu, Pb and Zn are shown in Table 1-3. In the present study the metals determined show very similar spatial distribution trend. Of the stations, St. 10 of Sueo River

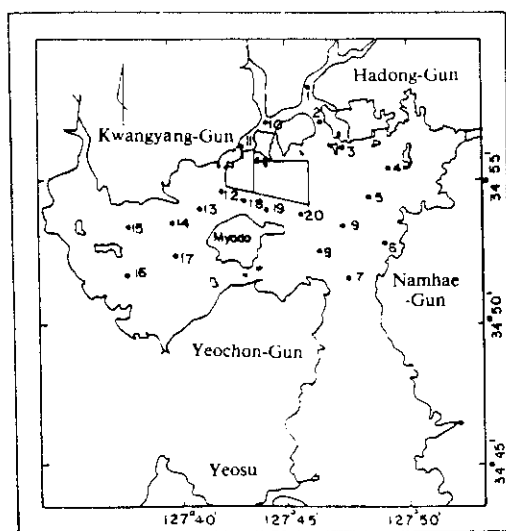


Fig. 1. Map showing the sampling stations in Kwangyang Bay.

Table 1. Ranges and mean concentrations of copper in the surface waters of Kwangyang Bay during 1983-84 ($\mu\text{g/l}$)

Year St.	1983		1984		Total Mean
	Range	Mean	Range	Mean	
1	0.89-3.13	1.61	0.56-2.01	1.11	1.44
2	0.78-2.19	1.17	0.23-1.25	0.62	0.96
3	< 0.03-1.95	1.10	1.50-1.56	0.93	1.03
4	0.31-1.67	1.23	0.63-1.56	0.98	1.13
5	0.54-2.34	1.00	0.56-1.06	0.73	0.95
6	0.04-2.00	0.87	0.23-1.56	0.68	0.81
7	< 0.03-2.50	1.05	0.39-1.56	0.83	0.97
8	0.16-2.50	1.23	0.03-2.47	1.05	1.14
9	0.36-2.50	1.03	0.50-1.06	0.78	0.95
10	0.78-5.00	2.40	0.56-1.97	1.28	1.97
11	0.42-2.94	1.40	0.60-1.56	1.14	1.30
12	0.42-1.90	1.10	0.05-1.89	0.82	1.00
13	0.19-4.10	1.19	0.23-1.56	0.87	1.07
14	0.36-4.38	1.40	0.47-2.68	1.12	1.29
15	0.31-1.56	1.00	0.05-2.27	0.98	0.99
16	0.31-1.56	0.76	0.23-1.17	0.70	0.74
17	0.13-1.56	0.82	0.30-2.08	0.86	0.84
18	0.21-1.79	0.85	0.23-1.56	0.89	0.87
19	< 0.03-2.23	0.92	0.31-2.08	1.00	0.95
20	< 0.03-3.88	1.56	0.05-0.78	0.46	1.15
Total	< 0.03-5.00	1.14	0.03-2.68	0.89	1.08

Table 2. Ranges and mean concentrations of lead in the surface waters of Kwangyang Bay during 1983-84 ($\mu\text{g/l}$)

Year St.	1983		1984		Total Mean
	Range	Mean	Range	Mean	
1	0.16-1.36	0.72	0.19-0.75	0.47	0.64
2	0.40-2.90	1.11	0.22-1.25	0.54	0.90
3	0.19-2.31	0.80	0.15-1.58	0.96	0.86
4	< 0.03-1.79	0.86	0.04-3.91	0.87	0.87
5	0.20-1.56	0.68	0.04-1.25	0.38	0.57
6	< 0.03-1.20	0.58	0.04-1.32	0.53	0.56
7	0.30-2.34	0.99	0.05-1.25	0.43	0.78
8	0.62-1.80	0.92	0.05-0.63	0.31	0.74
9	0.30-1.56	0.82	0.05-0.63	0.26	0.63
10	0.62-7.19	1.97	0.05-3.91	0.98	1.60
11	0.30-1.92	1.01	0.29-1.30	0.66	0.87
12	< 0.03-4.80	1.23	0.20-3.91	1.06	1.17
13	0.21-1.62	0.81	< 0.03-1.25	0.31	0.62
14	< 0.03-3.00	0.82	0.05-1.25	0.38	0.65
15	< 0.03-1.61	1.18	0.06-0.63	0.39	0.60
16	0.25-1.56	0.75	< 0.03-0.63	0.30	0.58
17	0.20-1.36	0.68	< 0.03-0.81	0.25	0.52
18	0.20-3.90	1.17	< 0.03-0.63	0.23	0.82
19	0.19-2.03	0.93	< 0.03-0.63	0.25	0.68
20	0.30-1.80	0.72	< 0.03-0.63	0.17	0.51
Total	< 0.03-7.19	0.94	< 0.03-3.91	0.49	0.76

Table 3. Ranges and mean concentrations of zinc in the surface waters of Kwangyang Bay during 1983-84 ($\mu\text{g/l}$).

Year St.	1983		1984		Total Mean
	Range	Mean	Range	Mean	
1	4.9-15.4	9.6	1.3-12.1	5.2	8.1
2	4.1-23.1	7.2	1.3- 5.4	3.3	5.7
3	3.9-13.5	8.0	2.2-10.9	4.6	6.7
4	1.8-10.6	6.7	2.0- 5.5	3.7	5.6
5	1.4-15.3	5.7	1.1- 4.8	2.9	4.7
6	0.6-23.1	6.0	2.0- 4.6	3.0	4.9
7	1.9-22.6	7.9	2.1- 8.8	3.8	6.3
8	1.7- 8.5	5.1	2.1- 6.2	3.7	4.5
9	1.6-12.1	6.7	1.6- 6.7	2.6	5.5
10	3.1-19.7	10.3	3.9-12.2	7.7	9.4
11	2.7-19.0	9.8	2.3- 6.2	4.7	7.8
12	1.7- 8.6	5.4	1.6- 3.7	2.9	4.4
13	2.2-14.4	6.0	0.8- 4.0	2.4	4.6
14	2.0-15.6	8.3	1.9- 6.2	3.7	6.6
15	1.5-15.0	6.1	1.7- 6.0	3.6	5.2
16	0.6-19.4	7.1	0.5- 6.0	2.8	5.5
17	0.9-15.4	6.7	1.2- 4.5	2.6	5.2
18	0.9-11.3	5.4	1.6- 6.0	3.0	4.5
19	0.9-22.8	5.2	1.0- 5.2	2.7	4.3
20	0.9- 9.3	4.2	0.3- 3.1	2.0	3.4
Total	0.6-23.1	6.9	0.3-12.2	3.5	5.6

Estuary represents highest Cu, Pb and Zn levels in Kwangyang Bay. The mean metal levels of St. 10 are shown much higher than those of other stations. This is likely due to shallow depth ($\sim 2\text{m}$), high SS contents (Table 4) and metal inputs through Sueo Stream. St. 1 of Seomjin River Estuary also shows relatively higher Cu and Zn levels than those of the rest of stations. The highest total mean COD is also recorded at this station (Table 4).

From the salinity data measured in this study but not shown here, 20 stations of Kwangyang Bay can be divided into two groups, estuarine waters (Sts. 1, 2, 3 and 10) and seawaters (Sts. 4-9 and 11-20). The salinity ranges of surface water at Sts. 1, 2, 3 and 10 were 5.60-29.80‰, 9.80-32.08‰, 14.00-32.28‰ and 18.73-32.50‰, respectively. Other stations except Sts. 1, 2, 3 and 10 showed more than 30‰ monthly mean salinities.

It is of interest to note in Figs. 2-4 that despite the metal levels are higher in estuarine

Table 4. Annual mean concentrations of SS and COD in the surface waters of Kwangyang Bay during 1983-84.

Parameter St.	Year	SS (mg/l)			COD (mg/l)		
		1983	1984	Total mean	1983	1984	Total mean
1		15.2	8.7	11.9	1.85	1.93	1.88
2		14.5	13.3	13.9	1.56	1.58	1.57
3		16.3	16.1	16.2	1.43	1.67	1.52
4		14.9	9.9	12.3	1.30	1.55	1.48
5		15.3	8.5	11.8	1.49	1.58	1.53
6		11.4	7.2	9.3	1.54	1.43	1.50
7		12.1	8.2	10.1	1.52	1.28	1.42
8		13.7	9.1	11.4	1.56	1.50	1.54
9		18.2	8.3	13.1	1.58	1.56	1.57
10		26.8	22.0	24.4	1.70	2.11	1.85
11		25.4	23.4	24.4	1.75	1.88	1.80
12		15.7	11.0	13.3	1.37	1.51	1.42
13		15.3	9.1	12.1	1.48	1.49	1.49
14		16.7	12.6	14.6	1.49	1.40	1.46
15		18.4	13.3	15.8	1.69	1.68	1.68
16		16.2	10.3	13.2	1.84	1.79	1.83
17		15.5	8.8	12.1	1.52	1.54	1.52
18		14.9	10.4	12.6	1.55	1.36	1.47
19		20.7	8.9	14.7	1.61	1.48	1.56
20		21.7	8.7	15.1	1.65	1.45	1.58
Mean		16.9	11.4	14.1	1.57	1.59	1.58

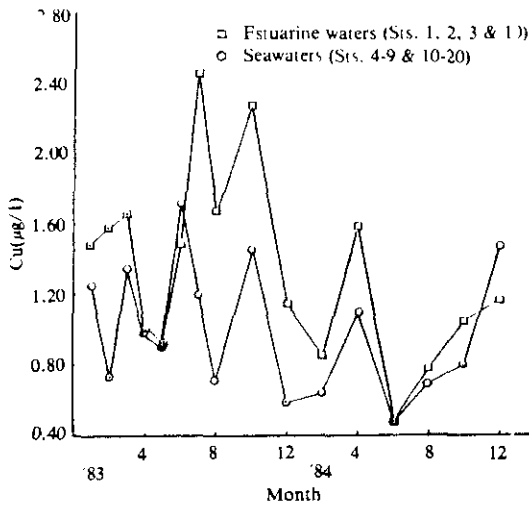


Fig. 2. Bimonthly variation of copper concentrations in estuarine waters and seawaters of Kwangyang Bay during Jan., 1983- Dec., 1984.

waters than in seawaters, bimonthly variation trends are very similar between the two groups. The annual mean concentrations of Cu, Pb and Zn were shown to be higher in 1983 over 1984. In particular, the mean levels of Pb and Zn of 1983 were nearly two times higher than those of 1984. Judging from SS contents (Table 4), this appears to be due to vigorous dredging activities during 1983 in

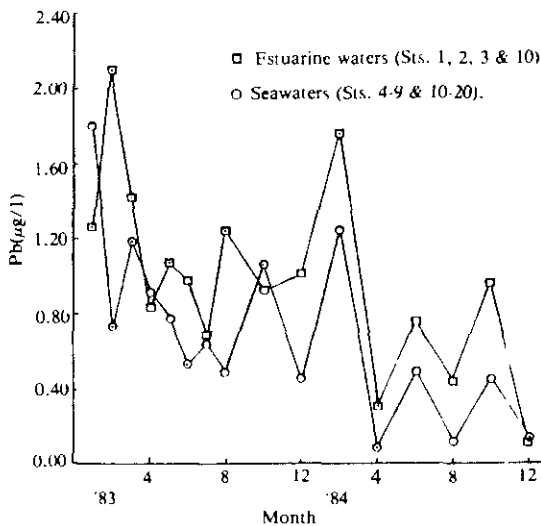


Fig. 3. Bimonthly variation of lead concentrations in estuarine waters and seawaters of Kwangyang Bay during Jan., 1983- Dec., 1984.

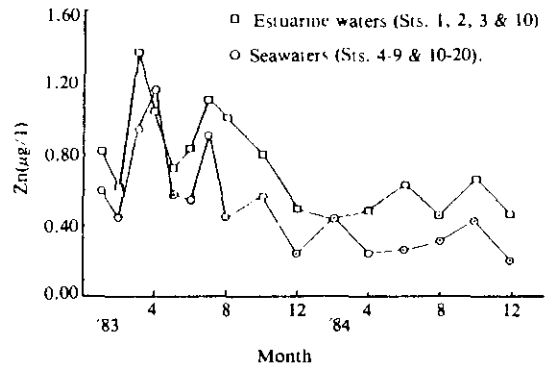


Fig. 4. Bimonthly variation of zinc concentrations in estuarine waters and seawaters of Kwangyang Bay during Jan., 1983- Dec., 1984.

Kwangyang Bay.

In the present study, all parameters measured show significant positive correlations with each other except Pb-COD (Table 5). In particular, SS exhibits significant relationship with Cu, Pb and Zn at the 99% level, indicating that the metal levels were partly controlled by SS contents through sorption or desorption during the dredging activities in Kwangyang Bay and sample preservation.

Table 6 presents the comparable concentrations of heavy metals in seawater in different regions of the world. In the Korean coastal waters, the highest levels of Cu and Zn are shown in the Masan Inner Bay where municipal and industrial wastewaters from Masan and Changwon Cities are introduced. Ulsan which has the Ulsan and Onsan Industrial Complexes along the coastlines shows highest Pb value, while Kwangyang Bay represents lowest Cu, Pb and Zn values in Korea. Compared with the heavy metal levels of the

Table 5. Correlation coefficients significant at the 99% level in Kwangyang Bay (N = 20)

	Cu	Pb	Zn	SS	COD
Cu	1.000				
Pb	0.646	1.000			
Zn	0.735	0.545*	1.000		
SS	0.669	0.595	0.606	1.000	
COD	0.501*	—	0.615	0.571	1.000

* Significant at the 95% level

Table 6. Comparable concentrations of heavy metals in seawater in different regions of the world ($\mu\text{g/l}$)

Area	Cu	Pb	Zn	Source
Kwangyang Bay, Korea	1.08	0.76	5.6	This study
Banweol	2.1	2.0	16.6	Lee <i>et al.</i> (1981a)
Jinhae Bay	1.7	1.8	16.2	Lee <i>et al.</i> (1984)
Masan Inner Bay	3.6	2.5	25.7	Lee <i>et al.</i> (1984)
Mogpo	2.0	--	9.9	Lee <i>et al.</i> (1979)
Nagdong Estuary	1.8	2.2	16.1	Lee <i>et al.</i> (1981b)
Ulsan	3.0	2.7	18.4	Lee <i>et al.</i> (1981a)
Abu Dhabi, UAE	0.46	0.04	0.12	Fowler <i>et al.</i> (1984)
Chao Phraya River Estuary, Thailand	2.3-5.5	4.7-16.2	--	Menasveta <i>et al.</i> (1979)
Dokai Bay, Japan	8.3	40.8	--	Sakino <i>et al.</i> (1980)
Kanmon Straits, Japan	5.4	1.5	--	Sakino <i>et al.</i> (1980)
Bristol Channel, UK	2.07	1.18	9.98	Abdullah <i>et al.</i> (1972)
Cardigan Bay, UK	1.72	2.24	7.46	Abdullah <i>et al.</i> (1972)
Liverpool Bay, UK	1.45	1.74	11.86	Abdullah <i>et al.</i> (1972)
Elbe Estuary, Germany	3.4	8.9	20.5	Caspers (1975)
Eastern Mediterranean, Israel	3.7	6.4	38.3	Roth and Hornung (1977)
Fraser River Estuary, Canada	1.3	0.24	--	Fletcher and Holmes (1983)
San Diego Bay, U.S.A.	0.5-3.6	--	0.6-3.8	Zirino <i>et al.</i> (1978)
Unpolluted Seawater	0.25	0.03	4.9	Bowen (1979)

foreign coastal waters, the mean concentrations of Cu, Pb and Zn in Kwangyang Bay are shown to be relatively low due to no significant pollutant source of heavy metals around the study areas.

CONCLUSIONS

The mean concentrations of heavy metals in the surface seawaters of Kwangyang Bay during 1983-84 were $1.08 \mu\text{g/l}$ for Cu, $0.76 \mu\text{g/l}$ for Pb and $5.6 \mu\text{g/l}$ for Zn, respectively.

Of the stations, St. 10 of Sueo River Estuary shows highest levels of Cu, Pb and Zn likely due to shallow depth ($\sim 2\text{m}$), high SS contents, and metal inputs through Sueo Stream. The heavy metal levels of estuarine waters including Sueo and Seomjin River Estuaries are slightly higher than those of seawaters in Kwangyang Bay. In addition, estuarine waters and seawaters show very similar monthly variation of the metal concentrations, indicating that the metal levels in seawater appear to be partly affected by river inputs.

Cu, Pb, and Zn show significant correlations not only with each other but also with

SS.

Compared with the heavy metal levels of the different regions, the mean concentrations of Cu, Pb and Zn in Kwangyang Bay are shown to be relatively low.

ACKNOWLEDGEMENT

This work is a part of the results of environmental survey during the Kwangyang Steel Mill Site Construction sponsored by Pohang Iron & Steel Co., LTD.

REFERENCES

- Abdullah, M.T. 1972. Heavy metal concentration in coastal waters. *Nature*, **235**: 158-160
- Bowen, H.J.M. 1979. Environmental chemistry of the elements, Academic Press, London, U.K., 333pp.
- Caspers, H. 1975. Pollution in coastal waters: An interim report on the results of the priority program from 1966-1974. A report of the German Research Society. Boldt-Verlag, Boppard, West Germany.
- Fletcher, W.K. and G.S. Holmes. 1983. Geochemistry and biological availability of iron and trace elements in the upper Fraser River Estuary. *Mar. Chem.*, **12**: 195-217.
- Fowler, S.W., L. Huynh-Ngoc and R. Fukai. 1984. Dissolved and particulate trace metals in coastal waters of the Gulf and Western Arabian Sea. *Deep-Sea Research*, **31**: 719-729.

- Lee, D.S., S.H. Lee, H.S. Kwak and K.W. Lee. 1980. Determination of dissolved trace metals in seawater by atomic absorption spectrophotometry after concentration by Fe(III)-APDC coprecipitation. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **15**: 66-70.
- Lee, K.W., H.S. Kwak, S.H. Lee and D.S. Lee. 1979. Heavy metals in the Korean coastal waters during summer of 1977. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **14**: 1-5.
- Lee, K.W., S.H. Lee, G.H. Hong and J.R. Oh. 1981a. Heavy metals in coastal waters near four industrial-complex areas in Korea. *Bull. of KORDI*, **3**: 87-96.
- Lee, S.H., D.S. Lee, E.S. Kim, H.S. Kwak and K.W. Lee. 1981b. Heavy metals in the Nagdong Estuary. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **16**: 24-30.
- Lee, S.H., E.S. Kim, J.R. Oh and K.W. Lee. 1984. Heavy metals in the surface waters of Chinhae Bay during 1979-83. *Bull. of KORDI*, **6**: 7-12.
- Menasveta, P., C. Phayomyam and P. Sawangwong. 1979. Distribution of heavy metals, DDT, PCBs and certain pollution parameters in the Chao Phraya River Estuary, Institute of Environmental Research, Chulalongkorn University, Bangkok, 71pp.
- Roth, J and H. Hornung. 1977. Heavy metal concentrations in water, sediments and fish from Mediterranean coastal area, Israel, *Env. Sci. & Tech.*, **11**: 265-269.
- Sakino, H., A. Hashimoto, Y. Uchimura, S. Tateishi and T. Akiyama. 1980. Note on heavy metal concentration in the aquatic environment of the Kitakyushu district in Japan. *Water Research*, **14**: 1233-1237.
- Zirino, A., S.H. Lieberman and C. Clavell. 1978. Measurement of Cu and Zn in San Diego Bay by automated anodic stripping voltammetry, *Env. Sci. & Tech.*, **12**: 73-79.

Received June 13, 1986

Accepted August 25, 1986

Korean Shallow-water Pycnogonids based on the Collections of the Korea Ocean Research and Development Institute

Kim, Il-Hoi and *Hong, Jae-Sang

(Department of Biology, Kangreung National University, Kangreung, 210 Republic of Korea; Korea Ocean Research & Development Institute, Block 385, Sae-dong, Ansan, Kyonggi-do, 411-14 Republic of Korea)

해양연구소에 보관되어 있던 한국 천해산 바다거미류

김 일 회 · *홍 개 상

(강릉대학 생물학과 · *한국과학기술원 해양연구소)

적 요

해양연구소에 보관되어 있던 한국산 바다거미류를 조사한 결과 총 21종이 밝혀졌는데, 이 중에서 6종은 한국내 미기록종이고 1종은 신종임이 판명되어 *Anoplodactylus hwanghaensis* 라고 명명하여 기재 및 도해한다. 또 한국내 미기록속에 대한 고찰과 도해도 첨가한다.

Key words: Systematics, Pycnogonids, Korea.

The Korean pycnogonids have received relatively little attention and the fauna has remained poorly known. So far only 19 species were recorded from Korean waters (Kim, 1984, 1986).

The present paper is based on the collections of the Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI). Most of the samples were collected by using the underwater SCUBA diving equipments from different localities around Korean Peninsula during the period from 1980 to 1983 (Fig. 1). The Korean pycnogonid fauna now comprises 26 species representing 10 genera and 4 families. A new species from the Yellow Sea is described and illustrated in this study. The materials examined herein are deposited in the Department of Biology, Kangreung National University, Korea.

In the list of species given below, taxa newly recorded in the Korean fauna are preceded by an asterisk (*).

Family Nymphonidae

1. **Nymphon akane* Nakamura & Child

Family Callipallenidae

2. *Callipallene amaxana* (Ohshima)
3. *Callipallene dubiosa* Hedgpeth

4. **Callipallene saganuensis* Nakamura & Child
5. **Propallene longiceps* (Böhm)

Family Phoxichilidiidae

6. **Anoplodactylus erectus* Cole
7. **Anoplodactylus hwanghaensis*, n. sp.
8. *Anoplodactylus pycnosoma* (Heiler)
9. *Anoplodactylus viridintestinalis* (Cole)

Family Ammotheidae

10. **Achelia alaskensis* (Cole)
11. *Achelia bituberculata* Hedgpeth
12. *Achelia echinata sinensis* (Lou)
13. *Achelia latifrons* (Cole)
14. *Ammothea hilgendorfi* (Böhm)
15. *Ammothella biunguiculata* (Dol. rn)
16. *Ammothella indica* Stock
17. **Ascorhynchus glaberrimum* Scimkewitsch
18. *Ascorhynchus ramipes* (Böhm)
19. *Tanystylum scrutator* Stock
20. *Tanystylum ulreungum* Kim

Family Pycnogonidae

21. *Pycnogonum koreanum* Kim & Stock

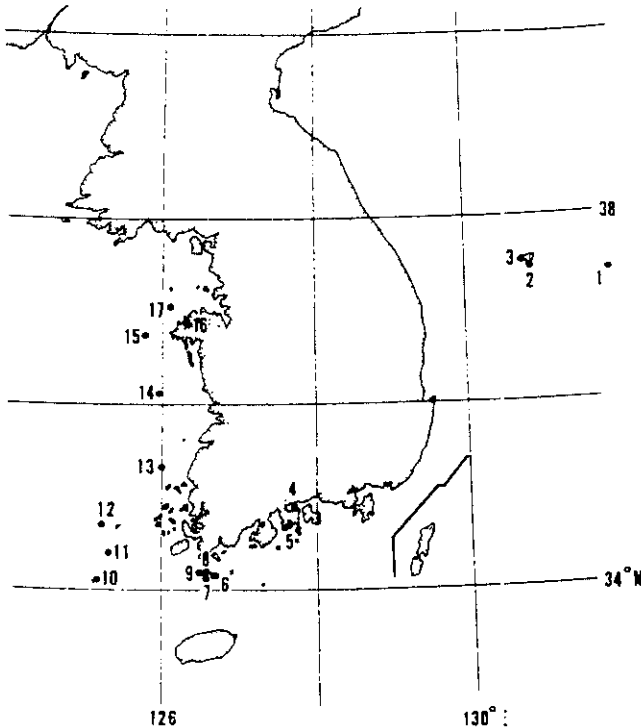


Fig. 1. Map showing the collection localities.

1. Tokto (독도)
2. Sadong, Ullung-do (울릉도 사동)
3. Namyang, Ullung-do (울릉도 남양)
4. Kwangyangman (광양만)
5. Kamakman (가막만)
6. Soan-do (소안도)
7. Chagae-do (자개도)
8. Pogul-do (보길도)
9. Maan-do (마안도)
10. Sohŭksan-do (소흑산도)
11. Anma-do (안마도)
12. Hong-do (홍도)
13. Hae-do (하태도)
14. Ŏch'ŏng-do (어청도)
15. Sŏkto (석도)
16. Karorinman (가로림만)
17. Paega-do (백아도)

Family Nymphonicae Wilson

Genus *Nymphon* J. C. Fabricius, 17941. *Nymphon akane* Nakamura & Child 1983 (Fig. 2)

Nymphon akane Nakamura & Child, 1983, (p. 54, Fig. 19).

Material examined: 1 ♀, Karorimman, VIII/1980; 1 ♀, Kamakman, IX/1980; 3 ♀, Karorimman, XII/1980; 1 ♂, Karorimman, X/1981.

Remarks: Because this species was described originally with a single type female, the male specimen here is the first record. General body configurations are equal in both sexes. The proboscis is gradually narrower distally. The length of the chela finger is not over the twice as long as the palm. The chela finger teeth are 14 on movable finger, and 12 on immovable finger in numbers. The oc-

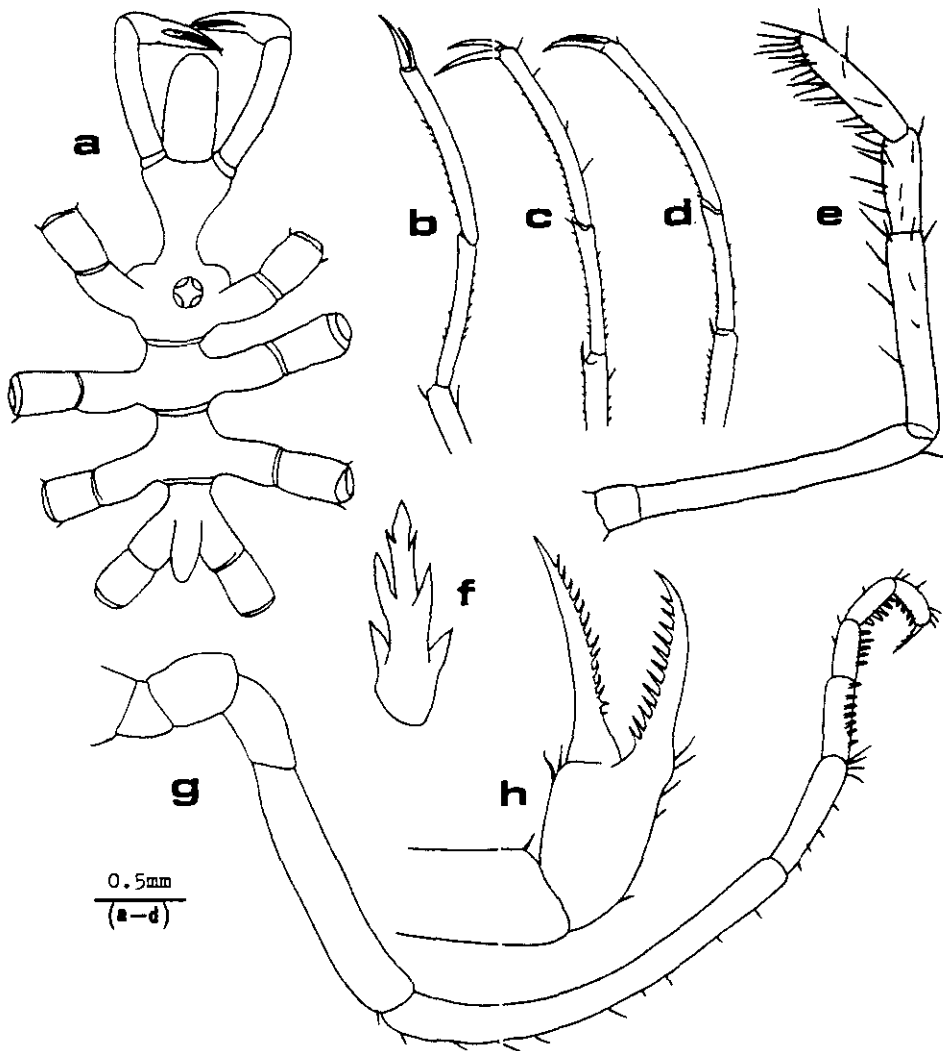


Fig. 2. *Nymphon akane* Nakamura & Child: a, dorsal view of trunk; b, distal joints of first leg; c, same of third leg; d, same of fourth leg; e, palp; f, denticulate spine of oviger; g, male oviger; h, chelitere.

ular tubercle is as tall as wide, with 2 small protuberances laterally at the tip. The fourth and fifth segments of the oviger are longer than those of female. The fifth segment is slender, curved and 1.5 times as long as the fourth. The denticulate spines formula are 7:5:5:5 in male and 7:6:5:6 in female. The length ratios of tarsus to propodus of the legs are getting shorter gradually from 0.8 in the first legs to 0.6 in the fourth legs.

Range: Japan (Sagami Bay).

Family Callipallenidae Hilton

Genus *Callipallene* Flynn, 1929

2. *Callipallene amaxana* (Ohshima, 1933)

Pallene amaxana Ohshima, 1933, (p. 216, figs. 8-12)

Callipallene phantoma: Utinomi, 1962, (p. 95, fig. 3).

Callipallene phantoma amaxana: Stock, 1968, (p. 37, fig. 14a-d).

Callipallene amaxana: Nakamura & Child, 1983, (p. 57: in key); Kim, 1986, (p. 1, fig. 1).

Material examined: 1♂, 5♀, Hong-do, VIII/1982; 2♂, 2♀, Sohŭksan-do, VIII/1982; 1♂, Soan-do, 2/VIII/1982.

Range: Southern Japan, Malacca Strait and Korea (Kŏmun-do).

3. *Callipallene dubiosa* Hedgpeth, 1949

Callipallene dubiosa Hedgpeth, 1949, (p. 275, fig. 35); Stock, 1954, (p. 41, fig. 17); Utinomi, 1971, (p. 322); Kim 1984, (p. 535, figs. 4f-i, 5a-c).

Material examined: 2♂, Namyang, Ullŭng-do, 2/X/1981; 3♂, 5♀, Hong-do, VIII/1982; 5♂, 5♀, 3 juv., Sŏkto, VIII/1982; 4♂, 11♀, 3 juv., Ŏch'ŏng-do, VIII/1982; 1♂, 1♀, Hat'ae-do, VIII/1982; 2♂, Anma-do, VIII/1982; 2♂, 2♀, Sohŭksan-do, VIII/1982; 1♂, 5♀, Chagae-do, 22/VIII/1982; 6♂, 3♀, 2 juv., Soan-do, 23/VIII/1982.

Range: Japan, southern China, Singapore, East Africa and Korea (this species is very common in Korean waters).

4. *Callipallene sagamiensis* Nakamura & Child 1983 (Fig. 3)

Callipallene sagamiensis Nakamura & Child, 1983, (p. 59, fig. 20).

Material examined: 1♂, Karorimman, XII/1980; 3♀, Karorimman, X/1981; 1♂, Hong-do, VIII/1982.

Remarks: Among the Korean callipallenid species, this species has the medium-sized neck. The neck is longer than that of *C. dubiosa*, but is shorter than that of *C. amaxana*. The lateral processes separated from each other by more than their width, and longer than wide. The ocular tubercle is low, with the apex shortly pointed. The abdomen is short and truncated. The denticulate spines are all of identical shapes in both sexes, with the formula 10:8:8:8 in the males, and 9:6:7:8 in the females. The propodus has the weak heel which is armed with 3 spines. The cement glands are not visible.

Range: Japan (Sagami Bay).

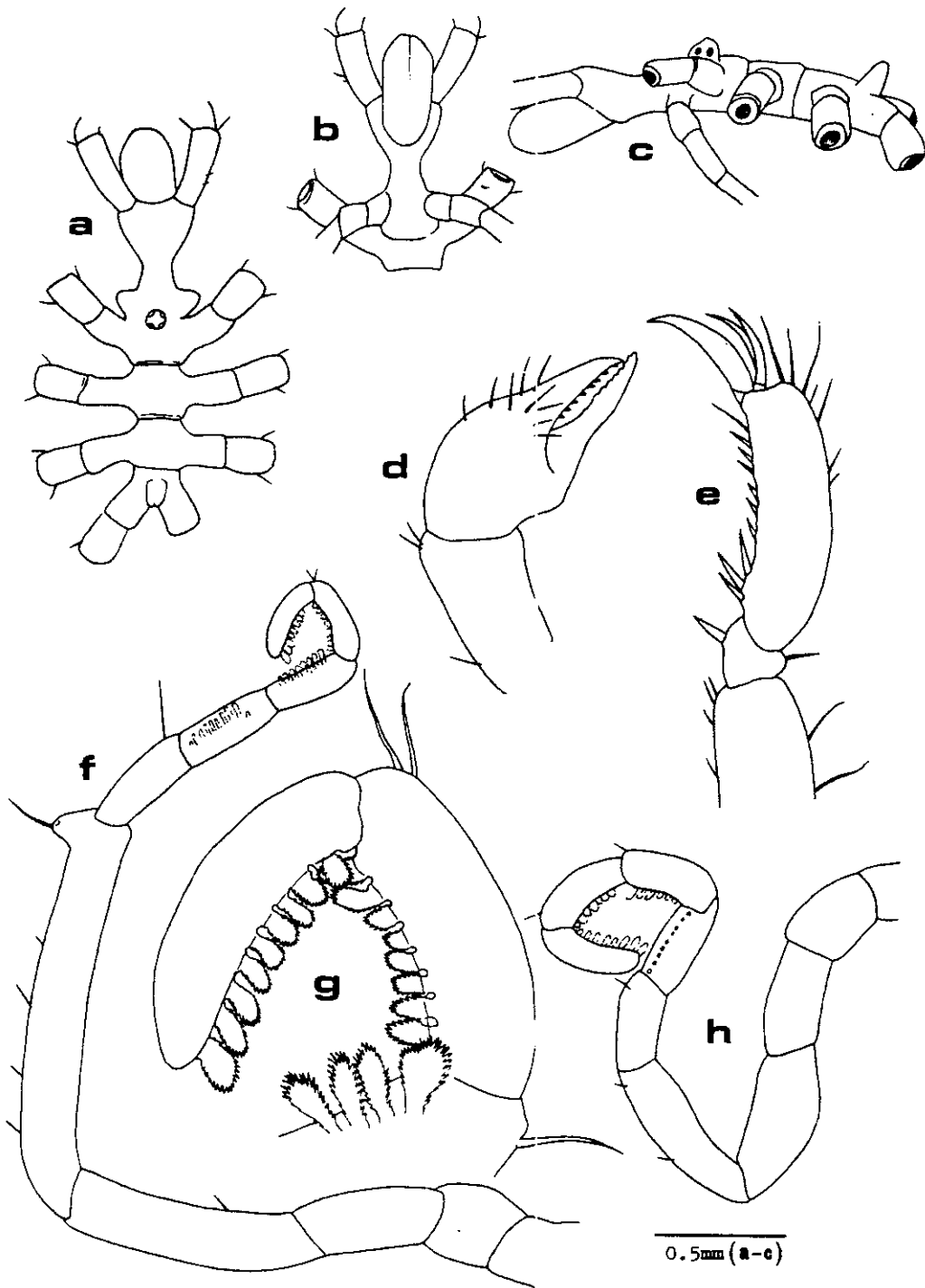


Fig. 3. *Callipallene sagaminestis* Nakamura & Child: a, dorsal view of trunk; b, ventral view of anterior trunk; c, lateral view of trunk; d, chelitore; e, distal joints of leg; f, male oviger; g, distal part of female oviger, enlarged; h, female oviger.

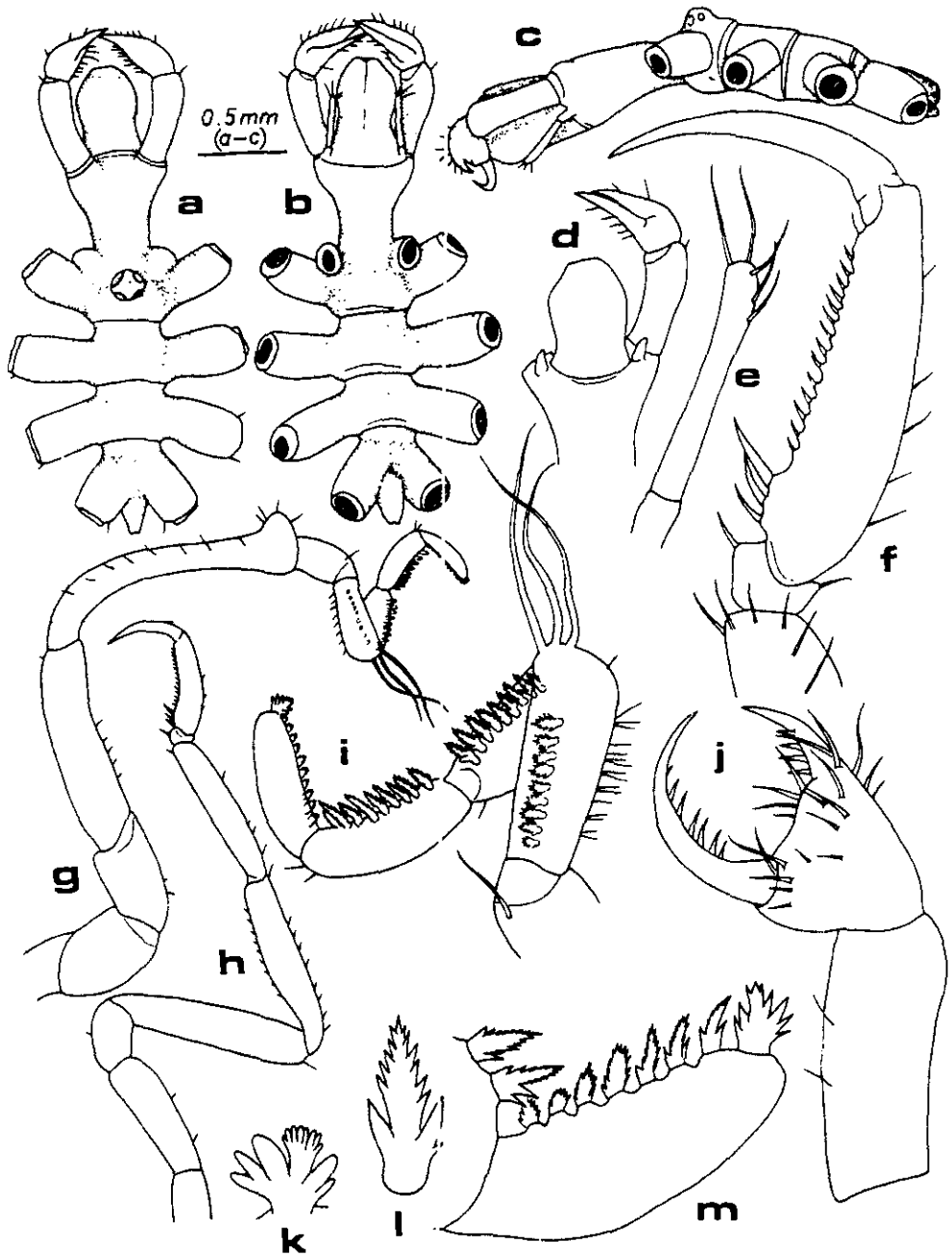


Fig. 4. *Propallene longiceps* (Böhm): a, dorsal view of male trunk; b, ventral view of same; c, lateral view of same; d, ventral view of anterior trunk of female; e, male palp; f, distal joints of fourth leg, male; g, male oviger; h, leg; i, distal segments of male oviger; j, chelitore; k, terminal spine of oviger segment 10, male; l, ninth spine of segment 10, male; m, distal part of female oviger, enlarged.

Genus *Propallene* Schükwitsch, 19095. *Propallene longiceps* (Böhm, 1879) (Fig. 4)

Pallene longiceps: Ohshima, 1933, (p. 212, figs. 1-6).

Propallene longiceps: Stock, 1954, (p. 31, fig. 12a-b); 1975, (p. 90, figs. 1-20); Uchimoto, 1959, (p. 199); 1962, (p. 96); 1971, (p. 322).

Material examined: 2 ♂, Karorimman, VIII/1980; 1 ♀, Karorimman, XII/1980.

Remarks: The notable features of the present specimens are as follows. The eyes are visible. The chela of the chelifore has the movable finger armed with 6 or 7 teeth, and the immovable finger armed with 4 teeth.

The male palp is slender, 2-segmented. The distal segment is narrow at the middle, with 5 setae distally. The female specimen has the palp, though it is represented as a small, rudimentary bud (Fig. 4d).

The male oviger segment 5 is the longest segment, curved proximally. The segment 7 is armed with 3 long distal setae. The compound spine formula is 9:10:9:10. The terminal spine of the segment 10 is much specialized (Fig. 4, k): It is palmlike and armed with 2 or 3 basal teeth at both sides and a rosette-shaped tooth at the middle. In the female specimens this kind of specialization is absent. The compound spine formula in the female is 7:7:5:8.

The propodus is armed with 2 or 3 heel spines, and the distalmost one is distinctly larger.

Range: Japan (to 103 m: Nakamura & Child, 1983).

Family Phoxichilidiidae G. O. Sars

Genus *Anoplodactylus* Wilson, 18786. *Anoplodactylus erectus* Cole, 1904 (Fig. 5)

Anoplodactylus erectus Cole, 1904, (p. 289, pl. 14, fig. 12, pl. 26, figs. 1-9); Hilton, 1942, (p. 283); Stock, 1955, (p. 239, figs. 13, 14); Child, 1970, (p. 288); 1979, (p. 52).

Material examined: 1 ♂, Soan-do, 23/VIII/1982.

Remarks: This single specimen agrees well with Cole's (1904) and Stock's (1955) descriptions in the respects that the fingers have no teeth, the proboscis is long, cylindrical, and the relative lengths of the oviger segments are coincide with the previous specimens.

The lateral processes are rather fatty, separated from one another by the intervals less than their own diameters, each with a prominent dorsodistal tubercles. The propodal heel is strong, at which there are 2 main spines proximally, successive 2 small spines and distal 2-4 setae. The sole is armed with 4-6, stout, up-curved spines. The propodal lamina covers less than a half of the sole. The femoral cement gland is subcuticular, semi-transparent, and leaves a slender tube which is longer than a third of the femoral width and positioned at the middle of the femur.

In Stock's specimens the trunks are very thin and long, and the oviger segment 3 is relatively far longer, so that the present specimen seems to belong to the "robust form" of Child (1979).

Range: California (type locality), Pacific sides of Mexico, Panama and Columbia, British Columbia (Canada), Hawaii and Tuamotu Archipelago.

7. *Anoplodactylus huanghaensis*, n. sp. (Fig. 6)

Material examined: 5 ♂, 1 ♀, 3 juv. (1 ♂ holotype), Ōch'ōng-do, Yellow Sea, VIII/1982.

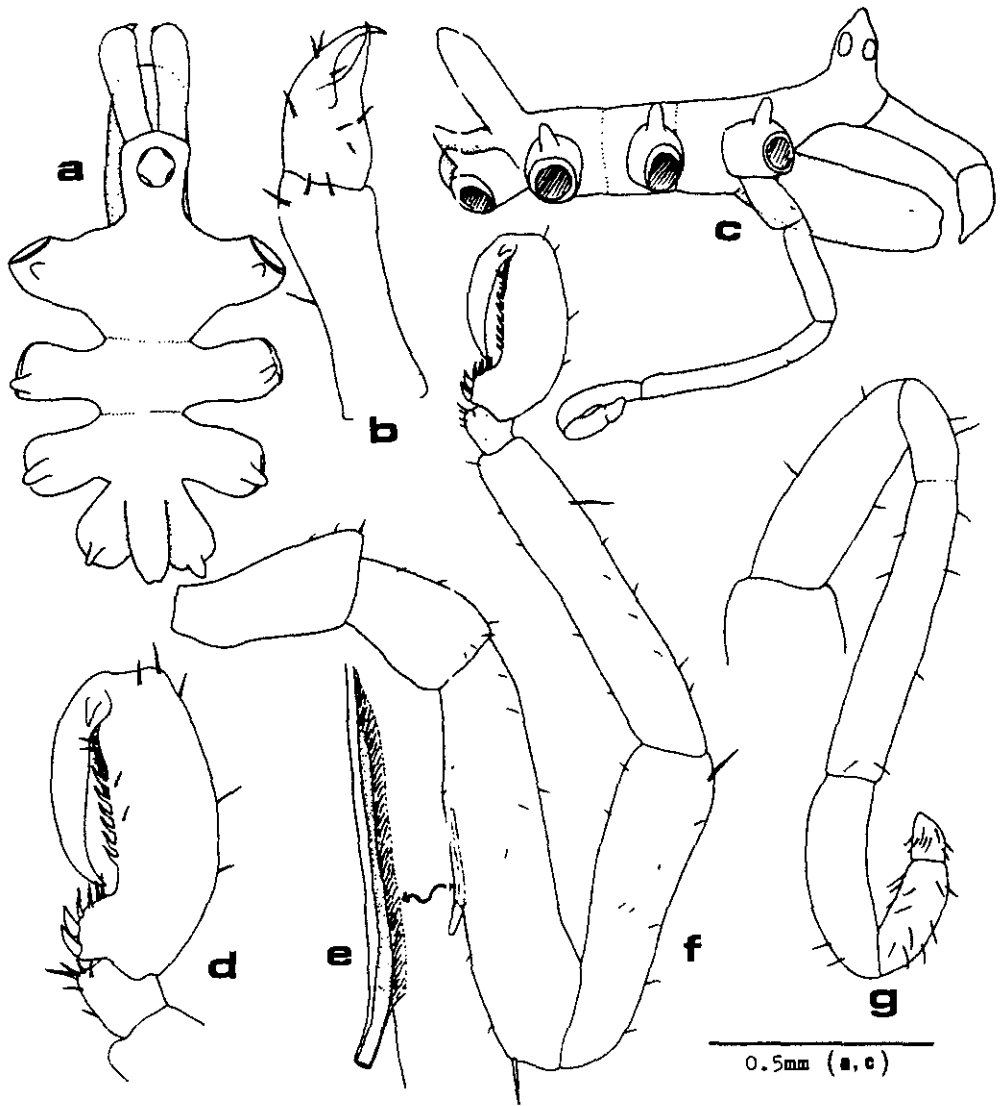


Fig. 5. *Anoplodactylus erectus* Cole, male: a, dorsal view of trunk; b, chelifore; c, lateral view of trunk; d, terminal segments of third leg; e, cement gland of third leg; f, third leg; g, oviger.

Description: Trunk compact, robust, first and second trunk segments distinct, third lacking. Lateral processes smooth, slightly longer than their diameters, almost touching proximally, but separated distally by their own diameters, without tubercles or setae. Neck very short, far broader than long. Ocular tubercle low, broad, rather flattened above, with apex round and positioned anteriorly. Abdomen shorter than the last pair of lateral process, ovoid in lateral view, directed posteriorly at an angle of about 30° from the horizontal. Proboscis short, robust, slightly longer than wide, truncated and darkly pigmented distally, with ventral margin roundly convex, longer and wider than dorsal margin.

Chelifore scape smooth, cylindrical, slightly longer than proboscis. Chela palm armed with a few

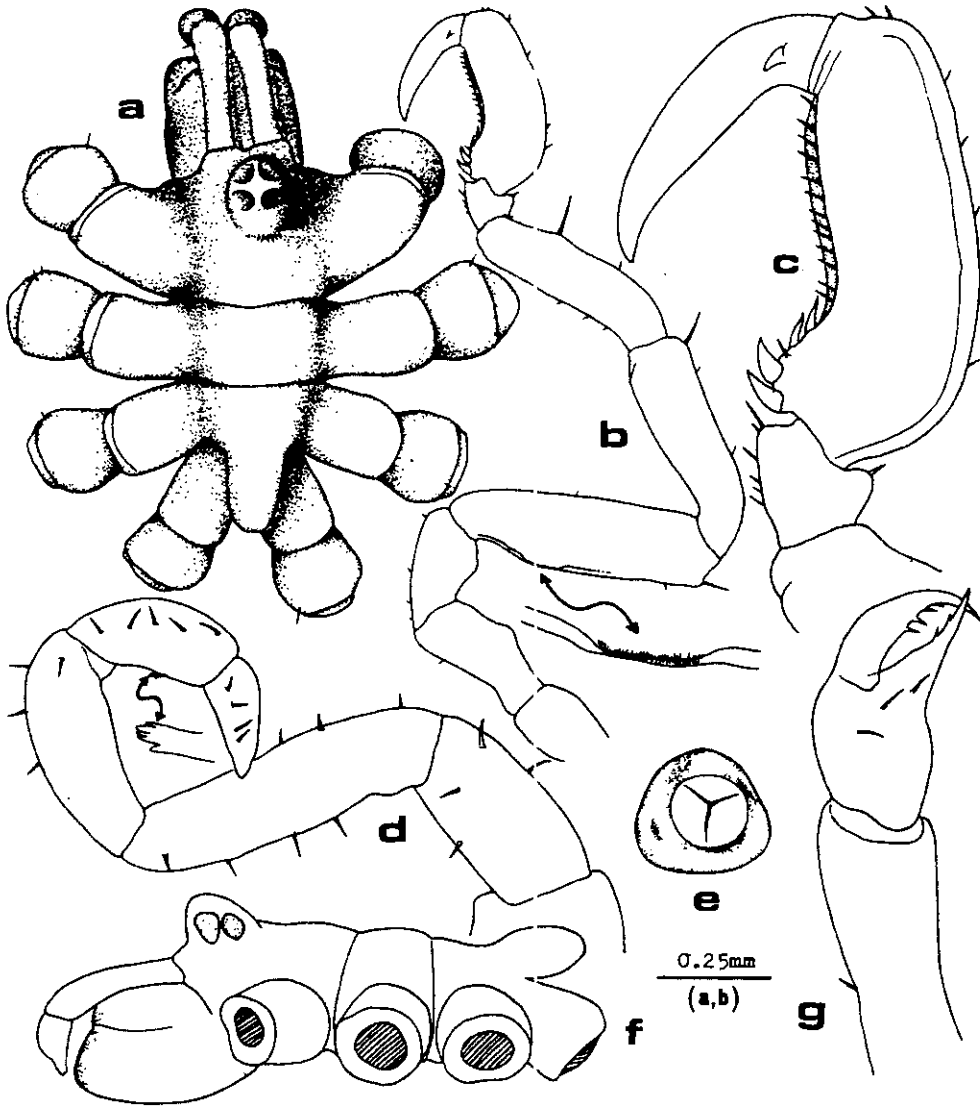


Fig. 6. *Anoplodactylus lucanghaensis*, n. sp. holotype, male: a, dorsal view of trunk; b, second leg; c, distal segments of second leg; d, oviger; e, frontal view of proboscis; f, lateral view of trunk; g, chelifere.

distal setae. Movable finger strongly curved, with 4 teeth. Immovable finger nearly straight, armed with 2 small teeth.

Oviger 6-segmented. First segment very broad. Third segment the longest, with setae on both sides. Fourth segment a little longer than the second, widened distally, with several setae on outer margin. Fifth segment armed with 5 or 6 recurved outer setae and 2 (or 1) inner middle setae, one of the latter is palm-like when greatly magnified. Terminal segment tapered and pointed, longer than the half length of fifth segment, with 4-6 recurved setae.

Legs moderately short, the posterior pairs shorter than the preceding ones. Cement gland pore flat, not raised, and situated at proximal third of femur. Femur the longest segment, with a dorsodistal

spine. Tibia 1 and 2 equal in lengths. Propodus with a strong heel armed with 2 curved spines and upper 2 smaller ones. Sole armed with more than 10, small and thin setae. Propodal lamina covers entire sole. Claw as long as sole, with curved tip. Auxiliary claws very small.

Measurements (in mm): Trunk length (neck to tip of lateral processes), 0.93; trunk width (across second lateral processes), 0.78; proboscis length (from ventral side), 0.40; abdomen length, 0.19; first leg (including claw), 3.27; second leg, 2.55; third leg, 2.81; fourth leg, 2.63.

Etymology: The specific name, *hwanghaensis*, is derived from a Korean language, Hwanghae (= Yellow Sea) in which the type locality is situated.

Remarks: This tiny species belongs to the old genus *Halosoma* and to the so called *Anoplodactylus pygmaeus* complex. The new species has the following combination of characters: Body compact, two heel spines, long propodal lamina, chela fingers with teeth, cement gland pore flat and positioned at proximal third of femur, very robust proboscis, lack of tubercles or spines on lateral processes, auxiliary claws present.

The new species is similar in body configurations to two Panama species, *Anoplodactylus* sp. 1 Child, 1979 and *A. stri* Child, 1979. In the shape of proboscis, *Anoplodactylus* sp. 1 is very similar to the new species, but differs in having tubercles on the lateral processes and short lamina on the propodal sole. *A. stri* has also smooth lateral processes, long propodal lamina, and chela finger teeth, but in this species the proboscis is more longer and the main heel spine of propodus is only one.

The new species can be distinguished from *A. compactus* Hilton, 1939, another relative species from California. The large tubercle on each lateral processes, rather long proboscis and the lack of body segmentation of *A. compactus* are the characters different from the new species.

8. *Anoplodactylus pycnosoma* (Helfer, 1938)

Anoplodactylus pycnosoma: Stock, 1954, (p. 75, fig. 33); Utinomi, 1971, (p. 326); Nakamura & Child, 1983, (p. 50); Kim, 1984, (p. 536, fig. 5d-h).

Material examined: 1 ♂, Sadong, Ullŭng-do, X/1981; 1 ♂, 1 ♀, Tokto, X/1981; 1 ♂, Sohŭksan-do, VIII/1982; 1 ♀, Hong-do, VIII/1982; 1 ♂, Anma-do, VIII/1982; 1 ♂, Sokto, VIII/1982; 1 ♀, Ŏch'ŏng-do, VIII/1982; 3 ♂, 2 ♀, Soan-do, 23/VIII/1982.

Range: Southern Japan, Korea, western Australia and Tanzania.

9. *Anoplodactylus viridintestinalis* (Cole, 1904)

Halosoma viridintestinalis Cole, 1904, (p. 286, pl. 14, fig. 11, pl. 24, figs. 6-8, pl. 25, figs. 1-4); Hedgpeth, 1948, (p. 217, fig. 25).

Anoplodactylus viridintestinalis: Stock, 1955, (p. 239); Child, 1979, (p. 63); Kim, 1986, (p. 3, fig. 2).

Material examined: 1 ♂, Karorimman, X/1980; 1 ♀, Sadong, Ullŭng-do, X/1981; 1 ♂, 4 ♀, Soan-do, 23/VIII/1982; 4 ♂, 7 ♀, Sohŭksan-do, VIII/1982; 1 ♀, Hong-do, VIII/1982.

Range: East Pacific from California to Panama, and Korea (Kŏmun-do, littoral).

Family Ammotheidae Dohrn

Genus *Achelia* Hodge, 1864

10. *Achelia alaskensis* (Cole, 1904) (Fig. 7)

Ammotheca alaskensis Cole, 1904, (p. 266, pl. 12, fig. 4, pl. 17, figs. 4-12).

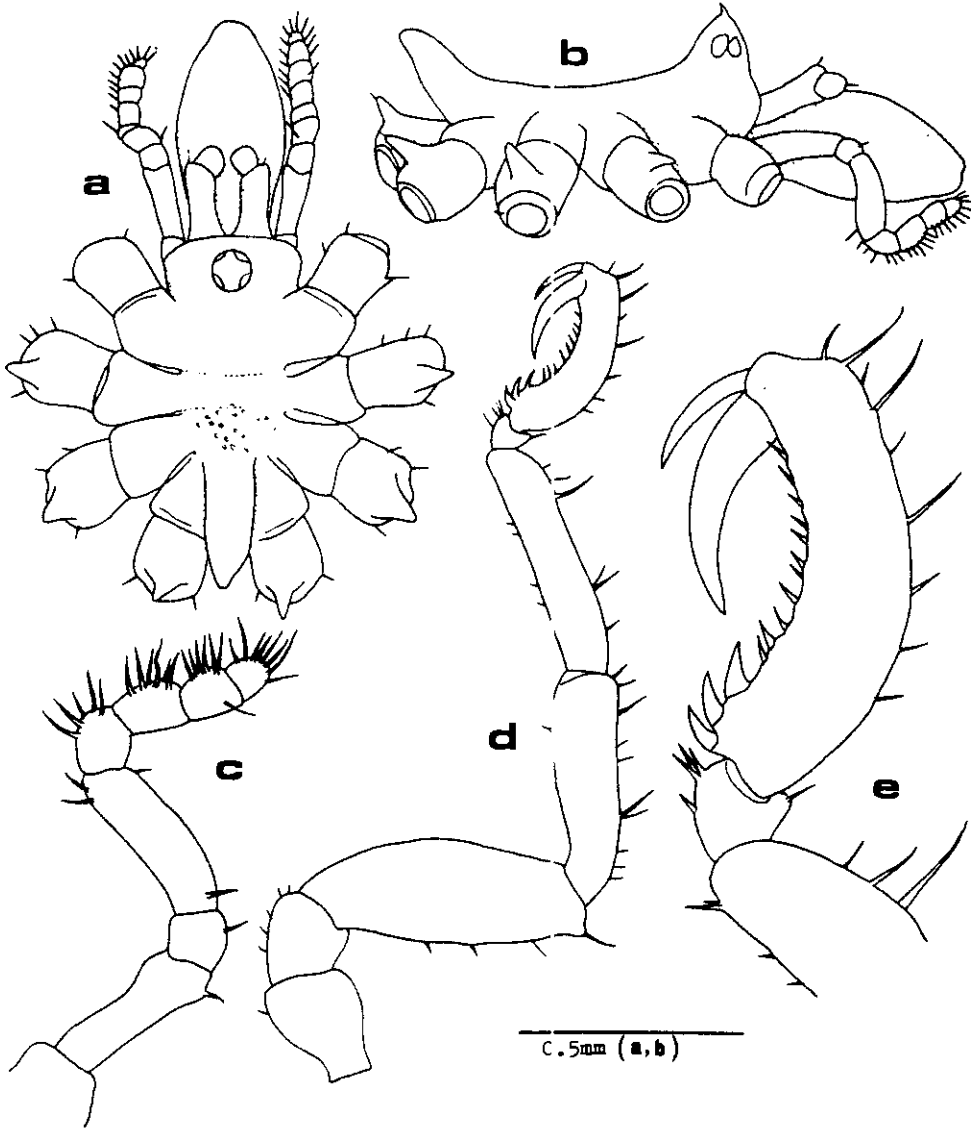


Fig. 7. *Achelia alaskensis* (Cole), female: a, dorsal view of trunk; b, lateral view of trunk; c, palp; d, fourth leg; e, distal segments of third leg.

Achelia alaskensis: Utinomi, 1954, (p. 14, figs. 6, 7); 1971, (p. 329); Losina-Losinsky, 1961, (p. 91).

Material examined: 1♂, Karorimman, X/1981.

Remarks: The ocular tubercle is low conic, and the apex is pointed. The compound spine formula of the oviger is 2:2:2:2.

Utinomi (1954) summarized the diagnostic characters of this species. The present female specimen agrees well with his description, except for the following points. The chelifore scape and lateral processes are smooth, without any kind of protuberance. There is a prominent dorsal tubercle on each of posterior 3 coxae, however, the coxa 1 is smooth, without protuberance. The abdomen is not horizontal, but erect at a half of a right angle.

This North Pacific species extends its distributional range far to the south, because its previously known southern limit of the range was Hokkaido, Japan.

Range: Bering Sea, Alaska, Okhotsk Sea and Japan (Hakkaido).

11. *Achelia bituberculata* Hedgpeth, 1949

Achelia bituberculata Hedgpeth, 1949, (p. 287, fig. 41a-g); Stock, 1954, (p. 94, fig. 44); Utinomi, 1962, (p. 97, fig. 4); Nakamura & Child, 1983, (p. 6); Kim, 1984, (p. 537, fig. 6a-i).

Achelia ohshimai Utinomi, 1951, (p. 163, fig. 2); 1954, (p. 18, fig. 8); Kim, 1984, (p. 538, fig. 8a-h).

Material examined: 1♂, 3 juv., Sadong, Ullŭng-do, X/1981; 1♂, 4♀, Namyang, Ullŭng-do, 2/X/1981; 2♂, Sohŭksan-do, VIII/1982; 2♂, 2 juv., Hat'ae-do, VIII/1982; 1♂, Hong-do, VIII/1982; 1♀, Maan-do, 22/VIII/1982; 4♂, 7 juv., Scan-do, 23/VIII/1982.

Range: Japan and Korea.

12. *Achelia echinata sinensis* (Lou, 1936)

Achelia echinata orientalis: Hedgpeth, 1949, (p. 318).

Achelia echinata: Utinomi, 1954, (p. 11, figs. 4, 5); 1959, (p. 201, fig. 1).

Achelia echinata nasuta: Stock, 1956, (p. 98, fig. 16a).

Achelia echinata sinensis: Utinomi, 1971, (p. 328); Nakamura & Child, 1983, (p. 7); Kim, 1984, (p. 537, fig. 7a-i).

Material examined: 1♀, 1 juv., Karorimman, VIII/1980; 2♂, 2♀, 1 juv., Karorimman, X/1980; 1♂, Karorimman, XIII/1980; 1♀, Karorimman, X/1981; 7♂, 17♀, 4 juv., Hong-do, VIII/1982; 4♀, Sŏkto, VIII/1982; 2♂, 2♀, 1 juv., Hat'ae-do, VIII/1982; 1 juv., Paega-do, VIII/1982; 1 juv., Ŏch'ŏng-do, VIII/1982; 1♂, Sohŭksan-do, VIII/1982; 2♂, 2♀, 3 juv., Soan-do, 23/VIII/1982.

Range: Japan, northern China and Korea.

13. *Achelia latifrons* (Cole, 1904) (Fig. 8)

Ammotheca latifrons Cole, 1904, (p. 263, pl. 11, fig. 3, pl. 16, figs. 1-9, pl. 17, figs. 1-3); Hilton, 1942, (p. 93, pl. 41).

Achelia latifrons: Stock, 1954, (p. 96).

Achelia orpax Nakamura & Child, 1983, (p. 8, fig. 2).

Material examined: 1♂, Hong-do, X/1981.

Remarks: This specimen is almost identical with both *Achelia latifrons* (Cole, 1904) and *A. orpax* Nakamura & Child, 1983, and they can hardly be regarded as separate species. *A. latifrons*, *A. orpax* and the present specimen have following major characters in common: (1) Trunk compact, circular and unsegmented. (2) Cephalic segment armed with a spines-bearing tubercle on each of anterior corners. (3) Ocular tubercle tall, slender and positioned at extreme anterior of cephalic segment. (4) Proboscis elliptical, rather large. (5) Abdomen long and armed dorsally with several spines. (6) Chelifore scape long and curved, chela small, globular, without finger. (7) Propodus slender, roundedly curved, with 3 heel spines. (8) Proboscis, trunk and abdomen are nearly equal in lengths.

The noteworthy difference among them is the numbers of tubercles on lateral process and coxa 1. Cole (1904) described that his type specimens have 3 tubercles on lateral process and 3 on coxa 1, while these are 1 and 1 in *A. orpax*, and 2 or 3 and 1 in our specimen. Our specimen is same in every

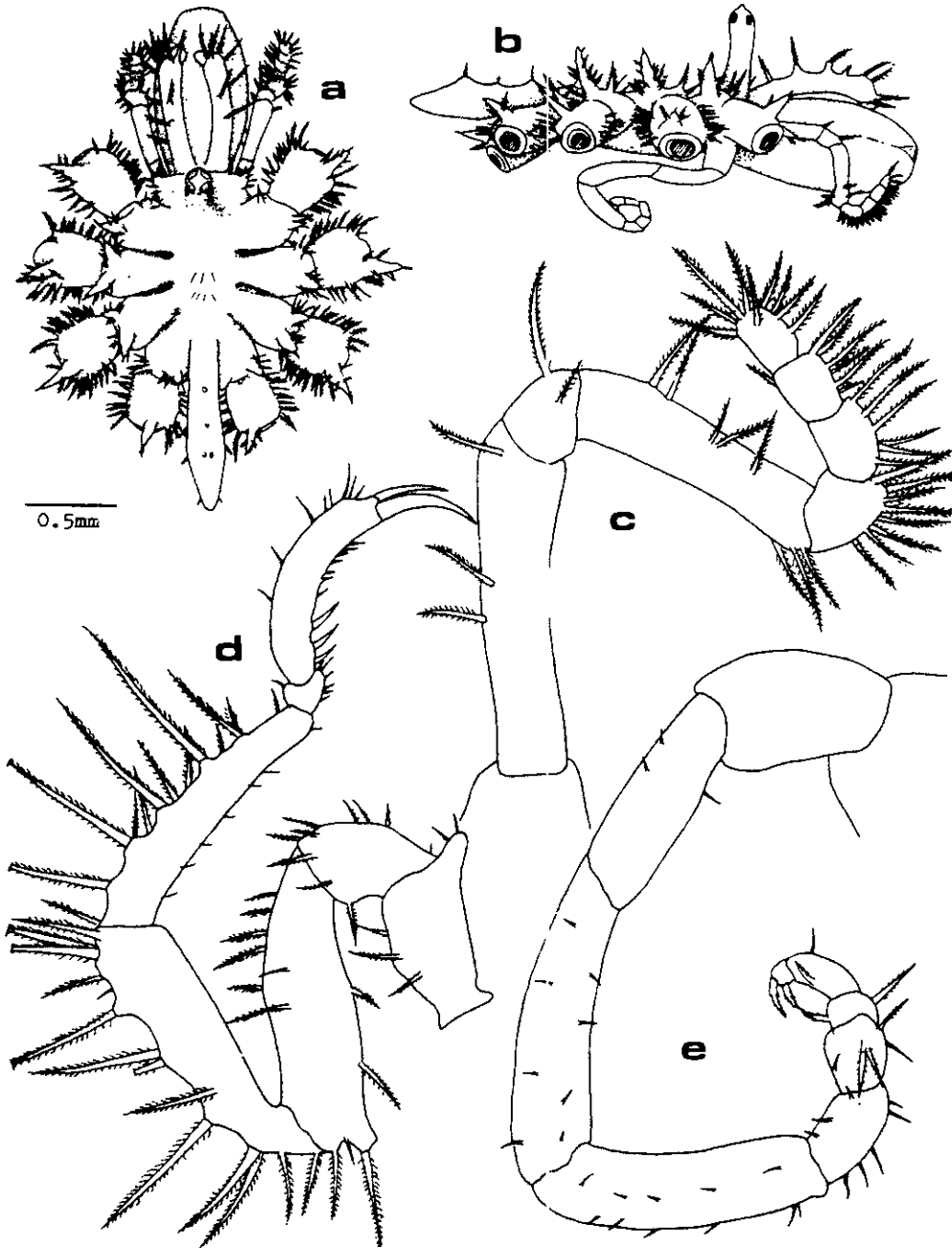


Fig. 8. *Acheta latifrons* (Cole), male: a, dorsal view of trunk; b, lateral view of trunk; c, palp; d, fourth leg; e, oviger.

details as *A. orpax* except for the number of tubercles on lateral process, however this difference seems negligible, for the male is usually more tuberculate than the female.

Nakamura & Child (1983) characterized *A. orpax* by its "unique" feathered spines, as does our specimen, but, in our opinion, this feature would not be noticed by Cole, otherwise he might thought

these as foreign debris judging from his remarks (p. 266) as "All the specimens of *A. latifrons* had a quantity of foreign materials entangled in the spines..."

Range: Bering Sea, Alaska, California (north of Santa Barbara Island), and Japan (Sagami Bay).

Genus *Annothea* Leach, 1814

14. *Annothea hilgendorfi* (Böhm, 1879)

Lecythorhynchus hilgendorfi: Hedgpeth, 1949, (p. 296, fig. a, b); Utinomi, 1951, (p. 166); 1959, (p. 209, figs. 5, 6); 1971, (p. 336); Losina-Losinsky, 1961, (p. 53)

Lecythorhynchus marginatus Cole, 1904, (p. 260, pl. 11, figs. 1, 2, pl. 15, figs. 1-8); Stock, 1954, (p. 139, fig. 69).

Annothea hilgendorfi: Child, 1970, (p. 292); Clark, 1977, (p. 174).

Material examined: 1 ♀, Kamakman, IX/1980; 1 ♀, Karorimman, XII/1980; 1 ♀, Karorimman, X/1981; 5 ♂, 2 ♀, 18 juv., Hong-do, VIII/1982; numerous specimens, Sohŭksan-do, VIII/1982; numerous specimens, Öch'öng-do VIII/1982; 1 ♂, 13 juv., Sokto, VIII/1982; 1 ♂, 1 ♀, 3 juv., Paegado, VIII/1982; 2 ♂, 1 ♀, Anma-do, VIII/1982; 3 ♂, 3 juv., Pogil-do, VIII/1982; 7 juv., Chagae-do, 22/VIII/1982; 1 ♀, 15 juv., Soan-do, 23/VIII/1982.

Range: North Pacific.

Genus *Ammothella* Verrill, 1900

15. *Ammothella biunguiculata* (Dohrn, 1881)

Ammothella biunguiculata: Stock, 1968, (p. 14); Utinomi, 1971, (p. 330); Kim, 1984, (p. 539, fig. 9b-f).

Material examined: 1 ♂, Sohŭksan-do, VIII/1982.; 1 ♀, Hat'ae-do, VIII/1982.

Range: Cosmopolitan.

16. *Ammothella indica* Stock, 1954

Ammothella indica Stock, 1954, (p. 113, figs. 54-56c, 57a-c); 1959, (p. 554); 1968, (p. 14); Utinomi, 1959, (p. 203, figs. 2, 3); Kim, 1986, (p. 5, fig. 3).

Material examined: 2 juv., Hong-do, VII/1982; 1 juv., Soan-do, 23/VIII/1982.

Range: In Pacific including Korea (Kömu-do).

Genus *Ascorhynchus* G. O. Sars, 1877

17. *Ascorhynchus glaberrimum* Schimkewitsch, 1913 (Fig. 9)

Ascorhynchus glaberrimum: Hedgpeth, 1949, (p. 293); Utinomi, 1955, (p. 26, fig. 15); 1959, (p. 208); Nakamura & Child, 1983, (p. 24, fig. 7).

Material examined: 1 ♂, 2 ♀, Kwangyang man, II/1983.

Remarks: The specimens are as the figure of Nakamura & Child, 1983. The chelifore scape bulged distally. The chela is partly sunken into the scape. The tip of the chela finger is typically chitinized, and yellow and semi-transparent. The tubercles on the lateral processes are less prominent than those of *Utinomi* (1955) and Nakamura & Child (1983).

The male specimens have 8 to 11 cement gland pores. These pores seem to be of each separate cement glands (Fig. 9 j). The male gonopores are present at the ventrodiscal corners of coxae 2 of

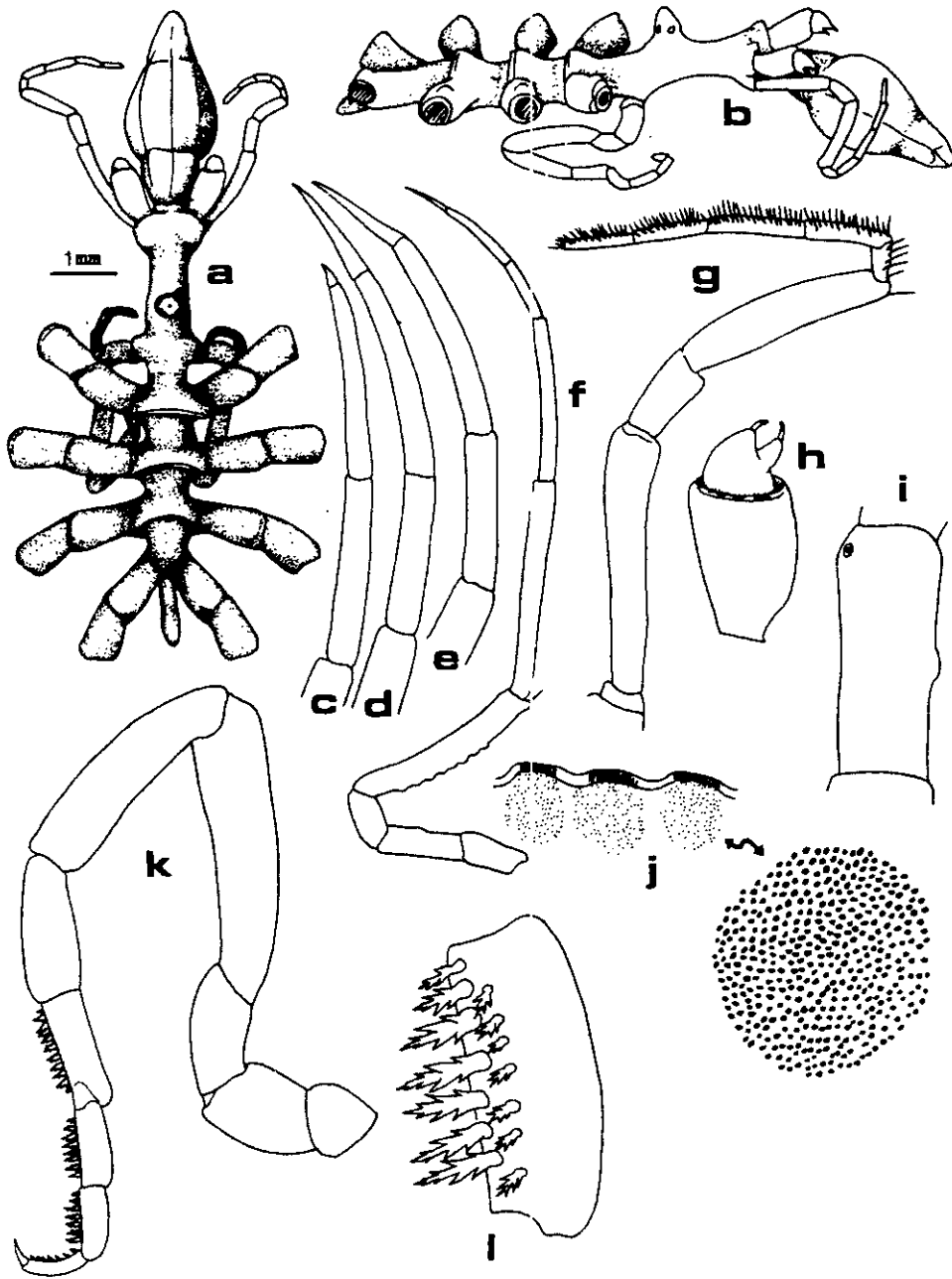


Fig. 9. *Ascorhynchus glaberrimum* Schimkewitsch; a, dorsal view of trunk; b, lateral view of trunk; c, d, e, distal segments of first, third and fourth legs; f, second leg; g, palp; h, chelifore; i, coxa 2; j, cement glands; k, oviger; l, ninth segment of oviger.

third and fourth legs. The denticulate spine formula of the male oviger is 10:8:7:7 or 11:8:8:8.

Range: Known only from Japan (shore to 93 m: Nakamura & Child, 1983).

18. *Ascorhynchus ramipes* (Böhm, 1879)

Ascorhynchus ramipes: Lönman, 1911, (p. 6); Hedgpeth, 1949, (p. 292); Utomomi, 1959, (p. 207, fig. 4B); 1962, (p. 99); 1971, (p. 332); Nakamura & Child, 1983, (p. 29); Kim, 1986, (p. 7, fig. 4).

Ascorhynchus latum: Stock, 1954, (p. 128, fig. 63 a-c).

Material examined: 1♀, 1 juv., Kamakman, X/1980; 1♂, 4♀, Karorimman, X/1980; 2♀, Karorimman, XII/1980; 4♀, Karorimman, 29/I/1981; 1♀, Karorimman, II/1981; 1♂, 1♀, Karorimman, X/1981; numerous specimens, Karorimman, with trawl, XI/1981

Range: Northern China, Gulf of Siam, Indian Ocean (Gulf of Manaar), Japan (Sagami Bay to Kyushu) and Korea (Inch'ön and Dökjök-to).

Genus *Tanystylum* Miers, 1879

19. *Tanystylum scrutator* Stock, 1954

Tanystylum scrutator Stock, 1954, (p. 142, fig. 70).

Material examined: 1♀, Hong-do, VIII/1982; 5♂, 2♀, 8 juv., Sohüksan-do, VIII/1982; 1♀, Hat'ae-do, VIII/1982; 3♂, 2♀, Chagae-do, 22/VIII/1982.

Range: Japan and Korea.

20. *Tanystylum ulreungum* Kim, 1983

Tanystylum ulreungum Kim, 1983, (p. 467, figs. 1, 2).

Tanystylum nabetenis Nakamura & Child, 1983, (p. 39, fig. 13).

Material examined: 2♂, 4♀, Namyang, Ullüng-do, 2/X/1981; 1♀, Sohüksan-do, VIII/1982.

Range: Korea (Ullüng-do) and Japan (Saga ni Bay).

Family Pycnogonidae Wilson

Genus *Pycnogonum* Brünnich, 1764

21. *Pycnogonum koreanum* Kim & Stock, 1984

Pycnogonum koreanum Kim & Stock, 1984, (p. 635, figs. 1-6).

Material examined: 2♂, 2♀, Namyang, Ullüng-do, X/1981; 2♂, Hong-do, VIII/1982; 1♂, 1♀, Hat'ae-do, VIII/1982; 1♂, 3♀, Sohüksan-do, VIII/1982.

Range: Korea (Ullüng-do). Probably widely distributed around Korean seas to where the warm current reaches.

ABSTRACT

Twenty one species of Korean pycnogonids are represented in the collections of the Korea Ocean

Research and Development Institute, Korea. The collections include six species which are newly recorded in the Korean fauna and a new species from the Yellow Sea, *Anoplodactylus hwanghaensis*, which is described and illustrated. Illustrations and remarks of the newly recorded species from Korea are also provided.

REFERENCES

- Child, C. A., 1970. Pycnogonida of the Smithsonian-Bredin Pacific Expedition, 1957. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, **85**, 27: 287-308.
- Child, C. A., 1979. Shallow-water Pycnogonida of the Isthmus of Panama and the coasts of Middle America. *Smiths. Contr. Zool.* **293**, 86 pp.
- Clark, W. C., 1977. The genus *Ammotha* Leach (Pycnogonida) in New Zealand waters: New species and a review. *J. Roy. Soc. New Zeal.* **7**, 2: 171-187.
- Cole, L. J., 1904. Pycnogonida of the west coast of North America. Harriman Alaska Exped., **10**: 249-298, pls. 11-26.
- Hedgpeth, J. W., 1948. The Pycnogonida of the western North Atlantic and the Caribbean. *Proc. U.S. Nat. Mus.*, **97**, 3216: 157-342.
- Hedgpeth, J. W., 1949. Report on the Pycnogonida collected by the Albatross in Japanese waters in 1900 and 1906. *Ibid.*, **98**, 3231: 233-321.
- Hilton, W. A., 1939. A preliminary list of pycnogonids from the shores of California. *Pomona J. Entomol. Zool.*, **31**, 2: 27-35.
- Hilton, W. A., 1942. Pycnogonids from Allan Hancock Expeditions. *Allan Hancock Pacific Exped.*, **5**, 9: 277-338, pls. 35-48.
- Kim, I. H., 1983. *Tanystylum ulreungum*, a new pycnogonid species from Korean water. *J. Kangreung Nat. Univ.*, **5**: 467-471.
- Kim, I. H., 1984. Common pycnogonid species from East Sea and South Sea of Korea. *Ibid.*, **7**: 531-551.
- Kim, I. H., 1986. Four pycnogonid species new to Korean fauna. *Proc. Nat. Sci. Res. Inst. KANU*, **2**, 1: 1-9.
- Kim, I. H. and J. H. Stock, 1984. A new pycnogonid, *Pycnogonum koranum*, sp. nov. from the Sea of Japan. *J. Natur. Hist.* **18**: 685-688.
- Loman, J. C. C., 1911. Japanische Podosomata: Beiträge zur Naturgeschichte Ostasiens, herausgegeben von F. Ditlem. *Abh. K. Bayer. Akad. Wiss. (Math.-Naturwiss. Kl.)*, suppl. **2**, 4: 1-18.
- Losma-Losinsky, L. K., 1961. Mhrogokolenchatye (Pantopoda) dalnjewostotschynch morjer SSSR. *Issledovaniya Palnjewostotschynch Morjer SSSR*, **7**: 47-117. (in Russian)
- Nakamura, K. and C. A. Child., 1983. Shallow-water Pycnogonida from the Izu Peninsula, Japan. *Smiths. Contr. Zool.*, **386**, 71 pp.
- Ohshima, H., 1933. Pycnogonids taken with a tow-net. *Annot. Zool. Japon.*, **14**: 211-220.
- Stock, J. H., 1954. Pycnogonida from Indo-West Pacific, Australian and New Zealand waters. *In: Papers from Dr. Th. Mortensen's Pacific Expedition 1914-1916. Vidensk. Medd. I. Dansk. Naturh. Foren.*, **116**: 1-168.
- Stock, J. H., 1955. Pycnogonida from the West Indies, Central America, and the Pacific coast of North America. *Ibid.*, **117**: 209-266.
- Stock, J. H., 1956. Tropical and subtropical Pycnogonida, chiefly from South Africa. *Ibid.*, **118**: 71-113.
- Stock, J. H., 1968. Pycnogonida collected by the Galathea and Anton Bruun in the Indian and Pacific Oceans. *Ibid.*, **131**: 7-65.

- Stock, J. H., 1975. The pycnogonid genus *Propalaeo* Schinckewitsch, 1909. Bull. Zool. Mus. Universiteit van Amsterdam, 4, 1: 89-97.
- Utinomi, H., 1951. On some pycnogonids from the sea around Ku Peninsula. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 1, 4: 159-168.
- Utinomi, H., 1954. The fauna of Akkeshi Bay. XIX. Littoral Pycnogonida. Publ. Akkeshi Mar. Biol. Sta., 3: 1-28, pl. 1.
- Utinomi, H., 1955. Report on the Pycnogonida collected by the Soyo Maru Expedition made on the continental shelf bordering Japan during the years 1925-1930. *Ibid.*, 5, 1: 1-42.
- Utinomi, H., 1959. Pycnogonida of Sagami Bay. *Ibid.* 7, 2: 197-222.
- Utinomi, H., 1962. Pycnogonida of Sagami Bay supplement. *Ibid.*, 10, 1: 91-104.
- Utinomi, H., 1971. Records of Pycnogonida from shallow waters of Japan. *Ibid.*, 18, 5: 311-347.

RECEIVED 10 AUGUST 1986

ACCEPTED 4 NOVEMBER, 1986

Naticid Gastropods May Kill Solenid Bivalves Without Boring: Ichnologic and Taphonomic Consequences

ROBERT W. FREY
Department of Geology
University of Georgia
Athens, Georgia 30602

JAMES D. HOWARD
Skidaway Institute of Oceanography
P. O. Box 13687
Savannah, Georgia 31416

JAE-SANG HONG
Biological Oceanography Laboratory
Korea Ocean Research and
Development Institute
P. O. Box 29
Panwol Ind. 171-14, Korea

PALAIOS, 1986, V. 1, p. 610-612

A somewhat novel but nonetheless important predator-prey relationship was described by Turner (1955) and Schneider (1982): the naticid gastropod *Polinices duplicatus* commonly captures the solenid bivalve *Ensis directus* by attacking its foot rather than by drilling through its shell. From a paleoecologic or taphonomic standpoint, the most significant result is numerous dead *in-situ* individuals of *E. directus*, the valves of which remain pristine. In other instances the valves are retained partly within the burrow but project above the substrate surface, reflecting a futile attempt by the clams to escape. Frequently clams burrow widely through the sediment in various attempts at flight, some successful and others not.

Such behavior evidently is widespread among morphologically and ecologically equivalent mollusk species (e.g., Colbath, 1985, p. 858), and was observed recently on tidal flats near Inchon, Korea. These tidal flats, which are generally similar to ones described by Lee et al. (1985), are replete with epibenthic and endobenthic mollusks. Among them is the razor clam *Solen strictus*, ecologically equivalent to *Ensis directus*, and the gastropod *Euspira fortunei*, which is equivalent to *Polinices duplicatus*. Populations of *S. strictus*

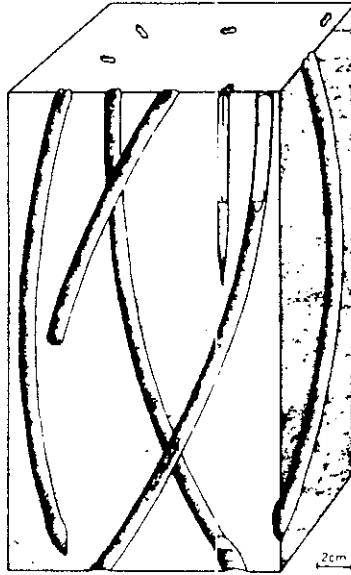


FIGURE 1—Burrows and *in-situ* live individuals of the solenid bivalve *Solen strictus* in muddy sediments of a macrotidal flat near Inchon, Korea. These well-maintained domiciles are lined with a smooth, thick layer of mucus-impregnated sediment; basal enlargements represent dilations of the foot. Escape burrows are considerably more irregular and ephemeral, yet all burrows are arcuate, as governed by the longitudinal curvature of the animal itself.

(Fig. 1) are especially prominent in muddy sediments of the middle reaches of the tidal flat, where *E. fortunei* also is common. Interactions between the two are obvious locally.

Although experiments such as those conducted by Schneider (1982) were not attempted during the short period of study, copious evidence exists for the requisite behavioral patterns. Concrete evidence includes not only the various configurations of dead *in-situ* or displaced shells described by Schneider but



FIGURE 2—Surficial crawling trace of the naticid gastropod *Polinices duplicatus* in moist, poorly sorted sediments of a seaside tidal flat, Georgia. Animal is partly visible (top); finger for scale. Lateral margins of the trail are irregular; arcs of ropy sediment remain in the wake. In more cohesive sediments, the animal produces elongate smooth grooves on the substrate surface (Howard and Dorjes, 1972, fig. 3e). Similar trails are made by the naticid *Euspira fortunei* on Korean tidal flats.

also the lebensspuren produced by *Euspira fortunei* during its search and seizure. Most attacks apparently occur deep within the substrate, beyond ordinary limits of observation. Yet the snail occasionally produces surficial or shallow subsurficial trails (Fig. 2), some of which represent the pursuit of *Solen strictus*. As noted by Schneider, the predator commonly burrows along the course of its prey, whether a permanent domicile or a new pathway of escape, partly obliterating it.

The ichnological record therefore is more informative in some respects than is the zoological one. Although examined without benefit of X-ray radiography, the swaths of sediment reworked by *Euspira fortunei* seem to be closely analogous to the intrastratal crawling traces made by *Polinices duplicatus* (Fig. 3). The anomalous, newly exca-



FIGURE 3—Characteristic subsurface crawling trace of *Polinices duplicatus* in an aquarium, revealed by X-ray radiography. The swath of reworked sediment includes not only the wake of the animal but also the path of its anterior and lateral margins, corresponding to the broad thick foot. Insertion of the foot also causes compression and lateral displacement of sediment. (Adapted from Frey and Howard, 1972)

vated burrows of *Solen strictus* lack the smoothly lined, well-maintained walls of normal burrows (Fig. 1) and also may record erratic, localized movements made during attempted escape from seizure. The latter commonly represent the death throes of the clam and thus may be termed "taphichnia" (*sensu* Sargeant, 1975, p. 319-320).

One glaring omission from the ichnologic record, of course, is the otherwise normal suite of naclid boreholes. These holes, referable to the ichnogenus *Oichnus* (Bromley, 1981), ordinarily constitute the principal record of predation by gastropods (e.g., Paine, 1963; Sohl, 1969; Bishop, 1975). Collectively, such traces are termed "praedichma" (Ekdale, 1985).

Incidence of predation by *Euspira fortunei* is patchy rather than uniform within the environmental zone of *Solen strictus*, however. Broad reaches of the tidal flat may reveal few, if any, direct traces of predation, whereas locally, in otherwise equivalent populations of *S. strictus*, numerous indications may be observed within small areas. There, dead *in-situ* shells projecting above the substrate surface may be as dense as 5/m². Other shells commonly are scat-

tered about the surface. Reasons for the disparity between areas remain unknown but obviously warrant further study. (Unidentified nemertean worms also were observed within the habitat of *S. strictus*; yet, the extent to which they may have participated in this predation [cf., McDermitt, 1976] remains unknown.)

Interestingly, in addition to physical transport by tidal currents, shells of both species are subject to further biogenic displacement after the death of the individuals. Valves of *Euspira fortunei* (Yoo, 1976, pl. 10, figs. 8, 9) are occupied by hermit crabs such as *Diogenes edwardsi*, and the open but articulated valves of *Solen strictus* commonly are hauled around by the dorippid crab *Neodorippe japonica*. Like species of the crab *Hypoconcha* (Schmitt, 1965, fig. 62). *N. japonica* prefers the cover of a disc-like valve such as that of *Cyclina sinensis* or *Maetra veneriformis*; if these are not available, however, *N. japonica* readily selects other detritus (Sakai, 1976, p. 61), including articulated or ligament-bound razor clam valves, and transports many of them beyond the normal environmental range of the clam. Dorippid crabs date back to the Creta-

ceous (Warner, 1977, table 5), hence this valve-carrying habit may be an ancient adaptation.

Predation by *Euspira fortunei* thus results in numerous direct and indirect effects, all of which are potentially important in application to the fossil record: (1) ravaged but essentially *in-situ*, otherwise pristine individuals of *Solen strictus*; (2) slightly to markedly displaced, well-articulated valves, some partly intrastratal and others scattered on the substrate surface; (3) dwelling and escape burrows of *S. strictus* interrupted by crawling traces of *E. fortunei*; and (4) transportation of articulated valves away from the life sites of *S. strictus* by crabs. In addition to their general implications for paleoecology, ichnology, and taphonomy, such circumstances increase the rate of information loss in modern benthic habitats (Cummins et al., 1986)

ACKNOWLEDGMENTS

Research was supported by NSF Grant INT-8515352. The typescript was reviewed by R. G. Bromley and N. F. Sohl.

REFERENCES

- BISHOP, G. A., 1975. Traces of predation. *in* FREY, R. W., ed. *The Study of Trace Fossils*. New York, Springer-Verlag, p. 261-281.
- BROMLEY, R. G., 1981. Concepts in ichnology illustrated by small round holes in shells. *Acta Geologica Hispanica, Concept and Method in Paleontology*, v. 18, p. 55-64.
- COLBATH, S. L., 1985. Gastropod predation and depositional environments of two molluscan communities from the Miocene Astoria Formation at Beverly Beach State Park, Oregon. *Journal of Paleontology*, v. 59, p. 849-869.
- CUMMINS, H., POWELL, E. N., STANTON, R. J., JR., and STAFF, G., 1986. The rate of taphonomic loss in modern benthic habitats: how much of the potentially preservable community is preserved? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 52, p. 291-320.
- EKDALE, A. A., 1985. Paleoecology of the marine endobenthos: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 50, p. 63-81.
- FREY, R. W., and HOWARD, J. D., 1972. Georgia coastal region, Sapelo Island, U.S.A.: sedimentology and biology. VI. Radiographic study of sedimentary structures made by beach and offshore animals in aquaria: *Senckenbergiana Mantua*, v. 4, p. 169-182.

- HOWARD, J. D., and DORJES, J., 1972. Animal-sediment relationships in two beach-related tidal flats; Sapelo Island, Georgia: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 42, p. 608-623.
- LEE, C.-B., PARK, Y.-A., and KUH, C.-H., 1985. Sedimentology and geochemical properties of intertidal surface sediments of the Banweol Area in the southern part of Kyeonggi Bay, Korea. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, v. 20(3), p. 20-29.
- MCDERMOTT, J. J., 1976. Predation of the razor clam *Ensis directus* by the nemertean worm *Cerebratulus lacteus*: *Chesapeake Science*, v. 17, p. 299-301.
- PAINÉ, R. T., 1963. Trophic relationships of 8 sympatric predatory gastropods: *Ecology*, v. 44, p. 63-73.
- SAKAI, T., 1976. Crabs of Japan and the Adjacent Seas. Volume I. Tokyo, Kodansha Ltd., 773 p.
- SARJEANT, W. A. S., 1975. Fossil tracks and impressions of vertebrates. In FREY, R. W., ed., *The Study of Trace Fossils*: New York, Springer-Verlag, p. 283-324.
- SCHMITT, W. L., 1965. Crustaceans: Ann Arbor, University of Michigan Press, 204 p.
- SCHNEIDER, D., 1982. Escape response of an infaunal clam *Ensis directus* Conrad 1843, to a predatory snail, *Polinices duplicatus* Say 1822: *The Veliger*, v. 24, p. 371-372.
- SOHL, N. F., 1969. The fossil record of shell boring by snails. *American Zoologist*, v. 9, p. 725-734.
- TURNER, H. J., JR., 1955. How clam drills capture razor clams. *The Nautilus*, v. 69, p. 20-22.
- WARNER, G. F., 1977. *The Biology of Crabs*: New York, Van Nostrand-Reinhold, 202 p.
- YOO, J.-S., 1976. *Korean Shells in Colour*. Seoul, Il Ji Sa Publishing Co., 196 p. (in Korean).



THE TASK

Oh timid snail, by nature weak and lowly,
Crawl up the cone of Fuji, slowly, slowly

—Issa Kobayashi (1763-1827)

RECENT OSTRACODES FROM THE SOUTHWESTERN SLOPE OF THE ULLEUNG BASIN, EAST SEA, KOREA

HAE-KYUNG CHEONG,* EUI-HYEONG LEE,*
KWANG-HO PAIK* AND SOON-KEUN CHANG**

* *Department of Geology, Korea University, Anam Dong, Seoul, Korea*

** *Korea Ocean Research and Development Institute, P.O. Box 29, Banweol,
Ansan City, Kyonggi-do, 171-14, Seoul, Korea*

ABSTRACT

Ostracodes have been examined from four cores collected from the slope of the Ulleung Basin in the East Sea (Sea of Japan). A total of 117 species belonging to 47 genera of ostracodes are identified. The dominant species are *Metaclytheropteron chejuense*, *Schizocythere kishinouyei*, *Eucythere* sp., *Krithe sawanensis* and *Urocythereis* sp. A.

Ostracode assemblages represent the mixture of warm-water and cold-water species. The fauna is composed mainly of Holocene warm temperate water species, whereas some species are diagnostic to cold water. The core 40-2 is seemed to have been deposited in the warm water environment, whereas the cores 40-1, 41-2 and SL-1 have been dominantly influenced by cold water mass. Part of ostracodes seem to be transported from the neighboring inner shelf environments by currents.

INTRODUCTION

In his pioneer works, Hanai (1957a, 1957b, 1957c, 1959, 1961, 1970) initiated the study of the Recent ostracodes from Japan and its adjacent seas. Ishizaki (1968, 1969, 1971, 1975) reported many shallow water species from the Japanese coasts. Ostracodes in the East China Sea and its adjacent seas were studied by Ishizaki (1977, 1981), Wang, Min and Bian (1978, 1985), Wang, Min and Gao (1985), and Wang and Zhao (1985). From the East Sea (Sea of Japan) no effort has been made until Choe (1985) reported 222 Holocene ostracode species from the Korean seas including the inner-shelf area of the western margin of the Ulleung Basin (Fig. 1).

In the western slope of the inactive Ulleung Back-Arc Basin, Chough (1982, 1983, 1984) and Jeong (1983) reported the existence of slump, slide and debris flow deposits. From the southwestern slope of the basin, Cheong et al. (1985) reported 35 species of planktonic foraminifers and this is the second part of the micropaleontological study, which deals with ostracodes in the area.

The main goals of this report are (1) to document ostracode fauna; (2) to deduce the paleoenvironments of the studied cores; and (3) to illustrate key taxa.

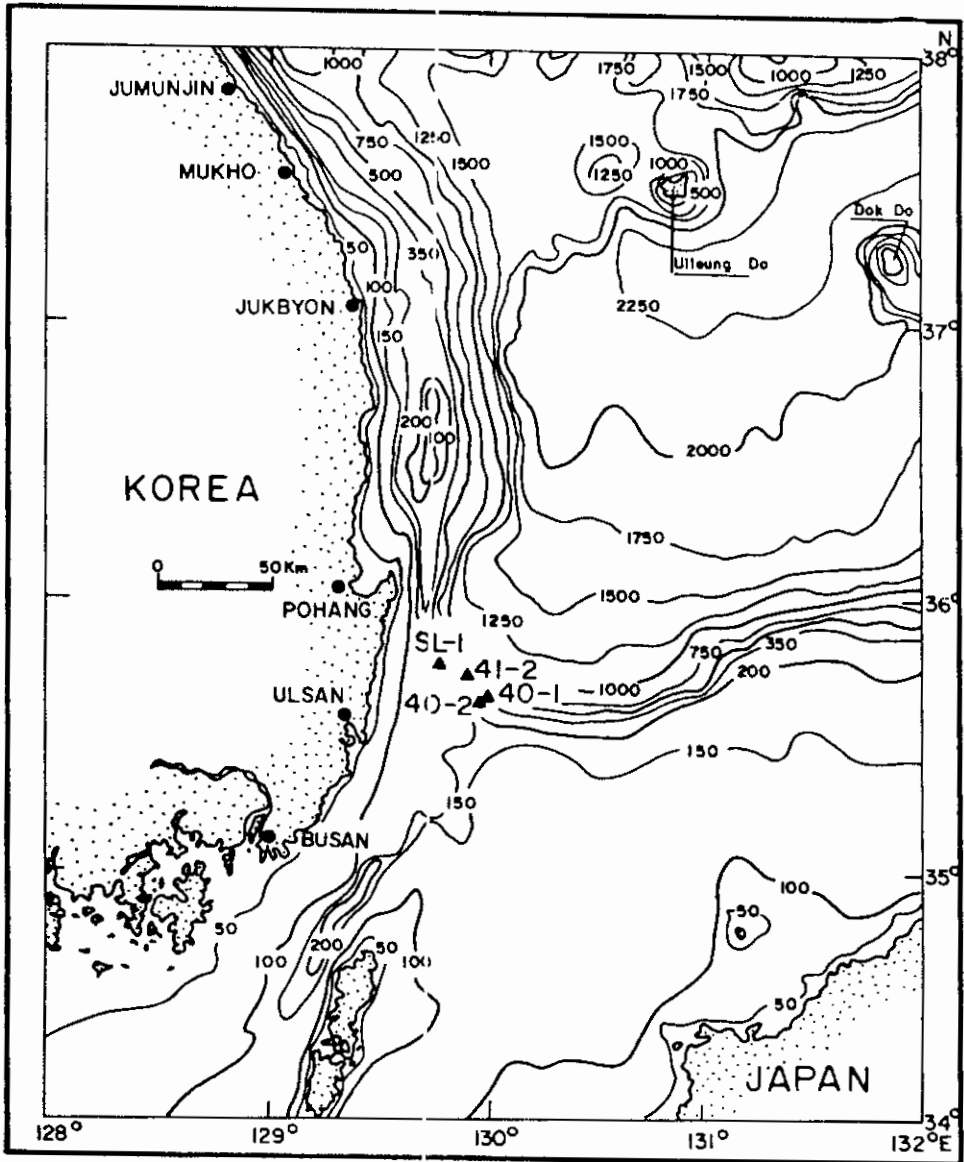


Fig. 1. Location of cores (after Cheong et al., 1985).

MATERIALS AND METHODS

Four piston cores from the slope of the Ulleung Basin (Fig. 1) were selected for this study. Three cores (Core no. 40-1, 40-2, and 41-2) were taken during the cruise in March, 1982 and another core (SL-1) in December, 1983 by using Tsurumi-Seiki piston corer. Core 40-1, 40-2, and SL-1 were raised from the upper slope, and core 41-2 from the middle slope. The upper slope cores consist largely of clayey, muddy and silty sand, whereas middle slope core is dominantly silty (Jeong, 1983; Cheong et al., 1985). The core location, water depth and core length are given in Table 1.

Table 1. Location, water depth and length of the cores.

Core No.	Latitude (N)	Longitude (E)	Water depth (m)	Core length (cm)
40-1	30° 39' 44"	129° 59' 4"	352	90
40-2	35° 39' 0"	129° 59' 3"	305	170
41-2	35° 42' 5"	129° 51' 4"	782	330
SL-1	35° 45' 3"	129° 44' 3"	440	330

RESULTS

As a whole, the recovered ostracode specimens are insufficient for statistic analysis. Among the four cores, core 40-2, occurring extremely rich and well preserved planktonic foraminifers, also contains abundant fossil ostracodes. The others show relatively poor occurrence of ostracode specimens.

Totally, 1877 specimens are examined and 117 species belonging to 47 genera of ostracodes are identified.

Core 40-2

Core 40-2 produces the most prolific ostracode specimens among the studied cores. It yields 1675 valves representing 106 species of 43 genera (Table 2).

The species with high frequency are *Metacytheroan chejuense*, *Schizocythere kishinouyei*, *Eucythere* sp., *Krithe sawanensis* and *Urocythereis* sp. A. Each of these species occupies over 5 percent of total population. Besides, *Urocythereis* sp. B, *Pontocythere subjaponica* and *Robertsonites* ? sp. C, occupy over 3 percent of the total number respectively.

Core 40-1

This core yields only small number of ostracode individuals. Only 31 specimens, belonging to 17 species of 13 genera, were produced and they are listed in Table 3.

The relatively abundant species are *Metacytheroan chejuense*, *Pectocythere* sp., *Hanaiborchella niurensis* and *Robertsonites* sp. B. It is noteworthy that *Palmenella limicola* and *Robertsonites* sp. B, cold water species, are comparatively rich.

Core 41-2

This core yields 96 valves of ostracodes belonging to 14 species of 9 genera (Table 4). Among the 26 studied samples, two samples (209-212 cm and 328-331 cm from the top) are barren.

The dominant species are *Acanthocythereis* ? sp. A, A. ? sp. C, *Actinocythereis* sp., *Krithe gampoensis*, *Kobayashina hyalinosa* and *Krithe sawanensis*. Each of these species occupies over 6 percent of the total number and *Acanthocythereis* ? sp. A is the richest (30%).

Table 2. List of ostracode species from core 40-2.

Species	Sampling depth (cm)																
	12-15	25-29	31	45-48	51-54	63-68	71-74	83-86	90-93	105-108	111-115	125-128	131-136	144-147	151-156	165-168	171-174
<i>Cytherea</i> sp.																	
<i>Neonitidula obodontata</i> (Kajiyama, 1931)				1													
<i>Sinoocythere</i> sp.	1																
<i>Pontocythere kashimawensis</i> (Hanaï, 1959)	2																
<i>P. murensis</i> (Hanaï, 1959)	1																
<i>P. subjaponica</i> (Hanaï, 1959)	7	4	1	5	4	3	3	2	1	4	2	7	1	2	5	2	3
<i>P. sp.</i>																	
<i>Kritha murensis</i> Hanaï, 1959	7	10	11	15	10	5	5	1		4	2	3	4	9	1	1	
<i>K. amurawensis</i> Ishizaki, 1966																	
<i>K. sp.</i>					2		1	1		2	2	5			1	4	3
<i>Parakithella pseudolenta</i> (Hanaï, 1959)																	
<i>Pectocythere gimpsonensis</i> (Choe, 1985)		6	1	2	5	2	4	3	1	2		3	5		3	2	
<i>P. sp.</i>																	
<i>Museyella hatatenensis</i> Ishizaki, 1966	3																
<i>M. oboruzukio</i> Frydl, 1982																	
<i>M. pohangensis</i> (Choe, 1985)																	
<i>Eacythere</i> sp.	6	5	13	6	6	2	6	5	8	1	2	9	6	4	10	4	2
<i>Leptocythere ventriciflora</i> Chen, 1982																	
<i>Callistocythere japonica</i> Hanaï, 1957	5	8	4	3	1	4	2	1	2	5	1		3				
<i>C. reticulata</i> (Hanaï, 1957)																	
<i>C. subjaponica</i> Hanaï, 1957	2	1	3	2	1	1	2	2	2	1		2	2	1	4	2	
<i>C. tateyamaensis</i> Frydl, 1982																	
<i>C. undata</i> Hanaï, 1957																	
<i>C. unclerifacialis</i> Hanaï, 1957																	
<i>C. sp. A</i>																	
<i>C. sp. B</i>																	
<i>Cythere</i> sp.	2	1	4		4	1				1	2		2		2	3	
<i>Schizocythere kishimoyei</i> (Kajiyama, 1913)	7	19	1	8	16	9	2	2			8	7	1	10	2		
<i>S. hanaensis</i> Ishizaki, 1966																	
<i>Hanshanochella murensis</i> (Hanaï, 1970)																	
<i>H. sp. A</i>																	
<i>H. sp. B</i>																	
<i>H. sp. C</i>																	
<i>Palmenella linkola</i> (Normal, 1865)																	
<i>Palmenella</i> sp.																	
<i>Hemicythere</i> sp. A	1	5	4	2	4	4	2					4	3	2	1		
<i>H. sp. B</i>																	
<i>Auridula corniculata</i> Okubo, 1980																	
<i>A. disparis</i> Okubo, 1980																	
<i>A. lineata</i> (Choe, 1985)																	
<i>A. kishimoyei</i> Yajima, 1982																	
<i>A. subcorvina</i> (Kajiyama, 1913)																	
<i>A. tomentosa</i> Ishizaki, 1968	1	1	5	1		1	1						1	2	1		
<i>A. sp. A</i>																	
<i>A. sp. B</i>																	
<i>A. sp. C</i>																	
<i>Flemingochella (Berenzonia) japonica</i> (Ishizaki, 1966)																	
<i>F. (B.) nishii</i> Okada, 1979																	
<i>F. (B.) pohangensis</i> (Choe, 1985)																	
<i>F. (F.) subjaponica</i> (Ishizaki, 1969)																	
<i>F. sp. A</i>																	
<i>F. sp. B</i>																	
<i>F. sp. C</i>																	
<i>Urocytherea gorokuenis</i> (Ishizaki, 1966)																	
<i>U. sp. A</i>	4	4	7	8	9	3	5	3	4	5	9	8	7	2	4	2	2
<i>U. sp. B</i>	5	3	7	7	7	3	5	4	2	7	9	3	2	11	3		
<i>U. sp. C</i>																	
<i>U. sp. D</i>																	
<i>Amboracera japonica</i> (Ishizaki, 1971)																	
<i>Corbiculopsis chokuenis</i> (Choe, 1985)																	
<i>C. mansuetis</i> (Ishizaki, 1966)																	
<i>C. tomentosa</i> (Ishizaki, 1968)	2	2		2	3	4	2	2	2		1	1	2	4	3	6	
<i>Hermanites</i> sp.																	
<i>Coquimbula</i> sp. A																	
<i>C. sp. B</i>																	
<i>Bredleya</i> sp.																	
<i>Acanthocytherea murensis</i> (Ishizaki, 1981)																	
<i>A. ? sp. A</i>																	
<i>Acanthocytherea ? sp. B</i>																	
<i>A. ? sp. D</i>																	
<i>A. ? sp. E</i>																	
<i>Hemicytherea hanaïi</i> (Ishizaki, 1981)																	
<i>Ambione obel</i> (Ishizaki, 1971)																	
<i>Pucambocythere</i> sp.																	
<i>Ambocythere hanaïensis</i> (Choe, 1985)																	
<i>Robertsonites</i> sp. A																	
<i>R. sp. B</i>																	
<i>R. sp. C</i>																	
<i>Stigmatocythere chokuenis</i> (Choe, 1985)																	
<i>Bicornucythere tsunensis</i> (Okubo, 1975)																	
<i>Moselle</i> sp.																	
<i>Hemicytherea</i> sp. A																	
<i>H. sp. B</i>																	
<i>Howella campitocythereoides</i> Hanaï, 1957																	
<i>H. agashimawensis</i> (Ishizaki, 1971)																	
<i>Cytheroparion chejuense</i> (Choe, 1985)																	
<i>C. murensis</i> Hanaï, 1957																	
<i>C. uchii</i> Hanaï, 1957																	
<i>C. sp. A</i>																	
<i>C. sp. B</i>																	
<i>C. sp. C</i>																	
<i>C. sp. D</i>																	
<i>C. sp. E</i>																	
<i>C. sp. F</i>																	
<i>C. sp. G</i>																	
<i>C. sp. H</i>																	
<i>C. sp. I</i>																	
<i>Kobayashina</i> sp.																	
<i>Metacytheroparion chejuense</i> (Choe, 1985)																	
<i>Paracytheridula</i> sp.																	
<i>Laxocochlea (Laxocochlea) laeta</i> (Ishizaki, 1968)																	
<i>L. (L.) sp. A</i>																	
<i>L. (L.) sp. B</i>																	
<i>Xestoleberis agashimawensis</i> (Kajiyama, 1913)																	
<i>Neocytheromorpha longa</i> (Guan, 1976)																	
Total number of individuals	84	108	95	157	143	103	165	73	71	59	99	101	102	40	109	78	38
Total number of species	32	36	54	48	36	30	42	31	25	27	36	27	35	21	35	36	17

Table 3. List of ostracode species from core 40-1.

Species	Sampling depth (cm)									
	0-2	8-11	15-17	19-22	26-28	32-35	42-45	52-55	62-66	75-79
<i>Pontocythere subjaponica</i> (Hanai, 1959)				1		1				1
<i>Krithe sawanensis</i> Hanai, 1959										
<i>Pectocythere</i> sp.	1					1				1
<i>Cythere</i> sp.									1	
<i>Hanaborchella miurensis</i> (Hanai, 1970)	1								2	
<i>Palmenella limicola</i> (Norman, 1865)				2						
<i>Finnarchinella (Barentsovia) japonica</i> (Ishizaki, 1966)							1			
<i>F.</i> sp. A						1				
<i>Urocythereis</i> sp. A									2	
<i>U.</i> sp. B						1				
<i>Acanthocythereis</i> ? sp. A			1							
<i>Robertsonites</i> sp. B			1	2						
<i>R.</i> ? sp. C					1					
<i>Hemicytherea yeosuensis</i> (Choe, 1985)							1			
<i>Cytheropteron miurensis</i> Hanai, 1957									1	
<i>C.</i> sp. A									1	
<i>Metacytheropteron chejuense</i> (Choe, 1985)						1	1	2		1
Total number of individuals	2	0	2	5	1	5	3	2	8	3
Total number of species	2	0	2	3	1	5	3	1	6	3

Table 4. List of ostracode species from core 41-2.

Species	Sampling depth (cm)																									
	15-17	25-29	33-36	50-54	55-57	75-78	81-84	97-99	101-103	169-172	182-185	188-192	203-206	209-212	223-225	243-246	250-253	263-266	270-272	283-286	291-293	303-306	309-312	321-324	328-331	
<i>Propontocypris (Propontocypris)</i> sp.							1					2	2													
<i>Krithe gampoensis</i> (Choe, 1985)																		7					1	1		
<i>K. sawanensis</i> Hanai, 1959																						3				
<i>Actinocythereis</i> sp.	1	1		1	1					2	1	1	1			1	2						2			
<i>Acanthocythereis</i> ? sp. A		1	1	2	2	2	3	1	1	2	2	1	1	1	1	3	1					6	1			
<i>A.</i> ? sp. C				5						2					2											
<i>Ambocythere hamnensis</i> (Choe, 1985)																2										
<i>A. jugbyunensis</i> (Choe, 1985)								1																		
<i>Robertsonites</i> sp. B						2																				
<i>Cytheropteron</i> sp. A																										1
<i>C.</i> sp. J						2																				
<i>Kobayashina hyalinosa</i> Hanai, 1957	1		2	2						1	1							1								
<i>K.</i> sp.							2																			
<i>Loxococoncha (Palmoconcha) saboyamensis</i> Ishizaki, 1966	2	1	1																				1			
Total number of individuals	3	3	1	6	6	4	8	1	2	7	2	1	5	0	7	2	1	4	11	4	2	4	9	2	1	0
Total number of species	2	3	1	2	4	2	5	1	1	3	2	1	4	0	4	1	1	3	4	2	2	2	3	2	1	0

Table 5. List of ostracode species from core SL-1.

Species	Sampling depth (cm)																								
	10-14	29-33	50-54	70-74	90-94	110-114	131-135	150-153	157-159	171-175	187-191	195-198	225-228	233-236	246-249	253-256	266-269	273-276	287-290	293-296	307-309	316-319			
<i>Propontocypris (Propontocypris)</i> sp.											2	1											1		
<i>Argilloecia</i> sp.					1						1												2		
<i>Paracypris</i> sp.					1																				
<i>Krithe gampoensis</i> (Choe, 1985)			5							5	1						1	1	1						
<i>K. sawanensis</i> Hanai, 1959																		2							
<i>Palmenella limicola</i> (Norman, 1865)						1													2	1					
<i>Acanthocythereis</i> ? sp. A	1							2	2	1							1	1		1					
<i>Ambocythere jugbyunensis</i> (Choe, 1985)	1																								
<i>Robertsonites</i> sp. B						1			3		3	3		1	1	5	2							1	
<i>Cytheropteron</i> sp. H															2										
<i>Kobayashina hyalinosa</i> Hanai, 1957					1	1			1	2															
<i>Loxococoncha (Palmoconcha) saboyamensis</i> Ishizaki,						1	1										4						1		
Total number of individuals	2	0	7	1	2	4	1	5	3	10	4	5	0	3	1	6	10	4	1	3	2	1			
Total number of species	2	0	3	1	2	3	1	2	2	4	2	3	0	2	1	3	4	3	1	3	1				

Core SL-1

75 specimens of ostracodes were picked out and the population represents 12 species of 11 genera (Table 5). Among the 26 treated samples, two samples (29-33 cm and 225-228 cm from the top) are barren. The core yields only very limited planktonic foraminifers.

The most frequent species is *Robertsonites* sp. B, which occupies over 26 percent of total population. *Krithe gampoensis*, *Acanthocythereis* ? sp. A and *Loxococoncha (Palmoconcha) saboyamensis* represent comparatively high occurrence ratio.

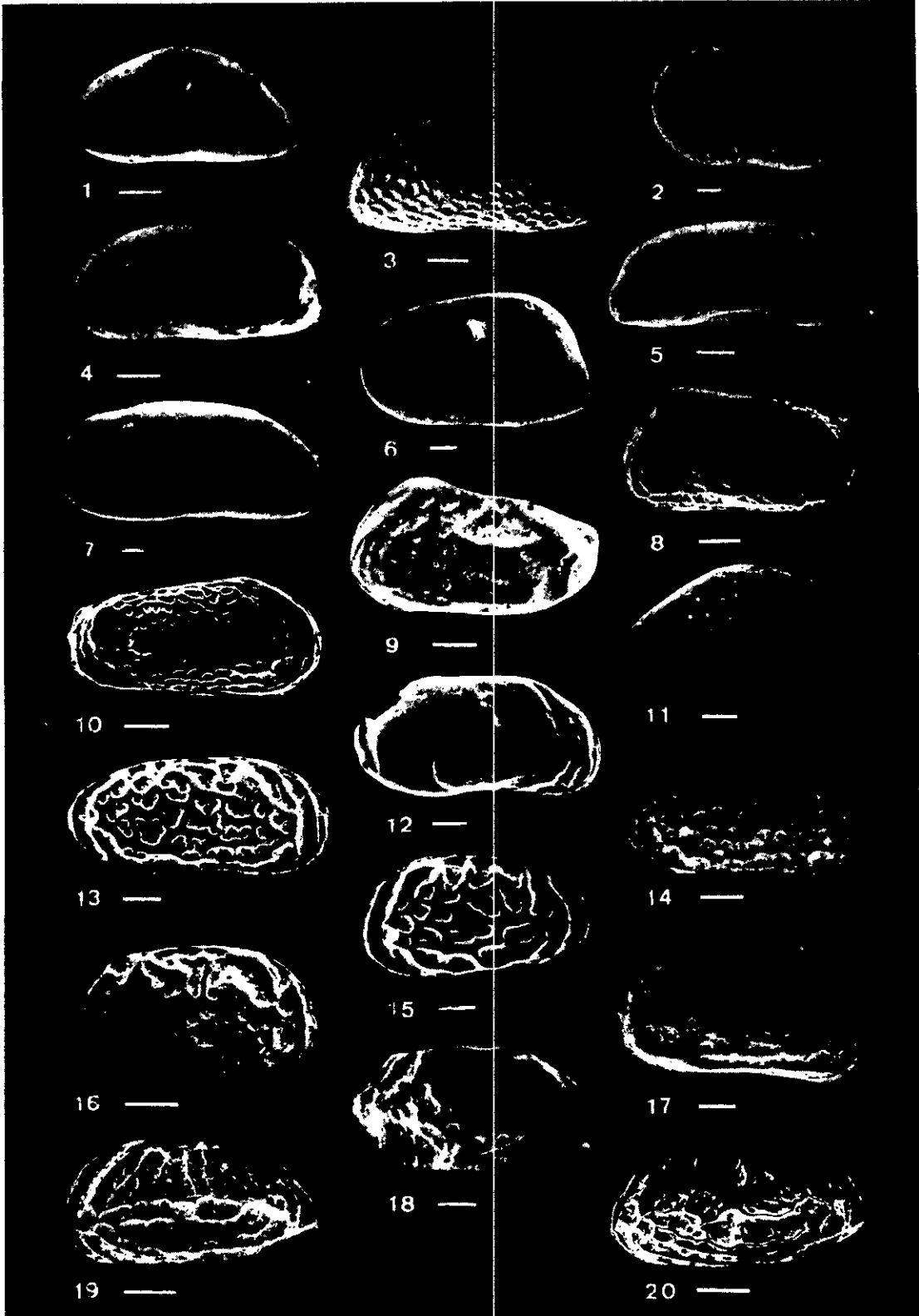
DISCUSSION

Fossil ostracode assemblages from the studied cores represent the mixture of warm-water and cold-water species. Recently, Choe (1985) reported the coexistence of cold-water and warm-water species from the inner shelf area near Pohang, adjacent to the present study area.

A number of ostracode species occurred from the studied cores are the warm-temperate water species which inhabit warm water areas around Japan and Korean Peninsula today. Some of them, such as *Hirsutocythere hanaii*, *Acanthocythereis munechikai* and *Cytheropteron uchioi*, are the characteristic warm-water species which occur abundantly in the East China Sea and Korean South Sea, where strongly influenced by warm water Kuroshio Current (Ishizaki, 1981; Choe, 1985; Wang and Zhao, 1985).

A group of cold-water type ostracode genera including *Palmenella*, *Urocythereis*, *Robertsonites*, *Howeina* and *Finmarchinella*, which are known to be distributed mainly in high latitude areas (Swain, 1963; Hazel, 1967; Hanai, 1970; Neale, 1974; Neale and Howe, 1975), are also found. Many species belonging to these genera, *Palmenella limicola*, *Urocythereis gorokuensis*, *Robertsonites* sp. B, *Finmarchinella (Baren'sovia) pohangensis*, *F. (B.) japonica*, *F. (F.) uraniponica*, *Howeina camptocytheroidea* and *H. higashimeyaensis*, occur considerably in Recent seas around Japan and Korean Peninsula, where affected by cold currents. The southern limits of the former 4 species are so far known to be the northeastern part of Korean South Sea near Pohang and/or the Aomori Bay of N. E. Honshu, Japan (Ishizaki, 1971; Choe, 1985). The latter 4 species extend the distribution limits farther southward to the eastern part of Korean South Sea and/or the Nakanoumi Estuary of Western Honshu, Japan, but the frequency of them tends to decrease greatly toward the south (Ishizaki, 1969; Choe, 1985). According to Wang and Zhao (1985), *Krithe sawanensis* occurs frequently in the northern part of the East China Sea and in the deeper cool water of the Yellow Sea, and *Howeina camptocytheroidea*, a typical cool water species, inhabits the central area of the Yellow Sea cold water mass with bottom temperature of 4-12°C. Besides, *Ambocythere hosanensis*, *A. jugbyunensis*, *Actinocythereis* sp., *Krithe gampoensis*, *Pectocythere gampoensis* and *Munseyella pohangensis* are known as the cold-water species that their occurrence is restricted to the inner shelf of Korean East Sea (Choe, 1985).

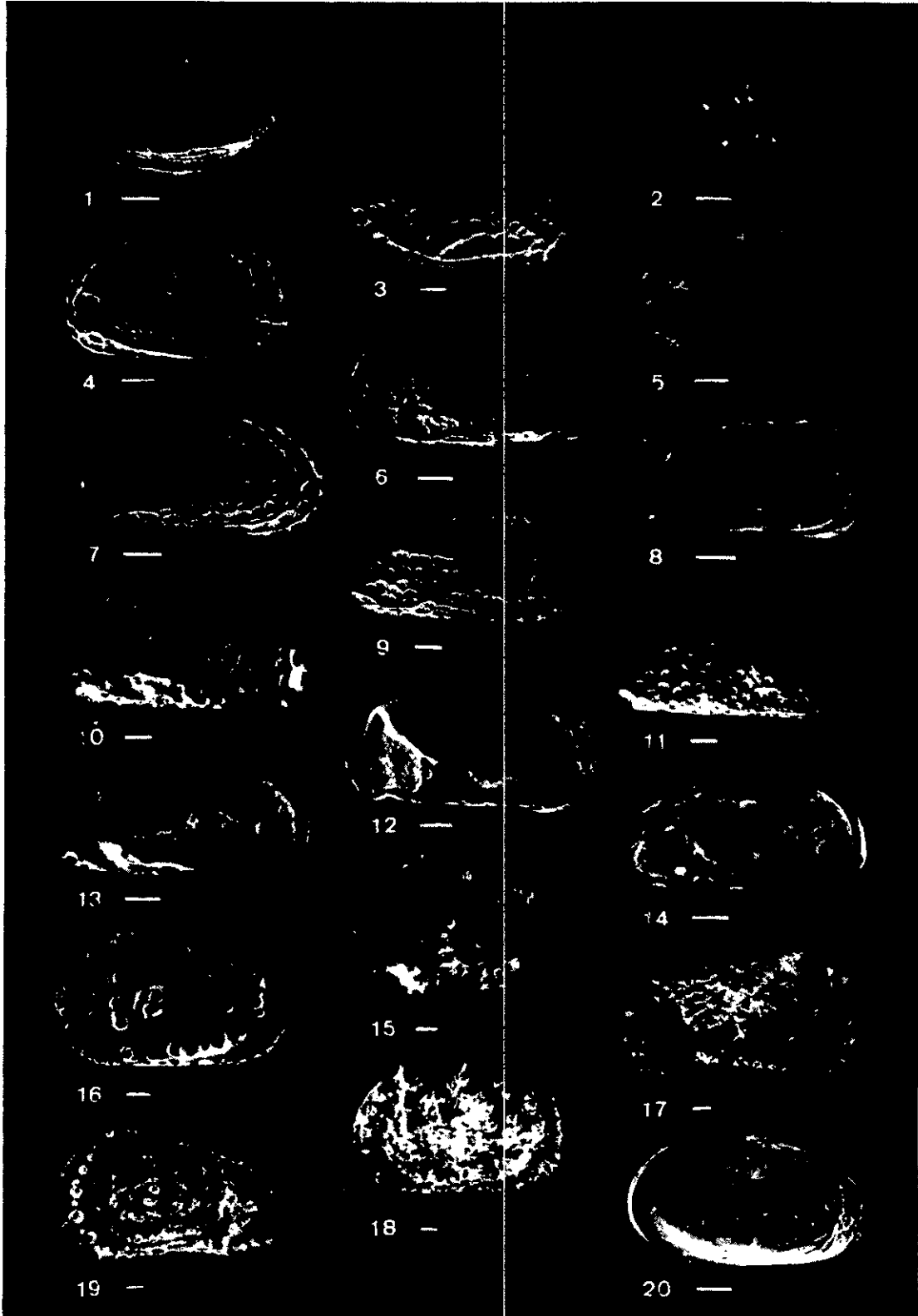
Core 40-2 represents the highest species diversity among the studied cores. In this core, warm-water and temperate-water fauna are far superior to cold-water fauna in the number of ostracode species and specimens. In addition, the occurrence of typical warm-water species such as *Hirsutocythere hanaii*, *Acanthocythereis munechikai* and *Cytheropteron uchioi* is limited to this core. The ratio of cold-water fauna to the total fauna of this core is 32%. The dominance of warm-water and temperate-water species indicates that the influence of warm water was stronger than that of cold water. Accordingly, it is considered that the core 40-2 was deposited in the warm water environment, where more strongly influenced by warm water



Explanation of Plate 1

(bar = 100 μ m)

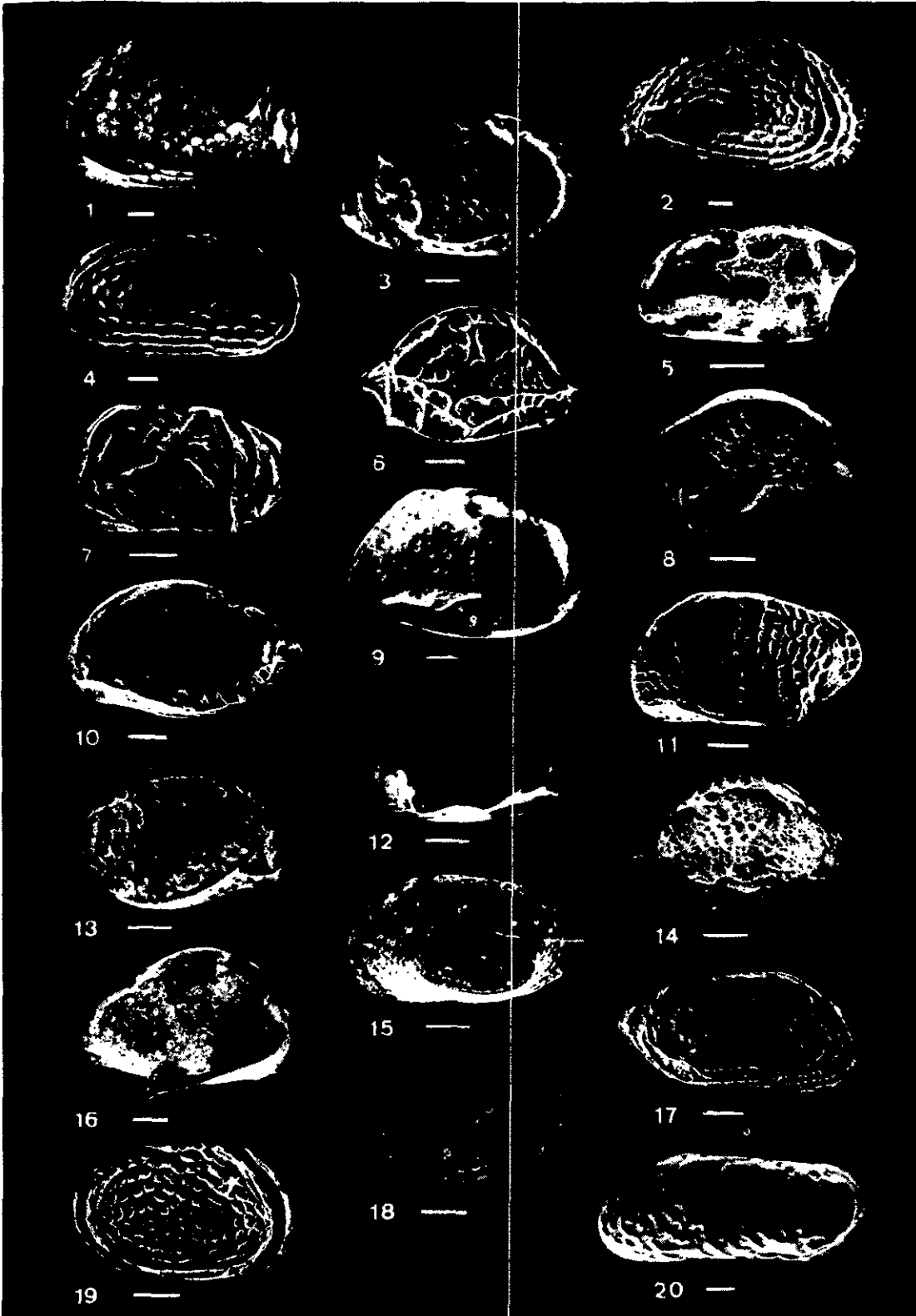
- Fig. 1. *Propontocypris (Propontocypris)* sp.
Lateral view of left valve (PLKU-0-501).
- Fig. 2. *Sinocytheridea* sp.
Lateral view of left valve (PLKU-0-502).
- Fig. 3. *Pontocythere kashiwarensis* (Hanai, 1959)
Lateral view of left valve (PLKU-0-503).
- Fig. 4. *Pontocythere miurensis* (Hanai, 1959)
Lateral view of left valve (PLKU-0-504).
- Fig. 5. *Pontocythere subjaponica* (Hanai, 1959)
Lateral view of right valve (PLKU-0-505).
- Fig. 6. *Krithe gampoensis* (Choe, 1985)
Lateral view of left valve (PLKU-0-506).
- Fig. 7. *Krithe sawanensis* Hanai, 1959
Lateral view of left valve (PLKU-0-507).
- Fig. 8. *Pectocythere gampoensis* (Choe, 1985)
Lateral view of left valve (PLKU-0-508).
- Fig. 9. *Pectocythere* sp.
Lateral view of left valve (PLKU-0-509).
- Fig. 10. *Munseyella polangensis* (Choe, 1985)
Right valve view of carapace (PLKU-0-510).
- Fig. 11. *Eucythere* sp.
Lateral view of right valve (PLKU-0-511).
- Fig. 12. *Leptocythere ventriclivosa* Chen, 1982
Lateral view of right valve (PLKU-0-512).
- Fig. 13. *Callistocythere japonica* Hanai, 1957
Lateral view of right valve (PLKU-0-513).
- Fig. 14. *Callistocythere reticulata* Hanai, 1957
Lateral view of right valve (PLKU-0-514).
- Fig. 15. *Callistocythere subjaponica* Hanai, 1957
Lateral view of left valve (PLKU-0-515).
- Fig. 16. *Callistocythere undata* Hanai, 1957
Lateral view of right valve (PLKU-0-516).
- Fig. 17. *Cythere* sp.
Lateral view of right valve (PLKU-0-517).
- Fig. 18. *Schizocythere kishinouyei* (Kajiyama, 1913)
Right valve view of carapace (PLKU-0-518).
- Fig. 19. *Hanaiborchella miurensis* (Hanai, 1970)
Lateral view of left valve (PLKU-0-519).
- Fig. 20. *Hanaiborchella* sp. A
Lateral view of left valve (PLKU-0-520).



Explanation of Plate 2

(bar = 100 μ m)

- Fig. 1. *Palmenella limicola* (Norman, 1865)
Lateral view of left valve (PLKU-0-521).
- Fig. 2. *Hemicythere* sp. A
Lateral view of right valve (PLKU-0-522).
- Fig. 3. *Aurila kiritsubo* Yajima, 1982
Lateral view of right valve (PLKU-0-523).
- Fig. 4. *Aurila subconvexa* (Kajiyama, 1913)
Lateral view of left valve (PLKU-0-524).
- Fig. 5. *Aurila* sp. B
Lateral view of right valve (PLKU-0-525).
- Fig. 6. *Finmarchinella (Barentsovia) pohangensis* (Choe, 1985)
Lateral view of left valve (PLKU-0-526).
- Fig. 7. *Finmarchinella (Finmarchinella) uranipponica* Ishizaki, 1969
Lateral view of right valve (PLKU-0-527).
- Fig. 8. *Finmarchinella* sp. C
Lateral view of right valve (PLKU-0-528).
- Fig. 9. *Urocythereis gorokueensis* Ishizaki, 1966
Lateral view of right valve (PLKU-0-529).
- Fig. 10. *Urocythereis* sp. A
Lateral view of left valve (PLKU-0-530).
- Fig. 11. *Urocythereis* sp. B
Lateral view of right valve (PLKU-0-531).
- Fig. 12. *Ambostracon japonicus* (Ishizaki, 1971)
Lateral view of right valve (PLKU-0-532).
- Fig. 13. *Cornucoquimba mon.wensis* (Ishizaki, 1966)
Lateral view of right valve (PLKU-0-533).
- Fig. 14. *Cornucoquimba tosaensis* (Ishizaki, 1968)
Lateral view of right valve (PLKU-0-534).
- Fig. 15. *Actinocythereis* sp.
Lateral view of left valve (PLKU-0-535).
- Fig. 16. *Acanthocythereis* ? sp. E
Lateral view of left valve (PLKU-0-536).
- Fig. 17. *Acanthocythereis* ? sp. A
Lateral view of right valve (PLKU-0-537).
- Fig. 18. *Acanthocythereis* ? sp. B
Lateral view of left valve (PLKU-0-538).
- Fig. 19. *Acanthocythereis* ? sp. C
Lateral view of left valve (PLKU-0-539).
- Fig. 20. *Ambocythere hosaneensis* (Choe, 1985)
Lateral view of left valve (PLKU-0-540).



Explanation of Plate 3

(bar = 100 μ m)

- Fig. 1. *Robertsonites* sp. E
Lateral view of left valve (PLKU-0-541).
- Fig. 2. *Robertsonites* ? sp. C
Lateral view of right valve (PLKU-0-542).
- Fig. 3. *Stigmatocythere chujaensis* (Choe, 1985)
Lateral view of right valve (PLKU-0-543).
- Fig. 4. *Bicornucythere bisinensis* (Okubo, 1975)
Lateral view of right valve (PLKU-0-544).
- Fig. 5. *Hemicytherura yeosuensis* (Choe, 1985)
Lateral view of left valve (PLKU-0-545).
- Fig. 6. *Hemicytherura* sp. A
Lateral view of right valve (PLKU-0-546).
- Fig. 7. *Hemicytherura higashimeyaensis* Ishizaki, 1971
Lateral view of left valve (PLKU-0-547).
- Fig. 8. *Cytheropteron miurense* Hanai, 1957
Lateral view of right valve (PLKU-0-548).
- Fig. 9. *Cytheropteron uch'oi* Hanai, 1957.
Lateral view of left valve (PLKU-0-549).
- Fig. 10. *Cytheropteron* sp. A
Lateral view of left valve (PLKU-0-550).
- Fig. 11. *Cytheropteron* sp. B
Lateral view of left valve (PLKU-0-551).
- Fig. 12. *Cytheropteron* sp. C
Lateral view of right valve (PLKU-0-552).
- Fig. 13. *Cytheropteron* sp. D
Lateral view of right valve (PLKU-0-553).
- Fig. 14. *Cytheropteron* sp. E
Lateral view of right valve (PLKU-0-554).
- Fig. 15. *Cytheropteron* sp. F
Lateral view of left valve (PLKU-0-555).
- Fig. 16. *Kobayashiina hyalinosa* Hanai, 1957
Lateral view of right valve (PLKU-0-556).
- Fig. 17. *Metacytheropteron chejuense* (Choe, 1985)
Lateral view of right valve (PLKU-0-557).
- Fig. 18. *Loxoconcha (Loxoconcha) laeta* Ishizaki, 1968
Lateral view of right valve (PLKU-0-558).
- Fig. 19. *Loxoconcha (Palmæconcha) saboyamensis* Ishizaki, 1966
Lateral view of right valve (PLKU-0-559).
- Fig. 20. *Neocytheromorpha longa* (Guan, 1978)
Lateral view of left valve (PLKU-0-560).

current, probably the East Korea Warm Current which flows northward, than by cold water current.

The other three cores (cores 40-1, 41-2, and SL-1) taken from relatively deeper part of the study area contain less number of ostracode species and specimens. And these cores are characterized by the drastic decrease or disappearance of warm-water and temperate-water species and the accompanying increase of cold-water species. Moreover, it is noteworthy that the characteristic warm-water species such as *Hirsutocythere hanaii*, *Acanthocythereis munechikai* and *Cytheropteron uchioi* do not occur at all in these cores. Judging from the facts mentioned above, it is assumed that the cores 40-1, 41-2 and SL-1 were dominantly influenced by cold water mass, probably the North Korea Cold Current which flows southward along the eastern coast of Korean Peninsula. Among these three cores, core SL-1 represents the highest frequency of cold-water species, and the ratio of cold-water species in this core reaches over 57%. In cores 40-1 and 41-2, the ratio of cold-water species is 42% and 37% respectively. Therefore, it seems that core SL-1 was influenced more strongly by cold water mass than any other cores.

According to planktonic Foraminifera (Cheong et al., 1985), in core 40-1, 41-2 and SL-1, cold water fauna dominated whereas in core 40-2, the warm water fauna.

In core 40-2, it is noticeable that the characteristic near-shore water species, e.g., *Bicornucythere bisanensis*, and *Sinocytheridea* sp., occur in company with the typical deep-water species, e.g., *Hirsutocythere hanaii*, *Acanthocythereis munechikai*, and *Cytheropteron uchioi*.

Lots of ostracode species occurred from core 40-2 are commonly living in the shallow seas along the coasts of Korean Peninsula, Japan and China today. Especially, *Bicornucythere bisanensis* and genus *Sinocytheridea* are the typical shallow water inhabitants which are predominantly distributed in the near-shore environments at depths less than 50m (Choe, 1985; Wang and Zhao, 1985). On the other hand, *Hirsutocythere hanaii*, *Acanthocythereis munechikai* and *Cytheropteron uchioi* are found with a relatively high frequency in the East China Sea and the Korean South Sea, around the depth of 100m (Ishizaki, 1981; Choe, 1985; Wang and Zhao, 1985). Accordingly it is presumed that the population in core 40-2 is a mixture of autochthonous and allochthonous ostracode assemblages.

According to Chough (1983), the currents, which winnow fine particles into deep water, play an important role in Recent sediment distribution on the southeastern shelf of the Korean Peninsula. And also he considered that the Tsushima Current flowing north-and northeast-ward exerts an important effect upon the distribution pattern of coarse-grained particles on the southeastern corner of Korean Peninsula. Aoki et al. (1974) suggested that the Tsushima Current, flowing into the Japan Sea from the East China Sea, have influence on the transportation of fine-grained materials into the Japan Sea from the southwest. In addition, high resolution reflection profiles on the surrounding shelf of the Ulleung Basin show a prograding toplap sequence suggesting an active transport of sediments toward the shelf break (Chough, 1983).

Considering the above mentioned facts, it is assumed that some of the fauna were transported into the study area from the neighboring shallow water environments along with clastic terrigenous sediments by strong currents. In fact, high species diversity and high ratio of shallow warm water species in the core 40-2 support this inference. Unlike the core 40-2, the cores 40-1, 41-2 and SL-1, taken from relatively deeper parts of the study area, show the low species diversity and the near absence of shallow warm water species. These can be explained by the decreased influx of ostracode valves from the shallow region resulting from the weakening of current strength.

Sample treatment and core description are found in first part of this study (Cheong et al., 1985). From the dried residue, all ostracode specimens were picked out.

CONCLUSION

The four cores taken from the southwestern slope of the Ulleung Basin in the East Sea were studied on the micropaleontological viewpoint. A total of 117 species of 47 genera of ostracodes were identified and its major constituents are illustrated in SEM microphotographs.

Ostracode specimens occur very sparsely in the three cores, 40-1, 41-2, and SL-1, which seem to be dominantly influenced by cold water current, probably the North Korea Cold Current. Ostracodes are relatively abundant in the core 40-2, representing the strong influence of warm water current such as the East Korea Warm Current. Many of ostracodes are the shallow and warm temperate water species. They are considered to be transported into this area from the shallower inner-shelf area by currents.

ACKNOWLEDGEMENT

Dr. S.K. Chough, Department of Oceanography, Seoul National University, kindly provided the core sediments for the study. The scanning electron micrographs were taken with help of Mr. Y.K. Lee, Korea University.

동해 울릉분지 남서사면에서 채출된 개형충 군집

정혜경 · 이의형 · 백광호 · 장순근 *

고려대학교 이과대학 지질학과

해양연구소: 해양지질실 *

요 약

이 연구는 동해의 울릉분지 남서사면에서 채취된 4개의 시추심으로부터 산출되는 개형충 (Ostracoda)에 대한 미고생물학적 연구이다. 총 47속 117종의 개형충이 감별되었으며, 구세종은 *Metacytheropecton chejuense*, *Schizocythere kishinouyei* *Eucythere* sp., *Krithe sawanensis*, *Urocythereis* sp. A 등이다.

개형충 군집은 대체로 온난해에서 서식하는 구세종들로 이루어져 있으며, 한해의 특징적인 종들도 소수 포함되어 있다. 시추심 40-1, 41-2, SL-1은 한류의 영향이 우세했던 것으로 보이며, 시추심 40-2는 난류의 영향을 강하게 받은 환경에서 퇴적된 것으로 보인다. 개형충 군집중 천해종들이 상당수 포함되어 있다. 점으로 보아, 이들이 천해의 대륙붕 환경으로부터 해류에 의해 이 지역으로 운반되어 온 것으로 생각된다.

REFERENCE

- Aoki, S., Oinuma, K. and Suto, T., 1974. The distribution of clay minerals in the Recent sediments of the Japan Sea: *Deep-Sea Res.*, v. 21, p.299-310.
- Choe, K.L., 1985. Recent Marine ostracodes from Korea. Ph. D thesis, Univ. of Tokyo.
- Cheong, H.K., Chang, S.K., Paik, K.H., 1985. Planktonic Foraminifera from the southwestern

- slope of the Ulleung Basin, East Sea, Korea. *Jour. Paleont. Soc. Korea*, v. 1, no. 1, p. 51-70.
- Chough, S.K., 1982. Turbidites in the Ulleung (Tsushima) Back Arc Basin, East Sea (Sea of Japan), in Hoshino, M. and Shibasaki, T., eds., *Geology of Japan Sea: Tokai University Press*. p. 365-376.
- Chough, S.K., 1983, Marine geology of Korean seas. Publ D. Reidel Publ. Co., 157p.
- Chough, S.K., 1984. Fine-grained turbidites and associated mass flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan), in Stow, D.A.V., and Piper, D.J.W., eds., *Fine-grained Sediments, Deep-water Processes and Facies: Geol. Soc. of London Spec. Pub.* no. 14.
- Hanai, T., 1975a. Studies on the Ostracoda from Japan, I. Subfamily Leptocytherinae, n. subfam. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, sec. 2, v. 10, pt. 3, p. 431-468.
- Hanai, T., 1975b. Studies on the Ostracoda from Japan, II. Subfamily Pectocytherinae, n. subfam., *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, sec. 2, v.10, pt. 3, p. 469-482.
- Hanai, T., 1975c. Studies on the Ostracoda from Japan, III. Subfamilies Cytherurinae G.W. Müller (emend. G.O. Sars 1925) and Cytheropterinae n. subfam., *Journ. Fac. Sci. Univ., Tokyo*, sec. 2, v. 11, pt.1, p. 11-36.
- Hanai, T., 1959. Studies on the Ostracoda from Japan, IV. Family Cytherideidae Sars, 1925, *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, sec. 2, v. 11, pt. 3, p. 291-308.
- Hanai, T., 1961. *Spinileberis*, a new genus of Ostracoda from the Pacific. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*. N.S., no. 44, p. 167-170.
- Hanai, T., 1970. Studies on the ostracod subfamily Schizocytherinae Mandelstam. *Jour. Paleontology*, v. 44, no. 4, p. 693-729.
- Hazel, J.E., 1967. Classification and distribution of the Recent Hemicytheridae and Trachyleberididae (Ostracoda) off northeastern North America. *U.S. Geol. Surv., Proc. Paper* 564, 49p.
- Ishizaki, K., 1968. Ostracodes from Uranouchi Bay, Kochi Prefecture, Japan. *Tohoku Univ., Sci. Rept.*, 2nd ser. (Geology), v. 40, no. 1, p. 1-45.
- Ishizaki, K., 1969. Ostracodes from Shinjiko and Nakanoumi, Shimane Prefecture, western Honshu, Japan. *Tohoku Univ., Sci. Rept.*, 2nd ser. (Geology), v. 41, no. 2, p. 197-224.
- Ishizaki, K., 1971. Ostracodes from Aomori Prefecture, northeast Honshu, Japan. *Tohoku Univ., Sci. Rept.*, 2nd ser. (Geology), v. 43, no. 1, p. 59-97.
- Ishizaki, K., 1975. Morphological variation in *Leguminocythereis? hodgii* (Brady), Ostracoda (Crustacea) from Japan. *Bull. Am. Paleontology*, v. 65, no. 282, p. 245-262.
- Ishizaki, K., 1977. Distribution of Ostracoda in the East China Sea: A justification for the existence of the paleo-Kuroshio Current in the late Cenozoic. *Proc. Sixth Intern. Ostracod Symposium, Saalfelden (Salzburg)*, p. 425-440.
- Ishizaki, K., 1981. Ostracoda from the East China Sea. *Tohoku Univ. Sci. Rept.*, 2nd ser. (Geol.), v. 51, no. 5, 1-2, p. 37-65.
- Jeong, K.S., 1983. Acoustically identified mass flow deposits in the Ulleung Back-Arc Basin, East Sea. Graduate thesis, Seoul Nat. Univ., (M.S.), 123p.

- Neale, J.W., 1974, The genus *Finmarchiella* Swain 1963 (Crustacea: Ostracoda) and its species. *Bull. Br. Mus. nat. Hist. (Zool)*, v. 27, no. 2, p. 83-93.
- Neale, J.W., and Howe, H.V., 1975. The marine Ostracoda of Russian Harbour, Novaya Zemlya and other high latitude faunas. *Bull. Amer. Paleont.*, v. 65, no. 282, p. 381-417.
- Swain, F.M., 1963. Pleistocene Ostracoda from the Gubik Formation, Arctic coastal plain, Alaska. *Jour. Paleontology*, v. 37, no. 4, p. 789-834.
- Wang, P., Min, Q. and Bian, Y., 1978. Distribution of Foraminifera and Ostracoda in bottom sediments of the northwestern part of the southern Yellow Sea. *Lab. Marine Micropal.*, Dept. Marine Geol., Tuny-Chi Univ., p. -115.
- Wang, P., Min, Q. and Bian, Y., 1985. Distribution of Foraminifera and Ostracoda in bottom sediments of the northwestern part of the South Huanghai (Yellow) Sea and its geological significance. in P. Wang, ed., *Marine Micropaleontology of China*, China Ocean Press, Beijing, p. 93-114.
- Wang P., Min, Q. and Gao, J., 1985. A preliminary study of foraminiferal and ostracod assemblages in the Huanghai Sea. in P. Wang, ed., *Marine Micropaleontology of China*, China Ocean Press, Beijing, p. 115-132.
- Wang, P., Min, Q. and Zhao, Q., 1985. Ostracod distribution in bottom sediments of the East China Sea. in P. Wang, ed., *Marine Micropaleontology of China*, China Ocean Press, Beijing, p. 70-92.
- Yajima, M., 1982. Late Pleistocene Ostracoda from the Boso Peninsula, Central Japan. In Hanai, T.(ed.), *Studies of Japanese Ostracoda*, *Univ. Tokyo, Univ. Museum, Bull.*, no. 20, p. 141-227.

Manuscript received July 5, 1986

A Study on the *Gymnodinium nagasakiense* Red-Tide in Jinhae Bay of Korea

Lee, Jin Hwan and Hi-Sang Kwak*

(Dept. of Biology, Sangmyung Women's University, Korea Ocean Research
and Development Institute*)

鎮海灣의 *Gymnodinium nagasakiense* 赤潮에 관한 研究

李 晋 煥 · 郭 熙 相*

(祥明女子大學 生物學科 · 海洋研究所*)

ABSTRACT

Relationship between the causative organisms of red-tide and environmental factors had been ecologically dealt with. The surveys were conducted at seven stations in Jinhae Bay from July to September 1981. The water temperature and salinity had wide range, *i. e.* 23.3~29.3°C and 19.78~31.29‰, but several chemical factors remarkably fluctuated; dissolved oxygen 102.9~210.4 %, COD 2.10~8.96mgO₂/l, pH 8.1~9.4, NO₃-N trace~1,052μg/l, PO₄-P 0.6~58.9μg/l and chlorophyll-*a* 2.18~290.5mg/m³ in the observed area. The red-tide was mainly caused by two dinoflagellate taxa throughout major outbreaks occurred in July through September. Leading species of red-tide were *Gymnodinium nagasakiense* belong to the major species and *Prorocentrum micans*, *P. minimum*, *P. triestinum* as minor species. During the surveyed period, cell numbers of the causative organisms of the red-tide extensively varied from 3×10⁴ cells/l to 1.5×10⁷ cells/l with months and stations; *Prorocentrum* spp. 0.3~12.5×10⁶ cells/l in July; *Gymnodinium nagasakiense* 0.2~5.9×10⁶ cells/l, 1.1~4.7×10⁶ cells/l, and 0.2~15.1×10⁶ cells/l in July, August, and September, respectively. *Gymnodinium nagasakiense* red-tide seemed to be caused by the high water temperature in summer, unusually low salinity due to heavy rains, and the concentrated nutrients for phytoplankton supplied with the municipal sewages from the urban areas and the wastewaters from the industrial complexes.

* This study was supported by Korea Ocean Research and Development Institute. Contribution No.: BSPE00031-56-7

INTRODUCTION

Large-scale red-tides due to *Gymnodinium* species had occurred for the first time in Omura Bay of Japan in 1965 (Iizuka and Irie, 1966). Lee *et al.* (1981a) had newly recorded the distribution of this species in Jinhae Bay located on the southern coast of Korea. During the summer in 1981 and 1982 huge red-tides were caused by *Gymnodinium* species and damaged to the various aquatic products (Cho, 1981; Park, 1982). Yoo(1984) studied on the population dynamics of red-tide organisms in the coastal waters of Korea. Among them, *Gymnodinium* species had been also reported on the abundant occurrence during the periods from June to October in 1981 and 1982.

The purpose of this paper is ecologically to study on the *Gymnodinium nagasakiense* red-tide occurred during the periods from July to September 1981 in Jinhae Bay.

STUDY AREAS

The proposed Jinhae Bay is located in the southern part of Korea (Fig. 1). The Bay, which is adjacent to Masan, Changwon, and Jinhae cities, is well protected by Geoje Island and encircled land mass. The topography of the Bay is largely divided into three embayments of the Masan, Haengam, and Jindong Bay.

Until the 1960's, there were many aquacultural activities such as oyster beds, laver farms, hard-shelled mussel fields *etc.* scattered around this Bay. During the last two decades, industrialization and urbanization had been taken place very rapidly in Korea, accompanied by an alarming increases in deterioration of quality of coastal waters, especially near the large cities and the near-sea industrial complexes. The total input, into the surveyed area from municipal effluents for the pollution, was equivalent to 500,000 people and the main point sources of the pollution were the above cities scattered around the coastal zone of Masan and Jinhae areas. Therefore, the proposed Bay had been directly or indirectly influenced by the discharge of fully or partially treated wastewaters from the industrial complexes and sewages from the urban area. In recent years, biological phenomena in the basin such as plankton blooms and red-tides appeared increasingly at frequent intervals and were intensified mainly due to ever-increased industrial activities in the towns and cities surrounding this Bay.

The area of the stations 1, 2, and 3 was named Masan Bay because of the Masan area at the inner harbour of the Jinhae Bay near Masan and Changwon cities, the station 4 was Haengam Bay because of being adjacent to Jinhae City and Jinhae Chemical Co. (fertilizer plant), and the area of stations 5, 6, and 7 Jindong Bay, where was important for the marine aquaculture grounds.

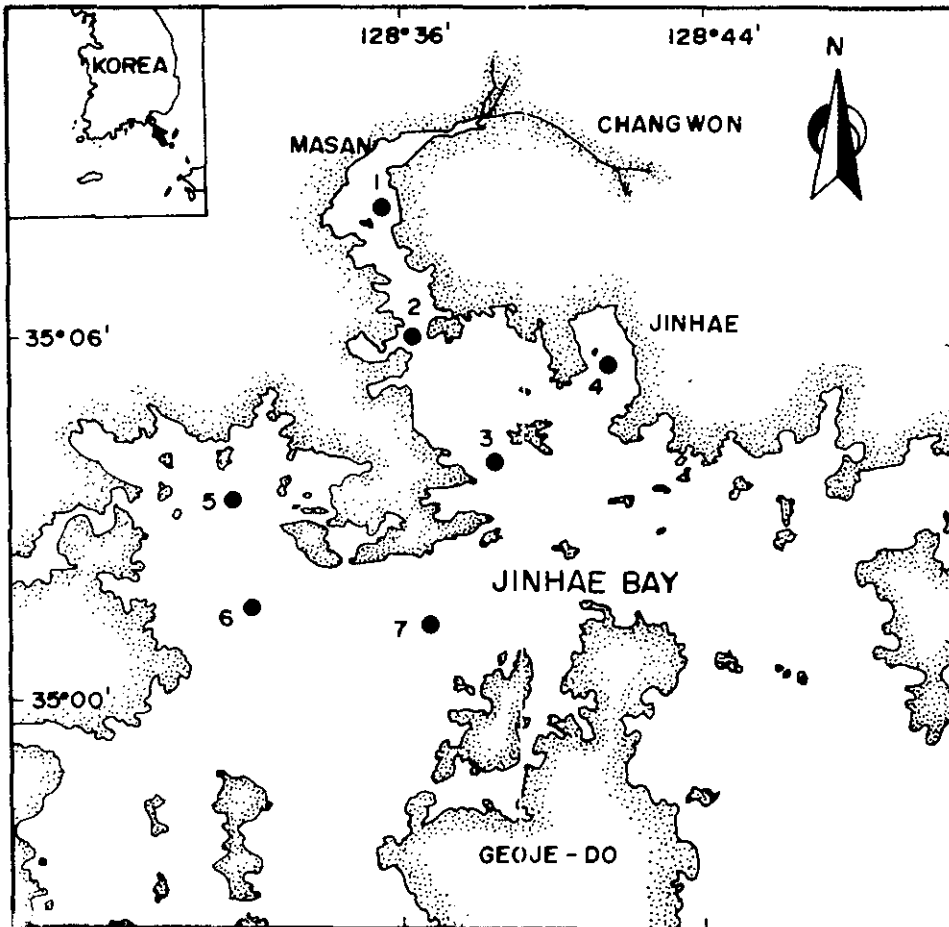


Fig.1. Sampling stations in jinhae Bay.

GYMNODINIUM NAGASAKIENSE AS MATERIAL

The nomenclature of this species had not been officially termed until 1975. This species had been called by the various tentative names during the period of fifteen years from 1966 to 1981 in Japan, for example, *Gymnodinium* sp. (Iizuka and Irie, 1966), *Gymnodinium* sp. 1 (Adachi, 1972), and *Gymnodinium* '65-type (Iizuka, 1972, 1976, 1979; Iizuka and Irie, 1969; Hirayama and Numaguchi, 1972; Hirayama *et al.*, 1972; Numaguchi and Hirayama, 1972; Takayama, 1981). However, Iizuka and Nakajima (1975) had made an attempt to give a name of *Gymnodinium nagasaki* and one of the other authorities tentatively selected the name *Gymnodinium nagasakii*. Takayama and Adachi (1984) had described the morphological characters of this species and they had given a new taxonomical name of the *Gymnodinium*

nagasakiense according to the rules of International Code of Botanical Nomenclature.

METHODS

Measurements of physicochemical factors Temperature and dissolved oxygen contents in seawater were measured *in situ* using Dissolved Oxygen Meter (YSI Model 57). Temperature was then calibrated with U.S. NBS-certified thermometer and saturation percentages of dissolved oxygen were computed from dissolved oxygen contents using Weiss's tables (Weiss, 1970). Salinity was determined by Inductively Coupled Salinometer (601MkIV). The pH determination was carried out *in situ* by using pH meter (Orion Model 407 A/F). The transparency was detected using secchi disc in meter. Chemical oxygen demands(COD), nitrate-nitrogen, phosphate-phosphorus and chlorophyll-*a* were determined according to Strickland and Parsons(1972).

Phytoplankton sampling Phytoplankton samples were collected using a van Dorn water sampler and preserved with Lugol's solution at the selected seven stations during the period from July to September in 1981. In laboratory the settling method was adopted for both quantitative and qualitative analyses. From each sample a well-mixed aliquot (1ml) was then transferred to a slide and all of the species were identified. Cell counting for phytoplankton was performed in the Sedgwick-Rafter Counting Chamber and the sum of the counts were calculated and expressed for the phytoplankton standing crops in cells/l.

RESULTS

Comparison of detected characteristics with 3 Bay The comparisons of physicochemical and biological parameters in these observed areas were shown in Table I with those of eutrophicated seawaters (Yoshida, 1973). The mean transparencies were the shortest in Masan Bay with 1.0m in depth, and 2.0m in Haengam and Jindong Bay. The mean values of the chemical oxygen demands(COD) were 5.62, 4.23, and 4.95mgO₂/l in the surface water of Masan, Haengam, and Jindong Bay, respectively. The dissolved nitrate-nitrogen concentrations of surface apparently varied with different order of values in each Bay. The average in Masan Bay was about 3 and 12 times as high as those in Haengam and Jindong Bay, respectively. On the other hand, it was interested to note that the phosphate-phosphorus concentrations of surface in Haengam Bay was exceeded far more than those of Masan Bay. pH in most stations got over 8.6. Saturations of dissolved oxygen in surface were definitely different from those of bottom. All of the saturations in the surface water were supersaturated, but those of the bottom were unsaturated. The monthly mean values of chlorophyll-*a* were about 40, 10, and 47mg/m³

Table 1. The average characteristics of physicochemical and biological parameters in surface water compared with eutrophicated seawaters in Jinhae Bay of Korea during the summer (July~Sept.) in 1981

Parameters	*E.S.	Stations											
		1, 2, 3(Masan Bay)				4(Haengam Bay)				5, 6, 7(Jindong Bay)			
		July	Aug.	Sept.	mean	July	Aug.	Sept.	mean	July	Aug.	Sept.	mean
Transparency(m)	3~10	1.0	1.5	1.0	1.0	3.0	1.0	1.5	2.0	3.5	1.5	1.5	2.0
C.O.D.(mgO ₂ /l)	1~3	4.6	7.5	4.8	5.6	2.8	4.5	5.4	4.2	3.3	6.6	5.0	5.0
NO ₃ -N(μ gN/l)	24~140*	613.7	785.0	342.3	580.3	93.0	nd	310.0	201.5	17.0	nd	122.3	69.7
PO ₄ -P(μ gN/l)	30~100*	19.9	31.2	44.4	31.8	35.4	71.6	35.8	47.6	4.1	25.1	27.3	18.6
pH	--	9.3	8.4	8.2	8.6	8.6	8.4	8.7	8.6	8.7	9.0	8.6	8.8
Saturation of D.O.(%)	S : 100	179.6	179.9	151.5	170.3	102.9	210.4	162.3	158.5	130.7	171.0	156.4	152.7
	B : 30~80	26.7	10.0	41.4	26.0	75.3	10.2	60.0	48.5	86.9	30.0	59.4	58.8
Chl.-a(mg/m ³)	1~30	27.0	31.9	61.5	40.1	2.5	17.3	9.3	9.7	5.4	114.3	22.0	47.2

* Eutrophicated seawater (Yoshida, 1973)

a : Inorganic N, b : Total phosphorus, S : Surface water, B : Bottom water, nd : non-detected

in Masan, Haengam, and Jindong Bay, respectively.

Environmental conditions during red-tide Environmental conditions during *Gymnodinium nagasakiense* red-tide were presented in Table 2. Seawater temperature of surface ranged from 23.3°C at station 5 in September to 29.3°C at stations 2 and 5 in August, 1981. Monthly variations of water temperature were 23.7~26.1°C in July, 28.2~29.3°C in August, and 23.3~25.3°C in September. Salinity of surface water extremely varied from 19.78‰ at station 4 in September to 31.29‰ at station 7 in August. Salinity pattern did not coincide with the months or with the areas. The mean values of salinity variations in July and August were 29.33‰ and 30.56‰, respectively. In September, due to heavy rain-fall, salinities from the whole surface water ranged from 19.78 to 22.48‰ which was less than those of July and August. Saturations of dissolved oxygen in surface water were supersaturated at all of the observed stations during the surveyed period. The monthly mean saturation percentages of dissolved oxygen were 133.6% in July, 191.9% in August, and 171.7% in September. The COD from surface water ranged from 2.10mgO₂/l at station 6 in July to 8.56mgO₂/l at station 2 in August. The monthly mean COD levels were 3.29, 6.62, and 5.21mgO₂/l in July, August, and September, respectively. The COD values of surface water mostly exceeded 5.0mgO₂/l at all of the surveyed stations in August and September, 1981. The pH values during the period ranged widely in surface water from 8.1 at station 2 in August and September to 9.4 at stations 6 in August. The monthly mean pH values for the surface were 8.83 in July, 8.69 in August, and 8.48 in September. Extremely high values of pH were observed in the period.

Nitrate-nitrogen concentrations in surface water varied from non-detectable levels at station 5 in July and at stations 3, 4, 5, 6, and 7 in August to 1,052µg/l at station 2 in Jinhae Bay on August 1981. July and September samples showed the mean values of nitrate-nitrogen with 33.7µg/l and 119.0µg/l, respectively. Particularly the maximum nitrate-nitrogen concentration was surprisingly 1,052µg/l at station 2, but at the other stations nitrogen contents in surface were not detected in August. Phosphate-phosphorus concentrations of surface water ranged from 0.6 µg/l at station 6 in July to 71.6µg/l at station 4 in August. In August the mean phosphate-phosphorus concentration was around 37µg/l and similar to in September, but that of July was low level of 22.93µg/l.

Monthly variations of *G. nagasakiense* cell number from the surface varied with months and ranged from non-appearance of the cells at station 1 in July and August to the maximum 1.5×10^7 cells/l at station 6 in August 1981. As shown in Table 3, the maximum cell number of *G. nagasakiense* was observed at station 3 with 5.9×10^6 cells/l in July, while they appeared less than 10^5 cells/l from the neighbour stations 1, 2, and 7. The *G. nagasakiense* also appeared to be as high as

Table 2. Relationship between cell number of *Gymnodinium nagasakiense* and physicochemical factors^o of surface water in Jinhae Bay of Korea, 1981

Month	St.	<i>G. nagasakiense</i> (cells/l)	W.T. (°C)	Sal. (‰)	D.O. Sat. (%)	COD (mgO ₂ /l)	pH	NO ₃ -N (μgN/l)	PO ₄ -P (μgP/l)	Chl.-a (mg/m ³)
July.	3	5.9×10 ⁶	26.1	28.06	171.7	4.10	9.1	92	44.7	29.90
	4	2.0×10 ⁵	23.7	30.62	102.9	2.75	8.6	93	35.4	2.54
	5	5.7×10 ⁵	25.3	29.15	137.8	4.20	8.8	nd	11.0	6.51
	6	1.6×10 ⁵	25.5	29.47	122.0	2.10	8.8	6	0.6	3.07
Aug.	2	1.1×10 ⁶	29.3	28.60	206.1	8.96	8.1	1,052	52.1	49.16
	3	2.8×10 ⁶	28.5	31.02	190.0	5.54	8.2	nd	12.2	27.70
	4	3.1×10 ⁶	29.1	31.02	210.4	4.51	8.4	nd	71.6	17.26
	5	3.0×10 ⁶	29.3	30.16	181.4	5.62	8.9	nd	12.2	2.18
	6	1.5×10 ⁷	29.1	31.26	193.0	6.67	9.4	nd	58.9	72.56
	7	4.7×10 ⁶	28.2	31.29	170.5	8.43	9.1	nd	17.5	290.46
Sept.	1	2.1×10 ⁶	25.3	22.13	164.0	4.95	8.2	56	58.9	75.15
	2	2.8×10 ⁶	24.3	20.99	200.7	4.81	8.1	54	57.6	94.22
	4	2.3×10 ⁶	24.1	19.78	162.3	5.44	8.7	310	35.8	9.33
	5	8.3×10 ⁵	23.3	22.05	156.3	4.35	8.5	158	9.4	20.34
	6	2.2×10 ⁶	23.7	22.48	175.2	6.51	8.9	17	23.1	25.96

nd : non-detected

Sept. 1986

Lee & Kwak: *Gymnodinium nagasakiense* Red-Tide

155

5.7×10^5 , 2.0×10^7 , and 1.6×10^5 cells/l at station 4, 5, and 6, respectively, in the surface water of July. In August, the highest *G. nagasakiense* value with 1.5×10^7 cells/l in the surface was obtained at station 6 and, at the other stations, the cell number appeared to be almost similar to the values of $1 \sim 5 \times 10^6$ cells/l except at station 1. The *G. nagasakiense* was not occurred even though at the same station 1 in July. In September, on the other hand, a plenty of *G. nagasakiense* with 2.1×10^6 cells/l was counted from the surface of station 1 where was located in the central part of the Masan Bay as well as station 2 with 2.8×10^6 cells/l, and as station 4 with 2.3×10^6 cells/l in the Haengam Bay. Cell number of *G. nagasakiense* with 8.3×10^5 cells/l and 2.2×10^5 cells/l at both stations 5 and 6 appeared, but quite low at station 3 and 7.

Table 3. Variations of the *Gymnodinium nagasakiense* cell number during the periods from July to September 1981

Month	Stations						
	1	2	3	4	5	6	7
July 1981		36,540	5,941,183	201,020	568,820	157,777	8,784
Aug.	—	1,075,000	2,751,238	3,138,746	3,017,210	15,145,659	4,690,450
Sept.	2,096,436	2,838,860	69,776	2,346,566	826,798	224,013	4,446

Among the phytoplankton communities observed, the causative organisms for red-tide except *Gymnodinium nagasakiense* were minor species, *i. e.*, *Prorocentrum micans*, *P. minimum*, and *P. triestinum*. In July, cell number of *Prorocentrum* spp. in the surface varied extensively with the surveyed Areas, ranging from $0.32 \sim 2.31 \times 10^5$ cells/l in Jindong Bay to $1.25 \sim 1.32 \times 10^6$ cells/l in Masan Area (Lee *et al.*, 1981b). It was very remarkable that *Prorocentrum* spp. in the surface water had shown the values less than 10^5 cells/l at almost all of the stations in August and September, but it was recorded as 1.26×10^6 cells/l at station 1 in the same period of August (Lee *et al.*, 1981b).

The causative organisms were distributed in surface waters with heavy densities with months and observed areas (Cho, 1981; Lee *et al.*, 1982; Park, 1982; Yoo, 1984). The color of the surface waters was generally brown in patches (Cho, 1981). Such heavy red-tide had not been ever seen in the Korean coastal waters (Cho, 1981; Lee *et al.*, 1982; Park, 1982). Furthermore, damages for aquatic products due to the red-tide were estimated to be 1.7 billion Won from Jinhae Bay in 1981, and were equivalent to US\$ 2.25 million (Cho, 1981).

DISCUSSION AND CONCLUSION

Nutrients were concentrated on very high value in the surface water of Jinhae

Bay, especially nitrogen, phosphorus, and the other chemicals, and they had been gradually accumulated every year (Lee *et al.*, 1981b, 1982, 1983). *Gymnodinium* '65-type occurred in Omura Bay of Japan was found for the first time in Jinhae Bay, the south coast of Korea (Lee *et al.*, 1980). Thereafter, the species had been observed in ever summer in this Bay according to Lee *et al.* (1981b). From July to September in 1981, large scale red-tides were caused by *Gymnodinium nagasakiense* in the whole area of this Bay (Cho. 1981).

As shown in Table 2, water temperature acted as one of the important environmental factors during the surveyed period. Adachi(1972) also pointed out the high water temperature for growth of *Gymnodinium* sp. 1. *Gymnodinium* '65-type occurred intensively at the high water temperature in early and middle of August 1966 in Omura Bay, but its occurrence was not enough to be cause of the red-tide (Iizuka and Irie, 1969). Low salinity after heavy rainfall was also one of the important factor. The large amount of freshwater influx was attributed to the heavy rainfall in the middle and the end of July in this area (C.M.O., 1981). Numaguchi and Hirayama(1972) obtained the suitable chlorinity 11.0~18.5‰ for the growth of *Gymnodinium* '65-type. The red-tide by the *Gymnodinium* '65-type was associated with the inflow of freshwater in rainy seasons (Iizuka and Irie, 1969; Iizuka, 1972).

Saturation percentage of dissolved oxygen was all supersaturated in surface water during the surveyed period in Jinhae Bay 1981. This may be a result from intensive oxygen production due to the outburst of *Gymnodinium nagasakiense* and the other phytoplankton cells. The COD in the coastal waters near the municipal or industrial areas was likely enough to be controlled by one or both of two factors; municipal sewages and industrial waste-waters. In the central part of the Masan and Haengam Area, the control factor for COD in surface water seemed to be the former, and at Jindong Area the latter seemed to be important. In previous works, COD values were 1.26mgO₂/l in 1974 (Lee *et al.*, 1974), 1.92mgO₂/l in 1977 (Chung *et al.*, 1977), and 2.23mgO₂/l during the period from 1979 to 1980 (Lee *et al.*, 1980) in the surface of this area. Furthermore, COD levels were exceeded 3mgO₂/l, which were the limit for the hypereutrophic state (Yoshida, 1973), in the almost whole surface areas during the surveyed period. Numaguchi and Hirayama(1972) reported the suitable pH value of 7.8 for red-tide, but extremely higher values of pH were resulted from the primary production in this area. Adachi(1972) also explained that high levels of pH was a result from prosperous phytoplankton photosynthesis. During the period of three months under the red-tide by *Gymnodinium nagasakiense*, it was very interested in the variations of the dissolved nitrate-nitrogen concentration in this area. The dissolved nitrate-nitrogen concentrations were strangely not to be detectable in August except station 2, while these values were changefully measured in July and September. Hirayama *et al.* (1972) mentioned that, in order

to find the limiting factors for the growth of the red-tide organisms *Gymnodinium* '65-type, the supply of inorganic nutrients into the sea water was essential to the outbreak of red-tide by this species. I zuka(1976) studied on the succession of red-tide organisms resulted from the condition of water pollution. According to his results, the outburst of *Gymnodinium* population was mainly caused by water pollution from land. There were many case studies on the seawater pollution in this Bay (Lee *et al.*, 1980, 1981a, 1982, 1983). The red-tides could be derived from the pollutant inflow due to heavy rain-fal in these seasons. In the surface water of Masan Area, it was considered as consumption by the outburst of *Gymnodinium nagasakiense* that the dissolved nitrate-nitrogen could not be detected in August. But the nitrate-nitrogen content was the highest in the surface water of station 2 in August, and it indicated the continuous inflow of the freshwater, sewages, and industrial wastewaters from Masan and Changwon area.

The high phosphate-phosphorus concentration in the surface during the surveyed period was always observed at station 4 named Haengam Area. It could be thought of a result from the wastewaters of fertilizer plant, the Jinhae Chemical Co.(Park, 1975; Cho, 1978; Lee *et al.*, 1981a). The high phosphate-phosphorus concentrations in all of the stations, therefore, could be regarded as an effect by the current diffusion. Solorzano and Strickland(1939) indicated that the phytoplankton could polymerize the polyphosphate from the σ -phosphate and take it in the storage pool for the source of phosphorus. According to this idea, the dissolved phosphate-phosphorus was not used directly to make the red-tide up.

摘 要

本 研究은 1981年 7月부터 9月까지 瀕海灣의 7個 定點에서 植物플랑크톤 渦鞭毛藻類인 *Gymnodinium nagasakiense*에 의한 赤潮現象에 대하여 生態學的으로 究明하였다.

調査期間 중 物理·化學的 環境要因의 變化는 水溫이 23.3~29.3°C, 鹽分 19.78~31.29‰, 溶存酸素 飽和度 102.9~210.4%, COD 2.10~8.96mgO₂/l, pH 8.1~9.4, 窒酸鹽——窒素 trace~1,052μg/l, 磷酸鹽——磷 0.6~58.9μg/l, 그리고 chlorophyll-a 는 2.18~290.46mg/m³의 범위를 나타내었다.

赤潮原因生物은 渦鞭毛藻類인 *Prorocentrum micans*, *P. minimum*, *P. triestinum*, 및 *Gymnodinium nagasakiense*였고, 7월에는 *Prorocentrum* spp.와 *G. nagasakiense*에 의한 multispecific red-tide인 반면 8월과 9월에는 *G. nagasakiense* 單一種에 의한 monospecific red-tide였다. 赤潮原因生物의 細胞數 變化는 7월에 *Prorocentrum* spp.가 0.3~12.5×10⁵ cells/l, *G. nagasakiens*?가 0.2~5.9×10⁶ cells/l였으며, 8월과 9월에는 *G. nagasakiense*가 각각 1.1~4.7×10⁶ cells/l, 0.2~15.1×10⁶ cells/l를 나타내었다.

本 研究에 있어서 *G. nagasakiense*에 의한 대규모 赤潮는 都市下水 및 工場廢水로 流入되는 각종 營養鹽類가 풍부하고, 높은 水溫과 심한 降雨量에 따라 예년보다 2~10

% 낮은 鹽分 등이 주 원인이었던 것으로 생각되었다.

LITERATURES CITED

- Adachi, R. (1972). A taxonomical study of the red tide organisms. J. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie, **9** : 9~145 (In Japanese).
- C.M.O. (1981). Annual climatological report. Central Meteorological Office, Seoul. p. 72.
- Cho, C.H. (1978). On the *Gonyaulax* red-tide in Jinhae Bay. Bull. Korean Fish. Soc., **11** : 111~114 (In Korean).
- Cho, C.H. (1981). On *Gymnodinium* red tide in Jinhae Bay. Bull. Korean Fish. Soc., **14** : 227~232.
- Chung, S.W., C.J. Kang, and K.B. Lim. (1977). Environmental factors in the coastal growing areas (Kyungnam area). Fish. Res. Dev. Agency(FRDA), Technical Report, **36** : 11~46 (In Korean).
- Hirayama, K., S. Iizuka, and T. Yoneji. (1972). On culture of *Gymnodinium* '65-type in the sea water sampled in Omura Bay during summer 1971. Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., **33** : 11~20 (In Japanese).
- Hirayama, K. and K. Numaguchi. (1972). Growth *Gymnodinium* '65-type causative organism of red tide in Omura Bay, in medium supplied with bottom mud extract. Bull. Plankton Soc. Japan, **19** : 13~21.
- Iizuka, S. (1972). *Gymnodinium* '65-type red-tide occurring in anoxic environment of Omura Bay. Bull. Plankton Soc. Japan, **19** : 22~33 (In Japanese).
- Iizuka, S. (1976). Succession of red-tide organisms on Omura Bay, with relation to water pollution. Bull. Plankton Soc. Japan, **23** : 31~43 (In Japanese).
- Iizuka, S. (1979). Maximum growth rate of natural population of a *Gymnodinium* red-tide. In Toxic Dinoflagellate Blooms. D.L. Taylor and H.H. Seliger(ed.). Elsevier, New York. pp. 111~114.
- Iizuka, S. and H. Irie. (1966). The hydrographic conditions and the fisheries damages by the red tide occurred in Omura Bay in summer 1965-II. Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., **21** : 67~101 (In Japanese).
- Iizuka, S. and H. Irie. (1969). Movement of red water plankton in the year of no red water occurrence in the case of Omura Bay in 1966. Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., **27** : 19~37 (In Japanese).
- Iizuka, S. and T. Nakajima. (1975). Response of red-tide organisms to sulphide. Bull. Plankton Soc. Japan, **22** : 27~32. (In Japanese).
- Lee, J.H., M.S. Han, and H.T. Huh. (1981a). Studies on the causative organisms of red-tide in the Jinhae Bay. Bull. Korea Ocean Res. Dev. Inst. (KORDI), **3** : 97~105 (In Korean).
- Lee, J.W., C.S. Kim, and H.S. Kwak. (1974). Studies on the distribution of chemical contents in the sea off Jinhae during winter period. J. Oceanol. Soc. Korea, **9** : 39~51 (In Korean).
- Lee, K.W., K.S. Nam, and H.T. Huh. (1980). A preliminary investigation on the monitoring system for the red tides in the Jinhae Bay. Korea Ocean Res. Dev. Inst. (KORDI) Report, BSPE00022-43-7 (In Korean).

- Lee, K.W., K.S. Nam, and H.T. Huh. (1981b). A study on the monitoring system for the red-tides in Jinhae Bay. Korea Ocean Res. Dev. Inst. (KORDI) Report, BSPE00031-56-7 (In Korean).
- Lee, K.W., K.S. Nam, and H.S. Kwak. (1982). Studies on the development of red-tide and pollution monitoring system in Jinhae Bay. Korea Ocean Res. Dev. Inst. (KORDI) Report, BSPE00044-66-7 (In Korean).
- Lee, K.W., K.S. Nam, and H.S. Kwak. (1983). A study on the monitoring system for red tides -Jinhae Bay-. Korea Ocean Res. Dev. Inst. (KORDI) Report, BSPE00048-80-7 (In Korean).
- Numaguchi, K. and K. Hirayama. (1972). On the suitable pH and chlorinity to the growth of *Gymnodinium* 65-type, causative organisms of the red-tide in Omura Bay. Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., 33 : 7~10(In Japanese).
- Park, C.K. (1975). Study on the characteristic distribution of phosphate in Jinhae Bay. Bull. Korean Fish. Soc., 8 : 68~72 (In Korean).
- Park, J.S. (1982). Studies on the characteristics of red-tide and environmental conditions in Jinhae Bay. Bull. Fish. Res. Dev. Agency (FRDA), 28 : 55~88 (In Korean).
- Solorzano, L. and J.D.H. Strickland. (1969). Phosphate in seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 13 : 511~518.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. (1972). A practical handbook of seawater analyses. Bull. No. 167, Fish. Res. Bd. Can. Ottawa, Canada.
- Takayama, H. (1981). Observation two species of *Gymnodinium* with scanning electron microscopy. Bull. Plankton Soc. Japan, 28 : 121~129 (In Japanese).
- Takayama, H. and R. Adachi. (1984). *Gymnodinium nagasakiense* sp. nov., a red-tide forming Dinophyte in the adjacent waters of Japan. Bull. Plankton Soc. Japan, 31 : 7~14.
- Weiss, R.F. (1970). The solubility of nitrogen, oxygen and argon in the water and seawater. Deep-Sea Res., 17 : 721~735.
- Yoo, K.I. (1984). Population dynamics of red-tide organisms in the coastal water. Bull. Environ. Sci., Hanyang Univ., 5 : 57~63 (In Korean).
- Yoshida, Y. (1973). Changes in biological production on sediment production. Fishery Series-I, Koseisha Koseikaku, Tokyo, Japan (In Japanese).

(Received July 26, 1986)

Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae

HEUNG-JAE LEE*

(Received 20 November 1985, in revised form 11 February 1987, accepted 26 February 1987)

Abstract—CTD casts in the southeastern Hwanghae (Yellow Sea) were made in August 1983 and 1984 to describe the spatial structure of the summertime hydrographic features. Cold coastal water appeared around the southwestern coast of Korea, which was formed by strong tidal stirring. Tidal mixing in the study area seems to have been enhanced by the presence of many small islands. In the deeper region beyond the tidal front, stratification became much stronger and the bottom layer below seasonal thermocline was occupied mostly by the Hwanghae Cold Water characterized by a temperature lower than 10°C and a salinity of 32.5–33.0‰.

The northeastward extension of the Changjiang Diluted Water was shown by a tongue-like plume of relatively warm fresh water, confined to the thin surface layer 10 m thick. There was no evidence for the Hwanghae Warm Current carrying high salinity water into the eastern Hwanghae along the Korean coast. The warm current was found to flow in a narrow band close to the west and north coast of Chejudo (Cheju Island) and then to pass eastward through the Cheju Strait. Thus the eastern part of the cyclonic circulation in the surface layer cannot be considered to be a northward continuation of the Hwanghae Warm Current. The local salinity maximum in the lower layer off Kunsan and the higher salinity on the west side of the central trough than on the east side would imply a northward flow on the west flank of the trough to compensate for the southward intrusion of the Hwanghae Cold Water, from which an anticyclonic circulation could be expected in the lower layer.

INTRODUCTION

HYDROGRAPHIC conditions in the Hwanghae (Yellow Sea) of shallow water are known to be strongly associated with winter cooling and summer heating, fresh input from rivers into the coastal area, precipitation and advection of warm saline water from south. Physical properties of sea water thus show a drastic seasonal variation under influence of the Asian monsoon climate over the sea (LEE, 1985).

In winter, when water is vertically homogeneous, water masses in the southern part of the Hwanghae are classified into two types: one is the low temperature and low salinity Hwanghae Cold Water in the lower layer during summer, and the other is the high temperature and high salinity Hwanghae Warm Current Water. The two different water masses meet together in the region west of Chejudo (Cheju Island) and consequently form a strong surface-to-bottom thermohaline front running from west to east (LEE, 1985). In summer when stratification is well established, heavy precipitation and abundant discharge from land make hydrographic conditions much more complex, especially in the coastal area. Temperature–salinity (T–S) diagrams based on 20 year-long data (Fig. 1) exhibit a good contrast of the hydrography between February (winter)

* Physical Oceanography Laboratory, Korea Ocean Research & Development Institute, P.O. Box 29, Ansan, Seoul, Korea

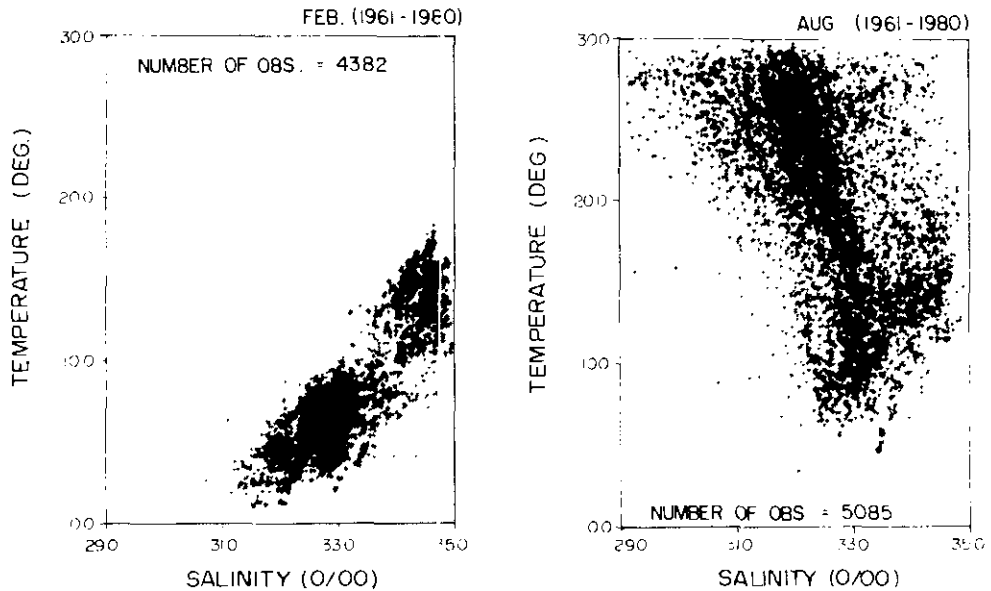


Fig. 1. Temperature-salinity diagrams in February and August in the southeastern Hwanghae. The data were collected by the Fisheries Research and Development Agency of Korea during the period of 1961-1980. The hydrographic stations are shown in Fig. 3.

and August (summer). Waters in summer have a wide range of temperature and salinity as compared with those in winter, reflecting the effects of summer heating of surface water, heavy precipitation and abundant fresh water discharge. More than 60% of the annual precipitation occurs during the period June to September in the southeastern Hwanghae (LEE, 1984).

Typical water masses in summer are generally grouped into four types: Hwanghae Cold Water in the lower layer, Hwanghae Warm Current Water, Changjiang Diluted Water and coastal waters. The Hwanghae Cold Water (HCW), formed in winter, occupies the lower layer of the central area from May to October (UDA, 1934, 1966). The Hwanghae Warm Current (HWC), one branch of the Tsushima Current, has been known to carry waters of high temperature and high salinity into the Hwanghae along the Korean coast. The Changjiang Diluted Water (CDW), mainly formed by the direct outflow from the Changjiang (Yangtze river), extends with a relatively low salinity plume-like pattern to the northeast in the direction of Chejudo and mixes with surrounding waters (BEARDSLEY, LIMBURNER, LE, HU, CANNON and PASHINSKI, 1983; LE, 1983; UDA, 1936). Coastal waters have a relatively low salinity mostly due to river run-off.

Although the water masses and the general circulation of the Hwanghae have been reported by several authors (NAKAO, 1977; GUAN, 1984; LEE, 1984), there are few studies on hydrographic features and dynamics in the eastern Hwanghae, especially during summer. The main objective of this paper then is to identify and describe the following

principal hydrographic structures in the southeastern Hwanghae in summer: (i) tidal mixing around the southwestern coast of the Korean Peninsula where tidal currents are known to be very strong; (ii) the physical properties of the HCW occupying the lower layer which may be important in controlling the dynamics of the Hwanghae; (iii) the extension of the CDW in the study area which has not yet been observed in detail and (iv) the HWC which has been suggested to flow northward along the west coast of Korea (NIINO and EMERY, 1961). For this purpose we conducted CTD casts (Neil Brown Mark III) at 52 stations during 6–10 August 1983 (Survey I) and at 61 stations during 15–26 August 1984 (Survey II) in the southeastern Hwanghae (Fig. 2).

COLD COASTAL WATER AROUND SOUTHWESTERN KOREAN PENINSULA

In order to see general properties of sea surface temperature (SST) in winter and summer, mean sea surface temperature for February (winter) and August (summer) was obtained using 20-year hydrographic data collected from 1961 to 1980 by the Fisheries Research and Development Agency of Korea (Fig. 3). In winter a relatively strong thermal front forms, running in an east-west direction west of Cheju-do, while in summer cold water appears in the southwestern coastal area of the Korean Peninsula. The boundary between cold coastal water and warm offshore water can be clearly seen by a surface front detected by satellite infrared images or hydrographic observations across the front.

Figure 4 presents vertical sections of temperature, salinity and density along the lines A (Stns E0–E6) and B (Stns H1–S10). Along the line A, surface temperature and salinity

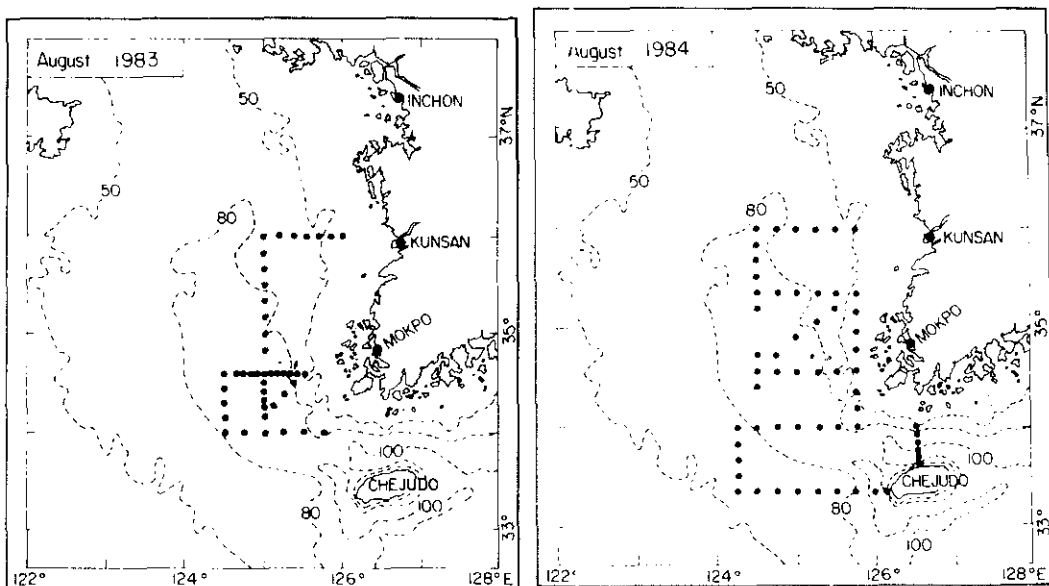


Fig. 2. Study area showing CTD stations in August 1983 and August 1984. Water depths are in meters.

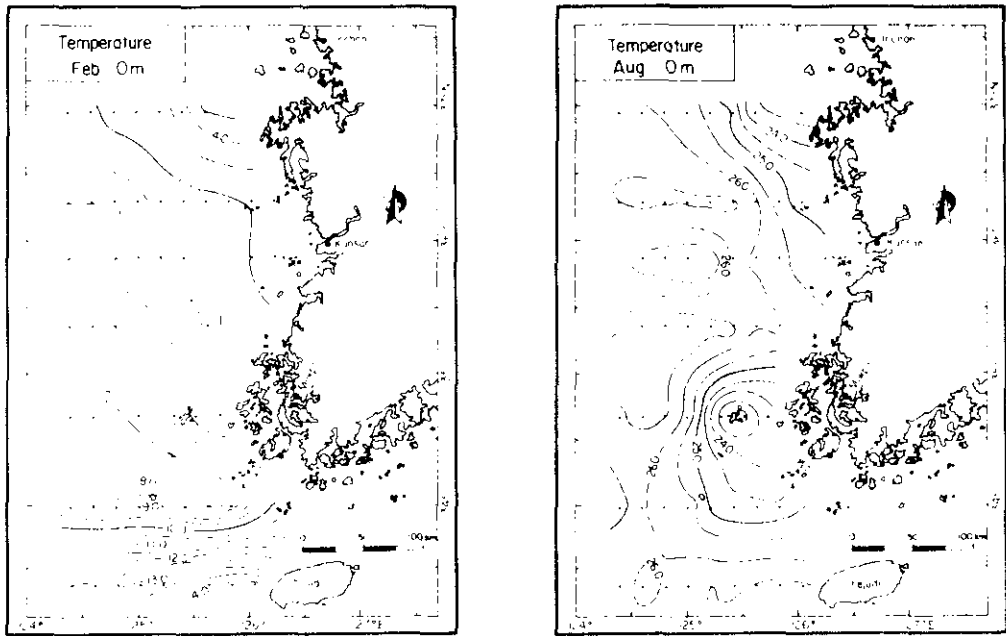


Fig. 3. Mean sea surface temperature in February and August over the period of 1961-1980.

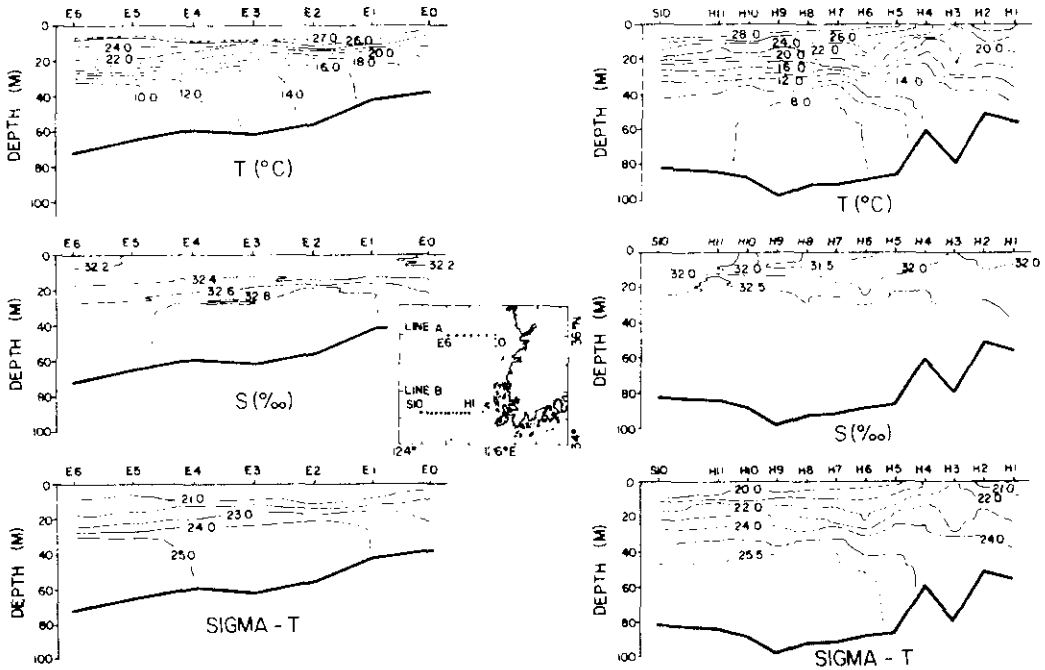


Fig. 4. Vertical sections of temperature, salinity and density in August 1983 along (a) line A (Stn E0 to Stn E6) and (b) line B (Stn H1 to Stn H10).

changed only slightly from one station to another but along the line B, isotherms crossed the sea surface between Stns H2 and H5 in the upper layer. Isotherms in the lower layer, being parallel to the sea surface in the offshore region, tended to deepen in the shallow coastal region. The east-west gradient of surface temperature between Stns H5 and H2 was very strong with a value of about $0.3^{\circ}\text{C}/\text{km}$. The water column to the east of the surface front was vertically well mixed as compared with that to the west. Such a thermal front was also found near Stn H3 in June and July 1983 (KORDI, 1984). The sharp front near Stn H3, which extended southeastward, served as a boundary between the coastal water and the offshore water in the surface layer. The near-surface temperature and salinity distributions during Survey I show that the coastal water was characterized by lower temperature and relatively higher salinity compared with the offshore water (Fig. 5).

The existence of the coastal cold water was clearly seen in the satellite image (Fig. 6) which was estimated with no correction from the surface radiance in the infrared band of $10.5\text{--}11.5\ \mu\text{m}$ measured by the NOAA 8 AVHRR on 4 August 1983 just before the field measurements. The apparent radiation temperature was expected to be about 2°C less than the true surface temperature. This figure indicates the appearance of cold coastal water around the southwestern coast of Korea and in the Kyunggi Bay located off Inchon. The front formed off Mokpo is different from that west of Cheju-do in winter (Fig. 3). The latter is just a thermohaline front whereas the former is a thermal front as shown in Fig. 4.

The pattern of isotherms in the section B is fairly consistent with the vertical structure of the frontal zone around the British Isles by tidal mixing (FEARNHEAD, 1975; SIMPSON and HUNTER, 1974). In order to predict occurrence of frontal zone, these writers have

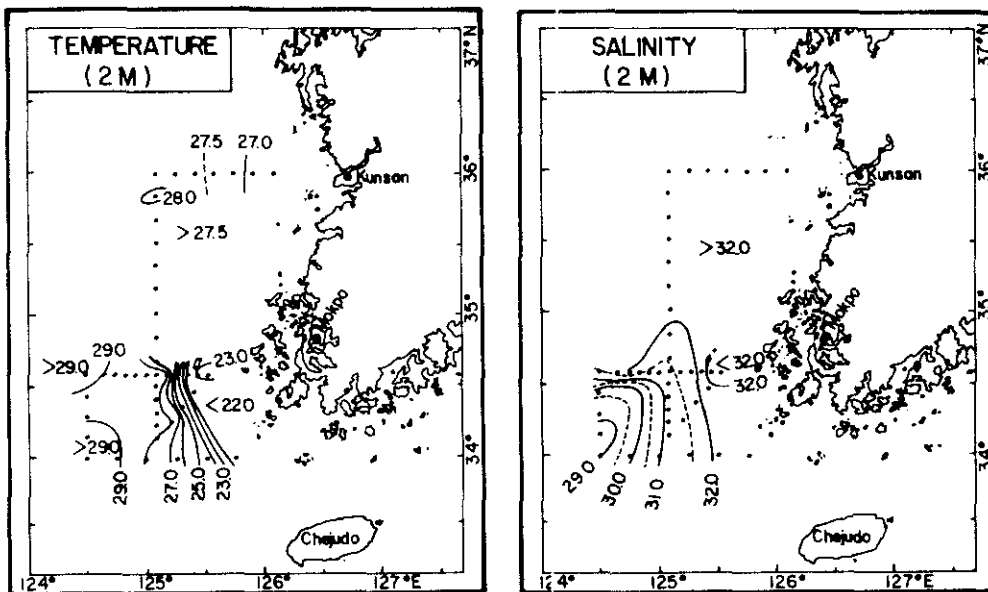


Fig. 5. Near-surface (2 m) temperature and salinity distributions during 6-10 August 1983.

suggested a stratification parameter, $\log H/U^3$, where H is the local water depth and U a characteristic tidal current. Very strong tidal current off the southwestern coast of Korea is well known. According to model results (Fig. 13 in BEARDSLEY *et al.*, 1983; personal communication from LEE), the location of frontal zone is in approximate agreement with the contour of low stratification parameter despite simplified geometry in the models.

HWANGHAE COLD WATER

The Hwanghae Cold Water (HCW) in the lower layer is one of the most important water masses from the viewpoint of summer circulation because it occupies nearly the whole bottom layer in the central basin from spring to fall and extends southward in summer with a tongue-like structure of temperature to mix with saline waters in the East China Sea (NAKAO, 1977). Its formation is thought to be due to cooling during the cold, dry winter monsoon. Long-term hydrographic data have shown that cooling is very active during December–February and that in February in the eastern Hwanghae off Kunsan there exists only one representative water mass with a temperature of 3–8°C and salinity of 32.0–33.0‰ (LEE, 1985).

In the upper layer of the east–west sections (Fig. 4) isotherms were nearly parallel to the sea surface with a large vertical gradient of about 5°C/10 m between surface and 40 m in the offshore region, but water in the lower layer was uniform, having a temperature less than 10°C and a salinity of 32.5–33.0‰. The ranges of temperature and salinity lie within those of the HCW classified by LEE (1984). In the north–south vertical sections along the line C (Stns H17–E6), the isotherm of 10°C sharply separated the upper layer of relatively high temperature and low salinity from the lower layer of uniform temperature and salinity (Fig. 7). The coldest water was found to be less than 8°C near Stn H12 where the centre of the HCW seemed to be located.

Figure 8 shows a T–S diagram constructed from all CTD data in August 1983. As mentioned above, the cold water of temperature less than 10°C had a salinity range of 32.5–33.3‰ which might be divided into two small ranges such as 32.5–33.0‰ and 33.0–33.3‰. The lower salinity range corresponds to that of the proper HCW. Saline water larger than 33.0‰ appeared in the lower layer of Stns H16 and H17 in the southern study area, and also on the western side of the central trough deeper than 80 m (Fig. 9). The near-bottom salinity distributions (Fig. 9) show that the proper HCW was located mainly in the deeper central trough, bounded by a strong haline front formed along the isobath of 80 m on the western side of the trough and northwest of Chejudo. The water off Chejudo, having a salinity of 33.0–34.0‰, can be considered as a mixed water between the HCW and the Hwanghae Warm Current Water. During the two surveys, the salinity in the lower layer was a little higher in the western part of the trough than in the eastern part (Fig. 9).

EXTENSION OF CHANGJIANG DILUTED WATER

In summer when the Changjiang River is flooding, fresh water from the river flows eastward and then points to northeast toward the direction of Chejudo (BEARDSLEY *et al.*, 1983; LE, 1983; NAKAO, 1977). The northeastward extension in the southwestern Hwanghae is clearly marked by a plume-like pattern of relatively low salinity water in the surface layer. In this section we examine the northeastern limit of the extension in the study

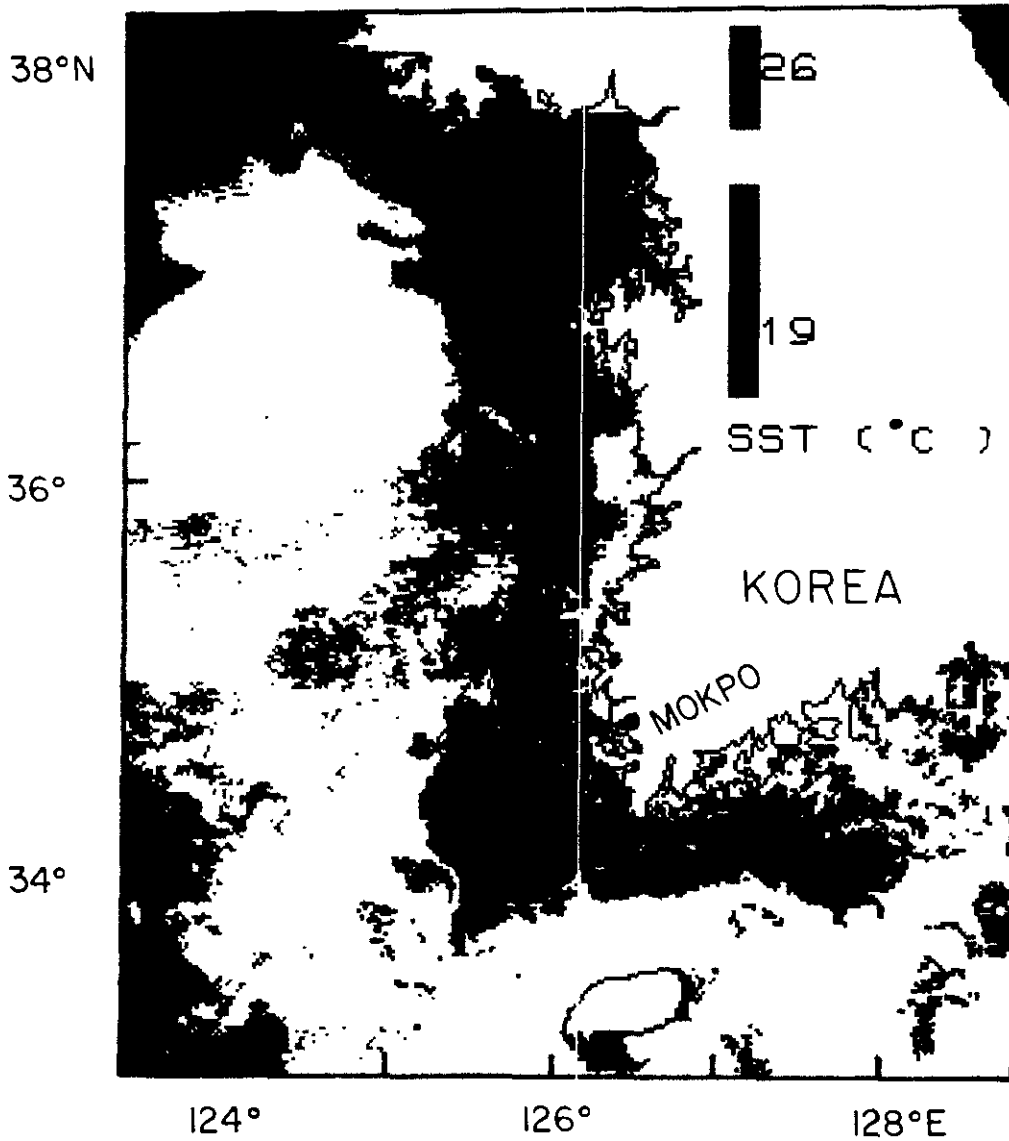


Fig. 6. Apparent sea surface temperature obtained from a NOAA infrared image on 4 August 1983. The true surface temperature is expected to be about 2°C higher than the radiation one.

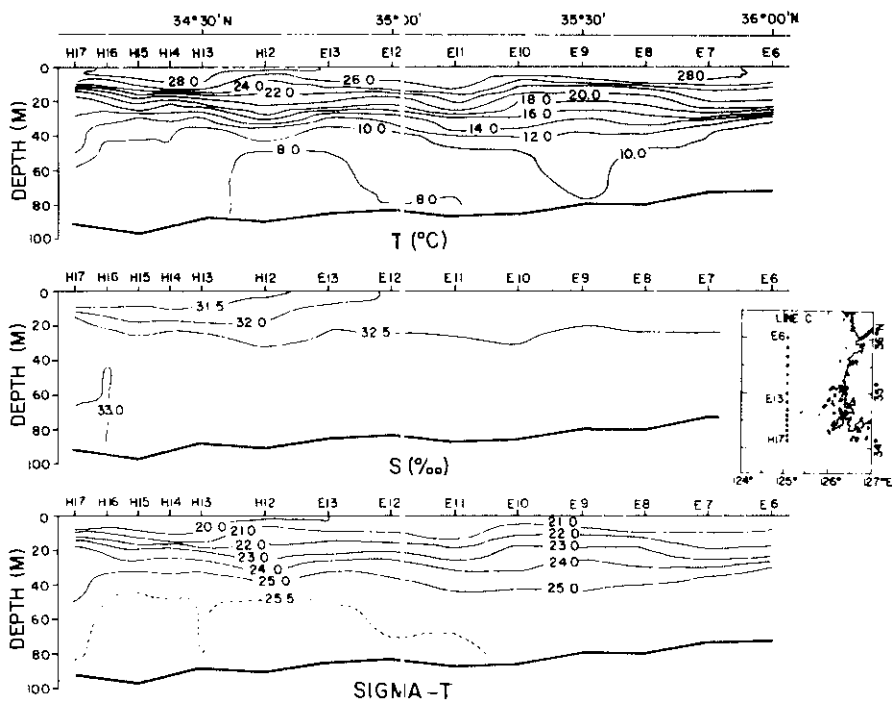


Fig. 7. Vertical sections of temperature, salinity and density in August 1983 along line C (Stn F17 to Stn E6).

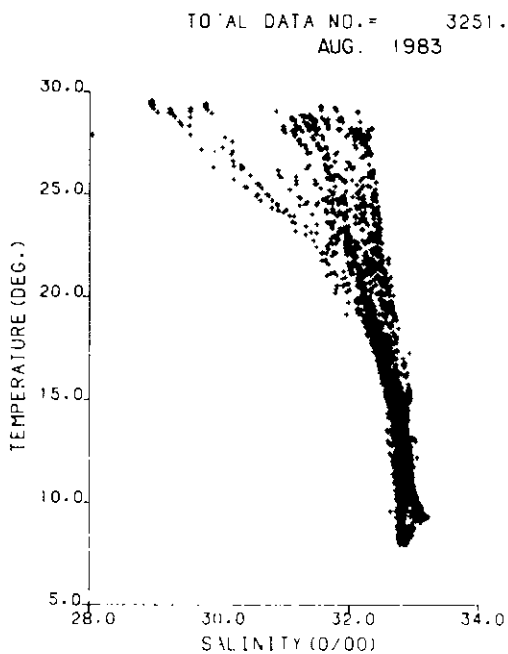


Fig 8 Temperature-salinity diagram constructed from all CTD data in August 1983.

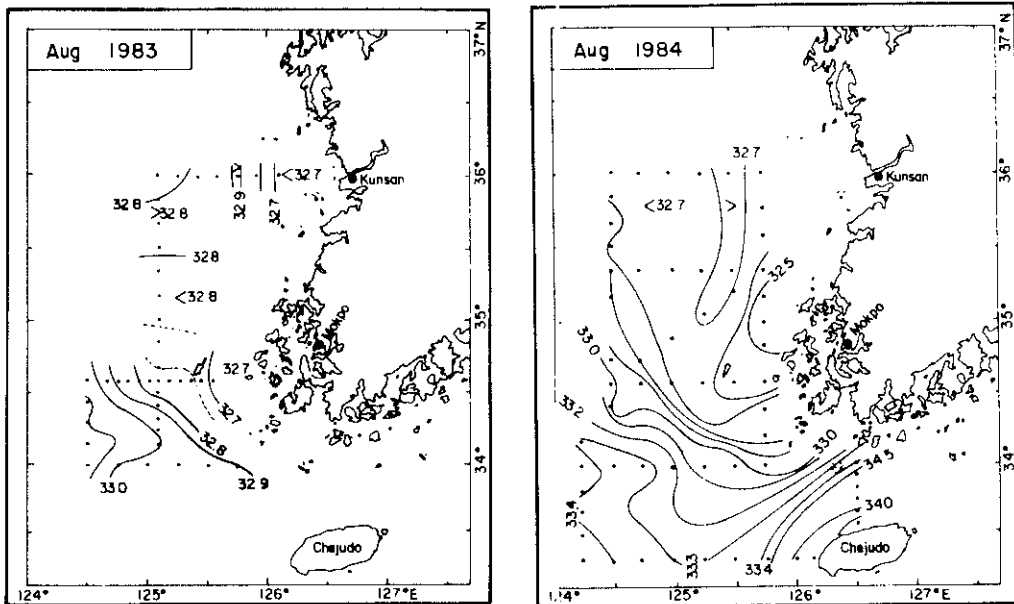


Fig. 9 Near-bottom salinity distributions in a) August 1983 and (b) August 1984.

area, together with its hydrographic properties which have not been reported in detail so far.

The T-S diagram in Fig. 8 shows waters warmer than 25°C with salinities less than 31.5‰ . Initial analysis might lead to a wrong conclusion that this warm and fresh water was coastal water along the Korean coast. The vertical sections along the lines A and B (Fig. 4) indicate no such water mass in the coastal area because the field observations were made just before the heavily rainy period. Waters of high temperature and low salinity were found only in the surface layer around Stn H7. These warm and fresh waters should have come from south (Fig. 10a). Vertical sections along the line D strongly suggest that the low salinity water in the thin upper layer extended northward since the surface salinity increased rapidly from south to north. At the same latitude the surface salinity along the line D was lower in comparison with that along the line C. For example, the salinity difference between Stns S8 and H15 was about 2‰ . An abrupt jump in salinity between Stns S9 and S10 should be noted.

Vertical distributions of temperature, salinity and density along the line E (Fig. 10b) indicate a gradual increase in salinity with a gradient of about $0.3\text{‰}/10\text{ km}$, but a decrease in temperature from west to east. From those results low salinity water must have originated in the northeastward extension of the CDW with a tongue-like pattern. Considering the CDW to have a salinity less than 30.0‰ , warm and fresh water was confined to a very thin surface layer 10 m thick (Fig. 10) and extended northward up to Stn S9 and eastward up to Stn S5 in the study area.

The near-surface distributions of temperature and salinity (Fig. 5) show a plume-like pattern of the CDW in the study area which forms a sharp thermal front with cold coastal

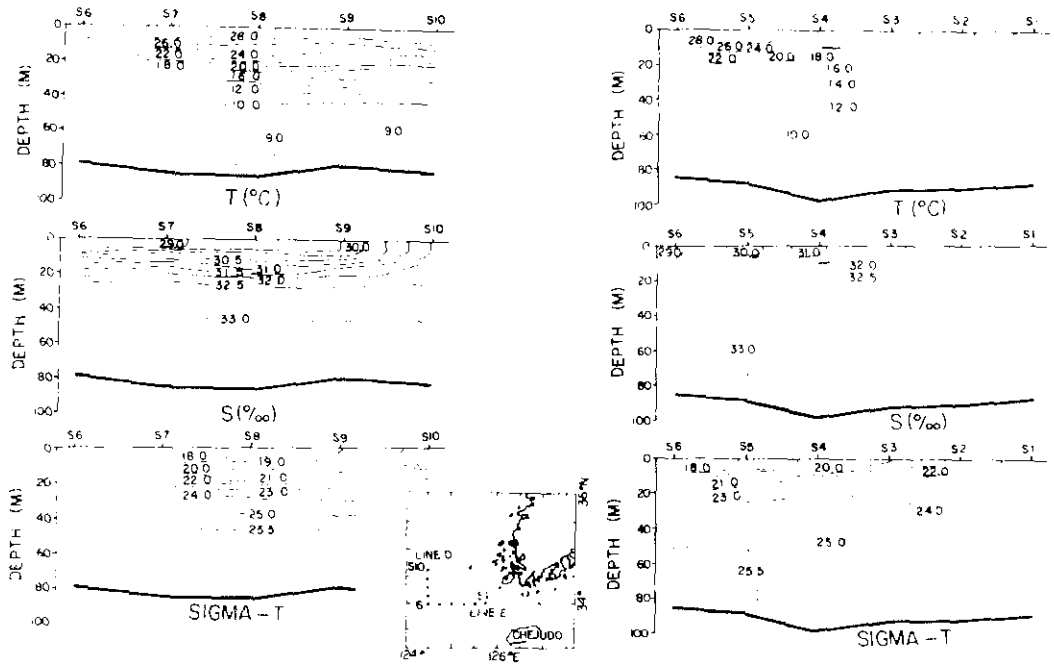


Fig. 10. Vertical sections of temperature, salinity and density in August 1983 (a) along line D (Stns S6 to S10) and (b) line E (Stns S1 to S6)

water. Hydrographic observations made in August 1984 (Fig. 11) also indicate the extending of the CDW, the northern limit of which retreated southward compared with that obtained during Survey I. The southward retreat might be related to the northeast wind with a speed of 5–10 m/sec before and during observations at the southern stations.

SCHMATIC PATTERN OF SUMMER CIRCULATION

A cyclonic circulation in the southern part during summer has been reported to be composed of the northward Hwanghae Warm Current (HWC) and the southward flow along the Chinese coast. Our hydrographic results, however, gave no indication that the HWC crossed the 34°N east–west section in the study area. Water more saline than 34‰ carried by the HWC was observed only in a narrow band confined to the coast of Cheju. According to vertical sections along the lines A and B, we assume a two-layer ocean whose interface is considered to correspond to the upper boundary of the HCW going down to the bottom. Thus the horizontal gradient of density would imply a northward geostrophic flow in the upper layer above the HCW except the coastal area of tidal mixing area where vertical mixing is enhanced due to the presence of islands. Current measurements at Stn H4 also showed a persistent northward flow of about 9 cm/sec at a depth of 20 m over a period of 44 days between 22 June and 7 August 1983 (KORDI, 1984). Therefore, a cyclonic circulation in the upper layer is composed of the

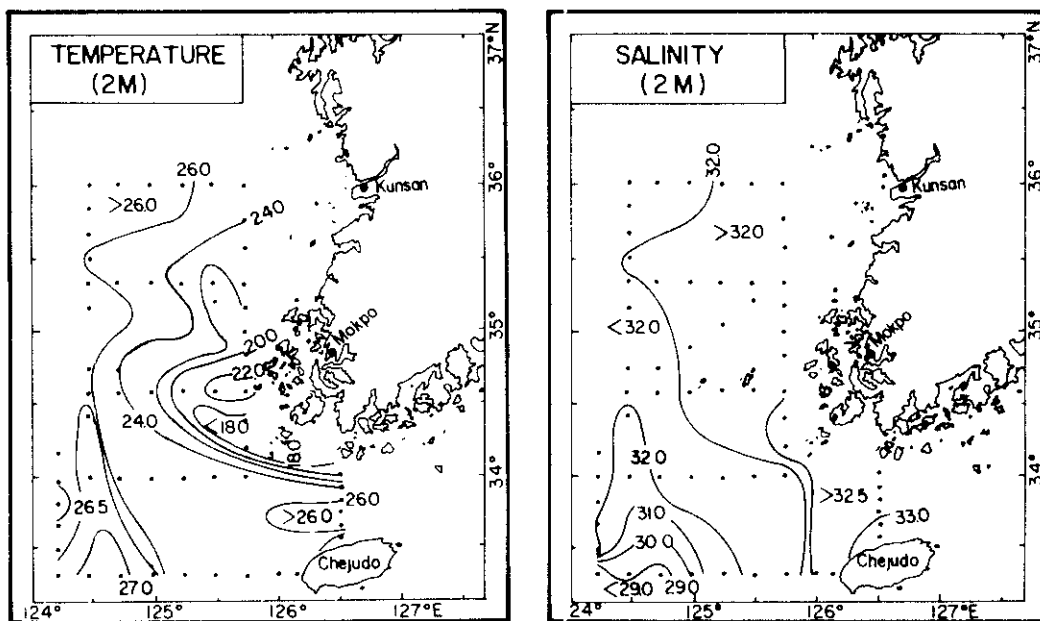


Fig. 11. Near-surface (2 m) temperature and salinity distributions during 15-26 August 1984.

extension of CDW along the boundary between the Hwanghae and the East China Sea, the southward current along the Chinese coast and the northward geostrophic flow along the Korean coast carrying waters of high temperature and low salinity, not a continuation of the HWC.

Compared to the upper circulation suggested by many authors, there is no detailed information about circulation in the lower layer. Despite several trials of mooring in the central trough, we failed to collect direct current data because of fishing activity. However, hydrographic data can be used as an indirect indicator of circulation. In the study area, the lower layer was occupied by the HCW; thus the circulation in the lower layer can be considered to correspond to that of the HCW. Salinity can provide information on a path of flow more effectively than temperature since salinity is more conservative and salinity on the western side of the central trough was higher than that on the eastern side.

Figure 12 presents vertical profiles of salinity below 40 m along lines C and D in 1983. Along line D, salinity in the lower layer was generally higher at southern stations than that at northern ones. Along the line C, salinity gradually decreased from north to south between Stns E9 and E13, but increased from Stn E13 to Stn H17. The salinity value at Stn E9 was about 32.84‰ which was higher by 0.1‰ as compared with that at Stn E13. This saline water is clearly seen by an isotherm of 10°C around Stn E9 (Fig. 7). The warm and saline water could be considered to be intruded from the western side because there existed no source of such waters in the central and eastern Hwanghae. The southward decrease in salinity between Stns E9 and E13 would result from a southward flow. The

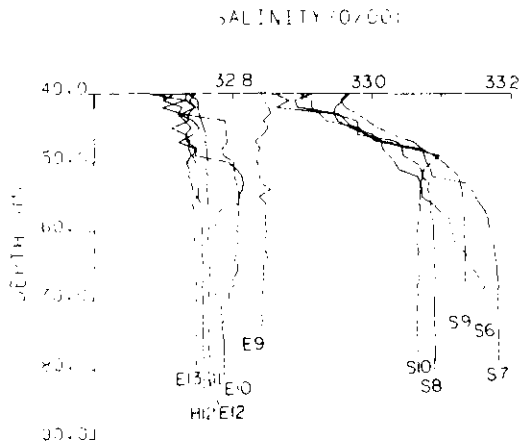


Fig. 12 Vertical profiles of salinity along lines C and D in August 1983. Stations are marked in Fig. 7 and Fig. 10

southward flow on the eastern side of the trough should be compensated by the northward flow on the western side from the viewpoint of mass conservation. Although such a pattern of anticyclonic circulation in the lower layer should be supported by hydrographic and direct current observations, at present the above explanation is just one possible reason for the southward decrease in salinity between Stns E9 and E13.

SUMMARY AND CONCLUSION

A summer thermocline or pycnocline was strongly established near the depth of 30 m due to summer heating and freshening effect of precipitation and fresh water discharge, except the coastal area where stratification became weak. The thermocline in the offshore area thus separated the warm and fresh surface water from the cold and relatively saline water in the lower layer. The bottom water had nearly uniform properties, characterized by a temperature less than 10°C and a salinity of 32.5–33.0‰. This corresponds to the Hwanghae Cold Water classified by LIE (1984). The Hwanghae Cold Water formed by winter cooling occupies the lower layer in the central trough from spring to fall, keeping the same temperature and salinity, except the southern part where mixing seems to be active between the HCW and the saline water coming from south.

A surface cold water region was detected around the southwestern corner of the Korean Peninsula. The cold coastal region was well separated from the warm offshore region by a strong thermal front as indicated by a NOAA infrared image. In addition the vertical distribution of temperature along the line B showed that isotherms, which were horizontal and concentrated near the thermocline in the offshore area, diverged on entering the mixed region such that the higher isotherms were sloping upward to the surface and the lower ones going down to the bottom. Such a structure is reported to be formed in a region of strong tidal mixing (BOWDEN, 1983; FEARNHEAD, 1975). Furthermore, the vertical distributions along the line B indicated a local divergence of isotherms

and isopycnals only near Stn H3 in the upper layer which formed a surface front. This may result from vertical mixing enhanced due to the presence of an island, Hugsando, near Stn H3 in the tidal mixing area (SIMPSON, TITL, ARGOIF-ESPIONZA, EDWARDS, JOHNS and SAVIDGE, 1982). The boundary of the tidal mixing area seemed to agree with the stratification criteria given by SIMPSON and HUNTER (1974).

Waters of high temperature and low salinity in the thin surface layer around Stn S3 (Fig. 10) was found to be the northeastward extension of the Changjiang Diluted Water. The plume, originated from the Changjiang estuary, extended more than 550 km towards the northeast without losing hydrographic properties.

One remarkable point is that in the study area there was no evidence for the Hwanghae Warm Current carrying waters more saline than 34.0‰ into the Hwanghae, although it was suggested to flow northward in the eastern part of the Hwanghae (NAKAO, 1977; UDA, 1934). KIM and LEE (1982), based on temperature data in June 1981, supposed the warm current to flow clockwise around the western coast of Chejudo. The CTD data in August 1984 (KORDI, 1985) clearly showed that the warm and saline water, corresponding to the Hwanghae Warm Current, was found in a narrow band close to the west and north coast of Chejudo. The Hwanghae Warm Current is then believed to have turned around Chejudo clockwise and to go out to the east through the Cheju strait.

Concerning circulation in the upper layer, a cyclonic gyre is proposed to be mainly composed of the northeastward extension of the CDW, the northward flow in the eastern Hwanghae along the Korean coast and the southward current along the Chinese coast (Fig. 13). The northward flow with a speed of about 9 cm/sec near Stn H4 (KORDI, 1984) seems to be in geostrophic balance, not a continuation of the Hwanghae Warm Current,

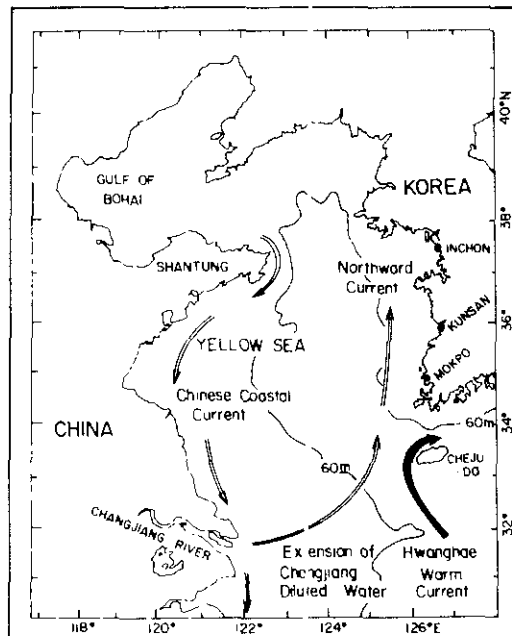


Fig. 13. Schematic surface circulation in the Hwanghae during summer

which is different from the conventional opinion on the circulation. The hydrographic results show a slightly saline water around Stn E9 and a gradual decrease of salinity from Stn E9 to Stn E13. Since no source water with such a high salinity existed in the central and eastern parts and since in the south salinity on the western side of the trough was higher than that on the eastern side, assuming an anticyclonic circulation in the lower layer might explain such hydrographic results. The assumption remains to be supported and verified by simultaneous hydrographic surveys in the western Hwanghae and also direct current observations.

Acknowledgements—This study was supported by the grant for Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI) from the Korean Ministry of Science and Technology. The author would like to thank staff in Physical Oceanography Laboratory of KORDI for field measurements, Mr. D. C. Jun and Mr. H. W. Lee for their assistance in data processing, and S. S. Yuk for NOAA image processing.

REFERENCES

- BEARDSLEY R. C., R. LIMBURNER, K. LI, D. HU, G. A. CANNON and D. J. PASHINSKI (1983) Structure of the Changjiang River Plume in the East China Sea during June 1980. *International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special References to the East China Sea*. Hangzhou, China, China Ocean Press, Beijing, Vol. 1, 265-284.
- BOWDEN K. F. (1983) *Physical oceanography of coastal waters*. Ellis Horwood Limited, Chichester, 302 pp.
- FEARNHEAD P. G. (1975) On the formation of fronts by tidal mixing around the British Isles. *Deep-Sea Research*, **22**, 311-321.
- GUAN (1984) Major features of the shallow water hydrography in the East China Sea and Huanghai Sea. In: *Ocean hydrodynamics of the Japan and East China Seas*. T. ICHINO, editor, Elsevier Science Publishing Company, Amsterdam, 1-13.
- KIM K. and S. H. LEE (1982) Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju Island. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, **17**, 59-68.
- KOREA OCEAN RESEARCH AND DEVELOPMENT INSTITUTE (1984) A study on the Marine Environmental Atlas of the Adjacent Seas to Korea, 2nd Year Report, Yellow Sea. Report BSPG00079-7, 493 pp.
- KOREA OCEAN RESEARCH AND DEVELOPMENT INSTITUTE (1985) A Study on the Atlas of Marine Resources in the Adjacent Seas to Korea—Yellow Sea—, Report BSPE00055-86-7A, 523 pp.
- LI K. (1983) Some results from the study of the path of the Changjiang diluted water. *International Symposium on Sedimentation on the Continental shelf with Special References to the East China Sea*. Hangzhou, China, China Ocean Press, Beijing, **1**, 375-381.
- LEE H.-J. (1984) A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). *Journal of the Oceanological Society of Korea*, **19**, 187-194.
- LEE H.-J. (1985) Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Hwanghae (Yellow Sea). *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, **41**, 291-298.
- NAKAO T. (1977) Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *Journal of the Faculty of Marine Science and Technology*, Tokai University, Spec. No., 199-367.
- NIINO H. and K. O. EMERY (1961) Sediments of shallow portions of East China Sea and South China Sea. *Geological Society of American Bulletin*, **72**, 731-762.
- SIMPSON J. H. and J. R. HUNTER (1974) Fronts in the Irish Sea. *Nature, London*, **1250**, 404-406.
- SIMPSON J. H., P. B. TUTT, M. L. ARGOTL-ESPIONZA, A. EDWARDS, K. J. JOHNS and G. SAVIDGE (1982) Mixing and phytoplankton growth around an island in a stratified sea. *Continental Shelf Research*, **1**, 15-31.
- UDA M. (1934) The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June 1932. *Journal of Imperial Fisheries Experimental Station*, **5**, 138-190.
- UDA M. (1966) Yellow Sea. In: *The encyclopedia of Oceanography*. R. W. FAIRBRIDGE, editor, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 994-998.

Three Dimensional Study of the Tidal Flat Geomorphology in the Kŭm River Estuary by Multidate Image Analysis

Yoo, Hong-Rhyong

Korea Ocean Research and Development Institute

P.O. Box 29, Panwol Ind. Asan, 171-14 Korea

(Received July 15, 1986; Accepted August 1, 1986)

Abstract

The geomorphology of the tidal flats near Kŭm river estuary on the west coast of Korea was studied using satellite images.

Three Landsat images of different tidal moment were geometrically corrected to be overlapped one another. Then topographic contours were extracted for the analysis with the concept of 3-D.

According to the morphological analysis, the tidal flats around Kŭm river estuary area can be classified in three morphologically different groups: one is developed in a belt type along the shore; another is a delta type in the estuary; the other is developed between the shore line and islands.

The morphological characteristics of the tidal flats in the study area seems to be mainly influenced by the tidal dynamics which are very strong on the western coastal zone of Korea. However the waves and human activities seem also to be important in some part of the area.

1. Introduction

In the western coastal area of the Korean Peninsular, the tidal flats are vastly developed almost all along the coast.

These tidal flats can be territorial resources when they are reclaimed but they supply important foods to the living creatures in the sea when they are left unreclaimed. In the other hand, the water ways for marine transport are often changed or even blocked by the evolution of the tidal flats near them. Thus the study on the geomorphology of the tidal flats and their evolution is very important for deciding land reclamation and also for efficient maintenance of water ways.

The Kŭm river drains land area of about 10,000 square kilometers with a length of about 400 kilometers. Its average annual river run off is about 6.4 billion cubic meters (Chung and Bhang, 1984). According to the study by comparing between the existing data and recently obtained data(Choi, 1986), the tidal flats in this area changed much during the last 8 decades. Furthermore, a barrage was constructed in 1985 only about 20 kilometers to the upstream from the Kunsan port near the mouth of the estuary. Thus a rapid evolution of tidal flats is anticipated in this area unless a proper management to maintain the navigation channel is planned.

It seems to be proper to use the satellite images in the study of the tidal flats mainly because of their synoptic view, and the availability of the multispectral data, which permit an easy configuration of tidal flats at a moment.

The purpose of this study is to develop the application technique of the satellite remote sensing on the problems of the tidal flat geomorphology. For this, the topographical contours of the tidal flats were obtained by overlapping three Landsat images of different water heights, and then the topographic profiles were derived from the contour map to be briefly analyzed in the concept of 3-D.

2. 3-D Concept of Multidate System for Intertidal Geomorphology

The water line in the intertidal areas observed on satellite image can be considered as a topographic contour of the heights corresponding to the water height at the moment of the image acquisition. Thus by overlapping several images of different water heights, we can obtain the same numbers of the contours as the used images, if it is supposed that the evolutions of the tidal flats during the image acquisitions were negligible and that the water levels are almost uniform in the study area(Fig. 1). The topographic informations can be obtained for the intertidal zone as the above without any stereoscopic image data (Verger, 1977).

3. Image Processing

Three Landsat Multispectral Scanner(MSS) images obtained at the water height of 102cm, 325cm and of 502cm (Table 1) from the zero level of hydrographic charts at Kunsan port were used for the study(Fig. 2). This images were firstly visualized after a brief classification to identify tidal flats from the seawaters and from the solid lands at the acquisition moments.

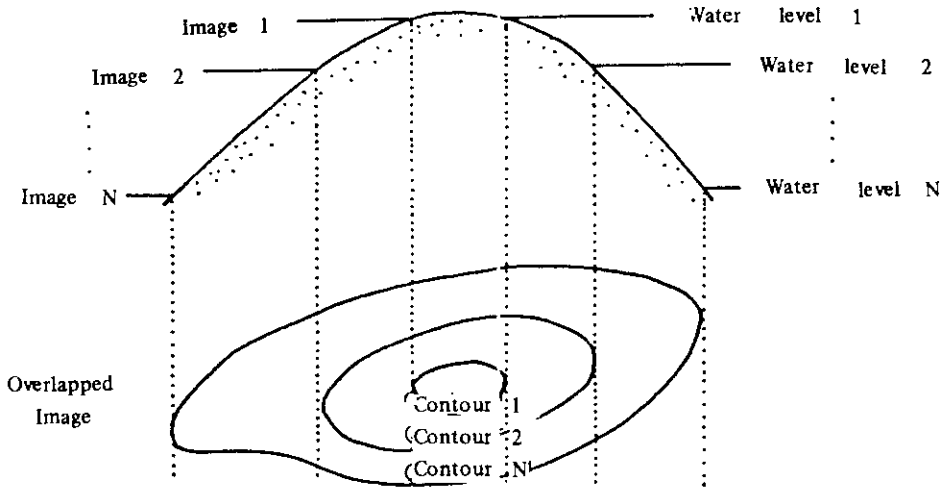


Fig. 1. 3-D. concept of Multi-date processing for the intertidal geomorphology.

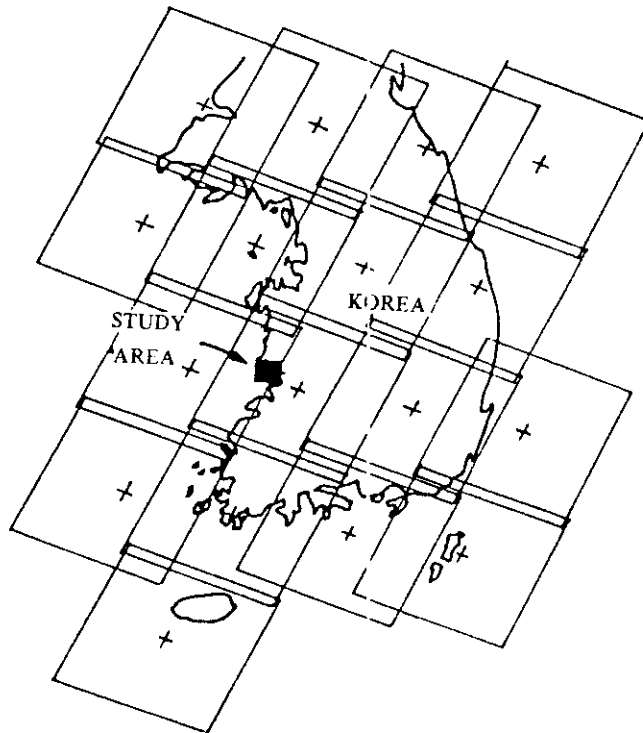


Fig. 2. Landsat coverage map on the Korean peninsular showing the location of study area.

Table 1. Used Landsat images and the water heights at the acquisition moments

Date	Satellite	Water height at Kunsan
1981. 4.13	Landsat 2	502 cm
1983. 5.17	Landsat 4	325 cm
1983. 10.24	Landsat 4	102 cm

Each of the images were geometrically corrected in the Transversal Mercator Projection using the physical map of 1/50,000 scale. The geometrical corrections were processed by Geocor system (KORDI, 1986) in which the resamplings were carried out by the nearest neighbour method (Bernstein, 1983). The images were then overlapped one another by Multidate system (Yoo *et al.* 1986) as in the figure 3 to obtain contours of the tidal flats.

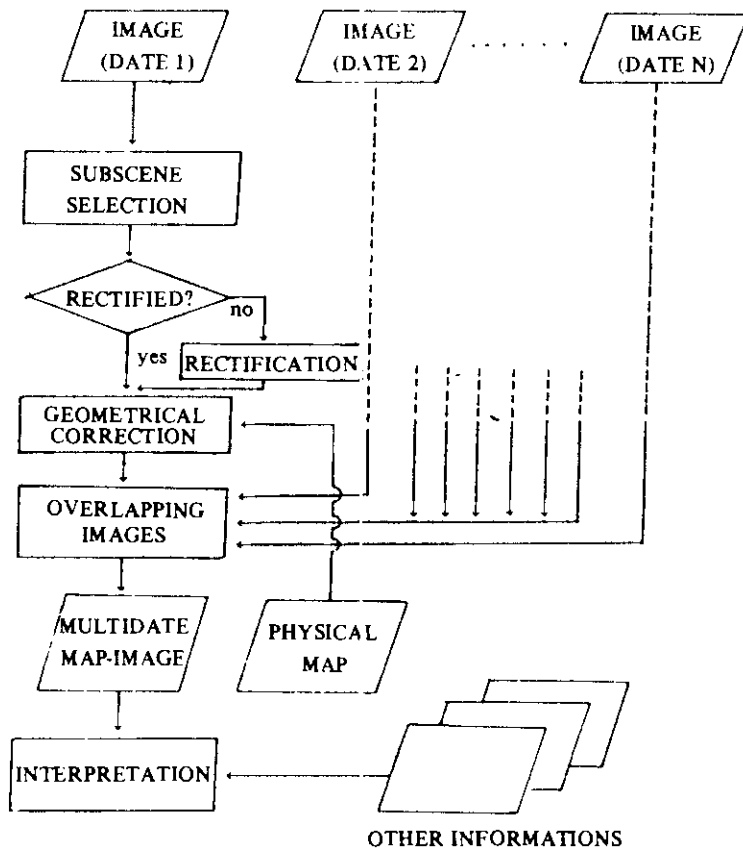
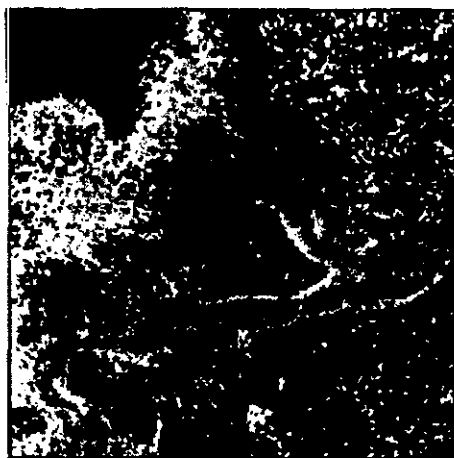


Fig. 3. Schematic flow chart of multigate processing system.

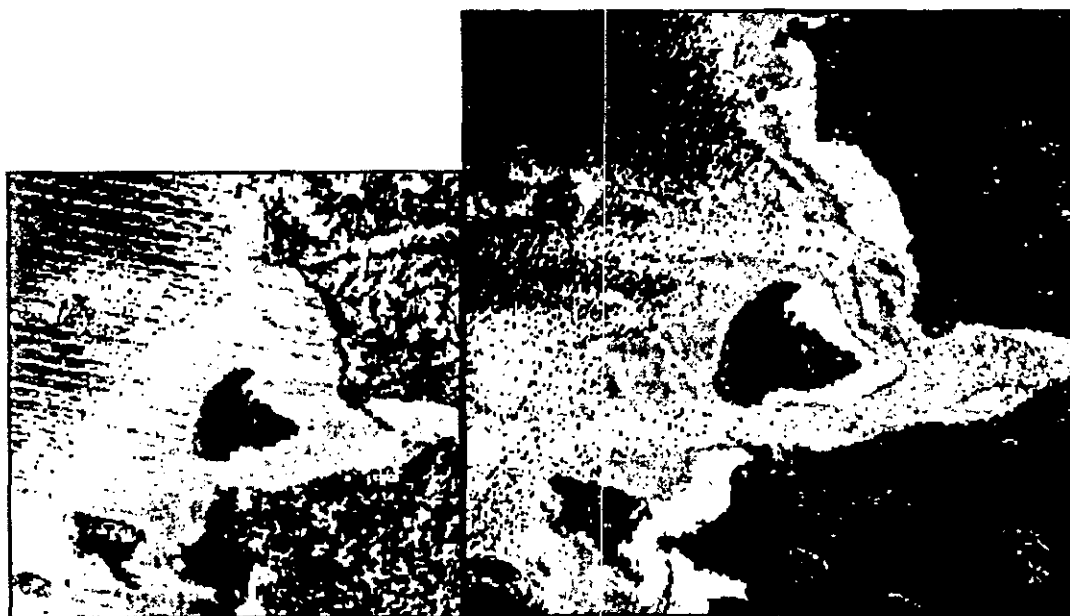
For the processing, a VAX-11/780 system(CPU: 4MB) and its peripherals were used. For the output displays and hardcopies, a Tektronix 4113B color displayer with a Tektronix 4691 inkjet printer and a Calcomp 906 X-Y plotter were used. For the geometrical correction, a Complot 7000 X-Y digitizer(Houston Instrument) was used.



a. 24 OCT.1983



b. 17 MAY 1983



c. 13 APR.1981

d. OVERLAPPED IMAGE

Fig. 4. Geometrically corrected images (a, b and c) and the map-image (d) established by overlapping them.

4. Geomorphology of Tidal Flats Near Kum River Estuary

The figure 4 shows the tidal flats in the area at the water levels of 102cm(a, 24 Oct. 1983), 325cm(b, 17 May 1973) and of 502cm(c, 13 Apr. 1981) and the map-image(d) which was established by overlapping the three images. The overlapped image shows very well the water lines of the upper three cases at once: the areas colored in green represent the surface height between 102cm and 325cm: the yellows represent the height between 325cm to 502cm: the reds represent the surface higher than 502 cm from the zero of hydrographic chart.

The image of the October 24, 1983 which was obtained at the moment near low water(Fig. 4. a) shows very well the tidal flats distribution in the area. With only this image the tidal flats in the area can be preliminarily classified into three morphologically different types as follows: one is developed in a belt type along the northern shore of the estuary; another is a delta type in the central part of the area; the other is developed between the shore line and the islands.

The figure 5 is the topographic contour map extracted from the overlapped image, and the Figure 6 shows the topographic profiles along the lines plotted on the figure 5. The topographic profiles show different characteristics of slopes of the tidal flats. In general, the slopes are very steep on the upper part of the tidal flats away from the mouth of the estuary(Fig. 7, A-A', B-B' and C-C'), while steep slopes are observed on the lower part of the tidal flats near the estuary(Fig. 7, D-D', E-E'). On the other hand, the slopes shown by the profiles F-F' and G-G' on the delta typed tidal flat seems particular. On the seaward part, the steep slopes are observed on the upper part of the tidal flat while on the landward part, the slopes are steep on the lower part of the tidal flats. The profiles H-H' and I-I' show different slopes between the northern part and the southern part of the tidal flat and those of J-J', K-K' and L-L' shows similar characteristics to those of A-A', B-B' and C-C'. It is interesting to note that the profiles of F-F' and G-G' show that the top of the delta type tidal flat is slightly sloped toward the upstream.

It seems that the difference in the characteristics of slopes among the parts of the area is related to the dynamic regimes in the area. And three regimes can be considered in this area: Strong tidal current, the wave generated by strong wind from NW in the winter(Choi, 1986) and the river water discharge during the rainy season.

The figure 7 is a schematic slope map, based on the topographic profiles, which was established to examine briefly the relationship between the geomorphology of the tidal flats and the dynamic regimes. A combined analysis of the figure 6 and the figure 7 permitted to note that the strong slope areas in the lower part of the tidal flats are parallel to the adjacent channels while those in

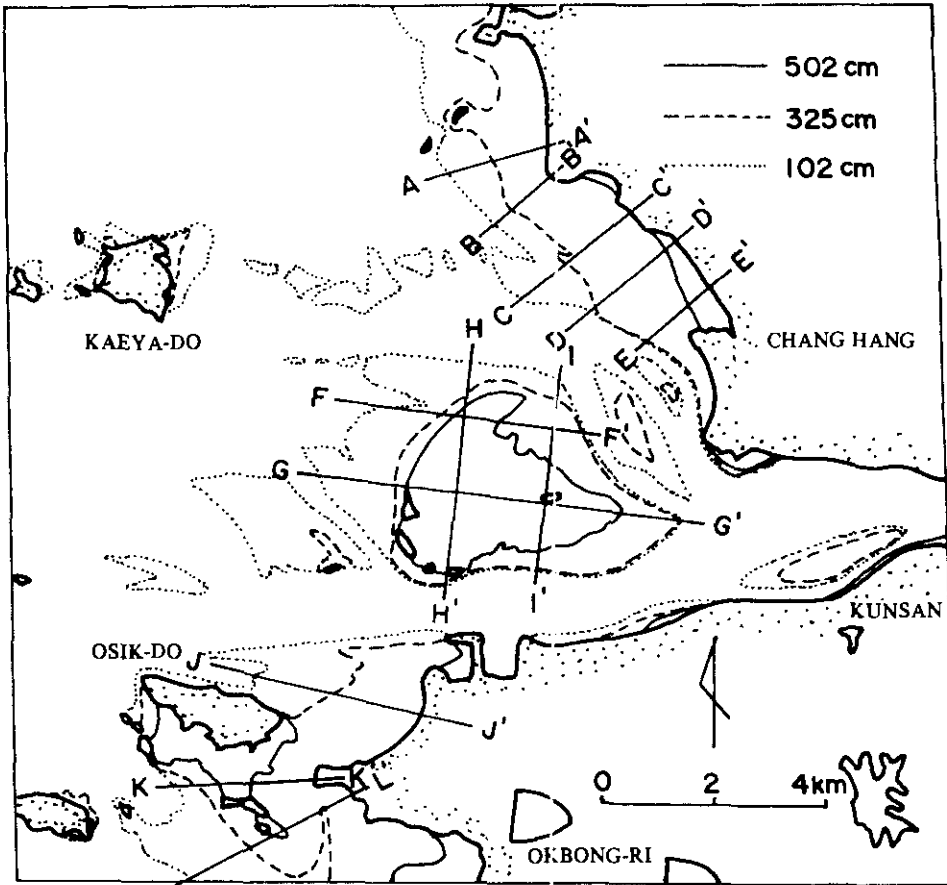


Fig. 5. Topographic contour map extracted from the overlapped image.

the upper part do not seem to have so much relation with the channels but they are almost perpendicular to the direction of waves coming from NW. The slight slope of the top of the delta type tidal flat in the central part of the area seems to be resulted from the outward sand migration by river discharge. In the other hand the shape of the tidal flats between the island of Osik-do and the land seems to be much influenced by the dike which form a sheltered zone from the strong dynamics.

The figure 8 is the schmatic map of the relation between the geomorphological characteristics of the tidal flats and the influencing regimes in the study area. Besides the influence of the human activity, the tidal flats in the area seem to be differently influenced by each dynamic regime: The tidal currents on the lower part of the tidal flats and the wave and sand migration respectively upper part and on the top of the tidal flat in the central part of the area.

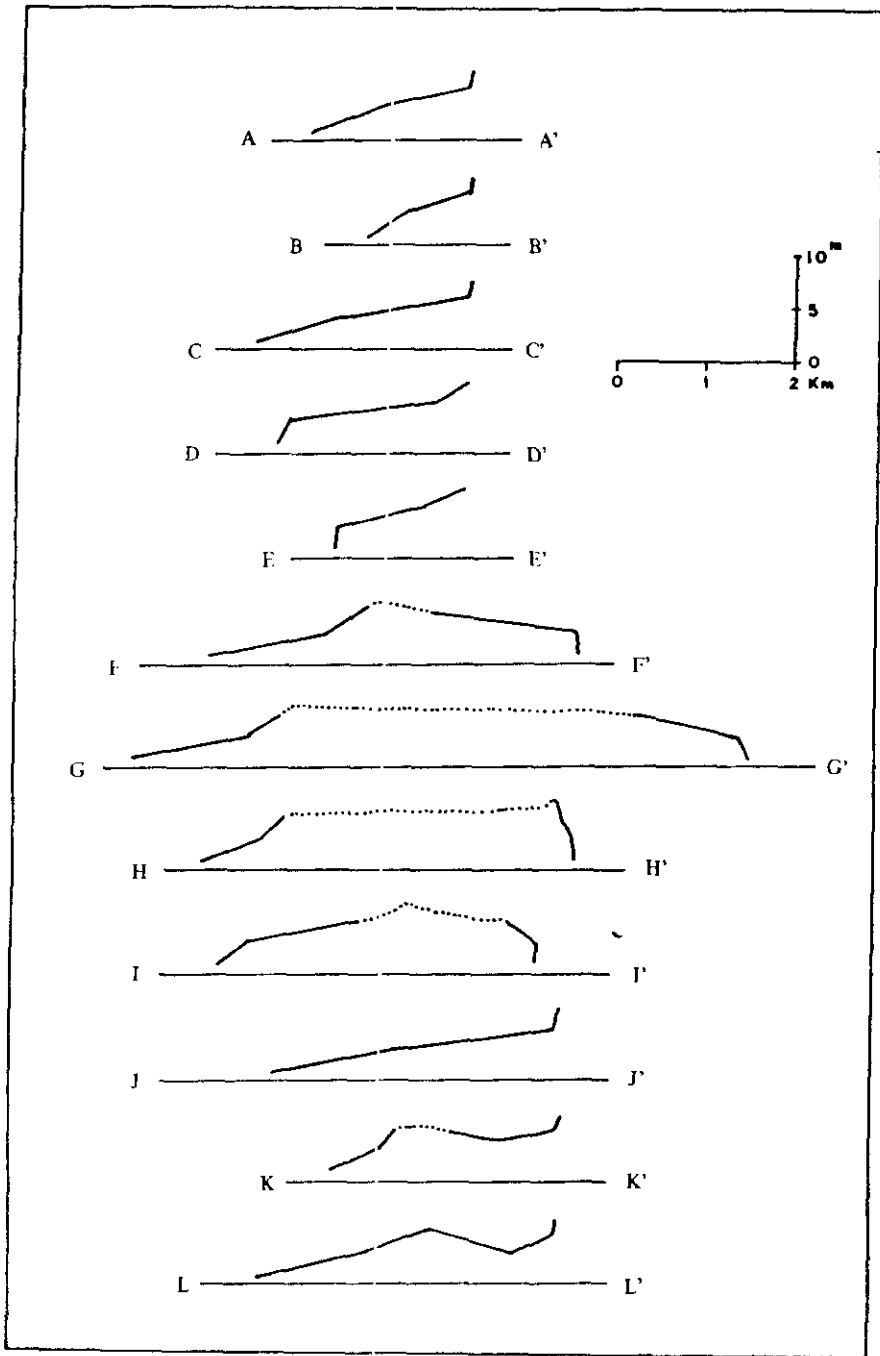
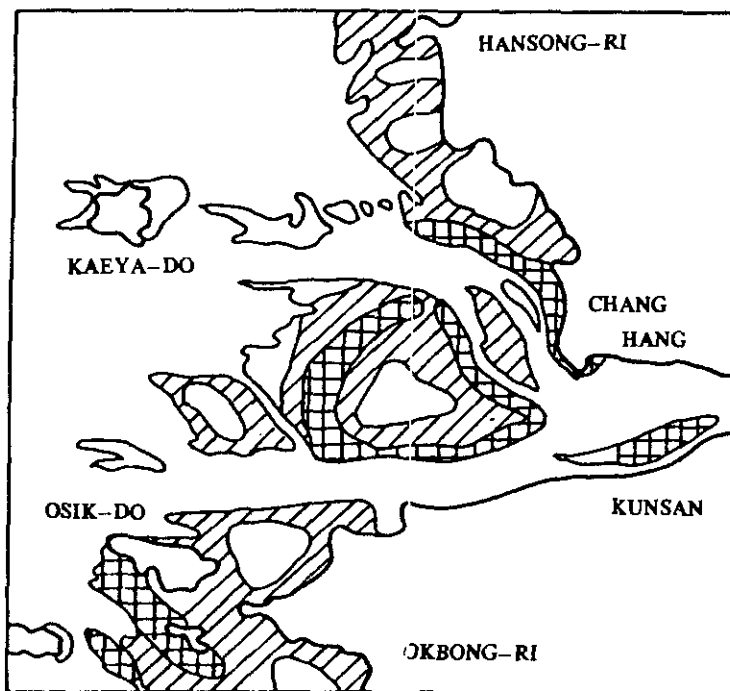


Fig. 6. Topographic profiles derived from the contour map.



 STRONG SLOPE
  MODERATED SLOPE
  WEAK SLOPE

Fig. 7. Schematic slope map of the tidal flats.

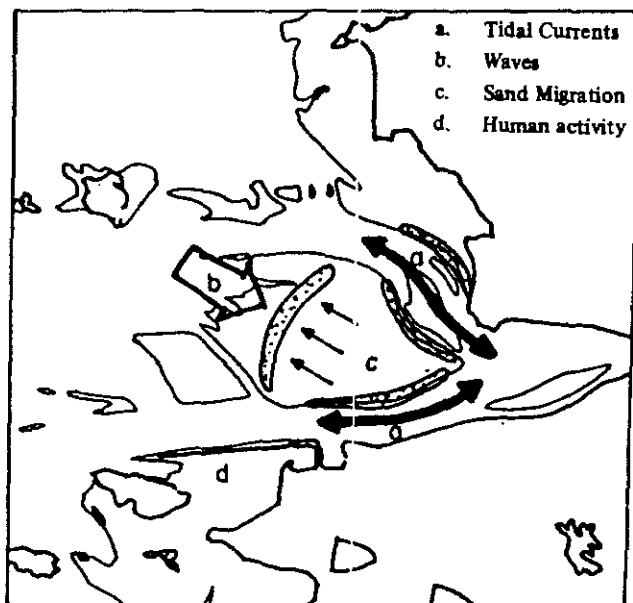


Fig. 8. Scheme of the relation between the geomorphology of tidal flats and the influencing regimes on it (dotted areas indicate strong slope area).

5. Concluding Remarks

By a multi-date processing system of satellite images, the geomorphology of tidal flats was studied with the concept of 3-D. And the their influencing factors were examined by several schematic maps based on the satellite images.

Even though we have yet only preliminary results, this study seems to show a strong applicability of the remotely sensed data on the problems of intertidal geomorphology. The further study is proposed as follows:

- Overlap of more images of better resolution
- Establishment of 3-D images as Batson et al.(1976) or as Sakai et al.(1985).
- Study on the relationship between the surface status of the tidal flats and the image data
- Detailed study on the relationship between the physical parameters and the geomorphology
- Establishment of a synoptic geomorphological map of tidal flats.

6. Acknowledgements

Enthusiastic assistance of C. H. Ann and N. D. Chang in the image processing and calculations is greatly acknowledged.

This work is a part of the first year results of "A study on Application Techniques of Remotely Sensed Data" which was sponsored by the Ministry of Science and Technology of Koare for 3 years, and based on the result of the research project BSPE065-115-5 of Korea Ocean Research and Development Institute.

References

- Batson R. M. Edward K. and Eliason E. M., 1976, Stereo and landsat Pictures. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42:1279-84.
- Bernstein, R., 1983, Image Geometry and Rectification. In: Colwell R. N.(ed.) *Manual of Remote Sensing*(2nd edit). American Society of Photogrammetry, 873-922.
- Choi B. H., 1986, Morphological evolution of inter-tidal Sandiflats, port and harbour, *Jour.*

Kor. Port and Harbour Assoc., Vol. 10, No. 3, 15-23.

- Chung J. Y. and I. K., Bhang, 1984, Circulation dynamics of the Keum River estuary II. *Fluid Dynamic Characteristics. Proc. Korea-US Seminar and Workshop on Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea*, June 1984.
- KORDI, 1986, A Geometrical correction system of landsat image data. *Application on Keum River Estuary Tidal Flats Geomorphology*, KORDI Res. Rep., Seoul, Korea.
- Yoo H. R. et al., 1986, Study on the Geomorphology and the water turbidity using TM data of landsat. In: *A Study on Application Techniques of Remotely Sensed Data*, KIER. Res. Rep., 151-190.
- Sakai T., Nishikawa H., Fukuyama S., and Sugimura T., 1985, A study of land slides in Hayakawa Watershed by using landsat MSS data. Detection of new land slides. *Jour. of the Remote-Sensing Soc. of Japan*, Vol. 5, No. 1, 5-16.
- Vergier F., 1977, L'apport des satellites Landsat à la connaissance du littoral français. *Géomètre*, Paris France, Feb. 1977. 44-50. (in French)

Ocean Research(海洋研究)

1. Studies on the holothuroidea in the coastal waters of Korea. 1. Synaptidae (韓國產 海參類에 關한 研究 1. 닻해삼科). Soon Kil Yi. Ocean Research, V.7(1); 1-9. [KORDI Contribution No.85-30]
2. 덕대, *Pampus echinogaster* (Basilewsky) 稚仔魚期の 形態 및 脊柱의 發達 (A study on the early development of morphology and vertebral column of Korean Pamfret, *Pampus echinogaster* (Basilewsky)). 유재명. 金鍾萬. 許亨澤. Ocean Research, V.7(1); 11-18. [KORDI Contribution No.85-03]
3. Check-list of marine planktonic algae in the coastal waters of Korea. 1. Bacillariophyceae (韓國近海域產 浮游性 藻類의 目錄. 1. 矽藻類). Jin Hwan Lee and Chang Hwan Cho. Ocean Research, V.7(1); 19-47. [KORDI Contribution No.85-23]
4. Homomorphic deconvolution을 利用한 彈性波 探查資料의 處理(I) (Application of homomorphic deconvolution to seismic data processing-part 1). 金漢俊. 韓相俊. 金聖烈. 柳海洙. Ocean Research, V.7(1); 49-55. [KORDI Contribution No.85-20]
5. 數値모델을 利用한 萬里浦 海濱變化研究 (Numerical modelling on the Mal-lipo beach changes). 蔡璋源. 廉器大. Ocean Research, V.7(1); 57-64. [KORDI Contribution No.85-08]
6. 技術進步 및 魚資源減少와 投入物에 對한 漁獲彈力度: 沿近海漁業의 경우 (Technical progress, fishery resource depletion and the input elasticity of fish harvest: The case of the coastal and off-shore fisheries of Korea). 鄭聖哲. Ocean Research, V.7(1); 65-68. [KORDI Contribution No. 85-01]
7. 海上物動量의 長期豫測模型 (Longrun forecasting of ocean-going cargo volume). 宋鍾國. Ocean Research, V.7(1); 69-72. [KORDI Contribution No.85-18]
8. 방어 增養殖事業에서 4要因이 經營成果에 미치는 영향 (The impact on the business performance of the four uncertainty factors in aquaculture of yellow tail). 金成貴. 金鉉榮. Ocean Research, V.7(1); 73-82. [KORDI Contribution No.85-05]
9. 韓國 沿岸域의 供給潛在力 評價技法에 關한 研究 (A study on the potential analysis methods of coastal zone in Korea). 柳時融. Ocean Research, V. 7(1); 83-89. [KORDI Contribution No.85-15]

10. 待機理論에 따른 確率分布函數 檢定 (Estimation of probability distribution of interarrival time and service time). 張榮太. Ocean Research, V.7(1); 91-94. [KORDI Contribution No.85-02]
11. 韓國產 未記錄 海藻類에 대한 考察 (Notes on some unrecorded marine algae in Korea). 宋春福. 姜悌源. Ocean Research, V.7(2); 1-13. [KORDI Contribution No.85-13]
12. 蔚山灣 및 周邊海域의 稚仔魚 分布 (Distribution of fish larvae in the Ulsan Bay and its adjacent waters). 金鍾萬. 유재명. 許亨澤. 車聖植. Ocean Research, V.7(2); 15-22. [KORDI Contribution No.85-11]
13. 方魚津 南岬 海底表層 堆積物中の 底棲有孔蟲 (Benthic foraminifera in the surface sediments south of Bang-o-jin, southeast Korea). 蔣舜權. Ocean Research, V.7(2); 23-30. [KORDI Contribution No.85-06]
14. Properties of a stationary fine sediment wedge (停滯性 微細浮游堆積物 Wedge의 特性). Dong-Young Lee, Chung-Po Lin and Ashish J. Mehta. Ocean Research, V.7(2); 31-34. [KORDI Contribution No.85-28]
15. Box-Jenkins 모델에 의한 魚價分析 (An analysis of fish price by Box-Jenkins model). 金成貴. Ocean Research, V.7(2); 35-40. [KORDI Contribution No.85-04]
16. 世界 貨物船 市況豫測에 있어 計量的 모델의 應用 (An application of the quantitative models to forecasting the world market of bulk carrier). 金元在. Ocean Research, V.7(2); 41-47. [KORDI Contribution No.85-07]
17. 우리나라 海洋部門의 對 國民總生產 寄與度 및 經濟的 波及效果에 대한 推定 (The ocean sector's contribution to gross national product: the case of Korea). 尹東漢. Ocean Research, V.7(2); 49-57. [KORDI Contribution No. 85-10]
18. Check-list of marine planktonic algae in the Korean coastal waters. II. Dinophyceae (韓國 近海域產 浮游性 藻類의 目錄. II. 渦鞭毛藻類). Jin Hwan Lee and Chang Hwan Cho. Ocean Research, V.7(2); 59-68.
19. 春季 西海의 植物플랑크톤 研究 (A study on the phytoplankton of the Yellow Sea in spring, 1984). 張晚. 沈載亨. Ocean Research, V.8(1); 1-11. [KORDI Contribution No.86-21]
20. 黃海의 多毛環蟲類 III. 대나무갯지렁이科(第1報) (Polychaetous annelids from the Yellow Sea III. Family Maldanidae (Part 1)). 이재학. 白義人. Ocean Research, V.8(1); 13-25. [KORDI Contribution No.86-28]

21. 黃海의 多毛環蟲類 III. 대나무갯지렁이과(第2報) (Polychaetous annelids from the Yellow Sea III. Family Maldanidae (Part 2)). 이재학. 白義人. Ocean Research, V.8(1); 27-40. [KORDI Contribution No.86-29]
22. 海上彈性波反射法 資料를 이용한 地層速度 決定과 模型試驗 (Determination of interval velocities from marine seismic reflection data and model experiment). 柳海洙. 金漢俊. Ocean Research, V.8(1); 41-48. [KORDI Contribution No.86-25]
23. Remotely sensed water turbidity pattern on the Korean side of the Yellow Sea (衛星映像에 의한 西海沿岸海域의 海水濁度分布研究). Hong Rhyong Yoo. Ocean Research, V.8(1);49-55. [KORDI Contribution No.86-42]
24. 斷面이 急變하는 狹水路에서의 潮汐數值實驗 - 西南沿岸海域에의 適用 (A numerical experiment of tidal current in the narrow channels with abrupt sectional changes). 김효섭. 李相龍. 廉器大. 宋源吾. Ocean Research, V.8(1); 57-62. [KORDI Contribution No.86-09]
25. 颱風豫報 技術開發의 經濟性 (Economic benefit of R & D in typhoon forecasting system). 李石泰. Ocean Research, V.8(1); 63-70. [KORDI Contribution No.86-22]
26. 게임理論을 利用한 沿岸域 產業配置模型 (An activities allocation model using game theory for coastal zone planning). 金東輝. 柳時融. 尹春善. Ocean Research, V.8(1); 71-79. [KORDI Contribution No.86-04]
27. 海水中 溶存우라늄의 經濟的 抽出 (Economical extraction of dissolved uranium from seawater). 金銀洙. Ocean Research, V.8(1); 81-88. [KORDI Contribution No.86-26]
28. Distribution characteristics of chemical elements in core sediments from the northeastern equatorial Pacific (KONOD-1 area) (北東太平洋 赤道帶 KONOD-1 地域의 core 堆積物中 化學元素들의 分布特性). Kap-Sik Jeong, Sang-Joon Han and Jung-Keuk Kang. Ocean Research, V.8(2); 1-15. [KORDI Contribution No.86-34]
29. 北東太平洋 赤道帶 KONOD-1 地域의 磁力異常解析 (Interpretation of the magnetic anomalies in the northeastern equatorial Pacific (KONOD-1 area)). 朴贊弘. 金聖烈. 韓相俊. 姜正極. Ocean Research, V.8(2);17-27. [KORDI Contribution No.86-12]
30. 積分모델에 의한 温排水제트 研究 (A study of thermal jet characteristics using jet integral model). 姜錫求. 李相龍. 鄭景太. 廉器大. Ocean Research, V.8(2); 29-39 [KORDI Contribution No.86-17]

31. 降水 및 河川水에 의한 淡水의 流入과 리구리아海流 流量과의 相關關係
(Relationship between the fresh water input and the volume transport of
Ligurian Current). 奉鍾憲. Ocean Research, V.8(2); 41-51
32. 海洋生物의 自然毒 (Natural toxins of marine organisms). 錢重均. Ocean
Research, V.8(2); 53-61. [KORDI Contribution No.86-27]
33. 1986年 東海深層海流 觀測을 위한 流速計 繫留報告 (Note on the deep-sea
mooring of current meters in the East Sea in 1986). 黃雙喆. 全鎬景. 咸錫賢
Ocean Research, V.8(2); 63-74. [KORDI Contribution No.86-16]

TITLE INDEX

1. 降水 및 河川水에 의한 淡水의 流入과 리구리아海流 流量과의 相關關係.....	546
2. 建設需要創出面에서 본 沿岸域開發事業.....	173
3. 建設需要創出面에서 본 潮力發電施設.....	187
4. 建設需要創出面에서 본 海洋開發施設.....	203
5. 게임理論을 利用한 沿岸域 産業配置模型.....	545
6. 光陽灣에서의 現生底棲 有孔蟲에 관한 研究.....	213
7. 광양만의 부채발갯지렁이류.....	135
8. 光陽灣 表層 海水中的 重金屬含量.....	461
9. 技術進步 및 魚資源減少와 投入物에 對한 漁獲 彈力度: 沿近海 漁業의 경우.....	543
10. 南極: 그 自然環境과 地下資源.....	225
11. 南極 King George Island 調査.....	237
12. 南海岸 光陽灣의 潮間帶 海藻類에 關한 生態學的 研究.....	241
13. 斷面이 急變하는 狹水路에서의 潮汐數值實驗 - 西南沿岸 海域의 適用..	545
14. 待機理論에 따른 確率分布函數 檢定.....	544
15. 덕대, <i>Pampus echinogaster</i> (Basilewsky) 稚仔魚期の 形態 및 脊柱의 發達.....	543
16. 都市와 海溢.....	263
17. 東南 黃海에서 海水溫度의 EOF分析.....	451
18. 동해 울릉분지 남서사면에서 채출된 개형층 군집.....	489
19. RANCE潮力發電所 稼動 20年.....	275
20. Box-Jenkins 모델에 의한 魚價分析.....	544

21. 방어 增養殖事業에서 4要因이 經營成果에 미치는 영향.....	543
22. 方魚津 南岫 海底表層 堆積物中の 底棲有孔蟲.....	544
23. 北東太平洋 赤道帶 KONOD-1 지역의 磁力異常解析.....	545
24. 北東太平洋 赤道帶 KONOD-1 地域의 core 堆積物中 化學元素들의 分布特性.....	545
25. 산타카타리나 해분에서 산출된 비정상 <i>Cassidulina</i>	379
26. 世界 살물선 市況豫測에 있어 計量的 모델의 應用.....	544
27. 輸出入 貨物의 荷役生産性 提高를 위한 研究 - 港灣荷役勞動을 中心으로.....	283
28. 數値모델을 利用한 萬里浦 海濱變化研究.....	543
29. ¹⁴ C - 法과 酸素法에 依한 一次生産 比較研究.....	385
30. 싱가포르의 해운현황과 해운정책.....	293
31. 沿岸海城에서의 基礎情報調查의 現狀과 課題.....	1
32. 迎日灣의 植物플랑크톤 分布.....	101
33. 올림픽 요트競技場 (水營灣)의 海上狀態 研究.....	301
34. 우리나라 海洋部門의 對 國民總生産 寄與度 및 經濟的 波及效果에 대한 推定.....	544
35. 蔚山灣 및 周邊海城의 稚仔魚 分布.....	544
36. 衛星映像에 의한 西海沿岸海城의 海水濁度 分布研究.....	545
37. 1986년 東海深層海流 觀測을 위한 流速計 繫留報告.....	546
38. 積分모델에 의한 溫排水제트 研究.....	545
39. 停滯性 微細 浮遊堆積物 Wedge의 特性.....	544
40. 潮力發電.....	317
41. 朝鮮累層群 상부 캄브리아系 花折層에 狹在된 Carbonate Flat Pebble Conglomerate의 成因.....	7

42. 중부 캄브리아계 풍촌석회암층의 미량원소.....	323
43. 중부 캄브리아기 우이드어울 퇴적층: 풍촌석회암층 하부의 어란상 탄산염암.....	341
44. 鎮海湾의 <i>Gymnodinium nagasakiense</i> 赤潮에 관한 研究.....	505
45. 春季 西海의 植物플랑크톤 研究.....	544
46. 颱風豫報 技術開發의 經濟性.....	545
47. FUNDY灣 潮力發電事業.....	359
48. 하계 진동만의 해양화학지수의 분포.....	429
49. 韓國 近海城産 浮游性 藻類의 目錄 II. 矽藻類.....	543
50. 韓國 近海城産 浮游性 藻類의 目錄 I. 渦鞭毛藻類.....	544
51. 韓國 南東海 底棲有孔蟲의 生物場.....	369
52. 韓國 東海岸에서의 夏季 南向流.....	145
53. 韓國産 未記錄 海藻類에 대한 考察.....	544
54. 한국산 비늘갯지렁이류의 분류 I. 참비늘갯지렁이 아과.....	15
55. 韓國産 해삼類에 關한 研究 1. 닻해삼科.....	543
56. 韓國 沿岸域의 供給潛在力 評價技法에 關한 研究.....	543
57. 韓半島 南東海城 大陸棚의 第4紀後期の 堆積環境과 浮遊物質含量.....	417
58. 韓半島 沿近海底 表層堆積物에서의 背波傳達速度와 減衰係數.....	33
59. 港灣料率 決定의 理論과 實際.....	45
60. 海上物動量의 長期豫測模型.....	543
61. 海上 彈性波反射法 資料를 이용한 地層速度決定과 模型試驗.....	545
62. 海上 彈性波探查資料 解釋을 위한 多樣한 處理技法의 效果.....	435
63. 海水中 溶存우라늄의 經濟的 抽出.....	545

64. 海洋開發의 必要性和 當面課題.....	51
65. 海洋生物의 自然毒.....	546
66. 해양연구소에 보관되어 있던 한국 천해산 바다거미류.....	467
67. Homomorphic deconvolution을 이용한 彈性波 探查資料의 處理 (I),...	543
68. 黃海의 多毛環蟲類 III. 대나무갯지렁이科 (第1報).....	544
69. 黃海의 多毛環蟲類 III. 대나무갯지렁이科 (第2報).....	545
70. 흰베도라치, <i>Enedrias fangi</i> 稚仔魚期의 食性.....	61
71. 흰베도라치, <i>Enedrias fangi</i> (Wang and Wang) 稚仔魚期의 形態 및 骨骼發達에 관한 研究.....	69
72. An activities allocation model using game theory for coastal zone planning (in Korean).....	545
73. An analysis of fish prices by Box-Jenkins model (in Korean).....	544
74. Application of homomorphic deconvolution to seismic data processing - part 1 (in Korean).....	543
75. Application of the quantitative models to forecasting the world market of bulk carrier (in Korean).....	544
76. Benthic foraminifera in the surface sediments south of Bang-o-jin, southeast Korea (in Korean).....	544
77. Biapertural <i>Cassidulina</i> from Santa Catalina Basin, California continental borderland (in English).....	379
78. Biotope analysis of the total benthic foraminiferal assemblage off the southeastern coast, Korea (in Korean).....	369
79. Check-list of marine planktonic algae in the coastal waters of Korea I. Bacillariophyceae (in English).....	543
80. Check-list of marine planktonic algae in the Korean coastal waters II. Dinophyceae (in English).....	544
81. A comparative study of primary production by using the ¹⁴ C and oxygen methods (in English).....	385

82. Current-depth refraction of directional wave spectra(in English).	397
83. Depositional environment of late Quaternary sediments and suspended particulate matter on the southeastern continental shelf, Korea (in English).....	417
84. Determination of interval velocities from marine seismic reflection data and model experiment (in Korean).....	545
85. Distribution characteristics of chemical elements in core sediments from the northeastern equatorial Pacific (KONOD-1 area) (in English).....	545
86. Distribution of chemical oceanographic parameters during summer in Jindong Bay (in English).....	429
87. The distribution of clay minerals in recent sediments of the Korea Strait (in English).....	89
88. Distribution of fish larvae in the Ulsan Bay and its adjacent waters (in Korean).....	544
89. The distribution of phytoplankton in Yeong-il Bay, Korea (in English).....	101
90. An ecological study of the intertidal macroalgae in Kwangyang Bay, southern coast of Korea (in Korean).....	241
91. Economic benefit of R & D in typhoon forecasting system (in Korean).....	545
92. Economical extraction of dissolved uranium from seawater (in Korean).....	545
93. Effects of different processing techniques on interpretation of marine seismic data (in English).....	435
94. Empirical orthogonal function analysis of seawater temperature in the southeastern Hwanghae (in English).....	451
95. Estimation of probability distribution of interarrival time and service time (in Korean).....	544

96. Evidence of two driving mechanisms of the western Mediterranean upper layer circulation: Freshwater coastal input and deep water formation (in English).....	113
97. Food of the larval gunnel, <i>Enodrias fangi</i> (in Korean).....	61
98. Fundy Bay tidal power projects (in Korean).....	359
99. Heavy metals in the surface waters of Kwangyang Bay during 1983-84 (in English).....	461
100. The impact on the business performance of the four uncertainty factors in aquaculture of yellow tail (in Korean).....	543
101. Implications of the recent benthic foraminifera in Gwangyang Bay, Korea (in Korean).....	213
102. Interpretation of the magnetic anomalies in the northeastern equatorial Pacific (KONOD-1 area) (in Korean).....	545
103. Korean antarctic research expedition 1985/86 (in Korean).....	237
104. Korean shallow-water pycnogonids based on the collections of the Korea Ocean Research and Development Institute (in English).....	467
105. Longrun forecasting of ocean-going cargo volume (in Korean).....	543
106. Middle Cambrian ooid shoal deposits: The oolitic carbonate rocks of lower Pungchon limestone Formation, Korea (in Korean).....	341
107. Naticid gastropods may kill solenid bivalves without boring: Ichnologic and taphonomic consequences (in English).....	485
108. Natural toxins of marine organisms (in Korean).....	546
109. Note on the deep-sea mooring of current meters in the East Sea in 1986 (in Korean).....	546
110. Notes on some unrecorded marine algae in Korea (in Korean).....	544
111. A numerical experiment of tidal current in the narrow channels with abrupt sectional changes (in Korean).....	545
112. Numerical modelling on the Mallipo beach changes (in Korean).....	543

113. The ocean sector's contribution to gross national product: the case of Korea (in Korean).....	544
114. Origin of carbonate flat pebble conglomerate of the upper Cambrian Hwajol Formation, Choson Supergroup, Korea (in Korean)....	7
115. Planktonic foraminifera from the southwestern slop of the Ulleung Basin, East Sea, Korea (in English).....	115
116. Polychaetous annelids from the Yellow Sea III. Family Maldanidae (part 1) (in Korean).....	544
117. Polychaetous annelids from the Yellow Sea III. Family Maldanidae (part 2) (in Korean).....	545
118. Properties of a stationary fine sediment wedge (in English).....	544
119. Recent ostracodes from the southwestern slope of the Ulleung Basin, East Sea, Korea (in English).....	489
120. Relationship between the fresh water input and the volume transport of Ligurian Current (in Korean).....	546
121. Remotely sensed water turbidity pattern on the Korean side of the Yellow Sea (in English).....	545
122. Some phyllodocid polychaetes from Kwangyang Bay, Korea (in English).....	135
123. The sound velocity and attenuation coefficient of the marine surface sediments in the nearshore area, Korea (in Korean).....	33
124. Studies on the holothuroidea in the coastal waters of Korea I. Synaptidae (in English).....	543
125. A study of thermal jet characteristics using jet integral model (in Korean).....	545
126. A study on the early development of morphology and vertebral column of Korean pamfret, <i>Pampus echinogaster</i> (Balilewsky) (in Korean).....	543
127. A study on the <i>Gymnodinium nagasakiense</i> red-tide in Jinhae Bay of Korea (in English).....	505

128.	A study on the morphological and skeletal development of larvae and juveniles of <i>Enedrias fangi</i> (Wang and Wang) (in Korean).....	69
129.	A study on the phytoplankton of the Yellow Sea in spring, 1984 (in Korean).....	544
130.	A study on the potential analysis methods of coastal zone in Korea (in Korean).....	543
131.	Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae (in English).....	517
132.	Summertime southward current along the east coast of Korea (in English).....	145
133.	Taxonomic study on polynoid polychaetes in Korea I. subfamily Harmothoinae (in Korean).....	15
134.	Technical progress, fishery resource depletion and the input elasticity of fish harvest: The case of the coastal and off-shore fisheries of Korea (in Korean).....	543
135.	Terra Australis Incognita; Antarctica: Its natural environment, petroleum, and mineral resources (in Korean).....	225
136.	Three dimensional study of the tidal flat geomorphology in the Kum River Estuary by multirate image analysis (in English)...	531
137.	Trace elements of the middle Cambrian Pungchon Limestone Formation, Korea (in Korean).....	323
138.	20 years operation of Rance Tidal Power Station (in Korean).....	275
139.	Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Hwanghae(Yellow Sea) (in English).....	151
140.	Zoned facies of mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan) (in English).....	159

SUBJECT INDEX

Physical Oceanography

1. 降水 및 河川水에 의한 淡水의 流入과 리구리아海流 流量과의 相關關係.....545
2. 올림픽 요트競技場 (水管灣)의 海上狀態研究.....301
3. 1986年 東海深層海流 觀測을 위한 流速計 繫留報告.....546
4. Empirical orthogonal function analysis of seawater temperature in the southeastern Hwanghae.....451
5. Evidence of two driving mechanisms of the western Mediterranean upper layer circulation: Freshwater coastal input and deep water formation.....113
6. Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae....517
7. Summertime southward current along the east coast of Korea.....145
8. Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Hwanghae (Yellow Sea).....151

Chemical Oceanography

1. 海水中 溶存우라늄의 經濟的 抽出.....545
2. Distribution of chemical oceanographic parameters during summer in Jindong Bay.....429
3. Heavy metals in the surface waters of Kwangyang Bay during 1983-84.....461

Marine Biology

1. 南海岸 光陽灣의 潮間帶 海藻類에 관한 生態學的 研究.....241
2. 덕대, *Pampus echinogaster* (Basilewsky) 稚子魚期の 形態 및 脊柱의 發達.....543

3. 蔚山灣 및 周邊海域의 稚仔魚分布.....	544
4. 春季 西海의 植物플랑크톤 研究.....	544
5. 韓國產 未記錄 海藻類에 대한 考察.....	544
6. 한국산 비늘갯지렁이류의 분류 1. 참비늘갯지렁이 아과.....	15
7. 海洋生物의 自然毒.....	546
8. 黃海의 多毛環蟲類 III. 대나무갯지렁이과 (第1報).....	544
9. 黃海의 多毛環蟲類 III. 대나무갯지렁이과 (第2報).....	545
10. 흰베도라치, <i>Enedrias fangi</i> 稚仔魚期의 食性.....	61
11. 흰베도라치, <i>Enedrias fangi</i> (Wang and Wang) 稚仔魚期의 形態 및 骨骼發達에 관한 研究.....	69
12. Check-list of marine planktonic algae in the coastal waters of Korea I. Bacillariophyceae.....	543
13. Check-list of marine planktonic algae in the Korean coastal waters II. Dinophyceae.....	544
14. A comparative study of primary production by using the ¹⁴ C and oxygen methods.....	385
15. The distribution of phytoplankton in Yeong-il Bay, Korea.....	101
16. Korean shallow-water pycnogonids based on the collections of the Korea Ocean Research & Development Institute.....	467
17. Naticid gastropods may kill solenid bivalves without boring: Ichnologic and taphonomic consequences.....	485
18. Some phyllodocid polychaetes from Kwangyang Bay, Korea.....	135
19. Studies on the holothuroidea in the coastal waters of Korea I. Synaptidae.....	543
20. A study on the <i>Gymnodinium nagasakiense</i> red-tide in Jinhae Bay of Korea.....	505

Geological Oceanography

1. 光陽灣에서의 現生底棲 有孔蟲에 관한 研究.....213
2. 南極: 그 自然環境과 地下資源.....225
3. 南極 King George Island 調査.....237
4. 方魚津 南岬 海底表層 堆積物中の 底棲有孔蟲.....544
5. 北東太平洋 赤道帶 KONOD-1 지역의 磁力異常 解析.....545
6. 朝鮮累層群 상부 캄브리아系 花折層에 狹在된 Carbonate Flat
Pebble Conglomerate의 成因.....7
7. 중부 캄브리아계 풍촌석회암층의 미량원소.....323
8. 중부 캄브리아기 우이드여울 퇴적층: 풍촌석회암층 하부의
어란상 탄산염암.....341
9. 韓國 南東海 底棲有孔蟲의 生物場.....369
10. 韓半島 沿近海底 表層堆積物에서의 音波傳達速度와 減衰係數.....33
11. 海上彈性波 反射法 資料를 利用한 地層速度 決定과 模型試驗.....545
12. Homomorphic deconvolution을 利用한 彈性波 探查資料의 處理 (I)....543
13. Biapertural *Cassidulina* from Santa Catalina Basin, California
continental borderland.....379
14. Depositional environment of late Quaternary sediments and
suspended particulate matter on the southeastern continental
shelf, Korea.....417
15. Distribution characteristics of chemical elements in core
sediments from the northeastern equatorial Pacific (KONOD-1
area).....545
16. The distribution of clay minerals in recent sediments of the
Korea Strait.....89
17. Effects of different processing techniques on interpretation of
marine seismic data.....435

18. Planktonic foraminifera from the southwestern slope of the Ulleung Basin, East Sea, Korea.....	115
19. Properties of a stationary fine sediment wedge.....	544
20. Recent ostracodes from the southwestern slope of the Ulleung Basin, East Sea, Korea.....	489
21. Remotely sensed water turbidity pattern on the Korean side of the Yellow Sea.....	545
22. Three dimensional study of the tidal flat geomorphology in the Kum River Estuary by multirate image analysis.....	531
23. Zoned facies of mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan).....	159

Ocean Engineering

1. 斷面이 急變하는 狹水路에서의 潮汐數值實驗 - 西南沿岸 海域에의 適用.....	545
2. 都市와 海溢.....	263
3. RANCE潮力發電所 稼動 20年.....	275
4. 數值모델을 利用한 萬里浦 海濱變化研究.....	543
5. 積分모델에 의한 溫排水제트 研究.....	545
6. 潮力發電.....	317
7. FUNDY灣 潮力發電事業.....	359
8. Current-depth refraction of directional wave spectra.....	397

Miscellaneous

1. 建設需要創出面에서 본 沿岸開發事業.....	173
2. 建設需要創出面에서 본 潮力發電施設.....	187
3. 建設需要創出面에서 본 海洋開發施設.....	203

4. 게임理論을 利用한 沿岸域 産業配値模型!.....	545
5. 技術進步 및 魚資源減少와 投入物에 對한 漁獲彈力度: 沿近海 漁業의 경우.....	543
6. 待機理論에 따른 確率分布函數 檢定.....	544
7. Box-Jenkins 모델에 의한 魚價分析.....	544
8. 방어 增養殖事業에서 4要因이 經營成果에 미치는 영향.....	543
9. 世界 살물선 市況豫測에 있어 計量的 모델의 應用.....	544
10. 輸出入 貨物の 荷役生産性 提高를 위한 研究 - 港灣荷役 勞動을 中心으로 -.....	283
11. 싱가포르의 해운현황과 해운정책.....	293
12. 沿岸海城에서의 基礎情報調查의 現狀과 課題.....	1
13. 우리나라 海洋部門의 對 國民總生産 寄與度 및 經濟的 波及效果에 대한 推定.....	544
14. 颱風豫報 技術開發의 經濟性.....	545
15. 韓國 沿岸域의 供給潛在力 評價技法에 關한 研究.....	543
16. 港灣料率 決定의 理論과 實際.....	45
17. 海上物動量의 長期豫測模型.....	543
18. 海洋開發의 必要性和 當面課題.....	51

AUTHOR INDEX

Ahn, Hee-Do.....1	Kim, Dong Whie.....545
Bang, In Kwon.....451	Kim, Dong-Yup.....61
*Bethoux, J. P. ....113	Kim, Eun Soo.....461,545
Bong, Jong-Hon.....113,546	Kim, Han-Joon.....543,545
Byun, Sang-Kyung.....145	Kim, Hyo Seob.....545
*Cha, Seong Sig.....544	Kim, Hyun-Yeong.....543
Chae, Jang Won.....397,543	*Kim, Il-Hoi.....467
Chang, Man.....544	Kim, Jong Man.....61,543,544
Chang, Soon-Keun.....	Kim, Seong-Ryul.....33,543,545
115,213,225,237,369,379,489,544	Kim, Suk Hyun.....461
Chang, Young Tae.....293,543	Kim, Sung-Gwi.....543,544
*Cheong, Hae-Kyung.....115,489	*Kim, Yong Uk.....69
*Cho, Chang Hwan.....543,544	Kim, Weon-Jae.....544
*Chough, S. K. ....159	Kwak, Hi-Sang.....505
Chung, Sung Chul.....45,543	Lee, Dong-Young.....544
*Douglas, Robert G. ....379	*Lee, Eui-Hyeong.....489
*Frey, Robert W. ....485	Lee, Jae-Hac.....15,135,544,545
Haam, Suk-Hyun.....546	Lee, Jin Hwan.....505,543,544
Han, Sang-Joon.....	*Lee, Kwang-Woo.....429,461
7,89,323,341,435,543,545	Lee, Sang-Rhyong.....545
Hong, Jae-Sang.....467,485	Lee, Soo Hyung.....461
Hong, Seoung-Yong.....51,173	Lee, Suk Tae.....545
*Honza, E. ....159	Lie, Heung-Jae...145,151,451,517
*Howard, James D. ....485	*Lin, Chung-Po.....544
Huh, Hyung-Tack.....61,543,544	*Mehta, Ashish J. ....544
Hwang, Sang-Chul.....546	*Noh, Yong-Tai.....15
Jae, Jong-Gee1.....15,135	Oh, Jae Ryoung.....461
Jeon, Joong-Kyun .....546	Pae, Se Jin.....101
Jeong, Kap-Sik.....159,545	*Paik, Eui-In.....544,545
Jun, Ho-Kyung.....546	*Paik, Kwang-Ho.....115,489
*Jung, Kyung-Tae.....545	*Park, Byung Kwon.....
Kahng, Sung H. ....385	7,89,323,341,435
*Kang, Jae Won.....544	Park, Chan-Hong.....545
Kang, Jung-Keuk.....545	*Prieur, L. ....113
Kang, See Whan.....263,301	*Shim, Jae Hyung.....101,385,544
Kang, Sok-Kuh.....545	Song, Choon Bok.....241,544
*Kang, Yong Q. ....451	Song, Jong-Guk.....543

* This represents that the author was not affiliated with the KORDI at the time of publishing day.

Song, Won-Oh.....	317,359,397,545
Suk, Bong Chool.....	33,417
Yang, Dong-Beom.....	429
Yi, Soon Kil.....	543
Yoo, Hong-Rhyong.....	531,545
Yoo, Jae Myung.....	61,69,543,544
Yoo, Si-Yoong.....	543,545
Yoon, Dong Han.....	544
Yoon, Sang-Ho.....	283
*Yoon, Oong Koo.....	435
You, Hai-Soo.....	543,545
Yum, Ki-Dai.....	543,545
Yun, Choon Sun.....	545

* This represents that the author was not affiliated with the KORDI at the time of publishing day.

