

BSPE 98706-00-1139-4

# 남해대륙붕 물질순환과 생지화학 환경연구

Transport and Biogeochemical Processes  
in the Cheju Strait

한국해양연구소



# 제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “남해 대륙붕 물질순환과 생지화학 환경연구사업”의 연차 보고서로 제출합니다.

1998. 12. 31.

총괄연구책임자 : 홍 기 훈

참여연구원 :

해류 및 해수순환 : 장경일, 석문식, 김철호, 전동철,  
이하용, 장영석, 남수용, 김도연,  
김지호, 장유순

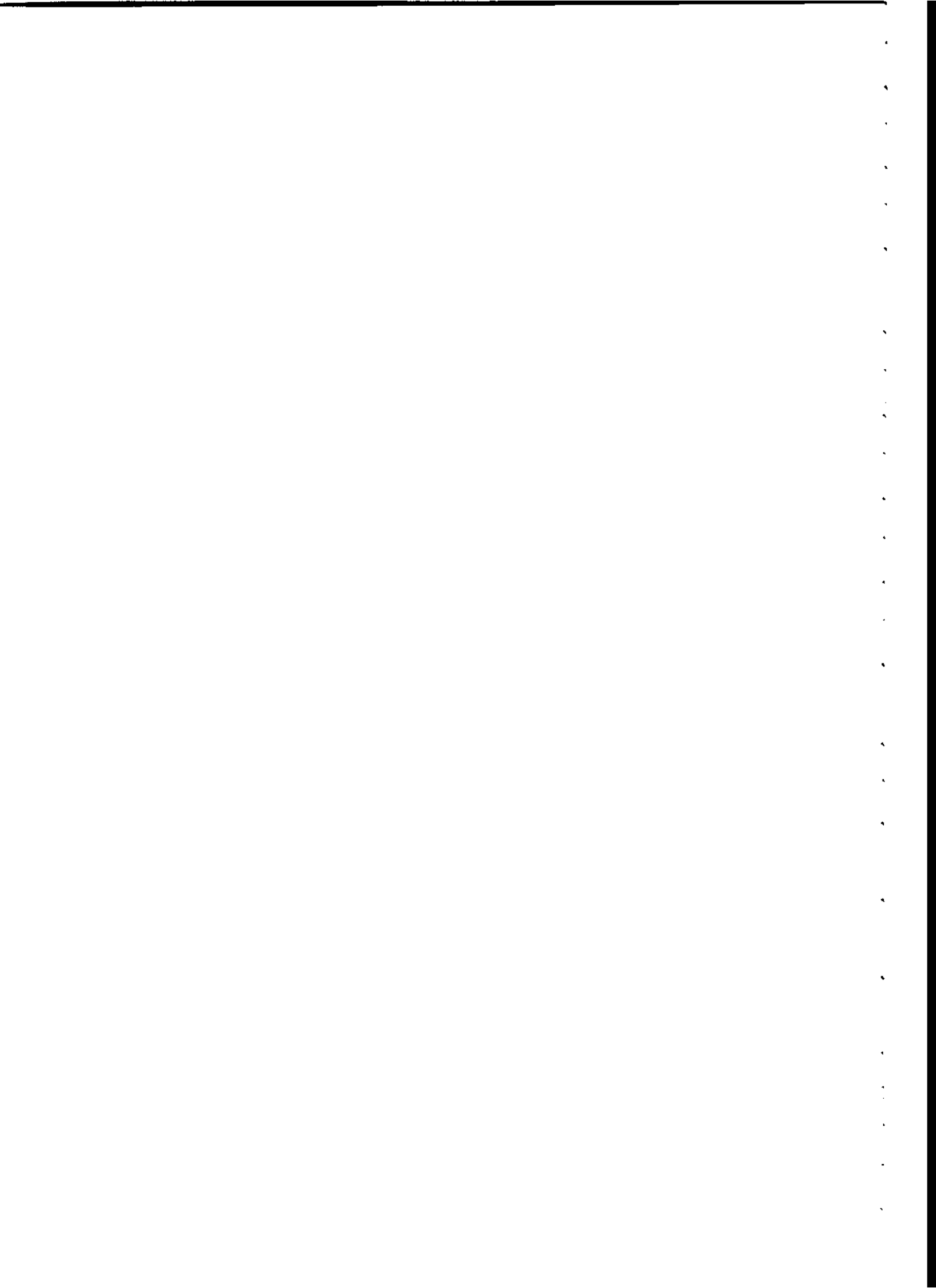
협가성 내만환경 : 양동범, 김경태, 유 준, 진용현,  
이동호

대륙붕화학물질수지 및 순환 : 정창수, 김석현, 박선규, 박준건,  
서승모, 정원옥, 정혜윤, 이현미,  
박지연, 김현철, 이상한, 임재희,  
최승민, 양성렬(광주대)

저서생물 생화학 특성 : 조기용, 신종현, 서영완, 노정래,  
이희승, 정경화

홀로세 해침 퇴적작용 : 이희준, 정갑식, 우한준, 추용식,  
강정원, 김성은, 박은순, 권수재,  
김광산

치자어와 어류군집 : 유재명, 김 성, 이은경,  
이태원(충남대)



# 요 약 문

## I. 제 목

남해 대륙붕 물질순환과 생지화학 환경연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 필요성

- 남해 대륙붕은 황해, 양자강 등 중국 연안수와 남방 열대 쿠로시오수가 혼합되어 궁극적으로 동해로 유입되는 길목에 위치한 해류 지배 역으로 우리나라 경제적으로 주요한 해역이나 해양생산력과 환경질을 결정하는 해양 생지화학 과정 연구 전무
- 남해 동방해류가 뚜렷이 존재하나 그 변동역학 연구 전무
- 남해는 해류 특성으로 한대성과 아열대성 생물종 혼재 특이해역으로 유용생물 물질자원 개발 가능성이 높은 해역임
- 항만 및 해안산업지대, 수산업의 지속가능 경제 성장을 위하여 인위적 물질순환 변동방식 규명 필요
- 남해는 양식 어장과 대규모 산업항만 밀집 지역으로 적조 및 해상 독성 물질 유출 사고 다발지역으로 그간 분지규모의 종합환경연구 전무
- 남해 연안은 현생태의 활발한 퇴적지로서, 직접적인 원인이 되는 육상기원 부유물질의 거동규명 필요
- 남해의 해황과 해수순환을 이해하고 정확히 재현하며 나아가 해양변동을 예측하기 위해 남해의 개방경계에 해당되는 제주해협, 대한해협, 제주도-대마도 사이를 통해 남해로 유출입 되는 해수 및 화학물질 특성과 해류분포에 대한 정량적 규명 필요.

### 2. 연구개발의 1단계 (3년) 최종 목표

- 제주해협을 통한 인접해역간의 화학물질 및 해수교환의 중·장기 변동성 파악
- 한반도와 남해 대륙붕과 육지간 화학물질 이동 규명
- 해수순환모델을 이용한 남해의 평균적인 해수순환 재현
- 저서생물의 생화학특성 규명하여 궁극적으로 지속가능한 남해 이용과 개발을 위한 환경보전 종합 시스템 구축을 위한 기반 해양과정 규명을 최종목표로 함

### 3. 2차년도 연구 목표

- 기존 해수면 자료 분석을 통한 제주해류의 계절변동 파악
- 여름철과 겨울철 남해의 개방경계에서의 해수특성과 해류자료 획득
- 인공위성 추적부이를 이용한 남해에서의 Lagrangian 측류
- 해양순환모델을 이용한 남해의 평균적인 3차원 해수순환 재현
- 내만환경에서의 중금속원소 거동
- 혐기성 내만환경의 물리, 화학, 생물학적 발생원인
- 제주해협 기준선상의 친생물 화학물질 플럭스 추정
- 남해 대륙붕 유기물 생성과 변천
- 남해로의 대기오염물질 기여도 규명
- 남해해수 기원 및 연안수 기여율 규명
- 해저퇴적물 축적율과 과정 평가
- 해양 미생물 균주 수집 및 분해능 조사
- 해양환경의 Biomarker 추출, 정제분석 방법의 확립
- 지방성분의 Biomarker 후보물질들의 실제 시료에의 적용
- 남해 대륙붕 및 연안의 현생퇴적물 분포
- 남해 해저 퇴적물에 대한 기존결과를 요약, 정리하고 만 입구에서의 부유물질 출입량 계측
- 대마난류를 따라 회유하는 치자어의 종 조성 파악
- 제주도 주변해역에서 출현하는 치자어의 계절별 종 조성 파악과 종목록 작성
- 난류성 종과 연안성 어류의 치자어 사진자료 확보

### III. 연구개발의 내용

#### 1. 한국 남해의 해양수송과 과정연구 워크숍 개최

개최일시 및 장소 : 1998년 9월 4일, 한국해양연구소

내 용 : 총 27편 논문 발표 (연구소; 13편, 대학; 14편)

#### 2. 해양조사 실시

##### ○ 춘계 조사

조사해역 : 한국 남해 대륙붕역 (33° 30' ~ 34° N, 126° 17' ~ 128° 05'E)

조사일정 : 1998년 4월 5일 ~ 4월 11일

조사선박 : 한국해양연구소 연구선 이어도호

주요 조사항목 : 용존무기영양염류, 해수 및 해저퇴적물 유기물 (유기탄소, 유기질소), 일차생산력, 라듐 동위체, 대기분진, 지방 성분 (해수 및 해저퇴적물, 해조류), CTD, 수소이온농도, 용존산소,

##### ○ 하계 조사

조사해역 : 제주해협

조사일정 : 1998년 9월 23일 ~ 9월 25일

조사선박 : 이어도호

주요 조사항목 : 용존무기영양염류, 해수 유기물(유기탄소, 질소), 일차생산력, 라듐동위체, 대기분진, 해수 지방성분, CTD, 해류, 조석과 조류, 수소이온농도, 용존산소

○ 추계 조사

조사해역 : 제주해협

조사일정 : 1998년 11월 24일 ~ 11월27일

조사선박 : 이어도호

주요 조사항목 : 용존무기영양염류, 해수유기물 (유기탄소, 질소), 일차생산력, 대기분진, CTD, 해류, 조석과 조류, 수소이온농도, 용존산소

### 3. 해류 및 해수순환

- 기존 해수면 자료분석 - 제주해류의 변동성을 파악하기 위하여 1989년~1994년 간의 제주와 추자도간 해수면 차이의 스펙트럼 분석
- 남해안 월평균 강수량 자료의 파엽변환법을 이용한 스펙트럼 분석
- 자료분석 및 해석
  - 계절별 해수특성 분포
  - 제주해협에서의 9월과 11월 해류분포와 해수 수송량
  - 1, 2차년도에 획득된 자료를 이용하여 제주해협 해수 수송량의 변동 대한해협과 남해 중앙부 남북단면에서의 해류분포
- 해양순환모델을 이용한 남해의 9월달 평균적 3차원 해수순환 재현

### 4. 혐기성 내만환경

- 마산만과 진해만의 기존자료를 토대로한 혐기성내만환경의 발생원인 분석
- 내만환경(광양만, 가막만)에서의 현장조사 (4회)를 통한 중금속 거동 관측

### 5. 대륙붕 화학물질 수지 및 순환

- 춘계, 하계 및 추계 친생물 원소 분포 특성 및 변동성 파악
- 라듐 동위원소비 이용 해수기원 규명
- 하계 및 추계 제주해협통과 화학물질 플럭스 정량
- 건상낙하 미량금속 플럭스 정량
- 남해 대기분진 천연 침적물 연속채취 관측소 설치운영
  - 한국해양연구소 거제도 장목분소 옥상 (1997년 10월 ~ 현재)
- 수계 및 해저퇴적물에 함유된 유기물 분포특성 규명
- 해저퇴적물 축적율과 과정 평가

### 6. 저서생물 생화학 특성

- 해수 및 해저퇴적물 Fatty acid와 hydrocarbons을 이용한 해양과정 Biomarker 활용 기술

- 저서생물의 지방산 조성 및 유용성분 정제

#### 7. 홀로세 해침 퇴적작용 및 부유물질 출입

- 남해 홀로세 퇴적작용에 대한 기존 문헌 및 자료 수집, 정리
- 교란되지 않은 박스코아의 준표층시료의 퇴적특성 분석
- 만 입구에서의 12 시간 정선관측에 의거하여 부유물질 출입량 계측

#### 8. 치자어와 어류군집

- o 제주도 연안의 치자어 종 조성에 관한 연구
  - 현장조사 : 1998년 5월, 8월, 11월
  - 제주도 연안의 치자어의 종별 분포 특성 조사
  - 제주도 연안에서 채집된 치자어를 대상으로 19종의 치자어 사진 자료 확보
  - 제주도 연안과 주변해역에서 출현하는 치자어 종목록 작성

### IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. 해류 및 해수순환

##### ● 기존 해수면 자료의 분석

제주와 추자도에서의 해수면과 두 관측점간의 해수면 차이는 연변화가 우세하여 7월~11월에 해수면 차이가 높게 나타나고 12월~3월 사이에는 낮게 나타나고 있어 제주해협에서 동향하는 제주해류가 여름과 가을에 강하고 겨울에 약화됨을 암시한다. 스펙트럼 분석에 의하면 해수면 차이는 연변화보다 덜 뚜렷하나 3개월, 4개월, 8개월 및 2년 주기에서도 spectral peak 가 나타난다.

##### ● 남해안 강수량 자료의 분석

남해안 지역의 강수량은 여름철에 집중되어 나타나며 월평균 강수량의 시계열 자료는 엘니뇨와 관련된 2~7년 사이의 경년변동과 10년 이상의 장기 변동성을 나타낸다. 남해안에서의 강수량은 선형적으로 증가하는 경향을 보이며 증가율은 7 mm/10 yrs~80 mm/10 yrs에 달한다. 강수량의 변동에 영향을 미치는 요인은 태풍과 아열대 폭풍의 빈도수이며 엘니뇨 기간 중 태풍의 빈도수가 감소하는 경향이 있지만 높은 상관관계를 나타내지는 않는다.

##### ● 해양 관측 결과

##### 1) 4월 광역 해양관측 결과

125 °E~129 °E 사이의 5개의 남북 단면에서 관측이 이루어진 4월의 경우 관측된 모든 단면에서 표층부터 저층에 이르는 열·염전선이 나타나고, 전선의 북쪽에는 상대적으로 저온, 저염의 해수가 그리고 전선역의 남쪽에는 고온, 고염의 제주난류수나 대마난류수가 분포한다. 열·염전선은 남해의 동쪽으로 갈수록 연안역에 근접하며, 남해의 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 전선역 북쪽의 연안역이나 남쪽의 외해역의 수온과 염분이 증가하는 경향을 보인다. 이는 외해역의 경우 남해의 서쪽에서



남해로 유입되는 제주난류수에 비해 제주도과 대마도 사이를 통해 남해로 유입되는 대마난류수의 수온과 염분이 높고, 대마난류수가 연안역 근처까지 세력을 확장하기 때문인 것으로 사료된다.

## 2) 제주해협내 계절별 해수특성, 해류분포 및 해수 수송량

제주해협내 해수의 수층은 3월과 4월에는 수직적으로 균질하며 수온과 염분은 남해 연안쪽에서 제주도쪽으로 증가한다. 3월과 4월의 염분분포에 의하면 이 시기의 제주해협내 해수는 대부분 쿠로시오로부터 기인한 해수로 딱 차있음을 알 수 있다. 9월에는 계절적 수온약층이 형성되는데 1997년과 9월과 1998년 9월에 획득한 자료에 의하면 제주해협 내 해수의 수온, 염분분포가 연변동 함을 시사한다. 9월에는 수온약층 상부에 염분 동중국해나 황해에서 기원한 염분 32.0 미만의 해수가 나타나며, 쿠로시오로부터 기원한 상대적으로 염분이 높은 해수는 수온약층 하부의 제주도에 인접한 제주해협 끝에 나타난다. 계절적 수온약층은 11월에는 소멸한다.

제주해협 내 해류의 주된 방향은 동향류이며 3월과 4월에는 15 cm/s 이상의 강한 동향류가 제주도 인접한 곳에 나타나는 반면에 9월이나 11월에는 20 cm/s 이상인 강한 동향류의 핵이 3월이나 4월에 비해 북쪽에 나타난다. 동향류의 수직적인 유속 차이는 9월과 11월에 크고 3월과 4월에는 상대적으로 약하다. 남해 연안역 부근의 연안류는 세기가 약하며 서쪽으로 흐르는 경우가 종종 나타난다. 1997년 9월에는 연안류가 20 cm/s 이상으로 강했는데 이는 연안역에서의 동은선들이 연안쪽으로 가면서 표층으로 부상한 것과 연관이 있는 것으로 사료된다. 1998년 9월 연안류가 미약했을 경우에는 등은선이 다소 저층으로 향하였다.

제주해협에서 관측된 해류분포에 의해 계산된 해수 수송량은 기존에 알려진 대한해협에서의 대마난류의 수송량 변화와 유사하게 9월에 최대치 (0.58 Sv) 를 보이고 4월에 최소치 (0.37 Sv) 를 보이며 9월의 수송량은 4월에 비해 약 1.5배 정도 크다. 대한해협에서와 마찬가지로 제주해협에서의 수송량 변화는 제주해협에서의 남북방향의 해수면 차이의 연변화와 유사하며, 대한해협 서수도에서의 해수 수송량의 30-40%는 제주해협에서 기인한다. 역학적인 방법에 의해 계산한 해수 수송량은 실측된 수송량의 50% 미만으로 나타나고 있어 전체 수송량에서 순압성분이 크게 기여함을 알 수 있고 제주해협에서의 수송량의 변화는 주로 순압성분 변화에 의해 일어나는 것으로 사료된다.

### ● 순환모델 결과

해양순환모델을 이용하여 9월달 남해의 평균적인 3차원 순환을 재현하였다. 해수 순환은 개방경계를 통한 해수의 유·출입과 열·염 플럭스, 해표면을 통한 열·염 플럭스 및 바람 강제력에 의해 유도되도록 설정하였으며 조석 강제력은 고려하지 않았다. 모델에 사용된 입력자료는 국립수산진흥원에 의해 남해에서 30년간 관측된 자료의 9월달 평균값과 한국해양연구소에 의해 제주해협과 대한해협에서 1997년 9월에 관측된 일평균 해류분포 자료이다. 제주해협을 통해 유입되는 제주해류와 제주도-대마도간을 통해 유입되는 대마난류는 남해에서 합쳐진 후 대한해협 서수도를 통해 동해로 유출된다. 남해의 해류는 전체적으로 동향류가 우세하며 표층에서는 해류의 주축이 외해역으로 치우쳐 나타나는 관계로 연안역은 해류가 미약하고 국지적으로는 반류가 형성된다. 저층에서는 대마난류의 세력이 표층보다 북쪽까지 영향

을 미친다. 북동풍 계열의 바람 강제력을 부과 할 경우 연안역을 따라서는 표층에서 남서향류가 발달하며 저층 순환은 바람의 영향을 거의 받지 않는다.

## 2. 혐기성 내만환경

마산만과 진해만 서부해역에서는 하계 저층수의 무산소화 정도가 연도별 변화를 보이며 이는 기상조건 등에 따른 물리적 환경의 변화 때문으로 보인다. 마산만과 진해만 서부해역은 하계에 다같이 빈산소환경이 발생하나 그 발생구조에서는 상당한 차이를 보인다. 마산만에서는 육상기인 유기물질의 유입 및 표층에서의 광합성에 의한 유기물 합성이 많으나 저층에 까지 도달하는 양은 많지 않은 것으로 보인다. 진해만 서부해역의 경우 식물성플랑크톤의 현존량은 적으나 입자가 큰 유기물이 안정적으로 침강하여 빈산소층을 형성하는 것으로 보인다.

광양만에서 용존성 중금속의 분포는 Cd가 동계에 비교적 높았고 다른 중금속은 하계에 높거나 계절적인 변화를 보이지 않았다. 여천공단 주변에서는 용존성 중금속의 농도가 상대적으로 높았으며 Co, Fe등은 섬진강 하구에서 비교적 높았다. 광양만에서 입자성 중금속의 농도는 하계에 가장 높았고 지리적으로는 용존성 중금속의 분포와 비슷한 경향을 보였다. 광양만에서는 부유물질 총량의 증가에 따라 입자성 Cu는 감소하며 Fe는 증가하는 경향을 보여 부유물질의 기원에 따른 중금속 원소의 분포 변화가 나타났다. 광양만 퇴적물 주상시료의 분석결과 퇴적층내에서 납 동위원소  $Pb^{207}/Pb^{206}$  비율은 0.8425~0.8466의 분포를 보였다. 해저 퇴적물중의 중금속은 Zn, Cd, Cu가 여천공단 주변에서 가장 높았고 Cr과 As는 여수해만에서 가장 높았다. 가막만의 용존성 중금속은 대체로 여수, 여천 지역의 육상 유입의 영향을 많이 받는다. 그러나 남해와 가막만이 연결되는 수로들 상에 위치한 6개 정점에서는 Pb가 모든 계절에 가막만 전체평균보다 다소 높은 값을 보여 Pb는 외해역으로 부터 가막만으로의 유입도 있는 것으로 판단된다. 광양, 가막, 사천, 당항, 진동등 남해안의 주요 연구대상 5개 해역의 용존성 중금속 자료를 대상으로 판별분석을 행한 결과 각 해역이 중금속 분포특성상 확연히 구분됨을 알 수있었다

## 3. 대륙붕 화학물질 순환 및 수치

### ● 친생물원소 분포특성

일반적으로 화학성분들은 계절변화에 따라 뚜렷한 특징을 갖는다.

입자성부유물질 농도는 춘계 (4월)에 연안해역에서는 표, 저층간의 농도가 비교적 균일하나, 하계에는 표층과 저층의 농도차이가 매우 크다. 수평 농도분포는 해저퇴적층의 구성이 실트와 점토로 구성되어 있는 한반도 서남해역에서는 연중  $5\text{ mg l}^{-1}$  이상으로 높고, 서쪽에서 동쪽으로, 연안에서 외해로 갈수록 감소하는 분포양상을 보인다. 이는 남해로 유입되는 퇴적물중 상당량이 한반도 서남해역의 연안역에서 기원되고 있음을 암시한다.

4월 용존무기영양염류 농도는 수심이 얇은 연안해역에서는 표, 저층수간의 혼합

으로 인하여 춘계에는 수직적으로 비교적 균일하다. 그러나 9월에는 식물플랑크톤에 의한 영양염 소모와 강하게 형성되어있는 성층으로 인하여 저층수로부터의 공급 제한을 받아 표면 혼합층내에서의 영양염류는 거의 고갈되어 있다. 그러나 수온약층을 경계로 급격히 증가하는 농도구배를 보인다. 이시기에 밀도약층 기저부에 용존산소 및 엽록소 a의 최대층이 형성된다.

● 대기유입 오염물질 특성

1997년 11월 (비황사기간)과 1998년 4월 (황사기간) 조사시 선상에서 대기분진을 채집하여 비염 황산 및 질산이온, 암모니아 이온 및 중금속등을 분석하였다. 황사기간중 대기분진에 함유된 Al은 비황사기간 채집된 농도보다 10배 정도 높아 황사 및 비황사간 대기분진 함유 주요 원소구성은 상당한 차이를 보인다. 그러나 인위적인 원소 및 화합물들은 황사기간보다는 비황사기간때 더 높은 농도를 보였다. 대기분진 함유 비염 황산, 질산, 다른 중금속 농도들과  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$ 간의 관계는 이들 입자들은 대륙으로부터 기원되어 더욱 높은 고도 (Free troposphere)를 통해 운반되고, 해양에 침착됨을 암시한다.

● 유기물 분포 특성

춘계 표층수에서의 입자성 유기탄소 및 질소함량은 표, 저층수의 활발한 혼합으로 해저퇴적물이 재부유되어 입자성 부유물질 농도 ( $>5\text{mg l}^{-1}$ )는 높으나 부유물질내 유기탄소 함량 비율은 2% 이하로 낮은 저염의 연안해역, 입자성부유물질 농도는 낮으나 식물플랑크톤의 생장이 활발하여 입자성유기탄소 함량 비율이 높은 전선 경계역, 그리고 낮은 입자성 부유물질농도와 높은 입자성유기탄소 함량비율 ( $>10\%$ )을 가진 고염 ( $>34.5\text{psu}$ )의 외해역등 3 구역으로 나눌 수 있다. 유기물의 기원을 나타내는 입자성 유기탄소대 유기질소 물비율은 1.7~7.0의 범위로서 대부분이 해양기원을 보인다.

하계 표층수에서의 입자성 유기탄소 및 질소 함량은 각각 68.3~347.0, 7.6~38.5  $\mu\text{g l}^{-1}$  로서 4월보다는 최대값에서 1/10 수준이고, 분포양상은 연안에서 외해로 갈수록 점차 감소한다. 유기물의 기원을 나타내는 C/N 물비는 표층수에서 4.8~5.8로서 4월에 비해서는 변화폭이 작고, 해양기원을 갖는다.

표층 퇴적물내 유기탄소 함량은 0.1 ~ 0.8 % 범위이다. 퇴적물중 유기탄소 및 질소 함량은 퇴적물중 점토함량이 증가함에 따라 증가하여, 퇴적물중 모래의 함량이 50 % 미만인 남해연안 인접정점들에서의 유기탄소 함량은 각각 0.5, 0.08 % 이상이나, 모래함량이 70% 이상인 정점들에서는 0.3% 이하이다. 유기물의 기원을 나타내는 C/N 물비는 표층퇴적물의 유기탄소 및 질소함량이 최대값을 보인 정점 A9 (12.5)을 제외하고는 3.0~8.4의 범위로서 수계내에서의 C/N 물비와 유사하여 대부분이 해양기원임을 나타낸다.

● 퇴적물의 해저퇴적작용과 퇴적역학

제주도 서부해역에서의 퇴적율은  $36\sim 161\text{ mg cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$  으로서 표층 수 cm의 하부에 사태형태의 강한 혼합구조가 과량  $^{210}\text{Pb}$  함량의 수직분포에서 뚜렷이 나타난다. 이 지역의 퇴적물들은 황하기원 삼각주의 퇴적물이 재부유되어 공급되고 여기에 추가적으로 양자강 기원의 물질들이 하계에 확장하는 양자강 유출수와 함께 공급된 것으로 사료된다.

서남해역 흑산니대의 퇴적물은  $26\sim 71 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로서  $^{210}\text{Pb}$  함량의 수직분포 상에서는 x-radiograph상의 실트와 점토로 구성된 미세층들이 정상상태의 퇴적과 slumping이 교호하는 것으로 나타난다.

고흥반도 서쪽해역은 겨울철 서해연안에서 재부유된 퇴적물이 이동되어 쌓이는 곳으로 퇴적율은  $74\sim 7.7 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  이고, 남해중앙부 해역에서는  $119\sim 284 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로서 매우 높다.

#### ● 기초생산력

1998년 4월, 9월과 11월 3회에 걸쳐 남해에서 기초생산을 측정하였다. 단위 체적당 기초생산은 4월에는  $1.41 \pm 1.07 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ 로 가장 낮게 나타났으며, 9월과 11월에는 각각  $6.23 \pm 2.25 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ 과  $5.21 \pm 0.30 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ 로 나타났다. 4월에 낮게 나타난 이유는 조사기간중 기상이 좋지 않은데서 기인한다. 기초생산의 수직분포를 살펴보면, 1998년 4월 조사시 반이상의 정점에서 표층(100% LPD)보다는 49 - 30% LPDs에서 가장 높은 값을 보인 점이 특징적이다. 일일 단위 면적당 기초생산성은 평균  $\pm \text{SD} = 78.8 \pm 61.0 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로서 정점간 12배 이상의 큰 차이를 나타내었다. 1998년 9월 조사시의 기초생산의 수직분포는 모든 정점에서 표층에서 가장 높고 수심이 증가함에 따라 기초생산이 감소하는 경향을 보였다. 일일 단위 면적당 기초생산성은 평균( $\pm \text{SD}$ )  $158.3(\pm 96.3) \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로서, 4월 조사시에 비해 약 2배 이상 증가하였다. 이러한 기초생산성의 증가는 주로 수온과 일조량의 증가에 기인한 것으로 판단된다. 1998년 11월 조사시에 기초생산성의 수직분포는 9월 조사시와 유사하게 표층에서 가장 높고 수심이 증가하면서 감소하는 경향을 보였다. 11월 조사시 일일 단위면적당 기초생산성은 평균  $\pm \text{SD} = 344.6 \pm 183.1 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 의 범위였다. 본 조사기간중 4월 및 9월보다는 11월에 평균 기초생산성이 가장 높았다.

#### ● 해수 기원

남해 표층수가 양자강회석수와 쿠로시오수간 두단성분에 의한 혼합으로 단순화시키고 한국남해의 해수중 양자강 회석수의 기여율을 추정한 결과 4월 제주해협 표층수중 약 6.7~31.4% (평균 15%), 대한해협 표층수중 약 21.6~30.8% (평균 23.7%)가 양자강 회석수로 구성되어 있고, 남해 전체적으로는 약 6.7~38% (약 20%) 이다.

9월에는 제주해협 표층수중 약 39%로서 4월보다는 2.6배정도 크다. 이는 9월은 장마기 이후로서, 특히 98년 여름에 양자강유역의 대홍수로 인해 상당량의 저염수가 제주해협에 유입된 영향으로 사료된다.

#### ● 제주해협 통과 화학물질 수송

1차년도 (97년 4월, 9월)과 2차년도 (1998년 9월, 11월) 측정 자료와 대한해협에서 입수가 가능한 해수수송량과 화학물질 농도자료를 인용하여 남해에서의 연간 화학물질 플럭스를 계산해 보면 다음과 같다.

제주해협 (제주해협)을 통해 남해로 들어오는 입자성부유물질, 질산이온, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각  $0.4 \times 10^9 \text{ mg s}^{-1}$ ,  $2.6 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $0.16 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $4.9 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$  이다. 반면에 제주-큐슈간 해협을 통해 들어오는 입자성부유물질, 질산이온, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각  $0.9 \times 10^9 \text{ mg s}^{-1}$ ,  $8.0 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,

$0.59 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $17.4 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$  이다.

대한해협을 통해 동해로 나가는 입자성부유물질, 질산이온, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각  $1.5 \times 10^9 \text{mg s}^{-1}$ ,  $10.7 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $1.0 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $24.2 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$  이다.

대마난류에 의해 제주-큐슈간 해협을 통해 남해로 들어오는 화학물질들의 총 플럭스는 제주해협을 통한 유입량보다 약 3~4배 크다. 제주해협과 제주-큐슈간 해협을 통해 남해로 유입되는 질산이온 플럭스는 약  $10.6 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ 로서 대한해협을 통해 동해로 빠져나가는 양 ( $10.7 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ )과 거의 같다. 그러나 인산이온 ( $0.75 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ) 및 규산 ( $22.3 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ )의 경우에는 대한해협을 통해 나가는 인산이온 ( $1.0 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ )과 규산 ( $24.2 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ )의 양보다 약간 작다.

제주해류 (제주해협)에 의해 남해로 유입되는 화학물질 플럭스는 대마난류 (제주-큐슈)에 의한 유입량보다도 약 2~3배 크다. 이 양은 대만동부에서 쿠로시오에 의한 수송량 (Chen et al., 1994)과 상응한 것으로서, 풍부한 화학물질들을 함유한 제주해류가 남해의 생지화학적 과정들에 있어서 상당히 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다.

#### 4. 저서생물 생화학 특성

##### ● 일반탄화수소 분포

황해남부해역과 부산항남부해역에서는 해저퇴적물은 석유기인 탄화수소로 오염되어 있으며 해수도 황해남부해역과 부산항남부해역에서는 석유기인 탄화수소로 오염되어 있으나, 황해남부해역은 일반적인 유류오염형태이나 부산항 부근 해역에서는 정제된 중유의 오염으로 사료된다. 그리고 남해중부 해역에서는 표층퇴적물에서는 석유기인탄화수소의 오염이 심화되어 있지 않으나 수심의 증가에 따라서 탄화수소 함량이 증가하여 저층수에서 최대치를 보여주고 있다. 이는 해수에 포함된 탄화수소가 해류의 흐름을 따라 동향하면서 침강하기 때문이다. 따라서 남해중양부의 해저 퇴적물도 오염이 될것으로 예측이 된다.

##### ● 지방산 분포

해저퇴적물은 황해남부 (제주서쪽) 해역에서 주로 육상유입물질, 진도남부 해역에서는 해양성 유기물질이 우세한 가운데 육상유래물질 포함, 남해중부해역에서는 미생물활동이 왕성한 것으로 사료된다. 해수중에서의 지방산 조성은 육상유래 생체물질이 대부분을 차지하고 있다. 남해안선에 인접한 해역에서는 세균활동이 매우 활발하며 외양으로 갈수록 해양성 유기물질이 우세하다. 부산항 남부해역에서는 육상유래 유기물질의 함량이 증가한다.

##### ● 남해대륙붕서식 주요저서생물의 생화학적 조성

감태, 꼬시래기, 참깃풀에 대한 지방산 조성은 감태는 arachidonic acid와 eicosapentanoic acid (EPA) 가 각각 총 지방산중 10.4 와 2.5% 함유하고, 꼬시래기와 참깃풀은 arachidonic acid를 40% 이상을 함유하여 이유식 제조에 쓰이는 필수 성분인 arachidonic acid의 원료가능성이 있다. 또한 참깃풀은 성장속도가 빠르고

오염에 강하여 수조배양을 통한 원료생물로서의 개발가능성이 크다.

● 해양환경시료에서의 steroid 화학분석기법 구축

5. 플로세 해침 퇴적작용 및 부유물질 출입

- 남해 표층퇴적물은 플로세 해침에 의해 중앙부의 조립질에서 연안으로 가면 서 세립질 퇴적물로 바뀐다.
- 연안별의 공급원은 다양하나 모두 우리 나라 기원이다. 즉 고흥반도 서쪽은 서해의 부유물질이고 동쪽은 섬진강과 낙동강이다.
- 박스코아의 퇴적상은 플로세해침과 기원에 따른 변화를 잘 보여준다. 즉 서해 부유물질 기원의 퇴적상은 잘 발달된 층리를 보이거나 남해 하천기원은 전체가 생물에 의해 심한 교란을 받았다. 그러나 중앙부 조립 퇴적물은 조개껍질, 자갈과 모래가 뒤섞여 있는 구조를 보인다.
- 진해, 마산만 입구에서 12시간 정선관측한 결과, 5월경 연안수는 상당히 안정되어 있으며 부유물질이 만 입구로 순수 이동하는 것을 정량적으로 밝혔다.
- 표층퇴적물의 분포가 플로세해침과 밀접한 관계가 있음을 이해하면 생물학적, 지화화적인 연구결과를 시간에 따른 환경변화를 고려하여 해석할 수 있을 것이다.
- 첨단 센서를 이용한 수리역학적 자료를 활용하면 주어진 만 내의 니질퇴적물의 침식과 퇴적을 예측할 수 있다.

6. 제주도 연안의 치자어 종조성

제주도 연안의 치자어 종 조성과 분포 특징 조사는 1998년 5월, 8월 그리고 11월에 실시되었다. 조사기간동안 33종의 치자어가 채집되었고, 제주도 동부 연안에서 치자어의 종류가 가장 다양하였다. 우점종은 자리돔(*Chromis notatus*)으로 전체 출현량의 28.5%를 차지하였다. 다음은 솜뱅이(*Sebastiscus marmoratus*) 10.6%, 가막베도라치(*Enneapterygius etheostomus*) 8.8%, 홍갑쟁(*Helicolenus hilgendorfi*) 8.5%, 멸치(*Engraulis japonicus*) 7.4%, *Benthosema pterotum* 6.8% 순으로 나타났다.

본 연구를 포함하여 제주도 연안과 주변해역에서 지금까지 밝혀진 치자어는 13목 75과 230여 종이다. 이러한 종 목록을 토대로 1998년 5월, 8월 그리고 11월에 제주도연안에서 채집된 치자어 중 총 19종의 사진을 확보하였다.

V. 결론 및 제안

본 연구는 10년간 장기과제로서 제주해류 변동성을 포함하는 남해 대륙붕과 한반도간의 물질이동기구를 규명하고 저서생물 화학특성 및 거대물질을 규명 개발하여 지속가능한 남해 이용과 개발을 위한 환경보전 종합 시스템을 구축하는 것을 목표로 하였다.

남해에서는 계절적인 해양변화에 따라 영양염류의 역학적 변동이 뚜렷하게 나타  
 나며, 인차생산력의 구조에 크게 영향을 미친다. 특히 양자강 등 주요하천을 통해 상  
 당량의 입자성 및 용존성 질소생물원이 남해로 유입되면서 이들 성분의 분배, 퇴적  
 등의 주요과정이 진행된다. 제주해류(제주해협)에 의해 남해로 유입되는 화학물질  
 플럭스는 대마난류에 의한 유입량보다 2~3배 크고, 쿠로시오 수송량과 유사한 양  
 으로 남해해양환경에서 매우 중요하다.

남해는 일반적으로 저염수에 의해 영향을 받으며 쿠로시오에서 분리된 고염의  
 해수가 혼합되며 라몬동위원소비를 측정할 경우 대마난류 유입량은 최고 38%이다. 남해  
 로 유입되는 담수 및 영양수의 남해해수성분에 대한 영향을 체계적으로 밝히기 위  
 해서는 앞으로 라몬, 산소 동위원소비에 대한 더욱 체계적인 연구가 필요하리라 믿  
 다.

대기를 통해 공전형태로 남해로 유입되는 오염물질 양은 상당한 것으로 밝혀졌  
 다. 특히 황사기간 중 SI과 금속 농도들은 비황사기간 중 농도들 보다 10배 이상이  
 서 남해 물질수지 산정에 있어서 대기로부터의 유입물질은 중요성이 매우 큰 것으  
 로 나타났다. 앞으로 남해전역의 물질수지에는 대기에 의한 각종 유입물질이 정량  
 적으로 제시되어야 할 수 있어야 하며 전체 물질수지에서의 기여도가 산정되어야 한  
 다고 본다.

제주해협에서 동향하는 제주해류는 여름과 가을에 강하고 겨울에 약하다. 제주해  
 류의 핵은 3월과 4월에는  $15\text{cm s}^{-1}$  이상이고 9월과 11월에는  $20\text{cm s}^{-1}$  이상이다.  
 수송량은 4월에 0.37 sv이고 9월에 0.58 sv 이다. 제주해협의 남해의 열염전선은 제  
 주난류에 비하여 제주도와의 대마도사이의 대마난류가 연안역까지 확장되기 때문에  
 제주해협에서 대한해협으로 관수류 연안역에 근접한다.

남해 대륙붕서식 생물중 산염물질을 다량 함유하고 있는 2개 해조류를 포함한 양  
 식할 수 있는 생물이 발견된바 향후 서식 생물용 질소적으로 조사하여 산염물  
 질 생산 후로 생물을 반환하여야 한다.





## SUMMARY

### I. Title

Transport and biogeochemical processes in the Cheju Strait

### II. Necessity and objective of the study

#### 1. Necessity

- Korean South Sea Shelf (hereafter Cheju-Korea Strait region) waters consists of the Yellow Sea, Yangtz River and East China Sea, and Kuroshio waters, and it enters to the East Sea. Therefore, the Cheju- Korea Straits Region is dominated by the eastward flowing current, Cheju Current. However, shelf processes of material transport and biogeochemical processes have never been studied yet.
- The dynamics of Cheju Current has not received a full scientific investigation.
- The Cheju-Korea Strait region is enriched with benthic animals of structurely unique and/or biologically active metabolites being located in a transition zone from the subtropics to the temperate region in terms of water masses.
- The region is concentrated with commercial and fishing harbors, coastal industrial belt, and fisheries including fin- and shellfish farming, therefore, it is necessary to support the sustainable development with the understanding the important material fluxes.
- The region is also subject to the frequent occurrence of red tides and oil spill accident due to the concentration of commercial harbors and wastes discharge from the land. In order to provide a basic scientific background for environmental protection, the understanding of the oceanic processes occurring in the region.
- Suspended sediments need to be continuously monitored with respect to the hydrodynamic behavior because the coastal region of the South Sea is governed by active sedimentary processes of fine-grained material.
- Quantitative understanding of water characteristics and current distribution along inflow (the Cheju Strait, an area between Cheju-Do and Tsushima Island) and outflow (the Korea Strait) ports of the South Sea is essential to understand, to simulate accurately, and to predict the oceanographic condition, circulation and chemical materials transport of the South Sea.

## 2. Objectives (1st stage, 3 years)

- to understanding the material fluxes and water dynamics in the Cheju-Korea Strait Region.
- to develop ocean circulation model in the region
- to determine and understand on a regional scale the time-varying fluxes of carbon and associated biogenic elements in the region, and to evaluate the related exchange with the atmosphere, the seafloor and the continental boundaries.
- to determine biochemical characters of benthic organisms.
- to provide scientific background for developing a sustainable and environmentally sound management for the region.
- to provide a general model for the suspended-sediment behavior (source, passway, and depositional site) in the whole coastal region of the South Sea
- In this work, it was provided the species list of fish larvae with the sampling time.
- Making the photography data on the larval fish comprising the warm-water and the coastal species.

## 3. Goal of the second year study

- Investigation of an annual variation of the Cheju Current based on the analysis of historical sea level data
- Data acquisition of water properties and currents along open boundaries of the South Sea in winter and summer
- Lagrangian current observation in the South sea using a satellite-tracked drifter
- Modeling the climatological three-dimensional circulation of the South sea using an ocean general circulation model
- to determine material fluxes across the Cheju Strait.
- to determine products and processes of organic matter in the region,
- to isolate marine bacterial strains and measurement of their degradation rates of organic materials.
- to establish analytical methods for biomarkers from marine environment.
- to apply lipid-derived biomarkers to environmental samples
- to review modern sediment distribution of continental shelf and nearshore area in the region

- to understand larval fish community structure in the sea around of Cheju Island in autumn and Korea Strait in summer
- to make an excerpt for the distribution of surficial sediments on the seabottom of the South Sea in relation to the Holocene transgression
- to estimate the flux of suspended sediments through a given bay in the South Sea by taking 12-hour hydrodynamic measurements at an anchored vessel.
- Study on the assemblage of warm-water migratory fish larvae.
- In this work, it was provided the species list of fish larvae with the sampling time.
- Making the photography data on the larval fish comprising the warm-water and the coastal species.

### III. General scope of the study

#### 1. The 1th Symposium on the Transport and Biogeochemical Process in the Cheju Strait.

Date and place : 4 September 1998 (KORDI)

#### 2. Interdisciplinary survey

##### o Spring

Survey area : The South Sea of Korea

(33° 30' ~34° N, 126° 17' ~128° 05'E)

Observation period : 5~11 April 1998

Vessel : R/V Eardo of KORDI (546 ton class)

Major items : CTD, DO, major inorganic nutrients, Organic matter in seawater and sediment, primary production, Radioisotope ( $^{228}\text{Ra}$  &  $^{226}\text{Ra}$ ), Aerosol

##### o Summer

Survey area : The Cheju Strait

Observation period : 23~25 September 1998

Vessel : R/V Eardo of KORDI (546 ton class)

Major items : CTD, current, tide and tidal current, DO, Inorganic Organic matter in seawater, Primary production Radioisotope ( $^{228}\text{Ra}$  &  $^{226}\text{Ra}$ ), Aerosol

##### o Autumn

Survey area : The Cheju Strait

Observation period : 24~27 November 1998

Vessel : R/V Eardo of KORDI (546 ton class)

Major items : CTD, current, tide and tidal current, DO, Inorganic nutrients, Organic matter in seawater, Primary production, Aerosol

### **3. Current and circulation**

- Analysis of historical sea level data - Spectral analysis of the sea level difference between Cheju and Chuja-Do from 1989 to 1994 in order to investigate the variability of the Cheju Current
- Wavelet analysis of monthly mean precipitation at the southern coastal stations
- Data analysis and interpretation
  - . Seasonal distribution of water properties
  - . Currents and volume transports in the Cheju Strait in September and November
  - . Variability of volume transport in the Cheju Strait based on data acquired during the first and second years of the project
  - . Currents in the Korea Strait and along a section in the middle of the South sea
- Modeling the climatological three-dimensional circulation of the South sea in September using an ocean general circulation model

### **4. Anaerobic coastal inlets**

- The behavior of heavy metals in Kwangyang and Kamak Bay was studied through four field measurements.
- Physical, chemical and biological causes of anoxic environments were reviewed through analyses of existing data.

### **5. Shelf biogeochemistry**

- Distribution of biologically important elements in the region,
- Determination of transport fluxes of biologically important element across the Cheju Strait,
- Time-series observation of oceanic processes,
- Time-series observation of aerosol inputs,
- Determination of organic carbon fixations and early diagenesis of biogenic elements in the region,

## **6. Biochemical characters of benthic organisms**

- establishment of practical methods for micro-extraction and isolation of lipids from sediment and sea water
- establishment of analytical method for composition of fatty acids
- establishment of analytical method for composition of general hydrocarbons
- selection of two species of benthic organisms for production of industrially available fatty acids

## **7. Holocene transgressive sedimentation and flux of suspended sediments**

- to gather and summarize preexisting reference and results on the Holocene sedimentary processes
- to analyze sedimentary characteristics of a number of box cores from various areas of the South Sea
- to give an estimation of the flux of suspended matter through a given bay based on 12-hour hydrodynamic measurements at an anchored vessel.

## **8. Larval fish community**

- The study on the larval fish assemblage were conducted in the coastal area of Cheju Island in May, August and November, 1998. The larval fish were captured in the costal area of Cheju Island.
- Total 19 species of larval fish were taken a picture, which were collected in the coastal area of Cheju Island
- In this work, it was provided the species list of fish larvae with the sampling time.

# **IV. Results and recommendation**

## **1. Current and circulation**

### **● Analysis of historical sea level data**

An annual cycle, high during July and November and low during December and March, is dominant in sea level difference between Cheju and Chuja-Do, suggesting that the eastward current in the Cheju Strait strengthens in summer and fall, and weakens in winter. Spectral analysis of the sea level difference also shows significant peaks at periods of 3 months, 4 months, eight months and two years although they are less energetic than a peak at an annual period.

### **● Wavelet analysis of monthly mean precipitation at the southern coastal stations**

The annual cycle of precipitation in the southern coastal region is all intensively precipitable in summer as well as in the other areas of Korea. The seasonal amount of precipitation is more than half of the total annual amount in summer and less than 10% of it in winter. Typhoons and (extra)tropical storms may also affect the annual and interannual variability of precipitation by way of pouring heavy rains primarily along their paths. The number of typhoons attacking Korea Peninsula and the precipitation over the southern coastal area seem to be reduced during El-Niño years, but not so highly correlated with El-Niño. The time series of monthly mean precipitation shows the interannual variability with quasi-period of 2 to 7 years relative to El-Niño period and a longer time-scale (interdecadal) fluctuation, especially in Cheju. The linear increasing trend of precipitation is about +7mm/10yrs in Pusan and Mokpo, +16mm/10yrs in Cheju, and much steeper in Yosu (+40mm/10yrs) and in Sogipo (+80mm/10yrs) where the total annual precipitation is the largest in Korea.

● Oceanographic survey results

1) Synoptic survey results in April

Surface-to-bottom thermohaline fronts were observed at five meridional CTD sections between 125 °E~129 °E in April. Water of low temperature and salinity occupies the northern area of the fronts, and the Cheju Warm Current water or the Tsushima Warm Current water characterized by high temperature and salinity occupies the southern area of the fronts. The frontal position approaches to the coast, and temperature and salinity on both sides of the fronts tend to increase from the western part of the South Sea towards the east. This seems to be caused by the northward extension of the Tsushima Warm Current and higher temperature and salinity of the Tsushima Warm Current compared with those of the Cheju Warm Current.

2) Seasonal water properties, current distribution and volume transport in the Cheju Strait

Water columns are vertically homogeneous in the Cheju Strait in March and April, and temperature and salinity increase towards Cheju-Do from the southern coast of Korea. The distribution of salinity indicates that the Cheju Strait is occupied by water originating from the Kuroshio in March and April. The seasonal thermocline is formed in the Cheju Strait in September, and the difference in the temperature distribution in September, 1997 and 1998 indicates an interannual variability of the thermohaline structure in the Cheju Strait. According to the salinity distribution, fresh waters of salinity less than 32.0 appear above the seasonal thermocline that seem to originate either in the Yellow Sea or in the East China Sea in September. Relatively high salinity water of the Kuroshio-origin occupies the deep trough below the seasonal thermocline in the vicinity of Cheju-Do in September. The seasonal thermocline disappears in November.

The along-strait current in the Cheju Strait is mainly eastward. The strong ( $> 15$  cm/s) eastward current appears in the vicinity of Cheju-Do in March and April, while strong velocity cores ( $> 20$  cm/s) were observed farther north in September and November than those in spring. The vertical shear of the along-strait current is large in September and November and relatively weak in March and April. The along-strait currents are generally weak and often westwards near the southern coast of Korea. Strong coastal currents ( $> 20$  cm/s), however, were observed in September, 1997. The strong coastal currents are associated with isotherms sloping upwards towards the coast in the northern part of the Cheju Strait. The isotherms slope slightly downwards towards the coast in September, 1998, when the coastal currents are weak and westwards.

The estimated volume transport of the Cheju Current based on the ADCP measurements shows the maximum value (0.58 Sv) in September and minimum (0.37 Sv) in April, which appears to be in phase with the volume transport of the Tsushima Current in the Korea Strait. The transport in September is about 1.5 times larger than the transport in April in the Cheju Strait. About 30-40 % of total transport passing through the western channel of the Korea Strait originates from the Cheju Strait. The annual variation of the volume transport appears to have a similar tendency to the annual variation of the cross-strait sea level difference in the Cheju Strait the same as in the Korea Strait. Dynamically calculated transports only account for less than 50 % of the total transports, suggestive of the significant contribution of the barotropic components to the total transports. The annual variation of the total transport appears to be mainly caused by changes in the barotropic component. About 30-40 % of total transport passing through the western channel of the Korea Strait originates from the Cheju Strait. Dynamically calculated transports only account for less than 50 % of the total transports, suggestive of the significant contribution of the barotropic components to the total transports. The annual variation of the total transport appears to be mainly caused by changes in the barotropic component.

#### ● Numerical model results

Three-dimensional circulation of the South Sea in September was investigated using an ocean general circulation model. Circulation of the South Sea was set to be driven by in- and outflows together with heat and salt flux along open boundaries, heat and salt flux at the surface, and surface wind forcing. Tidal forcing was not considered. Input data used for the model calculation are mean temperature and salinity in the South Sea in September based on hydrographic data observed for thirty years by National Fisheries Research and Development Institute, and daily mean sectional currents in the Cheju Strait and the western channel of the Korea Strait observed in September, 1997 by Korea Ocean Research and Development Institute. The Cheju Current transports waters to the



east in the Cheju Strait, and the Tsushima Current, that enters the South Sea through an area between Cheju-Do and Tsushima Island, turns to the east and enters the Korea Strait after merging with the Cheju Current. As the main stream of the eastward flow at the surface shifts offshore, currents are weak and variable near coastal sites and clockwise eddies appear in some localized areas. The northward penetration of the Tsushima Current is more prominent at the bottom compared with that at the surface. It reaches farther north near the coastal area and turns east or northeast towards the Korea Strait. When the northeasterly wind is imposed on the top of the three-dimensional model, strong southwestward currents are developed at the surface in the coastal area. The bottom circulation is little affected by the surface wind forcing.

## 2. Anaerobic coastal inlets

- Chinhae Bay System is characterized by strong seasonal stratification which separates bottom waters from well-oxygenated surface waters. Below steep seasonal pycnocline intense oxygen consumption by microbial degradation of organic matter leads to a redox environment. In Chinhae Bay System, occurrence of anoxia showed annual variation possibly due to physical condition of the water column. High amount of terrestrially driven organic materials are introduced into Masan Bay and phytoplankton blooms are almost year-round. But sinking rate of organic materials seemed to be low because of intense tidal flushing. In the western part of the Chinhae Bay large fecal pellets may easily reach the bottom under a week current regime.

- Dissolved heavy metal contents were relatively high near Yeochon Industrial Complex except Co and Fe. Particulate Cu content decreased with increasing SS contents while Fe increased with increasing SS contents. Zn, Cd and Cu in the surface sediment was relatively high near Yeochon Industrial Complex and Cr and As were high at Yeosu-haeman. In Kamak bay dissolved heavy metal contents were relatively high near urban areas except Pb. Discriminant analysis of dissolved heavy metal data from 5 different bays on the southern coast of Korea showed distinct characteristics of heavy metal distribution in each bay.

## 3. Shelf biogeochemistry

● The distributional characteristics of biogeochemical properties.

In general, the chemical components in the South Sea are characterized evidently with seasonal change.



The concentrations of Suspended sediments (SS) in the coastal area were vertically homogenous through the water column in April, but the gradients of them between surface and bottom water were prominent in September. The spatial concentration of SS are more than  $5 \text{ mg l}^{-1}$  in the western part of the South Sea where the bottom sediments are consisted of silt and caly and decrease from west to east and from inner coast to outer coast. It is assumed that a large amount of SS are supplied from the west part of the South Sea.

The concentrations of nutrients are vertically homogenous in April, but depleted in surface water in September due to the strong stratification and intense phytoplankton growth in the euphotic zone and rapidly increase in the bottom water below the thermocline. The maximum layer of chlorophyll-a and dissolved oxygen is maintained at the lower part of the pycnocline during this period.

● Characteristic of contaminant materials through atmospheric input

Aerosol samples were collected in the marine boundary layer aboard the ship for November 1997 and April 1998. A part of the sampling period in April 1998 coincided to the Yellow Dust Storm occurrence in the region. The samples were analyzed for contents of major and trace elements, nss sulfate, nitrate, ammonium and  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$ . The aerosol Al and metal concentrations in the Yellow Dust period is an order of magnitude higher than the low dust period. There was a significant difference in major elemental composition of the marine aerosol particles between the Yellow Dust and the low dust periods. The anthropogenic elements and compounds were more enriched in the aerosol of the low dust period than that of the Yellow Dust Storm. The relationship of aerosol  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  concentration with nss sulfate, nitrate and other trace metal concentration suggests that these particles are emitted from the continent, pass through the higher altitude (free troposphere), then descend to the marine boundary layer in the region.

● The distributional characteristics of organic matter

The South Sea in April can be divided into three parts: the coastal water with low salinity, high SS ( $>5 \text{ mg l}^{-1}$ ), low POC ( $<2\%$ ) contents, the front water with low SS but high POC contents, the outer coastal water with high salinity ( $>34.5 \text{ psu}$ ), low SS ( $>1 \text{ mg l}^{-1}$ ) and high POC ( $>10\%$ ) contents. C/N ratio ranged 1.7~7.0 suggesting that the origin of organic matter is from marine.

The organic carbon concentrations in the sediment at the surface water are in the range of 0.1 ~ 0.8 %. The organic carbon and nitrogen concentrations in the sediment increase as the increase of clay contents. The organic carbon concentrations at the points near the South Coastal area where the sand contents in the sediment are less than 50 % are respectively more than 0.5, 0.08 % and are less than 0.3 % at the points where the sand contents are more than 70%.

The molar ratios of C/N, the origine of the organic matter are in the range of 3.0~8.4 in similar to that in water column, except station A9 (12.5) where the organic carbon and organic nitration concentrations in the sediments at the surface water have the maximum value, suggesting that the origin of organic matter is from marine.

#### ● Sediment accumulation and sedimentation rate

The sediment diposit rates in the western part of Cheju island are 36~161 mg cm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>. The mixture structure of the sand ridge in the area under the surface layer clearly appear in the vertical distribution of the excess <sup>210</sup>Pb concentration. It is supposed that the sediments in this area are composed of those of Huanghe-originated delta area and in addition, the effluences from the extension of Yangtz River-origanated matter in summer are mixed.

The diposit rates in the coastal area of western part of the South Sea are 26~71 mg cm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>. In the vertical distribution, layeres composed of silt and clay in x-radiograph appear that diposit and slump in steady state alter.

The deposit rates of the western part of Go-Hung peninsula, where resuspended sediments move and accumulate in winter, 7.4~7.7 mg cm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> and the deposit rates at the center in the south sea of Korea are very high with 119~284 mg cm<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>.

#### ● Primary production

Primary productivities were measured in the South Sea of Korea during three cruises in April, September and November, 1988. The hourly primary productivity per unit volume showed the lowest value in April averaging  $1.41 \pm 1.07$  mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>, and showed  $6.23 \pm 2.25$  mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> and  $5.21 \pm 0.30$  mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> in September and November, respectively. The reason for the low productivity in April seems to be due to inclement weather conditions. Vertical profiles of productivity showed highest values at 49 or 30% LPD's than at surface (100% LPD) from more than half of the stations in April. The average daily primary productivity per unit area was  $78.8(\pm 61.0)$  mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> and there was more than 12 fold difference among stations. In September, productivity was highest at surface and decreased with depth at all stations. The average daily primary productivity was  $158.3(\pm 96.3)$  mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, twice higher than that of April. The reason for the increase in productivity is thought to be due to the increase in temperature and irradiance. In November, vertical profiles of productivity was similar to those in September. The average daily productivity was  $344.6(\pm 183.1)$  mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, which was the highest among three seasons.

#### ● Origin of water mass

Assuming that the surface water of the South Sea is formed by mixing of the Changjiang Dilute Water and Kuroshio, the contribution of the Changjiang Dilute

Water in April was estimated to be 6.7~31.4% (Avg. 15%) in the Cheju Strait, 21.6~30.8% (Avg. 23.7%) in the Korean Strait, and 6.7~38% (Avg. 20%) in the South Sea. In September, the contribution was estimated 30%, 2.6 times larger than that in April.

#### ● Transport of chemical materials in the South Sea

The estimated total material transports in the South Sea using all data which investigated in 1997 and 1998 are as follows:

In the Cheju Strait (Cheju Current) :  $0.4 \times 10^9$  mg  $s^{-1}$  (SS),  $2.6 \times 10^9$   $\mu$ mol  $s^{-1}$  ( $NO_3^-$ ),  $0.16 \times 10^9$   $\mu$ mol  $s^{-1}$  ( $PO_4^{3-}$ ),  $4.9 \times 10^9$   $\mu$ mol  $s^{-1}$  ( $Si(OH)_4$ ), In the Cheju-Kyushu Strait (Tsushima Current);  $0.9 \times 10^9$  mg  $s^{-1}$  (SS),  $8.0 \times 10^9$   $\mu$ mol  $s^{-1}$  ( $NO_3^-$ ),  $0.59 \times 10^9$   $\mu$ mol  $s^{-1}$  ( $PO_4^{3-}$ ),  $17.4 \times 10^9$   $\mu$ mol  $s^{-1}$  ( $Si(OH)_4$ ), In the Korean Strait;  $1.5 \times 10^9$  mg  $s^{-1}$  (SS),  $10.7 \times 10^9$   $\mu$ mol  $s^{-1}$  ( $NO_3^-$ ),  $1.0 \times 10^9$   $\mu$ mol  $s^{-1}$  ( $PO_4^{3-}$ ),  $24.2 \times 10^9$   $\mu$ mol  $s^{-1}$  ( $Si(OH)_4$ ). The total fluxes of these materials by Tsushima Current are about 3~4 times larger than those by the Cheju Current. These three currents are responsible to transport material in the region.

The weighted fluxes of chemical materials by the Cheju Current are 2~3 times larger than those by the Tsushima Current. This chemical rich Cheju Current will play a significant role in the biogeochemical processes in the South Sea where the huge land-based wastes are introduced.

### 4. Biochemical characteristics of the benthic biota and environment

#### ●Hydrocarbons

The water column and bottom sediments were contaminated with petroleum and refined heavy oil in the southern part of the Yellow Sea (west of Cheju Island) and the south of Pusan harbor, respectively. The region between Cheju Strait and Korea Strait were relatively free from the hydrocarbon contamination although hydrocarbon concentration increases with depth in the water column suggesting the sea bottom would be contaminated with hydrocarbon in the near future.

#### ●Fatty acids

The water column and bottom sediments was dominated by land-derived fatty acids in the southern part of the Yellow Sea (west of Cheju Island) and the south of Pusan harbor. The region between Cheju Strait and Korea Strait was dominated by the marine derived fatty acids in the offshore region, however, land-derived and bacteria-derived fatty acids dominated in the coastal waters north of the thermal-salt front. Therefore, biogeochemical provenance of the region could be devised based on the fatty acid distribution patterns.

#### ●Biochemical resources

Arachidonic acid and eicosapentanoic acid (EPA) are highly enriched in

marine algae (*Glacilaria verrucosa* and *Ecklonia cava*) and those algae may be subject to mass culture and exploitable commercially.

●Expanding analytical capability: Steroids

As part of the expanding biogeochemical research capability, chemical analytical protocols for marine steroid analysis was formulated and tested through various established analytical quality assurance program.

**5. Holocene transgressive sedimentation and flux of suspended sediment**

- Surficial sediments in the South Sea are shelly sands with some gravels in the deepest central trough which grade to muds towards the coast.
- The sources of coastal muds are various but all are of the Korean Peninsula, i.e., resuspended Yellow-Sea material for the area west of the Kohung Peninsula and Somjin and Nagdong rivers for the area east of the Kohung Peninsula.
- The sedimentary characteristics of a suite of box cores from the South Sea and adjacent area show the signature of the Holocene transgression and various sources. the sedimentary facies of the Yellow-Sea origin retain well-developed laminations, whereas those of the South Sea rivers display intensely bioturbated structure. The coarse-grained sediments in the central trough show a chaotic mixture of sand, gravel and shell fragments.
- The results of 12-hour hydrographic measurements from the entrance of Jinhae-Masan Bay show that the net flux of suspended matter directed toward the bay in May, 1998 within a stable water mass that was well stratified in both temperature and salinity.
- The cause-and-effect of the Holocene transgression onto the distribution of surficial sediments can be incorporated in the analysis and interpretation of any results from biological and geochemical studies on the surficial sediments.
- A series of hydrodynamic data obtained with a variety of sophisticated sensors can be used in forecasting the sedimentary processes of the mud within bays, erosion or deposition at any time.

**6. On the larval fish assemblage in the coastal of Cheju Island**

The study on the larval fish assemblage were conducted in the coastal area of Cheju Island in May, August and November, 1998. Total 33 species of larval fish were captured in this study area. Especially, various species of fish larvae were found in the eastern coastal area of Cheju island. Among them *Chromis notatus* was the most dominant species comprising 28.5% of the total fish larvae collected and followed by *Sebastiscus marmoratus* accounting for 10.6%, then

*Enneapterygius etheostomus* 8.8%, *Helicolenus hilgendorfi* 8.5%, *Engraulis japonicus* 7.4%, and *Benthoosema pterotum* 6.8%. Up to now, the larval fish were found 13 order containing 75 family with 230 species in the around and coastal area of Cheju Island including this study area.

## V. Conclusions and Suggestions

This is a second year of the 10-year multidisciplinary project to understand and quantify the transport, biogeochemical formation and transformation of biologically important chemical elements in the current-dominated coastal shelf in Cheju-Korea Straits region, and to explore the existence and extent of commercially valuable biochemicals from the regional biota. The Cheju-Korea Straits region is the only warm water feeding area adjacent to Korean Peninsula. The ultimate aim of this study to develop a national strategy for development and environmental conservation in a sustainable manner based on the sound understanding of the governing forces upon ocean biogeochemical processes in the region.

The fluxes and distribution of nutrients are derived by strong seasonal variation of wind and precipitation since the region is under the influence of the Northeast Asian Monsoon. Hence, the plankton primary productivity is also show a strong seasonal variation. Especially heavy rainfall during the wet monsoon period each year, a significant amount of freshwater and nutrients and other land-derived material from the Chinese continent, notably, the Yangz River, and minor contribution from the Korean Peninsula discharges to the western part of Cheju Island and entrained by the Cheju Current (0.37 to 0.58 sv with maximum speed of 15 to 20 cm s<sup>-1</sup>) and passes to the Cheju-Korea Straits, thus forms the strong nutrient stream in the Northeast Asian Marginal seas, which eventually feeds the East Sea. Nutrients fluxes through the Cheju Strait is a factor of 2-3 higher than those of Tushima Current between Cheju and Kyushu Islands, and a comparable to that of the Kuroshio off Taiwan.

Current analysis of water mass origin based on the radium isotopic compositions in the region revealed that the regional water is composed of shelf water (38% at maximum) and Kuroshio water (62% at minimum). However, current two end-member mixing model suffers from the true representation of Korean river water and river waters in the northern China such as Yellow River waters. Therefore, a more detailed study on the radium and oxygen isotopes for identify the provenance of water in the region.

Atmospheric pathways in the region is proved to be significant, especially during the Yellow Dust Storm period. Atmospheric Al and other metal concentrations in the Yellow Dust Storm period was an order of magnitude higher

than the low dust period. Therefore, study on the atmospheric pathways of various chemical material should be an important part of this project in order to quantitatively assess the relative contribution of various pathways introducing chemical elements in the Cheju-Korea Straits.

Two more biological organisms were found to contain a significant amount of bioactive compounds which potentially contribute the regional economy in addition to the two commercially viable organisms we have found in the first year. In the future, a more close examination of the fatty acids and steroid compounds in the regional biota.

# Contents

<b>Summary</b> .....	15
<b>Contents</b> .....	29
<b>List of Figures</b> .....	37
<b>List of Tables</b> .....	47
<b>Chapter I. Introduction</b> .....	51
1. The background of the study .....	53
2. The objective of the study .....	54
<b>Chapter II. Research status</b> .....	57
1. Abroad research status .....	59
2. Domestic research status .....	61
<b>Chapter III. Contents and results of the study</b> .....	65
1. Current and circulation .....	67
a. Introduction .....	67
b. Retrospective analysis .....	69
(1). Variability in sea level data .....	69
(2). Variability of precipitation at the southern coastal stations .....	70
c. Oceanographic observation and results .....	73
(1). Outline of the survey and data processing .....	73
(2). April, 1998 .....	75
(3). September, 1998 .....	79
(4). November, 1998 .....	83
(5). Results of satellite-tracked drifter observation .....	85
d. Circulation model results .....	85
(1). Numerical model .....	86
(2). Model results .....	92
e. Conclusion and discussions .....	93
2. Anaerobic coastal inlets <sup>1</sup> .....	151
a. Overview on the characteristics and contamination of coastal inlet .....	151
b. Behavior of trace elements in some coastal inlets .....	154

3. Shelf Biogeochemistry .....	179
a. Introduction .....	179
b. Study area and investigation period .....	180
c. The method of Sampling, preservation and analysis .....	180
d. The characteristics of the biogeochemical properties in the South Sea .....	187
(1). Introduction .....	187
(2). The results of investigation in April, September and November .....	188
(3). The distribution of biogeochemical properties .....	203
(4). Ranges of nutrients concentrations in the South Sea .....	204
e. The distributional characteristics of organic matter in the water column and sediments of the South Sea .....	235
(1). Introduction .....	235
(2). The distribution of organic carbon and nitrogen concentration in the water column .....	235
(3). The distribution of organic carbon and nitrogen concentration in the sediment .....	239
f. <sup>210</sup> Pb-derived sediment accumulation rate .....	249
(1). Introduction .....	249
(2). Material and methods .....	249
(3). Results and discussion .....	249
g. Primary production .....	254
(1). Introduction .....	254
(2). Material and methods .....	254
(3). Results .....	254
h. Chemical composition of marine aerosol particles .....	267
(1). Introduction .....	267
(2). Chemical composition of marine aerosol particles in the Yellow Dust Storm and low dust periods over the Cheju Strait .....	268
i. The origin of the water mass of the South Sea .....	302
(1). Introduction .....	302
(2). The origin of the water mass .....	303
(3). The distributional characteristics of Radium radioisotope .....	305
(4). The relationship between salinity and radium radioisotope .....	306
(5). The origin of water mass using oxygen isotope .....	308
(6). The contribution of Yangz dilute water in the Cheju Strait .....	310
j. The fluxes of chemical materials passing the Cheju Strait .....	311
(1). Introduction .....	311



(2). The flux of chemical materials through the Cheju Strait .....	311
(3). The estimation of the flux on the chemical materials in the South Sea .....	312
4. Biochemical characters of benthic organisms .....	321
a. Introduction .....	321
b. Materials and Methods .....	322
c. Results .....	329
(1). Isolation and storage of strains of eubacteria and actinomycetes .....	329
(2). Isolation and analysis of lipids from sea water .....	330
(3). Isolation and analysis of lipids from marine sediment .....	336
(4). Isolation and analysis of lipids from sea water in September, 1998 .....	344
(5). Analysis of fatty acid composition of benthic organisms .....	347
5. Distribution of sediments and change in sediment environment .....	409
a. Introduction .....	409
b. Holocene transgressive sedimentation .....	409
c. Bay sedimentation: Gamagyang Bay .....	410
d. Surficial sediments .....	411
(1). Distribution .....	411
(2). Geotechnical properties .....	412
e. Recent sedimentary processes .....	412
f. Sedimentary characteristics of box cores .....	413
(1). Heuksan mudbelt in the southwestern innershelf .....	413
(2). West of Cheju Island .....	414
(3). Nearshore of South Sea .....	415
(4). Central trough of South Sea .....	415
g. Hydrodynamic measurements at the entrance of Jinhae-Masan Bay .....	416
(1). Currents .....	416
(2). Temperature .....	417
(3). Salinity .....	417
(4). Suspended-matter concentrations .....	417
h. Conclusions .....	418
6. Fish community .....	465
a. Introduction .....	465
b. Material and methods .....	465

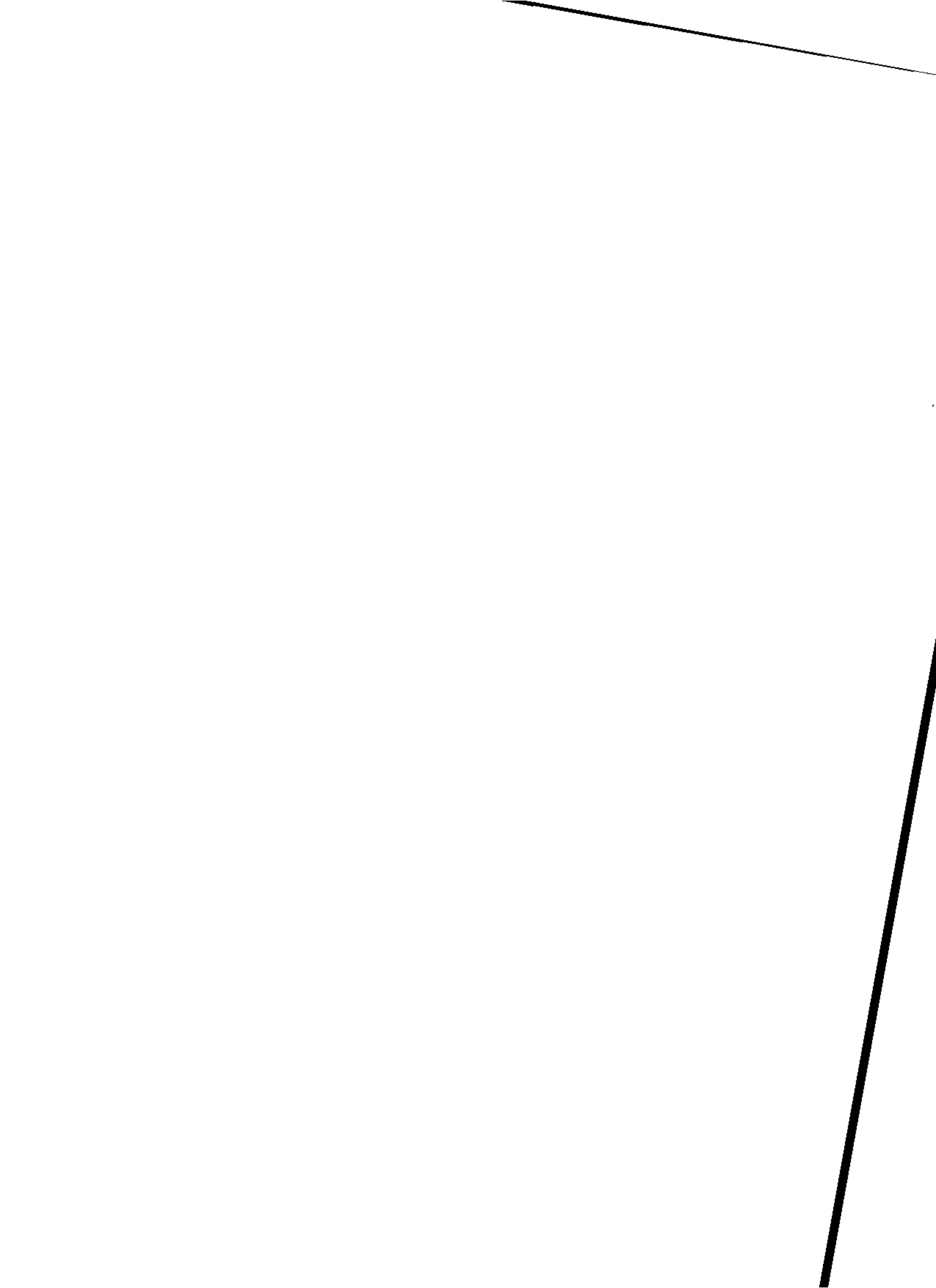
c. Results .....	465
d. Discussion .....	467
<b>Chapter IV. Achievement of the study goal .....</b>	<b>523</b>
<b>Chapter V. Application of research outputs .....</b>	<b>527</b>
1. Necessity of supplementary study .....	529
2. Application to other fields .....	530
<b>Chapter VI. Reference .....</b>	<b>535</b>
<b>Appendices .....</b>	<b>547</b>
1. The workshop of transport and biogeochemical process in the Cheju Strait (TRAB-C) .....	547
2. Log sheet of investigation in April 1998 .....	639
3. Log sheet of investigation in September 1998 .....	639
4. Log sheet of investigation in November 1998 .....	639

# 목 차

제 출 문 .....	1
요 약 문 .....	3
목 차 .....	33
그림 목차 .....	37
표 목차 .....	47
제 1 장 서 론 .....	51
제 1 절 연구사업 배경 .....	53
제 2 절 연구개발 목표와 주요사업 내용 .....	54
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	57
제 1 절 국외 연구개발 현황 .....	59
제 2 절 국내 연구개발 현황 .....	61
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과 .....	65
제 1 절 해류 및 해수순환 .....	67
1. 서 론 .....	67
2. 기존자료 분석결과 .....	69
2.1. 해수면 자료의 변동성 .....	69
2.2. 남해안에서의 강수량 변동성 .....	70
3. 해양관측 결과 .....	73
3.1. 관측의 개요 및 자료처리 방법 .....	73
3.2. 1998년 4월 .....	75
3.3. 1998년 9월 .....	79
3.4. 1998년 11월 .....	83
3.5. 인공위성 추적부이 관측결과 .....	85
4. 남해 해수순환 모델 결과 .....	85
4.1. 수치모델 .....	86
4.2. 모델결과 .....	92
5. 결론 및 토의 .....	93
제 2 절 혐기성 내만환경 .....	151
1. 혐기성환경의 물리, 화학, 생물학적 원인 .....	151
2. 중금속 원소의 거동 .....	154
2.1. 조사 방법 .....	154
2.2. 광양만의 용존성 중금속 .....	155

2.3. 광양만의 입자성부유물질 .....	158
2.4. 남동위원소 비율 .....	162
2.5. 광양만 퇴적물중 중금속 .....	162
2.6. 가막만 .....	163
<b>제 3 절 대륙붕 화학물질 순환 및 수지 .....</b>	<b>179</b>
1. 서 론 .....	179
2. 조사해역 및 관측시기 .....	180
3. 시료채취, 보존 및 분석방법 .....	180
4. 대륙붕 해양화학성분 분포 특성 .....	187
4.1. 서 론 .....	187
4.2. 춘계, 하계 및 추계 해양관측 결과 .....	188
4.3. 대륙붕 해양화학성분 분포 특성 .....	203
4.4. 수괴특성에 따른 영양염류 농도분포 .....	204
5. 남해 해수 및 퇴적물에서의 유기물 분포특성 .....	235
5.1. 서 론 .....	235
5.2. 수계에서의 유기탄소 함량 분포특성 .....	235
5.3. 퇴적물의 유기탄소 함량과 분포 .....	239
6. <sup>210</sup> Pb법에 의한 퇴적물의 해저퇴축적율과 퇴적역학 .....	249
6.1. 서 론 .....	249
6.2. 재료 및 방법 .....	249
6.3. 결과 및 고찰 .....	249
7. 기초 생산력 .....	254
7.1. 서 론 .....	254
7.2. 재료 및 방법 .....	254
7.3. 결 과 .....	254
8. 대기유입 화학물질 특성 .....	267
8.1. 서 론 .....	267
8.2. 제주해협에서의 황사 및 비황사기간중 해양대기분진 입자의 화학 조성 .....	268
9. 남해해수 기원 .....	302
9.1. 서 론 .....	302
9.2. 라듐동위체 분포특성 .....	303
9.3. 염분과 라듐동위체와의 관계 .....	305
9.4. 라듐동위체비( <sup>228</sup> Ra/ <sup>226</sup> Ra) .....	306
9.5. 산소동위원소를 이용한 남해해수 기원 .....	308
9.6. 제주해협에서의 황해 및 동중국해 대륙붕수의 기여율 .....	310
10. 제주해협을 통과하는 화학물질플럭스 .....	311
10.1. 서 론 .....	311
10.2. 제주해협을 통한 화학물질 플럭스 .....	311
10.3. 남해분지규모에서의 화학물질 플럭스 추정 .....	312

제 4 절 저서생물 생화학 특성 .....	321
1. 서 론 .....	321
2. 재료 및 방법 .....	322
3. 실험 결과 .....	329
3.1. 일반세균 및 방선균의 분리 및 균주 보존 .....	329
3.2. 해수 시료에서 지방 추출 및 분석 .....	330
3.3. 해저 퇴적토에서 lipid 추출 및 분석 .....	336
3.4. 98년 9월 해수시료의 지방성분의 추출 및 분석 .....	344
3.5. 저서생물의 지방산 조성 및 유용성분 정제 .....	347
제 5 절 홀로세 해침 퇴적작용 및 부유물질 출입 .....	409
1. 서 론 .....	409
2. 홀로세 해침 퇴적작용 .....	409
3. 만 퇴적작용: 가막양 .....	410
4. 표층퇴적물 .....	411
5. 현생퇴적작용 .....	412
6. 박스코아의 퇴적구조 .....	413
7. 수리역학적 정선관측: 진해, 마산만 입구 .....	416
8. 결 론 .....	418
제 6 절 제주도 연안의 차자어 종조성 .....	465
1. 서론 .....	465
2. 재료 및 방법 .....	465
3. 결 과 .....	465
4. 고 찰 .....	467
제 4 장 연구개발 달성도 및 기여도 .....	523
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획 .....	527
제 1 절 추가연구의 필요성 .....	529
제 2 절 타연구에의 활용 및 연구결과 활용 .....	530
제 6 장 참고문헌 .....	535
부록 : .....	547
1. 한국남해의 해양수송과 과정연구 워크샷 .....	547
2. 1998년 4월 해양조사 일지 .....	639
3. 1998년 9월 해양조사 일지 .....	639
4. 1998년 11월 해양조사 일지 .....	639



## List of Figures

Fig. 1- 1. Coastline and bottom topography of the South Sea. The area inside the rectangular box is the model domain where an ocean circulation model is applied. ....	99
Fig. 1- 2. Time series (above) and power spectra (below) of low-pass filtered hourly (a) sea level at Cheju, (b) sea level at Chuja-Do, and (c) sea level difference between Cheju and Chuja-Do. ....	100
Fig. 1- 3. The annual cycle of monthly mean sea level at Cheju and Chuja-Do (upper panel), and monthly mean sea level difference between Cheju and Chuja-Do (lower panel). ....	101
Fig. 1- 4. Time series of monthly-mean precipitation convoluted by 24-month Hanning filter (solid line), and long-term linear trend (bold line). ....	102
Fig. 1- 5. Wavelet (left) and total (right) spectra of time series of precipitation at five coastal stations (Pusan, Mokpo, Cheju, Yosu, Sogipo). Dotted lines in the wavelet and total spectrum denote, respectively, the cone of influence and the significance level at 95% confidence interval. Darker areas in the wavelet power spectrum indicate the higher spectral density. Spectral peaks above the dotted lines in the total spectrum are significant. ....	103
Fig. 1- 6. CTD stations occupied in April, 1998. ....	104
Fig. 1- 7. CTD stations occupied in September 20-21, 1998. ....	105
Fig. 1- 8. CTD stations and an ADCP track occupied in September 23-25, 1998. ....	106
Fig. 1- 9. CTD stations and ADCP tracks occupied in November, 1998. ....	107
Fig. 1-10. Flow chart of CTD data processing. ....	108
Fig. 1-11. T-S diagram for all CTD data obtained in April, 1998. ....	109
Fig. 1-12. T-S diagram for CTD data obtained at each line in April, 1998. ....	110
Fig. 1-13. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line A btained in April, 1998. ....	112
Fig. 1-14. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained. ....	113
Fig. 1-15. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line C obtained in April, 1998. ....	114
Fig. 1-16. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line D obtained in April, 1998. ....	115
Fig. 1-17. Vertical profiles of temperature (left), salinity (middle), and density (right) at station D5 on line D obtained on April, 6 (solid line) and April, 11 (dotted line). ....	116
Fig. 1-18. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line E obtained in April, 1998. ....	117

Fig. 1-19. T-S diagram for all CTD data obtained during September, 20-21, 1998. ....	118
Fig. 1-20. T-S diagram for CTD data obtained at each line during September, 20-21, 1998. ....	119
Fig. 1-21. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line L obtained on September 21, 1998. ....	120
Fig. 1-22. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line B obtained on September 20, 1998. ....	121
Fig. 1-23. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line A obtained on September 20, 1998. ....	122
Fig. 1-24. T-S diagram for all CTD data obtained during September, 23-25, 1998. ....	123
Fig. 1-25. T-S diagram for CTD data obtained at each line during September, 23-25, 1998. ....	124
Fig. 1-26. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line A obtained on September 25, 1998. ....	125
Fig. 1-27. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line C obtained on September 24, 1998. ....	126
Fig. 1-28. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line S obtained on September 23, 1998. ....	127
Fig. 1-29. Vertical sections of (a) north-south, and (b) east-west component of daily-mean currents along line A based on repeated ship-borne ADCP measurements that was made during September 25-26, 1998, and (c) geostrophic currents in the east-west direction based on CTD data obtained on September 25. Solid and dotted lines denote, respectively, northward and southward currents in the north-south component of directly measured currents, while they denote, respectively, eastward and westward currents in the east-west component of directly measured and geostrophic currents in all following sections of current. ....	128
Fig. 1-30. T-S diagram for all CTD data obtained in November, 1998. ....	129
Fig. 1-31. T-S diagram for CTD data obtained at each line in November, 1998. ....	130
Fig. 1-32. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line A obtained in November, 1998. ....	131
Fig. 1-33. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line B obtained in November, 1998. ....	132
Fig. 1-34. Vertical sections of (a) north-south, and (b) east-west component of daily-mean currents along line A based on repeated ship-borne ADCP measurements that was made during November 24-25, 1998, and (c) geostrophic currents in the east-west direction based on CTD data obtained on November 24. ....	133



Fig. 1-35. Vertical sections of (a) north-south, and (b) east-west component of daily-mean currents along line B based on repeated ship-borne ADCP measurements that was made during November 26-27, 1988, and (c) geostrophic currents in the east-west direction based on CTD data obtained during November 27-28, 1988. ....	134
Fig. 1-36. Vertical sections of (a) north-south, and (b) east-west component of daily-mean currents along line C based on repeated ship-borne ADCP measurements that was made during November 28-29, 1988. CTD casts were not made at line C in November, 1988. ....	135
Fig. 1-37. The entire trajectory of a satellite-tracked drifter deployed in the Cheju Strait in September, 1998. ....	136
Fig. 1-38. Trajectory of a satellite-tracked drifter in the Cheju Strait before it was caught by a boat (upper panel), and daily-mean currents derived from the trajectory of the drifter (lower panel) ....	137
Fig. 1-39. Vertical profiles of temperature along western, southern, and eastern open boundaries of the model domain (top to bottom). ....	138
Fig. 1-40. Vertical profiles of salinity along western, southern, and eastern open boundaries of the model domain (top to bottom). ....	139
Fig. 1-41. Mean temperature and salinity at sea surface in September based on bimonthly data obtained by National Fisheries Research and Development Insitute during 1968-1997. ....	140
Fig. 1-42. Mean temperature and salinity at 50 m depth in September based on bimonthly data obtained by National Fisheries Research and Development Institute during 1968-1997. ....	141
Fig. 1-43. Calculated circulation at sea surface (upper panel) and at the bottom (lower panel) in the South Sea superimposed on the distribution of the calculated distribution of temperature that was expressed as a grey-scale. All model results hereafter are steady-state ones. ....	142
Fig. 1-44. Calculated circulation at sea surface (upper panel) and at the bottom (lower panel) in the South Sea superimposed on the distribution of the calculated distribution of salinity that was expressed as a grey-scale. ....	143
Fig. 1-45. Circulation from the 2-D model (upper panel) and surface circulation from the 3-D model (lower panel). ....	144
Fig. 1-46. Temporal variation of total kinetic energy for 100 days of a model run to examine the wind effect on the three-dimensional circulation of the South Sea. A constant northeasterly wind stress was imposed on the top $\sigma$ -level for seven days from day 50 to day 57 after the model circulation with no wind forcing reached an equilibrium state. The wind stress was turned off at day 57 and the model run continued without the wind forcing until day 100. Surface circulations at times marked by $\times$ are shown in Figs. 1-47 and 1-48. ....	145

Fig. 1-47. Surface circulations at day 50 when the model circulation reached an equilibrium state with no wind forcing (upper panel), and at day 53.5 which shows the circulation at the stage of spin-up with the imposed wind stress (lower panel). .....	146
Fig. 1-48. Surface circulation at day 57 day just after the wind stress was turned off which shows a fully-developed wind-driven circulation in the coastal area (upper panel), and at day 65 day 8 days after the spin-off, which is similar to the equilibrium circulation without the wind forcing (lower panel). .....	147
Fig. 1-49. Vertical distribution of temperature (left) and salinity (right) across the Cheju Strait based on CTD data obtained five times in the strait. ....	148
Fig. 1-50. Sectional distribution of (a) east-west component of daily-mean currents based on ADCP measurements, and (b) geostrophic currents based on CTD data simultaneously obtained in the strait. ....	149
Fig. 2- 1. Annual variation of temperature, salinity, DO and pH in the bottom waters of inner Masan Bay during 1979-1989. ....	167
Fig. 2- 2. Annual variation of temperature, salinity, DO and pH in the bottom waters of Masan Waterway during 1979-1989. ....	167
Fig. 2- 3. Monthly variation of DO% (bottom waters), surface chlorophyll and delta-T in Masan Waterway. ....	168
Fig. 2- 4. Monthly variation of DO% (bottom waters), surface chlorophyll and delta-T in the western part of Chinhae Bay. ....	168
Fig. 2- 5. Sampling stations of Kwangyang Bay. ....	169
Fig. 2- 6. Sampling stations of Kamak Bay. ....	170
Fig. 2- 7. Seasonal variation of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay. ....	171
Fig. 2- 8. Distribution of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay in August 1997. ....	171
Fig. 2- 9. Distribution of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay in November 1997. ....	172
Fig. 2-10. Distribution of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay in February 1998. ....	172
Fig. 2-11. Distribution of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay in May 1998. ....	173
Fig. 2-12. Seasonal variation of particulate heavy metals in Kwangyang Bay. ....	174
Fig. 2-13. Relation between contents of suspended solids and heavy metals. ....	175
Fig. 2-14. Particulate heavy metals in Kwangyang Bay, plot of scores in the coordinates of first two principal components PC-1 (78.1%of variance) and PC-2 (12.0% of variance). ....	176
Fig. 2-15. Seasonal variation of dissolved heavy metals in Kamak Bay. ....	177

Fig. 2-16. Discriminant analysis of dissolved heavy metals in coastal areas of the South Sea of Korea. ....	178
Fig. 3- 1. Location of sampling stations in the South Sea (April, September & November, 1998). ....	181
Fig. 3- 2. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) $\text{NH}_4^+$ (e) $\text{NO}_2^-$ (f) $\text{NO}_3^-$ , (g) $\text{PO}_4^{3-}$ , (h) $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll <i>a</i> along section A in April 1998. ....	207
Fig. 3- 3. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) $\text{NH}_4^+$ (e) $\text{O}_2^-$ (f) $\text{NO}_3^-$ , (g) $\text{PO}_4^{3-}$ , (h) $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll <i>a</i> along section B in April 1998. ....	210
Fig. 3- 4. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) $\text{NH}_4^+$ (e) $\text{NO}_2^-$ (f) $\text{NO}_3^-$ , (g) $\text{PO}_4^{3-}$ , (h) $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll <i>a</i> along section C in April 1998. ....	214
Fig. 3- 5. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) $\text{NH}_4^+$ (e) $\text{NO}_2^-$ (f) $\text{NO}_3^-$ , (g) $\text{PO}_4^{3-}$ , (h) $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll <i>a</i> along section D in April 1998. ....	217
Fig. 3- 6. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) $\text{NH}_4^+$ (e) $\text{NO}_2^-$ (f) $\text{NO}_3^-$ , (g) $\text{PO}_4^{3-}$ , (h) $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll <i>a</i> along section E in April 1998. ....	220
Fig. 3- 7. The vertical distribution of (a) SS, (b) DO, (c) $\text{NH}_4^+$ (d) $\text{NO}_2^-$ (e) $\text{NO}_3^-$ , (f) $\text{PO}_4^{3-}$ , (g) $\text{Si(OH)}_4$ , (h) Chlorophyll <i>a</i> along section A in September 1998. ....	223
Fig. 3- 8. The vertical distribution of (a) SS, (b) DO, (c) $\text{NH}_4^+$ (d) $\text{NO}_2^-$ (e) $\text{NO}_3^-$ , (f) $\text{PO}_4^{3-}$ , (g) $\text{Si(OH)}_4$ , (h) Chlorophyll <i>a</i> along section C in September 1998. ....	226
Fig. 3- 9. The vertical distribution of (a) SS, (b) DO, (c) $\text{NH}_4^+$ (d) $\text{NO}_2^-$ (e) $\text{NO}_3^-$ , (f) $\text{PO}_4^{3-}$ , (g) $\text{Si(OH)}_4$ , (h) Chlorophyll <i>a</i> along section A in November 1998. ....	229
Fig. 3-10. The vertical distribution of (a) SS, (b) DO, (c) $\text{NH}_4^+$ (d) $\text{NO}_2^-$ (e) $\text{NO}_3^-$ , (f) $\text{PO}_4^{3-}$ , (g) $\text{Si(OH)}_4$ , (h) Chlorophyll <i>a</i> along section B in November 1998. ....	232
Fig. 3-11. The vertical profiles of (a) Temperature, Salinity, DO (b) POC, SS, Chl- <i>a</i> (c) $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{Si(OH)}_4$ , at the representative stations in the coastal area of the Cheju Strait. ....	243
Fig. 3-12. The vertical profiles of (a) Temperature, Salinity, DO (b) POC, SS, Chl- <i>a</i> (c) $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{Si(OH)}_4$ , at the representative stations in the open area of the Cheju Strait. ....	244

Fig. 3-13. The distributions of Salinity, C, N, SS and Chl-a concentration in the surface water of each sections (April 1998). (a) Section A, (b) Section B, (c) Section C, (d) Section D, (e) SectionE. ....	245
Fig. 3-14. The distributions of Salinity, C, N, SS and Chl-a concentration in the surface water of each sections (September, 1998). (a) Section A, (b) Section C. ....	247
Fig. 3-15. The vertical profiles of organic C, N, S and C/N ratio in the sediment from each stations in April 1998. ....	248
Fig. 3-16. Depth distribution of excess $^{210}\text{Pb}$ from each station of the South Sea of Korea in April, 1998. ....	252
Fig. 3-17. SOUTHSEA 9804QT. ....	261
Fig. 3-18. SOUTHSEA 98011QT. ....	262
Fig. 3-19. SOUTHSEA 9804 Primary Production. ....	263
Fig. 3-20. SOUTHSEA 9809 Primary Production. ....	265
Fig. 3-21. SOUTHSEA 9811 Primary Production. ....	266
Fig. 3-22. The correlation of salinity with $^{228}\text{Ra}$ activity in the surface water of the South Sea in April 1998. ....	305
Fig. 3-23. The correlation of salinity with $^{226}\text{Ra}$ activity in the surface water of the South Sea in April 1998. ....	306
Fig. 3-24. The relationship of salinity with $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ ratios in the surface waters of the South Sea, Kuroshio and Yellow Sea. ....	307
Fig. 3-25. The correlation diagram between salinity (psu) and $\delta^{18}\text{O}$ in the East China Sea and the South Sea of Korea. ....	309
Fig. 3-26. A $\delta^{18}\text{O}$ - S diagram of surface waters in the Huanghe, Changjiang River, East China Sea, Kuroshio and the South Sea of Korea. ....	309
Fig. 3-27. The along-strait material fluxes per unit area (flux-density) of (a) SS, (b) DO, (c) $\text{NH}_4^+$ (d) $\text{NO}_3^-$ , (e) $\text{PO}_4^{3-}$ , (f) $\text{Si}(\text{OH})_4$ in the Cheju Strait calculated by multiplying mean current speed by concentration in September1998. ....	316
Fig. 3-28. The along-strait material fluxes per unit area (flux-density) of (a) SS, (b) DO, (c) $\text{NH}_4^+$ (d) $\text{NO}_3^-$ , (e) $\text{PO}_4^{3-}$ , (f) $\text{Si}(\text{OH})_4$ in the Cheju Strait calculated by multiplying mean current speed by concentration in November 1998. ....	318
Fig. 4- 1. General Scheme for Lipid Analysis from sea water and sediment. ....	327
Fig. 4- 2. GC chromatogram of hydrocarbon extracted from sea water collected at Apr. 1998. ....	356
Fig. 4- 3. GC chromatogram of fatty acid extracted from sea water collected at Apr. 1998. ....	370

Fig. 4- 4. GC chromatogram of hydrocarbon extracted from sediment collected at Apr. 1998. ....	384
Fig. 4- 5. GC chromatogram of fatty acid extracted from sediment collected at Apr. 1998. ....	390
Fig. 4- 6. GC chromatogram of hydrocarbon extracted from sea water collected at Sep. 1998. ....	396
Fig. 4- 7. GC chromatogram of fatty acid extracted from sea water collected at Sep. 1998. ....	400
Fig 4- 8. GC chromatogram of fatty acid extracted from particulated materials collected at Sep. 1998. ....	404
Fig. 5- 1. Map showing bathymetry (contours in meters) and core sample locations (dots) in South Sea. GB, Gamagyang Bay; KB, Kangyang Bay. After Chough et al. (1991). ....	424
Fig. 5- 2. Areal distribution pattern of a variety of transgressive deposits and recent mud in the eastern South Sea. RMD = recent mud deposits; TSR = transgressive sand ridge; TSD = transgressive deposits; BSC = beach-shoreface complex; ICF = incised channel fill; LSD = lowstand deposits. Modified after Yoo (1997). ....	425
Fig. 5- 3. Index map of Gamagyang Bay. D.B., Deugyang Bay; J.B., Jinhae Bay; G.B., Gwangyang Bay; G.I., Geoje Island; N.I., Namhae Island. After Chough (1983). ....	426
Fig. 5- 4. Surface sediment distribution in the South Sea. Sediment classification according to Folk's (1954) scheme. After Chough et al. (1991). ....	427
Fig. 5- 5. A: Relationships of silt content versus water depth. Each point with core number represents silt contents averaged throughout the core (for core location, see Fig. 6.1). B: Relationships of organic matter versus CaCO <sub>3</sub> contents. After Chough et al (1991). ....	428
Fig. 5- 6 Geotechnical properties of selected sediment cores (for core location, see Fig. 6.1). W, water content; PL, plastic limit; LL, liquid limit; SS, shear strength; OM, organic matter. After Chough et al. (1991). ....	429
Fig. 5- 7. Averaged vertical profiles of shear strength (SS) and water content (W) for each core series (for core location, see Fig. 6.1). After Chough et al. (1991). ....	431
Fig. 5- 8. Index map showing locations of box cores (dots). ....	432
Fig. 5- 9. Map showing bathymetry and box cores (dots) in the South Sea and adjacent area. ....	433
Fig. 5-10. X-radiographs and textural characteristics of box cores from the Heuksan mud belt. ....	434

Fig. 5-11. X-radiographs and textural characteristics of box cores from west of Cheju Island. ....	438
Fig. 5-12. X-radiographs and textural characteristics of box cores from the coastal region west of the Kohung Peninsula, South Sea. ....	444
Fig. 5-13. X-radiographs and textural characteristics of box cores from off the Somjin River. ....	446
Fig. 5-14. X-radiographs and textural characteristics of box cores from off the mouth of the Nagdong River. ....	449
Fig. 5-15. X-radiographs and textural characteristics of box cores from the central trough of the South Sea. ....	451
Fig. 5-16. Map showing the anchored, hydrographic site for 12-hour measurements. ....	461
Fig. 5-17. Time-series of currents measured at surface, mid-depth and near-bottom, and winds obtained from a nearby meteorological station during 7am - 7 pm, May 10, 1998. ....	462
Fig. 5-18. Time-series of currents, temperature, salinity and suspended-matter concentrations from 12-hour hydrodynamic measurements at an anchored station (see Fig. 6.16 for location) during 7am - 7pm, May 10, 1998. ....	463
Fig. 6- 1. Map showing the sampling stations. ....	496
Fig. 6- 2. Variations of number of larval fish species at each station in the coastal area of Cheju Island 1998. ....	497
Fig. 6- 3. Variation of abundance of fish eggs and larvae at each station in the coastal area of Cheju Island 1998. ....	498
Fig. 6- 4. Variation of abundance of <i>Engraulis japonicus</i> eggs and larvae at each station in the coastal area of Cheju Island, 1998. ....	499
Fig. 6- 5. Variation of abundance of three dominant fish larvae at each station in the coastal area of Cheju Island in August, 1998. ....	500
Fig. 6- 6. Variation of abundance of two dominant fish larvae at each station in the coastal area of Cheju Island in November, 1998. ....	501
Fig. 6- 7. Variation of abundance of four warm water species at each station in the coastal area of Cheju Island in November, 1998. ....	502
Fig. 6- 8. Larvae of <i>Aspasmichthys ciconiae</i> (BL 2.4 mm, 50 X) from Cheju Island in August, 1998. ....	503
Fig. 6- 9. Larvae of <i>Auxis</i> sp. (BL 4.5 mm, 25 X) from Yousu in August, 1996. ....	504
Fig. 6-10. Larvae of <i>Benthosema pterotum</i> (BL 5.6 mm, 20 X) from Cheju Island in November, 1998. ....	505
Fig. 6-11. Larvae of <i>Bothus myriaster</i> (BL 15 mm, 8 X) from Cheju Island in November, 1998. ....	506
Fig. 6-12. Larvae of <i>Champsodon snyderi</i> (BL 5.2 mm, 20 X) from Cheju Island in November, 1998. ....	507

Fig. 6-13. Larvae of <i>Corypaena hippurus</i> (BL 4.6 mm, 25 X) from Cheju Island in August, 1998. ....	508
Fig. 6-14. Larvae of <i>Gnathagnus elongatus</i> (BL 5.9 mm, 16 X) from Cheju Island in September, 1997. ....	509
Fig. 6-15. Larvae of <i>Helichoeres hilgendorf</i> (BL 5.1 mm, 20 X) from Cheju Island in April, 1998. ....	510
Fig. 6-16. Larvae of <i>Laemonema nana</i> (BL 2.5 mm, 40 X) from Cheju Island in November, 1998. ....	511
Fig. 6-17. Larvae of Mullidae (BL 5.2 mm, 20 X) from Cheju Island in July, 1997. ....	512
Fig. 6-18. Larvae of Ophichthidae (BL 15.0 mm, 10 X) from Cheju Island in November, 1998. ....	513
Fig. 6-19. Larvae of <i>Petroscirtes breviceps</i> (BL 9.8 mm, 10 X) from Cheju Island in September, 1997. ....	514
Fig. 6-20. Larvae of <i>Enneapterygius etheostomus</i> (BL 5.0 mm, 25 X) from Cheju Island in November, 1998. ....	515
Fig. 6-21. Larvae of <i>Rudarius ercodes</i> (BL 4.2 mm, 20 X) from Cheju Island in July, 1997. ....	516
Fig. 6-22. Larvae of <i>Sebastes pachycephalus</i> (BL 5.2 mm, 20 X) from Cheju Island in March, 1997. ....	517
Fig. 6-23. Larvae of <i>Sebastiscus marmoratus</i> (BL 2.7 mm, 40 X) from Cheju Island in November, 1998. ....	518
Fig. 6-24. Larvae of <i>Stephanolepis cirrhifer</i> (BL 10.6 mm, 8 X) from Cheju Island in July, 1997. ....	519
Fig. 6-25. Larvae of <i>Takifugu</i> sp. (BL 2.8 mm, 40 X) from Cheju Island in May, 1998. ....	520
Fig. 6-26. Larvae of <i>Omobranchus elegans</i> (BL 16.0 mm, 6.5X ) from Inchon in August, 1998. ....	521





## List of Tables

Table 1- 1. Number of typhoons passing through Korean Peninsula during 1904-1995. ....	71
Table 1- 2. Results of wavelet analysis of time series of precipitation at five coastal stations. ....	72
Table 1- 3. Outline of CTD and ship-borne ADCP measurements conducted in the South Sea in 1998. ....	74
Table 1- 4. Outline of traverse surveys in the Cheju Strait using a vessel-mounted ADCP. ....	94
Table 1- 5. Summary of volume transports in the Cheju Strait based on (1) repeated ADCP measurements and (2) dynamic calculation. ....	96
Table 2- 1. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in August 1997( $\mu\text{g}/\ell$ ). ....	156
Table 2- 2. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in November 1997( $\mu\text{g}/\ell$ ). ....	157
Table 2- 3. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in February 1998( $\mu\text{g}/\ell$ ). ....	157
Table 2- 4. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in May 1998( $\mu\text{g}/\ell$ ). ....	158
Table 2- 5. Particulate heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in August 1997( $\mu\text{g}/\text{g}$ ). ....	160
Table 2- 6. Particulate heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in November 1997( $\mu\text{g}/\text{g}$ ). ....	160
Table 2- 7. Particulate heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in February 1998( $\mu\text{g}/\text{g}$ ). ....	161
Table 2- 8. Particulate heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in May 1998 ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ). ....	161
Table 2- 9. Correlation coefficients between particulate trace elements in Kwangyang Bay. ....	162
Table 2-10. Heavy metal contents in the surface sediments of Kwangyang Bay. ....	163
Table 2-11. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kamak Bay in August 1997( $\mu\text{g}/\ell$ ). ....	164
Table 2-12. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kamak Bay in November 1997( $\mu\text{g}/\ell$ ). ....	165
Table 2-13. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kamak Bay in February 1998( $\mu\text{g}/\ell$ ). ....	165

Table 2-14. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kamak Bay in May 1998( $\mu\text{g}/\ell$ ).	166
Table 3- 1. Location of stations in April 5~11, 1998.	182
Table 3- 2. Location of stations in September 24~26, 1998.	183
Table 3- 3. Location of stations in November 24~27, 1998.	183
Table 3- 4. Water column of biogeochemistry in the South Sea during April 5~11, 1998.	189
Table 3- 5. Water column of biogeochemistry in the South Sea during September 24~26, 1998.	195
Table 3- 6. Water column of biogeochemistry in the South Sea during November 24~27, 1998.	197
Table 3- 7. Ranges of T, S, SS, DO and Nutrients concentrations at each water masses in the Cheju Strait based on T-S diagram.	205
Table 3- 8. The chemical composition of organic matter in the water column of the South Sea in April 1998.	236
Table 3- 9. The chemical composition of organic matter in the water column of the South Sea in September 1998.	237
Table 3-10. The chemical composition of organic matter in the sediment of the South Sea in April 1998.	241
Table 3-11. $^{210}\text{Pb}$ -derived sedimentation rate and sediment parameters in the Cheju-Korea Strate.	251
Table 3-12. Primary production (April, 1998).	256
Table 3-13. Primary production (September, 1998).	259
Table 3-14. Primary production (November, 1998).	260
Table 3-15. Ra isotopes activities in the South Sea of Korea in April and September 1998.	303
Table 3-16. $\delta^{18}\text{O}$ values in the surface water of the East China Sea and the South Sea of Korea in October, 1996.	308
Table 3-17. Along-strait material fluxes in the Cheju Strait.	313
Table 3-18. The comparison of chemical material transport in the South Sea	314
Table 4- 1. Condition for Gas chromatography analysis for fatty acid methyl estel and hydrocarbon.	326
Table 4- 2. Isolation of Bacterial strains with substrate digestion activities.	330
Table 4- 3. Amount of extractable lipid from sea water collected at Apr.1998.	331
Table 4- 4. Composition of hydrocarbon in sea water (Apr, 1998)	337
Table 4- 5. Composition of fatty acid in sea water (Apr, 1998)	339
Table 4- 6. Amount of extractable lipid from sediment collected at Apr. 1998.	341

Table 4- 7. Composition of hydrocarbon from sediment at Apr. 1998. ....	345
Table 4- 8. Composition of fatty acid from sediment at Apr. 1998. ....	346
Table 4- 9. Amount of extractable lipid from sea water and particulated materials collected at Sep. 1998. ....	347
Table 4-10. Composition of hydrocarbon in sea water (Sep. 1998). ....	349
Table 4-11. Composition of fatty acid from sea water (Sep. 1998). ....	350
Table 4-12. Composition of fatty acid of suspended materials (Sep. 1998) ....	351
Table 4-13. Composition of hydrocarbon from sea water at Sep. 1997. ....	352
Table 4-14. Composition of fatty acid from sea water at Sep. 1997. ....	353
Table 4-15. Fatty acid composition of <i>Antithamnion nipnicum</i> and <i>Glacilaria</i> <i>verucosa</i> ....	354
Table 5- 1. Summary of location and textural characteristics of box cores from the South Sea and its vicinity. ....	419
Table 5- 2. Summary of 12-hour hydrodynamic measurements at the entrance of Jinhae-Masan Bay during 7am - 7pm, May 10, 1998. ....	422
Table 6- 1. Mean abundances of fish eggs and larvae sampled in the coastal area of Cheju Island in May, August, and November, 1998. ....	469
Table 6- 2. Abundance of fish eggs and larvae sampled in the coastal area of Cheju Island in May, 1998. ....	470
Table 6- 3. Abundance of fish eggs and larvae sampled in the coastal area of Cheju Island in August, 1998. ....	471
Table 6- 4. Abundance of fish eggs and larvae sampled in the coastal area of Cheju Island in November, 1998. ....	472
Table 6- 5. List of fish species found in around sea of Cheju Island. ....	473



제 1 장

서 론



그러나 지금까지 남해에 대한 연구는 주로 만 및 연안 등 한정된 범위의 특정해역에 치우쳐 왔고, 남해 대륙붕의 환경보전을 위해 필수적인 해수순환과 생지화학적 과정에 대한 연구는 초보적인 단계이다.

본 연구는 남해의 생지화학적 과정과 해수 및 화학물질 순환, 어류자원, 연생 퇴적작용 규명을 위한 체계적인 사업으로서 1차년도(1997년)에 이어 1998년 1월부터 12월까지 1년간 수행한 2차년도 사업 성과를 정리하였다.

특히 최근 중국 왕장(양자강) 수자원보호국의 조사에 의하면 양자강 주변의 50개 도시와 16만개의 공장에서 배출되는 생활하수 및 공장폐수 중 83%가 정화처리 없이 배출되어 상당량의 오염물질이 황해로 배출되어지고 있고, 이러한 폐수배출량은 매년 2~3%씩 증가하고 있다고 보고하였다. 남해는 동항해류가 지배적으로서 (Kim and Lee, 1982) 황해 및 동중국해 대륙붕상에 의해 배출된 상당량의 오염물질들이 제주해협을 통해 남해로 유입될 수 있다 (Suk et al., 1996). 따라서 이들의 시공간적인 변화가 남해 환경에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 자세히 검토되어야 한다.

산자원에 큰 피해를 주고 있다.

의 집중호우로 인한 막대한 양의 저염수가 제주도 근해까지 확장되면서 양식 등 수

영양화 현상이 심각한 문제로 대두되어지고 있다. 또한 최근의 중국 및 한반도에서

각각 중 폐수에 의한 오염이 가속화 되어 왔으며 이러한 폐수의 유입으로 근래 부

그러나 우리나라 남해안은 1960년대 이래 급속한 공업화와 도시인구의 집중에 따

하는 비등 또한 매우 높다.

하여 양식어장, 대규모 항만, 대단위 공업단지 등이 밀집되어 우리나라 경제에 차지

중요하다. 또한 남해대륙붕은 남해안의 긴 리아스식 해안선과 수많은 도서가 존재

하며, 계절별로는 회유성 어종들의 출현양상이 탐라 우리나라 연근해 어업상 매우

시공간적으로 매우 복잡하다. 이에따라 남해는 생태성과 어업대성의 생물종이 존재

황해 저층영수는 계절에 따라 남하하여 제주해협을 통해 남해로 유입되어 해황은

물해 유입되며, 하계에는 한반도와 중국대륙 연안으로부터 저염수가 유입된다. 또한

시에서 묻혀진 고공고염의 대마단류는 북상하여 제주 해협 및 제주도-류수간을

망라하는 제주도 이북해역으로서 수심 200 m 내외의 전형적인 대륙붕역이다. 주로

남해는 진도와 제주사이의 제주해협과 부산과 일본의 대마도 사이의 대한해협을

## 제 1 장 연구사업의 배경

### 제 1 장 서 론

## 제 2 절 연구개발 목표와 주요 사업 내용

### 1. 연구개발 목표

10년간의 연구기간으로 계획된 연구의 최종 목표는 다음과 같다.

#### 최종 연구 목표

- 한반도와 남해 대륙붕간 물질이동 규명
- 저서생물의 생화학 특성 규명
- ↓
- 지속가능한 남해이용과 개발을 위한 환경보전 종합 시스템 구축

최종 연구목표를 달성하기 위한 주요 연구내용은 아래와 같다.

- 남해 제주 해류 및 해수순환 변동 연구
- 남해 협기성 내만환경 발달과정의 규명
- 남해 대륙붕 해역 생지화학 플럭스 결정 주요과정 연구
- 남해 저서생물 생화학 특성 파악
- 세립질 퇴적물 이동양상 규명
- 치자어 및 어류군집 구조 연구

### 2. 2차년도 (1998년) 연구개발 목표 및 내용

본 과제는 분지규모의 물리, 화학, 생물 및 지질등의 전문가들이 참여한 종합적이고 체계적인 연구로서 각각의 세부분야들에 대한 목표 및 내용은 다음과 같다.

#### ● 해류 및 해수순환

##### 1) 기존자료 수집 및 분석

- . 남해의 역사적 해류자료와 조위자료의 수집 및 분석
- . 기존자료를 이용한 남해의 수괴분석 및 평균해류장 추정

##### 2) 해양관측

- . 제주도-추자도, 추자도-진도, 제주도-오도열도, 기준선에서의 격월별 ADCP 및 CTD 반복 관측
- . 제주해협 및 제주-오도열도간 TGPS 관측
- . 해류계 계류에 의한 장기 해류관측 (제주해협)
- . 기준선 (남해도 남쪽)에서의 격월별 ADCP 및 CTD 반복 관측
- . 기존의 영구 조위관측망에서의 관측결과와 해류관측 결과를 이용한 제주해협을 통한 해수교환의 매개변수화 시도

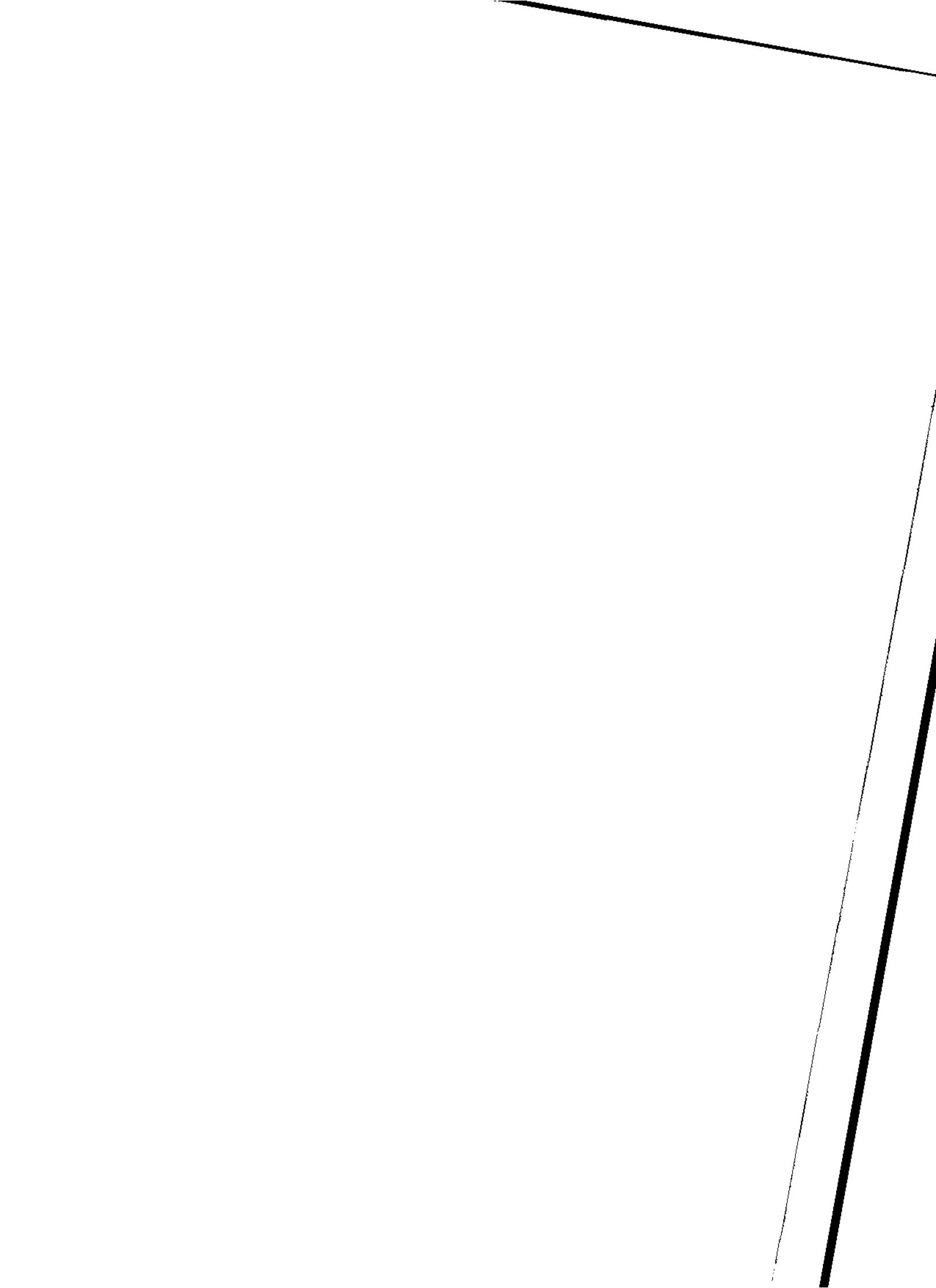


- 타기관에서의 관측계획을 이용한 난해 영역 공동해양조사 및 전선역 정렬해양 관측 실시
- 해질내 해양역학 연구
- 3) 순환모델링
  - 자료동화기법의 개발 및 특정해양 미세격자 모델의 개발
  - 수치모델을 이용한 오염물질 및 난·치자어 이동, 확산 실험
  - 미세격자 모델과 기상모델 및 자료동화기법을 이용한 실시간 해수순환 예측 시스템 구축
- 혐기성 내만환경
  - 혐기성 환경발생의 물리, 화학, 생물학적 원인 파악
  - 혐기성 환경에서의 응급속 원소 거동 규명
- 대륙붕 화학물질 수치 및 순환
  - 원생물질소 분포 특성 및 계절별 변동성 규명
  - 다중 해수추적자 (리튬동위원소, 산소안정동위원소) 이용 해수기원 및 체류 시간 규명
  - 대륙붕 화학물질 수치 및 순환 정량
  - 1) 제주해협 물과 화학물질 플럭스
  - 2) 이산화탄소 고정량 및 제거능력, 분해, 재생동(해양/해저) 과정 규명
  - 3) 대기유입 오염물질 플럭스
- 유기물 초기 숙성과정 규명
- 저서생물 생화학 특성
  - 저서생물(공생 미생물 포함)의 생화학적 특성 연구
  - 분해자로서의 저서 생물
  - 1) 저서 생물에 의한 분해
  - 2) 저서 생물 공생 세균에 의한 분해
  - 3) 분해에 관련된 효소 활성 연구
  - 유기물 생화학적 이용 가능 물질 규명
  - 1) 저서 생물 장내 유용 미생물 자원 확보
  - 2) 순수 분리 및 동정
  - 환경 변화 추적 (유기 물질 분해)
  - 1) 단분해성 물질의 분석법 및 추적 방법 개발
  - 2) 저서 생물의 지방성분의 분석
  - 3) 영양 상태 분석 지표 물질로서의 지방질
  - (중성지방 대 인지방 비중)
  - Biomarker로서의 steroid 화합물 분석방법 구축 및 실제 적용
  - 치자어 및 어류근질
    - 응용생물자원의 종 목록 작성
    - 조건대를 중심으로한 서식처 구분 및 어류상
    - 주요 자원생물종의 생태 및 개체군 특성조사
    - 매단군류를 따라 회유하는 치자어 종 조성 파악

- 제주도 주변해역에서 출현하는 치자어 계절별 종 조성 파악
- 치자어 사진 촬영
- 세립퇴적물 이동
  - 수리역학적 조사를 통해 만으로의 부유물질 이동량 계측
  - 박스코아상의 퇴적구조 분석 및 퇴적환경 해석
  - 기존 문헌 및 자료수집 (남해안 니질퇴적물의 기원과 물성, 해수면 변동에 따른 퇴적물 분포)

## 제 2 장

### 국내외 기술개발 현황



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국외 기술 개발 현황

여러 국가들이 접하여 있는 세계 여러 국가군에서는 공유하는 해역의 오염물질 확산 및 전파와 이에따른 환경 영향을 피하기 위해 오래전부터 공동의 노력을 취하고 있다. 지난 10년간 국제학계는 대양의 물질순환에 초점을 맞추고 연구를 수행하여 IGBP, WCRP의 예하 연구계획의 수행으로 물질순환연구에 필요한 과학적 도구(예: 이산화탄소 측정기법, 안정동위원소 질량분석기, 퇴적표층 대사측정기 등)가 개발되고 개량되었다.

지역해의 환경보전연구로 대표적인 것은 북해 남부해역을 대상으로 한 영국 NERC의 North Sea Project (1987~1992) 이다. 이 프로젝트에서는 북해의 환경변화가 어떠한 위험을 갖고 있으며 앞으로 적절한 관리대책을 세우기 위해 무엇이 필요한가에 대한 연구노력이 결집되어 있다. 북해연구의 목표는 1) 보존성 오염물질의 확산을 설명하고 또한 예측까지 할 수 있는 적절한 수송모델의 작성 및 검증 2) 오염물질과 생물체, 퇴적물의 상호작용등을 포함하는 주요한 비보존성 물질의 과정에 대한 파악 및 정량화 3) 계절적 변화에 대한 데이터베이스등이다. 북해는 특히 황해를 연구함에 있어 좋은 모델이 되는데 이는 북해가 산업화된 하천 배수역 및 도버 해협으로부터 물질이 유입되고, 북쪽에서는 대서양과 외해역 경계면을 이루기 때문이다.

북해와 더불어 지역해에 대한 연구는 정세가 안정된 지중해, 카리브해등에서 활발하였으며 발트해 (Helsinki Commission, HELCOM) 계획은 독자적인 오염분석 지침서를 발간하는 등 매우 활발하다. 발트해는 북해보다 훨씬 폐쇄적인 지형을 갖고 있어 해수의 체류시간이 30년 이상으로 평가되고 있으며 여러 중금속 미량 유기 오염물질등에 대해 작성한 수치모델을 개선하고 있다. 특히 최근 대기유입오염원의 중요성이 부각되며 중금속 수치등도 대기유입원을 포함하여 재정립하고 있다. 발트해는 폐쇄성이 큰 해역인 만큼 부영양화 모델, 저층수의 무산소화과정 모델들이 많이 개발되었다. 그리고 연안해역으로부터의 유입물질들을 종합관리할 수 있는 시스템 구축도 중요한 노력의 하나이다.

유럽연합 12개국으로부터 27개 연구소가 참여하는 유럽 EROS 2000 (하천-해양 상호작용연구; 1988~2000년)의 연구목표는 유럽연안 환경에서의 천연 및 인위적 영양염류, 그외 유기 및 무기화합물의 근원과 유입경로 규명, 이들 물질들의 육지-해양-대기 상호간 교환과 내부순환 및 유동량 (플럭스)을 조절하는 메카니즘을 규명하고 각각 과정의 율(속)을 조사하고, 인간이 초래한 변화의 장기적 결과를 예측하는 특정과정 (예; 부영양화)에 대한, 그리고 각 지역해별 생지화학적 모형을 개발하는 것이다.

아시아에서는 양자강 하구에 대해 육상기인 오염원등 상당한 연구가 미국, 프랑

스의 지원하게 이루어 졌다. 이는 중국대륙으로부터의 물질수송이라는 흥미로운 주제에 대해 선진국들의 학자들이 많은 관심을 가졌기 때문이며 이에대한 기술적 축적도 상당하다.

일본은 1992년부터 1998년까지 7년간 동북아시아 주변부해역 물질플렉스 연구(MASFLEX)를 수행해오면서 동중국해 대륙붕 해역에서의 탄소 및 다른 친생물원소의 물질순환과 그 변화가 태평양에 미치는 영향을 규명하고, 과정별 율(속도)을 정량화하고 있다.

대만은 쿠로시오 연변부해역 물질플렉스연구(KEEP)로서 동중국해(대만부근)의 탄소순환에 대한 쿠로시오해류의 영향 규명을 목표로 1단계로서 1989년부터 5개년 사업을 시작하였고, 2단계는 1997년까지 수행하였다.

특정 해역의 해수내에 포함되어 있는 유기물질은 그 해역에 서식하고 있는 생물들로부터 생산, 배출 혹은 분해에 의하여 유래되거나 다른 해역에서 생성된 것들이 해수의 유동에 의하여 유입되거나 또는 육상으로부터 하천 혹은 대기중의 이동에 의하여 유입되는 것으로 여겨지고 있다. 이들은 크게 용존 유기물과 부유성 유기물로 나눌수 있는데 이들의 상호 전환이나 물질의 조성등은 해역에서 물리 화학적 제반 과정을 이해하는데 매우 중요한 정보를 제공해주고 있다. 이에 따라 선진국에서는 해수내 유기물의 농도 및 조성에 대한 연구가 매우 활발하여 지난 60년대 부터 이에 대한 연구가 수행되기 시작하였으며 현재 미국의 Florida Institute of Technology의 Sohn 교수 group, 호주의 CSIRO의 Volkman 박사 group, 영국의 Bristol 대학의 Eglinton 교수 group등을 중심으로 연구가 수행되고 있다. 연구내용은 hydrocarbon과 지방산 등 가장 기본적인 지방족 화합물이외에도 steroid 화합물, alkyl alcohol, long chain alkenone 그리고 pigment 등 여러 부분에서 생물 유래 물질의 추적자로서의 활용기술이 발달하고 있다. 나아가서는 aminoacid과 당류 등 여타 생물 유래 물질의 추적자로서의 활용이 기대되고 있다.

남해에 대한 해황 및 해류관측은 외국 기관에 의해 이루어진 바가 없으나 미국의 NRL (Naval Research Laboratory)에서는 대한해협을 포함한 남해의 동쪽 해역에서 1999년부터 1년간 TRBM-ADCP (Trawl Resistant Bottom Mount-Acoustic Doppler Current Profiler) 14대를 계류하여 남해해류의 계절변동과 대한해협에서의 수송량 변동을 연구할 예정이다. 제주해협에서는 이루어진 바가 없으나 타 해역의 해협이나 대한해협에서 조사선 장착 ADCP를 이용하여 해협내 해수유동을 연구한 경우는 다수 있다 (Simpson et al., 1990; Kaneko et al., 1991; Egawa et al., 1993; Isobe et al., 1994). 이 중에서 Kaneko et al. (1991)의 연구는 한국해양연구소와 공동으로 수행한 결과이다.

부유물질에 대한 정량적인 연구는 국외에서는 매우 활발하게 진행되고 있다. 콜로라도대학의 J.P.M. Syvitski 팀은 자동계측장비에 현장카메라(Floc Camera)를 부착하여 캐나다 빙하계곡의 하구 및 대서양으로 유입되는 부유물질의 현장입도를 촬영

분석하여 부유물질의 이동과 퇴적상황을 이차원모델화를 시도하고 있다. 오스트레일리아 서부와 남동부에서는 현장 자료와 위성사진을 획득하여 바람에 의한 밀도구조변화, 강수의 유입, 연안해류의 사행등을 분석, 해수의 수직혼합과 니질퇴적물의 운반동 제현상을 밝힌바 있다. 이를 토대로 오스트레일리아 남부에 있는 스벤서 걸프에서 일어난 오일유출에 대해 oil slick model을 개발하였다. 미국 노스 캐롤라이나주 덕(Duck)시의 앞바다에서는 11개의 대학과 6개의 연방에이전시 그리고 3개의 일반회사에서 후원하여 미국, 영국, 캐나다에서 과학자들이 참가하여 사상최대의 연안역퇴적물이동 연구를 수행하고 있다. 이 연구사업에는 모든 타입의 광학과 음파센서와 해저면고도계 등이 이용된다. 또한 500개 이상의 단위장비가 투입되며, 항공기, NASA 우주선, 공중과 지상 레이더가 동원된다. 연구결과는 곧 국제저널을 통해 발표될 예정이다. 중국 양자강 하구에서 중국과 미국 해양지질학자들이 1984년 대규모 해양연구사업을 벌여 부유물질 농도와 해류를 측정하여, 여름에 주로 하구에 퇴적물이 쌓이고 겨울에 이들이 재부유되어 양자강 남쪽으로 연안을 따라 이동된다는 것을 밝혔다. 모든 연구결과는 1985년 Continental Shelf Research 특집호에 자세히 발표되어 있다. 또한 중국 황하강 하구 삼각주에서 막대한 양의 실트가 유입되면서 밀도류가 빈번히 발생된다는 사실이 해저면 조사와 부유물질 모니터링을 통하여 중국과 미국 과학자들의 합동연구로 밝혀졌다. 이들은 더 나아가 부유물질이동 연구를 통해 황하기원의 니질퇴적물이 대부분 발해만내에 쌓인다고 결론지었다.

## 제 2 절 국내 기술 개발 현황

남해의 해양과학 연구로는 국립해양조사원과 국립수산진흥원의 정기적인 조사가 1960년 이후 2개월마다 수온, 염분 및 용존산소 위주로 행해오고 있고, 물리·화학·생물·지질등 종합과학적인 연구로서 한국해양연구소의 한국해역 종합해양자원도 작성연구(1987~1991)가 있었으나 Atlas 목적의 분포위주에 국한되었다.

남해 분지규모에서의 해양화학분야 연구로는 기초생산과 관련 화학성분들의 분포특성 (Yang and Kim, 1990; Chung and Yang, 1991, Kim et al., 1998)과 퇴적물 중금속 (Cho et al., 1994), 부유물질 이동 (Wells and Huh, 1984; Wells, 1988) 정도만 있을 뿐 거의 대부분의 연구는 제주도 부근 해역 (Park, 1982) 및 부영양화 현상이 심각한 마산만등 특정 하구역에 치중되어 있다 (박, 1975; Lee et al., 1981, 1983, 1994; Hong et al., 1983, 1988, 1991; Yang et al., 1986, 1988; Yang, 1992). 특히 현재까지 남해에서의 생지화학적 과정 및 물질 순환에 대한 연구는 거의 전무하다.

또한 아직 해양에서 유기물 특히 지방성분을 추적자 등으로 활용하려는 시도나 실적 역시 미미한 편이다. 주로 lipid biochemistry를 전공하는 연구자들은 단일 종의 생체내의 지방에 관한 연구를 주로 수행하고 있으며 해수나 퇴적물 등과 같은 혼합물의 지방 분석 등에는 거의 연구를 수행하지 않았으며 해양학 전공자들은 지방 분석에 관한 기술적인 측면을 소홀히 해온 것이 사실이다. 그러나 PCB (poly-

chlorinated biphenyl)이나 PAH (polyaromatic hydrocarbon)등 환경 오염 지수와 관련된 특정 계열의 화합물의 분석이 환경 오염과 관련하여 주로 수행되어왔다. 단 한국해양연구소에서는 1996년도 연구지원과제로 해양환경 변화 해석을 위한 생물기원 물질 추적자 기술 개발 연구를 시작으로 이에 관련된 연구를 수행하기 시작하였다 (홍 등, 1997). 본 연구에서도 1차 및 2차 연도의 연구를 통하여 이러한 지방 성분 중에서 특히 hydrocarbon과 지방산을 중심으로 추출, 분석하는 방법의 개발이 완료되었으며 이들 지방 성분 이외에 주된 biomarker로 활용될 수 있는 steroid 화합물과 long chain alkenone 성분에 대한 분석작업을 추진하고 있다.

남해의 해황 및 해류관측으로는 국립수산진흥원의 정기 정선관측외에 해류병에 의한 남해의 표층 해류분포를 파악한 바 있으며 (이, 1968; 이 와 봉, 1969; 이, 1974b; 김, 1980), 1970년과 1974년에 대한해협 서수도에서 25시간 해류관측을 실시한 바 있고 (이, 1970; 이, 1974a), 제주해협의 세 군데 관측점에서 여름과 겨울철 25시간 해류관측을 수행한 바 있다 (김, 1979). 국립해양조사원은 남해에서 정기적인 정선관측자료와 해류계 계류 및 해류병 실험 (동, 1970)에 의한 해·조류관측자료를 제공하고 있으며, 1997년부터 대한해협 (부산-대마도)에서 ADCP 왕복관측을 실시하여 해수수송량 및 해류자료를 제공하고 있다 (국립해양조사원, 1997). 서울대학교 해양학과에서는 1974년, 1980년, 1983년에 제주해협에서 부표추적과 해류계 계류를 통해 해류관측을 실시하였다 (Chang, 1984; Chang et al., 1995; Chang and Kim, 1995). 해류관측은 1981년 4월~5월에 최초로 20일간 수심 30 m, 60 m에서 실시되었다. 이 후에는 장기적인 해류관측이 이루어진 바가 없다. 부경대학교 해양과학 공동연구소에서는 1997년부터 남해의 해양학적 특성에 관한 연구를 수행하기 시작하였으며, 1996년에는 대한해협에 ADCP를 계류하여 해류관측을 실시한 바 있다. 한국해양연구소는 1986년부터 1991년까지 계절별 남해 전 해역의 해황을 조사한 바 있으며 (한국해양연구소, 1987-1989), 1986년과 1989년도에는 남해의 거문도 연안역과 삼천포에서 해류관측도 실시된 바 있다. 1988년부터 1990년 사이에는 일본측과 공동으로 ADCP를 이용하여 대한해협에서 해류관측을 수행하였고 (해양연구소, 1988, 1989, 1990), 1995년에는 제주해협에서 최초로 ADCP 반복 관측을 실시하여 일평균 해류분포와 해수 수송량을 파악하였다 (Suk et al., 1996). 제주대학교는 1986년~1987년 사이에 제주해협 일원에서 해류계 계류에 의해 25시간~118시간에 걸친 해류관측을 수행하였다 (김, 1987).

남해의 해수순환 모델링을 위해 수치모델을 이용한 해수순환 연구는 대부분 남해의 내만에 국한된 모델로서 성층을 고려하지 않은 순압 해양에서 조류 및 조석 잔차류에 관한 연구가 많았다 (예, 최, 1996; 박, 1997). 최 등 (1994) 은 수치모델을 이용하여 대한해협 조류에 관해 연구한 바가 있고, 김 (1994) 은 조석 강제력, 바람, 개방경계를 통한 해수의 유·출입의 효과를 개별적으로 고려하여 남해의 순압 순환을 살펴보았다. Chang et al. (1997)과 김 (1998)은 조석강제력과 개방경계에서의 해류분포를 같이 고려하여 남해의 2차원 순환을 재현하였다.

제주도 주변해역에는 다양한 종류의 어류가 서식하고 있는 곳으로 연구의 대부분은 미기록종의 기재 (Kim and Lee, 1994a; Kim and Lee, 1994B; Kim and Han, 1993; Kim and Lee, 1993), 제주도 연안의 어류상 (Baek, 1982; Baek, 1984; Baek,



1994), 제주도 주변해역에서 출현하는 아열대성 어종에 관한 연구 (Baek, 1985) 그리고 제주도 주변해역에서 출현하는 종목록 작성 (Kim and Lee, 1994b) 등 성어에 관한 것들이다. 치자어의 경우 제주도 함덕연안의 치자어 종 조성에 관한 연구 (Go et al., 1991), 제주도 연안의 여름철 치자어의 종 조성에 관한 연구 (KORDI, 1989), 제주도 주변해역 치자어의 생태학적인 연구 (KORDI, 1991) 그리고 제주도 주변해역의 치자어 군집에 관한 연구 -가을철 (Yoo et al., 1998) 등이 있다. 그러나 지금까지의 제주도 주변해역의 치자어의 종 조성에 관한 연구결과 체계적으로 정리가 되어 있지 않은 실정이며 치자어 분류를 위해 필요한 종별 사진자료나 그림등이 거의 없는 실정이다.

부유물질에 대한 본격적인 해양지질학적 연구는 1970년대 말과 1980년대 초에 주로 연안해저표층퇴적물의 점토광물과 지화학분석을 통하여 금강기원 니질퇴적물이 연안을 따라 남쪽으로 이동될 것이라는 연구결과를냄으로써 시작되었다. 이러한 모델은 1990년도에 들어와서 J.T. Wells, Y.A. Park등에 의해 실지로 해수채취와 정점관측을 통해 입증되었다. 최근에 충남 대호방조제 건설후에 나타난 연안부유물질의 이동변화를 보기위해 한국해양연구소 지질부에서 2년간에 걸쳐 계절별로 정선관측과 해수채취를 실시하고 방조제 전면의 조간대퇴적상과 퇴적물변화를 모니터링하여, 여름철퇴적, 겨울철침식의 퇴적작용이 일어남을 밝혔으며 부유물질이 방조제를 지나쳐 남쪽으로 이동되기 때문에 조간대가 점차 깎여 나간다는 것을 또한 밝혀내었다 (Marine Geology에 게재중). 또한 전남 함평만에서는 기존의 연구된 서해 만 들에 비해 홀로세퇴적물이 매우 빈약하기 때문에 전남대 해양학과에서 만내의 조간대퇴적작용과 부유물질조사를 수 년 동안 정기적으로 실시해 오고 있다. 현재 여름철에 깎이고 겨울철에 퇴적되는 양상을 보이기 때문에 만 바깥쪽 부유물질흐름과 관련지워서 그 원인을 규명하고자 노력하고 있는 중이다 (지구과학지에 2편 발표).



## 제 3 장

### 연구개발 수행 내용 및 결과



## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 해류 및 해수순환

#### 1. 서론

한국 남해는 서쪽으로는 제주해협, 동쪽으로는 대한해협을 포함하며 대부분 해역이 수심 100 m 미만으로 해수유동은 왕복성 조류외에 북동향이나 동향의 평균적인 해류가 존재한다 (Miita and Ogawa, 1984). 쿠로시오로부터 분지된 고온, 고염의 대마난류수는 제주도 동쪽을 통해 남해로 유입된 후 대한해협을 통해 동해로 빠져나간다 (Lie and Cho, 1994). 제주해협을 통해서도 황해와 동중국해의 해수가 남해로 유입된 후 제주해류 (Suk et al., 1996)에 의해 동진 한 후 대한해협을 통해 동해로 유출된다. 제주해협을 통해 남해로 유입되는 해수는 쿠로시오 지류에 의한 고염의 해수 (Lie, 1986; Park, 1986; Kim et al., 1991a; Chang et al., 1995) 뿐 아니라 저염의 동중국해 및 황해의 해수와 저온의 황해냉수등이다 (Cho and Kim, 1994). 특히 여름철에는 저염의 양자강 유출수가 남해를 포함한 제주도 주변해역에 영향을 미친다 (Kim and Rho, 1994). 남해에서 조석주기 이상의 해수순환은 조석 잔차류, 바람, 해수의 밀도분포 및 남해의 경계 (제주해협, 대한해협, 제주도 동쪽)를 통한 해수의 유·출입에 의해 결정된다. 이러한 남해의 해류는 국지적으로 연안역에 근접하거나 내만의 순환에도 영향을 미칠 수 있으나 (예, Chang et al., 1997), 남해에서 연안역과 외해역의 해수교환에 관해서는 잘 알려져 있지 않으며, 특히 외해역의 해류분포가 내만을 포함한 연안역의 순환에 미치는 영향에 관해서는 파악된 바가 별로 없다.

한국 남해는 서쪽으로는 제주해협을 통해 황해와 연결되고 동쪽으로는 대한해협을 통해 동해와 연결되며 남쪽으로는 동중국해와 연결된다. 남해의 해저지형은 한국측 연안을 따라서는 50 m 이하의 수심으로 완만한 경사를 가지며 제주도연안과 대마도연안에서는 100 m 까지 다소 급한 수심변화를 보인다. 부산과 대마도 사이의 대한해협 서수도에는 200 m 이상의 깊은 골(trough)이 대마도 쪽으로 해협과 평행하게 발달되어 있으며 제주해협의 제주도 인접한 해역에도 수심 120 m 이상되는 골이 존재한다. 이러한 골을 중심으로 한국 연안측은 경사가 완만하며 대마도 쪽으로는 경사가 비교적 급하다 (Fig. 1-1). 천해인 남해는 기상의 영향을 받기 쉬운 해역이어서 겨울철에는 강한 북풍계열의 바람과 표층냉각으로 인하여 전반적으로 수층이 수직적으로 균질해지며, 여름철에는 표면가열, 강우 및 주변대륙으로부터의 담수유입등으로 수층은 2층구조를 보인다.

남해는 그 지리적인 특성으로 인하여 기원을 달리하는 성질이 다른 해수가 존재하며 이러한 상이한 해수의 분포는 계절에 따른 큰 변동을 보인다. 남해에 출현하는 수괴 (water mass)로는 쿠로시오 (Kuroshio)로부터 분지된 후 제주도 동쪽을 통해 동해로 유입되는 고염, 고온의 대마난류수 (Tsushima Warm Current Water;

Lim, 1971; Nitani, 1972; Byun and Chang, 1988; Kim et al., 1991a; Lie and Cho, 1944), 제주도 남쪽에서 대마난류로부터 갈라진 후 제주도 서쪽을 통해 황해로 유입되는 것으로 알려졌은 황해난류수 (Yellow Sea Warm Current Water, Uda, 1934; Nakao, 1977; Zheng and Klemas, 1982), 역시 쿠로시오로부터 기원되어 제주도 서쪽을 우회한 후 제주해협으로 유입되는 제주난류수 (Kim, 1980; Lie, 1986; Park, 1986; Kim et al., 1991b; Chang et al., 1995; Chang and Kim, 1995), 남해연안역에서 겨울철 형성되어 여름철 계절적 수온약층 하부에 분포하는 남해연안수 (South Korean Coastal Water; Lim, 1976), 황해에서 기원되어 남해에 영향을 미치는 (Kim et al., 1991b; KORDI, 1993; KORDI, 1994; Cho and Kim, 1994; Chang et al., 1995) 황해저층냉수 (Yellow Sea Bottom Cold Water; Nakao, 1977; Kondo, 1985; Park, 1985; Yang et al., 1984; 윤, 1986) 및 황해연안수 (Yellow Sea Coastal Water), 양자강 하구역의 표층수와 담수의 혼합으로 형성되어 여름철 남해안에 영향을 미치는 양자강 회석수 (김 과 노, 1994; Kim et al., 1991a) 및 동해에서 기원되는 대한해협 저층냉수 (Lim and Chang, 1969; Isobe, 1995) 등이 있다. 수층이 수직적으로 성층화되는 여름철에는 양자강퇴에서 담수유입에 의해 형성된 저역의 양자강 회석수가 표층에 깔려 제주해협까지 나타나며 하층에는 쿠로시오에서 기원된 고온, 고염의 대마난류수가 나타난다 (Kim et al., 1991a; 1991b).

제주해협에서 대한해협에 이르는 남해에서 해수유동은 주로 동향류나 북동향류로써 제주해협에서 평균유속은 약 12.5 cm/sec 이며 (Chang and Kim, 1995) 대한해협에서는 약 50 cm/sec를 갖는다 (Lie and Cho, 1997; Mitta and Ogawa, 1984). 기존의 제주해협에서 해류계에 의해 1-2일 정도 단기간 또는 20일간의 장기간 관측된 해류자료에 의하면 제주해협의 평균해류는 북동내지 동쪽방향을 나타내며 (Chang et al., 1995; Kim, 1980), 인공위성 추적부이에 의한 해류관측 결과는 제주도 서쪽에 투하된 부이가 제주해협을 통과한 후 동해로 유입됨을 보였다 (Beardsley et al., 1992).

대부분 정성적인 자료를 근간으로 한 남해의 수괴분포에 관한 기존의 제반 연구는 수괴분포와 연관된 남해의 해수순환을 이해하는데 많은 기여를 하였으나 해수분포 및 해수순환에 관하여 아직 해결되어야 할 문제가 많이 남아있다. 최근에 들어 해상사고시 유출유 및 적조등으로 인한 연안역 오염이 청청해역으로 알려진 남해에서 심각한 문제로 대두되고 있으며 이러한 제반 해양오염에 대처하고 피해를 최소화 하기 위해서는 오염물질 이동, 확산에 관한 실시간 예측이 절대적으로 필요시되고 있다. 최근 들어 국가경제의 성장으로 선박의 대형화가 유출유 사고의 대형화를 유발시키며, 내만보다는 외해역에서 주로 발생하여 유출유로 인한 오염범위가 점차 확대되는 추세이다. 이러한 유출유 사고와 더불어 매년 남해안에 적조가 발생하여 수산자원 및 양식업의 피해가 점차 증가하고 있다. 이러한 오염물질의 이동·확산을 예측하기 위해서는 남해전체를 모델 영역으로 하는 수치모델에 의해 해수순환이 우선 정량적으로 정확히 재현되어야 한다. 앞서 언급한 바와 같이 남해는 폐쇄된 해역이 아니라 남해안을 제외하고는 전 경계가 개방되어 인접해역과의 해수교환이 활발히 일어나므로 이러한 순환모델의 개발시 개방경계를 통한 해수의 유입과 유출 및 그 시간변동에 관한 정확한 정보는 정량적으로 정확한 해수순환을 재현하

는데 필수 불가결하다. 남해는 천해이므로 바람동에 의한 기상요인 및 불규칙적인 해저지형과 조류의 상호작용으로 유발되는 조석잔차류에 의한 평균해류의 유발 가능성도 있으나 남해의 순환을 좌우하는 일차적인 요인은 개방경계를 통한 제반 수괴의 유·출입 과정이다 (Chang et al., 1997). 기존의 제한적인 연구결과는 남해의 해류가 시·공간적으로 변화가 심함을 암시하고 있으며 (Chang and Kim, 1995; Suk et al., 1996), 이러한 해류의 변화는 그 물리적 요인을 규명하기 이전에 우선 충분히 그 변화 양상이 기술되어야 한다.

본 연구는 남해의 지리적인 경계에 해당되는 제주해협, 대한해협 및 제주도-대마도간 선상을 통한 해수의 유·출입 및 그 시간 변동을 정량적으로 규명하고 이를 기반으로 남해의 해수순환 모델을 개발하는데 있다. 2차년도에는 기존 자료 분석의 일환으로 남해의 물질수송과 해수순환을 고찰하는데 중요한 변수 중 하나인 강수량의 장기 변동과 제주해협 내 제주해류의 변동을 파악하기 위하여 남해의 5개 연안 정점에서 관측된 월평균 강수량 자료 및 제주와 추자도에서 관측된 6년간의 해수면 자료를 통계적인 방법에 의해 분석하였다. 해양관측은 남해의 해황과 해협을 통한 인접해역간의 물질 및 해수교환의 중·단기 변동성을 파악하는데 초점을 맞추어 제주해협을 포함한 남해의 일원에서 CTD 와 ADCP 관측을 실시하였다. 해수순환 모델링은 1차년도의 2차원 모델을 개선하여 남해 전체를 대상으로 하는 모델 영역에 3차원 해수순환모델을 적용하여 남해의 여름철 평균적인 3차원 해수순환을 성공적으로 재현하였다.

## 2. 기존자료 분석 결과

### 2.1 해수면 자료의 변동성

Chang and Kim (1995)은 20일간 관측된 해류 자료를 이용하여 제주해협 내 해류의 저주파 변동이 제주해협에서 제주와 추자도간의 남북 방향의 해수면 차이와 연관됨을 보였다. 제주해협에서 동향하는 제주해류의 장기 변동성을 간접적으로 파악하기 위하여 1989년~1994년 사이에 제주와 추자도 검조소에서 관측된 매 시간 간격의 자료를 확보하여 제주와 추자도에서의 해수면 변동과 제주와 추자도간 해수면 차이의 변동성을 분석하였다. 매 시간 간격의 자료로부터 전 기간의 평균값을 제거하고 저주파 필터를 사용하여 7일 이하의 주기를 갖는 해수면 변화를 제거한 후 주기성을 파악하기 위하여 스펙트럼 분석을 수행하였다.

Figure 1-2 는 제주, 추자도 및 제주와 추자도 간 해수면 차이의 저주파 필터된 시계열 자료 및 스펙트럼 분석 결과를 나타내며 Fig. 1-3 은 제주와 추자도에서의 월평균 해수면과 월평균 해수면 차이의 연변동을 나타낸다. 제주와 추자도의 해수면 변화는 연변화가 우세하며 2월부터 해수면이 상승하기 시작하여 8월에 최대값을 보이고 8월 이후에는 해수면이 감소하기 시작하여 2월까지 해수면이 감소한다. 제주와 추자도에서의 해수면 변화는 연변화 외에도 4개월과 6개월의 주기성을 보인다. 제주해류의 세기를 간접적으로 추정할 수 있는 제주와 추자도 사이의 해수면 차이 역시 연변화가 가장 우세하며 7월부터 11월까지 높은 해수면 차이를 유지하고

12월에는 급격히 감소하여 12월~3월까지의 해수면 차이가 작고 4월~6월에는 최대치와 최소치의 중간 정도의 해수면 차이를 보인다. 해수면 차이로부터 7월부터 11월까지의 여름철과 가을철에는 제주해류의 세기가 강화되고 겨울철인 12월 3월에는 약화됨을 유추할 수 있다. 해수면 차이는 연변화 외에 3개월, 4개월, 8개월의 주기성과 2년 주기의 장기 변화를 포함한다.

## 2.2. 남해안에서의 강수량 변동성

강수량은 대기 순환과 해수의 물질수송과 순환을 고찰하는데 매우 중요한 변수이다. 강수의 시·공간적인 변동 폭은 대기압, 해수면 온도 등의 대기·해양 지표변수들과 비교하여 볼 때 상당히 크며, 특히 산악, 해안 등의 지형적 영향을 많이 받는다. 한반도에서의 연 강수량의 절반이상이 장마기간이 속해있는 여름에 집중되어 있다. 장마뿐만 아니라, 열대성 저기압(태풍) 또한 그 이동경로를 따라 집중호우를 유발한다. 봄과 가을에는 약 20%, 겨울에는 10% 정도가 나머지 연평균 강수량을 만족한다 (허 등, 1988).

본 연구에서는 제주도, 목포, 부산, 서귀포, 여수의 한반도 남해안 5개의 연안 정점에서의 월평균 강수량 시계열 자료를 통해서 몬순, 엘니뇨 등과 관련된 강수량의 연 변동, 경년변동, 장주기 변동 등을 조사하였다. 저주파 영역 통과 필터링 기법과, 교차 상관관계수(Cross-Correlation) 분석, 푸리에 변환을 이용한 스펙트럼 분석, 파엽 변환법(Wavelet Transform)을 이용한 스펙트럼 분석 등이 통계적인 도구로 사용되었다.

### 2.2.1. 강수의 연변동

연평균 약 1500mm 이상을 나타내는 대관령 부근의 산악지역을 제외한 한반도의 내륙지방(1000-1400mm)과 비교하여 볼 때, 남해안 지역의 연평균 강수량은 1400-1700mm 정도로 많은 편이다. 시간적으로 6월말에 시작해서 7월 중순에 끝나는 여름장마와 8월 중순에 시작해서 9월초에 끝나는 가을장마 기간에 남해안의 강수가 집중된다. 공간적으로는 남해안 지역에서 섬진강 하구 유역과 제주도 동부 지역에서 가장 많은 강수량을 나타낸다. 장마 기간에 최대의 강수량을 나타내는 시기는 대체로 남쪽지역 일수록 그 시기가 빠르고 북쪽으로 갈수록 늦어진다 (허 등, 1988). 장마 기간의 최대 강수량 변화의 공간적 분포양상은 한달 이내의 시간 범위 안에서 변하므로, 월평균 자료를 사용한 본 연구에서 언급하기는 불가능하다.

태풍과 아열대 폭풍 또한 그들의 이동 경로를 따라 많은 양의 강수를 유발하므로, 강수량의 연 변동, 경년변동의 변화에 영향을 미친다 (강 등, 1995).

지난 45년 (1951~1995) 동안 5°N~20°N, 130°E~145°E 사이에서 발생한 태풍의 수는 평균 27개이다. 지난 94년 (1904~1995) 동안 한반도에 영향을 미친 태풍은 7월부터 9월 사이에 집중되어 있으며, 6월과 10월은 그 빈도수가 적은 편이다 (Table 1-1).

태풍의 일반적인(normal) 궤적은 6월부터 북진하다가, 북태평양 고기압이 쇠퇴함



에 따라 점차 북동진하여 10월까지 한국 남해안을 통과한다.

Table 1-1. Number of typhoons passing through Korean Peninsula during 1904-1995.

month path	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	sum	ratio
normal	-	-	-	-	1	14	68	92	68	7	-	-	250	89%
abnormal	-	-	-	-	-	2	13	15	2	-	-	-	32	11%
total	-	-	-	-	1	16	81	107	70	7	-	-	282	100%

지난 10년(1986-1995)동안 6월과 10월 사이에 한반도를 통과한 31개의 태풍과 235개의 아열대 저기압 중에서 태풍의 1/3인 10개, 아열대 저기압의 1/12인 19개가 한반도에 100억원 이상의 피해를 주었다. 다시 말하면, 태풍보다 아열대 저기압이 많은 강수와 폭풍을 야기시킴으로써 태풍보다 약 2배 이상의 피해를 준다.

## 2.2.2. 장주기 변동성

위의 절에서 언급한 것처럼 한반도에서 가장 지배적인 기후변화를 야기시키는 요인으로는 아시아 몬순의 영향에 의한 여름에는 덥고 습한 기후와 겨울에는 춥고 건조한 기후를 나타내는 계절 변동성이다. 그러나 기온과 습도도 해마다 변한다. 마찬가지로 강수량도 뚜렷한 계절변동성을 나타내지만, 해마다 홍수 가뭄 등의 형태로 그 정도가 다르다.

5개의 연안 정점에서의 강수량의 월평균 시계열 자료의 편차 값에서 24시간 Hanning 필터를 적용시킨 시계열 자료는 2-7년 사이의 변동성과 10년 이상의 변동성의 주기를 나타낸다 (Fig. 1-4).

본 연구에서는 Morlet Wavelet을 사용한 스펙트럼 분석을 통하여 시간에 따른 장주기 변동성의 경향을 확인하였다(Fig. 1-5, Table 1-2). 파엽변환법은 다양한 주기를 포함하거나 그 변동성이 많은 시계열 자료를 분석하는데 적합한 방법으로 널리 알려져 있다 (Meyers, S.D., 1993). 파엽변환법으로 분석된 한반도 남해안의 강수량 변동 주기의 최대 스펙트럴 밀도함수가 나타나는 시기는 엘니뇨와 라니냐가 반복되는 시기(1910-1920, 1940-1950, 1980-1990)와 잘 일치한다(Fig. 1-5, Table 1-2).

선형회귀를 통한 강수량의 장주기 증가율은 부산 (7.4mm/10yrs)과 목포 (6.8mm/10yrs)가 비슷하고 제주는 약 2배인 16mm/10yrs를 나타낸다. 한국에서 가장 강수량이 많은 지역으로 알려져 있는 여수와 서귀포는 그 증가폭이 39mm/10yrs, 78mm/10yrs 로 크다 (Fig. 1-4).

Table 1-2. Results of wavelet analysis of time series of precipitation at five coastal stations.

	지배적 주기(년)	해당 기간(년) < bold type = El-Niño year italic type = La-Niña year >
목포	4-6.5	1910-1916(12,16) , 1937-1943( <b>39,40,41,42,43</b> ) , 1980-1986(82,83,85)
	10-13	1965-1975(66,70,73,74)
	25-30	global
부산	2-2.5	1963-1965(64,65) , 1972-1974(73,74) , 1990-1992(91,92)
	5-12	1907-1915(9,12,15) , 1968-1967(58,64,65,66) , 1980-1987(82,83,85)
제주	2.5-4	1927-1930(29) , 1964-1967(64,65,66)
	4-8	1937-1943( <b>39,40,41,42,43</b> ) , 1981-1987(82,83,85,87)
	25-40	global
여수	4-6.5	1981-1985(82,83,85)
	6.5-8.5	1942-1948(42,43,47) , 1963-1969(64,65,66)
	20-30	global
서귀포	2-3.5	1965-1967(65,66) , 1984-1987(85,87)
	4-5.5	1982-1987(82,83,85,87)

제주와 부산, 제주와 목포, 목포와 부산의 상관계수는 (시간 지연 = 0) 각각 0.50, 0.58, 0.72를 나타냈으며, 한반도 남해안 지역과 특히 제주도와와의 상관계수가 낮게 나타난다는 사실을 확인할 수 있다. 여수와 서귀포는 강수량 측정기간이 충분히 길지 않아 상관계수 계산에서 제외시켰다.

태풍과 아열대 폭풍우의 발생빈도 변동성 또한 한반도 강수변동의 경년 변동성과 관계가 있다. 지난 92년 (1904~1995) 동안 한반도에 태풍의 영향이 없었던 해는 1920, 1947, 1988년이다. 1911, 1914, 1922, 1925, 1933, 1940, 1950, 1959, 1961, 1976, 1981, 1985, 1991, 1994에는 4개 이상의 태풍이 한반도에 영향을 미쳤다. 이 14년의 기간 중 약 43%인 1911, 1914, 1925, 1940, 1976, 1982, 1991년도가 엘니뇨가 발행한 시기이다. 금세기 최고의 엘니뇨라 알려진 1925년과 1982년도에는 평년보다 4~5배 이상 많은 태풍이 발생하였다. 그러나, 엘니뇨가 일어나지 않았던 1950년과 1959년도에는 7배 이상의 태풍이 발생한 것으로 알려져 있다 (한국 기상청, 1996).

통계적으로 언급한다면, 엘니뇨 현상이 '덥고 건조한' 여름을 한반도에 유발시킨

으로 해서, 태풍의 발생빈도를 줄이는 역할을 한다고 말할 수 있다. 강 등 (1995)은 여름철동안 태풍 발생지역의 경년변동 모드를 EOF를 통하여 확인한 결과, 태풍 발생위치가 엘니뇨 기간에는 10 °N 이하의 저위도에서, 라니냐 기간에는 10 °N~20 °N 사이의 고위도에 분포한다는 사실을 확인했다. 그러나 한반도 강수량에 미치는 엘니뇨 영향은 이 연구에서 정량적으로 정확히 언급할 수 있는 수준은 아니고, 장기적인 후속연구의 필요성을 시사할 수 있을 것이다.

### 3. 해양관측 결과

#### 3.1 관측의 개요 및 자료 처리 방법

##### 3.1.1 CTD (Conductivity-Temperature-Depth) 관측

CTD를 이용한 해수특성 관측은 1998년 4월, 9월 및 11월에 실시하였으며 CTD 관측 위치는 Figs. 1-6~1-9 에 나타내었다. 4월의 해양관측은 남북방향의 5개의 관측선에서 수행되었다. 9월의 해양관측은 9월 20일-21일 사이에 대학 공동조사선인 탐양호를 이용하여 한국해양연구소와 부산대학교 해양학과가 공동으로 대한해협 서수도의 두 개 관측선과 제주해협의 한 개 관측선에서 실시하였고, 9월 23일~9월 25일 사이에는 이어도를 이용하여 제주해협을 포함한 3개의 관측선에서 실시하였는데 9월 후반부 관측 중 제주해협에서는 ADCP 관측을 병행하였다 (Table 2.3).

11월의 관측은 11월 24일에 제주해협에서 관측을 수행하였고 일기 불순으로 잠시 피항 후 11월 27일~11월 28일 사이에 소리도 서쪽의 관측선 B에서 관측을 수행하였다. 11월 관측에서는 ADCP 관측이 제주해협과 관측선 B에서 CTD 관측과 병행하여 이루어졌으며 대한해협 서수도 입구에서도 ADCP 관측이 이루어졌으나 대한해협에서의 CTD 관측은 이루어지지 않았다.

일반적으로 CTD 자료에는 몇가지의 문제점이 내재되어 있다. 첫 번째가 수온과 전기전도도의 반응시간 차이로 인해 관측된 전기전도도의 수직구조에 스파이크가 발생하는데 이와같은 스파이크는 수온과 전기전도도의 반응시간을 일치시키는 필터를 이용하거나 관측된 수온과 전기전도도의 수직구조를 적절히 시간 이동을 시킴으로써 제거할 수 있다. 두 번째는 CTD를 1 m/sec 이하로 느리게 움직임으로 인해 압력의 떨림현상이 발생하게 된다. 이러한 문제는 압력필터를 이용하여 교정할 수 있다. 세 번째는 CTD의 하강과 상승시에 관측되는 자료에서 차이를 발견하게 되는데 이는 CTD 하강과 상승시 전기전도도 센서가 감지하는 수온의 차이 때문에 생기는 것으로 아직까지 뚜렷한 문제해결 방법이 제시되지 못하고 있는 실정이다.

Table 1-3. Outline of CTD and ship-borne ADCP measurements conducted in the South Sea in 1998.

Month	Lines	CTD		ADCP		Remarks
			Dates		Dates	
9804	A	O	4/8-4/9			Yellow Sea
	B	O	4/8-4/10			West of Cheju Strait
	C	O	4/8			East of Cheju Strait
	D	O	4/6, 4/11			Namhae-Do section
	E	O	4/5, 4/11			Korea Strait
9809	A	O	9/20			Korea Strait
	B	O	9/20			Korea Strait
	L	O	9/21			Cheju Strait
9809	A	O	9/25	O	9/25-9/26	Cheju Strait
	C	O	9/24			Kumo-Do section
	S	O	9/23			Koje-Do section
9811	A	O	11/24	O	11/24-11/25	Cheju Strait
	B	O	11/27-11/28	O	11/26-11/27	Kumo section
	C			O	11/28-11/29	Korea Strait

#### CTD 자료의 처리과정

현장에서 수집된 CTD 자료는 SeaBird사에서 추천하는 일련의 처리과정을 거쳤다. 먼저 관측된 binary 자료는 DATCNV 과정을 통해 일차적으로 압력, 수온, 전기전도도 등의 Ascii 값으로 변환되고, 수직적으로 수온변화가 심한 곳에서 자료가 심하게 튀는 것은 WILDEDIT를 이용하여 구간크기 (block size)를 크게 함으로써 제거할 수 있다. 이 과정에서도 편차의 범위를 벗어나는 자료는 제거되지 않는 경우가 발생하는데 이때는 구간크기와 편차를 조정하여 제거해야만 한다. 이와같이 튀는 값을 제거한 후에는 FILTER 과정을 통해 low-pass filter를 사용하여 압력에 대한 해상도를 증가시킬 수 있다. 이때 일반적으로 사용되는 필터계수 Tc는 0.15이다. 전기전도도 센서가 수직으로 하강하면서 센서 자체가 온도변화를 겪게 되면서 에러가 발생하게 된다. 이러한 에러는 CELLTM 과정을 통해 수정 가능하다. 이러한 과정들을 거치면서도 제거되지 않은 자료는 수 작업으로 제거할 수밖에 없다. 이외에도 CTD 하강시 일어날 수 있는 압력의 떨림 현상은 LOOPEDIT 과정에서 제거할 수 있다. 이와 같이 처리과정을 통과한 자료는 DERIVE를 이용하여 수온, 염분 등으로 계산되고, 매 1 m 간격의 자료를 얻기 위해서는 BINAvg를 이용하면 간단하다. 지금까지의 모든 과정은 현장 관측에 사용된 CTD를 제작한 SeaBird사에서 추

천하는 일련의 자료처리 방법이며, 처리된 결과에는 자료처리 과정의 정보를 나타내는 header와 자료가 포함되고 이 중에서 자료만을 추출하기 위해서 ASCIIOUT을 이용한다 (Fig. 1-10).

본 연구에서는 CTD를 하강하면서 관측된 자료만을 이용하여 분석하였다. CTD 자료의 문제점들을 위에서 언급된 자료처리 과정을 거치면서 제거한 후 매 1m 간격의 자료를 얻었다. 해수의 밀도는 국제연합 교육과학문화기구 (UNESCO)에서 추천하는 공식을 이용하여 계산하였고, T-S diagram과 매 관측 단면에서의 수온, 염분, 밀도 분포를 통해 해황을 분석하였다.

### 3.1.2. ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) 관측

남해는 제주해류와 대마난류에 의한 해류와 왕복성 조류가 모두 우세하게 나타나는 해역이며 본 연구는 ADCP를 이용하여 조류성분이 제거된 해류분포를 연구하는 것이 목적이다. 제주와 남해 면안의 보길도를 잇는 제주해협 단면에서는 9월과 11월에 관측이 이루어졌고 11월에는 제주해협 외에 소리도 서쪽의 남북단면과 대해협 서수도 입구의 북서-남동방향의 단면에서 ADCP 관측을 수행하였다 (Table 2.3). ADCP 관측시 조사선의 속도는 8~9 노트를 유지하였고 각 단면은 25시간~26시간에 걸쳐 8회 반복 관측하였다. ADCP 자료는 시간적으로 매 1분마다 수평적인 거리상으로는 약 300 m 간격으로 그리고 수직적으로는 수심 약 15 m부터 8 m 간격으로 자료가 얻어졌다. ADCP 자료로부터 조류성분을 제거하는 방법으로 ADCP 관측이 이루어진 해역의 조류 특성을 조화분해 한 후 일회 관측된 해·조류로부터 조류를 제거하는 방법과 (예, Isobe et al., 1994) 25시간에 걸쳐 동일한 단면을 반복적으로 관측한 후 시간적인 평균을 취해 조류를 제거하는 방법이 있다 (예, Suk et al., 1996). 본 연구에서는 관측된 ADCP 자료중 90% 이상의 percent good을 보인 자료만을 선택하여 동서 방향과 남북 방향으로 모든 자료를 분리 한 후 25시간내지 26시간에 걸쳐 8회 반복된 자료를 우선 5-10 km 간격으로 수평적으로 평균하고 다시 동일한 위치에서 8회 관측된 결과를 시간적으로 평균하는 방법으로 ADCP 자료에 포함된 조류성분과 작은 규모의 disturbance를 제거하였다. ADCP에 의해 관측이 되지 않은 해표면부터 수심 약 15 m에 해당하는 표층 자료는 ADCP 관측과 병행하여 실시된 CTD 관측 자료로부터 geostrophic shear를 계산하여 대체하였고 저층 근처의 자료가 없는 부분은 저층에서의 유속을 0 으로 간주하여 선형 보간에 의해 자료를 채워 넣었다.

## 3.2 1998년 4월

### 3.2.1 CTD 관측 결과

#### (1) T-S diagram

1998년 4월에는 Fig. 1-6의 A, B, C, D, E 5개의 관측선에서 CTD 관측을 수행하

였다. 5개의 관측선에서 관측된 해수는 수온 8.0 °C~18.0 °C, 염분 32.8~34.7의 범위를 갖으며 관측된 해수 특성은 일부를 제외하고 전반적으로 등밀도선을 따라 분포하는 경향을 보인다 (Fig. 1-11). 조사해역의 해수는 전체적으로 수온 15 °C 이상, 염분 34.5 이상인 고온, 고염의 해수, 수온 10 °C~13 °C, 염분 34.0~34.5의 해수 및 수온 8.0 °C~11.0 °C, 염분 32.7~33.2의 범위를 갖는 저온, 저염의 해수의 세 가지 수괴로 구분이 가능하다.

각 관측선에서의 T-S diagram (Fig. 1-12)을 살펴보면, 가장 서쪽에 위치한 관측선 A에서는 대부분의 해수가 수온 10 °C 미만인 냉수며 두 관측점에서의 표층에서는 수온과 염분이 높은 고온, 고염의 해수가 나타난다. 수온 10 °C 미만인 해수는 황해냉수 (Yellow Sea Cold Water)로 사료되며 고온, 고염의 해수는 황해냉수에 의해 다소 희석된 제주난류수 (Cheju Warm Current Water; Chang et al., 1995)나 겨울철 황해로 유입되는 것으로 알려진 황해난류수 (Yellow Sea Warm Current Water)로 사료된다. 관측선 A의 동편에 위치한 관측선 B에서는 저온·저염, 고온·고염인 해수 및 그 중간의 해수특성을 갖는 해수가 T-S diagram 상에서 서로 분리되어 나타난다. 저온, 저염의 해수는 관측선 A에서 나타나는 황해냉수와 유사한 특성을 갖으며 고온, 고염인 해수의 염분은 34.0 이상으로 흑조로부터 기원되어 제주도 서쪽을 우회한 후 제주해협으로 유입되는 제주난류수로 사료된다. 황해냉수와 제주난류수는 등밀도선 상에 위치함으로 인하여 해수혼합이 용이하리라 중간의 특성을 갖는 해수는 냉수와 고염인 해수의 혼합수로 간주된다. 제주해협 동편에 위치한 관측선 C에서도 등밀도선 ( $\sigma_t \approx 25.5$ )을 따라 고온, 고염의 해수와 저온, 저염의 해수 사이에 모든 해수 특성이 나타나는데 고온, 고염의 해수 및 저온, 저염의 해수는 서쪽의 관측선 B에 비해 모두 수온과 염분이 높다. 남해도 남쪽의 관측선 D를 따라서도 관측선 C에서와 유사한 해수 특성 분포를 보이지만 표층에서 가장 밀도가 낮은 해수가 나타나는 특성이 있고 저층에서는 타 관측선에서 보다 밀도가 높은 ( $\sigma_t \approx 26.0$ ) 해수가 나타난다. 관측선 D에 출현하는 해수의 염분값은 33.5 보다 모두 크게 나타난다. 대한해협 서수도의 입구에 해당하는 관측선 A에서는 한 관측점을 제외하곤 해수의 염분이 전 층에 걸쳐 34.0 이상이며 수온과 염분의 변화 폭이 관측선 C, D보다 작은 특징이 있으며 관측선 D에 나타나는 고밀도의 해수가 ( $\sigma_t \approx 26.0$ ) 관측선 D에서 보다 많이 출현한다.

## (2) 수직단면 분포

### 단면 A

수층은 수직적으로 균질하거나 약하게 성층화 되어 있다 (Fig. 1-13). 관측점 A1~A7의 수심이 10 m 보다 깊은 곳에는 수온 10.0 °C 미만, 염분 32.8~33.1의 범위를 갖는 황해냉수가 폭 넓게 분포한다. 냉수의 수온은 북쪽으로 갈수록 감소하여 가장 북쪽에 위치한 관측점 A의 50 m 보다 깊은 곳에서는 수온이 8.0 °C~8.5 °C로 나타난다. 관측점 A9에는 수온 11.0 °C 이상, 염분 33.4 이상의 상대적으로 고온, 고염의 해수가 분포하여 황해냉수와 고온, 고염인 해수 사이인 관측점 A7~A8 사이에서는 수직적인 열·염전선이 나타난다. 열·염전선에서의 해수밀도 구배는

수직적인 밀도구배에 비해 작게 나타나고 있어 성질이 다른 두 해수의 밀도 차이는 작다. 관측점 A8과 A9의 수심 30 m 부근에서는 냉수의 관입으로 인하여 수온과 염분의 역전현상이 일어난다.

### 단면 B

관측점 B5~B8 사이의 수심이 10 m 보다 깊은 곳에는 단면 A에서와 마찬가지로 수온 10.0 °C 미만의 황해냉수가 분포하는데 가장 수온이 낮은 해수는 수온 8.5 °C~9.0 °C의 범위를 갖으며 수심이 상대적으로 깊은 관측점 B7에서 나타난다 (Fig. 1-14). 수온 9.0 °C 미만의 해수가 나타나는 관측점 B7, B8의 표층에는 수온이 냉수보다 다소 높고 염분 32.9 미만의 저염수가 분포하는데 이러한 표층의 저염수는 단면 A의 황해냉수 표층에 나타났던 저염수와 성질이 동일하다. 단면 A와 단면 B의 해수특성 분포는 가장 서쪽의 단면 A에서 광범위하게 분포하는 진도 부근 (단면 B의 북쪽)의 표층수보다 염분이 다소 낮은 해수가 표층에 얹혀진 황해냉수가 수심이 깊은 곳을 따라 제주해협 서쪽으로 유입되는 경향을 보인다. 황해냉수수심이 40 m 보다 얕은 관측점 B5의 북쪽인 연안쪽으로는 수직적으로 수온과 염분이 균질한 해수가 분포하는데 연안수의 수온은 황해냉수에 비해 다소 높다. 단면의 남쪽에 위치한 관측점 B10, B11에서는 전 층에 걸쳐 수온 14.0 °C 이상, 염분 34.2 이상의 고온, 고염의 제주난류수가 나타난다. 단면 A에서와 마찬가지로 황해냉수와 제주난류수의 밀도 차이는 작으며 저층에서  $\sigma_t$  단위로 최대 0.05 차이로 난류수의 밀도가 다소 크다.

### 단면 C

제주해협 동편에 위치한 단면 C에서는 열·염전선이 관측점 C3와 C4 사이에 나타나며 전선의 북쪽에는 수온 10.0 °C~12.0 °C, 염분 33.3~33.6의 범위를 갖는 저온, 저염의 해수가 분포하고 전선 남쪽에서 관측점 C7 사이에는 수온 13.5 °C~17.0 °C, 염분 34.3~34.7의 범위를 갖는 고온, 고염수가 분포한다 (Fig. 1-15). 제주도 서쪽에 인접한 관측점 C8, C9에서는 수온과 염분이 북쪽의 고온, 고염수에 비해 다소 낮은 해수가 분포한다. 해수의 밀도는 단면 A 나 B에서와 달리 고온, 고염의 해수가 남해의 연안역과 제주도 동쪽에 인접하여 분포하는 해수보다 낮다. 단면 C의 남해 연안역에 분포하는 해수는 제주도 서쪽의 황해냉수 및 진도 근해 연안수에 비해 수온은 약 2.0 °C~3.0 °C, 염분은 0.3~0.5 정도 높다. 단면 C에 나타나는 고온, 고염의 해수도 단면 B에 나타나는 제주난류수에 비해 수온 1.0 °C~2.0 °C, 염분 0.2~0.4 정도 높게 나타난다.

### 단면 D

남해도 남쪽의 단면 D의 관측점 D1~D4는 4월 6일에 관측이 이루어졌고 관측점 D5~D11은 5일 후인 4월 11일 관측이 이루어졌다. 단면 D에서도 서쪽의 단면에서와 마찬가지로 남해 연안역의 저온, 저염인 해수와 외해역의 고온, 고염수 사이에 열·염전선이 나타난다. 전선은 수심 30 m 보다 얕은 곳에서는 관측점 D4~D5 사이에서 그리고 수심이 30 m 보다 깊은 곳에서는 관측점 D6~D7 사이에서 나타난

다 (Fig. 1-16). 그러나 관측 시기가 연안역과 외해역이 약 5일 정도 차이가 나므로 4월 11일 상층 전선의 정확한 위치는 알 수 없다. 전선의 북쪽인 남해 연안역의 해수와 남쪽의 고온, 고염인 해수는 서쪽의 단면에서 보다 수온과 염분이 모두 높게 나타나며, 해수의 밀도는 전선역 북쪽의 연안수가 높다.

단면 D와 E의 연안역 관측점들은 4월 5일과 4월 6일에 CTD 관측이 이루어진 반면에 외해역 관측점들은 6일~7일 후 인 4월 11일에 CTD 관측이 이루어졌다 (Table 2-3). 제주도와 대마도 사이에 위치한 단면 D 상의 관측점 D5에서는 단기간에 걸친 해수특성 변화를 살펴보기 위해 4월 6일 및 4월 11일 2회에 걸쳐 CTD 관측이 이루어졌다 (Fig. 1-17). 4월 6일에는 수심 25 m 부근에 미약하게 수온약층이 존재하며 약층을 경계로 상층과 하층의 수온 차이는 1.0 °C 내외이다. 4월 6일에는 염분의 수직적인 변화가 거의 없이 전 층에 걸쳐 염분이 33.8 내외이다. 4월 11일의 분포는 5일 사이에 전 수층이 고온, 고염화 되었고 해수밀도가 감소하였음을 보여 준다. 수온약층은 4월 6일에 비해 강화되었고 염분약층도 수온약층이 나타나는 수심에 나타난다. 수온약층 상부에서의 해수 수온은 5일 사이에 3.0 °C 이상 증가하였고 염분은 0.7 가량 증가하였다. 이같은 수온과 염분의 단 기간에 걸친 큰 변화는 표층수 가열등 국지적인 요인으로서는 설명하기 어려우며 고온, 고염수의 이류(advection)에 의한 해수특성 변화로 설명되어져야 한다. 4월 11일에 관측점 D5의 약층 상부에 나타나는 수온 15.0 °C 이상, 염분 34.5 이상인 해수는 서쪽의 단면 C, 단면 D의 외해역, 단면 E 등에서 나타나는 데 남해의 전반적인 해수유동이 동향이나 북동향인 것을 고려할 때 4월 11일 관측점 D5에 나타난 해수는 단면 C에서 기원되었을 가능성이 있으며 이 경우 5일간의 평균 유속이 약 23.0 cm/s 가 되어야 하는데 이는 4월에 제주해협에서 관측된 최대 일평균 유속에 비해 약 2배정도 큰 값이다. 다른 가능성은 서쪽의 단면들에서와 마찬가지로 단면 D에서도 연안역과 외해역이 구분되는 전선역이 존재하리라 사료되며 이러한 전선역의 단기간에 걸친 남북방향의 변동에 의한 해수특성 변화 일 가능성이다.

### 단면 E

대한해협 입구인 단면 E의 관측점 E1~E3는 4월 5일에 관측이 이루어졌고 관측점 E4~E8은 6일 후인 4월 11일 관측이 이루어졌다. 관측점 E4~E8에서는 서쪽의 타 단면의 난류수역과 비교할 때 2층 구조를 보이며 등치선이 사발 모양으로 분포한다 (Fig. 1-18). 수온과 염분 약층이 관측점 E4~E6 사이에서는 수심 40 m~70 m에 나타나며 약층의 상부에는 수온 15.0 °C 이상, 염분 34.5 이상인 난류수가 나타나며 약층의 하부에는 수온 12.5 °C 미만, 염분 34.2 미만인 상대적으로 저온, 저염인 해수가 분포한다. 저온, 저염의 해수는 관측점 E7, E8에서 수직적으로 북쪽의 관측점들에서 보다 넓게 분포하고 있어 관측점 E6에서 E7로 가면서 등치선이 표층을 향해 치솟는 경향을 보인다. 같은 날 관측이 이루어진 단면 D의 고온, 고염수와 단면 C의 약층 상부에 분포하는 고온, 고염수를 비교하면 단면 D에 나타나는 고온, 고염수의 수온과 염분이 단면 E의 고온, 고염수에 비해 수온과 염분이 높다. 특히 단면 D에서는 수온 16.0 °C, 염분 34.6 이상인 해수가 관측점 D7의 남쪽에 꼭 차있으나 같은 성질을 갖는 해수가 단면 E에서는 관측점 E5, E6의 상층에서만 좁게 분



포한다. 단면 D와 단면 E의 난류수의 수온, 염분값 및 그 분포가 상이한 것은 제주도과 대마도 사이의 넓은 통로를 통해 남해로 유입되는 대마난류수의 공간적인 구조가 다르거나, 대마난류수가 좁은 대한해협 서수도로 유입되면서 제주해협을 통해 유입되는 상대적으로 저온, 저염인 제주난류수나 냉수와 혼합되었기 때문인 것으로 사료된다.

### 3.3 1998년 9월

9월 관측은 9월 20일~9월 21일 사이에 Fig. 1-7 의 3개 단면에서 CTD 관측이 이루어졌고 이틀 후 인 9월 23일~9월 25일 사이에는 Fig. 1-8 의 3개 단면에서 CTD 관측이 이루어졌다. 후반부 CTD 관측 직후인 9월 25일~26일은 걸쳐 제주해협의 제주-보길도 사이에서 25시간 ADCP 반복 관측이 수행되었다.

#### 3.3.1. CTD 관측 결과

##### 3.3.1.1. 9월 20일-9월21일

###### (1) T-S diagram

Fig. 1-19, 20 은 전 관측점 및 단면별 T-S diagram을 나타낸다. 3개의 관측선에서 관측된 해수는 수온  $10.0^{\circ}\text{C}\sim 26.0^{\circ}\text{C}$ , 염분 29.0~34.5 의 범위를 보이고 있어 4월에 비해 관측 범위가 좁아졌음에도 불구하고 수온과 염분의 변화폭이 크다. 이는 표층수의 가열과 강우, 육수 유입등으로 표층수의 수온과 염분이 낮아졌기 때문으로 사료된다. 9월달 가장 염분이 높은 해수는 대한해협에서 나타나는데 이 해수의 염분값은 4월달의 최대 염분값에 비해 0.2 정도 낮게 나타난다. 조사해역의 표층수는 상대적으로 고온, 고염인 해수와 저온, 저염의 해수로 구분되며 가장 염분이 낮은 해수는 제주해협에서 관측되었다. 제주해협 (단면 L)의 저층수는 수온, 염분 특성이 큰 차이를 보이지는 않지만 고온, 고염인 해수와 저온, 저염의 해수로 구분이 가능하다. 대한해협 서수도에 위치한 단면 A와 B에 나타나는 고염수는 제주해협의 고염수에 비해 염분이 0.5 정도 높다. 단면 A의 한 관측점에서는 저층에 수온이  $10.0^{\circ}\text{C}$  부근인 냉수가 나타나는데 이는 동해에서 기원되어 대한해협 골을 따라 분포하는 대한해협 저층냉수로 사료된다.

###### (2) 수직단면 분포

###### 단면 L

단면 L은 제주도 (L12)로부터 보길도 (L1)에 이르는 제주해협 단면이다. 계절적 수온약층이 수심 20 m~60m에 걸쳐 분포하며 상대적으로 표층수온이 높은 관측점 L9로부터 제주도 연안쪽으로는 약층이 나타나는 수심이 깊어지고 수직적인 약층의 강도도 상대적으로 약화된다 (Fig. 1-21). 제주해협 골의 북쪽인 수심이 50 m 보다 얕은 해역에서는 등온선들이 해저면쪽으로 향하고 있어 수직적인 수온 (염분) 차이

가 남쪽의 수심이 깊은 곳보다 상대적으로 작아진다. 전 단면에 걸쳐 염분 31.0 미만의 저염수가 수온약층 상부에 분포하며 염분 30.0 미만의 가장 염분이 낮은 해수는 제주도에 근접한 관측점 L10에서 발견되었다. 수온약층의 상부를 점하고 있는 해수의 수온은 제주도에 인접한 곳에서 25.0 °C 이상으로 높고 북쪽으로 갈수록 (L12 → L1) 감소하여 관측점 L6부터 보길도까지는 상층수의 수온이 24 °C 미만으로 나타난다. 수심이 깊은 제주해협 골의 수온약층 하부에는 두 수괴가 나타난다. 골의 북쪽 사면에는 수온 13.0 °C~13.5 °C, 염분 33.5~33.7 범위를 갖는 수온이 낮은 냉수가 나타나며 제주도에 인접한 골에는 수온 14.0 °C~15.0 °C, 염분 33.7~33.9의 범위를 갖는 고온, 고염수가 분포한다. 1998년 9월에 관측된 해수특성 분포는 1981년 8월에 제주해협에서 조밀하게 관측된 분포와 유사하며 (Kim et al., 1991a), 제주해협의 거의 전 단면에 걸친 해류분포가 동향임을 감안하면 제주해협에 나타나는 표층 저염수 및 저층의 해수는 제주도 서쪽인 황해나 동중국해로부터 유입되는 해수이다. 제주해협 표층의 저염수는 낮은 염분값으로 미루어 양자강 입구에서 기원되는 양자강 회석수로 사료되나 (김 과 노, 1994) 광역에서 획득된 자료를 바탕으로 보다 정확한 저염수의 기원을 규명할 필요가 있다. 제주도에 인접한 골의 수온약층 하부의 상대적으로 염분과 수온이 높은 해수는 쿠로시오로부터 기원되어 변질된 제주난류수로 사료되며 골의 북쪽사면에 나타나는 상대적으로 저온, 저염인 해수는 황해나 동중국해로부터 유입되는 냉수로 사료된다.

#### **단면 B**

단면 B는 거제도 남쪽에서 (B6) 대마도 쪽을 (B1) 향한 동서방향의 단면이다. 계절적 수온약층이 수심 20 m~40 m 사이에서 나타나며 수온약층 상부에는 수온 25.0 °C 이상의 해수가 제주해협에서 보다 광범위하게 나타난다 (Fig. 1-22). 염분 31.0 미만의 해수는 외해역의 관측점 B3, B4와 거제도에 인접한 관측점 B6의 표층에 분포한다. 수온약층 하부에는 수온 13.0 °C~16.0 °C, 염분 34.0~34.6의 범위를 갖는 고염의 해수가 나타나고 관측점 B1~B4에서는 수온 13.0 °C~15.0 °C의 범위를 갖는 해수가 바닥에 깔려있다.

#### **단면 A**

단면 A는 대한해협 서수도 단면으로서 부산 (A1) 으로부터 대마도 북단 (A5)을 향한다. 수온약층이 수심 30m~60m 사이에 나타나며 약층 상부의 표층수는 대마도 쪽으로 고온, 고염의 특성을 보이며 한국 연안쪽으로 갈수록 수온과 염분이 낮아진다 (Fig. 1-23). 부산에 인접한 관측점 A1, A2의 표층에는 염분 31.0 미만의 해수가 나타나고 있어 단면 B와 단면 L의 표층에 나타나는 저염수와 연결된다. 전 관측점에서 염분 34.0 이상의 고염인 해수가 수심 60 m 보다 깊은 곳에 나타나며, 가장 염분이 높은 해수는 대마도쪽의 관측점 A5에서 34.4 이상으로 나타나고 있어 단면 B의 대마도쪽 관측점인 B1, B2의 저층에 나타나는 고염수와 연결된다. 수심이 165 m 로 가장 깊은 관측점 A5에서는 수심 100 m 보다 깊은 곳에 수온 10.0 °C 미만의 대한해협 저층냉수가 나타난다.

### 3.3.1.2. 9월 23일-9월25일

#### (1) T-S diagram

9월 전반부 관측시와 동일한 단면에서 이루어진 제주해협 (단면 A) 단면에 나타나는 해수특성을 살펴보면 염분 31.0 미만의 저염의 표층수가 약 4일전에 비해 많이 축소되었다 (Figs. 1-24, 1-25). 저층수는 전반부에서와 마찬가지로 고온, 고염의 해수와 저온, 저염의 해수로 구분되며 각 저층수의 수온, 염분 범위는 전반부에서와 유사하다. 내만에 위치한 단면 S에서는 수온 22.0 °C~24.0 °C, 염분 29.5~31.0의 범위를 갖으면서 수직적으로 비교적 균질한 고온, 저염수와 수직적으로 성층화된 해수가 나타나는데 성층화 된 해수의 저층수의 염분값은 34.0 이상으로 높게 나타난다. 단면 C의 관측점들에서 나타나는 해수특성도 단면 S와 유사하며, 4월이나 9월 전반부와 마찬가지로 단면 C 와 S에 나타나는 고염의 저층수의 염분값은 제주해협에 나타나는 고염수의 염분값보다 염분이 높다.

#### (2) 수직단면 분포

##### 단면 A

수온약층 하부에는 제주해협 골의 북쪽 사면에 수온 13.5 °C 미만의 냉수가 나타나고 제주도에 인접한 수심이 가장 깊은 골에는 염분 33.7 이상의 고염수가 나타나는 것은 9월 21일 관측 결과와 유사하다 (Fig. 1-26). 수온약층의 수직적인 강도는 9월 21일에 비해 다소 약화 되었으며, 9월 21일 전단면의 표층에 분포하였던 염분 31.0 미만의 저염수는 9월 25일에는 수심이 얕은 연안쪽에만 분포하고 있어 제주도 근해의 표층수는 상대적으로 많이 고염화 되었다. 제주도 근해의 표층수도 북쪽의 타 해역에 비해 수온이 상대적으로 많이 감소하였다. 9월 21일과 비교할 때 9월 25일의 해수특성 분포의 큰 차이 중 하나는 염분 범위 33.0~33.5를 갖는 해수의 수직적인 폭이 후반부에 넓어 진 것으로 특히 제주도쪽이 두드러진다. 이는 9월 21일 표층에 넓게 분포하던 저염수가 9월 25일에는 분포 범위가 좁아지고 특히 제주도 근처에서는 소멸된 것과 관련이 있는 것으로 사료된다.

##### 단면 C

수심이 50 m 보다 얕은 연안역 관측점 C1, C2에서는 수직적으로 균질한 해수분포를 보이며 수온 24.0 °C~25.0 °, 염분 29.5~31.0의 범위를 갖는 고온, 저염의 해수가 분포한다 (Fig. 1-27). 남해 연안역의 이러한 고온, 저염수는 제주해협의 단면 C에 출현한 표층 저염수에 비해 수온은 1.0 °C, 염분은 0.5 정도 작아서 서로 구분된다. 수심이 약 70 m 에 이르는 단면상의 가장 외해쪽에 위치한 관측점 C4에서는 수직적인 해수분포가 연안역과 달리 2층구조를 보이며 수온약층 하부에는 수온 15 °C 이상, 염분 34.0 이상의 고온, 고염의 해수가 나타나는데 수온과 염분값이 제주해협에 나타난 고온, 고염수에 비해 수온과 염분이 높아 서로 구별된다. 관측점 C4에 나타나는 고염수는 제주도 동쪽을 통해 남해로 유입되는 대마난류수로 사료된다.

### 단면 S

수심이 40 m 보다 얇은 연안역에서는 단면 C에서와 마찬가지로 수직적으로 균질한 해수분포를 보이며 수심이 깊은 관측점 S5는 2층구조를 보이는데 S5의 저층에서는 단면 C의 관측점 C4에서와 같이 염분 34.0 이상의 고염인 해수가 나타난다 (Fig. 1-28).

### 3.3.2 ADCP 관측 결과

Figure 2.29는 제주와 보길도를 잇는 남북방향의 ADCP 관측선에 평행한 해류 성분 (남북 방향), 수직한 해류 성분 (동서 방향) 및 ADCP 관측 직전에 관측된 CTD 자료를 이용하여 저층을 기준면으로 역학적인 방법에 의해 계산한 동-서방향의 지형류를 나타낸다.

보길도에 인접한 연안역에서 4 cm/s의 미약한 서향류가 나타나는 것을 제외하곤 전 단면에 걸쳐 동향류를 보이며, 30 cm/s 이상의 최강 동향류는 제주도에서 약 25 km 떨어진 관측점 A4의 수심 30 m 보다 얇은 곳에서 나타난다. 동향류가 강하게 나타나는 곳에서의 남북방향의 성분은 북향을 보이며 연안역은 미약하게 남향을 보이고 있어 전체적으로 제주해협 남쪽에서는 평균 해류의 주된 방향이 동북동 방향이며 연안역에서의 유향은 남동 혹은 남서 방향이다. 제주해협 남쪽의 동북동 향류는 수심이 깊어 질수록 유향이 반시계 방향으로 회전하는 경향을 보인다. 이는 thermal wind 균형을 고려할 때 동서방향의 해수밀도 차이보다 남북방향의 해수밀도 차이가 크기 때문인 것으로 사료된다. 수심이 얇은 연안역은 유속의 수직적인 차이가 크지 않은 반면에 수심이 깊은 곳에서의 수직적인 유속 차이는 최대 30 cm/s에 이른다. 관측된 일평균 동서방향의 해류성분으로부터 계산한 동서방향의 해수수송량은 0.51 Sv ( $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) 으로 1997년의 0.58 Sv에 비해 약 12% 정도 감소하였다. 동향류의 유속이 20 cm/s 이상으로 나타나는 해역에서의 등밀도선의 분포를 살펴보면 (관측점 A3~A5) 수심이 30 m 보다 얇은 곳에서는 등밀도선이 남쪽으로 오면서 부상하는 경향을 보이지만 30 m 보다 깊은 곳에서는 남쪽인 제주도 쪽으로 오면서 저층으로 향하는 경향을 보이고 있어 지형류 분포가 실측된 해류 분포와 정성적으로 유사함을 시사한다. 역학적인 계산에 의한 지형류 분포는 제주도에 인접한 곳에서 20 cm/s 이상의 강한 동향류가 나타나고 관측점 A2, A3 사이에서는 최대 28 cm/s 이상의 서향류가 나타나는 것이 특징이다. 지형류 분포는 제주도 근방 수심이 깊은 곳에서는 유속의 차이는 보이지만 실측된 해류분포와 유사한 경향을 보이지만 수심이 얇은 곳에서는 실측된 해류와 다른 모습을 보이고 있어 수심이 얇은 연안역에서는 지형류 가정에 의한 해류 계산이 문제가 됨을 시사한다. 지형류 유속 분포에 의한 해수수송량은 0.15 Sv으로서 실측된 해류로부터 계산된 수송량의 30% 에 불과하다.

### 3.4 1998년 11월

11월에는 제주해협 단면 A와 소리도 서쪽의 단면 B에서 CTD 관측이 이루어졌으며 단면 A는 11월 24일에 그리고 단면 B는 약 3일 후인 11월27일~11월28일에 관측이 이루어졌다. 단면 A (제주해협) 에서의 ADCP 관측은 CTD 관측 종료 후 하루 7시간 후인 11월25일~11월 26일에 24시간 48분에 걸쳐 8회 반복 관측이 이루어졌으며, 단면 B에서의 ADCP 관측은 단면 B에서의 CTD 관측 직전인 11월26~11월 27일에 24시간 46분에 걸쳐 8회 반복 수행되었고, 단면 C (대한해협) 에서는 11월28일~11월29 사이의 24시간 46분간 동안 ADCP 8회 반복 관측이 이루어졌다. 단면 C에서의 CTD 관측은 이루어지지 않았다. .

#### 3.4.1. CTD 관측 결과

##### (1) T-S diagram

제주해협 단면의 일부 관측점들에서는 수온과 염분의 역전 현상이 보이며 단면 B에서는 전 관측점에 걸쳐 수온은 수직적으로 균일하지만 염분의 수직적인 차이는 큰 경향을 보인다 (Figs. 1-30, 1-31).

##### (2) 수직단면 분포

###### 단면 A

11월의 수직적인 해수특성 분포는 표층수의 냉각으로 인하여 계절적 수온약층이 소멸되었음을 보여준다 (Fig. 1-32). 수온은 제주도에서 남해안으로 갈수록 감소하며 수온 18.0 °C 이상의 고온수가 제주도에 인접한 관측점 A7, A8의 중층에 나타나며 이 고온수의 염분범위는 대략 33.2~33.8 이다. 수온 15.0 °C 미만의 냉수는 제주해협 골의 북쪽 사면부터 보길도에 인접한 연안역까지 연결되어 나타나지만 염분분포는 골의 북쪽 사면에 나타나는 냉수의 염분이 연안역의 저온수의 염분에 비해 높게 나타나고 있어 염분분포에서는 연결이 되지 않는다. 골의 북쪽 사면에 나타나는 냉수의 상층부에 해당하는 관측점 A4~A6의 미약한 염분약층 상부에는 염분 32.8 미만의 단면에서 가장 염분이 낮은 해수가 사발모양으로 분포하며 가장 염분이 낮은 해수는 (< 32.6) 사발의 중앙에 해당하는 관측점 A6에서 나타난다. 수심이 가장 깊은 제주도에 인접한 관측점 A7의 수심 100 m 보다 깊은 곳에 나타나는 해수의 염분은 34.0 이상으로 9월에 비해 염분이 증가하였다.

###### 단면 B

남해 연안의 소리도 서편에 위치한 단면 B에서는 전체적으로 수직적인 수온 차이가 크지 않으며 외해역의 관측점 B7, B8에서는 수온 역전이 나타나는 것이 특징이다 (Fig. 1-33). 천해인 연안역은 외해역에 비해 상대적으로 수층이 균질하며 외해역의 관측점 B7, B8의 수심 50 m 보다 깊은 곳에는 염분 34.0 이상의 해수가 분포

한다.

### 3.4.2. ADCP 관측 결과

#### 단면 A

9월의 해류분포와 유사하게 보길도에 인접한 관측점 A2 북쪽에 4 cm/s의 미약한 서향류가 나타나는 것을 제외하곤 전 단면에 걸쳐 동향류가 나타난다 (Fig. 1-34). 제주해협 골의 북쪽 사면 끝에 나타나는 유속이 20 cm/s 이상인 동향류의 주축은 염분 32.8 미만의 저염수의 핵이 분포하는 위치와 일치하며 관측점 A4 남쪽의 전반적인 등밀도선의 분포는 9월과 유사하게 지형류 분포가 정성적으로 실측된 해류분포와 유사함을 시사한다. 남북방향의 유속분포는 관측점 A3으로부터 제주도 쪽으로 상층에서는 미약한 북향류가 나타나며 하층은 4 cm/s 미만의 미약한 남향류가 나타난다. 전반적으로 동향류 및 북향류의 유속은 9월에 비해 감소하였다. 제주해협 골의 수심 100 m 이상 되는 곳에서는 미약하게 서향류가 나타나는데 서향류가 나타나는 곳에 분포하는 해수는 염분 33.8~34.2의 고염의 특성을 보인다. 이러한 고염의 해수는 제주도 서쪽을 우회하여 제주해협으로 유입된 후 동향하는 제주난류수로 간주되는 반면 실측된 일평균 해류가 서향을 나타내는 것은 제주해협 골을 따라 서향류가 존재한다기 보다는 해저지형 등의 영향으로 생길 수 있는 국지적인 와류 때문인 것으로 사료된다. 제주해협 골에서의 서향류는 1995년 4월 관측에서 나타난 적이 있으나 (Suk et al., 1996) 1997년 9월과 1998년 9월에는 관측되지 않았다. 1995년 4월 관측시에는 ADCP 반복 관측과 병행하여 수심 10 m, 120 m에서 해류계 계류에 의한 해류관측을 동시에 실시하였는데 ADCP 관측에 의해 서향류가 나타난 수심 120 m에서는 해류계 관측에 의해서도 일평균 해류가 서향을 나타내었다 (한국해양연구소, 1996). 실측된 일평균 해류로부터 계산한 제주해협에서 동향하는 해수의 수송량은 0.46 Sv로서 9월 비해 약 10% 정도 감소하였다. 지형류 유속분포는 실측된 해류분포와 유사한 분포를 보이며 계산된 해류의 세기도 실측된 세기와 유사하다. 수심이 얇은 연안역에서는 9월과 마찬가지로 지형류가 전반적으로 미약하나 서쪽을 향하고 있어 실측된 유속과 차이를 보인다. 지형류에 의한 해수 수송량은 0.26 Sv로서 실측된 수송량의 약 57%에 달한다.

#### 단면 B

단면 B에서는 전 단면에 걸쳐 동향류가 나타나며 동향류의 유속이 가장 강한 곳은 외해역의 관측점 B8에서 24 cm/s 이상으로 나타난다 (Fig. 1-35). 남북 방향의 성분은 수심이 얇은 남향류가 우세한 반면 수심이 깊은 곳에서는 북향류가 우세하여 연안역은 남동향의 해류가 그리고 외해역은 북동향류가 나타난다.

#### 단면 C

대한해협 서수도의 입구에 북서-남동방향으로 위치한 단면 C에서는 단면에 수직인 북동향류가 우세하며 북동향류의 세기는 대마도쪽으로 가면서 강해져 단면의 남동쪽 끝에서는 30 cm/s 이상의 북동향류가 관측되었다 (Fig. 1-36). 단면에 평행한

유속 성분은 남동향류가 우세하여 남해 연안쪽으로부터 대마도쪽으로 가면서 유향이 동향에서 북동향으로 반시계 방향으로 회전함을 알 수 있다.

### 3.5. 인공위성 추적부이 관측 결과

인공위성 추적부이에 의한 해류조사는 Lagrangian 방법으로 표류부이를 해상에 투하한 후 부이의 위치를 인공위성으로 측정하는 것이다. 인공위성 추적부이는 크게는 표층부표와 몸통인 끌개 (drogue) 두 부분으로 구성되어 있다. 표층부표는 센서, 송신기, 안테나, 전원 등을 내장하고 몸통은 drag를 크게 하여 바람의 영향을 가능한 적게 받으면서 해류에 의해서만 이동되도록 제작된다. 제주해협에 투하한 부이의 끌개의 높이는 6~7 m 로 끌개의 중심이 해수면으로부터 15 m 되는 수심에 위치하도록 제작이 되어 부이의 운동은 15 m 층의 해류를 대표하도록 고안되었다.

인공위성 추적부이는 9월 21일 06시 48분에 제주해협의 33 °45.5' N, 126 °35'E 의 위치에서 자료 송신을 시작하여 9월 24일 22시 52분까지 약 3일 18시간 동안 약 1.5시간 간격으로 위치를 송신하였다. 이 후에는 선박에 의해 회수되어 선박과 함께 서쪽으로 빠르게 이동된 후 중국 산둥반도 남쪽까지 위치가 옮겨졌으며 산둥반도 남쪽에서 다시 해상에 투하된 것으로 보이며 이 후 잠시 동안 해류와 함께 움직이다가 이 후에는 송신이 두절되었다 (Fig. 1-37). Figure 1-38 은 제주해협에서 3일 18시간 동안의 부이의 궤적과 부이의 궤적으로부터 계산한 일평균 해류물 벡터를 표시한 것이다. 관측 기간 중 부이는 투하 후 동쪽으로 이동하다가 점차 북동쪽으로 방향을 바꾸었고 관측기간 중의 일평균 유속은 17.0 cm/s ~ 23.5 cm/s를 보였다. 인공위성 추적부이가 투하된 위치는 Fig. 1-29의 관측점 A3 와 A4 사이의 +의 표시된 곳으로서 부이에 의해 관측된 일평균 유속은 ADCP에 의해 관측된 유속값과 일치한다.

## 4. 남해 해수순환 모델 결과

남해는 제주해협, 대한해협, 제주도과 대마도 사이 등 세 군데의 개방경계를 포함하는 해역으로 남해의 해수순환은 이러한 개방경계를 통한 해수의 유출입과 열·염 플럭스, 해표면을 통한 열·염 플럭스와 바람응력, 조석 강제력 및 해수의 공간적인 밀도분포에 의해 해수순환이 좌우된다. 남해는 세 군데의 개방경계를 포함하는 관계로 개방경계에서의 수온, 염분 및 해류분포를 정확히 부과하지 않고는 남해의 해수순환을 정확히 재현할 수 없다. 기존의 남해 전체를 대상으로 한 수치모델을 이용한 해수순환 연구는 해수의 밀도분포를 고려치 않은 순압모델이 대부분이었다 (예, 김, 1994; Chang et al., 1997; 김, 1998). 김 (1994)은 조석 강제력, 개방경계를 통한 해수의 유출입 등을 개별적으로 고려하였고, Chang et al. (1997)과 김 (1998)은 관측자료를 바탕으로 조석 강제력과 개방경계에서의 해류분포를 동시에 고려하였다. 남해의 해수는 여름철과 가을철에 걸쳐 계절적 수온약층이 나타나므로

순압모델에서와 같이 수직적으로 유속이 일정하지 않으리라 사료되며, 또한 남해에는 연안역과 외해역간에 전선이 존재하며 (예, Lee, 1983) 이러한 전선은 수평적인 밀도구배를 증가시켜 강한 해류를 유발할 수 있기 때문에 순압모델을 이용해서는 남해의 3차원적인 해류분포를 정확히 재현할 수 없다.

본 연구에서는 3차원 순환모델과 남해에서 30년에 걸쳐 관측된 수온과 염분의 평균자료 및 제주해협과 대한해협에서 관측된 해류분포를 이용하여 개방경계에서의 해류분포, 개방경계 및 해표면에서의 열·염 플럭스 및 바람응력에 의해 유도되는 남해의 9월달 평균적인 3차원 해수순환을 재현하였다. 모델 영역은 Fig. 1-1의 사각형으로 둘러싸인 부분이며 모델의 수평적인 격자 간격은 3 km이고 각 격자내의 수층은 수직적으로 8개의 층으로 나누었다.

#### 4.1. 수치모델

연구해역에 적용한 3차원 해양순환모델은 POM (Princeton Ocean Model, Mellor, 1996)이다. POM은 유한차분법을 이용하여 자유해면을 포함하는 원시운동방정식과 열·염분 보존방정식의 해를 구하는 모델이며 수직적으로  $\sigma$ -좌표계를 사용함으로써 복잡한 해저지형의 표현을 용이하게 하도록 하였다. POM에서는 자유해면의 시·공간적인 변동이 고려되므로 조석 강제력의 고려 및 인공위성에 의한 해면고도 자료의 동화가 가능하고 표면 혼합층 (surface mixed layer) 역학을 포함하는 장점을 갖고 있다.

##### 4.1.1. 모델 지배 방정식

지배 방정식은 자유해면 (free surface)과 수평 및 수직 방향 유속장의 시·공간적인 변화를 계산하는 연속방정식과 운동방정식 및 수온 및 염분의 시·공간적 변화를 계산하는 열·염분 보존방정식으로 구성되어있다. 비압축성 근사 (incompressible approximation)와 유체정력학적 근사 (hydrostatic approximation) 그리고 Boussinesq 근사를 사용할 때  $\sigma$ -좌표계로 표현되는 지배 방정식은 아래와 같다.

유체의 연속방정식:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(DU)}{\partial x} + \frac{\partial(DV)}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0 \quad (1)$$

동서, 남북방향의 운동방정식:



$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial \sigma} \left[ \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \right] = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial \sigma} \left[ \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \right] = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \end{aligned} \quad (3)$$

수직 방향으로의 운동방정식:

$$\rho g = -\frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial \sigma} \quad (4)$$

열 보존 방정식:

$$\begin{aligned} \frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TUD}{\partial x} + \frac{\partial TVD}{\partial y} + \frac{\partial T\omega}{\partial \sigma} \\ = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + F_T + S_e \end{aligned} \quad (5)$$

염분 보존 방정식:

$$\begin{aligned} \frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} \\ = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_s \end{aligned} \quad (6)$$

여기서

t : 시간

x,y : Fig. 1-1 참조

$\eta(x,y,t)$  : 자유해면

H(x,y) : 평균 해수면하 깊이

D(x,y,t) : 총 수심 = H +  $\eta$

(U,V) : 수평 속도 성분

$\omega$  : 수직 속도 성분

p : 압력

g : 중력가속도

$\rho_0$  : 평균 해수 밀도

f : 코리올리 계수

T : 수온

S : 염분

- $F_x, F_y$  : 수평 난류 점성항  
 $F_T, F_S$  : 수평 난류 확산항  
 $K_M$  : 수직 난류 점성계수  
 $K_H$  : 수직 난류 확산계수  
 $S_e$  : external source or sink 항을 각각 나타낸다.

식 (2) 와 식 (3)에서 모델 격자보다 작은 sub-grid 규모에 의한 운동을 묘사하는 수평 난류 점성항 ( $F_x, F_y$ ) 및 수평 난류 확산항은 분자규모의 점성작용과 유사하게 아래와 같이 매개변수화 (parameterization) 하였다.

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} [2DA_M \frac{\partial U}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [DA_M (\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x})]$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial y} [2DA_M \frac{\partial V}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial x} [DA_M (\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x})]$$

$$F_T = \frac{\partial}{\partial x} [HA_H \frac{\partial T}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [HA_H \frac{\partial T}{\partial y}]$$

$$F_S = \frac{\partial}{\partial x} [HA_H \frac{\partial S}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [HA_H \frac{\partial S}{\partial y}]$$

여기서,

$A_M$  : 수평 난류 점성 계수

$A_H$  : 수평 난류 확산 계수

수평 난류 점성 계수는 많은 수치모델 적용에서 상수값을 사용하나, POM에서의 수평 난류 점성계수는 격자크기와 속도의 수평적인 shear에 비례한다는 Smagorinsky (1963)의 비선형 공식으로 계산하였다.

#### 4.1.2. 경계조건

##### 4.1.2.1. 해표면 경계조건

해표면에서 운동량과 열·염분 플럭스에 대한 경계조건은 다음과 같다.

$$\rho_0 \frac{K_M}{D} \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = (\tau_{ux}, \tau_{vy})$$

$$\frac{K_H}{D} \left( \frac{\partial T}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = (T_{\alpha}, S_{\alpha})$$

$$T_{\alpha} = C_1(T_d - T)$$

$$S_{\alpha} = C_1(S_d - S)$$

여기서

$C_1$  : 시간 상수

$T_d, S_d$  : 관측된 표층수온과 염분

$\tau_{wx}, \tau_{wy}$  : 해표면 바람용력을 나타낸다.

열·염분 플럭스 경계조건은 관측된 수온과 염분값이 ( $T_d$  과  $S_d$ ) 계속 모델 표면에 동화되는 relaxation 조건을 사용하였고, 동화되는 시간 규모는 5일로 지정하였다 ( $C_1 = 1/5$ 일). 이때 표층에서의 수온, 염분값은 국립수산진흥원에 의해 남해에서 격월 간격으로 30년간 관측된 자료의 평균값을 이용하였다. 바람용력은 거제도 해상 부이에서 1998년 8월 29일 03:00부터 8월 31일 00:00까지 3시간 간격으로 관측된 자료를 평균하여 입력하였다. 평균된 자료에 의하면 이 기간 중 바람은 56°방향에서 (북쪽으로부터 시계방향, 북동풍) 8.5 m/s 크기로 불었다.

#### 4.1.2.2. 해저면 경계조건

해저경계 ( $\sigma = -1$ )에서의 경계조건은 다음과 같다.

$$\rho_0 \frac{K_M}{D} \left( \frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = ( \tau_{bx}, \tau_{by} )$$

$$\frac{K_H}{D} \left( \frac{\partial T}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = ( 0, 0 )$$

해저 경계면에서는 열·염 플럭스가 없도록 하였으며,  $\tau_{bx}$  와  $\tau_{by}$  는 해저면 마찰력으로 속도의 제곱에 비례하는 아래와 같은 quadratic 법칙을 이용하였다.

$$\tau_{bx} = \rho_0 C_D \sqrt{U^2 + V^2} \cdot U$$

$$\tau_{by} = \rho_0 C_D \sqrt{U^2 + V^2} \cdot V$$

여기서

$$C_D = \text{MAX} \left[ \left( \frac{\kappa}{\ln(1 + \sigma_{kb-1})H/z_0} \right)^2, 0.005 \right]$$

$\kappa = 0.4$  는 von Karman 상수, H는 수심이다. 해저면의 거친 정도를 나타내는 roughness parameter  $z_0$ 는 조석 보정을 통해 결정하는 경우가 있지만 (예, Lee and Choi, 1997), 조석 강제력이 고려되지 않은 본 연구에서는 0.001을 사용하였다. 이 값은 Lee and Choi (1997)가 사용한 값에 비해 약 100배 정도 작은 값으로 본 연구

에서는 해저면 마찰의 효과가 상대적으로 작음을 의미한다. 계산된  $C_D$  값이 0.005 보다 작을 때는  $C_D = 0.005$ 를 사용하였다.

#### 4.1.2.3. 개방 경계조건

모델영역의 서쪽, 남쪽, 동쪽은 개방경계로서 서쪽과 남쪽의 제주해협과 제주도-대마도 사이로 해수가 남해로 유입되어 동쪽의 대한해협 서수도를 통해 동해로 유출된다. 제주해협과 제주도-대마도 사이를 통해 유입되는 유입량은 0.65 Sv, 1.07 Sv를 각각 부과하였고 대한해협 서수도를 통한 유출량은 유입량의 합인 1.72 Sv를 부과하였다. 이때 제주해협에 부과된 유입량은 1997년 9월에 관측된 수송량보다 약 10% 정도 큰 값이고 1998년 9월에 관측된 수송량 보다는 약 20% 큰 값이다. 개방경계에 수직인 3차원 유속성분은 관측된 수온, 염분분포로부터 계산된 지형류 유속과 관측된 유속분포를 모두 고려하여 부과하였다. 남쪽 경계인 제주도-대마도 사이에서는 관측된 유속분포가 없으므로 수온, 염분 분포에 의한 지형류 유속분포에 모델 영역내에서 전체 수송량 균형이 이루어지도록 순압적인 유속분포를 부과하였는데, 이때 경계를 따른 수평적인 수송량 분포는 남쪽 경계의 중앙부분이 크고 제주도와 대마도 쪽으로는 다소 적은 bell 모양을 이루도록 하였다.

개방경계에서의 수온과 염분의 경계조건은 아래와 같은 이류방정식을 upstream 기법을 이용하여 구하였다.

$$\frac{\partial(T, S)}{\partial t} + U_n \frac{\partial(T, S)}{\partial n} = 0$$

여기서  $n$ 은 경계면에 수직인 방향을 나타낸다. 서쪽과 남쪽 경계에서는 경계면을 통한 흐름이 모델 영역 내부로 향하므로 누년 평균자료로부터 주어진 수온, 염분값을 경계조건으로 이용하고, 동쪽 경계에서는 흐름이 모델 영역 바깥으로 향하므로 모델 내부에서 계산된 수온, 염분값이 경계조건으로 이용된다. 모델의 개방경계에 근접한 2개의 격자는 개방경계에서 생길 수 있는 disturbance를 흡수하는 sponge layer로서 이용되었고 이때 sponge layer에서는 수평 난류 점성계수가 모델 내부에서 Smagorinsky 방정식에 의해 계산되는 점성계수의 10배 (경계로부터 2격자 안쪽)와 50배 (경계로부터 1격자 안쪽) 씩 증가하도록 하였다.

Fig. 1-39, 1-40은 모델의 개방경계인 제주해협, 제주도-대마도간, 대한해협 서수도에서의 수직적인 수온과 염분분포를 나타낸다. 계절적 수온약층과 염분약층이 수심 10 m ~ 50 m 사이에서 형성되어 있다. 제주해협에는 염분 32.0 미만인 저염의 해수가 표층에 넓게 분포하며 제주도쪽으로는 염분약층 하부에 상대적으로 염분이 높은 (> 33.7) 고염의 해수가 분포한다. 제주도-대마도 단면에서는 표층 염분이 제주해협에 비해 상대적으로 높고 염분 약층 하부의 고염수의 염분은 34.0 이상으로 제주해협의 고염수에 비해 염분이 높다. 여름철 한국 남해에는 다양한 기원을 갖는 해수가 유입되어 수온과 염분이 복잡한 분포를 보이지만 크게 두 종류의 수괴로 구분할 수 있다. 여름철 남해의 상층을 점유하는 해수는 중국의 양자강 입구나 동중

국해 및 황해에서 기원되는 해수로서 제주해협과 제주도-대마도 사이를 통해 남해로 유입되는데 가장 염분이 낮은 해수는 양자강 입구에서 기원되는 양자강 회석수로서 대부분 제주해협을 통해 남해로 유입되는 것으로 알려져 있다 (김 과 노, 1994). 쿠로시오부터 분지되는 고염의 대마난류수 및 제주난류수 (Chang et al., 1995)는 계절적 약층의 하부에 분포하며 역시 제주해협과 제주도-대마도 사이를 통해 남해로 유입되는데 제주해협에서는 수심이 깊은 제주도쪽에 치우쳐 분포한다 (Kim et al., 1991a). 제주해협에서 남북방향으로 조밀하게 관측된 자료에 의하면 여름철 제주해협에는 다양한 성질을 갖는 해수가 분포하여 (예, Kim et al., 1991a) 공간적으로 복잡한 해수분포 특성을 갖는 반면에 국립수산진흥원의 정선해양관측점은 3군데 밖에 없어 해협 내의 해수특성 분포를 정확히 파악하기에 미흡하다. 그러나 장기적으로 관측된 자료는 진흥원 자료가 유일하므로 이 연구에서는 진흥원 자료를 이용하였다. 3차년도에는 제주해협과 대한해협에서 조밀하게 관측된 결과를 이용할 예정이다.

#### 4.1.3. 수치해석 방법

지배방정식은 격자상의 유한차분법을 이용하여 계산하였고 사용된 격자는 자유해면을 계산하는 격자와 유속을 계산하는 격자가 구분되는 staggered grid 의 일종인 Arakawa C-grid 이다. 유한 차분에 앞서 지배방정식을 플릭스 보존 형태로 변형하였고 이를 차분화하는 방법으로는 유한 체적법을 사용함으로써 질량과 부피보존이 잘 되게 하였다. 이류항과 수평확산항에 대한 공간적인 차분법은 centered-space를, 그리고 시간에 대해서는 leap-frog scheme을 사용하였다. 이와 같은 유한차분법은 시·공간적으로 2차의 정확도를 가진다. Leap-frog scheme을 사용하여 시간 미분항을 차분하게 되면 Coriolis 항을 처리하는데 유리하지만 홀수번째의 해와 짝수번째의 해가 점점 달라지는 time-step splitting을 초래한다 (Roache, 1972). 이를 해결하기 위하여 해를 매 timestep마다 Asselin (1972)의 filter를 사용하여 smoothing 시켜 주었다.

#### 4.1.4. 수치모델 구성

수층은 수직적으로 8개의 층으로 구분하였으며  $\sigma$ -좌표계에서는 수심에 관계없이 모든 수평적인 격자에서 8개의 층으로 수층이 구분된다. 모델 계산을 위한 초기 조건은 9월의 평균적인 수온, 염분 분포로서 국립수산진흥원에서 1968년~1997년까지 남해에서 격월 간격으로 관측된 정선해양 관측자료를 (<http://haema.nfrda.re.kr/kodc/>) 이용하였다. 관측자료는 내삽 (interpolation)에 의해 수평적으로 3 km×3 km, 수직적으로 8개의 층으로 구성된 격자체계에 투영시켰다. 유속 및 자유표면의 초기조건은 전 격자에서 0으로 주어졌다.

Fig. 1-41, 1-42는 모델의 초기조건으로서 표층과 50 m 층의 수온과 염분 분포를 나타내며, 표층의 수온과 염분분포는 앞에서 언급한 바와 같이 해표면에서 경계조건으로 부과된다. 수온과 염분은 전반적으로 남쪽으로 갈수록 증가하며 표층에서는

32.0 이하의 염분이 낮은 해수가 제주해협을 통해 남해로 유입되고 50 m 층에서는 염분이 높은 해수가 모델 영역의 동쪽에 광범위하게 분포하는 경향을 보인다. 표층의 수온과 염분분포는 해표면에서의 경계조건으로 모델 run 기간 동안 해표면에 지속적으로 부과되며 표층 아래 내부의 수온과 염분분포는 열·염 보존방정식에 의해 계산된다.

## 4.2. 모델 결과

### 4.2.1. 바람 강제력이 고려되지 않은 경우

해표면에서의 열·염 강제력을 9월의 상태로 고정시키고 개방경계에서의 3차원 유속 및 열·염 경계조건을 부과하여 300일간 모델 run을 수행하였다. 모델 영역 전체의 운동에너지는 약 50일이 지나면 평형상태에 도달한다.

Fig. 1-43, 1-44는 모델에 의해 계산된 9월달 남해의 표층과 저층에서의 수온, 염분분포 및 해수순환을 보여준다. 표층에서 제주해협을 통해 남해로 유입된 해수는 동쪽으로 흐르며 제주도-대마도간을 통해 유입된 해수도 유입 후 동쪽으로 방향을 바꿔 제주해협을 통과 한 해류와 합쳐진다. 거문도를 통과한 동향류는 거문도 동쪽에서 북동쪽으로 방향을 바꾸고 거제도 서쪽에서 다시 동쪽으로 방향을 바꾼 후 대마도 서쪽에서는 주로 대한해협 수심이 깊은 골을 따라 북동진 후 동해로 유출된다. 해류의 주축은 남쪽으로 치우쳐 나타남으로 인하여 외해역 해류의 주축과 연안역 사이에서는 해류가 미약하고 국지적으로 남해도 남쪽 해역에서는 반시계 방향의 와류가 나타난다. 남해 연안역의 표층 수온은 제주해협 북쪽의 상대적으로 수온이 낮은 해수의 유입으로 외해역에 비해 낮지만 남해도 남쪽에서는 반시계 방향의 와류로 인해 서쪽의 연안역보다 수온이 높은 경향을 보인다. 표층의 염분분포는 상대적으로 염분이 낮은 해수가 제주해협을 통해 남해로 유입되어 남해도와 제주도 동쪽을 잇는 선의 서쪽에서는 저염의 해수가 광범위하게 나타난다. 반면에 이 선의 동쪽에서는 제주도-대마도간을 통해 유입되는 염분이 높은 해수의 영향을 받아 염분이 상대적으로 높다.

저층에서는 제주도 동쪽을 통해 유입되는 해수가 표층에 비해 연안역 근처까지 북상 후 동쪽 혹은 북동쪽으로 방향을 바꾸고 있어 저층의 순환은 제주도 동쪽을 통해 유입되는 대마난류의 영향이 제주해협을 통과 한 제주해류에 비해 크게 나타나는 경향을 보인다. 저층의 염분분포는 제주도-대마도 사이 및 제주해협의 남부를 통해 고염의 해수가 유입되는 분포를 보인다.

공간적인 밀도 분포가 남해 순환에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 3차원 모델 결과 중 표층의 순환과 밀도 분포가 고려되지 않은 2차원 모델 결과를 비교하였다 (Fig. 1-45). 비교를 위하여 2차원 모델에서 3차원 모델과 마찬가지로 조석 및 바람 강제력은 고려하지 않았고 개방경계에서의 수심 평균된 해류분포와 유입·유출량은 3차원 경우와 동일하게 주어졌다. 2차원 모델 결과와 비교할 때 3차원 결과는 연안역을 제외하곤 전반적으로 강화된 해류분포를 보여주고 있어 공간적인 밀도분포가 남해의 순환을 재현할 때 중요한 요인임을 보여준다. 3차원 모델에서는 외해역 해

류의 주축이 연안역과 멀어짐으로 인하여 연안역에는 해류가 미약한 반면 2차원 모델은 연안역과 외해역간의 해류 분포가 균일하여 연안역은 오히려 2차원 모델에서 북동향류가 상대적으로 강하게 나타난다.

#### 4.2.2. 바람의 영향

위에서 재현된 3차원 모델 결과에 미치는 바람의 영향을 살펴보기 위하여 개방경계와 해표면을 통한 열·염 플럭스 및 개방경계에서의 해류분포에 의해 재현된 3차원 해류분포에 북동풍 계열의 ( $56^\circ$  방향,  $8.5 \text{ m/s}$ ) 바람용력을 부과하였다. 바람의 방향과 세기는 거제도 근방에 위치한 해상부이에서 1989년 8월 29~8월 31일간 3시간 간격으로 관측된 결과를 이용하였다. 바람용력 실험은 우선 바람을 고려하지 않고 3.3.2.1절에 언급된 강제력을 부과하여 50일간 모델 run을 수행하였고 50일 이후에 일정한 바람용력을 7일간 부과시켜 50일~57일까지 모델 run을 시켰다. 57일째는 다시 바람용력을 제거한 후 43일간 모델 run을 수행하였다. Fig. 1-46은 바람용력 부과 실험에 대한 모델 영역 전체의 운동에너지를 나타낸다. 모델 영역내의 운동에너지는 약 30일 후에는 일정한 값을 유지하며 바람용력을 부과한 후에는 운동에너지가 증가하였다가 바람을 다시 제거하고 약 10일 후부터 모델 run을 종료했을 때 까지는 다시 일정한 값을 유지한다. Fig. 1-47, 1-48은 Fig. 1-46의  $\times$ 로 표시된 시점에서의 표층순환을 나타낸다. 북동풍의 영향으로 연안역에서는 강한 남서향류가 나타나고 있어 전반적인 남해의 순환은 제주해협과 제주도 동편을 통해 유입되는 해류와 함께 반시계 방향의 순환 형태를 보인다. 연안역의 남서향류와 외해역의 북동향류 사이에서는 국지적으로 반시계 방향의 와류가 나타난다. 제주해협을 통해 유입되는 제주해류는 바람의 영향으로 남동쪽으로 편향되며 제주도 동쪽을 통해 유입되는 해수는 바람이 없는 경우보다 북쪽까지 영향을 미친다. 그림으로 나타내진 않았으나 저층 순환은 바람의 영향을 거의 받지 않으며 단지 제주도 동쪽을 통해 북향하는 대마난류의 북상 한계가 북풍 계열의 바람의 영향으로 다소 축소된다.

### 5. 결론 및 토의

남해와 인접해를 연결하는 통로에 해당하는 제주해협, 대한해협 및 제주도-대마도 사이를 통한 해수의 유출입은 남해의 해황과 순환을 결정하는 중요한 요인이다. 대한해협에서의 해수 수송량에 관한 기존의 연구는 다수 발표된 바 있으나 (예, Yi, 1966; Egawa et al., 1993; Isobe et al., 1994) 제주해협을 통한 해수 수송량에 관해서는 김 (1987)과 Suk et al. (1996) 등의 보고만이 있었다. 남해에 분포하는 해수는 크게 제주난류수와 대마난류수 등 흑조에서 기인하는 외양수와 저염의 특성을 갖는 연안수로 구분이 가능하다. 기존의 제주해협에서 조밀하게 관측된 해수특성 분포에 의하면 여름철 제주해협에는 흑조에서 기인한 고온, 고염의 제주난류수 외에 황해 및 동중국해에서 기원하는 저염의 표층수와 저온의 냉수가 분포하며 (김 등, 1991), 기존의 제주해협에서의 해류 관측 자료는 평균  $10 \text{ cm/s}$  이상의 동향류가 항시 존

재하는 것으로 보고되고 있어 (예, Chang and Kim, 1995; Suk et al., 1996) 남해에 분포하는 저염의 해수는 주로 제주해협을 통해 유입되리라 사료된다. 특히 제주해협은 여름철 양자강 회석수가 동해로 유입되는 길목이며 이러한 양자강 회석수의 분포 범위는 연변동을 보이면서 남해의 해황에 큰 영향을 보이고 있어 (김 과 로, 1994) 제주해협을 통해 유입되는 해수의 수송량을 파악하는 것은 매우 중요하다.

ADCP에 의한 해류관측은 공간적인 해류분포를 파악하기 용이하고 해수 수송량을 정확히 산정할 수 있어 제주해협과 같은 해협에서 많이 사용되고 있다 (예, Simpson et al., 1990; Isobe et al., 1994; Suk et al., 1996). 제주해협에서 ADCP 반복 관측에 의한 일평균 해류분포는 본 연구사업의 1, 2차년도와 Suk et al. (1996)의 연구를 포함하여 모두 5회에 걸쳐 파악되었다 (Table 1-4). ADCP 관측은 조류를 효과적으로 제거하기 위하여 통상 25시간~26시간에 걸쳐 8~9회 반복 되었다. 5회에 걸쳐 ADCP를 이용하여 제주해협에서 관측된 동서방향의 일평균 해류분포와 ADCP 관측과 병행하여 관측된 CTD 관측결과 및 CTD 자료를 이용하여 계산한 지형류 분포는 Figs. 1-49, 1-50 과 같다.

Table 1-4. Outline of traverse surveys in the Cheju Strait using a vessel-mounted ADCP.

Time	Location	# of repeats
95/04/26-04/27	Cheju Strait	8/24.72hrs
97/03/22-03/23	Cheju Strait	9/25.87hrs
97/03/24-03/25		9/24.7hrs
97/09/29-09/30	Cheju Strait	8/24.82hrs
98/09/25-09/26	Cheju Strait	8/24.48hrs
98/11/25-11/26	Cheju Strait	8/24.8hrs

제주해협에서의 계절별 해수특성 분포를 살펴보면 3월과 4월에는 수직적으로 해수특성이 균질하며 남해안 연안에서 제주도쪽으로 갈수록 수온과 염분이 증가한다. 연안역에 인접한 해역을 제외하곤 전 단면에 걸쳐 해수의 염분이 34.0 이상을 보이고 있어 3월과 4월에 제주해협에 출현하는 해수는 대부분 흑조에서 기원하는 제주 난류수임을 알 수 있다. 3월과 4월에 관측된 동향류는 수직적인 유속 차이가 크지 않고 제주도쪽이 연안역에 비해 유속이 크며 최대 유속은 20 cm/s를 넘지 않는다. 9월에는 수심 20 m~60 m 사이에 계절적 수온약층이 나타난다.

1998년 9월의 경우 약층의 하부 중 수심이 깊은 골의 북쪽 사면에는 수온 14.0 °C 미만의 냉수가 분포하고 이러한 저층의 냉수는 제주도에 인접한 곳의 골에 나타



나는 고염의 해수와 구별된다. 그러나 1997년 9월에는 냉수가 수직적인 두께는 얇고 수평적으로 넓게 분포하며 제주도에 인접한 골에서의 상대적으로 염분이 높은 해수는 발견되지 않는다. 실측된 해류분포는 냉수가 수직적으로 두꺼웠던 1998년 9월에 골의 북쪽 사면으로부터 제주도에 이르는 곳의 동향류가 1997년 9월에 비해 강했음을 보여준다. 9월달 수온약층 상부에는 황해나 동중국해에서 기원하는 저염의 해수가 분포하는데 1997년과 1998년의 CTD 관측 결과는 표층 저염수의 염분값과 수온약층 상부의 염분 분포가 연변동이 심하다는 것을 알 수 있다. 1998년 9월에는 염분 32.0 미만의 해수가 제주도에 인접한 한 개의 관측점을 제외하고 전 단면에 걸쳐 나타나며 이 저염수의 두께는 보길도쪽으로 갈수록 두꺼워져 보길도 근해에서는 두께가 약 30 m에 이른다. 저염수 하부에는 강한 염분약층이 형성되고 염분약층은 제주도쪽으로 오면서 알아지는 경향을 보이고 있어 수온약층의 경사와 반대로 나타난다. 그러나 해수의 밀도가 수온에 의해 주로 결정되는 관계로 지형류는 수온약층의 경사로부터 유추되는 동향류를 나타내어 실측된 유속분포와 정성적으로 같다. 1997년 9월에는 염분 32.0 미만의 해수가 보길도 근해의 수심 10 m 보다 얇은 곳에만 나타나고 있고 표층의 해수가 1998년에 비해 상대적으로 염분이 높고 염분약층의 강도도 약하다. 수온약층 하부의 염분 33.5 이상인 고염수는 저염수의 세력이 약했던 1997년 9월에 1998년에 비해 폭 넓게 나타난다. 수심이 60 m보다 얇은 남해 연안역에서는 저염수의 세력이 약했던 1997년 9월에는 등온선이 보길도쪽으로 오면서 표층으로 부상하는 경향을 보였고 이때 실측된 동향류는 25 cm/s 이상으로 강하였다. 저염수의 세력이 강했던 1998년 9월에 남해 연안역에서는 등온선이 등염분선과 마찬가지로 보길도쪽으로 오면서 저층을 향하며 이때 동향류는 1997년 9월에 비해 약화되었다. 9월의 관측 결과는 제주해협에서 수심이 깊은 곳의 해류분포는 수온약층 하부에 나타나는 냉수 및 고염수의 세력과 관계가 있으며 남해 연안역은 수온약층 상부의 저염수의 세력에 따라 변화할 수 있음을 시사한다.

11월에는 성층이 소멸된 단계이며 제주도에 남해 연안쪽으로 수온이 감소한다. 골의 북쪽사면에는 냉수가 여전히 남아 있고 제주도에 인접한 골에 분포하는 해수의 염분은 9월에 비해 증가하였다. 동향류는 9월에 비해 다소 약화된 상태로 주축이 9월과 비교할 때 남해 연안쪽인 북쪽으로 이동하였고 지형류 유속분포는 실측된 분포와 그 크기와 모양에 있어 매우 유사하다.

Table 1-5 는 5회에 걸친 ADCP 관측 자료에 의해 계산된 제주해협에서의 일평균 해수 수송량과 ADCP 관측과 병행하여 수행된 CTD 관측자료를 이용하여 계산한 지형류에 의한 해수 수송량을 요약한 것이다. 지형류에 의한 수송량은 해류의 경압 성분에 의한 경압 수송량으로 간주할 수 있으며 ADCP에 의해 관측된 전체 수송량과 경압 수송량의 차이는 해류의 순압 성분에 의한 순압 수송량으로 간주할 수 있다. 전체 수송량은 9월에 최대값 (0.58 Sv)을 보이며 4월에 최소값 (0.37 Sv)을 갖으며 4월에 비해 9월에는 수송량이 약 56% 정도 증가한다. 경압 수송량은 11월을 제외하곤 거의 일정하게 나타나고 있어 전체 수송량 변동은 주로 순압 수송량 변화에 의해 유발됨을 알 수 있다. 순압 수송량이 전체 수송량 중 차지하는 비율은 30%~40% 이며 11월에는 50%를 넘는다. 제주해협에서 1997년 3월과 9월에 관측된 전체 수송량은 비슷한 시기인 1997년 4월과 10월에 대한해협 서수도에서 관측된 전

체 수송량의 약 30%~40%에 해당한다.

Table 1-5에 요약된 수송량은 일평균 수송량으로서 전반적으로 성층이 미약한 계절에 수송량이 적게 나타나고 성층이 발달된 계절에 수송량이 크게 나타나는 경향을 보이지만, Chang and Kim (1995)에 의하면 제주해협내 해류는 저주파 변동을 보이고 있어 Table 에 제시된 일평균 수송량이 계절별 수송량 변화를 대표하는가에 관해서는 현재로서는 알 수 없다. Chang and Kim (1995)은 또한 이러한 해류의 저주파 변동이 제주와 추자도간의 해수면 차이 변화와 상관관계가 있음을 보였다.

수면 차이를 해류분포나 해수 수송량과 연관시키기 위한 보정 작업이 요구된다.

Table 1-5. Summary of volume transports in the Cheju Strait based on (1) repeated ADCP measurements and (2) dynamic calculation.

		Cheju Strait			
		(1) Total transport	(2) Geostrophic transport	(1)-(2)	(2) × 100 ÷ (1) (%)
1995	Apr.	0.37	0.16	0.21	43.2
1997	Jan.				
	Feb.				
	Mar.	0.45	0.15	0.3	33.3
	Apr.				
	May				
	June				
	July				
	Aug.				
	Sept.	0.58	0.17	0.41	29.3
	Oct.				
	Nov.				
	Dec.				
1998	Jan.				
	Feb.				
	Mar.				
	Apr.				
	May				
	June				
	July				
	Aug.				
	Sept.	0.51	0.15	0.36	29.4
	Oct.				
	Nov.	0.46	0.26	0.2	56.5
	Dec.				

Chang and Kim이 해류관측을 수행하였을 당시에는 (1981년 4월) 제주에만 영구 조위관측소가 있었고 추자도에 임시 해수면 관측소를 설치하여 해류 관측 기간 중의 해류 변화와 해수면 변화를 비교하였다. 1981년 하반기에 추자도에도 영구 조위 관측소가 설치되어 운용되고 있으므로 제주와 추자도간의 해수면 차이를 이용하면 제주해류의 변동성을 정성적으로 파악 할 수 있다. 해수면 차이의 연변화 (Fig. 1-3)에 의하면 7월~11월에 해수면 차이가 높게 나타나고 12월~3월 사이에는 낮게 나타나고 있어 Table 1-5에 제시된 수송량 변화와 유사한 경향을 보인다. 영구 조위 관측소 자료를 이용하여 제주해류의 변동을 정량적으로 모니터링 하기 위해서는 ADCP 관측과 병행하여 해협에서의 해류계 계류에 의한 장기적인 해류관측을 통해 해수면 차이를 해류분포나 해수 수송량과 연관시키기 위한 보정 작업이 요구된다.

한국 남해안 지역의 강수량은 다른 지역과 마찬가지로 여름철에 집중되어 있다. 여름철에 연평균 강수량의 50%이상, 겨울철에는 10%미만의 강수량을 나타낸다. 월평균 강수량의 시계열 자료는 엘니뇨와 관련된 2-7년 사이의 수년 주기변동과 10년 이상의 장기변동성을 나타낸다. 강수 증가율은 부산과 목포에서 약 7mm/10yrs, 제주에서 16mm/10yrs, 한반도에서 강수량이 가장 많은 여수와 서귀포에서 40mm/10yrs, 80mm/10yrs 등으로 급격히 증가함을 알 수 있다. 태풍과 아열대 폭풍도 강수량의 연변동, 수년 주기 변동성에 영향을 미친다. 엘니뇨 기간중 한반도에 영향을 미치는 태풍의 발생수는 감소하는 경향이 있지만, 높은 상관관계를 나타내지는 않는다.

남해는 우리나라에서 가장 비가 많은 지역/해역으로서 강수량 변동성은 남해에서의 물질 수지 뿐만 아니라, 표층수 순환을 연구하는데 매우 중요한 요인이다. 특히, 장기적으로 증가하는 강수량의 추세는 아열대 해역의 확장 가능성을 내포하며, 지구의 부가적인 온난화와 상관관계들 보이는 것으로 해석될 수 있다. 이것은 남해의 열염전선이 강수량의 증가 추세에 의해 장기적인 변동성을 보일 수 있음을 의미하며, 양자강 회석수와 함께 동해의 표층수 순환에서 보이는 저염의 와동류 역학에도 영향을 미치는 원인이 될 수 있다.

남해의 평균적인 3차원 계절 순환을 수치모델에 의해 재현하였다. 모델 영역내의 해수순환은 표층에서 부과된 9월달 평균 수온, 염분분포와 바람용력, 그리고 개방경계에서의 3차원 유속분포 및 수온, 염분분포에 의해 유도되며 조석 강제력은 고려하지 않았다. 모델에의 입력자료는 남해에서 국립수산진흥원에 의해 30년간 관측된 수온과 염분의 평균값, 한국해양연구소에 의해 제주해협과 대한해협 서수도에서 1997년 9월에 관측된 일평균 해류분포 및 해수수송량 자료, 및 거제도 해상부이에서 관측된 바람자료이다. 해표면과 개방경계에서 부과된 모든 강제력은 모델 run 기간 중 일정하게 고정시켰다.

3차원 모델 결과에 의하면 표층과 저층의 순환이 다소 다른 양상을 보인다. 표층에서 제주해협을 통해 남해로 유입된 해수는 제주해류에 의해 동쪽으로 흐르며, 제주도-대마도간을 통해 유입된 대마난류는 유입 후 동쪽으로 방향을 바꿔 제주해류와 합쳐진 후 대한해협을 통해 동해로 유출된다. 해류의 주축은 모델 영역의 외해 쪽으로 치우쳐 나타나고 있어 연안역 근방에서는 해류가 미약하고 국지적으로는 반

이유하여 개방경제 조건을 개선하여 남북의 3차원 순환을 재현하고자 한다.

3차원 모델을 개방화와 동시에 개방경제에서 축적된 해류분포와 수온, 염분자료를 키는 역할을 할 수 있다 (예, 진, 1998). 3차원도에는 조석 강제력이 고려된 난해의 관한 연구에서 고려하지 않은 조석 강제력은 국지적으로 연안역의 해류를 강화시킬 수 있다.

상 한계가 북쪽 계열의 바람의 영향으로 다소 축소된다.

바람의 영향을 거의 받지 않으며 단지 제주도 동쪽을 통해 부항하는 대마난류의 북쪽의 북동항류 사이에서는 국지적으로 반시계 방향으로 방향의 왜곡이 나타난다. 저층 순환은 북쪽과 함께 반시계 방향으로 방향의 순환 형태를 보인다. 연안역의 난서항류와 외해역 북쪽이 나타나고 있어 전반적인 난해의 순환은 제주도 동편을 통해 유입되는 난서항류에 북동쪽 계열의 바람을 부과한 경우 연안역에서는 강한 난서항류를 통해 고역의 해수가 유입되는 분포를 보인다.

아 염분이 상대적으로 높다. 저층의 염분분포는 제주도-대마도 사이 및 제주해협의 선의 동쪽에서는 제주도-대마도간을 통해 유입되는 염분이 높은 해수의 영향을 받기도 동쪽을 잇는 선의 서쪽에서는 저역의 해수가 광범위하게 나타난다. 반면에 이 는 상대적으로 염분이 낮은 해수가 제주해협을 통해 남해로 유입되어 난해도와 계 향의 왜곡으로 인하여 서쪽의 연안역보다 수온이 높은 경향을 보인다. 표층의 염분분포 수온이 낮은 해수의 유입으로 외해역에 비해 낮지만 난해도 남쪽에서는 반시계 적으로 강하게 나타난다. 난해 연안역의 표층 수온은 제주해협 북쪽의 상대적으로 해역간의 해류 분포가 균일하여 연안역은 오히려 2차원 모델에서 북동항류가 상대 령이므로 인하여 연안역에는 해류가 미약한 반면 2차원 모델에서는 연안역과 외 해 중요한 요인임을 보여준다. 3차원 모델에서는 외해역 해류의 주축이 연안역과 포 강화된 해류분포를 보여주고 있어 공간적인 밀도분포가 난해의 순환을 재현할 전 모델 영역에 걸쳐 일정한 2차원 모델과 비교할 때 연안역을 제외하면 전반적으 동과 한 제주해류에 비해 크게 나타나는 경향을 보인다. 3차원 모델 전과는 밀도가 있어 저층의 순환은 제주도 동쪽을 통해 유입되는 대마난류의 영향이 제주해협을 수가 표층에 비해 연안역 근처까지 부상 후 동쪽 혹은 북동쪽으로 방향을 바꾸고 시계 방향의 왜곡이 나타나기도 한다. 저층에서는 제주도 동쪽을 통해 유입되는 해

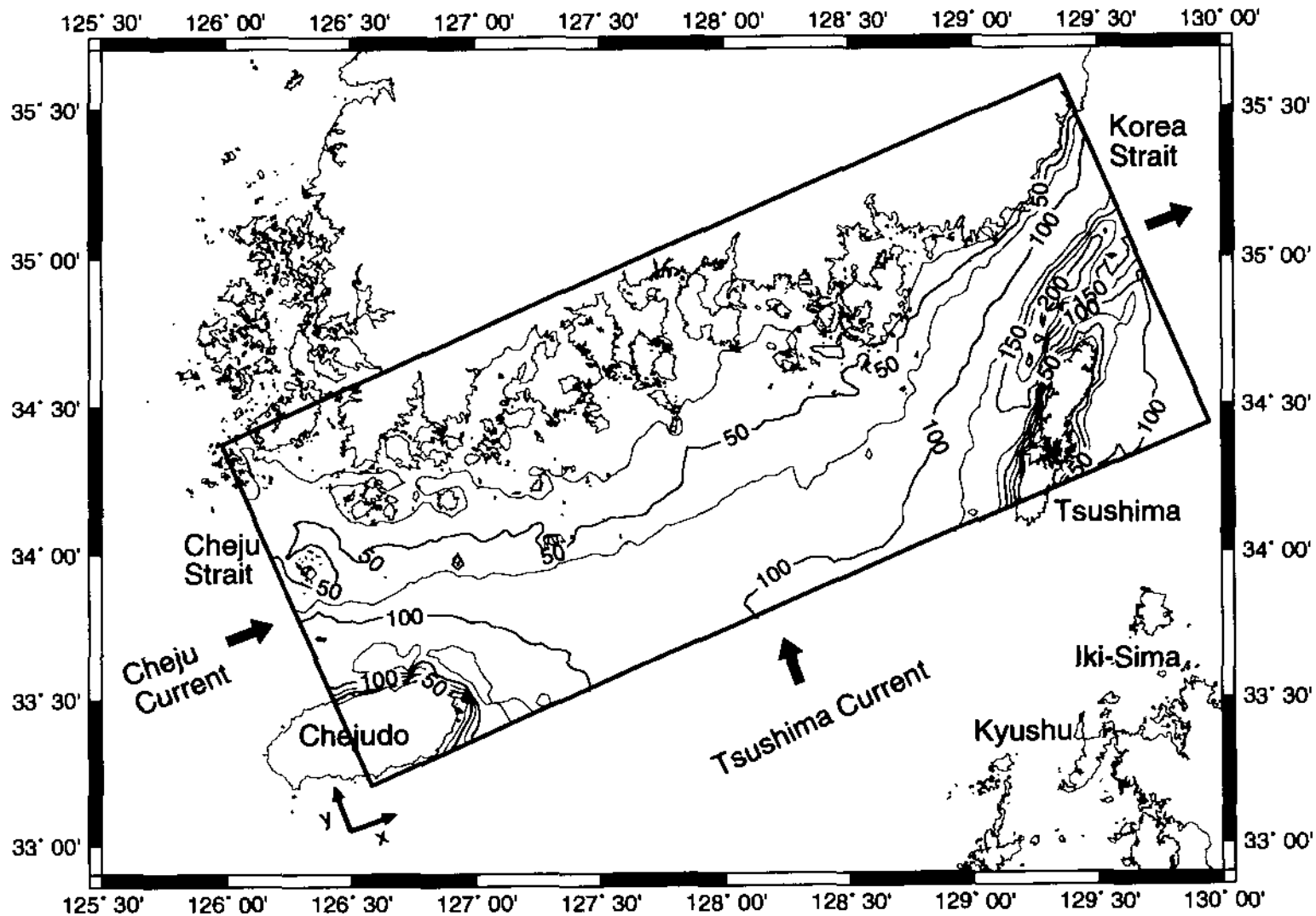


Fig. 1-1. Coastline and bottom topography of the South Sea. The area inside the rectangular box is the model domain where an ocean circulation model is applied.

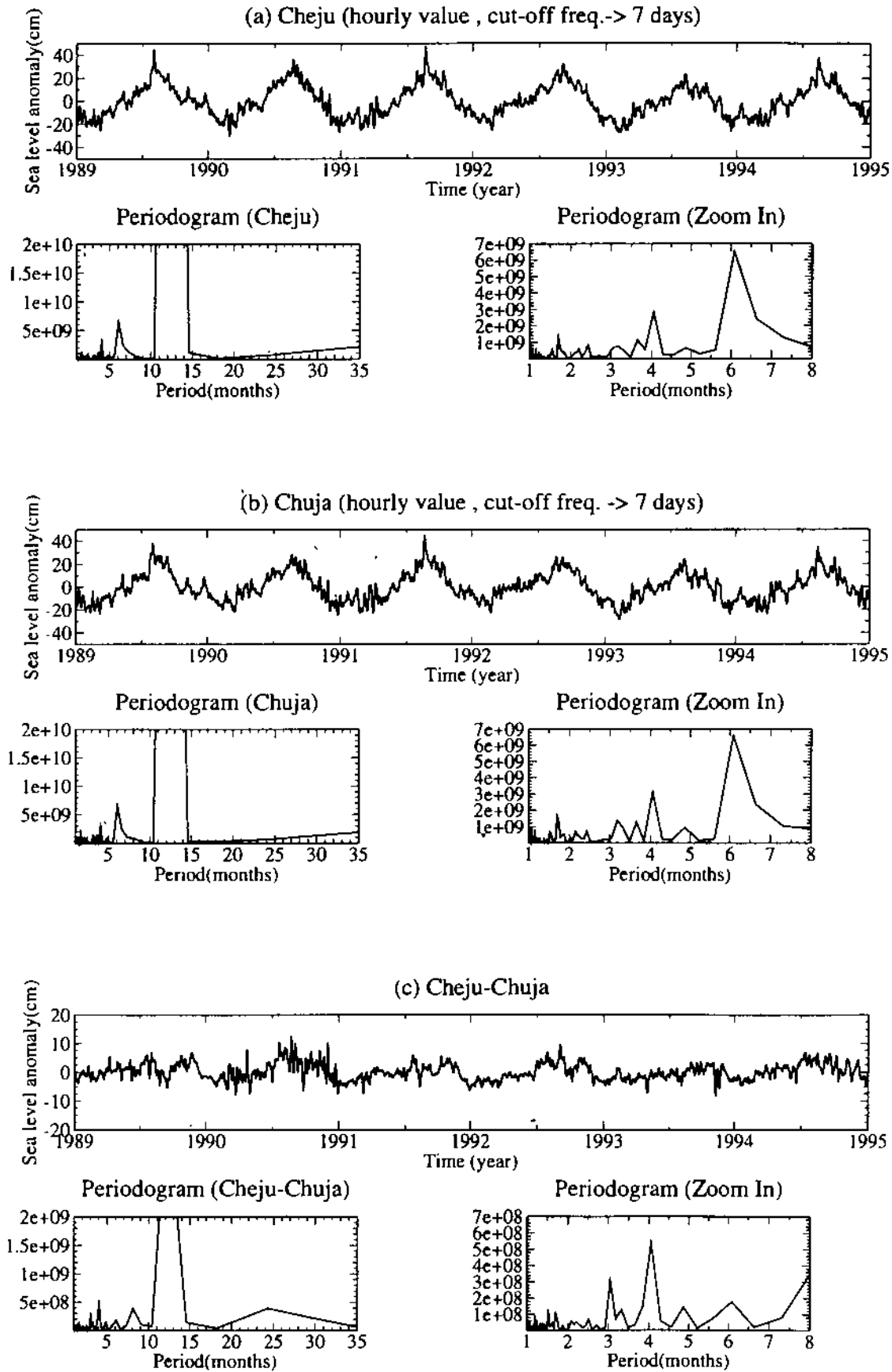


Fig. 1-2. Time series (above) and power spectra (below) of low-pass filtered hourly (a) sea level at Cheju, (b) sea level at Chuja-Do, and (c) sea level difference between Cheju and Chuja-Do.

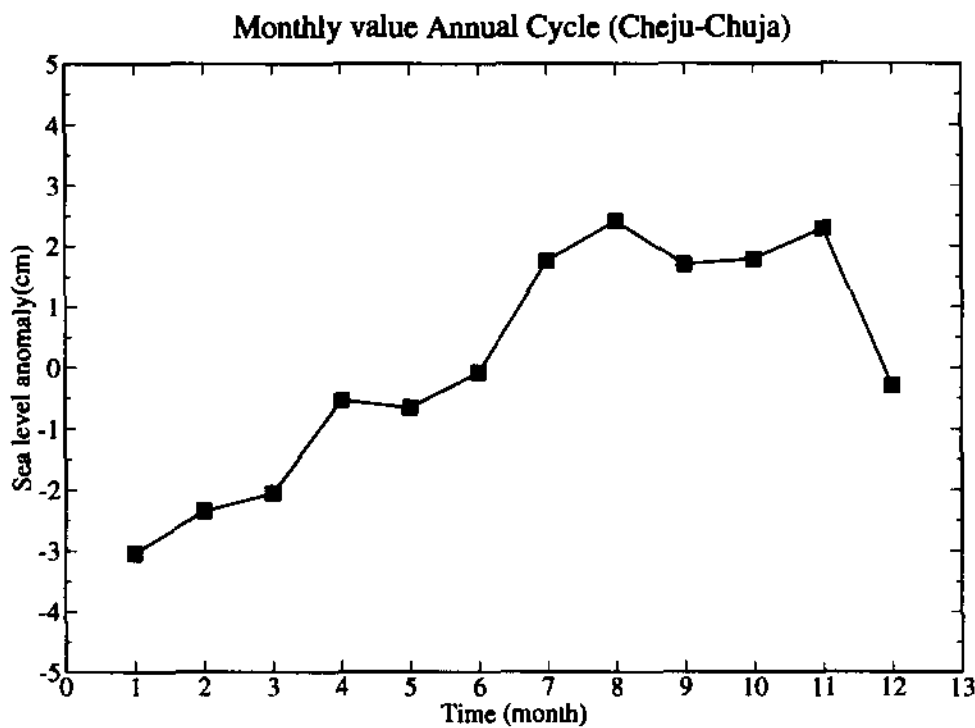
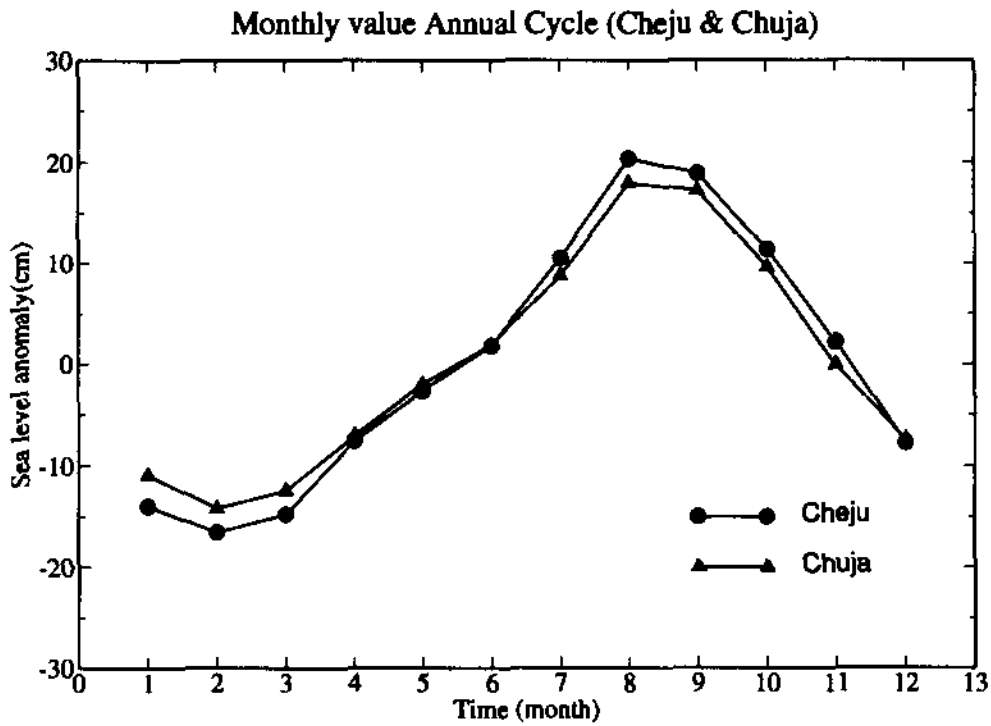


Fig. 1-3. The annual cycle of monthly mean sea level at Cheju and Chuja-Do (upper panel), and monthly mean sea level difference between Cheju and Chuja-Do (lower panel).

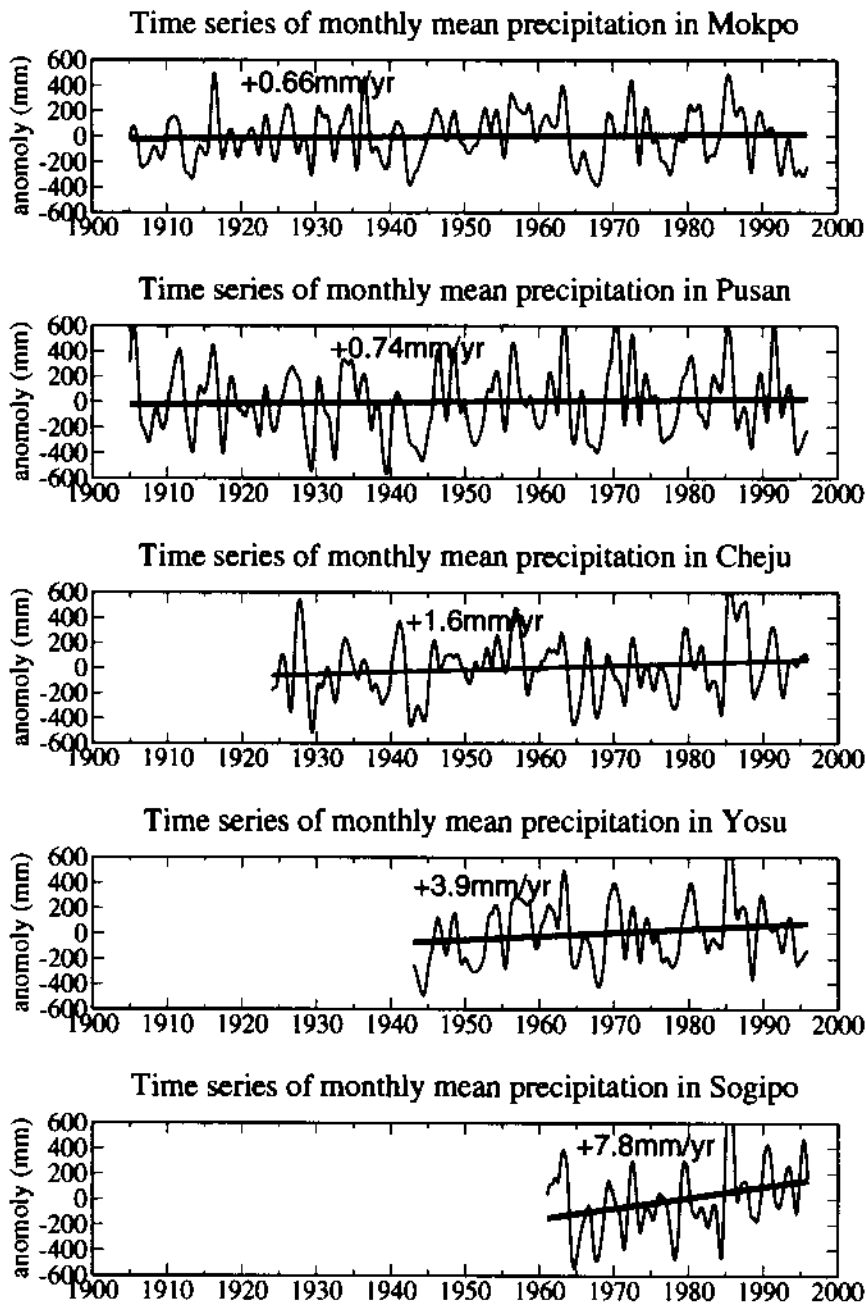


Fig. 1-4. Time series of monthly-mean precipitation convoluted by 24-month Hanning filter (solid line), and long-term linear trend (bold line).



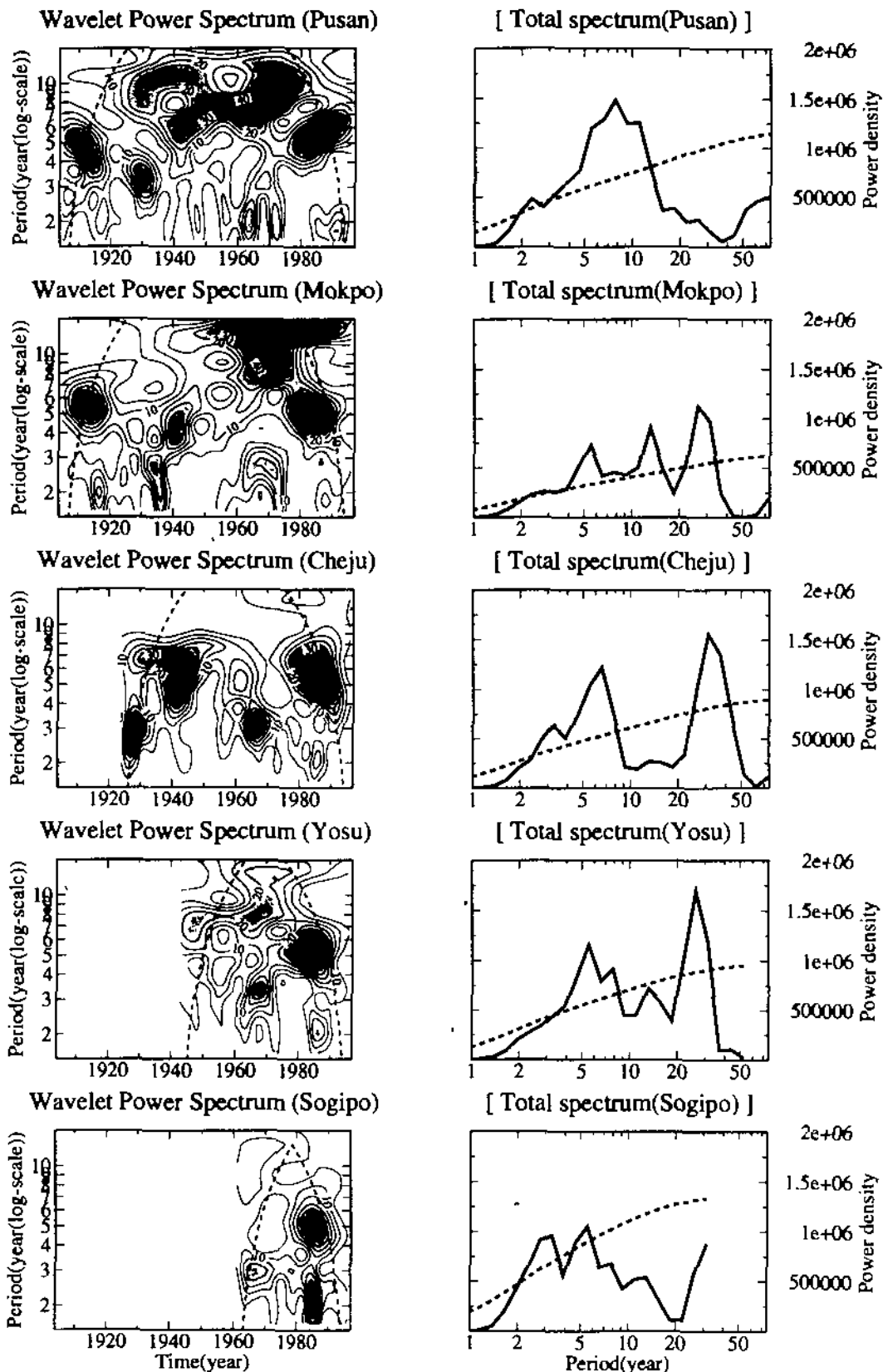


Fig. 1-5. Wavelet (left) and total (right) spectra of time series of precipitation at five coastal stations (Pusan, Mokpo, Cheju, Yosu, Sogipo). Dotted lines in the wavelet and total spectrum denote, respectively, the cone of influence and the significance level at 95% confidence interval. Darker areas in the wavelet power spectrum indicate the higher spectral density. Spectral peaks above the dotted lines in the total spectrum are significant.

### South Sea station map ( 9804 Eardo )

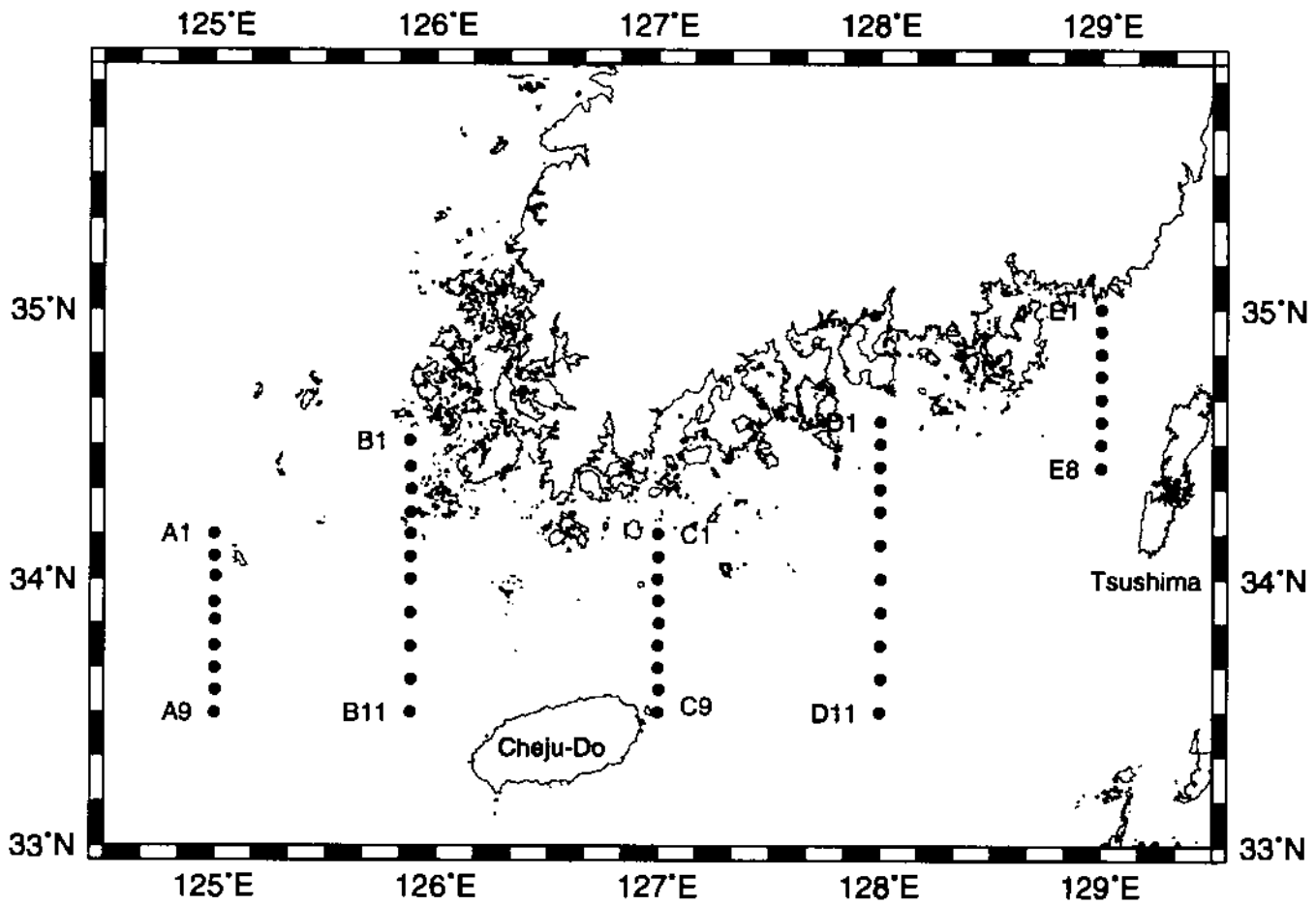


Fig. 1-6. CTD stations occupied in April, 1998.

### South station map ( 9809 Tamyang )

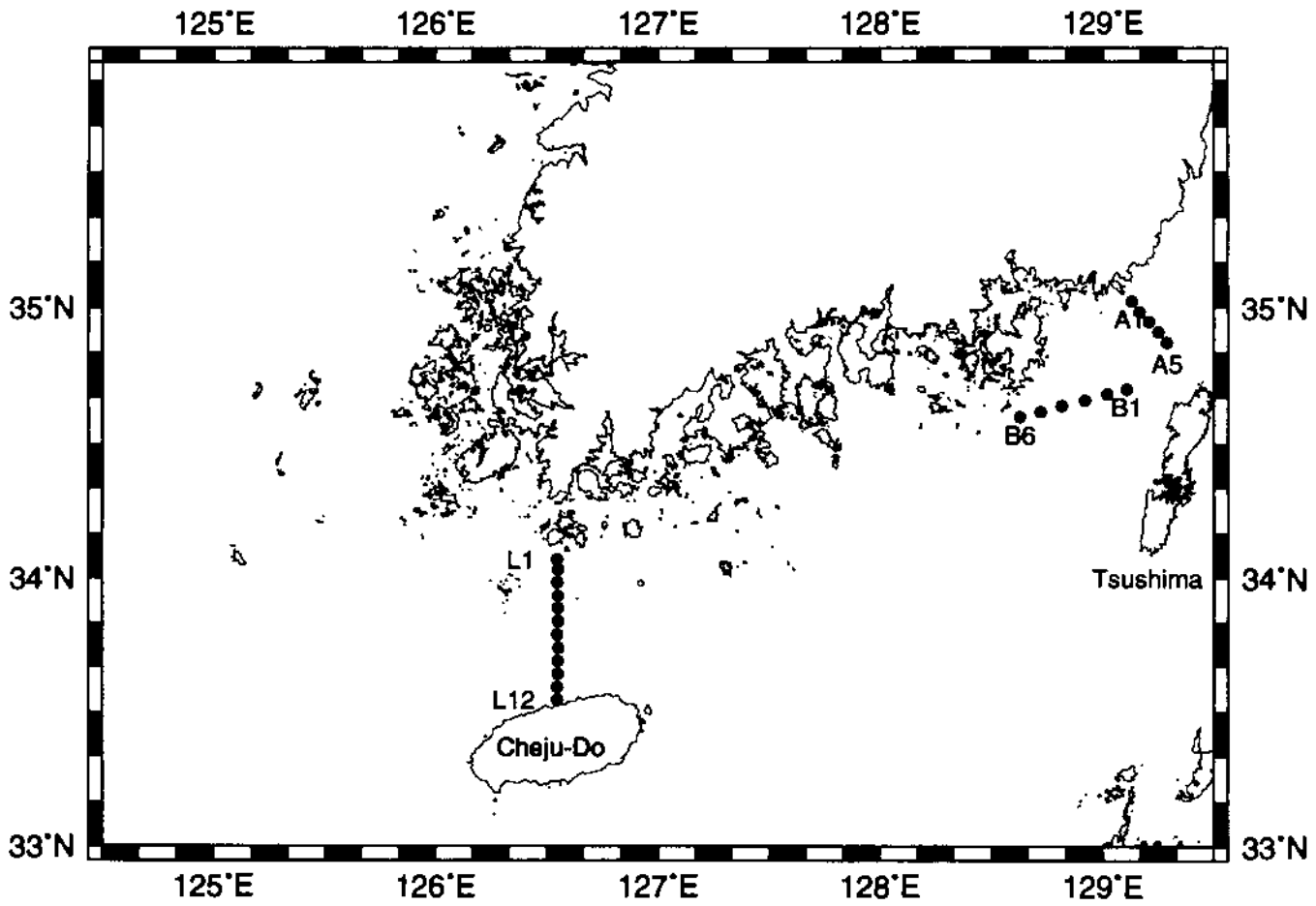


Fig. 1-7. CTD stations occupied in September 20-21, 1998.

### South Sea station map ( 9809 Eardo )

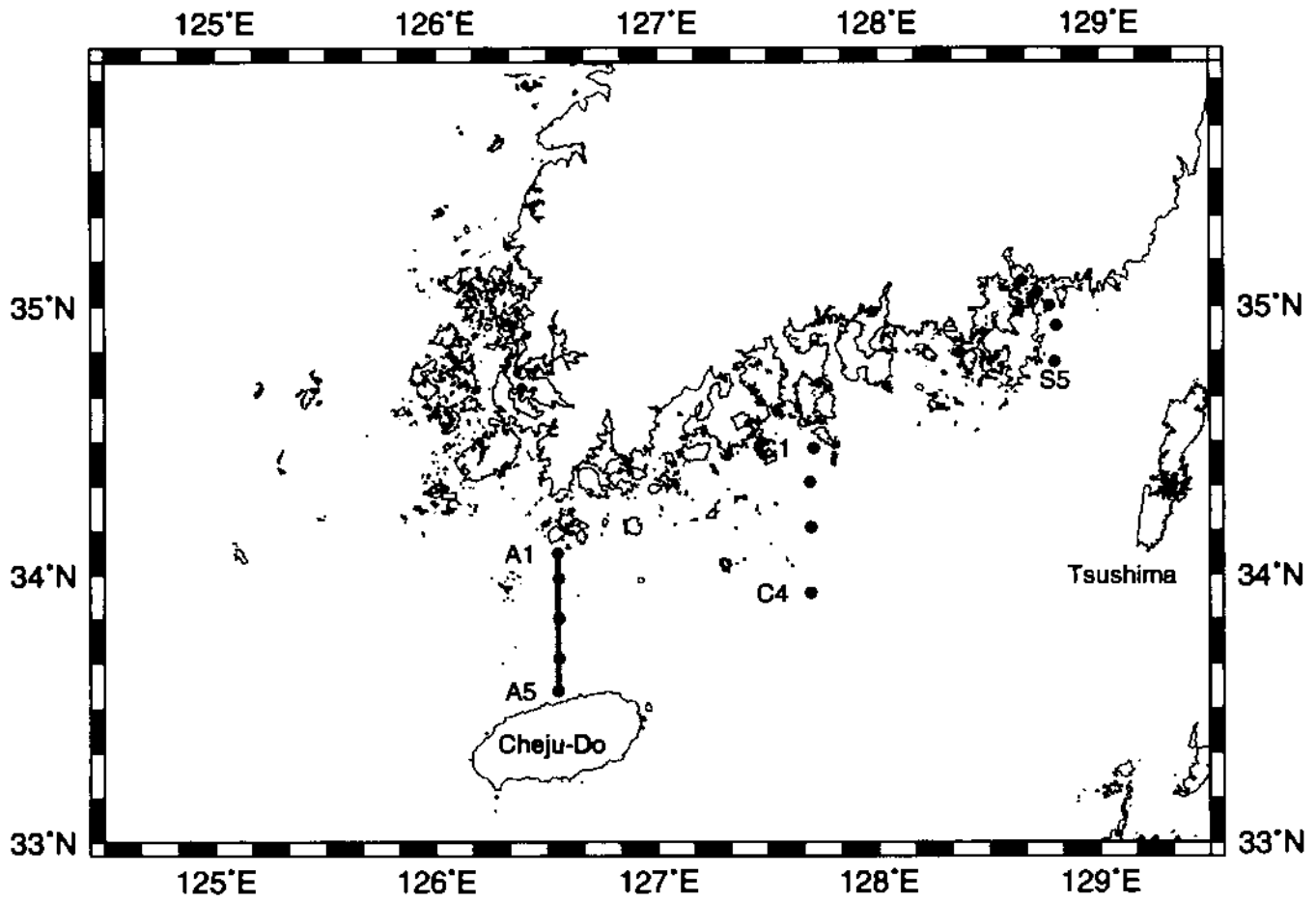


Fig. 1-8. CTD stations and an ADCP track occupied in September 23-25, 1998.

### South Sea station map (KORDI 9811)

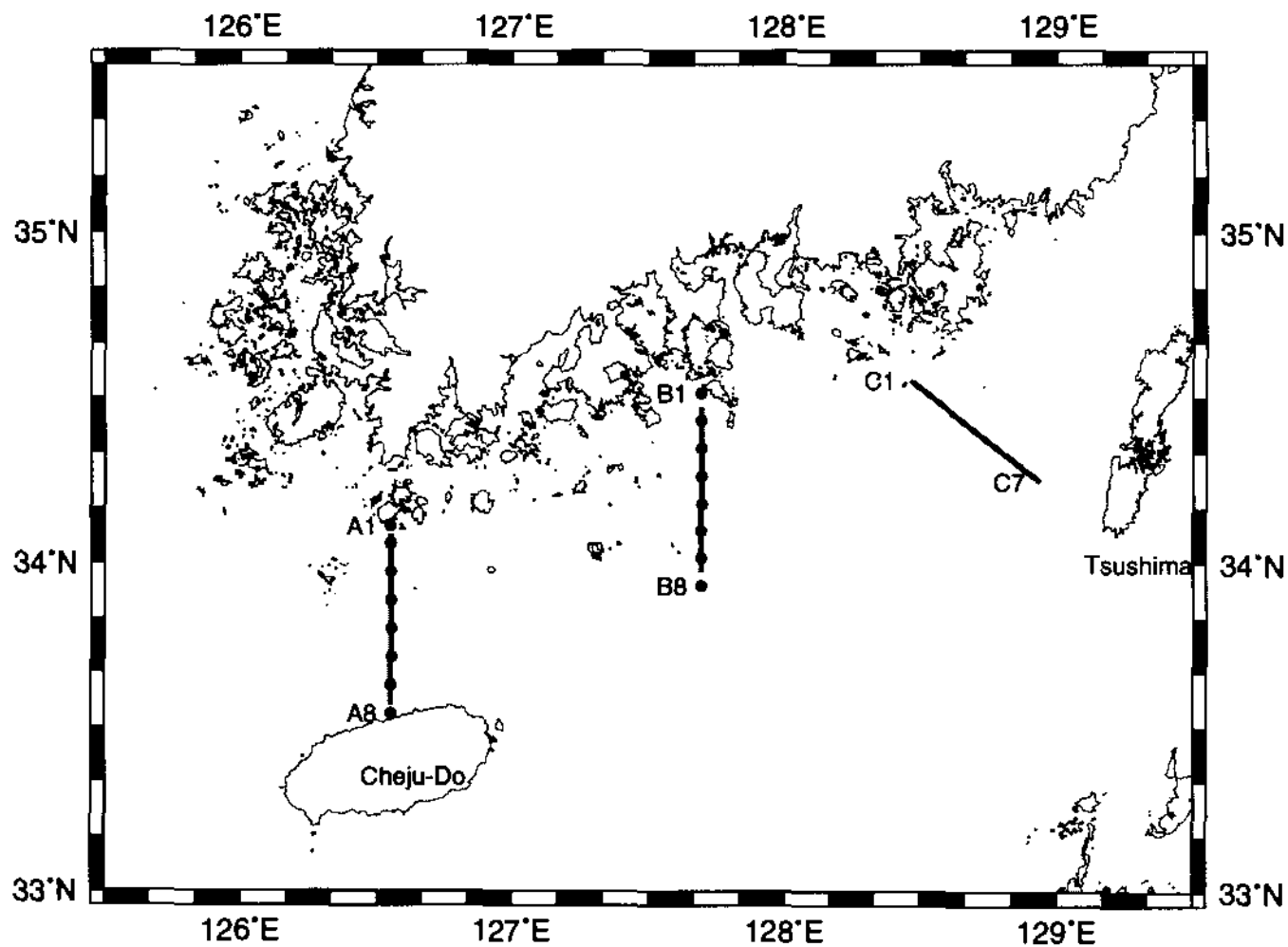


Fig. 1-9. CTD stations and ADCP tracks occupied in November, 1998.

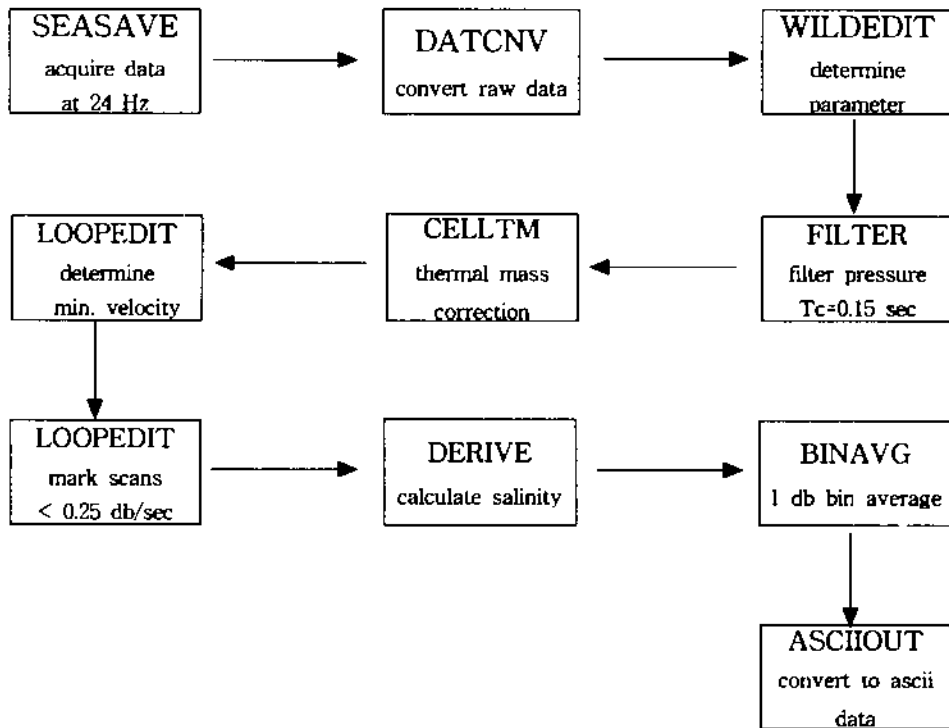


Fig. 1-10. Flow chart of CTD data processing.

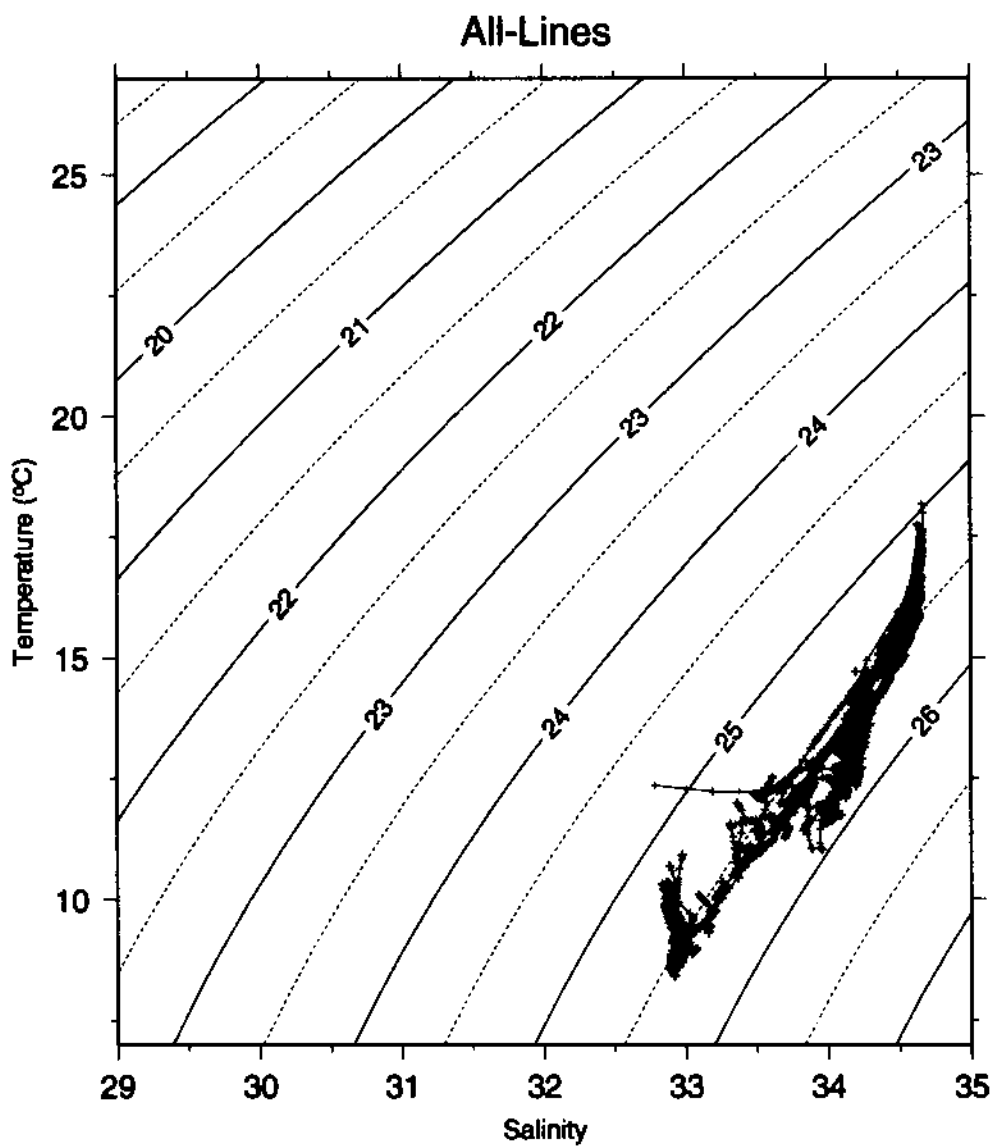


Fig. 1-11. T-S diagram for all CTD data obtained in April, 1998.

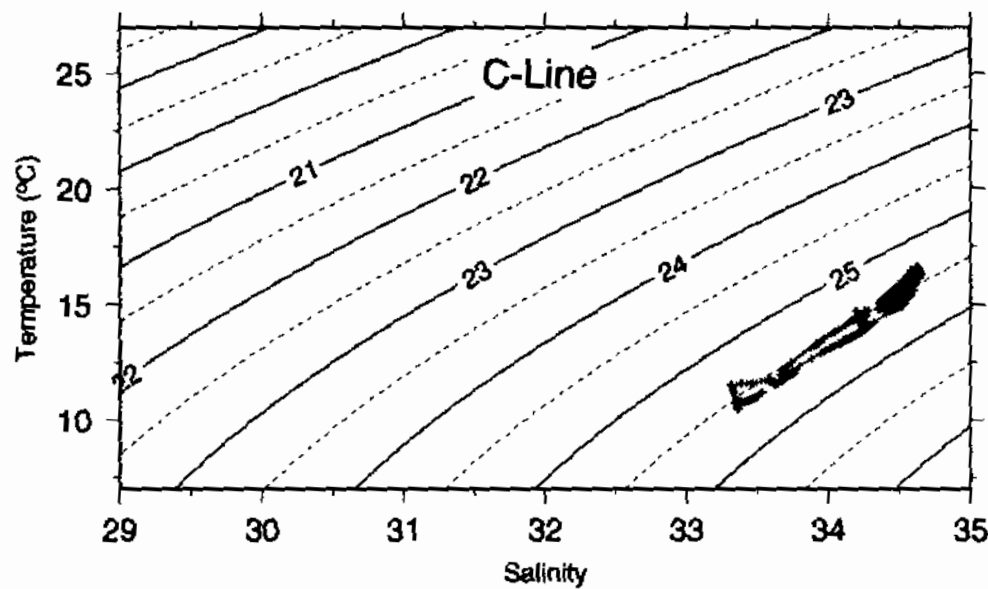
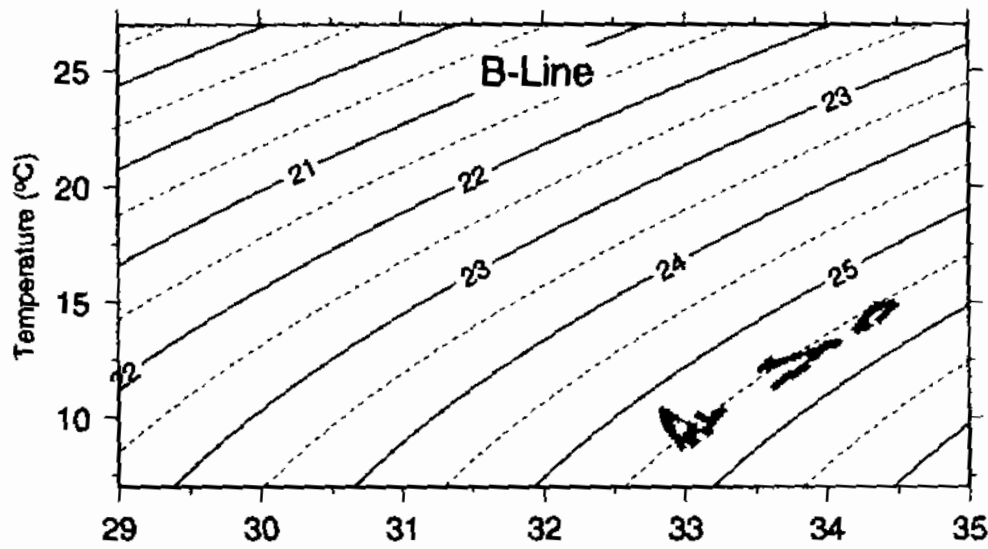
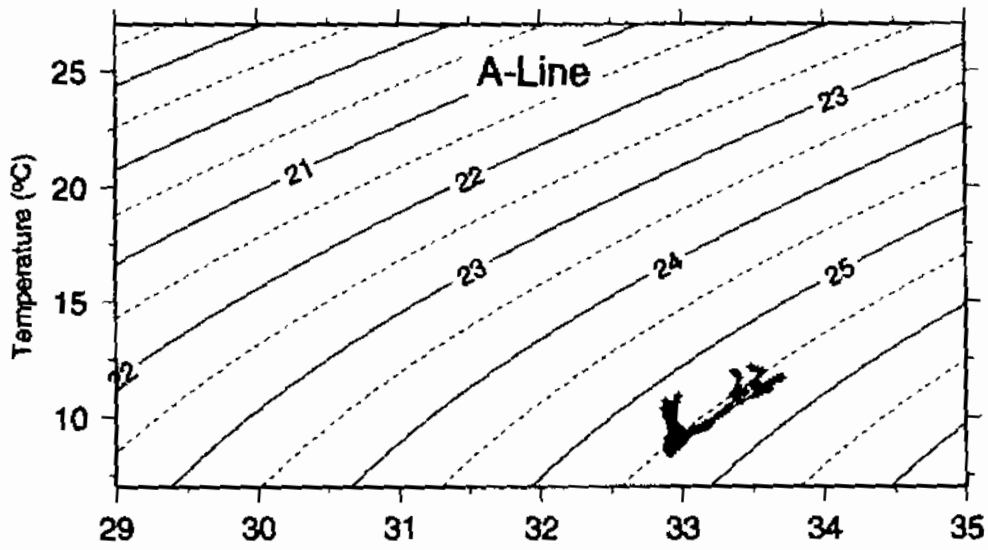


Fig. 1-12. T-S diagram for CTD data obtained at each line in April, 1998.



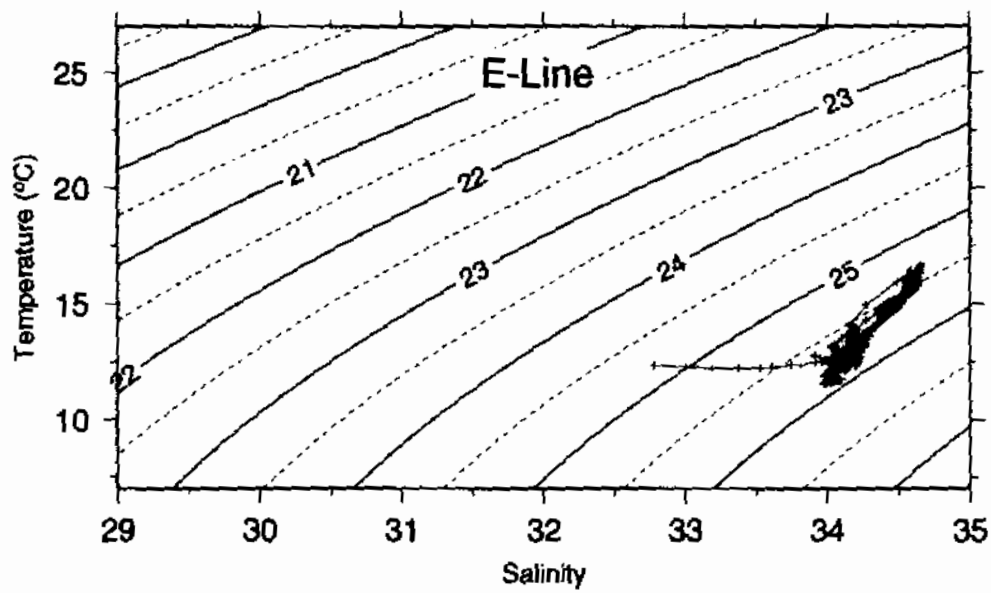
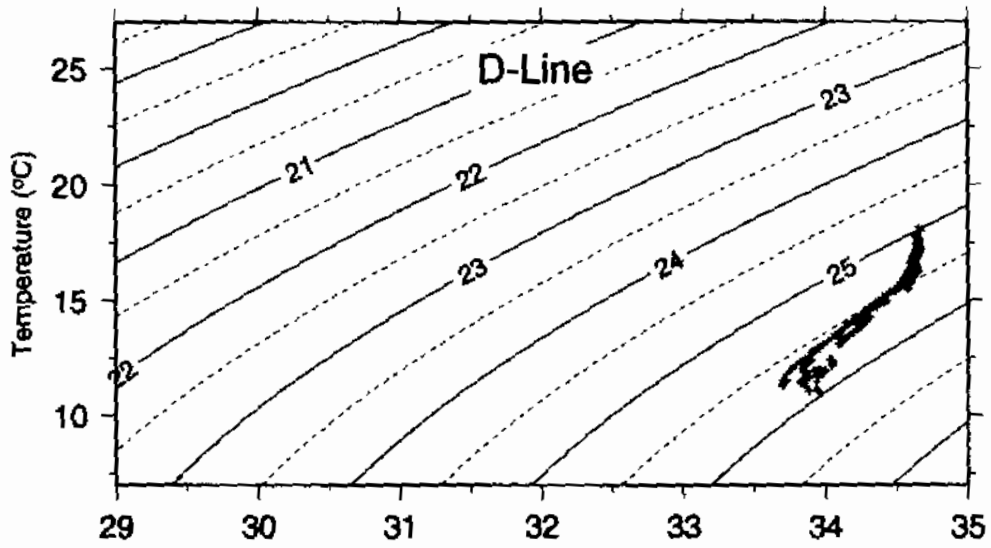


Fig. 1-12. Continued

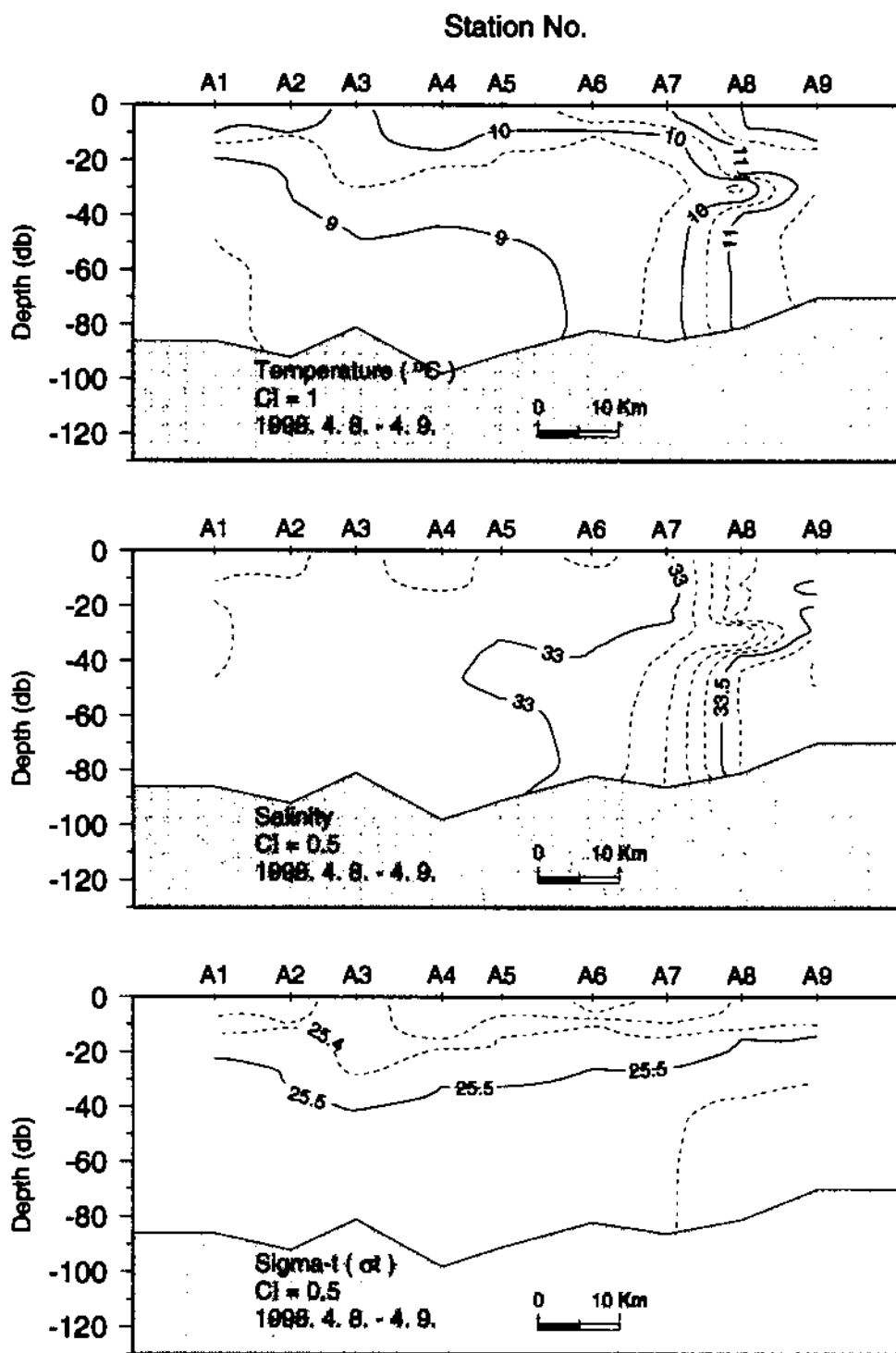


Fig. 1-13. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line A obtained in April, 1998.

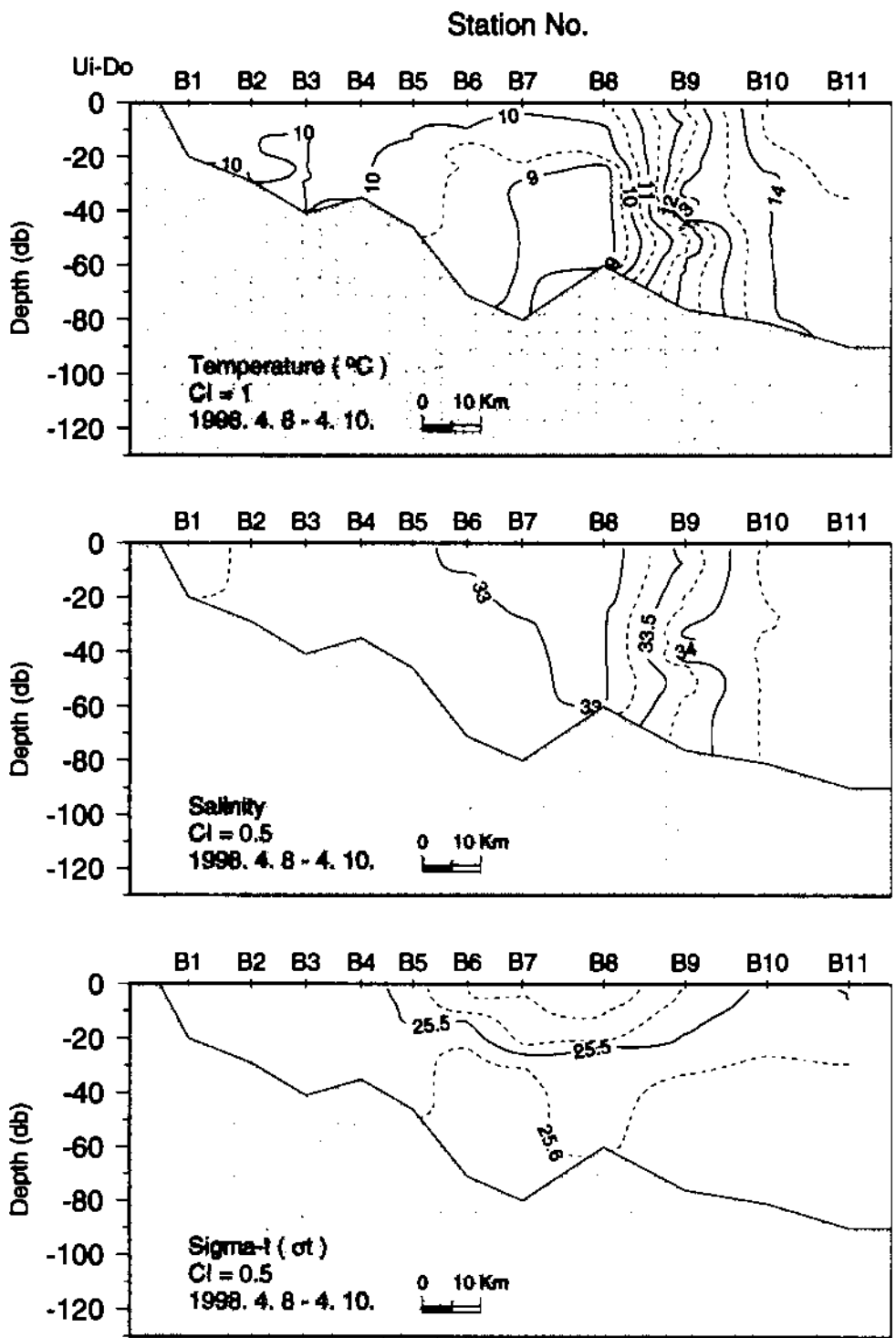


Fig. 1-14. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line B obtained in April, 1998.

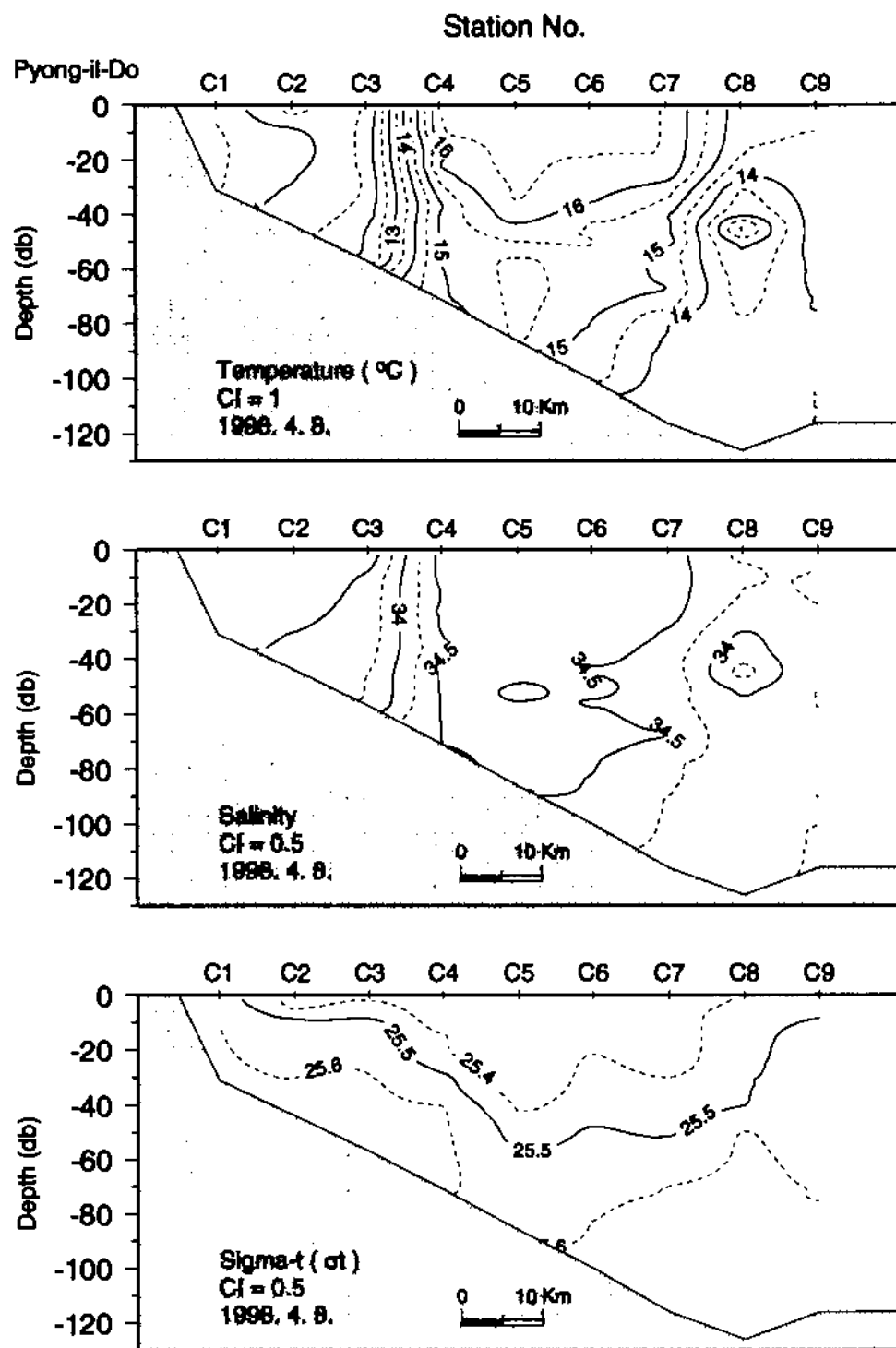


Fig. 1-15. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line C obtained in April, 1998.

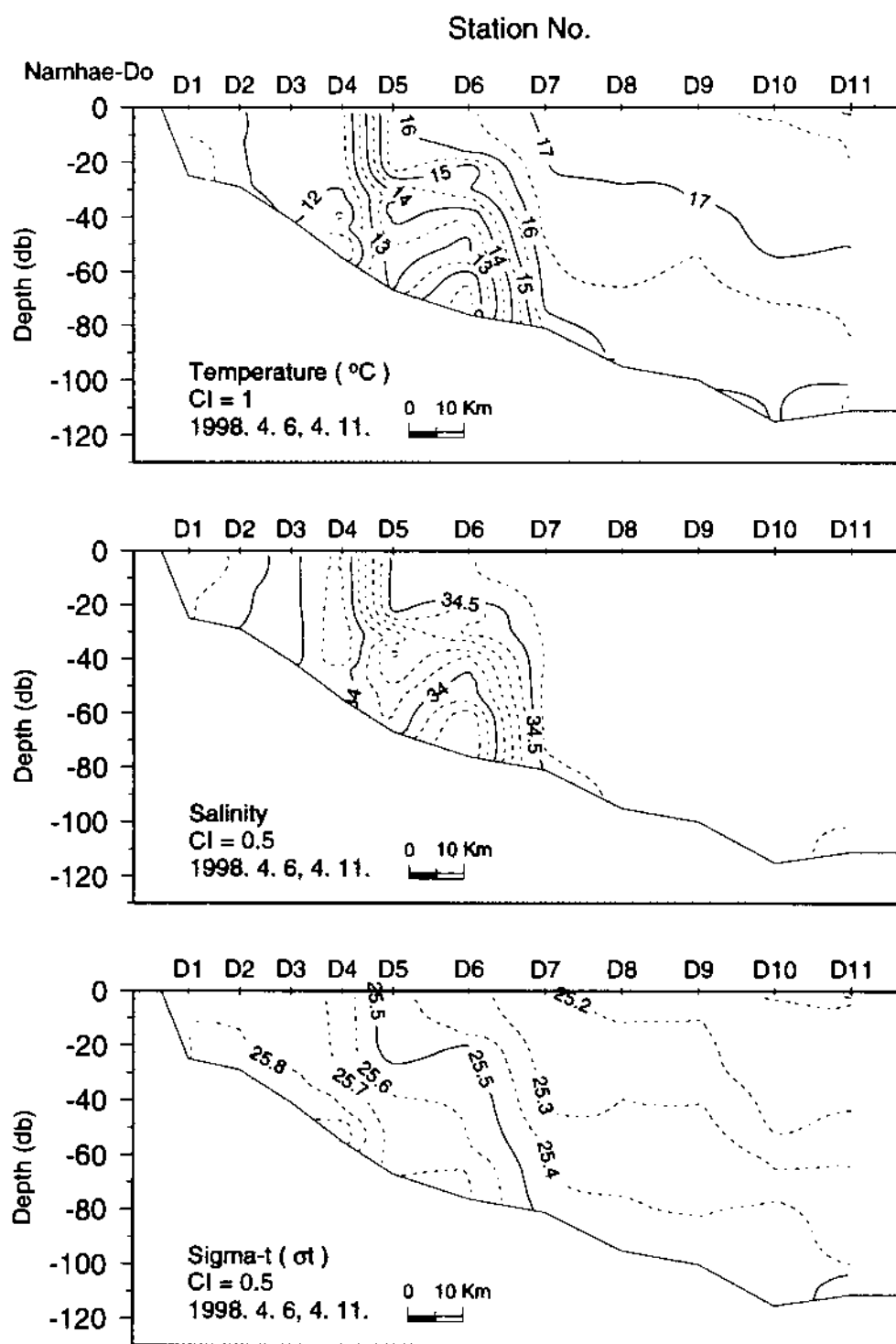


Fig. 1-16. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line D obtained in April, 1998.

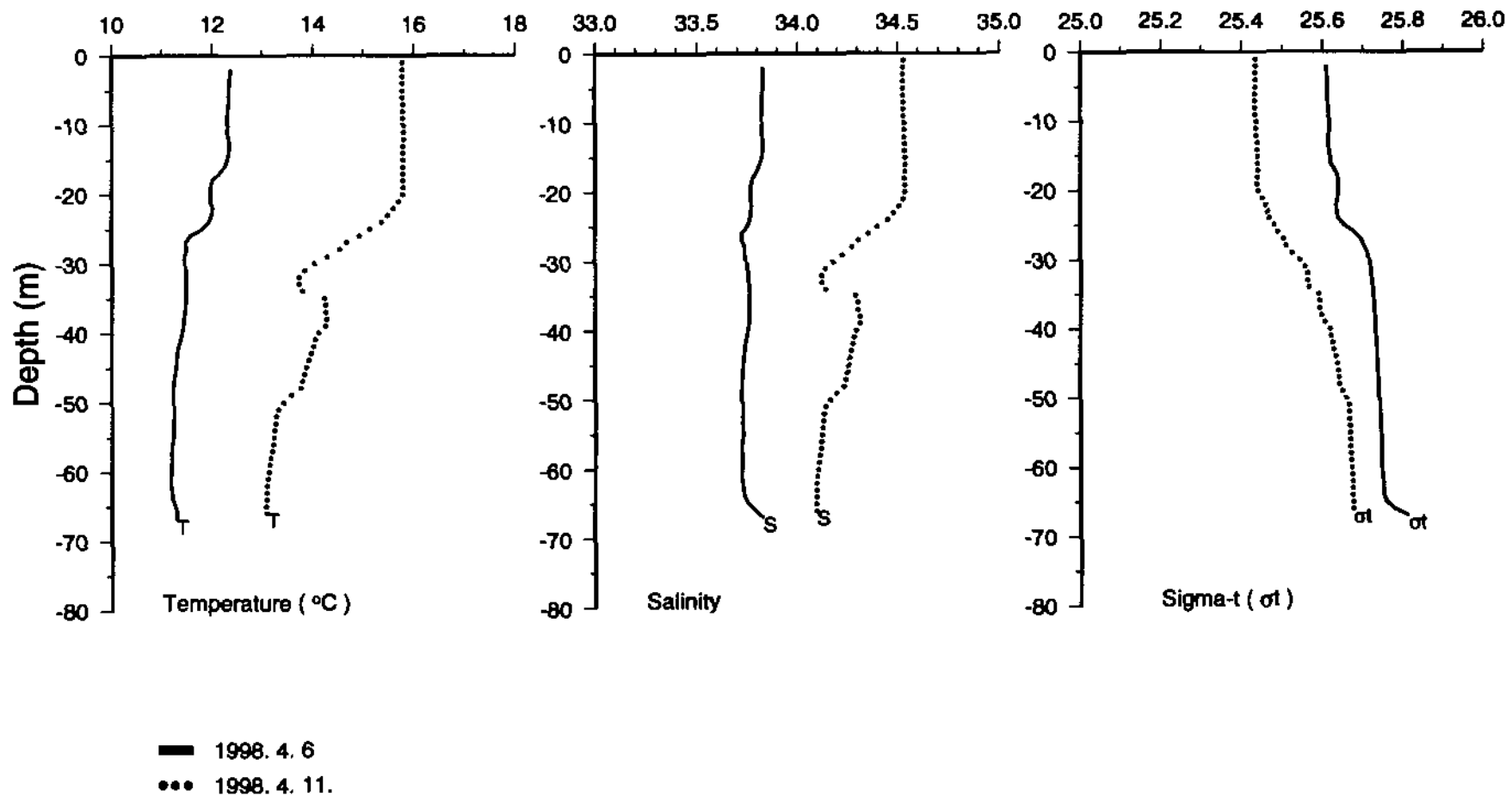


Fig. 1-17. Vertical profiles of temperature (left), salinity (middle), and density (right) at station D5 on line D obtained on April, 6 (solid line) and April, 11 (dotted line).

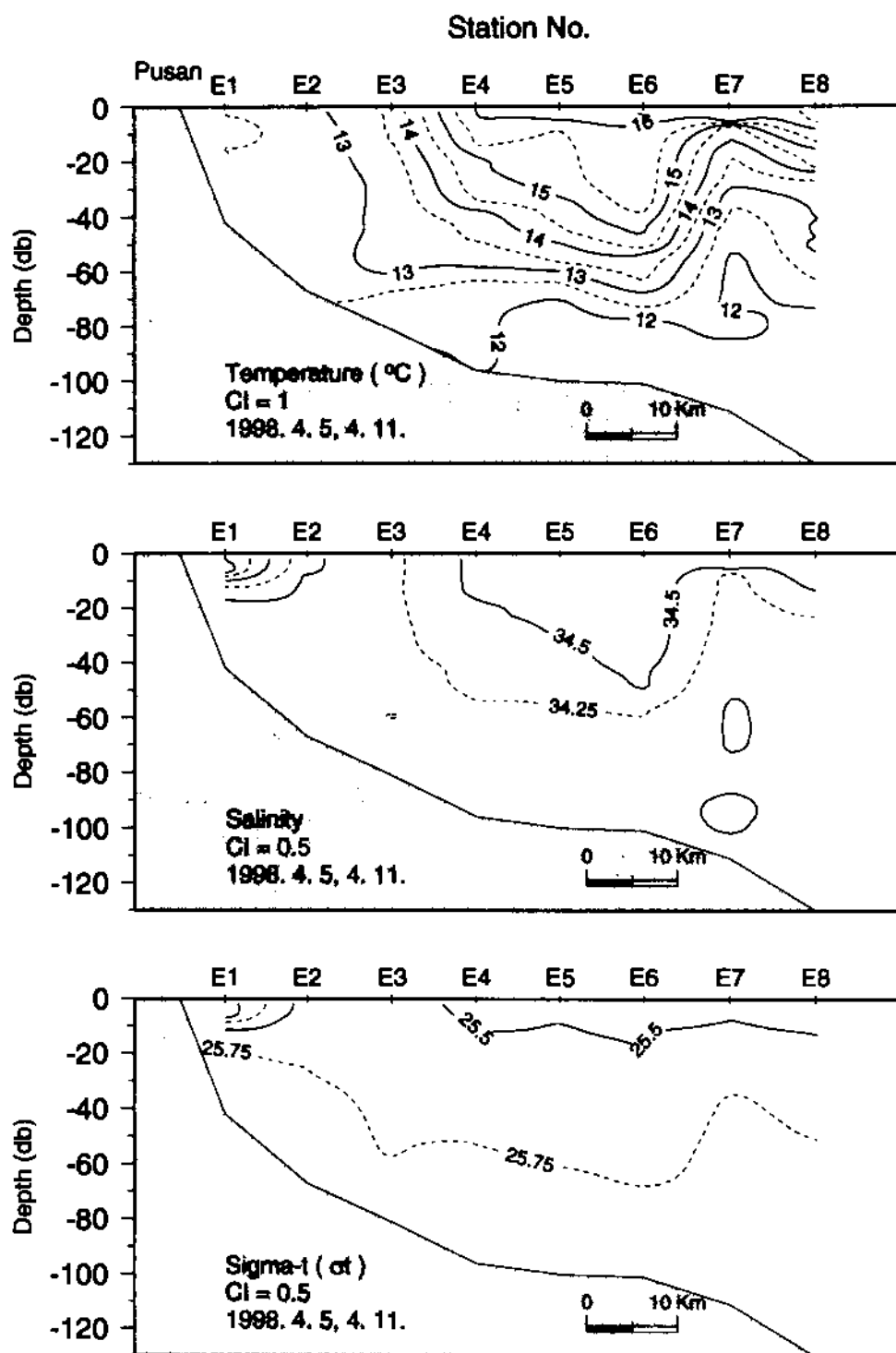


Fig. 1-18. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line E obtained in April, 1998.

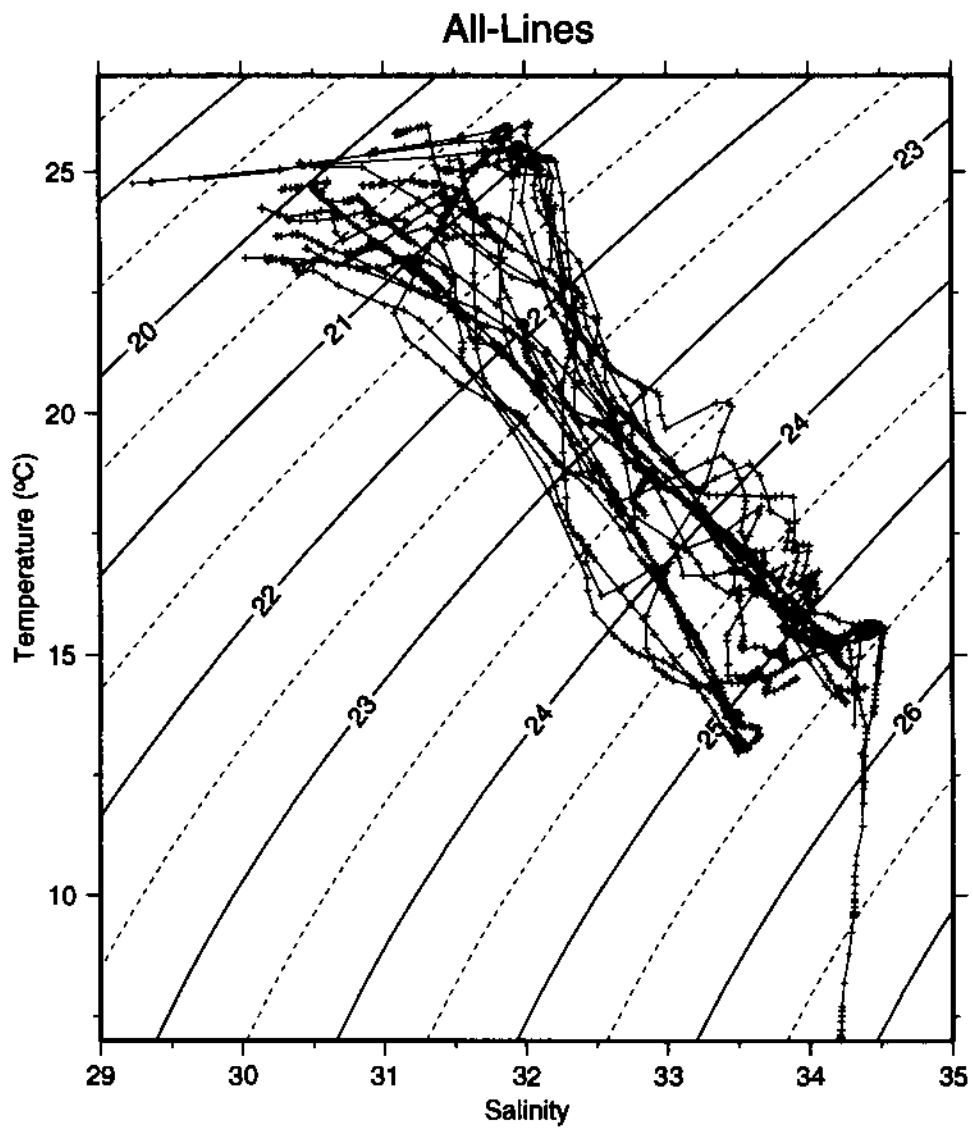


Fig. 1-19. T-S diagram for all CTD data obtained during September, 20-21, 1998.



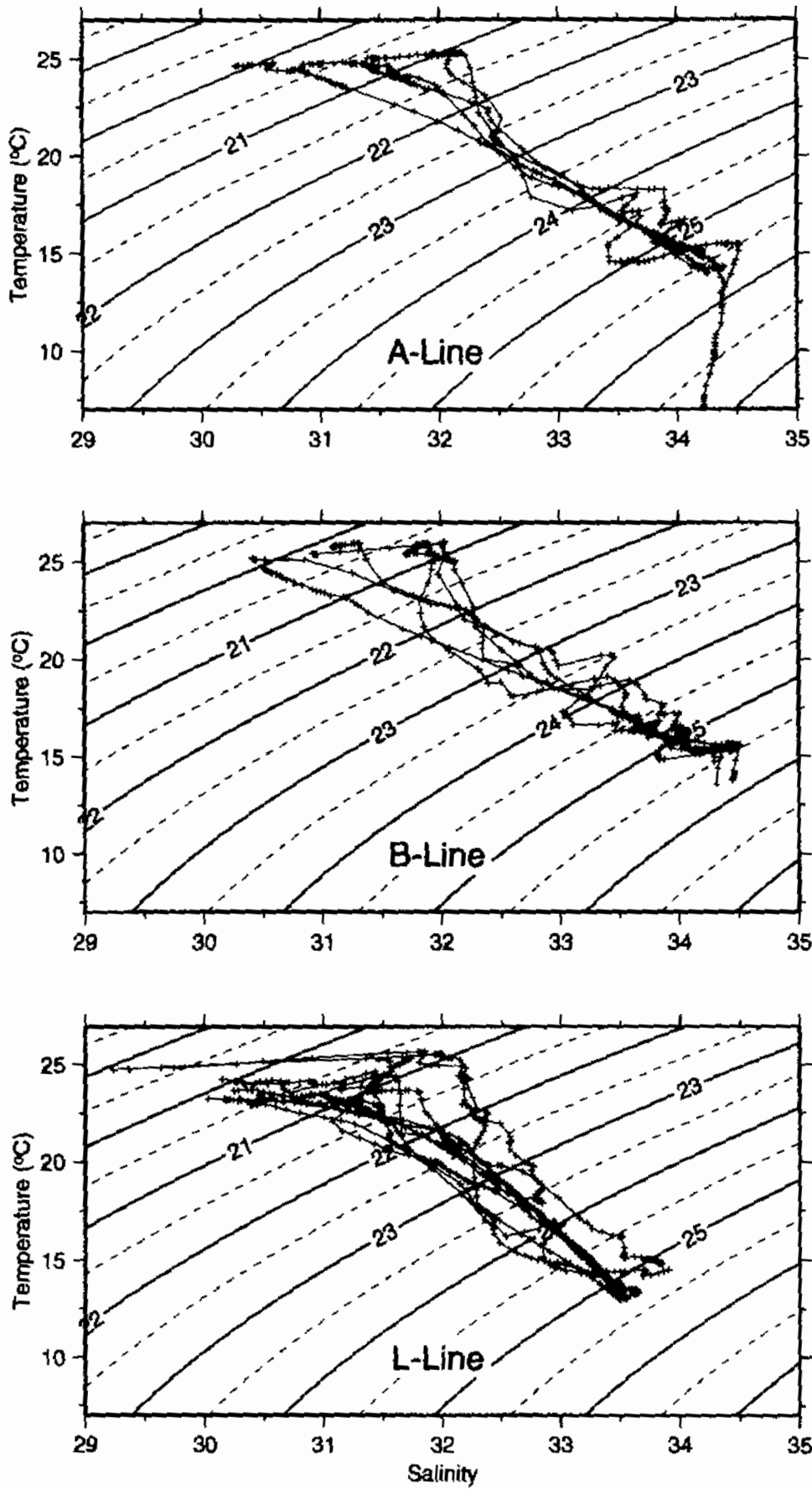


Fig. 1-20. T-S diagram for CTD data obtained at each line during September, 20-21, 1998.

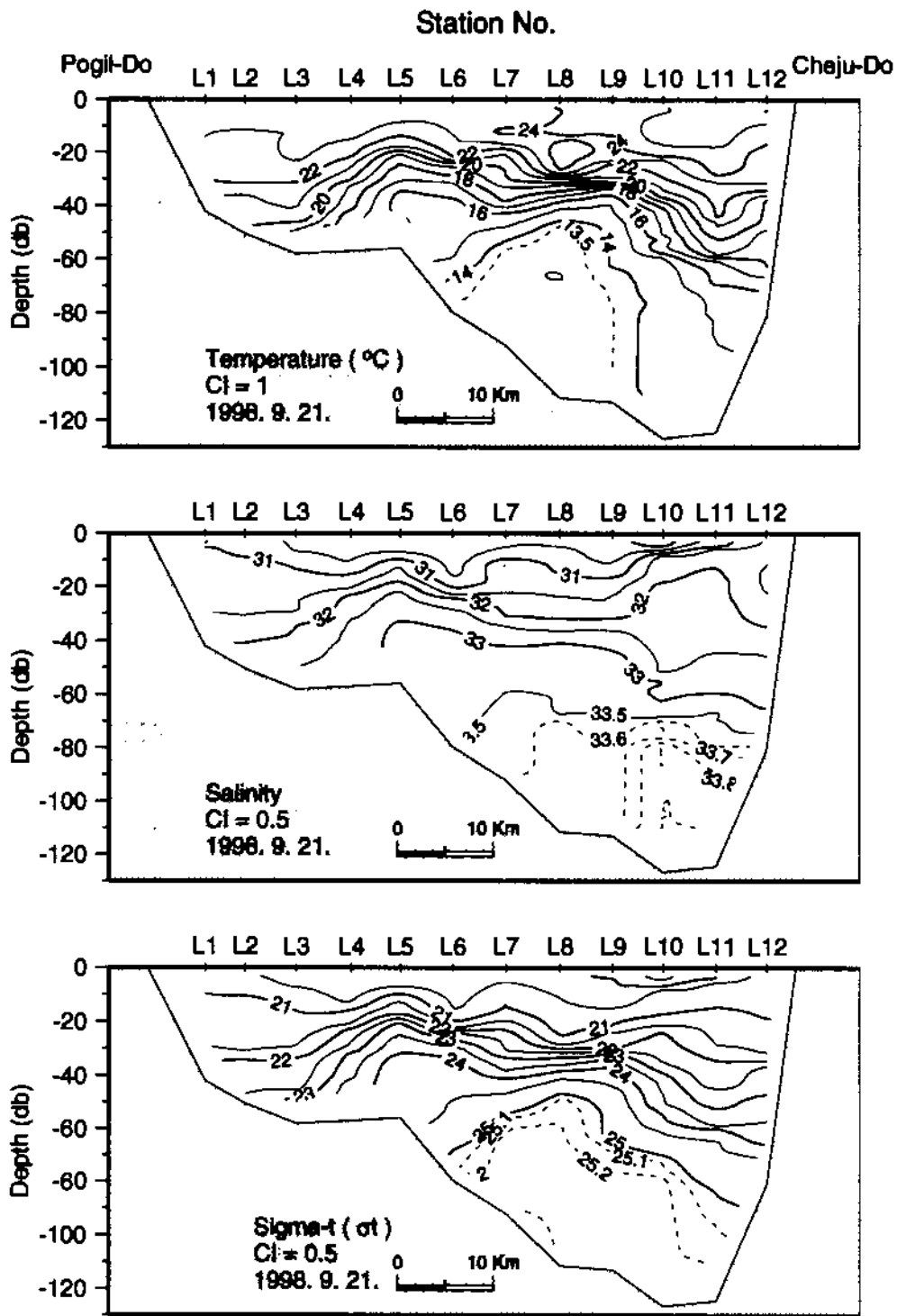


Fig. 1-21. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line L obtained on September 21, 1998.

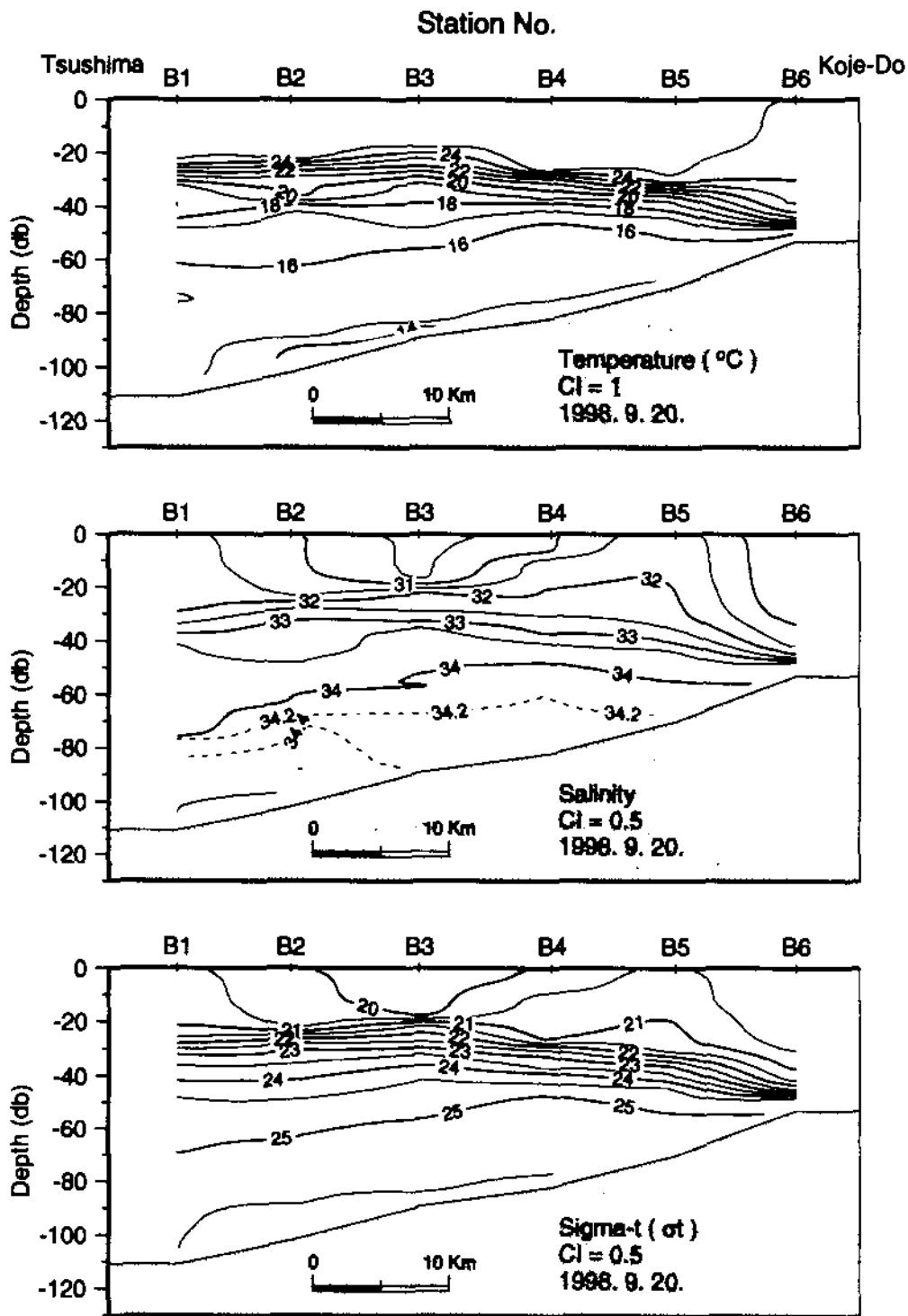


Fig. 1-22. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line B obtained on September 20, 1998.

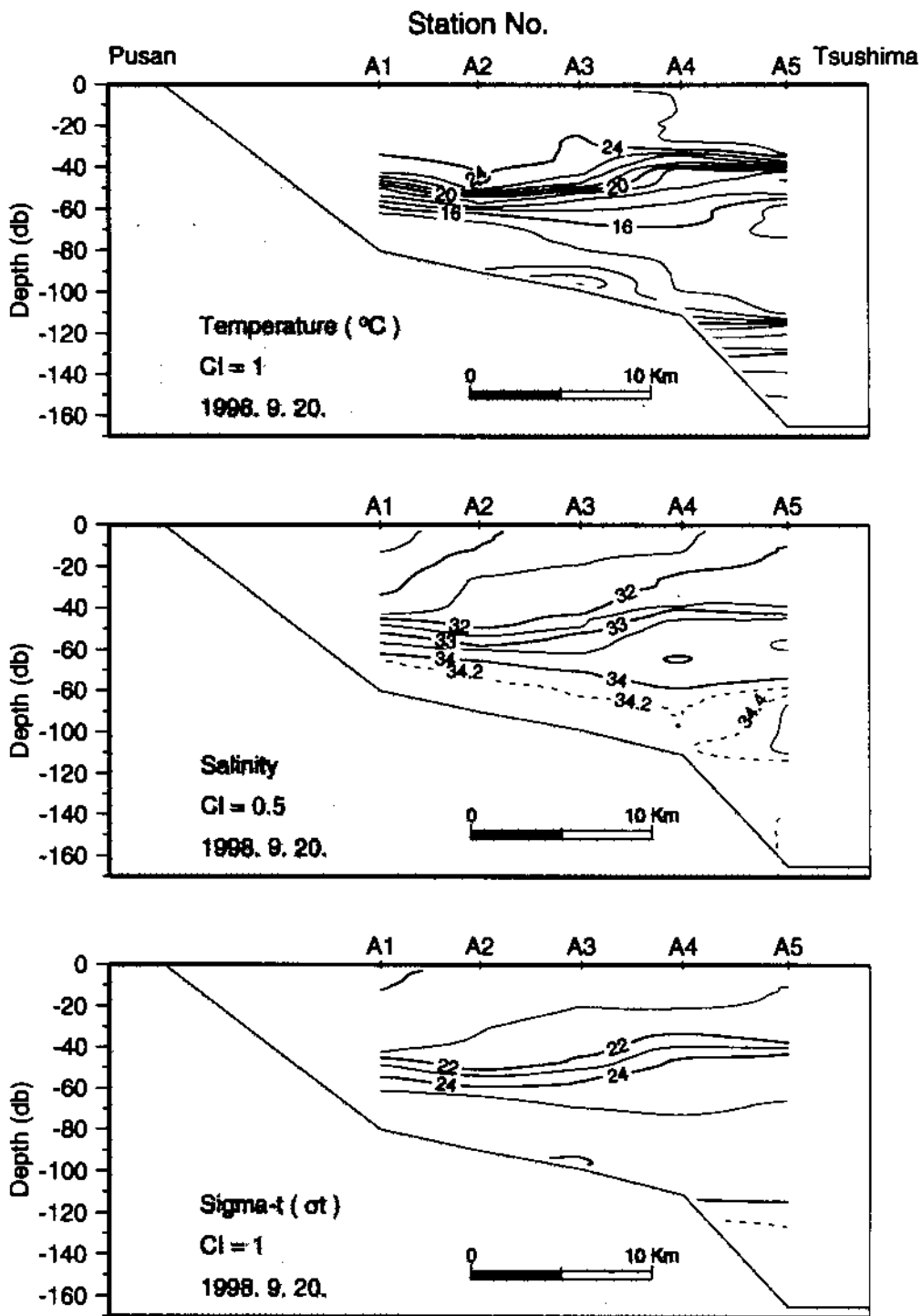


Fig. 1-23. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line A obtained on September 20, 1998.

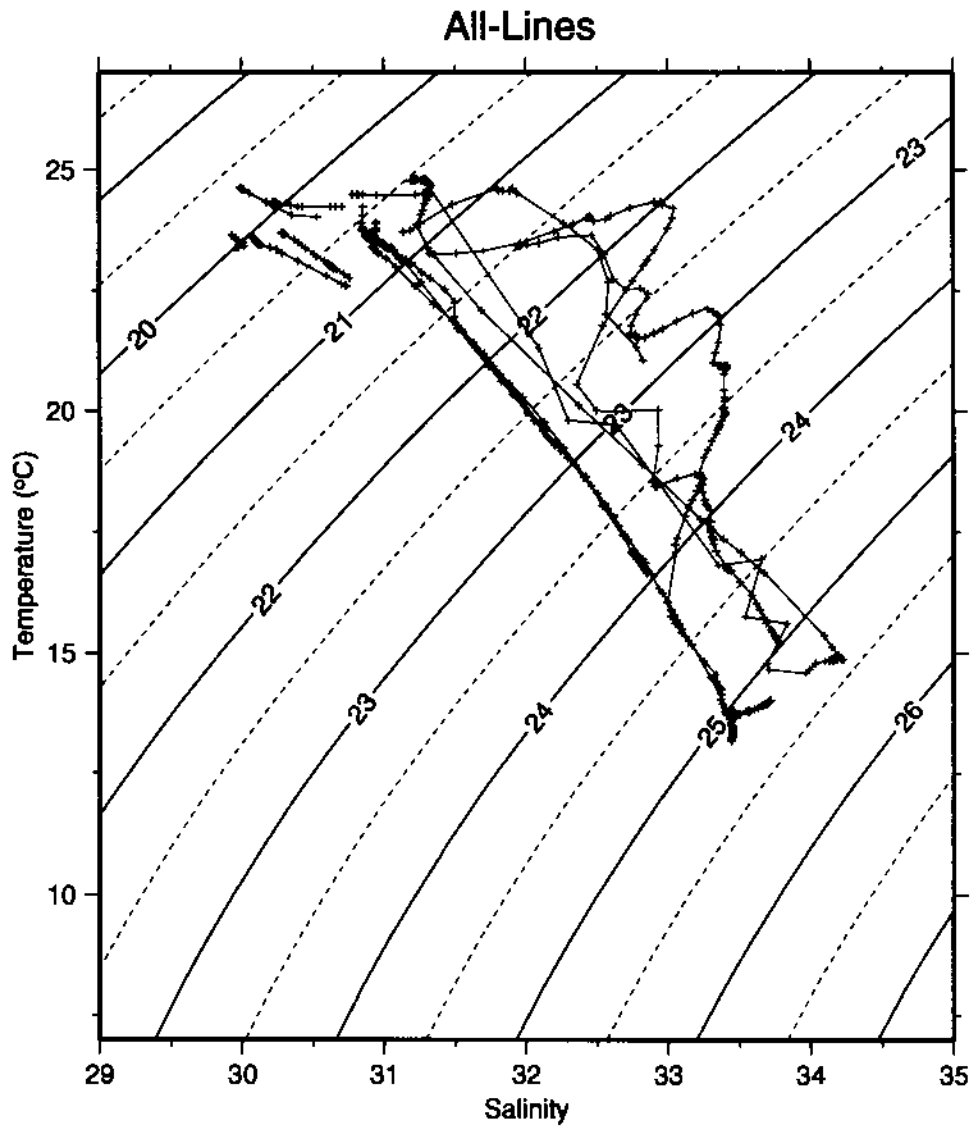


Fig. 1-24. T-S diagram for all CTD data obtained during September, 23-25, 1998.

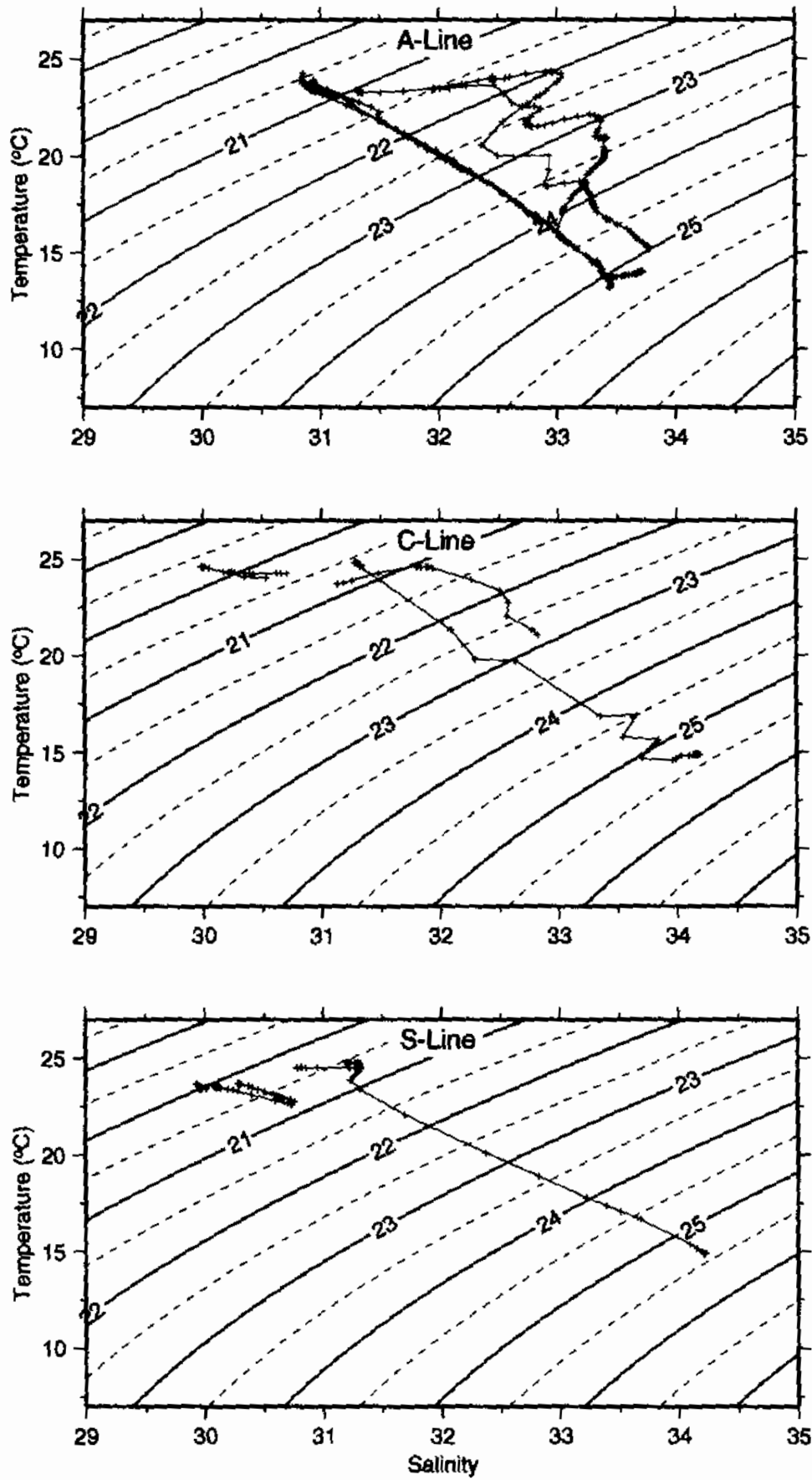


Fig. 1-25. T-S diagram for CTD data obtained at each line during September, 23-25, 1998.

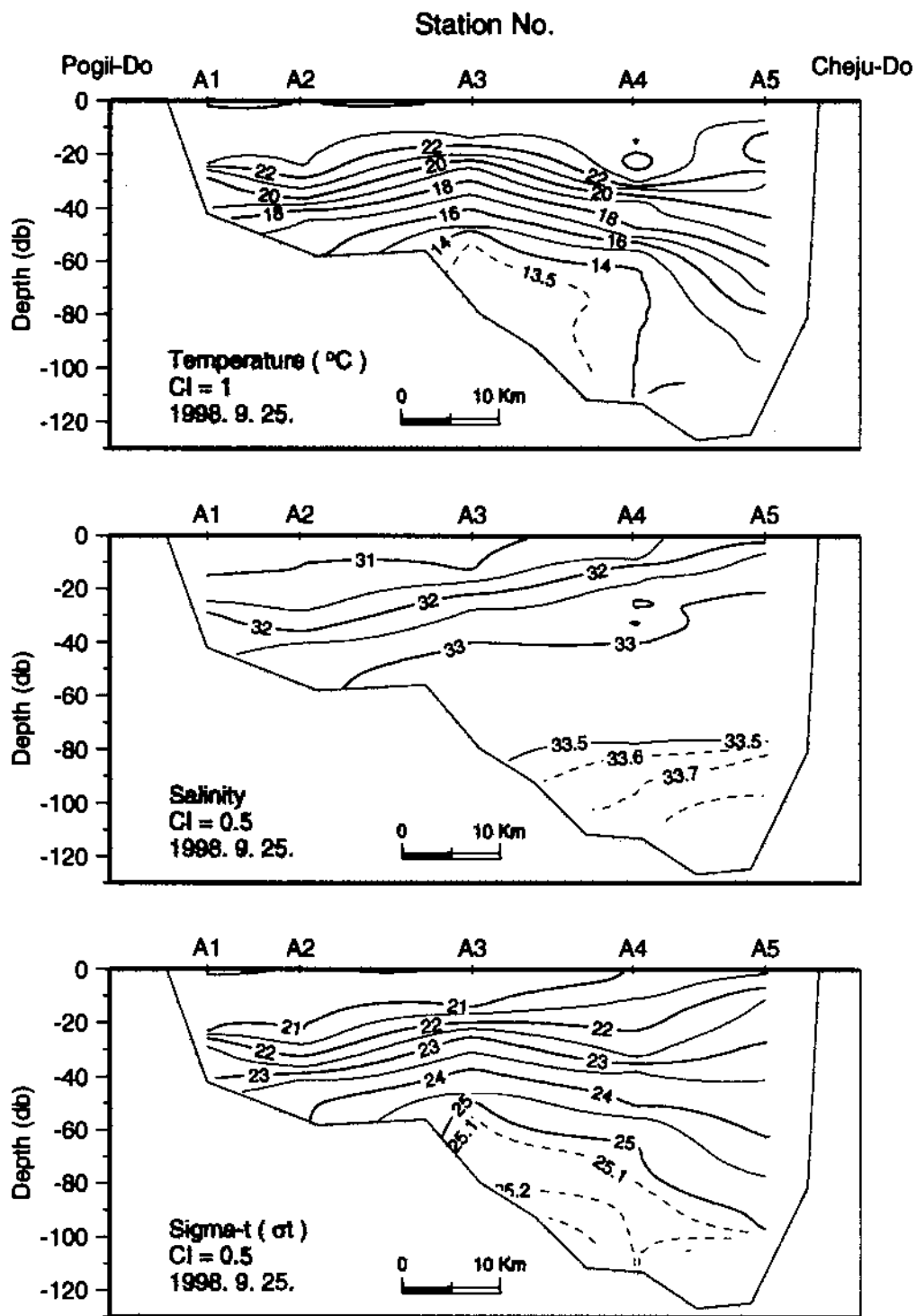


Fig. 1-26. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line A obtained on September 25, 1998.

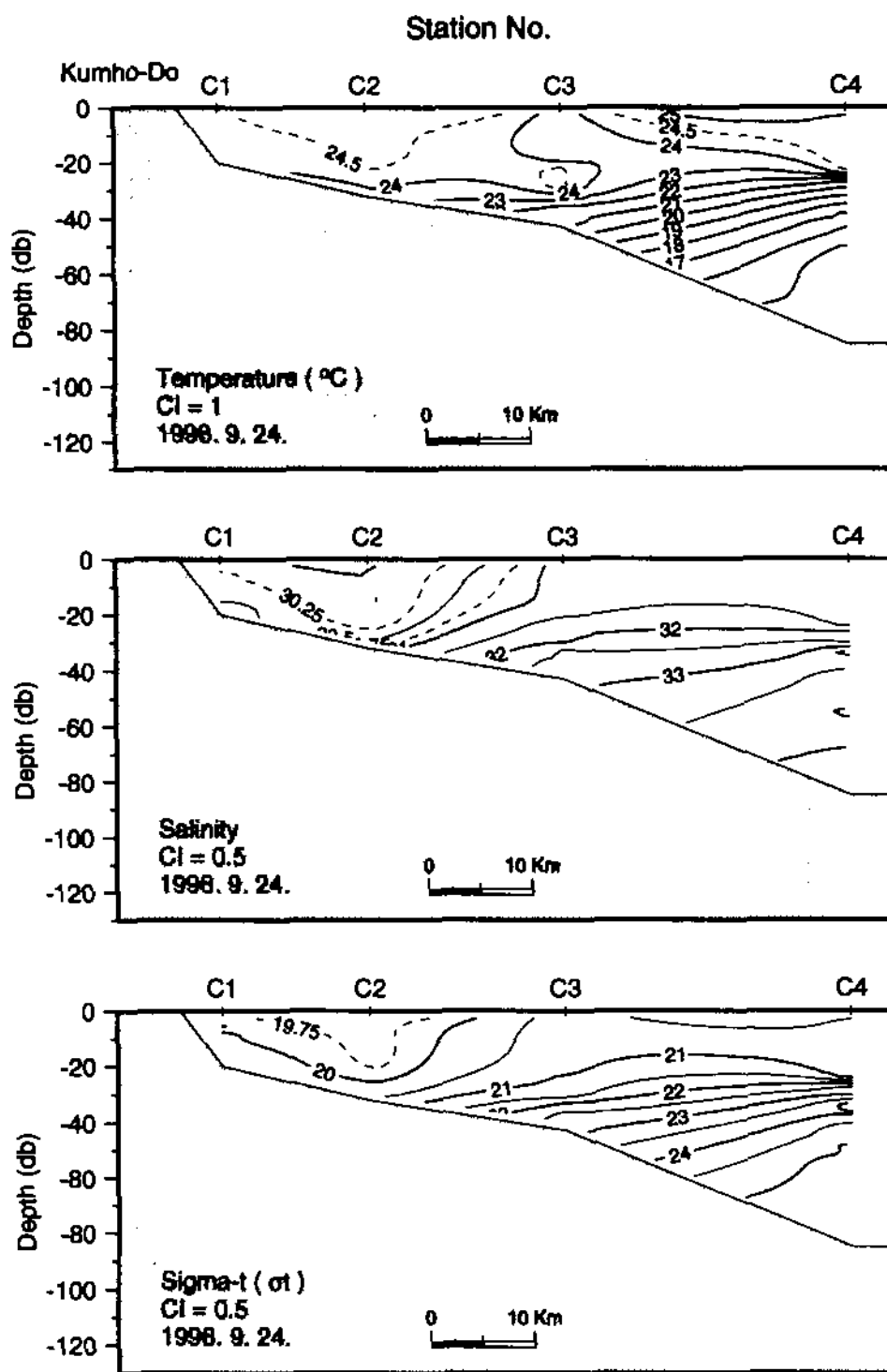


Fig. 1-27. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line C obtained on September 24, 1998.



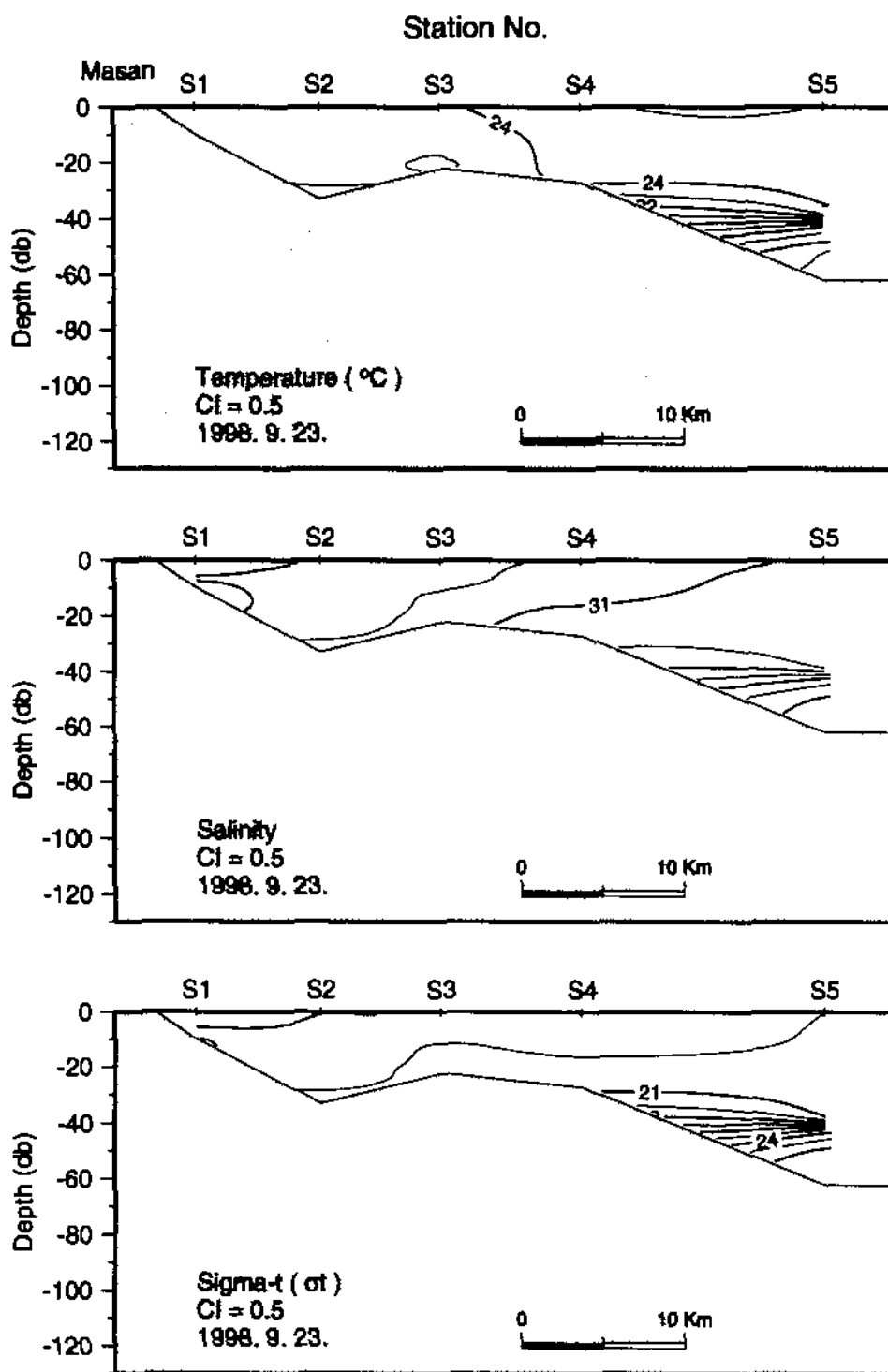


Fig. 1-28. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line S obtained on September 23, 1998.

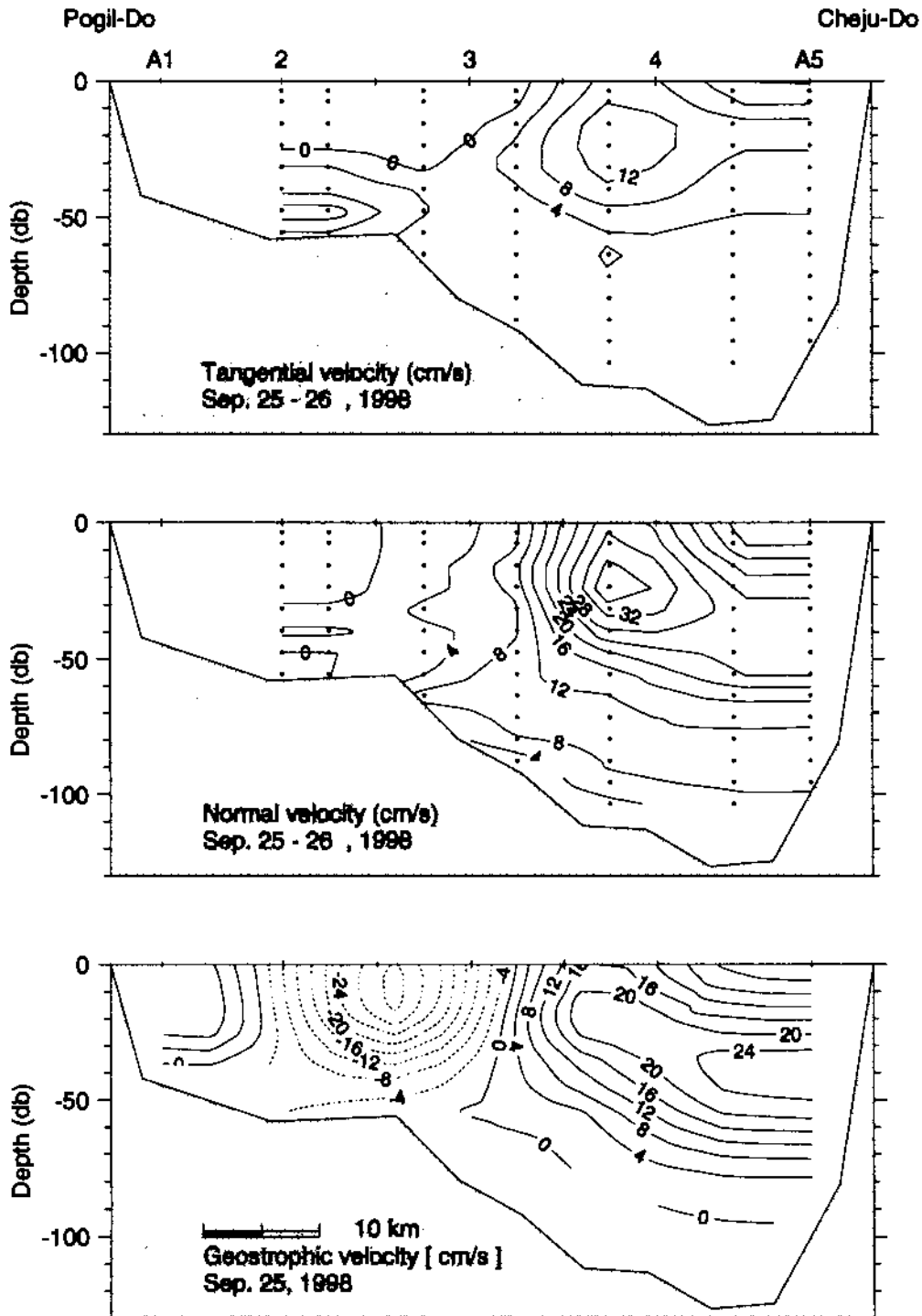


Fig. 1-29. Vertical sections of (a) north-south, and (b) east-west component of daily-mean currents along line A based on repeated ship-borne ADCP measurements that was made during September 25-26, 1988, and (c) geostrophic currents in the east-west direction based on CTD data obtained on September 25. Solid and dotted lines denote, respectively, northward and southward currents in the north-south component of directly measured currents, while they denote, respectively, eastward and westward currents in the east-west component of directly measured and geostrophic currents in all following sections of current.

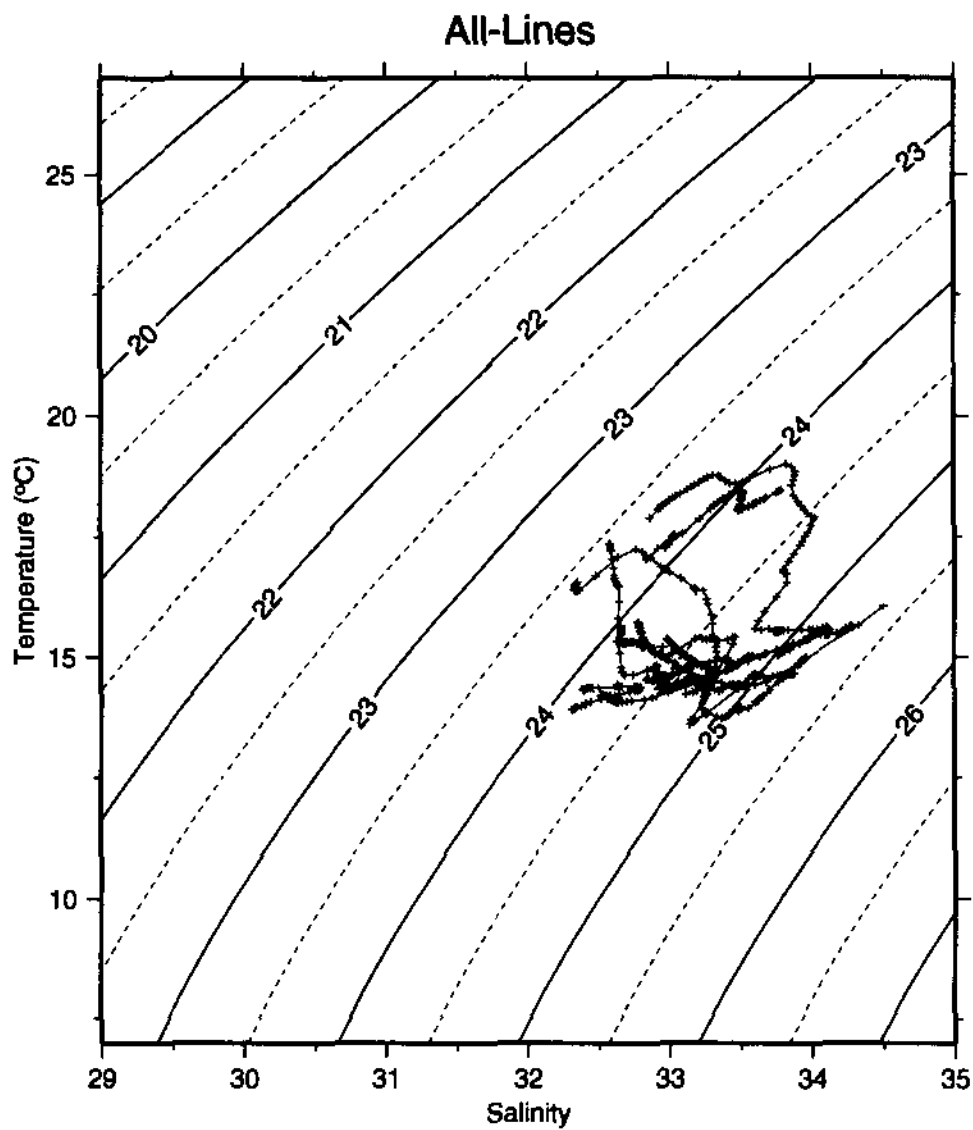


Fig. 1-30. T-S diagram for all CTD data obtained in November, 1998.

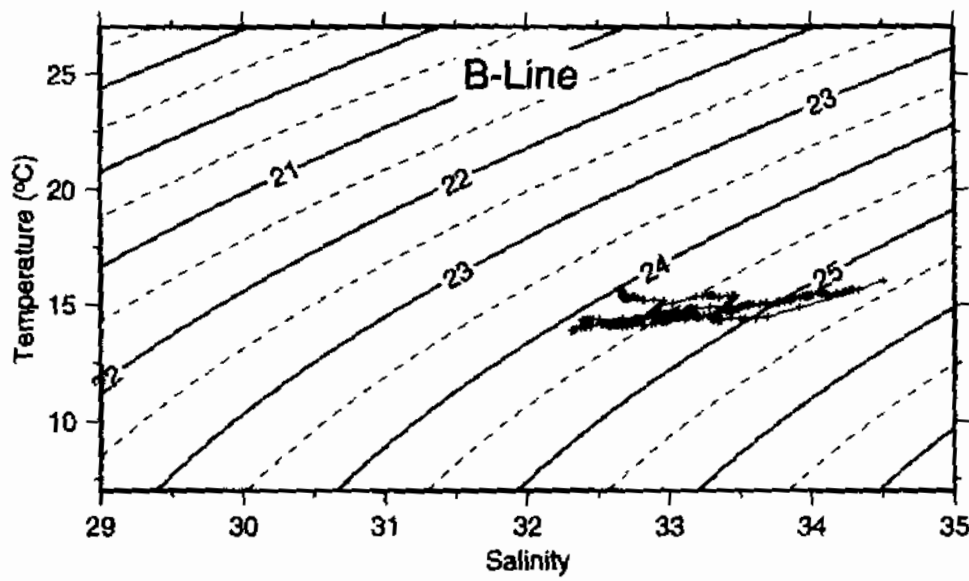
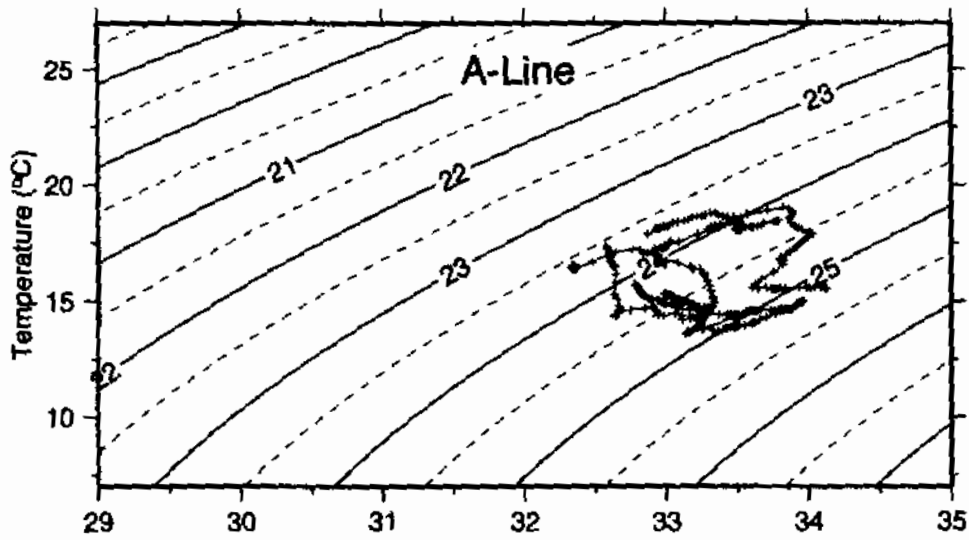


Fig. 1-31. T-S diagram for CTD data obtained at each line in November, 1998.

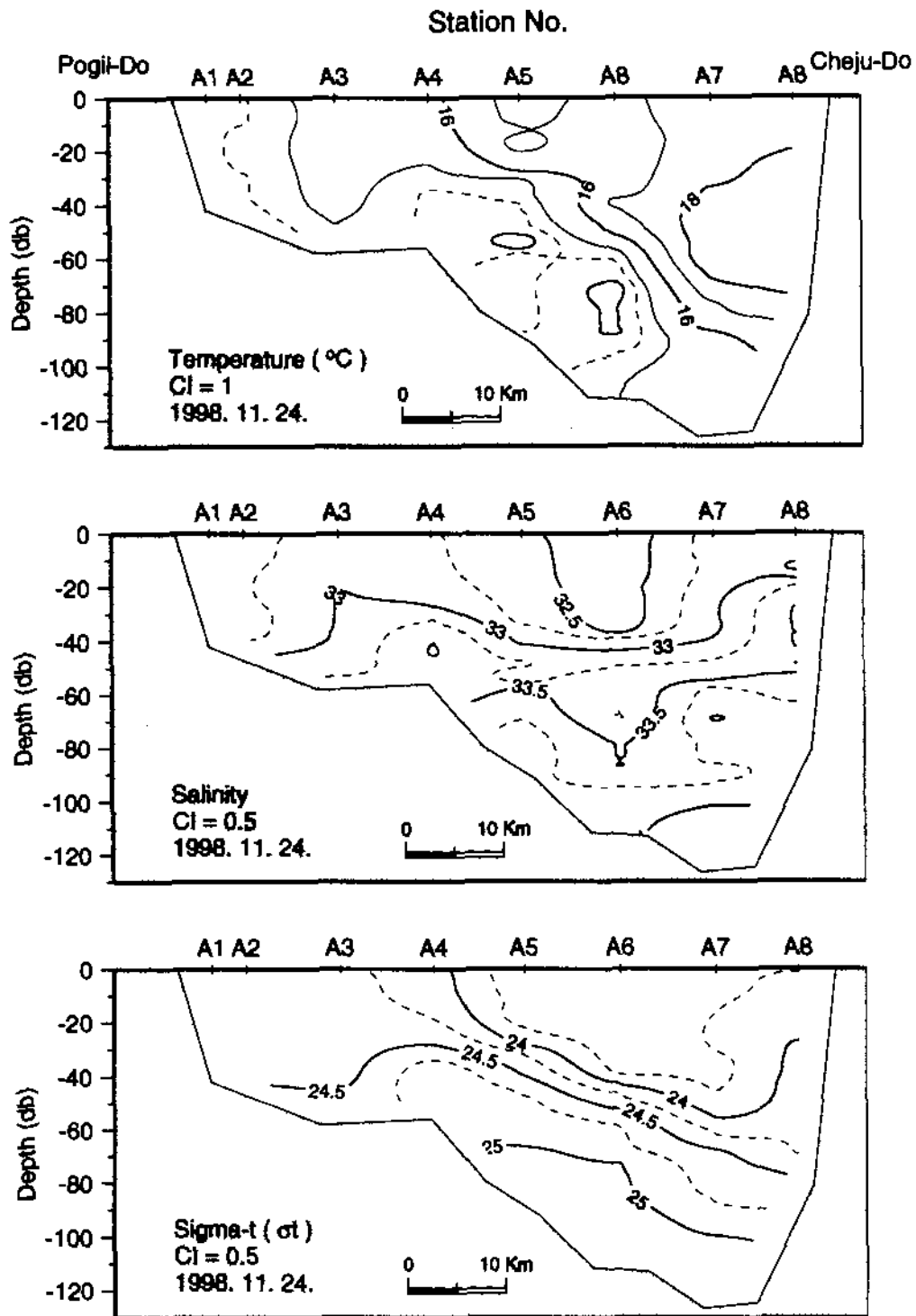


Fig. 1-32. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line A obtained in November, 1998.

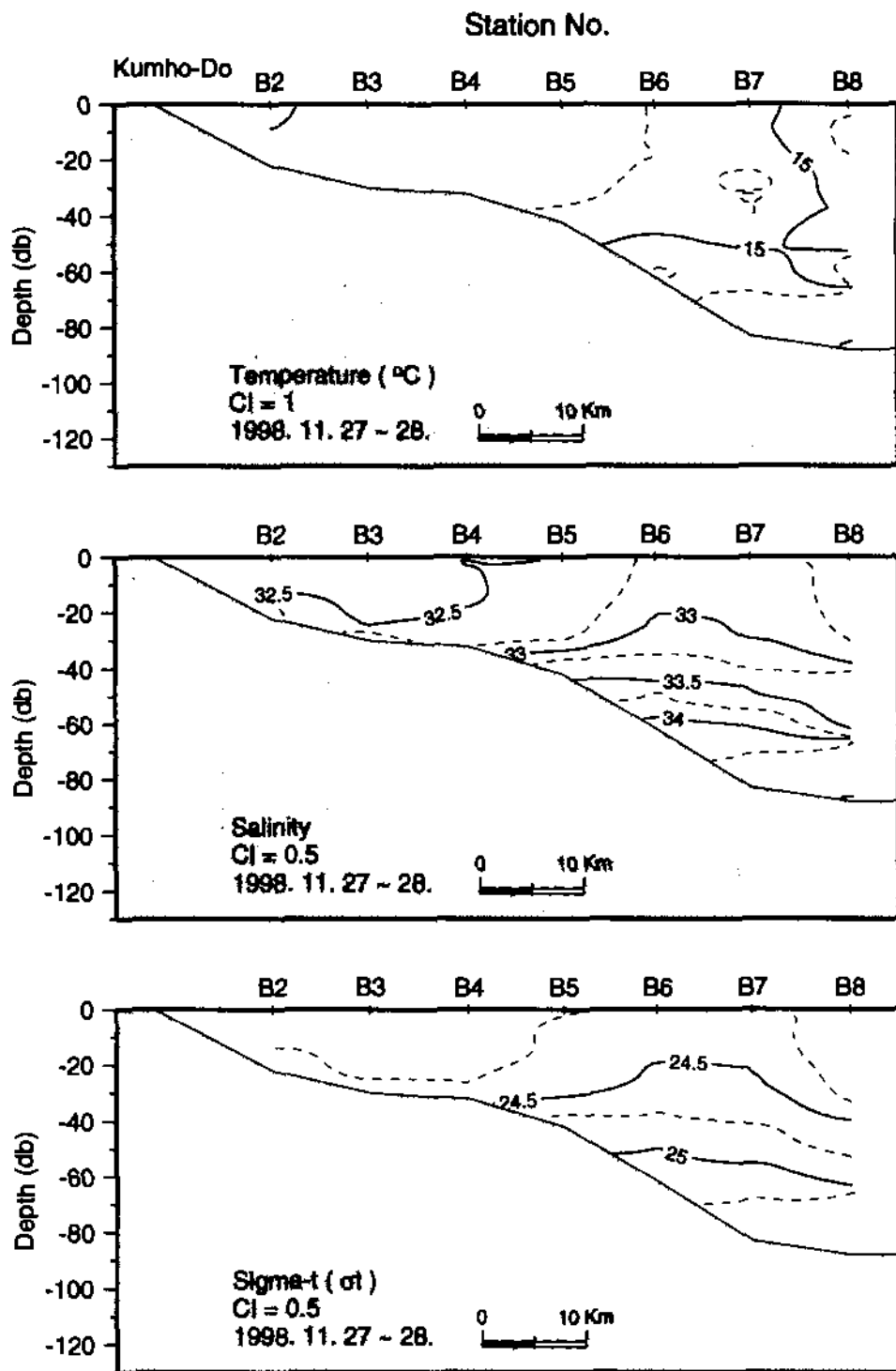


Fig. 1-33. Vertical sections of temperature, salinity and density obtained along line B obtained in November, 1998.

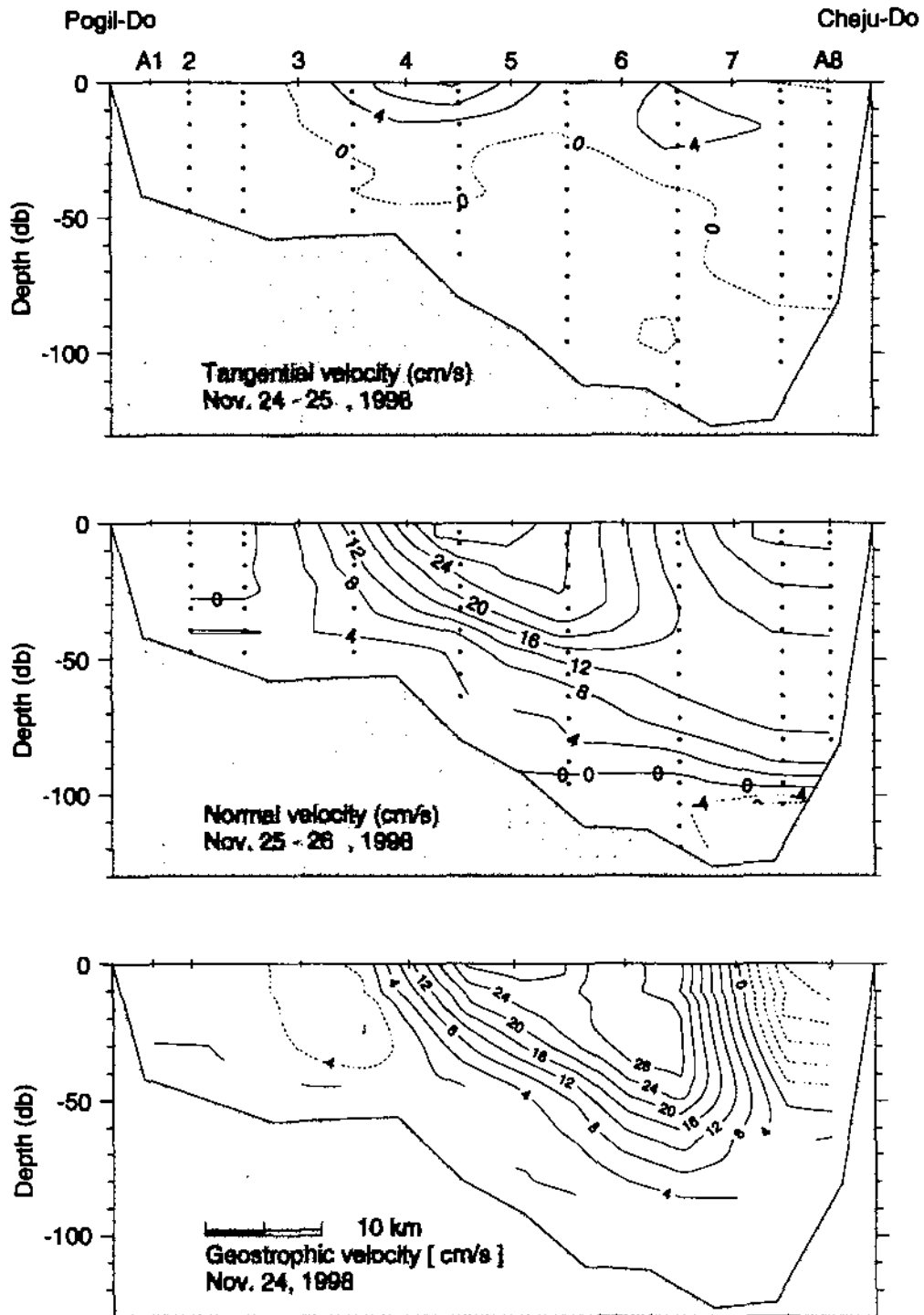


Fig. 1-34. Vertical sections of (a) north-south, and (b) east-west component of daily-mean currents along line A based on repeated ship-borne ADCP measurements that was made during November 24-25, 1988, and (c) geostrophic currents in the east-west direction based on CTD data obtained on November 24.

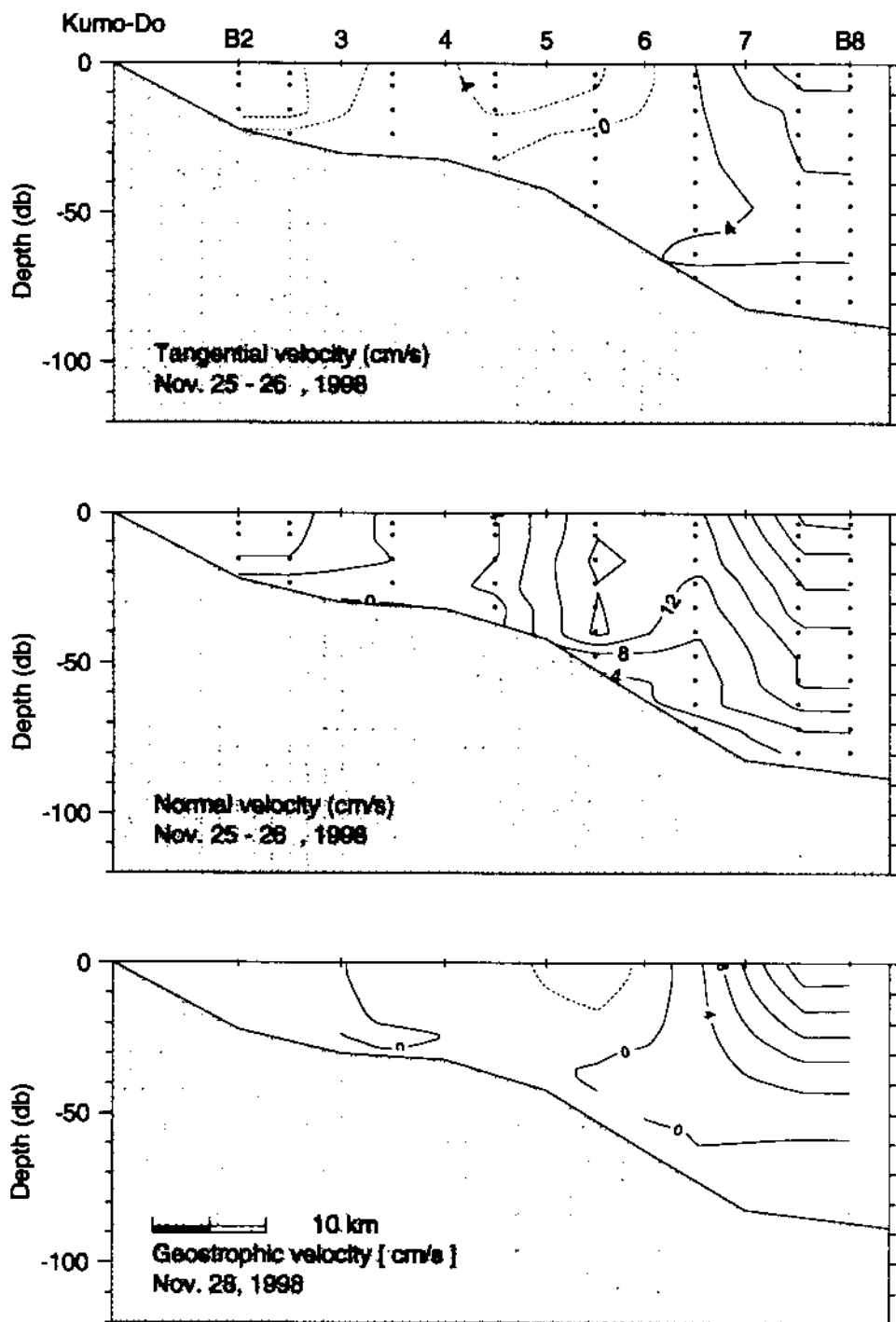


Fig. 1-35. Vertical sections of (a) north-south, and (b) east-west component of daily-mean currents along line B based on repeated ship-borne ADCP measurements that was made during November 26-27, 1988, and (c) geostrophic currents in the east-west direction based on CTD data obtained during November 27-28, 1988.



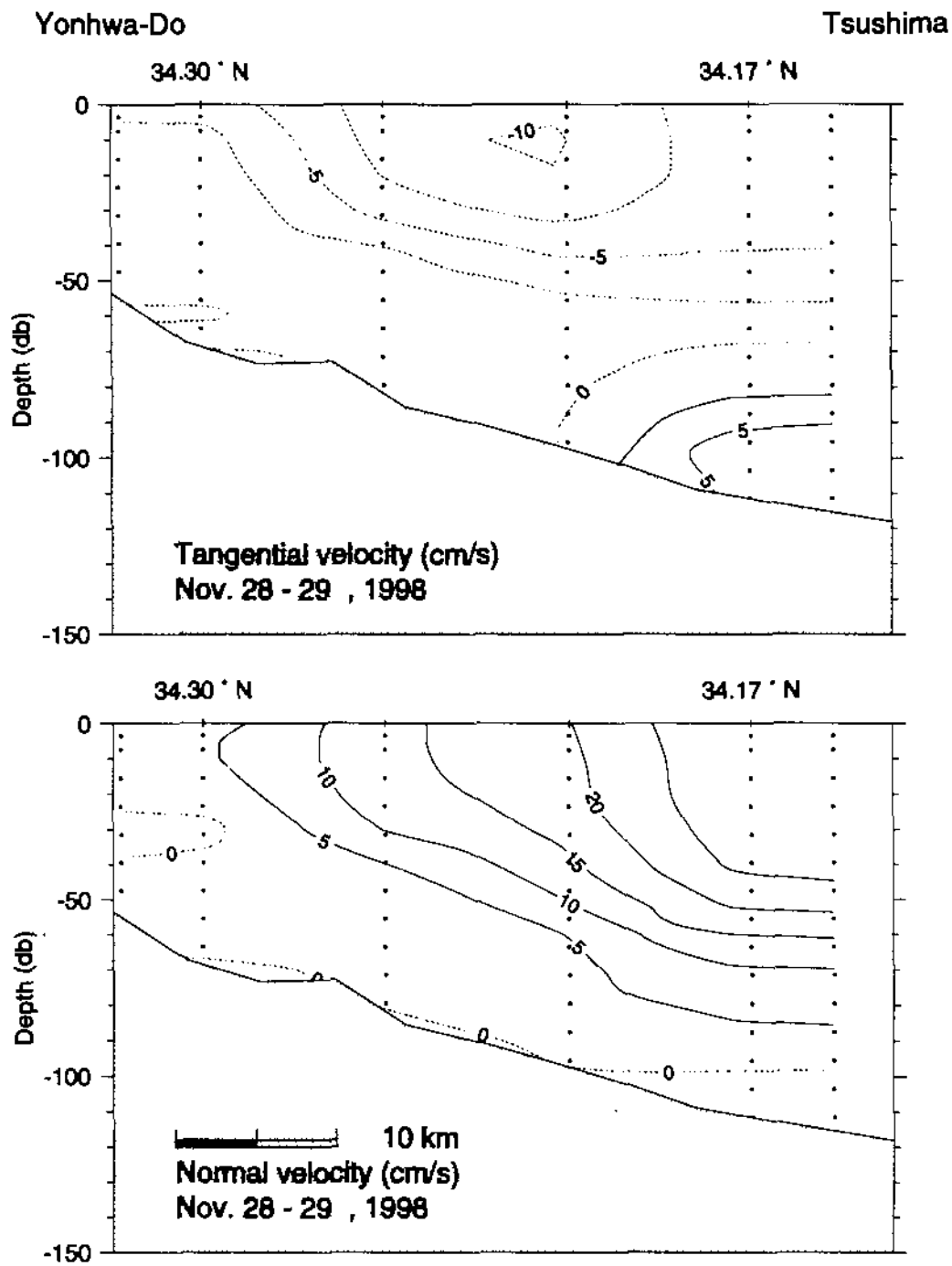


Fig. 1-36. Vertical sections of (a) north-south, and (b) east-west component of daily-mean currents along line C based on repeated ship-borne ADCP measurements that was made during November 28-29, 1988. CTD casts were not made at line C in November, 1988.

Sept. 1-30, 1998

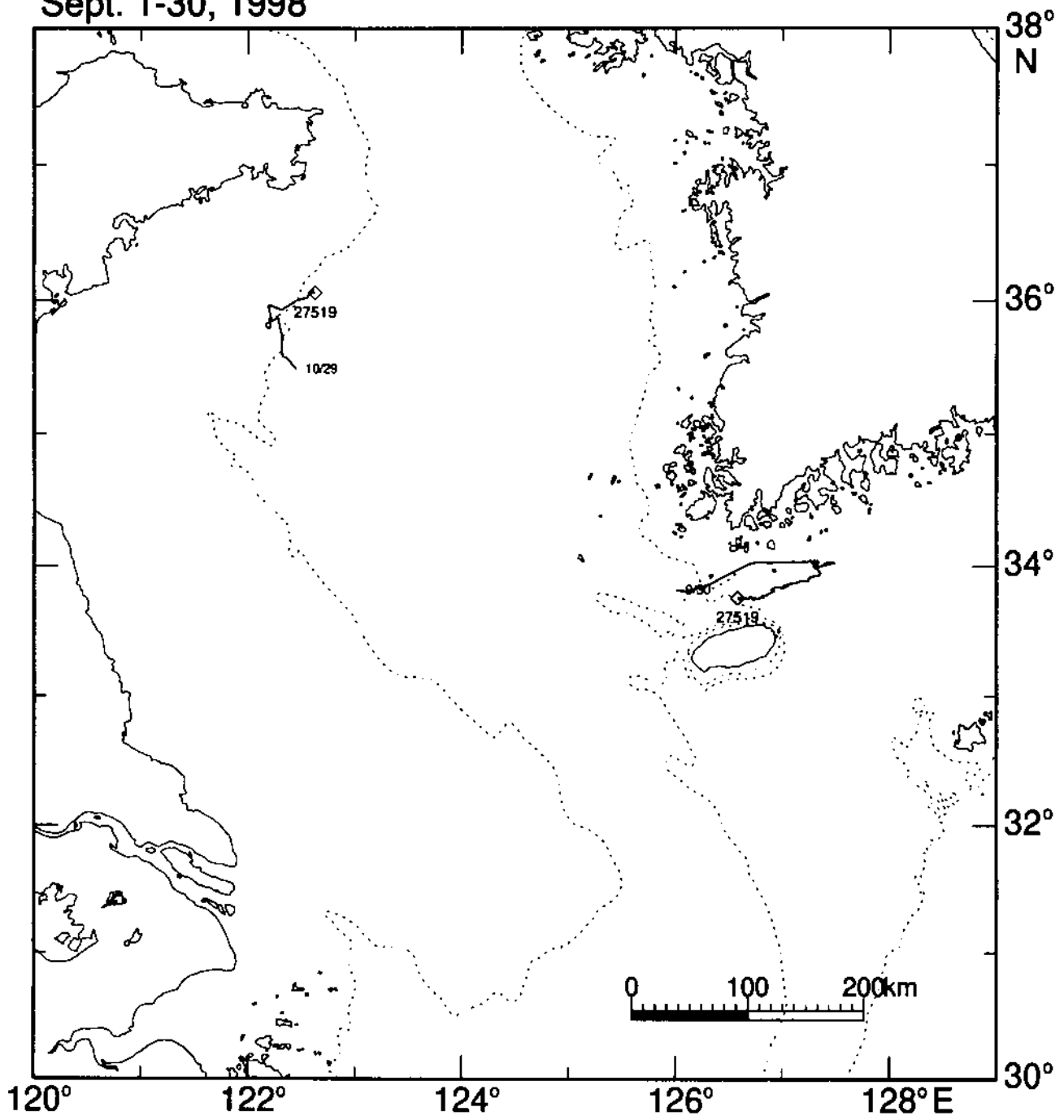


Fig. 1-37. The entire trajectory of a satellite-tracked drifter deployed in the Cheju Strait in September, 1998

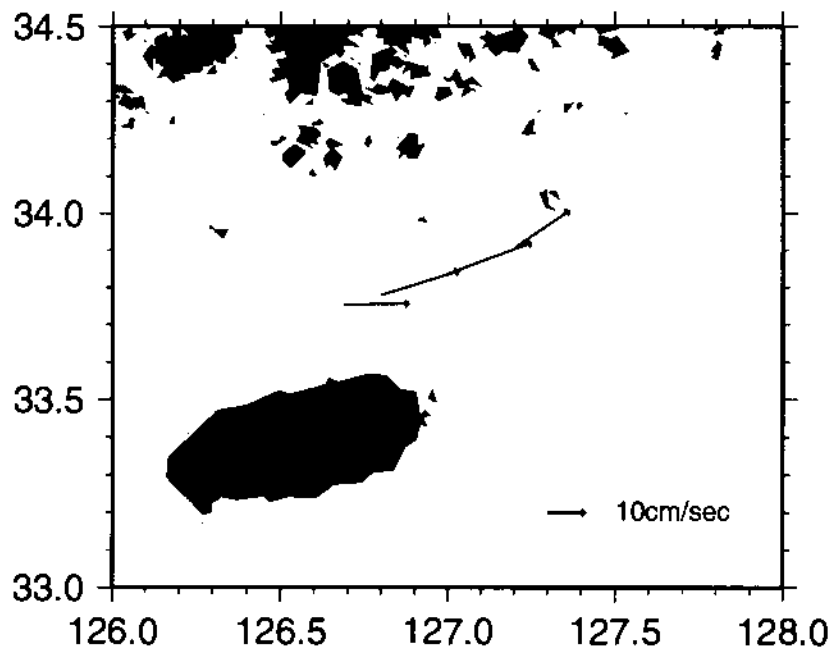
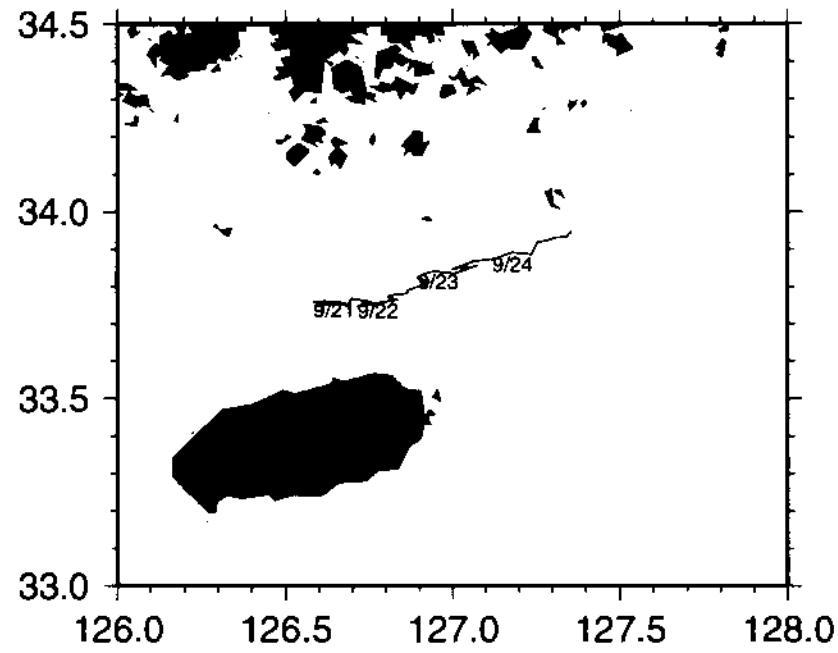


Fig. 1-38. Trajectory of a satellite-tracked drifter in the Cheju Strait before it was caught by a boat (upper panel), and daily-mean currents derived from the trajectory of the drifter (lower panel).

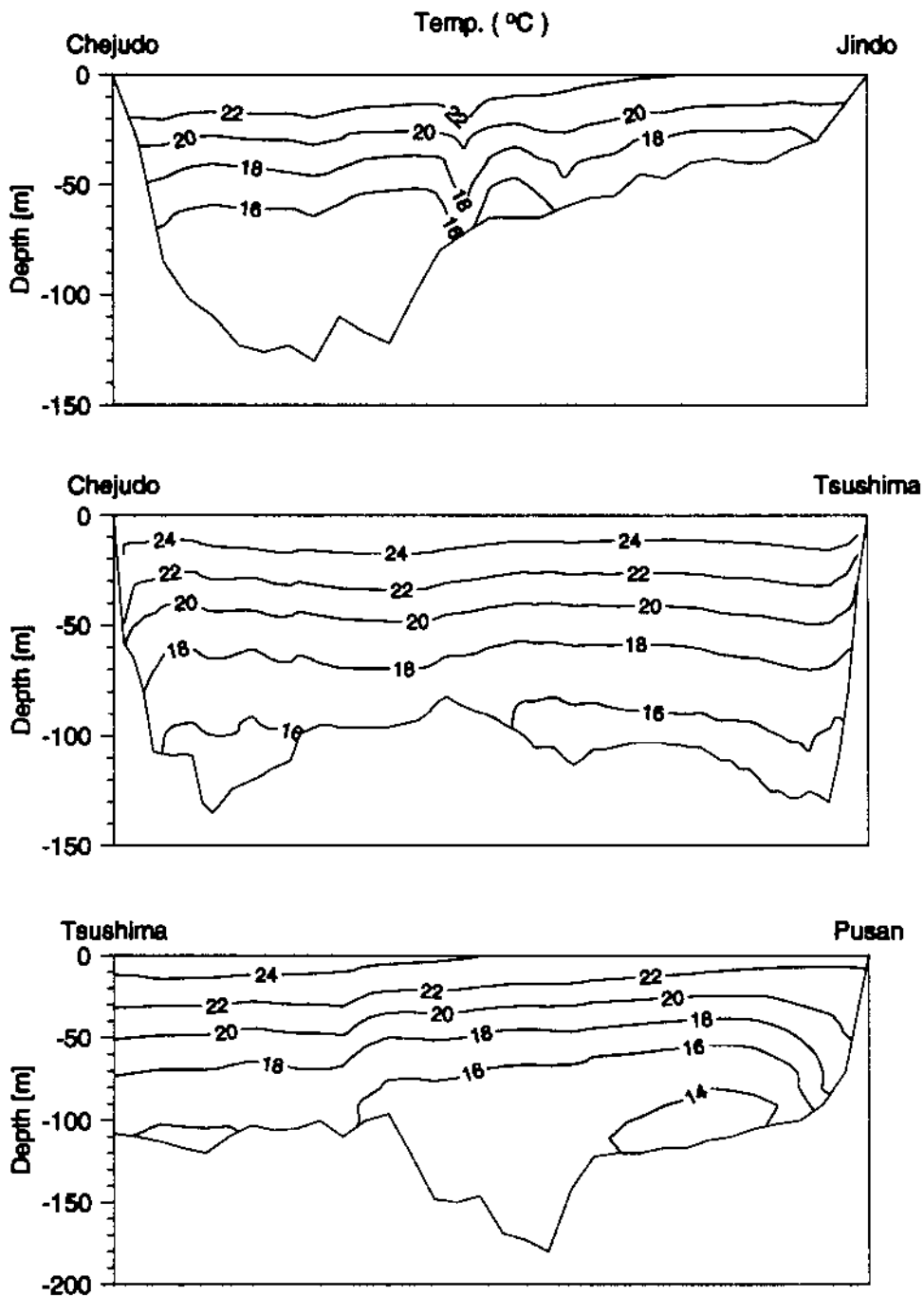


Fig. 1-39. Vertical profiles of temperature along western, southern, and eastern open boundaries of the model domain (top to bottom).

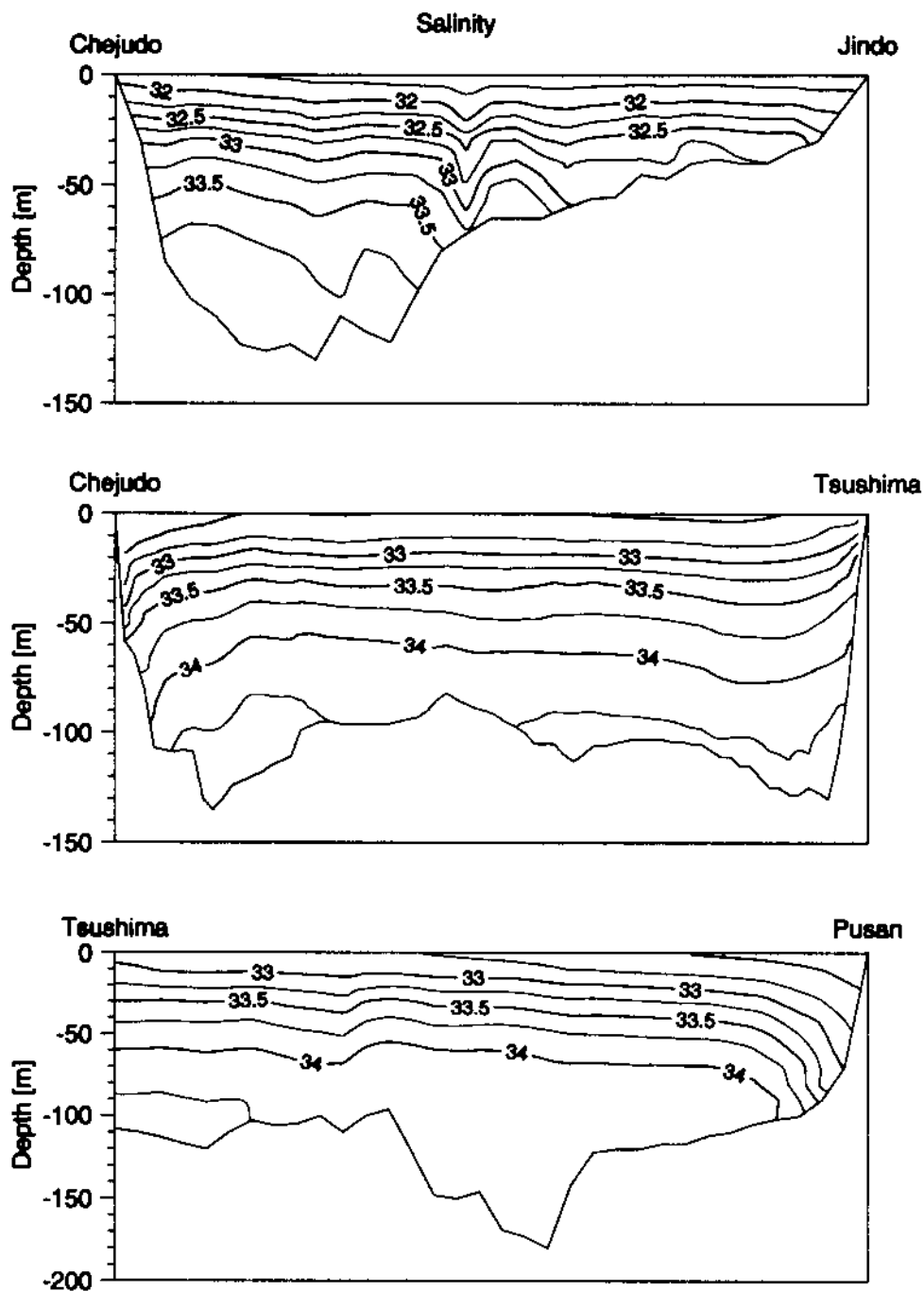


Fig. 1-40. Vertical profiles of salinity along western, southern, and eastern open boundaries of the model domain (top to bottom).

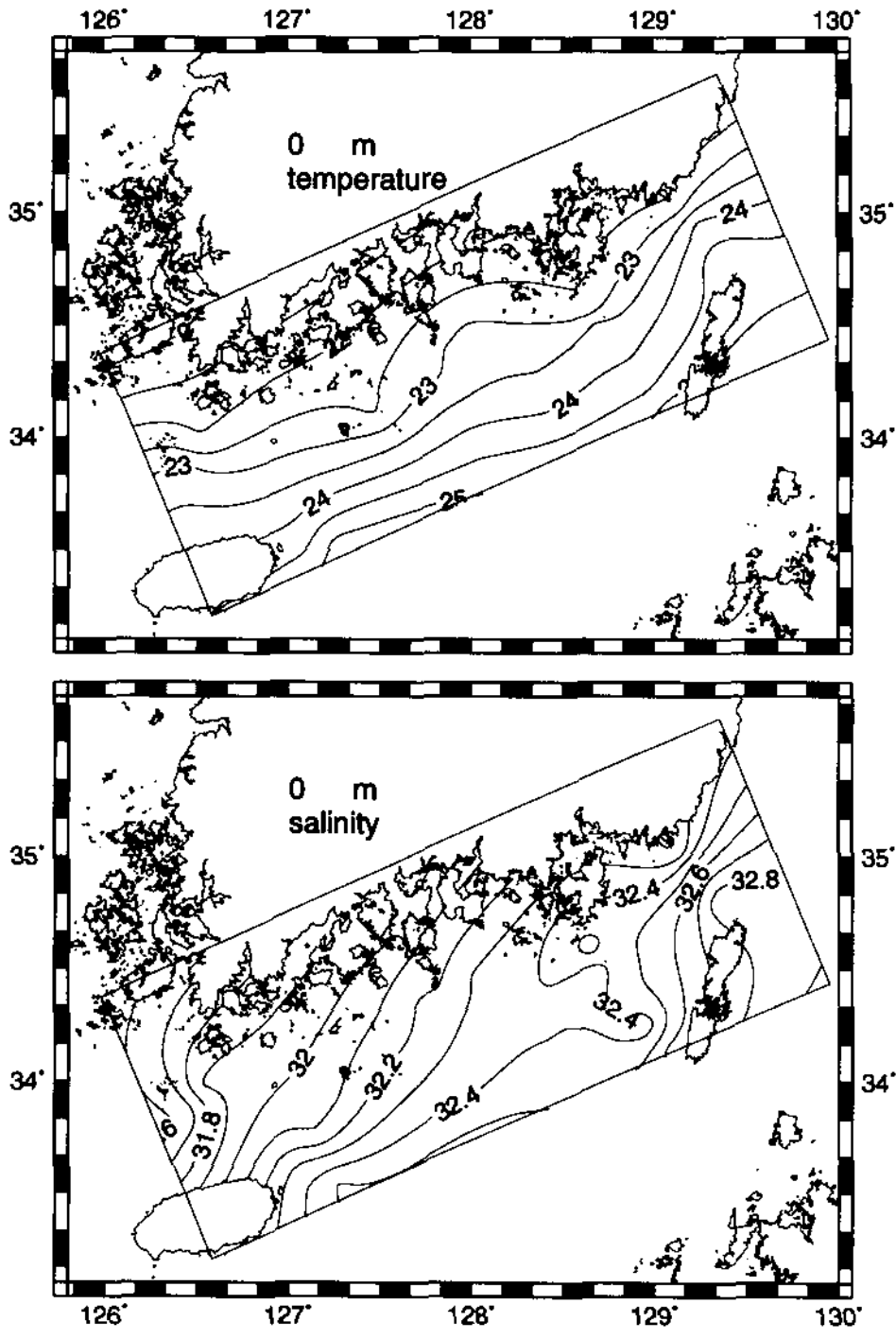


Fig. 1-41. Mean temperature and salinity at sea surface in September based on bimonthly data obtained by National Fisheries Research and Development Institute during 1968-1997.

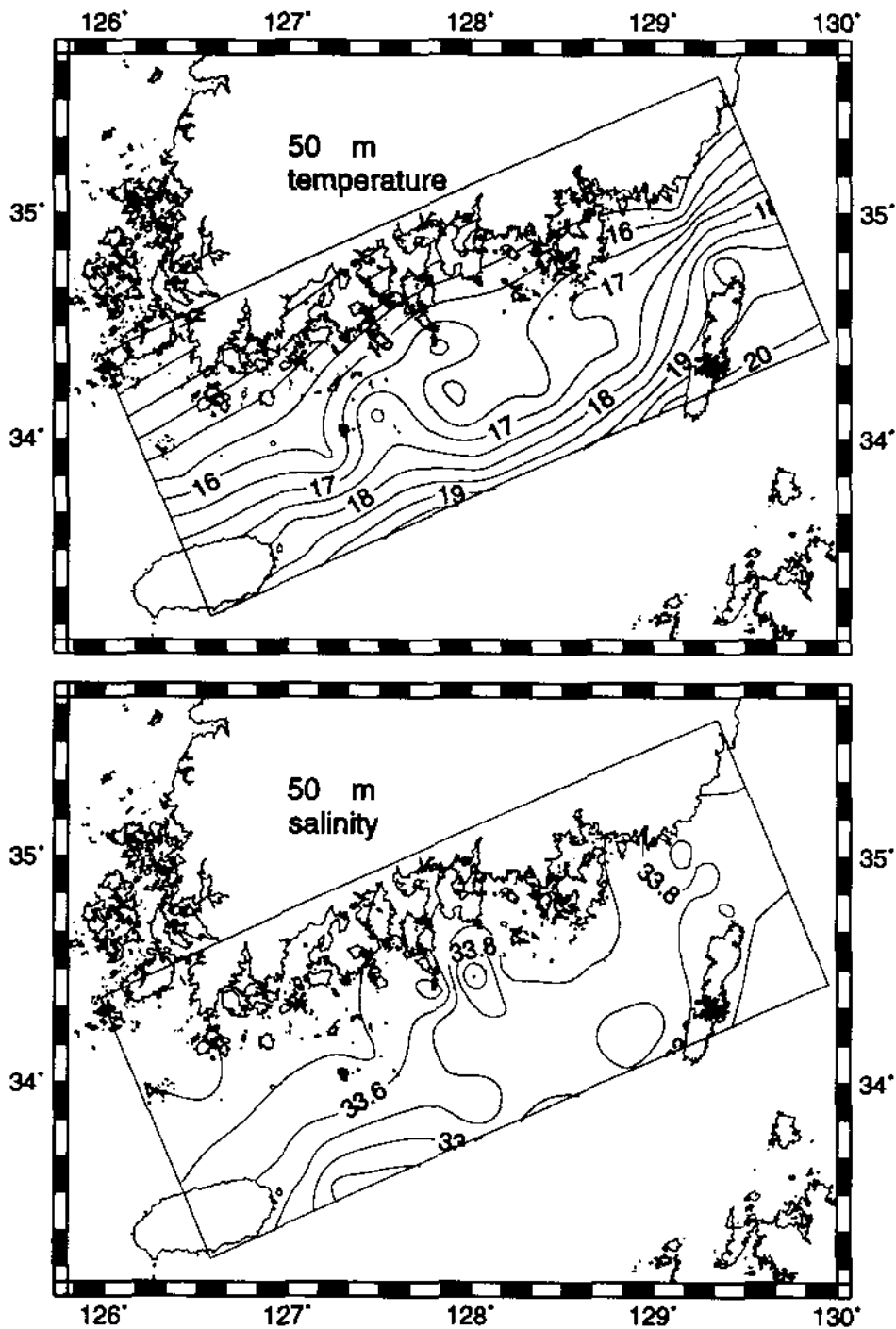


Fig. 1-42. Mean temperature and salinity at 50 m depth in September based on bimonthly data obtained by National Fisheries Research and Development Institute during 1968-1997.

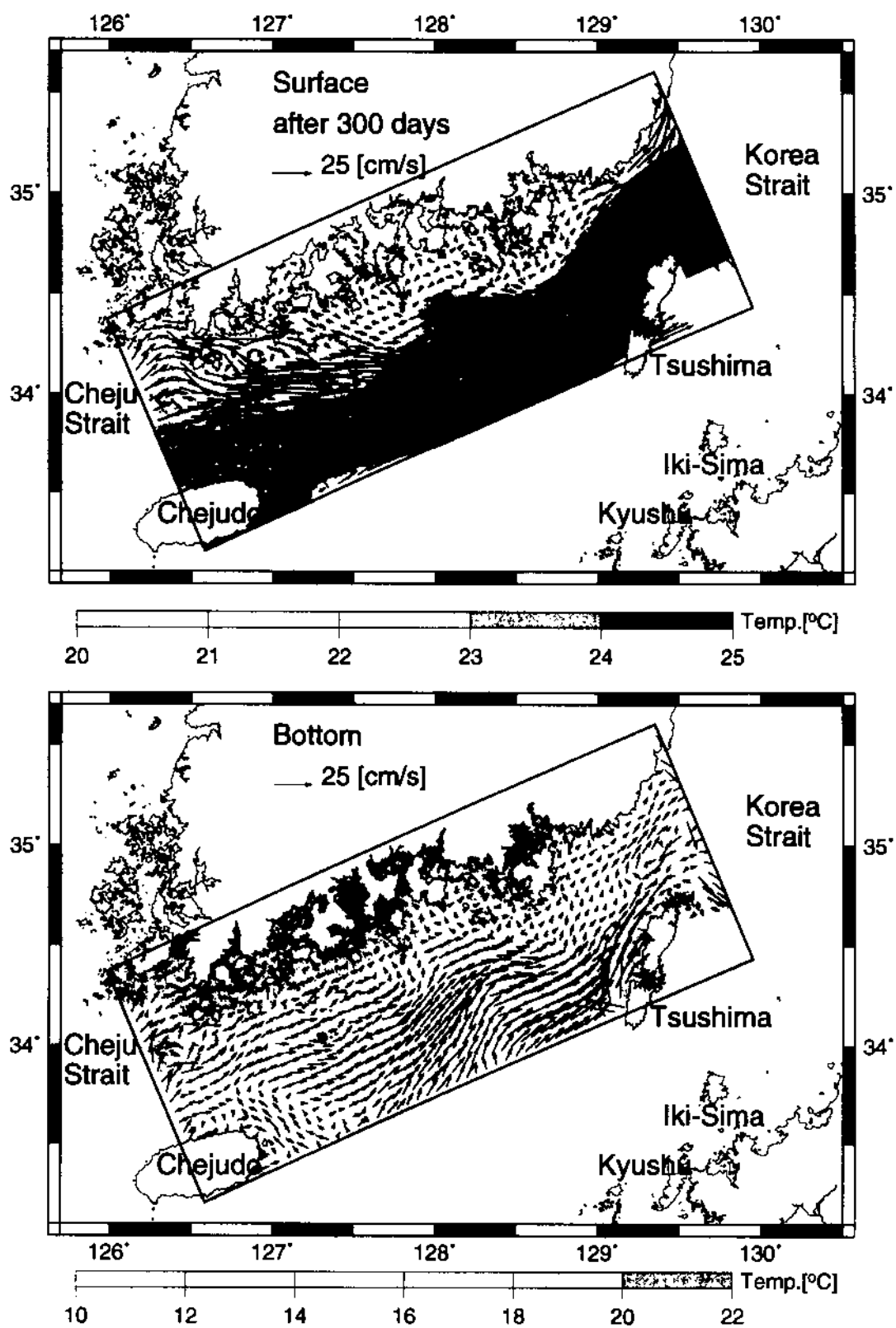


Fig. 1-43. Calculated circulation at sea surface (upper panel) and at the bottom (lower panel) in the South Sea superimposed on the distribution of the calculated distribution of temperature that was expressed as a grey-scale. All model results hereafter are steady-state ones.



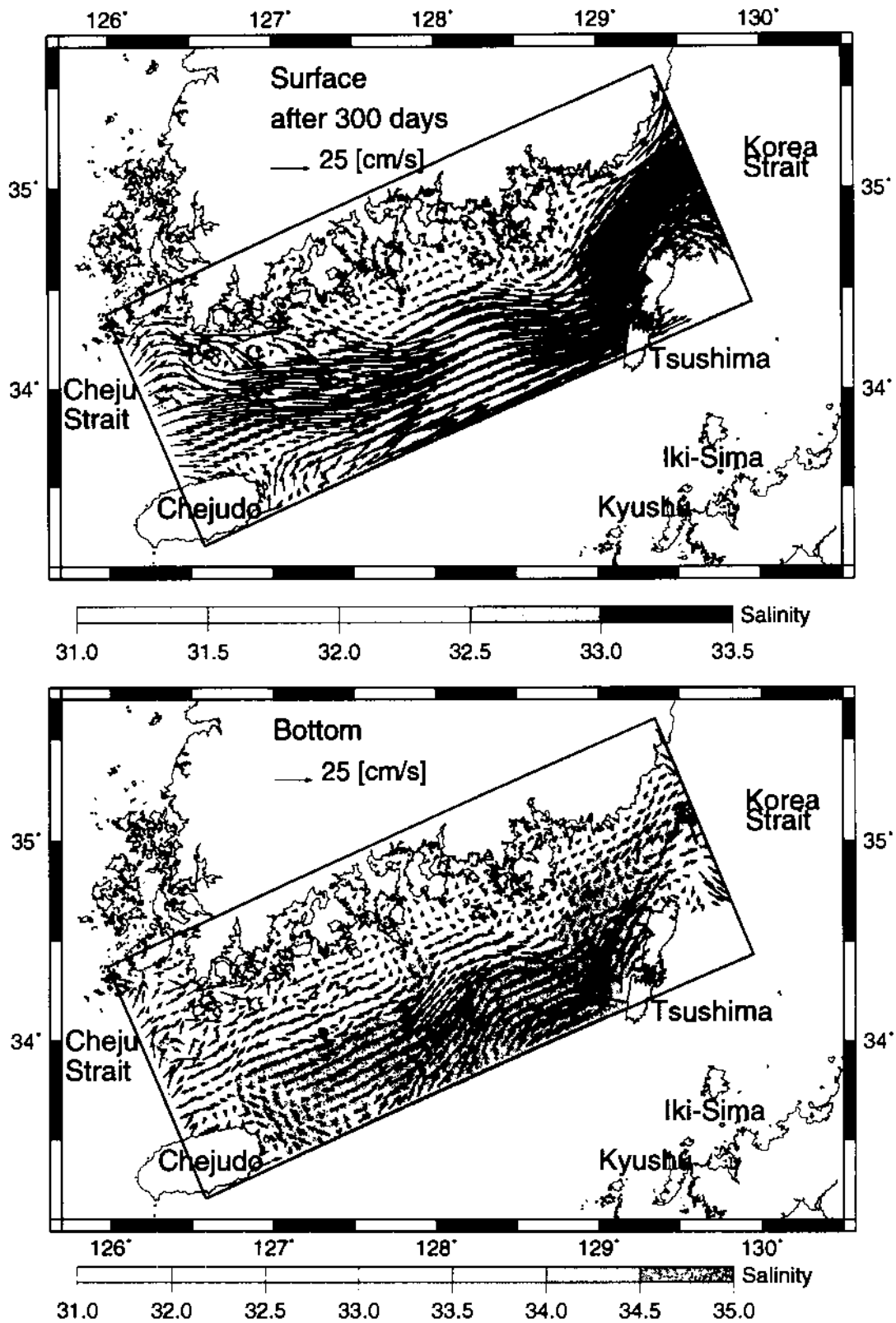


Fig. 1-44. Calculated circulation at sea surface (upper panel) and at the bottom (lower panel) in the South Sea superimposed on the distribution of the calculated distribution of salinity that was expressed as a grey-scale

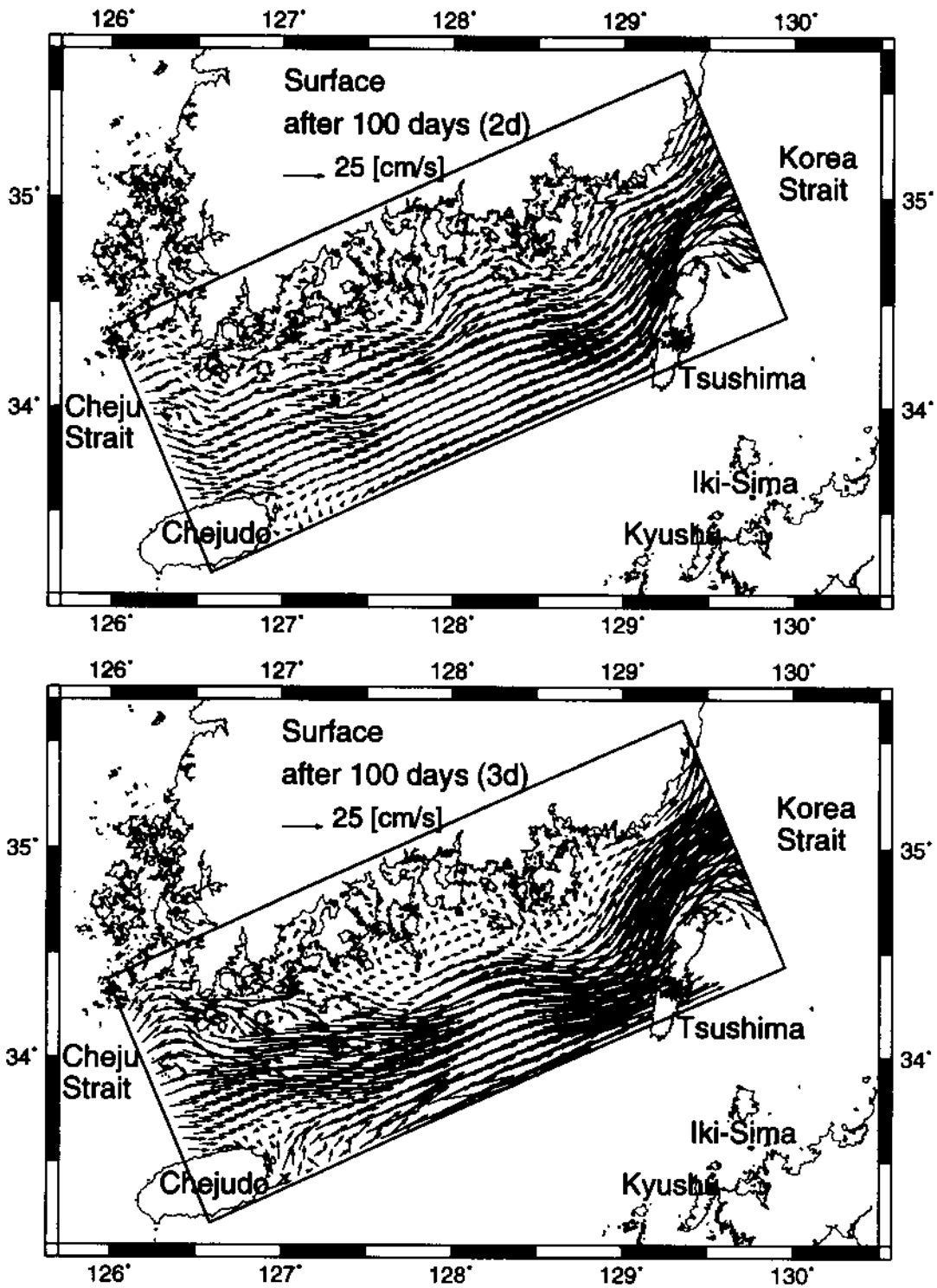


Fig. 1-45. Circulation from the 2-D model (upper panel) and surface circulation from the 3-D model (lower panel).

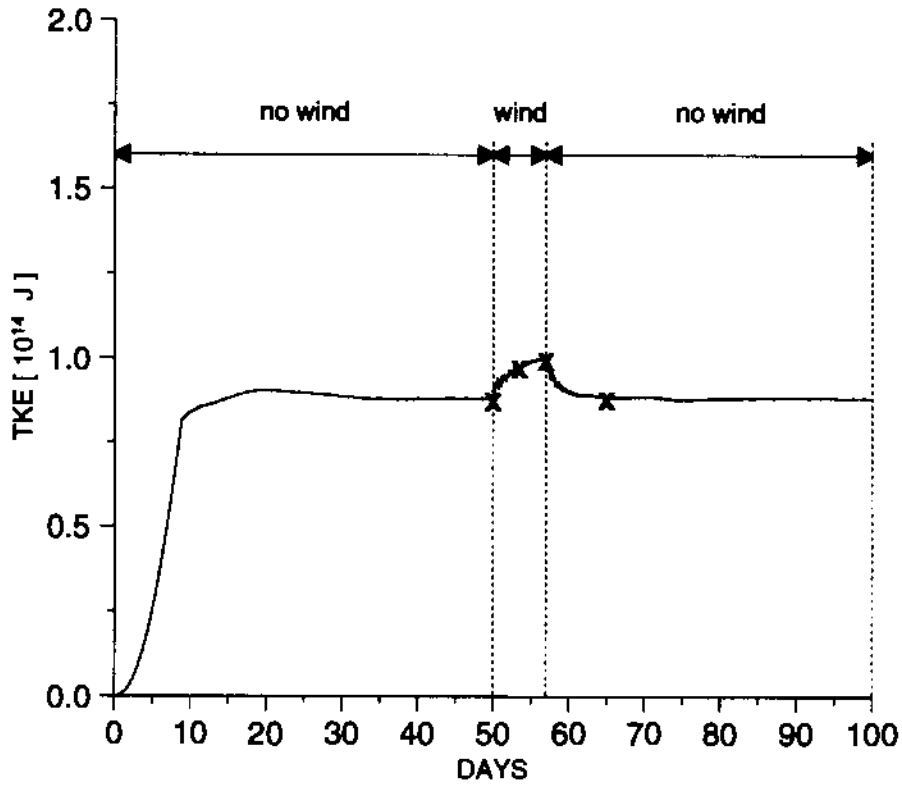


Fig. 1-46. Temporal variation of total kinetic energy for 100 days of a model run to examine the wind effect on the three-dimensional circulation of the South Sea. A constant northeasterly wind stress was imposed on the top  $\sigma$ -level for seven days from day 50 to day 57 after the model circulation with no wind forcing reached an equilibrium state. The wind stress was turned off at day 57 and the model run continued without the wind forcing until day 100. Surface circulations at times marked by  $\times$  are shown in Figs. 1-47 and 1-48.

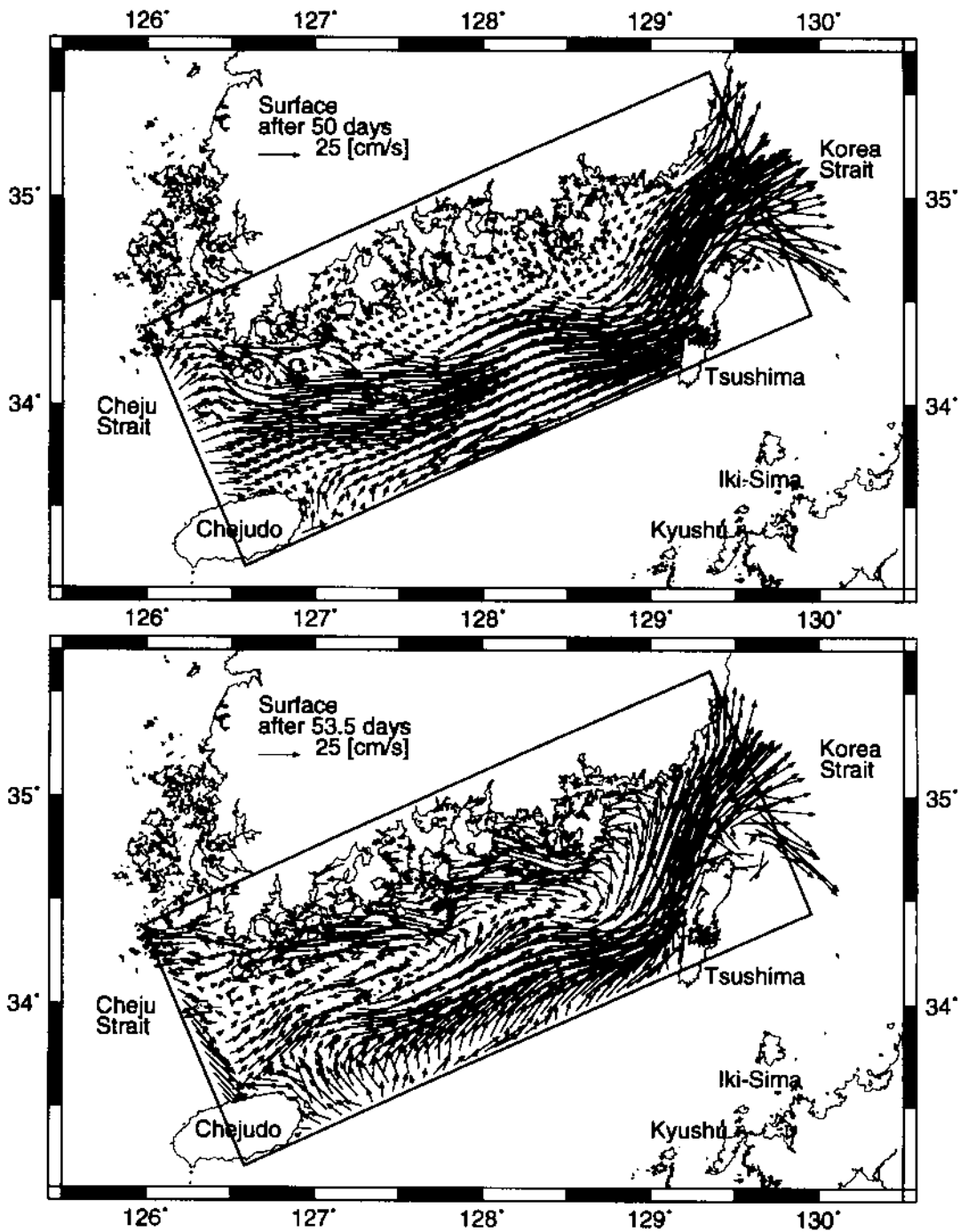


Fig. 1-47. Surface circulations at day 50 when the model circulation reached an equilibrium state with no wind forcing (upper panel), and at day 53.5 which shows the circulation at the stage of spin-up with the imposed wind stress (lower panel).

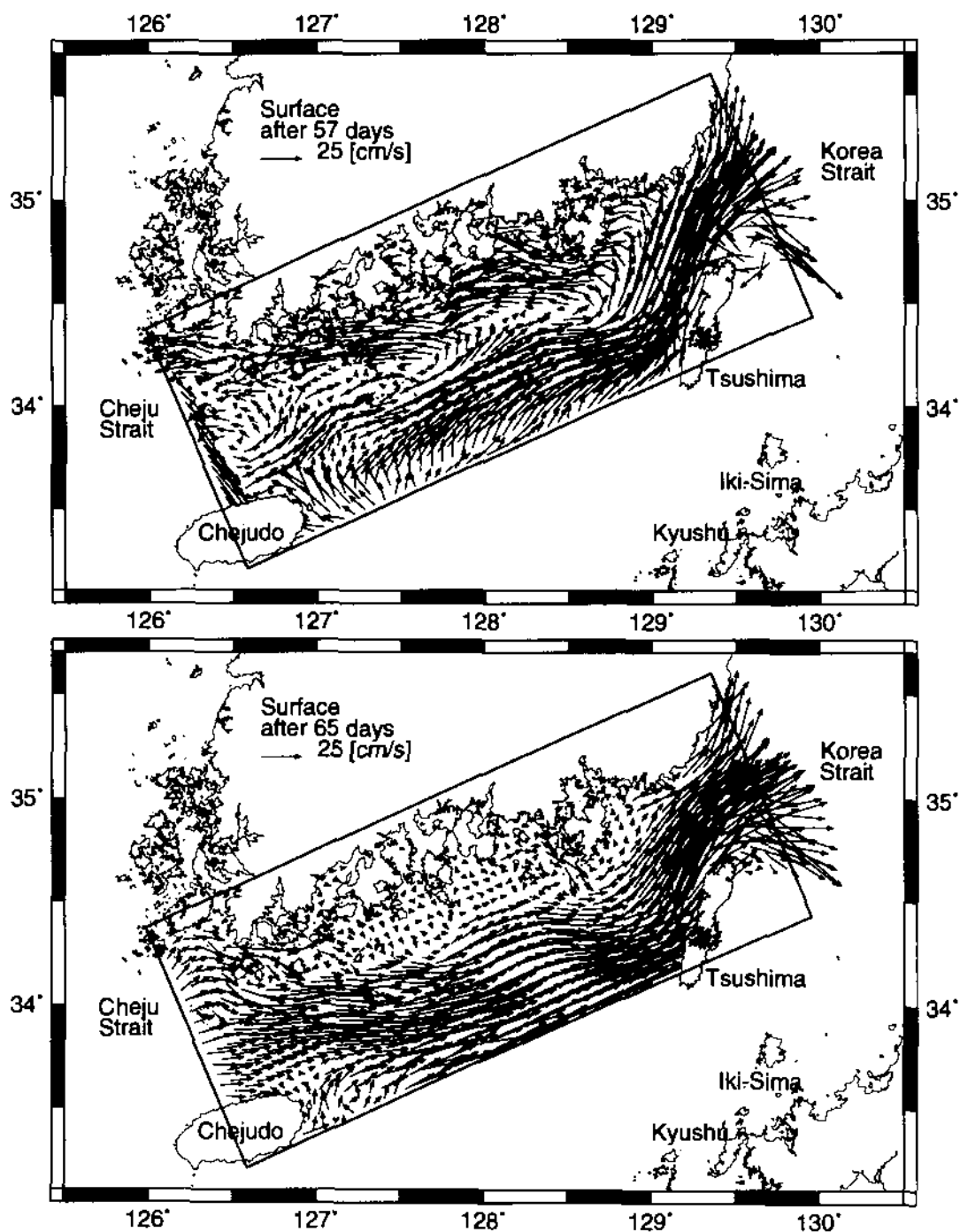


Fig. 1-48. Surface circulation at day 57 day just after the wind stress was turned off which shows a fully-developed wind-driven circulation in the coastal area (upper panel), and at day 65 day 8 days after the spin-off, which is similar to the equilibrium circulation without the wind forcing (lower panel).

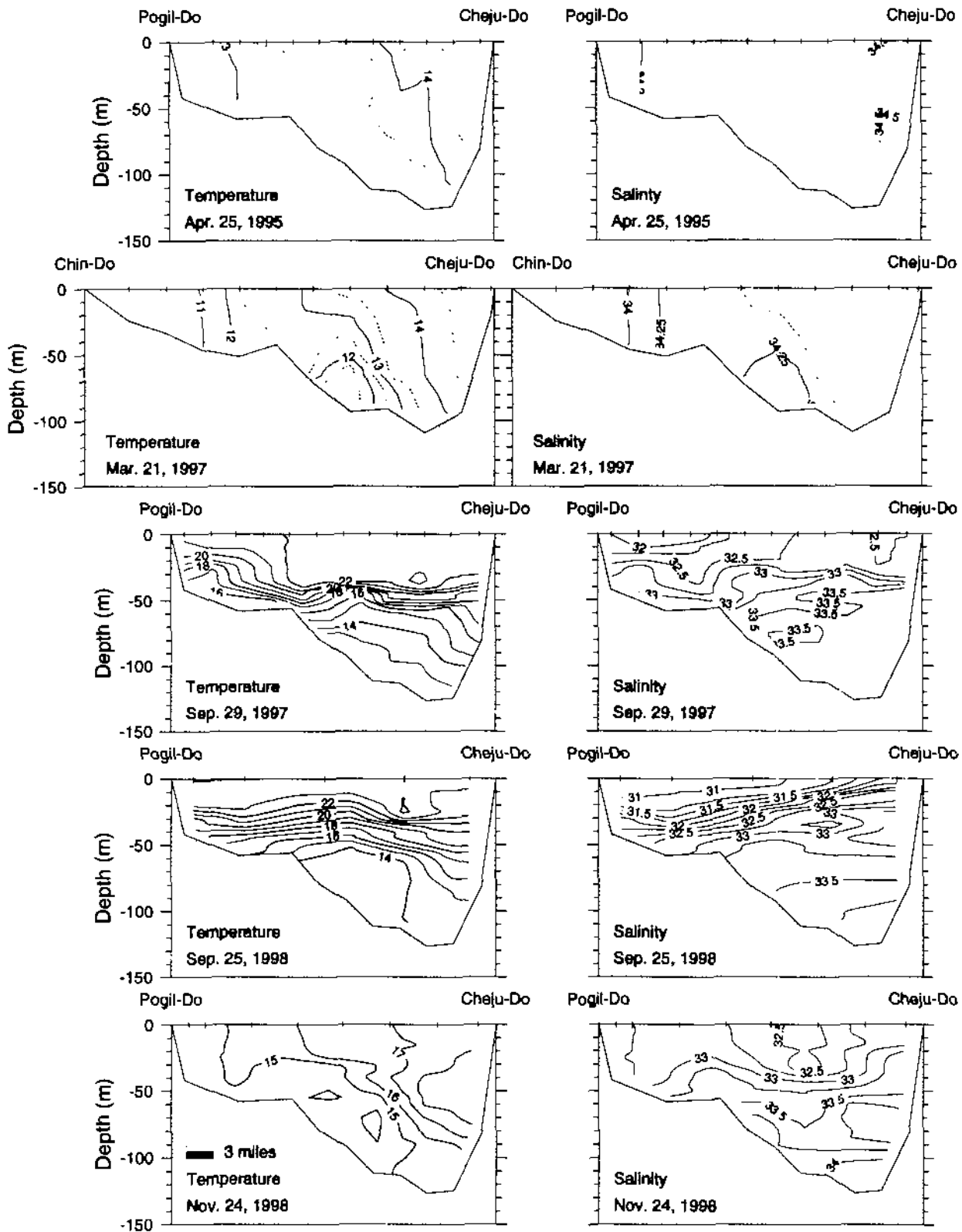


Fig. 1-49. Vertical distribution of temperature (left) and salinity (right) across the Cheju Strait based on CTD data obtained five times in the strait.

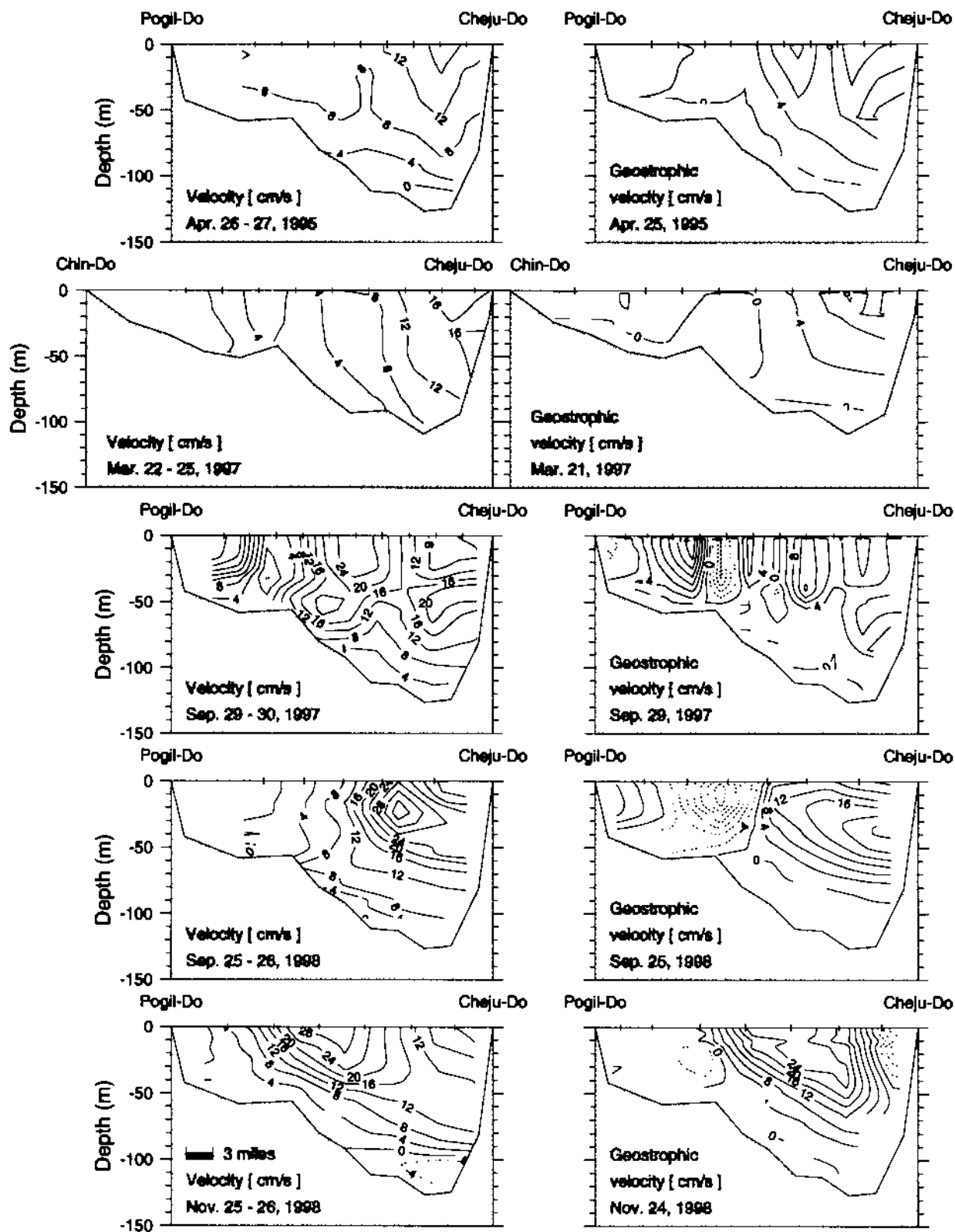


Fig. 1-50. Sectional distribution of (a) east-west component of daily-mean currents based on ADCP measurements, and (b) geostrophic currents based on CTD data simultaneously obtained in the strait.





## 제 2 절 혐기성 내만 환경

### 1. 혐기성 환경의 물리 화학 생물학적 원인

내만해역은 육상으로부터의 영양염과 용존성, 입자성 유기물질의 유입, 안정된 물리적 환경등으로 일차생산력이 높은 곳이다. 여러 과정을 거쳐 내만에 축적되는 유기물질들은 황화물, 기체질소, 용존성이 강한 환원형태의 철, 망간 등의 생물학적 생성과정을 촉진시킨다.

어느 환경내로의 산소 공급이 산소의 소비를 따라가지 못하면 산소이외의 것을 사용하는 생물에 의해 유기물이 분해되는데 이를 혐기성환경 또는 환원환경이라고 한다. 이 환경은 퇴적물뿐 아니라 유기물의 분해가 많고 산소의 공급이 잘 이루어지지 않는 저층수에서도 일어난다. 쉽게 환원되고 유기물을 쉽게 산화시키는 것은 pE가 큰 것부터 순서대로 인데 대체로 질산염, 망간 산화물, 3가의 철, 황산, 탄산의 순서대로 환원된다. +4가의 이산화망간 ( $MnO_2$ )은 질산과 같은 정도로 쉽게 환원되는데 철, 망간 등의 환원은 비생물적 반응으로 진행된다. 해양의 환원환경을 대표하는 것은 황화수소의 발생이다. 퇴적물내의 공극수는 퇴적된 후 시간이 경과됨에 따라 퇴적물내에 화학적 환경이 변화하고 이에 따라 그 구성성분도 변하는 속성작용을 받는다. 공극수에 용존하는 성분들은 퇴적물내에서 흡착과 분리, 광물의 형성, 분해와 생성, 그리고 퇴적물 내에서의 이동등 여러 작용을 거쳐 변화한다.

남해안의 내만들은 내부에서는 육상으로부터의 담수와 해수가 혼합되며 외양과의 해수교환이 일어나는 에스퀴리로 반폐쇄성 해역의 특징을 가진다. 마산 진해만은 온대해역에서 계절에 따른 성층형성의 특징을 나타내는 에스퀴리이다.

성층은 두가지 면에서 저층 무산소층의 발생을 유도하게 되는데 첫째 해수의 수직혼합을 억제하여 저층으로의 산소공급을 차단하고 또한 표층에서 플랑크톤 증식을 일으켜 이들이 저층으로 가라앉아 분해되면서 저층의 산소소비가 크게 증가하기 때문이다 (Officer et al 1984). 하구에 있어 성층의 생성은 무엇보다 지형적 형태에 우선적으로 제한을 받게 된다.

무산소층이 형성되는 진해만에서는 하계에 질산염의 농도가 0에 가깝다 (해양연구소 1983). 이는 유기물들을 분해시키는 미생물들이 산화를 위해 질산염의 산소를 소비하기 때문에 일어나는 denitrification의 결과이다. 질산염이 거의 소모되면 황산염에서 산소를 소비하는 sulphate reduction이 일어나며  $H_2S$ 를 발생시키고 이는 금속과 반응하여 표층퇴적물에 까지 검은 황화합물의 침전이 나타난다.

혐기성 내만환경의 발생은 여러 가지 원인에 의해 일어난다. 공통적인 현상은 해수의 교환이 원활하지 않은 폐쇄성 해역에서 육상으로부터의 많은 유기물질의 유입, 식물성플랑크톤의 증식 등에 의해 일어나는 것이 보통이다 (Richards 1965). 온대해역에서 계절적 수온약층에 의해 상부혼합층의 용존산소가 저층수로 충분히 공급되지 못하면 저층수에서는 유기물의 활발한 분해로 용존산소가 소모된다. 이때 유기물의 분해에 의한 용존산소 소비율이 상부혼합층 또는 다른 저층수괴로부터의 산소공급률보다 높으면 용존산소농도의 감소가 나타난다. 무산소층이 생기기 위해서는 1) 안정된 수온약층, 그리고 유동성이 적은 저층수의 조건 2) 유기물질의 축적과 침강 (단기간에 많은 물질 또는 장기간 저농도 유기물질의 지속적인 유입

효과) 등의 조건이 있어야 한다.

이러한 관점에서 혐기성 내만 환경의 발생원인은 진해만을 중심으로 기존자료를 분석하였다. 진해만은 남북방향의 길이가 약 25km 동서방향의 폭이 약 25km 정도로 매우 복잡한 지형의 형태를 이루고 있는 내만이며 작은 여러 내만을 모두 포함하는 명칭이다. 진해만의 면적은 가덕수로의 일부를 포함할 경우 637km<sup>2</sup>이며 영향을 주는 육지부의 면적은 1008 km<sup>2</sup>에 달한다. 지형적 조건에 크게 영향을 받는 곳은 마산수로 중앙부분의 깊은 골짜기를 이룬 곳으로 해수의 순환이 원활하지 못하여 무산소층이 매년 발생한다.

한국해양연구소에 의한 1979-1989 년간의 조사에서 마산내만 해역에서의 하계 저층의 수온, 염분, 용존산소, pH의 추세는 Fig. 2.1과 같다 (해양연구소 1983, 1988, 1989, 1990). 저층수에서 혐기성 환경이 진행되는 것은 연도별 변화를 보이지만 기상조건 등이 수온약층의 형성에 변화를 보이기 때문이라고 생각된다. 폭풍 등에 의해 수온약층이 일시적으로 파괴되는 경우에는 저층 퇴적물로부터 식물성 플랑크톤의 중식축진인자가 공급되어 적조발생과 저층수의 더 심한 무산소화 현상으로 연결되기도 한다. Fig. 2.2에는 1979-1989 년간 마산수로에서 하계 저층수의 수온, 염분, 용존산소, pH 등의 추세를 정리한 것으로 역시 연도별 변화를 보인다.

1979-1983년 사이의 조사결과를 보면 마산만의 돌섬주변과 마산수로에서 매년 무산소층이 발생한다. 대개의 경우 4월부터 저층의 산소가 부족해지기 시작하지만 완전한 용존산소의 고갈은 6-8월에 나타나며 나타나는 시기는 매년 약간씩의 변동을 갖는다(해양연구소 1981, 1982, 1983). 1983년 마산수로 해역 3개 정점에서의 저층수의 용존산소 포화율, 표층수의 클로로필, 표층수와 저층수의 온도차이 (delta T)를 월별 평균치로 나타내면 Fig. 2.3과 같다. 저층수의 용존산소 농도는 표층수와 수온차이가 가장 큰 7월에 최저치를 보였으며 표층의 클로로필 농도도 7월에 최고치를 보였다. 1983년 진해만 서부해역의 10개 정점평균치로 저층수의 산소소비과정을 월별로 표시하면 (Fig. 3.4) 표층수와 수온차이가 7월에 가장 큰 것은 마산수로해역과 마찬가지로 표층수의 클로로필 농도가 항상 낮은 것이 특징이다.

1983년의 조사에서 (Yang and Hong 1988) 마산만, 진해만 서부해역중 용존산소량이 2ml/l 이하로 hypoxic 조건이었던 해역은 266km<sup>2</sup>으로 연구대상해역 총 497 km<sup>2</sup>중 반 이상을 차지했다. 퇴적물중에 유기물질이 많은 해역은 마산, 행암만과 진해만서부해역 (고현성, 원문만) 등 2개 해역으로 나눌 수 있었다. Sediment organic carbon (SOC)은 1983년 마산내만에서 평균 25mg/g 이었고 진해만 서부해역에서는 평균 20mg/g 정도이나 고현성만, 원문만일부에서 30mg/g을 초과하였다. 이 곳은 용존산소가 저층에서 아주 낮았던 해역과 일치하였다. 흔히 가장 오염되었을 것이라고 생각되고 적조발생기간이 지속적인 마산만, 행암만은 저층퇴적물의 유기물이 진해만 서부해역보다도 적었다. 퇴적물중의 Pheophytin 함량은 표층수의 식물성 플랑크톤의 잔해에 영향을 받는데 마산만에서는 20µg/g을 넘었고 진해만 서부의 고현성만에서는 평균 16µg/g 이었다.

마산만에서는 C/N 비가 9 정도로 높아 이 지역은 육상기인의 유기물이 많이 퇴적되는 것으로 보여진다. 그 외에도 행암만 안쪽, 진동만 안쪽 등에서 C/N비가 높았다. C/N 비율은 연안퇴적물에서 8~12 이고 식물성 플랑크톤중에는 3-9로 알려져 있다 (Meybeck 1982).

마산만과 진해만서부해역은 하계에 다같이 빈산소환경이 발생하나 그 발생구조에서는 상당한 차이를 보인다. 마산만은 육상으로 부터의 유기물 유입도 많고 적조

의 지속적인 발생등 년중 표층수의 식물성플랑크톤 성장이 매우 활발한 곳이다. 반면 진해만 서부해역은 표층수의 클로로필 농도가 대체로 1-3 $\mu\text{g}/\ell$  정도로 낮으나 퇴적물에는 많은 유기물질이 축적되고 하계에 이들 물질의 분해에 의해 용존산소가 소비되고  $\text{CO}_2$  발생증가에 따라 pH가 감소한다.

진해만에서 1993년 조사된 입자상태의 유기탄소, 질소, 인의 농도는 각각 198~4416  $\mu\text{gC}/\ell$ , 24~792  $\mu\text{gN}/\ell$ , 4.50~69.00  $\mu\text{gP}/\ell$ 였다 (Lee et al, 1994). 입자유기물 농도는 식물성 플랑크톤의 성장과 밀접한 관계에 있는 것으로 보인다. 하계에는 높은 POC/PP PON/PP비율을 보여 과다한 질소계 영양염이 육상으로 부터 공급되어 인이 식물성 플랑크톤의 제한요인으로 작용한다. 1983년 마산만의 조사에서는 표층수중의 POC가 2000  $\mu\text{g}/\ell$  정도로 높게 측정된 바 있다. 그리고 클로로필은 60 $\mu\text{g}/\ell$ 를 넘었다. 해양에서 입자성유기물과 클로로필 a 농도 비율은 (POC/Chl a) 비율은 해역에 따라 많은 차이를 보이는 것이 보통이다. Lorenzen(1968)은 이 비율을 25-50정도로 보고한바 있는데 이를 감안하면 당시 표층수중의 입자성 유기물질의 대부분이 식물성플랑크톤에 의한 것이라고 생각 할 수 있다.

진해만 서부해역에서는 클로로필a 농도가 낮지만 이는 반드시 일차생산이 적은 것을 의미하는 것은 아니다. 높은 일차생산성과 효과적인 grazing이 coupling된다면 높은 생산성에도 불구하고 현존량은 적을 수 있다. 이 해역에서는 패류의 양식장이 밀집해 있으며 이들 배설물이 유기물의 퇴적량을 증가시킬수 있을 것으로 보인다. Pheopigments는 여러종류의 초식성 생물에 의해 생성되며 크기가 큰 macrozooplankton에 의해 취해진 엽록소는 fecal pellets에 쌓여 침강하므로 체류시간이 짧다 (Lorenzen and Welschmeyer 1983). 마산만에서는 이러한 fecal pellets의 침강이 적을 것으로 생각되는데 양식활동이 적으며 주요 grazers는 동물성플랑크톤으로 배설물의 크기가 작기 때문일 것이다. 진해만 서부해역에서는 양식 패류에 의해 생성된 큰 입자들이 퇴적한다. 진해만 서부해역에서의 평균 조류속도는 5~10cm로 약하다 (해양연구소 1981). Sawada and Taniguchi(1969)에 의하면 입자의 침강속도가 1cm/sec 이고 해류속도가 3~5cm정도 일 때 입자는 그 기원으로부터 가까운 30~50m이내에 퇴적된다고 한다.

1989년 8월 이를 확인하기 위한 실험에서 퇴적물 트랩을 계류하였는데 마산내만에서 아미노산 기준으로 유기물 퇴적률이 264  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 로 표층에서 생성되는 아미노산의 6.8%만이 저층에 이르고 있었다(해양연구소 1990). 그러나 고현성만의 경우에는 95  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 였는데 표층에서 생성된 아미노산 기준으로 50.8%가 저층에 도달 하였다. 이러한 침강비율의 차이는 고현성만등 진해만 서부해역에서는 양식활동이 활발하여 패류의 입자가 큰 배설물이 침강하기 때문이라고 생각된다. 마산만의 경우 표층수의 흐름이 빠르기 때문에 유기물이 저층수에 까지 전달되는 양은 많지 않을 것으로 보인다.

1981년에 마산수로의 정점에서 월별로 저층수의 용존산소농도에서 산소소비율을 계산해보면 0.068  $\text{mlO}_2/\ell/\text{day}$ 였다. 표층수중의 용존산소가 계속 수은약층 아래로 공급되기 때문에 실제 유기물의 분해에 의한 산소소비율은 이보다 더 클 것이다.

저층수 및 퇴적물의 산소소비율을 측정하기 위해 많은 연구가 있어왔는데 (Rowe et al 1975 ; Christensen 1983) 직접측정에는 많은 어려움이 따르기 때문에 박테리아등 생물의 Electron Transport System (ETS) 활동도의 측정에 의해 호흡에 의한 산소소비율 (respiratory oxygen consumption)을 간접적으로 계산하

기도 한다 (Christensen and Packard, 1976 ; Kenner and Ahmed 1975 ; Packard 1985). 1987년 마산내만 돌섬옆의 정점에서 ETS활동도를 이용하여 측정된 저층수에서의 생물 호흡에 의한 용존산소 소비율은  $442\text{mlO}_2/\ell/\text{day}$ 였다(해양연구소 1986). 퇴적물에 의한 산소소비율을 ETS로부터 측정한 결과는  $138\sim 197\text{mlO}_2/\ell/\text{day}$ 였으며 대기를 통한 산소공급률을 감안하여 무산소 현상이 발생하는 시점을 예측할 수 있었다. 1989년 마산만에서 같은 방법으로 측정된 저층수에서의 호흡에 의한 산소소비율은  $1320\text{mlO}_2/\ell/\text{day}$ 였다.

진해만의 해수교환은 대부분 가덕 수로를 통해 이루어 지기 때문에 만의 수괴구조는 가덕수로에서 유입되는 해수에 의해 크게 영향을 받는다. 또한 하계에는 마산만 주변하천에서 유출되는 하천수의 유량이 만내의 수괴구조에 상당한 영향을 미치고 있다. 진해만의 해수유동은 주로 조석운동에 의하여 야기되는 조류이며 이러한 해수유동 현상을 규명하기 위한 노력이 수치모델을 사용하여 시도되어 왔다 (환경처, 1991). 외해와의 해수교환은 대부분 가덕 수도를 통하여 이루어 지며 견내량을 통한 해수교환은 거의 무시할 정도라고 한다. 진해만 용존산소 분포는 천해전선의 형성과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되며 저산소 및 무산소 수괴는 해수유동이 약하고 양식장이 밀집해 있는 진해만의 서부해역과 육지에서 오폐수의 유입량이 많은 부도의 북쪽해역에서 나타난다. 김과 이 (1994)는 진해만 저산소수괴의 형성은 오염원, 조차, 기상요인, 생물작용등 여러 가지 요인이 있겠지만  $M_2$ 조류의 진폭이 약  $20\text{cm/sec}$ 이하 및  $\log(H/U^3)$ 의 값이 약 3.5 이상에서 형성된다고 보고한바 있다.

## 2. 중금속 원소의 거동

### 2.1. 조사방법

광양만 및 가락만에 대한 현장조사는 1997년 8월, 11월, 1998년 2월, 5월에 실시하였다. 조사정점의 위치는 Fig. 2-5 및 Fig. 2-6에 표시하였다.

중금속 분석용 해수 시료는 미리 산으로 세척된 1/들이 고밀도 폴리에틸렌 병을 약 6m길이 PVC 막대에 플라스틱관(Tygon Tubing)을 사용하여 매달아 약 1~2노트로 항해하는 동안 병입구를 수면보다 20~30cm 깊이 넣어 채취하였다 (Boyle *et al.*, 1981). 그러나 PVC 막대를 이용한 채취가 불가능한 경우에는 폴리카보네이트 Holder에 시수병을 플라스틱관으로 고정시켜 선수에서 해수의 흐름을 파악한 후 오염이 되지 않게 채취하였다. 채취된 시료는 먼지가 묻지 않도록 폴리에틸렌 필름으로 포장하였으며, 시료는 Clean Bench내에서 산으로 세척된  $0.4\mu\text{m}$  Nuclepore filter로 여과하여 여과액 500ml에 중류된 염산 (6N) 2ml를 가한 다음 분석 때까지 상온에서 보관하였다. 용존성 중금속 분석은 여과된 시료를 APDC-DDTC-Freon 용매추출법으로 50배 농축한 후 비불꽃원자흡수분광기를 이용하여 측정하였다 (Danielsson *et al.*, 1978). 각 원소의 측정 흡수파장은 Cd 228.8nm, Cu 324.8nm, Pb 283.3nm, Zn 213.9nm였다. 부유물질중의 중금속은 해수를 여과한 후 여과지는 digestion 과정 (Windom and Smith., 1991)을 거쳐  $0.4\mu\text{m}$  이상의 부유 물질중 입자성 중금속을 측정하였다. 부유 물질을 함유한 여과지를 테프론 분해용기에 넣고 질산 2.5 ml, 불산 200  $\mu\text{l}$ 를 가하여 150  $^{\circ}\text{C}$  에서 분해 후 증발 건조 시켰다. 여

기에 1% 질산 5 ml를 넣고 뚜껑을 닫고 낮은 온도에서 약 2시간 재환류 시킨 후 상온으로 냉각시켰으며 이상의 분해과정은 Class-100 청결벤취 속에서 행하였다. 카드뮴 (Cd), 코발트(Co), 구리 (Cu), 니켈 (Ni), 납 (Pb), 아연 (Zn)은 ICP-MS로, 철 (Fe)은 비블꽃 원자흡광분광기를 이용하여 측정하였다. 한편 입자성 중금속 측정의 정확도를 검증하기 위해 NRC의 Marine sediment 표준물질 MESS-2도 함께 처리하여 측정하였다.

퇴적물중의 중금속은 퇴적물을 동결 건조시킨 후 퇴적물에 섞여있는 폐각들을 제거한 다음 200mesh 나일론체를 통과하도록 Agate mortar로 분쇄하였다. 분쇄된 시료 0.2g을 100ml PFA 테프론 비커에 넣고 Teflon distilled HF 6ml, Teflon distilled HNO<sub>3</sub> 3ml를 각각 가하여 2시간이상 실온에 둔 다음 Suprapur HClO<sub>4</sub> 2ml를 가한 후 테프론 뚜껑을 덮고 가열판에서 160℃로 가열하여 완전히 증발진고시켰다. 이때 시료는 흰색 또는 옅은 노란색을 나타내게 되며, 그렇지 않은 시료에 대해서는 위과정을 한번 더 반복하여 시료를 완전히 용해시켰다. 여기에 1% HNO<sub>3</sub>를 가해 비커내의 잔사를 녹여 10ml로 맞추었다. 한편 퇴적물의 중금속분석 정확도를 검증하기 위하여 NRC의 Marine sediment 표준물질 MESS-2도 함께 처리 분석하였다. 이상과 같이 처리된 시료 용액은 1% HNO<sub>3</sub>를 가하여 총 회석배수 1,000으로 하여 Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb 등 8개 원소를 ICP-MS (VG Element, PQ II+)로 측정하였다.

TIMS (Termal ioniaztion mass spectrometer) 모델 VG Sector 54-30, TIMS는 분리된 원소나 분자를 고체 시료의 형태로 금속 필라멘트 위에 얹은 후 여기에 전류를 통해줄 때 방출되는 이온을 질량분석하여 Pb 동위원소를 측정했다. 위 측정기기의 운용은 기초과학 지원연구소에 의뢰했다.

## 2.2. 광양만의 용존성 중금속

광양만/가막만은 반폐쇄성 해역으로 총 유역면적이 2518.98 km<sup>2</sup>이다. 이중 가막만에 직접영향을 주는 곳은 면적이 약 130km<sup>2</sup>이다. 광양만은 수리역학적 특성이 지역에 따라 다르기 때문에 지형이 복잡하고 퇴적환경이 다양하다. 광양만은 면적이 약 230km<sup>2</sup>로 여수해만을 통해 남해와의 물질교환이 이루어 진다. 광양만, 여수해만 해역에는 섬진강에서 유입되는 약 23톤/초의 하천수 (건설부 1980) 중에 포함되어 있는 부유물질 일부가 퇴적되고 있는 해역이다. 섬진강으로 부터 유입된 퇴적물은 광양만 및 여수해만을 통하여 남해대륙붕으로 운반되며 이 과정에서 입도에 따른 분급현상이 나타난다고 한다. 광양만으로 유입되는 주요 하천은 섬진강 및 수어천이고 주요공단으로는 광양공업단지, 광양제철, 여수오천공업단지, 여천국가공업단지 등이 있다. 특히 광양제철의 설비확장과 울촌공단의 입주 및 컨테이너 부두 건설로 인한 관련업체 급증으로 폐수발생량이 계속적으로 증가할 것으로 예상되는 곳이다.

광양만에서 용존성 중금속의 분포는 Cd의 97년 8월, 97년 11월, 98년 2월, 98년 5월 조사에서의 평균값이 각각 0.013, 0.026, 0.024, 0.016μg/l로 동계에 상대적으로 높았다 (Table 2-1~2-4, Fig. 2-7). Co도 2월에 다른 계절보다 높은 값을 보였다. Cu는 4회의 계절별 조사에서 각각 0.47, 0.38, 0.33, 0.40μg/l로 동계에 상대적으로 낮았다. 해양경찰청 (1995)의 1995년 조사에 의하면 광양만의 Cu는 0.41μg/l의 분포를 보였는데 본조사에서와 비슷한 값이다. Zn은 97년 8월, 97년 11월,

98년 2월, 98년 5월의 조사에서 각각 0.37, 0.44, 0.39, 0.44  $\mu\text{g}/\ell$  로 계절별 변화특성이 뚜렷하지 않았고 Pb는 각각 0.046, 0.029, 0.015, 0.017  $\mu\text{g}/\ell$  로 97년 8월의 평균값이 가장 높았다.

용존성 중금속의 각 계절별 지리적 분포는 Fig. 2-8에서 2-11에 나타내었다. 용존성 중금속중 Zn은 모든 계절에 St. 5, 6, 7등 여천공단 주변해역과 St. 10에서 다른 곳보다 많게는 2배까지 높은 농도를 보였고 Cd도 St. 5, 6, 7등 여천공단 주변해역에서 상대적으로 높은 값을 보였다. Cd는 용존형태로 나타나기 때문에 멀리까지 운송되어 질 수 있고 중금속 오염의 지표로 사용될 수 있다 (Mart and Nurnberg 1986). Pb는 모든 계절에 포철 가까운 St. 10, 11 에서 높은 값을 보였다. Cu는 이들 정점에서 약간 높을뿐 큰 차이를 보이지 않았다.

광양만의 Co, Fe 등은 섬진강 하구에서 상대적으로 높아 육수유입의 영향을 많이 받는 듯 하고 다른 중금속들은 섬진강하구에서의 농도가 광양만 평균보다도 낮아 하천 유입의 영향이 그리 크지 않은 것으로 판단된다. 일반적으로 중금속은 하구역에서 혼합과정과 전이과정을 보여 Cu, Ni, Zn, Cd 등은 중간염분에서 높은 농도를 보이는데 이는 부유입자, 퇴적물로 부터의 탈착 (desorption)이나 유기물로부터의 재순환동에 의한 것이라고 한다 (Edmond et al. 1985). Cu, Cd 등은 생물흡수나 광화물 형성에 의해 제거되어지기도 하며 하구역에서 Pb는 용집과정으로 해수중에서 제거되기도 한다(Windom et al. 1988). 광양만의 중금속원소간 상호상관관계는 Pb와 Ni ( $r^2=0.537$ )을 제외하고는 좋지 않아 광양만의 유입원이 다양하고 중금속들이 서로 다른 거동을 보이는 것으로 생각된다.

Table 2-1. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in August 1997( $\mu\text{g}/\ell$ ).

St.	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe
1	0.013	0.020	0.44	0.28	0.028	0.25	0.30
2	0.013	0.020	0.41	0.26	0.031	0.24	0.12
3	0.014	0.023	0.45	0.26	0.080	0.31	0.62
4	0.011	0.035	0.52	0.33	0.028	0.35	0.86
5	0.013	0.023	0.51	0.32	0.036	0.41	0.92
6	0.016	0.022	0.55	0.41	0.098	0.58	0.31
7	0.014	0.040	0.46	0.33	0.037	0.34	0.95
10	0.015	0.017	0.57	0.39	0.067	0.65	4.81
11	0.012	0.030	0.46	0.33	0.061	0.35	0.96
12	0.011	0.031	0.48	0.32	0.039	0.46	1.16
13	0.010	0.027	0.43	0.33	0.029	0.28	0.45
14	0.012	0.082	0.44	0.26	0.034	0.33	0.57
15	0.011	0.092	0.45	0.30	0.024	0.27	0.48

Table 2- 2. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in November 1997( $\mu\text{g/l}$ ).

St	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe
2	0.025	0.012	0.28	0.2	0.031	0.34	0.32
3	0.024	0.014	0.32	0.26	0.031	0.29	4.59
4	0.029	0.013	0.33	0.22	0.028	0.49	0.63
5	0.032	0.026	0.38	0.31	0.034	1.00	0.11
6	0.024	0.047	0.36	0.34	0.034	0.34	0.43
10	0.037	0.029	0.41	0.34	0.038	0.72	8.77
11	0.028	0.022	0.34	0.27	0.039	0.37	1.12
12	0.024	0.016	0.34	0.22	0.026	0.35	0.40
13	0.022	0.019	0.33	0.18	0.021	0.33	0.20
14	0.023	0.037	0.37	0.20	0.012	0.46	0.44
15	0.022	0.049	0.37	0.21	0.024	0.46	2.01
15.1	0.025	0.009	0.34	0.19	0.032	0.37	0.05

Table 2.3. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in February 1998( $\mu\text{g/l}$ ).

St	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe
2	0.022	0.021	0.31	0.22	0.013	0.32	0.57
3	0.021	0.030	0.34	0.21	0.014	0.31	0.19
4	0.021	0.027	0.34	0.21	0.019	0.31	0.60
5	0.032	0.104	0.29	0.35	0.012	0.66	0.76
6	0.032	0.078	0.26	0.35	0.019	0.66	0.98
7	0.034	0.098	0.43	0.33	0.024	0.86	0.33
10	0.025	0.030	0.32	0.32	0.009	0.48	0.90
11	0.026	0.032	0.36	0.27	0.027	0.38	0.25
12	0.022	0.021	0.20	0.24	0.023	0.32	0.79
13	0.022	0.023	0.37	0.25	0.017	0.24	0.51
15	0.024	0.025	0.37	0.24	0.014	0.27	0.36
15.1	0.024	0.015	0.36	0.18	0.014	0.20	0.31
16	0.022	0.032	0.28	0.24	0.016	0.39	1.01
17	0.018	0.046	0.32	0.20	0.004	0.20	1.53
18	0.023	0.047	0.37	0.18	0.009	0.35	0.60
19	0.022	0.057	0.30	0.23	0.013	0.23	1.35

Table 2-4. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in May 1998( $\mu\text{g/l}$ ).

St.	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
2	0.024	0.022	0.64	0.26	0.018	0.39
3	0.015	0.026	0.48	0.26	0.012	0.24
4	0.024	0.024	0.35	0.36	0.019	0.46
5	0.024	0.019	0.43	0.46	0.017	0.27
6	0.027	0.019	0.41	0.79	0.027	0.59
7	0.026	0.020	0.40	0.63	0.031	0.38
10	0.017	0.016	0.35	0.32	0.017	0.35
11	0.022	0.023	0.37	0.27	0.055	0.56
12	0.014	0.012	0.33	0.16	0.011	0.18
13	0.013	0.014	0.32	0.19	0.010	0.18
14	0.012	0.021	0.25	0.16	0.014	1.68
15	0.008	0.030	0.30	0.14	0.008	0.40
16	0.004	0.037	0.35	0.15	0.006	0.33
17	0.008	0.047	0.39	0.16	0.015	0.42
18	0.010	0.060	0.43	0.25	0.016	0.42
19	0.005	0.040	0.43	0.14	0.004	0.32
20	0.015	0.014	0.53	0.25	0.015	0.35

### 2.3. 광양만의 입자성 부유물질

부유 입자들은 해양으로 유입된 오염물질들의 화학종, 분포, 퇴적 등의 조절기능에 중요한 역할을 한다 (Wollast 1982 ; Hart 1982 ; Salomons and Forstner 1984). 이러한 특성은 오염물질이 많이 유입되는 연안해역에서 그리고 영양염동이 많이 축적되는 전선역에서 특히 강하게 나타난다. 부유성 유기물입자, 점토, Fe, Mn의 산화물과 수산화물 등은 해수중에서 중금속을 제거하는 주요 매질이다.

광양만에서 입자성 Cd의 평균값은 97년 8월, 97년 11월, 98년 2월, 98년 5월에 각각 0.40, 0.32, 0.35, 0.36 $\mu\text{g/g}$  로 하계에 높은 농도를 보였다. 입자성 Cu의 평균값은 4회의 계절별 조사에서 각각 41, 26, 32, 31 $\mu\text{g/g}$  로 하계에 높은 농도를 보였다(Table 2-5~8; Fig. 2-12). Pb의 평균값도 4회의 조사에서 39, 37, 33, 30  $\mu\text{g/g}$  로 97년 8월에 높은 농도를 보이고 동계를 거치며 계속 감소하는 경향을 보였다. Ni은 4회의 계절별 조사에서 평균값이 각각 52, 46, 35, 25 $\mu\text{g/g}$ 으로 Zn은 211, 180, 164, 126  $\mu\text{g/g}$ 으로 역시 같은 경향을 보였다.

Duinker (1983)는 북해에서 부유물질중 중금속원소를 거동특성에 따라 세가지로 분류하였다. 이는 1) 작은 입자로 항상 해수중에 존재하는 것, 2) 큰 입자로 주로 퇴적물의 재부유 등에 의해 수층으로 유입되는 것, 3) 큰 특성이 없는 원소들이다.

작은 입자들은 해수중 부유물질의 총량이 낮을 시에 상대적으로 차지하는 비중이 높는데 이들은 C, Cu, Cd (Group 1 element) 등을 많이 포함한다. 따라서 이들 입자에서 유기물질과 Cd, Cu 등과는 좋은 상관관계를 나타내는 것이 보통이다. Cu의 경우 부유입자의 specific surface area가 높을시 많이 흡착된다는 조사가 있다.



이들 입자는 반응면적이 클수록, 즉 흡착능력이 클수록 잘 흡착되는 것이 당연하다. 북해의 경우 중앙부 해역에서 유기입자 및 플랑크톤이 풍부하여 흡착이 많이 일어나고 연안해역으로 가면서 육상기인 물질이 많아 흡착능력이 줄어든다고 한다 (Kersten et al. 1988). Cu, Cd 등을 많이 포함하는 작은 입자들은 부유물질농도가 높아지면 점차 감소하는 경향을 보이게 되는데 본 조사에서 광양만의 입자성 Cu는 Fig. 2-13에서 볼 수 있는 바와 같이 부유물질의 증가에 따라 이러한 감소현상을 보였다.

해양의 부유물질중 큰 입자들은 주로 암석의 풍화 같은 물리적인 작용에 의해 생성되며 멀리 운반되지 못하고 침전되는 것들로 지각 구성물질의 성분 (Ca, Al, Si, Fe) 과 비슷하다. 큰 입자들은 부유물질 농도가 높을 때 특히 수 ppm정도일때 상대적으로 차지하는 위치가 크다고 한다. 보통 퇴적물로 부터의 재부유에 의한 이들 입자가 큰 부유물질들에는 Al, Ti, Fe, V (Group II element)등이 풍부하다. 큰 입자들이 주로 함유하는 원소들은 서로 상관관계를 갖는데 특히 Al/Fe비율은 0.5에 가깝고 이는 육상기원의 alluminosilicate 광물에서의 비율과 같은 것이라고 한다 (Duinker 1983). 부유물질중 Al, Ti, Fe, V등 원소들의 농도는 일반적으로 유기물질 농도와 부의 상관관계를 나타내며 부유물질 총량의 증가와 더불어 증가한다. Fig. 2-13에서 볼 수 있는 바와 같이 광양만 입자중의 Fe농도는 대체로 부유물질의 증가에 따라 증가하나 경향이 뚜렷하지는 않았다. 부유물질중의 중금속농도는 원소들간에 아주 높은 유의성을 보인다고 알려져 있다. 본 조사에서도 Table 2-9에서 보는 바와 같이 Ni과 Co ( $r^2=0.974$ ), Zn과 Co ( $r^2=0.953$ )등 모두 좋은 상관관계를 보이나 Cd는 다른 중금속과 상관관계가 아주 낮았다. 이는 Cd가 해수중에서 주로 용존상태로 존재하기 때문으로 보인다. 부유물질중 Mn, Zn, Pb, Cr등의 농도는 부유물질의 총량과 상관관계를 보이지 않는다고 한다(Group III elements).

입자성 중금속은 대체로 용존성 중금속이 높은 곳에서 높은 경향을 보였다. 광양만에서 측정된 입자성중금속의 농도를 해수 1리터에 대해 계산하면 용존성 중금속들의 해수 1리터중 농도와 비슷한 수준인데 Cd은 입자성이 적어 용존성 Cd의 1/10정도 였다. 광양만 전 정점의 사계절 자료를 대상으로 입자성 중금속자료로 주성분분석을 행한 결과 PC-1이 78.1% PC-2가 12.0%의 편차를 설명하였다. 두 주성분의 상관관계도에서는 여천공단 주변의 정점들이 구별되어 이들 지역에서는 중금속의 거동이 다른 지역과 차이가 있는 듯 하다(Fig. 2-14).

Table 2-5. Particulate heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in August 1997( $\mu\text{g/g}$ )

St	SS (mg/l)	Cr	Co	Ni	Zn	Cu	Cd	Pb	Fe ( $\mu\text{g/g}$ )
1	2.56	113	22	56	212	43	0.64	37	54044
2	2.54	100	19	46	183	35	0.44	32	49089
3	2.99	91	19	45	175	38	0.31	28	45427
4	3.24	74	15	39	154	31	0.40	30	37837
5	3.87	94	21	49	213	45	0.55	40	46612
6	8.40	78	18	38	162	31	0.29	31	43195
7	15.56	63	16	35	154	28	0.26	34	40846
10	4.01	90	19	45	187	35	0.37	34	47265
11	4.12	90	19	46	187	35	0.23	31	45503
12	2.26	115	20	48	195	39	0.33	32	45166
13	0.69	324	59	147	579	108	0.88	103	141765
13	0.69	324	59	147	579	108	0.88	103	141765
14	5.58	72	16	40	168	32	0.23	39	43734
15	5.53	77	17	39	172	34	0.24	40	44876

Table 2-6. Particulate heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in November 1997( $\mu\text{g/g}$ ).

St	SS (mg/l)	Cr	Co	Ni	Zn	Cu	Cd	Pb	Fe ( $\mu\text{g/g}$ )
2	4.26	77	17	41	175	32	0.66	31	40215
3	4.34	69	17	43	170	34	0.21	30	43581
4	6.69	98	17	47	176	33	0.32	36	41921
6	14.02	82	16	46	152	29	0.24	34	40721
10	11.37	67	17	39	166	30	0.24	34	40874
11	6.49	87	18	45	180	34	0.39	32	39952
12	3.91	134	30	70	318	65	0.51	67	75098
14	6.84	49	10	26	110	21	0.22	20	23762
15	5.49	77	17	42	181	39	0.24	38	43250
20	4.80	158	18	66	174	37	0.22	44	42776

Table 2-7. Particulate heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in February 1998( $\mu\text{g/g}$ ).

St	SS (mg/l)	Cr	Co	Ni	Zn	Cu	Cd	Pb	Fe ( $\mu\text{g/g}$ )
2	5.17	68	16	38	160	29	0.23	29	39416
3	4.90	62	14	37	157	30	0.36	28	38485
4	6.74	44	11	28	131	27	0.30	23	30094
5	5.48	54	14	35	161	29	0.42	29	33864
6	6.01	62	16	39	173	31	0.34	32	38929
7	7.03	67	16	36	177	32	0.32	34	41587
10	4.77	62	13	37	166	33	0.32	37	37636
11	5.58	63	16	37	168	32	0.49	34	43384
12	4.75	60	14	36	144	28	0.32	30	36933
16	8.36	128	30	72	348	68	0.67	80	39595
17	4.43	23	6	16	85	17	0.21	20	39983
18	4.95	57	13	33	180	36	0.37	39	32692
19	4.43	41	10	26	142	29	0.35	33	40156
20	3.86	52	10	24	105	23	0.20	21	36848

Table 2-8. Particulate heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in May 1998 ( $\mu\text{g/g}$ ).

St	SS (mg/l)	Cr	Co	Ni	Zn	Cu	Cd	Pb	Fe ( $\mu\text{g/g}$ )
2	3.36	89	7	16	82	19	0.25	18	13954
3	1.09	197	22	47	241	70	0.51	60	52692
4	2.81	60	11	27	132	26	0.29	24	29877
5	2.96	50	10	25	117	25	0.53	20	27030
6	2.48	72	9	24	145	28	0.85	23	21306
7	5.92	46	7	24	107	19	0.85	14	18418
10	2.87	58	10	20	99	22	0.28	19	21117
11	3.51	68	11	24	111	37	0.13	18	30746
12	4.03	33	6	17	81	21	0.29	20	17665
13	2.97	54	9	22	106	33	0.45	24	24093
14	3.33	52	9	21	110	38	0.22	28	28855
15	4.96	52	10	26	119	30	0.16	35	36010
16	6.27	49	9	25	132	26	0.23	39	38826
17	4.16	64	11	30	145	38	0.25	45	39949
18	3.45	74	13	34	191	42	0.32	57	44192
19	5.33	58	12	29	139	32	0.18	45	43357
20	4.86	35	6	16	78	23	0.26	15	13823

Table 2-9. Correlation coefficients among particulate heavy metals in Kwangyang Bay.

Co	0.362					
Cr	0.384	0.856				
Cu	0.386	0.837	0.821			
Ni	0.393	0.974	0.848	0.811		
Pb	0.241	0.795	0.705	0.865	0.798	
Zn	0.489	0.953	0.824	0.893	0.948	0.877
	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb

#### 2.4. 납동위원소 비율

납동위원소는 오염물질의 기원을 밝히기 위한 연구에 많이 이용되어 왔다. 납동위원소에 대한 연구는 처음 Rabinowitz and Wetherill (1972)에 의해 처음 시도되었다. 이는 다른 곳으로부터 유입된 물질의 납동위원소비가 원래 환경내의 납동위원소비와 다른 점에 착안하였다. 납동위원소는 오염물질의 기원을 밝히기 위한 연구에 많이 이용되어 왔다. Chow et al (1973)은 캘리포니아 남부의 분지에서 표층의 납 농도증가는 휘발유 첨가물에 의한 것이라고 보고한 바 있으며 이후 많은 연구가 있어왔다 (Chow et al., 1975 ; Hirao and Patterson, 1974 ; Shirahata et al, 1980). 일본의 경우 동경만에서 육상 대기 기인 납의 90%가 만내에 퇴적된다고 한다 (Hirao et al 1986).

광양만의 St. 6에서 퇴적물 주상시료의 분석결과 퇴적층내에서  $Pb^{207}/Pb^{206}$  비율은 0.84250~0.84662의 분포를 보였고  $Pb^{208}/Pb^{206}$  비율은 2.09850~2.10919의 범위로 거의 차이를 보이지 않았다. 광양만에서의 납 동위원소 비율이 퇴적연대에 따라 변하지 않는 것은 이 지역에서 사용되는 연료의 변화가 없었거나 bioturbation 등으로 퇴적층이 교란되었음을 뜻한다.

#### 2.5. 광양만 퇴적물중의 중금속

1998년 2월에 측정된 퇴적물중의 중금속은 Cr의 경우 41.7~64.9mg/kg dry wt.의 범위였는데 St. 2에서 최고치를 보였다 (Table 2-10). As는 St. 2에서 가장 높은 18.1mg/kg dry wt.을 보였고 St. 5에서 17.0mg/kg dry wt. 이었다. Zn은 여천공단 주변의 정점들인 St. 5, 7 등에서 각각 136, 138mg/kg dry wt.로 비교적 높았다. Cd는 St. 7에서 0.21mg/kg dry wt.로 비교적 높았고 St. 5에서 0.16 mg/kg dry wt.이었으며 다른 정점에서는 0.15mg/kg dry wt. 이하였다. Co도 St. 7에서 비교적 높아 14.0mg/kg dry wt. 이었고 St. 2, 5에서 13.9mg/kg dry wt. 였다. Pb는 St. 5에서 30.9mg/kg dry wt. 였고 Cu는 St. 5, 7에서 26mg/kg dry wt.이상이므로 다른 정점들에서 보다 높았다. 여수해만은 저층에서는 부유퇴적물함량이 높고 밀물우세 조류로 인하여 세립질퇴적물이 여수해만을 통로로 유입되어 유속이 약한 광양만 남서부지역에 퇴적된다고 알려져 있다(Kim and Kang 1991). 이 결과 여수 해만의 퇴적환경은 광양만과 남해대륙붕의 연결고리로서 중간적인 특성을 가질것으로 생각된다고 한다. 본 조사에서는 여수해만의 퇴적물시료 (St. 2)에서 Cr과

As가 조사해역중 가장 높은 값을 보이고 있어 이들 원소들의 기원이 남해대륙붕퇴적물일 가능성이 있으며 향후 물질교환의 관점에서 구체적인 연구가 필요하다고 본다.

Table 2-10. Heavy metal contents in the sediments of Kwangyang Bay (mg/kg dry wt.).

St.	Cr	Co	Ni	Zn	Cu	As	Cd	Pb	Mn
2	64.9	13.9	29.4	117	22.1	18.1	0.13	29.3	924
4	56.7	13.5	27.9	121	23.1	14.7	0.13	20.9	784
5	60.2	13.9	28.2	136	26.0	17.0	0.16	30.9	1009
6	41.7	11.3	21.6	101	18.8	13.2	0.13	12.3	843
7	58.0	14.0	28.6	138	26.1	12.2	0.21	15.4	1080
10	55.4	12.7	25.7	127	24.5	15.4	0.15	18.2	860
11	49.8	11.8	23.4	108	20.0	12.3	0.14	17.7	870

## 2.6. 가막만

가막만의 저층수에서는 계절적으로 빈산소 현상이 나타난다. 가막만으로는 수산물가공이나 식품제조와 같은 소규모의 공장만이 위치하고 있다. 가막만으로 유입되는 폐수배출업소는 총 54개 업소로 1224 m<sup>3</sup>/day정도이다.

가막만에서는 용존성 중금속의 분포만을 조사하였다. Cd의 평균값은 97년 8월, 97년 11월, 98년 2월, 98년 5월에 각각 0.010, 0.020, 0.017, 0.014  $\mu\text{g}/\ell$ 로 동계에 상대적으로 높았다 (Table 2-11~14, Fig. 2-15). Zn의 평균값은 조사기간 동안 0.20, 0.30, 0.27, 0.24  $\mu\text{g}/\ell$ 로 역시 동계에 상대적으로 높았다. 그러나 Ni의 평균값은 계절에 따른 4회의 조사에서 각각 0.25, 0.20, 0.18, 0.22  $\mu\text{g}/\ell$ 로 동계에 낮은 편이었다. Cu의 평균값은 4번의 조사에서 각각 0.53, 0.39, 0.36, 0.22  $\mu\text{g}/\ell$ 였고 Pb는 0.050, 0.041, 0.021, 0.015  $\mu\text{g}/\ell$ 로 97년 8월에 상대적으로 높았다. 광양만과 비교해볼 때 Pb의 농도가 높은 편이었고 Zn은 많이 낮은 편이었으며 Cd도 약간 낮은 편이었다. 가막만 중앙부의 경우 해양경찰청 (1995)에 의하면 해수중 용존성 Cu는 0.42  $\mu\text{g}/\ell$ 로 본조사와 비슷하였고 Pb는 0.07  $\mu\text{g}/\ell$ 로 측정되어 본조사보다 높았었다.

본 조사에서 St. 1은 여천시의 하수영향을 받는 정점이나 97년 8월과 11월의 경우에는 오히려 다른 해역보다 모든 용존성 중금속의 농도가 낮은 편이었다. 98년 2월에는 Cd가 St.1에서 가장 높았고 (0.032  $\mu\text{g}/\ell$ ) 98년 5월에는 St. 1의 Cd, Co, Zn등이 가막만 해역중 가장 높았다. St. 3은 여수시로부터의 하수 유입영향이 있을 것으로 생각되는 정점이다. 98년 5월에 Cu의 농도는 이곳에서 가장 높았고 Ni, Zn등도 이 정점에서 비교적 높았다. 97년 8월, 97년 11월, 98년 2월에 Zn은 St. 3에서 가장 높아 육상유입의 결과인 듯 하다. St.3에서는 Cu의 농도 역시 계절마다 이곳에서 가막만 최대치를 보였다. St. 9~14의 6개 정점은 남해와 가막만이 연결되는 수로들상에 위치하여 물질의 교환을 조사하기 위해 좋은 장소이다. 이들 정점에서 Pb의 경우 모든 계절에 가막만 전체평균보다 다소 높은 값을 보여 Pb는 외해역으로 부터의 유입도 가능한 것으로 판단된다. Zn의 경우는 이 6개 정점에서

평균보다 훨씬 낮은 값으로 주요 유입원이 내만측에 있는 것으로 짐작된다. Cu의 경우도 이 6개 정점에서의 농도가 만내에 위치한 다른 8개 정점에서 보다 연중 다소 낮은 값을 나타냈다. Cd의 경우는 98년 2월에만 내만보다 수로해역이 매우 낮은 분포였고 다른 계절에는 큰 차이가 없었다.

남해의 여러 내만 환경에서의 중금속 거동을 파악하기 위해서는 물질 유입 등 정량적 분석외에도 각 내만에서의 중금속 원소들의 관계를 살펴볼 필요가 있다. 광양, 가막, 사천, 당항, 진동 등 남해안의 주요 연구대상 5개 해역에 대해 97년 8월의 용존성 중금속 분석결과를 대상으로 판별분석(Discriminant Analysis)을 행하였다. 그 결과 Dis-1은 54.3%, Dis-2는 33.7%의 편차를 설명하여 두 성분으로 인해 중금속 분포특성이 대부분 설명될 수 있었다. Dis-1과 Dis-2를 상관도로 그려보면 광양, 가막, 사천, 당항, 진동 등이 중금속 분포특성상 확연히 구분됨을 알 수 있다 (Fig. 2-16). 이는 남해안의 각 내만은 연안역 사용현황의 차이 때문에 육상기인 중금속 원 이 해역에 따라 차이를 알 수 있다.

중금속은 점오염원 (하천)과 비점오염원 (대기 등..)에 의해 해양으로 유입되며 해양에서 여러 가지 변화 경로를 갖는다. 대표적인 것으로 생물에 의한 축적이나 퇴적물에의 흡착등을 들 수 있다. 중금속의 해양에서의 순환은 아직 알려지지 않은 과정들이 많아 연구가 비교적 많이 진행된 유럽의 내만해역에서도 전체적인 수지를 파악하기 어렵다. 실제 대기/해양 상호작용, 연안해역/외해역 교환, 해수/퇴적물 교환 등에 대해서는 알려지지 않은 인자들이 많다. 따라서 향후 연구에 있어 용존 중금속의 거동을 파악하기 위해서는 이러한 경계면에서의 상호작용에 대한 집중적인 연구가 있어야 할 것으로 본다.

Table 2-11. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kamak Bay in August 1997( $\mu\text{g/l}$ ).

St	Cd	Co	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
1	0.007	0.005	0.53	0.56	0.22	0.006	0.26
2	0.010	0.005	0.53	0.32	0.24	0.039	0.22
3	0.011	0.019	0.78	0.36	0.28	0.026	0.62
4	0.009	0.008	0.65	0.33	0.28	0.031	0.32
5	0.009	0.033	0.55	0.24	0.25	0.036	0.12
6	0.008	0.006	0.47	0.20	0.21	0.027	0.20
7	0.010	0.007	0.56	0.13	0.28	0.043	0.15
8	0.012	0.010	0.47	0.69	0.25	0.022	0.16
9	0.011	0.009	0.44	0.18	0.26	0.025	0.13
10	0.011	0.011	0.40	0.24	0.21	0.386	0.30
11	0.011	0.009	0.45	0.24	0.28	0.044	0.16
12	0.012	0.012	0.52	0.22	0.26	0.020	0.17
13	0.010	0.014	0.52	0.37	0.26	0.018	0.09
14	0.008	0.009	0.48	0.10	0.20	0.023	0.09
15	0.010	0.008	0.43	0.08	0.22	0.031	0.10
16	0.010	0.009	0.66	0.34	0.24	0.028	0.13

Table 2-12. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kamak Bay in November 1997( $\mu$  g/l).

St	Cd	Co	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
1	0.016	0.025	0.44	2.14	0.19	0.014	0.50
2	0.018	0.014	0.43	0.34	0.20	0.048	0.38
3	0.021	0.009	0.59	0.23	0.20	0.038	0.70
4	0.022	0.009	0.45	0.06	0.20	0.051	0.50
5	0.021	0.006	0.47	0.42	0.18	0.040	0.30
6	0.02	0.012	0.39	9.59	0.26	0.044	0.27
7	0.021	0.005	0.34	9.33	0.15	0.046	0.19
8	0.022	0.005	0.41	0.31	0.18	0.027	0.23
9	0.020	0.000	0.33	0.31	0.18	0.046	0.18
10	0.022	0.004	0.34	5.76	0.19	0.041	0.17
11	0.022	0.003	0.32	0.24	0.18	0.044	0.17
12	0.021	0.022	0.34	0.13	0.22	0.071	0.36
13	0.021	0.007	0.31	16.94	0.20	0.042	0.12
14	0.017	0.004	0.39	0.16	0.19	0.039	0.13
15	0.017	0.005	0.32	0.36	0.22	0.038	0.26
16	0.015	0.017	0.44	0.81	0.23	0.032	0.34

Table 2-13. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kamak Bay in February 1998( $\mu$  g/l).

st.	Cd	Co	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
1	0.022	0.015	0.45	0.784	0.21	0.005	0.83
2	0.014	0.009	0.51	0.287	0.24	0.010	0.42
3	0.015	0.008	0.53	0.059	0.25	0.010	0.63
4	0.013	0.010	0.49	0.089	0.24	0.007	0.13
5	0.016	0.007	0.52	0.388	0.25	0.012	0.36
6	0.017	0.005	0.49	0.166	0.23	0.006	0.20
7	0.015	0.007	0.37	0.053	0.22	0.046	0.09
8	0.014	0.006	0.33	0.030	0.21	0.004	0.10
9	0.015	0.004	0.31	0.019	0.24	0.008	0.09
10	0.014	0.008	0.30	0.075	0.23	0.075	0.29
11	0.012	0.007	0.29	0.093	0.22	0.015	0.13
12	0.012	0.007	0.32	0.059	0.22	0.008	0.09
13	0.013	0.002	0.27	0.003	0.21	0.009	0.08
14	0.018	0.006	0.32	0.042	0.24	0.013	0.15
15	0.010	0.005	0.35	0.041	0.19	0.002	0.09
16	0.009	0.006	0.33	0.042	0.17	0.003	0.12

Table 2-14. Dissolved heavy metal contents in the surface waters of Kamak Bay in May 1998( $\mu$ g/l).

St	Cd	Co	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
1	0.032	0.023	0.45	0.29	0.17	0.010	0.62
2	0.021	0.015	0.37	0.13	0.18	0.015	0.52
3	0.025	0.018	0.47	0.31	0.20	0.023	0.93
4	0.020	0.016	0.45	0.57	0.18	0.018	0.60
5	0.016	0.009	0.36	0.25	0.21	0.027	0.21
6	0.017	0.008	0.37	0.21	0.20	0.026	0.20
7	0.012	0.009	0.28	0.19	0.16	0.015	0.16
8	0.014	0.008	0.23	0.13	0.18	0.021	0.10
9	0.012	0.009	0.31	0.23	0.18	0.024	0.12
10	0.014	0.009	0.79	0.28	0.20	0.020	0.15
11	0.015	0.002	0.26	0.12	0.20	0.027	0.11
12	0.013	0.031	0.31	0.41	0.16	0.013	0.11
13	0.011	0.003	0.27	0.32	0.14	0.029	0.10
14	0.012	0.008	0.28	0.02	0.15	0.025	0.12
15	0.016	0.010	0.25	0.87	0.22	0.024	0.14
16	0.018	0.012	0.28	0.23	0.22	0.023	0.16



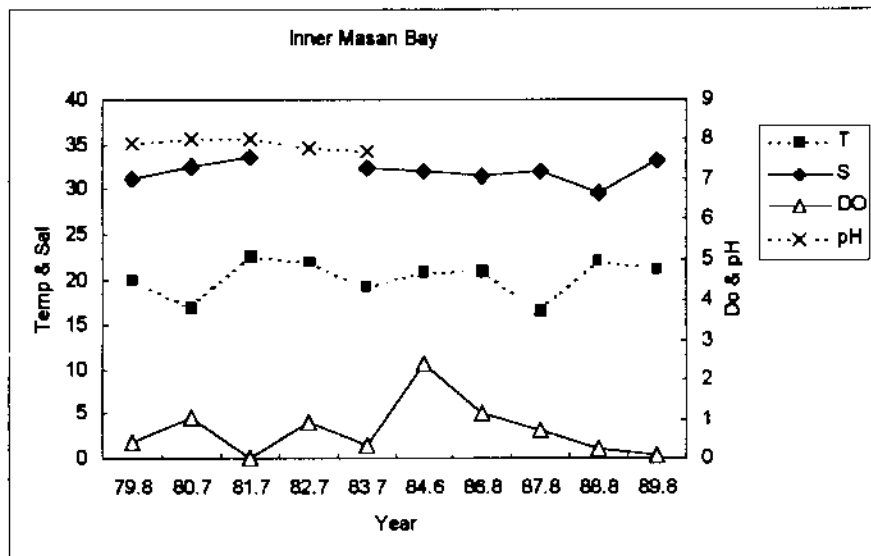


Fig. 2-1. Annual variation of temperature, salinity, DO and pH in the bottom waters of inner Masan Bay during 1979-1989.

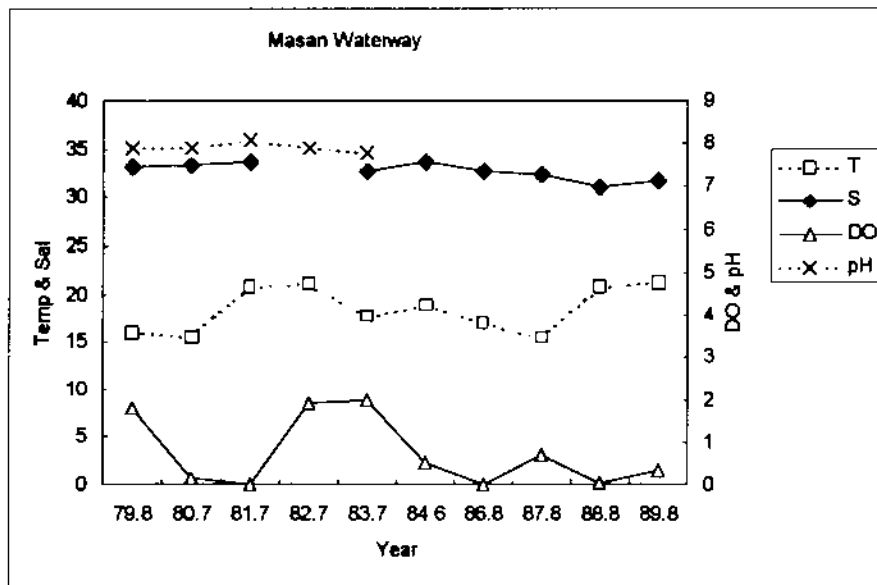


Fig. 2-2. Annual variation of temperature, salinity, DO and pH in the bottom waters of Masan Waterway during 1979-1989.

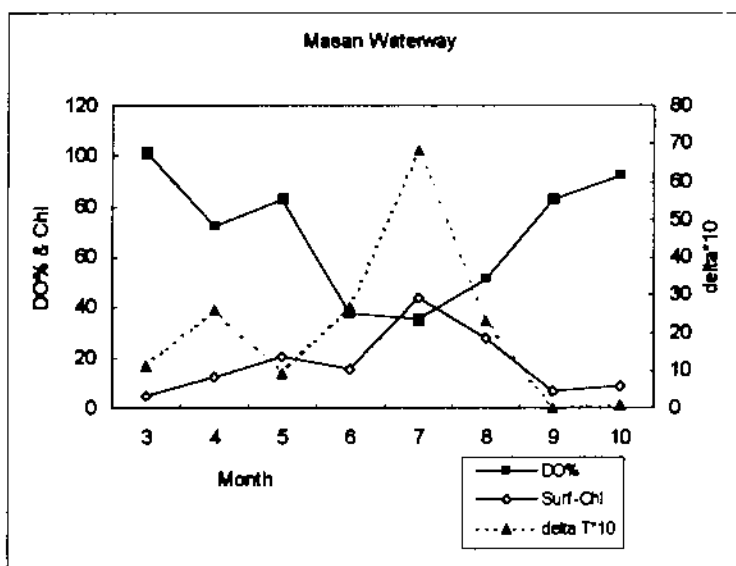


Fig. 2-3. Monthly variation of DO% (bottom waters), surface chlorophyll and delta-T in Masan Waterway.

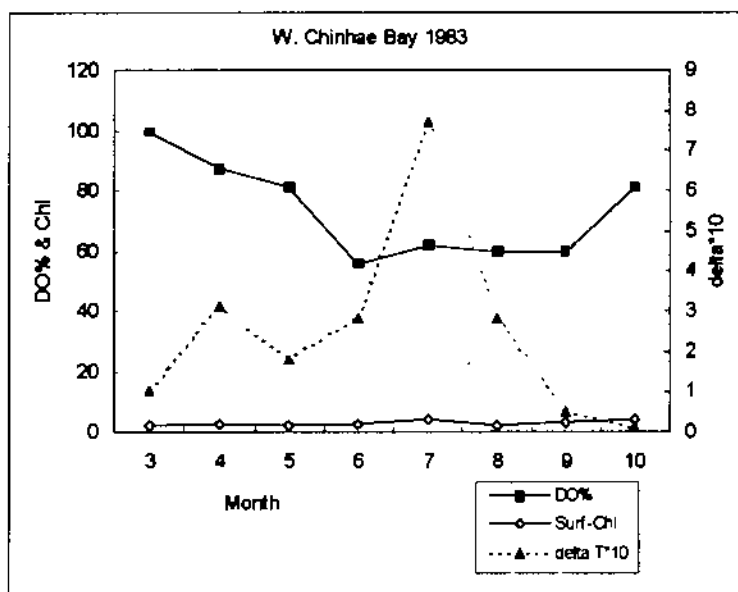


Fig. 2-4. Monthly variation of DO% (bottom waters), surface chlorophyll and delta-T in the western part of Chinhae Bay.

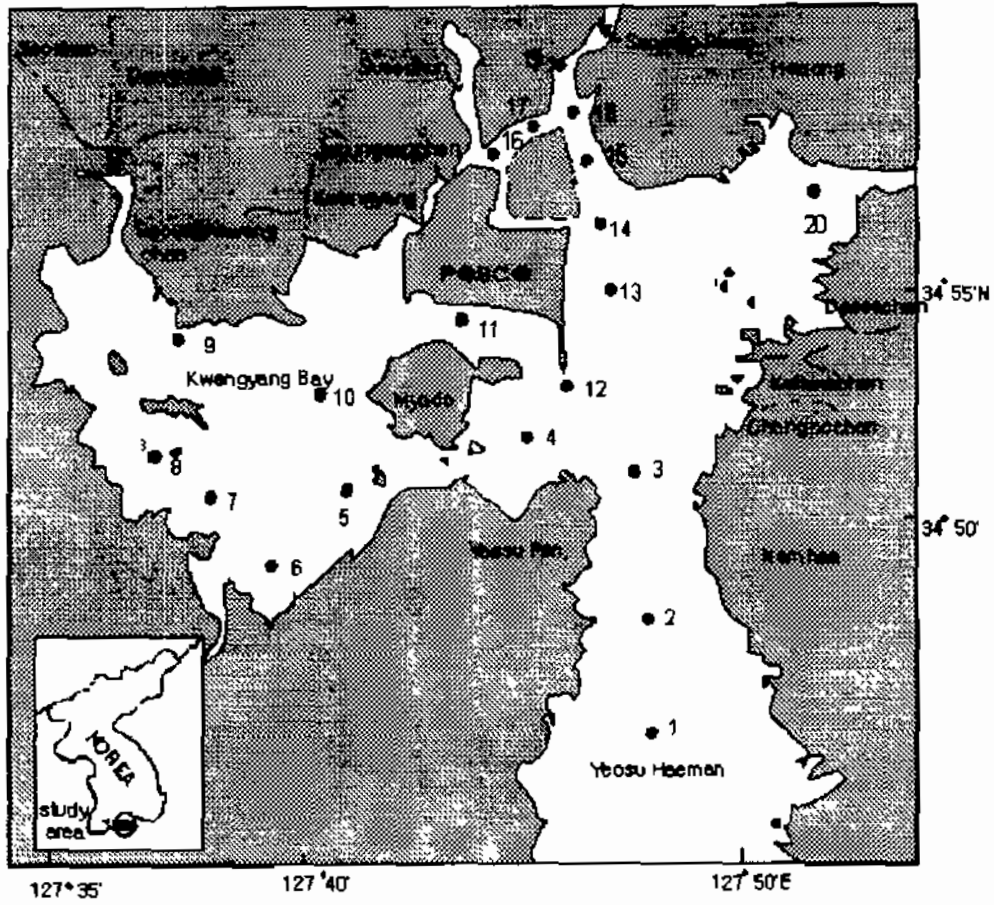


Fig. 2-5. Sampling stations of Kwangyang Bay.

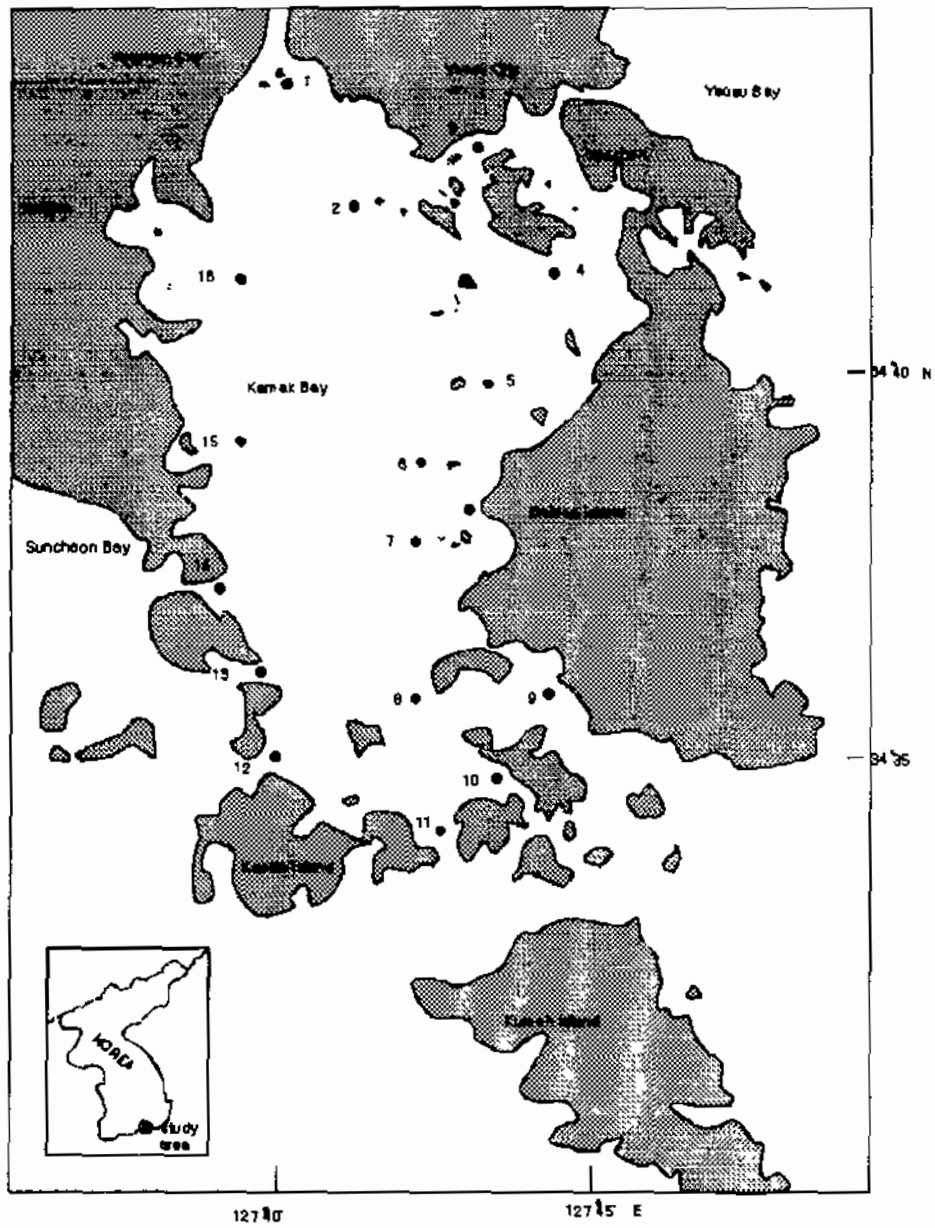


Fig. 2-6. Sampling stations of Kamak Bay.

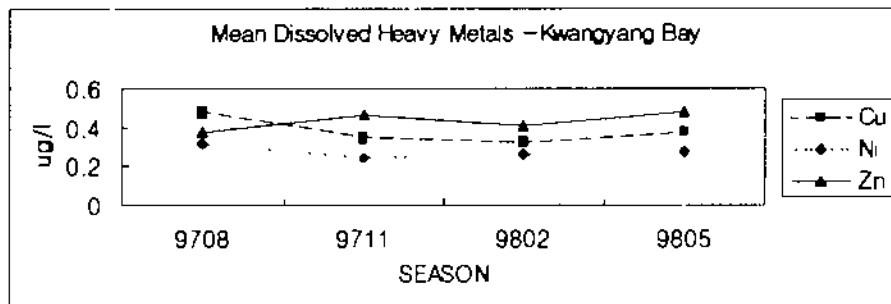
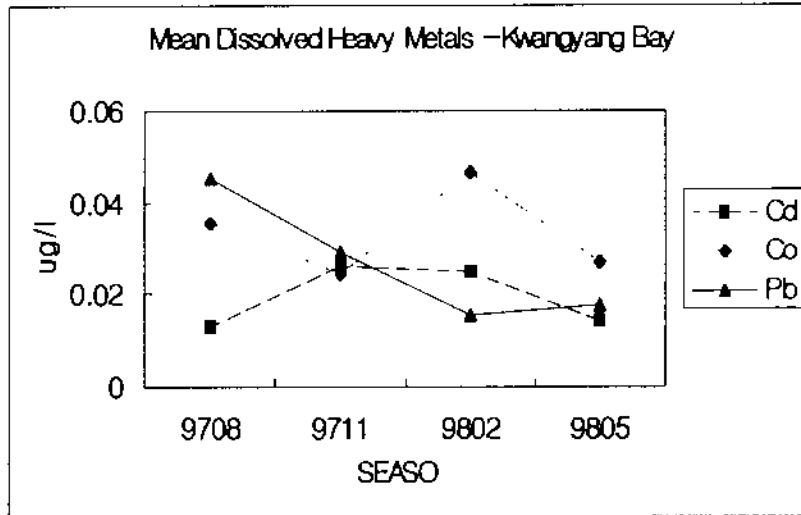


Fig. 2-7. Seasonal variation of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay.

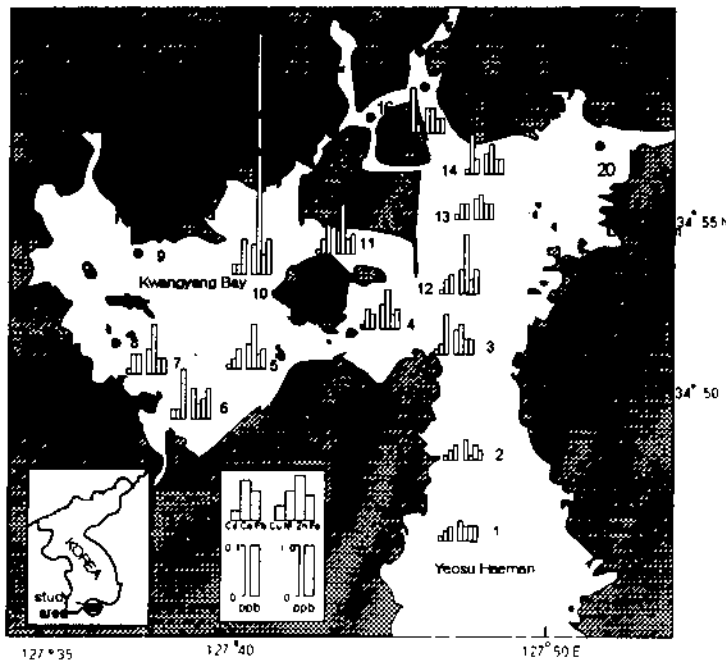


Fig. 2-8. Distribution of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay in August 1997.

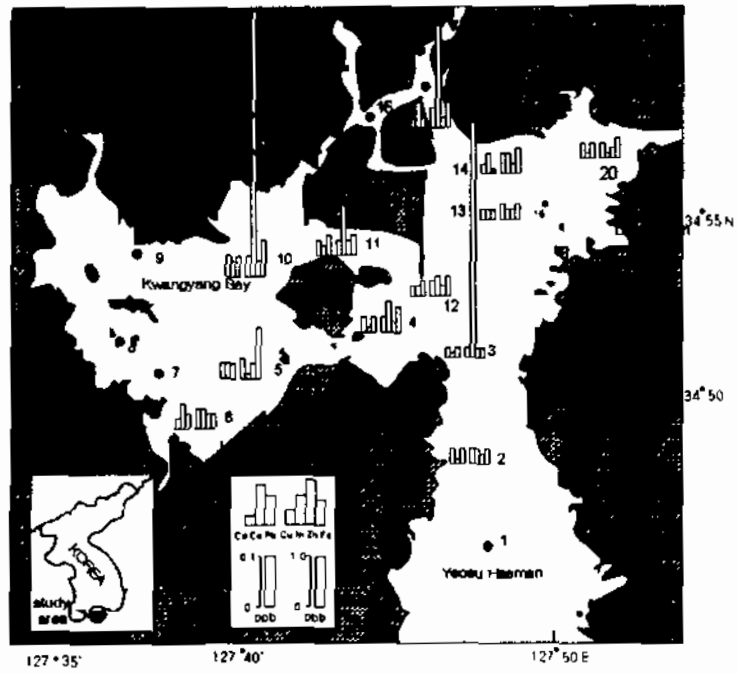


Fig. 2-9. Distribution of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay in November 1997.

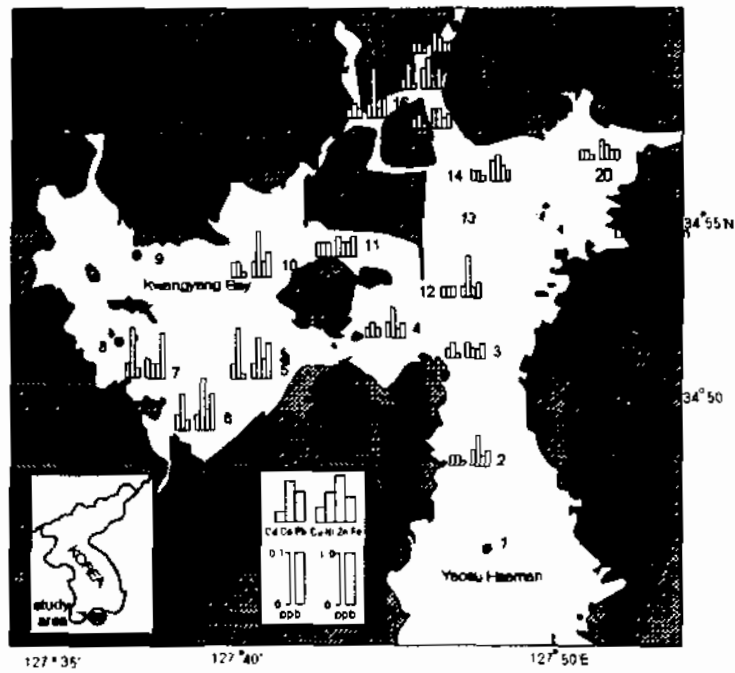


Fig. 2-10. Distribution of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay in February 1998.

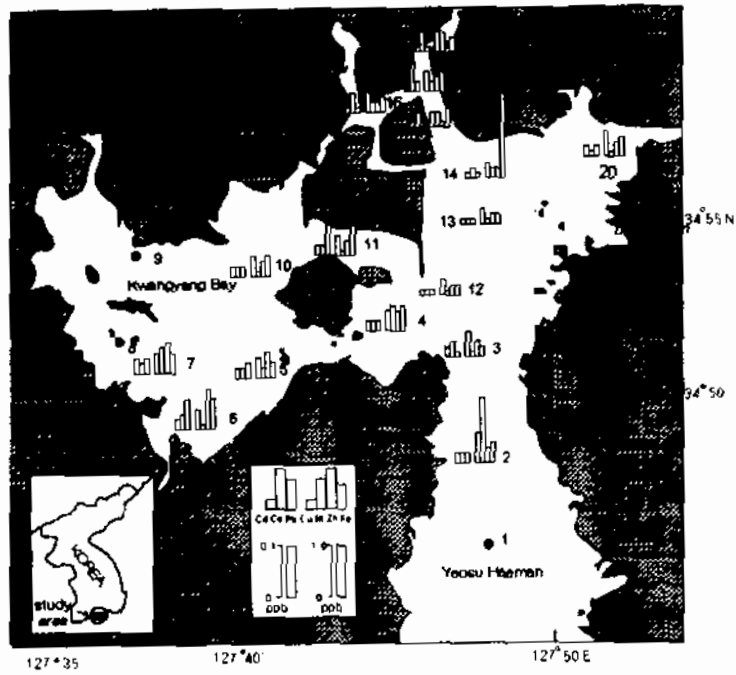


Fig. 2-11. Distribution of dissolved heavy metals in Kwangyang Bay in May 1998.

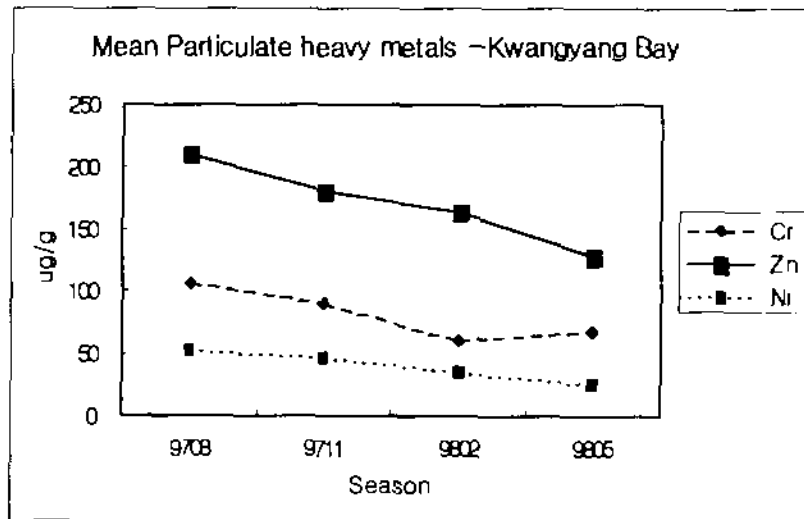
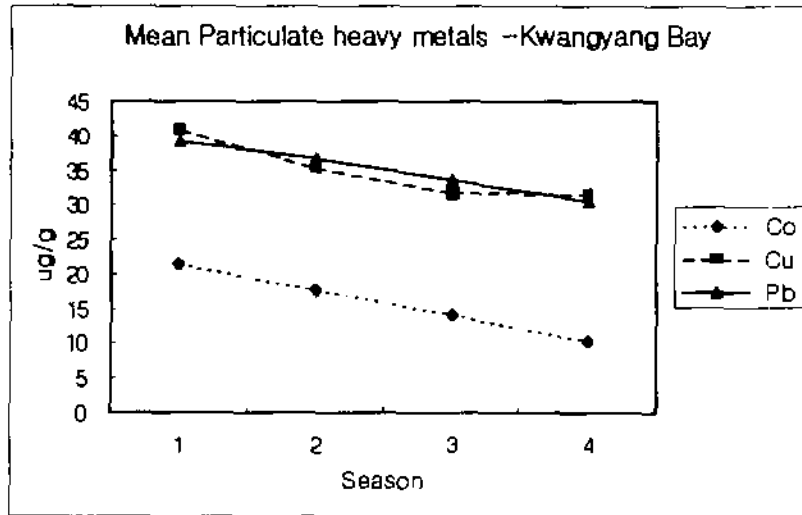


Fig. 2-12. Seasonal variation of particulate heavy metals in Kwangyang Bay.



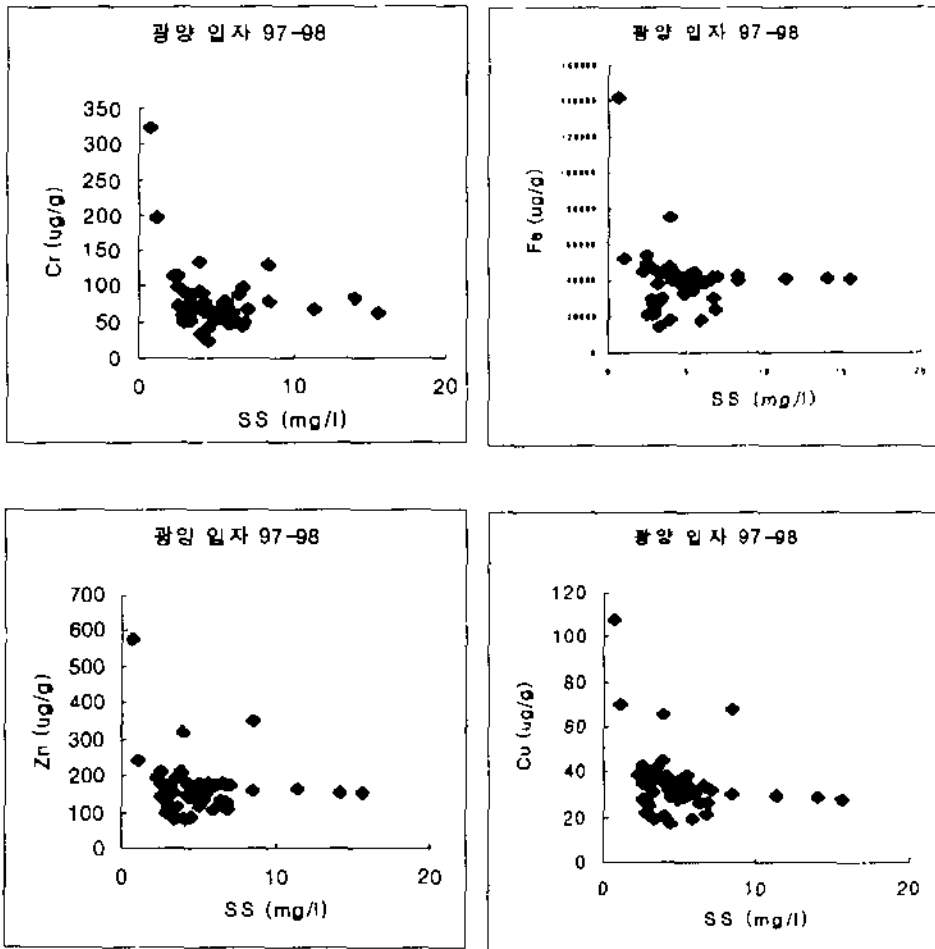


Fig. 2-13. Relation between contents of suspended solids and heavy metals.

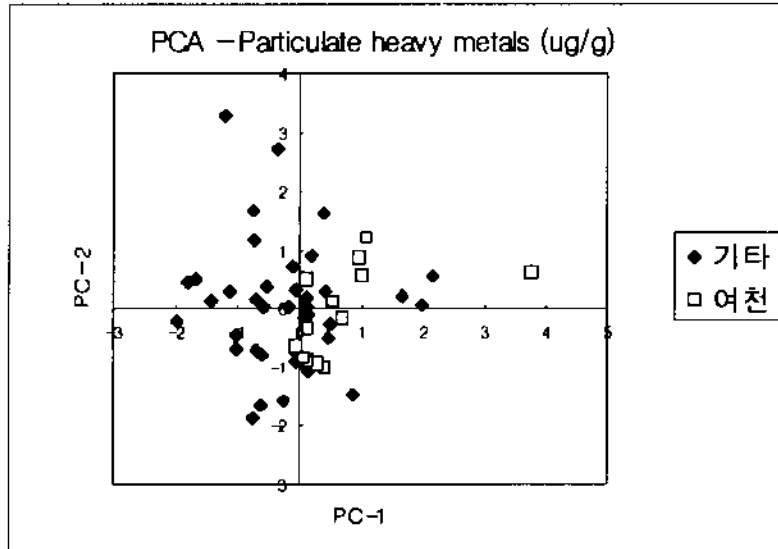


Fig. 2-14. Particulate heavy metals in Kwangyang Bay, plot of scores in the coordinates of first two principal components PC-1 (78.1% of variance) and PC-2 (12.0% of variance).

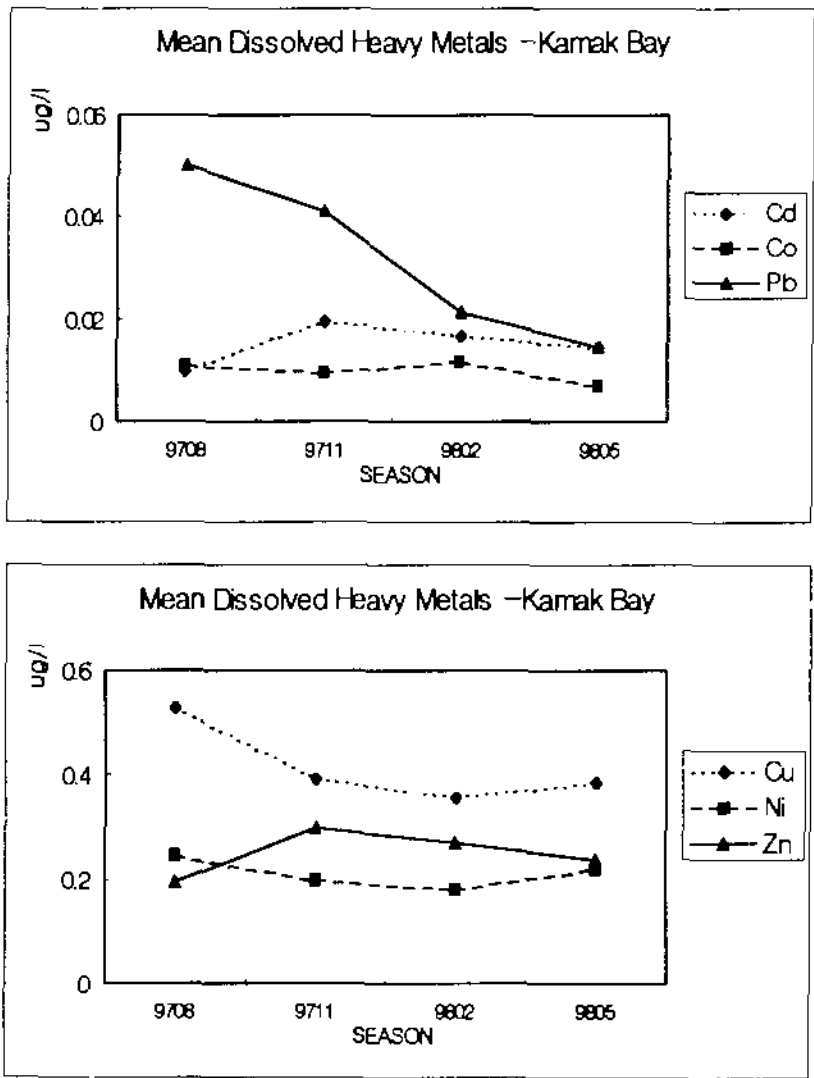


Fig. 2-15. Seasonal variation of dissolved heavy metals in Kamak Bay.

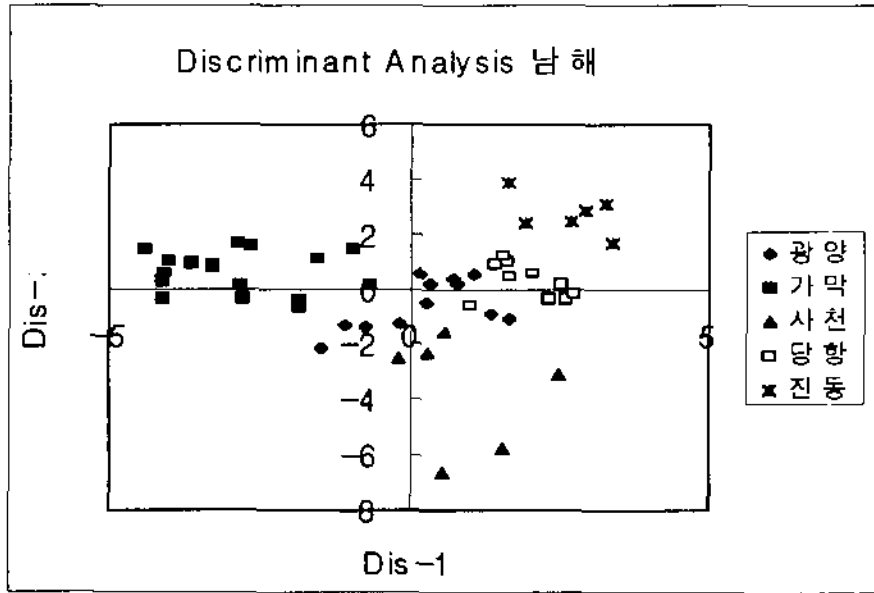


Fig. 2-16. Discriminant analysis of dissolved heavy metals in coastal areas of the South Sea of Korea.

## 제 3 절 대륙붕 화학물질 순환 및 수지

### 1. 서 론

현재까지 남해에서의 해양생지화학 특성에 대한 연구는 거의 대부분이 육지에 가까운 연안에 국한되거나 제주해역에 치우쳐 있다. 분지 규모의 연구로는 국립수산진흥원에서 용존산소위주로 매년 실시하는 정선관측과 한국해양연구소에서 해양자원도 작성을 위해 1988년부터 1990년까지 3년간 영양염과 용존산소 분포위주로 조사된 바 있고, 일차생산력과 전선구조와의 관계 (Chung and Yang, 1991), 표층 퇴적물중 중금속 분포 (Cho et al., 1994), 춘계 제주해협을 통과하는 화학물질 플럭스 (Suk et al., 1996) 등이 연구되었다. 그러나 이들 연구는 일부 분야에 국한된 단편적인 것으로서 남해에서의 에너지 흐름을 파악하기 위한 화학 물질 순환과 생지화학적 과정 연구는 전무한 실정이다.

본 보고서는 1차년도 (1997년)에 이은 2차년도로서 춘계 (4월), 하계 (8월) 및 추계 (11월) 조사를 실시하여 결과들을 수록하였고, 본 절의 구성은 다음과 같다.

1. 서론
2. 조사해역 및 관측시기
3. 시료 채취, 보존 및 분석방법
4. 대륙붕 해양화학성분 분포특성
5. 남해 대륙붕 해수 및 해저퇴적물에서의 유기물 분포특성
6.  $^{210}\text{Pb}$ 법에 의한 퇴적물의 해저퇴적속도와 퇴적역학
7. 일차생산력
8. 대기유입 화학물질 특성
9. 남해해수 기원
10. 제주해협을 통과하는 화학물질 플럭스

## 2. 조사해역 및 관측시기

조사해역은 북위 33°30' ~ 34°, 동경 126°17' ~ 128°05'로서 진도와 제주사이의 제주해협과 부산과 일본의 대마도 사이의 대한해협을 망라하는 제주도 이북의 남해 대륙붕 해역이다. 본 연구는 1998년 4월에 한국해양연구소 연구선 이어도호를 사용하여 해수 및 퇴적물 시료를 채집하였고, 9월 및 11월에는 해수시료를 채집하였다 (Fig. 3-1; Table 3-1~3).

대기를 통해 남해로 유입되는 입자중 화학물질 유입량을 추정하기 위해 경상남도 거제소재의 한국해양연구소 남해분소에 대기분진 천연낙하물 채집기 (면적: 1.13 m<sup>2</sup>)를 설치하여 대기분진을 정기적으로 채집하고 있고, 현장조사시마다 선상에 대기분진 채집기를 설치하여 시료를 채집하였다.

## 3. 시료 채취, 보존 및 분석방법

용존산소 및 용존무기영양염류 분석용 해수시료 채취는 표준수심 (0, 10, 20, 30, 50, 75, 100 m)을 기본으로 하여 Rosette에 부착된 5리터 용량의 니스킨 해수채수기를 이용하여 채수하였다.

용존무기영양염류 측정을 위한 시료는 현장에서 구경 0.45 μm Millipore 막 여과지로 여과한 후 10% 염산으로 미리 세척한 20 ml 고밀도 폴리에틸렌 병에 담아 냉동보관하여 실험실로 옮긴 후 분석하였다.

일차생산력은 각각의 선택한 깊이의 해수를 니스킨 해수채수기로 채수한 후 현장에서 배양시킨 다음 여과하여 여과지를 드라이아이스로 냉동보관 하여 실험실로 옮긴 후 분석하였다.

퇴적물은 단면적이 50×50 cm인 박스코어를 이용하여 채집한 후 내경 7.0cm인 PVC pipe를 손으로 삽입하여 입자성 유기탄소, 질소, biogenic silica, <sup>210</sup>Pb 분석용 부시료를 얻었다. 부시료는 절개하여 수분함량, 염함량을 각각 보정하여 순수 퇴적물 함량을 정량하였다.

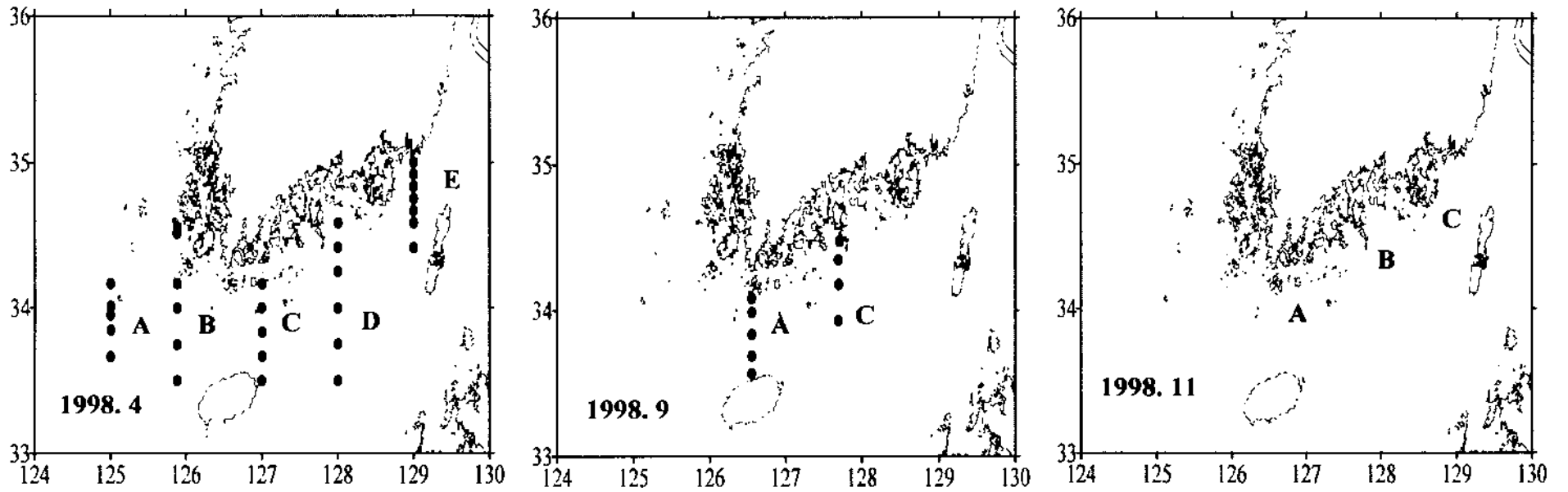


Fig. 3- 1. Location of sampling stations in the South Sea (April, September & November, 1998).

Table 3-1. Location of sampling stations in April 5~11, 1998.

Station	Location		Depth (m)
	Latitude	Longitude	
A1	34° 10.10'	124° 59.92'	91
A3	34° 00.68'	125° 00.25'	85
A5	33° 50.96'	125° 00.06'	94
A7	33° 39.96'	124° 59.99'	90
A9	33° 29.97'	125° 00.01'	74
B1	34° 30.82'	125° 52.78'	21
B3	34° 20.00'	125° 53.13'	42
B5	34° 10.10'	125° 53.04'	51
B7	34° 00.01'	125° 52.98'	83
B9	33° 44.97'	125° 52.94'	78
B11	33° 29.99'	125° 52.98'	95
C1	34° 10.04'	127° 00.01'	32
C3	33° 59.99'	126° 59.93'	60
C5	33° 49.99'	127° 00.06'	87
C7	33° 39.99'	127° 07.05'	117
C9	33° 29.99'	126° 59.96'	120
D1	34° 35.02'	128° 00.04'	27
D3	34° 25.02'	127° 59.96'	43
D5	34° 15.00'	128° 00.00'	69
D7	34° 00.00'	128° 00.00'	97
D9	33° 45.02'	127° 59.94'	104
D11	33° 30.00'	127° 59.93'	114
E1	35° 00.00'	129° 00.00'	44
E2	34° 55.00'	129° 00.04'	73
E3	34° 50.07'	129° 00.07'	83
E4	34° 45.02'	128° 59.98'	97
E5	34° 40.00'	129° 00.01'	102
E6	34° 35.01'	129° 00.01'	109
E8	34° 24.80'	129° 00.02'	135



Table 3-2. Location of stations in September 24–26, 1998.

Station	Location		Depth (m)
	Latitude	Longitude	
A1	34° 04.89'	126° 32.94'	41
A2	33° 59.15'	126° 33.12'	59
A3	33° 50.19'	126° 33.19'	80
A4	33° 41.29'	126° 33.20'	113
A5	33° 33.98'	126° 32.99'	99
C1	34° 28.51'	127° 42.52'	20
C2	34° 20.86'	127° 41.50'	32
C3	34° 10.70'	127° 41.67'	42
C4	33° 55.91'	127° 41.57'	85

Table 3-3. Location of stations in November 24–27, 1998.

Station	Location		Depth (m)
	Latitude	Longitude	
A1	34° 05.46'	126° 32.84'	39
A3	33° 58.47'	126° 32.84'	58
A5	33° 48.08'	126° 33.11'	88
A7	33° 37.59'	126° 33.05'	130
B2	34° 25.83'	127° 41.51'	23
B4	34° 15.72'	127° 41.37'	32
B6	34° 05.96'	127° 41.50'	62
B8	33° 55.93'	127° 41.46'	88

### 3.1. pH (수소이온 농도)

Orion 920 pH meter를 사용하여 현장에서 측정하였다.

### 3.2. 입자성 부유물질 (Suspended particulate matter; SPM)

건조기를 이용 100℃에서 1시간 동안 건조시킨 후 데시케이터에 넣어 방냉한 다음 전자저울로 무게를 측정한 Nucleo 여과지로 해수시료를 여과한 다음 중류수로 5~6회 세척하여 염분을 제거한 후 냉동보관하여 실험실에서 다시 건조기를 이용 100℃에서 건조하여 여과하기 전의 여과지 무게를 감하여 입자성부유물질의 무게를 얻었다 (precision :  $\pm 0.02 \text{ mg l}^{-1}$ ).

### 3.3. 용존산소 (Dissolved Oxygen)

용존산소 함량을 구하기 위한 기존의 Winkler 방법은 실험상에서 오는 여러 가지 volumetric error 와 potassium iodate 로 standardization 하는 과정에서 thiosulfate로 정량할 때 오는 농도 오차가 발생할 수 있다. 이를 개선하기 위해 현장에서 직접 spectrophotometer 에 의한 비색측정법 (Pai *et al.*, 1993)을 사용하였다.

표준시료로서는 일련의 해수시료 (주로 표층해수를 사용)에 potassium iodate standard solution (5 mM  $\text{KIO}_3$ ) 을 각각 0, 1, 2, 3ml를 넣고 각각의 흡광도를 측정하여 용존산소 함량을 계산하였다.

### 3.4. 용존무기영양염류 (Dissolved Inorganic Nutrients)

용존성 암모늄이온, 질산이온, 규산은 Grasshoff *et al.* (1983)에 의거 자동분석기 (Alliance AutoAnalyzer)를 사용하여 측정하였으며 분석방법은 다음과 같다.

◦ 암모늄이온 ( $\text{NH}_4^+$ ): 시료에 phenol과 sodium nitroprussiate 혼합용액 및 sodium citrate과 sodium dichloroisocyanate 혼합용액을 가하여 발색시켰다 (precision :  $\pm 4.8\%$  at  $1 \mu\text{M}$ ).

◦ 질산이온( $\text{NO}_3^-$ ): 시료를 Cu-Cd Column에 통과시켜서 아질산이온으로 환원시킨 후 아질산이온 분석방법과 같은 방법으로 발색시켰다 (precision :  $\pm 0.5\%$  at  $10 \mu\text{M}$ ).

◦ 인산이온 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ): 시료에 ammonium molybdate potassium antimonyl - tartarate와 황산의 혼합시약을 가하고 ascorbic acid로 환원시켜 발색시켰다 (precision :  $\pm 0.1\%$  at  $1 \mu\text{M}$ ).

◦ 규산 ( $\text{Si(OH)}_4$ ): 시료에 ammonium molybdate를 가하여 silicomolybdate complex를 만든 후 oxalic acid와 ascorbic acid를 가하여 발색시켰다 (precision :  $\pm 0.5\%$  at  $10 \mu\text{M}$ ).

### 3.5. 클로로필 $a$

해수시료 1리터를 GF/F 여과지로 여과하여 냉동한 후 실험실로 옮겼다. 90% 아세톤을 5ml 가하여 24시간 동안 플라스크를 색소를 추출한 후 uv-vis

spectrophotometer를 이용하여 흡광도를 측정하였다 (Parson et al., 1984).

### 3.6. 입자성 유기탄소, 질소 (POC and PON)

#### 3.6.1. 해수 중 입자성 유기탄소, 질소

GF/F Glass fiber 여과지를 Furnace를 이용하여 550°C에서 3시간 정도 태운 후 무게를 측정한 여과지로 해수시료를 여과한 다음 증류수로 5-6회 세척하여 염분을 제거한 후 냉동보관하고 실험실로 운반하여 건조기에 넣어 105°C 상태에서 2시간 건조하고, 방냉한 후 무게를 측정하였다.

무게를 측정한 여과지를 진한 염산 (12N HCl)을 이용하여 acid fuming 하여 무기 탄산염상의 탄소를 제거한 후 원소분석기 (Carlo Erba CNS)로 유기탄소, 질소 및 황을 정량 측정하였다 (precision :  $\pm 0.3\%$  이하).

#### 3.6.2. 퇴적물 입자성 유기탄소, 질소

퇴적물 시료는 묽은 산 (1N HCl)으로 탄산염 (carbonate) 상의 탄소를 제거하고 난 후 원소분석기 (Carlo Erba CNS)로 유기탄소, 질소 및 황을 정량 측정하였다 (precision :  $\pm 0.3\%$  이하).

### 3.7. 생물기원 규소 (Biogenic Si)

생물기원 규소 함량은  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  용출 방법 (Motlock and Froelich, 1989)에 의거 분석하였다. 냉동 건조시킨 퇴적물 시료를 분쇄한 후, 시료 100mg을 취하여 50ml polypropylene 원심분리관에 넣은 후 10%  $\text{H}_2\text{O}_2$  5ml을 넣는다. 30분 후 1N HCl 5ml를 넣고, 초음파 처리시킨 후 뚜껑을 닫고 30분 동안 기다린다. 이차 증류수 20ml을 넣고 10분 동안 6000rpm 에서 원심분리 한 후 상등액을 제거하고 남은 시료를 밤새도록 oven에서 건조시킨다. 건조시킨 시료에 2M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  40ml를 넣고 잘 흔들어 초음파를 가하여 잘 혼합시킨다. 이 시료를 85°C로 예열시킨 water bath에 옮긴 후 각각 2시간, 4시간 후에 꺼내어 잘 흔들어 준다. 총 5시간 동안 가열하여 주고 시료를 옮기어 6000rpm에서 5분동안 원심분리한 다음 상등액 20ml를 취한다. 위 상등액을 적당 농도로 희석한 후 molybdate-blue method를 사용하여 착색 시킨 후 UV-Vis spectrophotometer로 측정한다 (precision : 7%).

### 3.8. $^{210}\text{Pb}$ 에 의한 해저퇴적물의 연대측정

퇴적물의  $^{210}\text{Pb}$  방사능은  $^{210}\text{Pb}$ 의 딸핵종인  $^{210}\text{Po}$ 과의 방사평형 (secular equilibrium) 관계를 이용하여 퇴적물의  $^{210}\text{Po}$ 을 알파 스펙트로메트리로 정량하였다. 건조한 퇴적물을  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HCl}$ 으로 연속적으로 digestion 하여 회수를 추적자로  $^{209}\text{Po}$ 을 acid digestion 직전에 퇴적물 시료에 첨가하였다.  $^{210}\text{Po}$  화학 분리 절차는 Carpenter et al. (1981)에 의하였다.

#### 3.8.1. 퇴적물 계산

$^{210}\text{Pb}$  근거 퇴적물 축적율은 1차원, 2층, 정상상태 퇴적물 모델에 근거하여 퇴적물 혼합은 표층퇴적물 혼합층 (Surface Mixed Layer, SML)에서만 일어나는 것으로 정하여 계산하였다.  $^{210}\text{Pb}$  퇴적물 축적율 정량의 정확성은 다음 조건을 얼마나 만족시

키는가에 달려있다. (1) 퇴적물 축적율과 초기과량  $^{210}\text{Pb}$  농도가 과거 150-200년간 일정하게 유지되었다. (2) 퇴적물로부터  $^{210}\text{Pb}$  손실은 방사능 붕괴에 의해서만 일어난다 (즉, 퇴적물을 계산하는 구간에서 퇴적물 혼합은 없으며  $^{210}\text{Pb}$ 은 퇴적 후 물리·화학적으로 이동되지 않는다. (3) 입자혼합은 SML에 국한되며 일정하다. (4) 분석에 사용하는 퇴적물 구간 (sediment slice 두께)은 전체 연대 결정기간에 비하여 충분히 짧아야 한다. (5)  $^{210}\text{Pb}$ 의 붕괴상수가 정확하게 알려져 있어야 한다. 이러한 5가지 조건이 만족되면 해저퇴적물의 과량  $^{210}\text{Pb}$  수직분포는 다음과 같은 식으로 기술될 수 있다.

$$Ax = A_0 \exp(-bx) + A'$$

여기서 Ax는 퇴적물 깊이 (해수-해저 경계면으로부터의 거리) x에서의  $^{210}\text{Pb}$  함량,  $A_0$ 는 해수-해저 경계면에서의  $^{210}\text{Pb}$  함량,  $A'$ 은 퇴적물의  $^{226}\text{Ra}$ 으로부터 생성되는  $^{210}\text{Pb}$  함량이다. b는 과량  $^{210}\text{Pb}$  방사능의 자연 로그값과 퇴적물 깊이를 최소자승법으로 fit 할때의 기울기이다. SML 이하  $b = \lambda/s$  이며, s는 퇴적물 축적율 (sediment accumulation rate)이다.  $\lambda$ 는  $^{210}\text{Pb}$  붕괴상수로서  $0.0311 \text{ yr}^{-1}$  이다. SML에서 b는 퇴적물 축적율과 혼합율의 미지의 혼합이다.

### 3.9. Ra 동위체 분석 ( $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ )

해수중 Ra 동위체를 추출하기 위해 선상 Ra 농측장치를 사용하였다. 선박에 설치된 해수펌프를 이용하여 표층해수를  $30 \text{ L min}^{-1}$  속도로 입자 여과용 prefilter와  $\text{MnO}_2$  를 피복시킨 2개의 폴리프로필렌 필터를 이용하여 해수를 1000리터이상 통과시킨다. 시료채취 후 Mn 필터를 회수하여 증류수로 씻어 염분을 제거한다. 필터를 절개하여 전기로에서  $550^\circ\text{C}$ 의 온도로 태운 후 뿜아 재로 만든 다음  $^{234}\text{Th}$  측정을 위해 10 ml 튜브에 넣어 HPGe  $\gamma$  계수기로 측정하였다.  $^{228}\text{Ra}$ 과  $^{226}\text{Ra}$  측정을 위하여 20일 경과 후 다시 계수하였다.  $^{228}\text{Ra}$  (반감기; 5.75년) 측정을 위하여  $^{226}\text{Ra}$ 과 영년평형 (secular equilibrium)을 이룬 딸 핵종인  $^{228}\text{Ac}$  (반감기; 6.13시간)을 측정하였고,  $^{226}\text{Ra}$  측정은 영년평형을 이룬 딸 핵종인  $^{214}\text{Pb}$  (반감기; 26.8분)을 측정하였다.

### 3.10. 대기시료분진

전상 강하물과 습상 강하물의 총량인 강하분진 (Dustfall)의 포집을 위하여 1997년 9월부터 경상남도 거제도에 위치한 한국해양연구소 장목분소 ( $35^\circ 00' \text{ N}$ ,  $128^\circ 45' \text{ E}$ )의 지상 10 m 에 위치한 건물 지붕에 직경 120 cm 인 PVC재질의 채집기 2대를 설치하여 30~40 일 단위로 강하분진을 누적 수거하였다. 수거한 시료는 수분을 증발시켜 제거한 후 냉동건조 시키고 막자 사발로 분말을 만든 뒤, 100 mesh 플라스틱 체로 걸렀다.

남해에서의 대기분진 시료는 선상에 대기분진 채집기를 설치하여 현장조사시마다 시료를 채집하여 대기분진 중 양이온과 음이온을 이온크로마토그래피를 이용하여 분석하였다.

### 3.11. 일차생산력

기초생산성 (primary productivity) 측정을 위한 시료는 유광층내 (표층광의 1%까지) 6개수심에서 시료를 취하여 4  $\mu\text{Ci}$   $^{14}\text{C-NaHCO}_3$ 를 주입하여 정오를 기준으로 3 - 6시간 동안 배양하였다. 배양을 위한 해수시료는 Rosette 채수기에 부착된 5 liter Niskin 채수병을 이용하여 100, 49, 30, 15, 3.5, 1% 광투과 수심 (LPD: Light penetration depth)에서 채수하였다. 광도를 채수 수심의 광도로 조절하기 위하여 250 ml polycarbonate bottle을 천공된 nickel screen으로 포장하였다 (Stork Veco, Bedford, MA, U.S.A.). 배양은 표층해수로 냉각한 on-deck incubator에서 행하였다. 배양 후 GF/F 여과지로 시료를 여과한 후 여과지를 산증기(HCl fumes) 처리를 한 다음 건조시켜, 섬광액(scintillation cocktail; Lumagel Safe) 10 ml를 가하여 섬광계수기 (scintillation counter; Wallac Model#)를 이용하여 dpm을 측정, Steeman-Nielson(1952) 방법에 기초한 Parsons et al. (1984)에 따라  $^{14}\text{C}$ 의 흡수율을 구하였다.

## 4. 대륙붕 해양화학성분 분포 특성

### 4.1. 서론

남해의 해안일대에는 대규모의 항만과 임해 공업단지등이 밀집되어 하천수로 부터도 많은 양의 영양염류를 포함한 다량의 화학물질들이 방출되어 남해로 유입된다. 황해의 연안을 따라서는 제주해협으로 들어오는 서한연안류 (West Korea Coastal Current)를 통해 황해 및 동중국해로부터 남해 대륙붕으로 퇴적물을 포함한 다양한 화학물질들이 유입되어 (Suk et al., 1996), 남해의 퇴적물 수급 및 화학물질 농도분포에 상당한 영향을 미친다 (Wells and Huh, 1984; Chough, 1983; Lee et al., 1990). 특히 최근 중국 창장 (양자강) 수자원보호국의 조사에 의하면 양자강 주변의 50개 대도시와 16만개의 공장에서 배출되는 생활하수 및 공장폐수중 83%가 정화처리없이 배출되어 상당량의 오염물질이 황해로 배출되어지고 있고, 이러한 폐수배출량은 매년 2~3%씩 증가하고 있다고 보고한 바 있어, 이들의 시공간적인 변화가 남해 환경에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 자세히 검토되어야 한다.

또한 고온빈영양의 대마난류는 제주해협과 제주도-큐슈 해협을 통해 남해로 유입이 되어 지형적으로 연안수와의 혼합과정은 남해 해황에 상당한 영향을 미친다. 따라서 남해는 지형적으로 육상의 영향을 많이 받는 연안환경과 해류의 영향을 받는 외해역간의 서로 특성이 전혀 다른 환경이 공존하고 있고, 고영양염류를 함유한 황해 저층냉수는 남하하여 제주해협을 통해 남해로 유입됨으로서 영양염류등 친생물 원소의 시공간적 변화 및 분포 특성에 대한 연구는 남해의 일차생산력 뿐만 아니라 생지화학 과정 및 순환을 이해하는데 있어 상당히 중요하다.

## 4.2. 춘계, 하계 및 추계 해양관측 결과

1998년 4월과 9월 및 11월, 3회에 걸쳐 관측된 자료를 Table 3-4~3-6에 수록하였다.

### 4.2.1. 1998년 4월

#### (1) 관측선 A (125° E; 흑산도 남북횡단면)

수소이온 농도 (pH)는 7.91~8.35 범위로서 영양염류 농도가 높은 정점 A3와 A5의 저층에서 8.0 이하이다 (Fig. 3-2a).

입자성부유물질 (SS) 함량범위는 0.1~7.6 mg l<sup>-1</sup> 로서 일반적으로 표층에서는 1 mg l<sup>-1</sup> 이하로 낮은 반면에 수심이 증가할수록 해저 퇴적물들의 재부유로 인하여 입자성부유물질 함량은 증가하여 저층에서 5 mg l<sup>-1</sup> 이상이다. 정점 A3의 수심 20 m에서는 표층 및 바로 하부층인 30~40m 수심들에 비해 상대적으로 높은 함량 (4 mg l<sup>-1</sup>)을 보인다 (Fig. 3-2b).

용존산소 함량은 291~358 μM 범위로서 32.8 psu 이하의 저염수가 나타나는 흑산도 주변 정점들 (A1~A3)의 표면혼합층에서 330 μM 이상이다. 수심 증가에 따라 용존산소함량은 감소하여 고온고염 (T>11.5°C, S<33.6psu)의 특성을 보이는 정점 A9의 저층에서는 295 μM 정도의 최소값을 보인다 (Fig. 3-2c).

암모니아이온 농도는 전 정점들에서 0.5 μM 이하로 낮고, 일반적으로 고염의 특성을 보이는 남쪽 (A1→A9)으로 갈수록 점차 증가한다 (Fig. 3-2d).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도범위는 각각 1.4~6.9, 0.3~0.6, 5.1~8.0 μM로서 수직분포양상은 대체로 유사하여 수온 및 염분이 각각 9~10 °C, 33.0~33.2 psu의 범위를 갖는 정점 A5와 A7의 저층수에서 이들 농도들은 각각 >6.0, >0.6, >7.0 μM로 높은 농도를 보인다. 그러나 고온고염 (T>11.5°C, S<33.6psu)의 특성을 보이는 정점 A9의 저층 (70m)에서의 질산이온, 인산이온 및 규산농도는 각각 1.4, 0.4, 5.7 μM로서 표층수 수준의 낮은 농도를 보인다 (Fig. 3-2f~h).

엽록소 a 함량범위는 0.01~1.2 μg l<sup>-1</sup> 로서 밀도약층이 수심 10~20 m에 형성되어 있어 식물플랑크톤의 성장을 위한 적절한 광 조건과, 풍부한 저층수로부터의 공급이 용이한 정점 A7의 표층에서 1 μg l<sup>-1</sup> 이상이다 (Fig. 3-2i).

#### (2) 관측선 B (126° E; 진도-제주도 남북횡단면)

수소이온 농도 (pH) 범위는 7.99~8.23 으로서 관측선 A보다는 뚜렷한 분포특성은 보이지 않는다 (Fig. 3-3a).

입자성부유물질 (SS) 함량범위는 0.4~44.2 mg l<sup>-1</sup> 로서 수심이 40 m 이내로 비교적 얇은 진도 주변정점들 (B1~B3)에서는 활발한 표, 저층수간의 혼합으로 인하여

Table 3-4. Water column of biogeochemistry in the South Sea during April 5-11 1998.

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	pH	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	Chl-a (ug/l)
A1	0	10.042	32.233	8.33	331.10	0.92	0.06	3.14	0.09	0.40	6.11	0.74
	10	10.018	32.892	8.35	357.64	0.92	0.07	3.16	0.09	0.42	5.98	0.48
	20	8.933	32.901	8.35	325.47	0.64	0.12	3.67	0.15	0.48	6.30	0.35
	30	8.626	32.888	8.34	320.25	0.98	0.13	4.12	0.12	0.53	6.84	0.13
	50	8.493	32.903	8.33	320.08	1.52	0.05	5.17	0.08	0.57	6.92	0.18
	75	8.417	32.928	8.33	320.51	6.07	0.03	4.95	0.11	0.59	7.44	0.09
	85	8.415	32.929	8.33	309.47	7.60	0.03	5.27	0.11	0.60	7.01	0.08
A3	0	9.956	32.918	8.08	329.45	0.81	0.08	3.33	0.23	0.43	6.39	1.03
	10	9.874	32.918	8.08	328.14	1.14	0.12	3.71	0.25	0.47	7.09	0.81
	20	9.775	32.918	8.06	328.83	4.48	0.09	3.82	0.22	0.46	6.44	0.69
	30	9.468	32.938	8.01	328.40	0.65	0.12	4.55	0.28	0.52	7.13	0.98
	50	9.001	32.993	7.97	317.69	1.21	0.02	5.56	0.21	0.61	7.59	0.13
	75	8.730	32.970	7.95	312.17	6.38	0.02	5.93	0.16	0.61	8.02	0.13
	85	8.709	32.967	7.91	318.58	6.50	0.02	5.15	0.16	0.60	7.83	0.01
A5	0	10.504	32.817	8.11	328.29	1.00	0.07	3.06	0.23	0.39	6.24	0.69
	10	9.896	32.939	8.05	327.96	0.70	0.10	4.71	0.27	0.49	7.06	0.43
	20	9.480	32.922	8.04	316.09	0.60	0.11	5.22	0.24	0.52	7.01	0.17
	30	9.396	32.992	8.04	314.57	0.10	0.10	5.40	0.22	0.55	7.73	0.13
	50	8.966	33.005	8.03	320.55	3.50	0.02	6.19	0.28	0.58	7.62	0.13
	75	8.777	32.975	8.01		4.30	0.02	6.42	0.24	0.60	7.94	0.01
	85	8.761	32.972	8.03	313.63	6.60	0.03	6.65	0.25	0.58	7.89	0.13
A7	0	10.919	32.975	8.21	334.71	0.70	0.06	3.09	0.30	0.30	5.92	1.20
	10	10.175	32.941	8.23	331.88	0.54	0.07	3.92	0.38	0.36	6.35	1.07
	20	9.582	32.972	8.15	319.60	0.74	0.09	6.18	0.50	0.57	7.57	0.17
	30	9.358	33.056	8.13	316.95	1.25	0.06	6.59	0.30	0.56	8.02	0.05
	50	9.613	33.168	8.13	309.84	3.00	0.03	6.89	0.31	0.56	7.89	0.04
	75	9.734	33.201	8.13	304.82	6.44	0.03	6.45	0.30	0.54	7.95	0.09
	85	9.756	33.206	8.12	306.52	6.80	0.03	6.62	0.33	0.55	8.00	0.09
A9	0	12.186	33.479	8.23	317.98	1.32	0.07	2.79	0.51	0.26	5.09	0.17
	10	12.117	33.494	8.22	315.03	0.68	0.06	3.18	0.43	0.28	5.04	0.63
	20	11.435	33.503	8.20	315.15	0.85	0.11	4.23	0.38	0.34	5.66	0.33
	30	11.236	33.525	8.21	306.46	1.51	0.10	4.62	0.53	0.37	5.77	0.05

Table 3-4. (Continued).

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	pH	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH) <sub>4</sub> (uM)	Chl-a (ug/l)
B1	50	11.653	33.699	8.14	299.24	4.25	0.04	4.68	0.43	0.48	7.13	0.01
	70	11.651	33.699	8.13	290.99	5.70	0.05	1.42	0.47	0.37	5.74	0.09
	0	10.349	33.259	8.20	307.27	25.10		4.14		0.51		0.13
	10	10.252	33.263	8.22	303.95	41.20	0.04	4.47	0.26	0.49	7.73	0.18
	20	10.261	33.264	8.17	308.62	44.20	0.03	3.89	0.20	0.50	7.41	0.35
B3	0	10.051	33.204	8.09	314.24	12.30	0.06	3.34	0.20	0.50	7.44	0.35
	10	10.008	33.213	8.07	309.36	14.40	0.06	2.91	0.23	0.51	7.35	0.09
	20	9.998	33.216	8.06	308.41	14.50	0.06	3.36	0.22	0.51	7.28	0.26
	30	10.003	33.217	8.00	310.55	19.90	0.08	3.44	0.45	0.51	6.81	0.00
B5	40	10.005	33.217	7.99	309.52	18.70	0.06	3.31	0.22	0.50	6.68	
	0	10.089	33.088	8.16	326.79	2.47	0.08	2.07	0.27	0.38	6.25	1.50
	10	10.007	33.112	8.16	315.09	4.31	0.08	2.58	0.30	0.43	7.14	0.77
	20	9.780	33.183	8.13	322.28	5.86	0.08	2.71	0.25	0.46	7.68	0.35
	30	9.753	33.185	8.12	308.86	4.88	0.07	2.44	0.25	0.49	7.48	0.43
B7	45	9.734	33.185	8.08	311.08	4.75	0.09	2.32	0.43	0.45	7.65	0.60
	0	10.237	32.879	8.15	368.09	1.46	0.07	0.52	0.34	0.23	5.15	1.89
	10	9.818	32.877	8.14	364.35	1.53	0.07	1.00	0.42	0.29	5.81	3.23
	20	9.604	32.897	8.10	343.29	1.32	0.06	1.72	0.35	0.41	6.44	2.40
	30	8.913	33.048	8.08	328.97	3.46	0.03	2.72	0.28	0.53	8.38	0.13
	50	8.979	33.075	8.08	340.44	14.50	0.04	2.66	0.45	0.54	8.46	0.09
	75	8.916	33.058	8.07	323.43	31.60	0.03	2.73	0.37	0.54	8.41	0.30
B9	80	8.905	33.055	8.07	319.17	27.90	0.03	2.77	0.45	0.55	8.29	0.35
	0	12.525	33.611	8.12	312.72	0.69	0.05	0.80	0.40	0.25	4.50	0.60
	10	12.224	33.597	8.13	304.30	1.13	0.05	0.88	0.46	0.23	4.49	0.64
	20	12.629	33.763	8.14	306.77	0.97	0.04	1.02	0.39	0.25	4.06	0.51
	30	13.091	33.971	8.16	295.47	0.65	0.07	0.98	0.48	0.24	3.82	0.13
	50	11.357	33.633	8.14	297.37	2.20	0.02	1.60	0.14	0.37	5.60	0.01
	75	12.195	33.853	8.16	287.83	4.70	0.01	1.55	0.16	0.34	4.80	0.01
B11	0	14.805	34.330	8.23	299.72	0.51		0.17	0.21	0.06	1.24	0.47
	10	14.813	34.342	8.23	303.54	0.58		0.03	0.20	0.04	1.23	0.35
	20	14.836	34.378	8.22	289.82	0.39	0.03	0.18	0.23	0.06	1.07	0.13
	30	14.836	34.473	8.22	284.92	0.73	0.08	0.50	0.94	0.14	1.64	0.09
	50	14.256	34.374	8.22	283.14	2.30	0.03	0.80	0.43	0.16	2.48	0.01
	75	14.273	34.380	8.22	288.36	2.80	0.02	0.80	0.29	0.16	2.24	0.04



Table 3-4. (Continued).

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	pH	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	Chl-a (ug/l)
C1	90	14.302	34.389	8.22	287.69	2.80	0.02	0.77	0.29	0.16	2.07	0.22
	0	10.635	33.354	8.05	314.74	2.30	0.06	1.66	0.02	0.45	6.27	0.22
	10	10.447	33.367	8.01	310.18	4.93	0.07	2.23	0.15	0.42	4.81	0.17
	20	10.429	33.367	7.87	296.08	4.41	0.05	1.95	0.05	0.44	4.46	0.01
C3	30	10.440	33.369	7.99	309.46	10.29	0.05	2.13	0.00	0.45	6.14	0.01
	0	11.526	33.325	8.40	305.25	3.30	0.06	1.56	0.02	0.34	5.43	0.39
	10	11.686	33.557	8.41	304.79	1.57	0.12	1.36	0.07	0.32	5.33	0.09
	20	11.691	33.619	8.43	288.39	1.30	0.13	1.54	0.05	0.30	4.48	0.21
C5	30	11.572	33.627	8.41	297.85	1.46	0.16	1.41	0.11	0.33	5.57	0.04
	50	12.036	33.760	8.44	296.03	1.11	0.17	1.25	0.15	0.30	4.84	0.09
	57	12.053	33.765	8.44	293.93	1.32	0.16	1.14	0.05	0.29	3.97	0.22
	0	16.635	34.617	8.21	266.49	0.39	0.03	0.19	0.19	0.10	1.09	0.13
	10	16.627	34.621	8.20	273.65	0.43	0.04	0.09	0.20	0.09	1.02	0.01
	20	16.623	34.621	8.20	268.56	0.39	0.04	0.08	0.21	0.06	0.89	0.05
	30	16.544	34.610	8.20	266.71	0.46	0.08	0.08	0.25	0.10	1.06	0.30
C7	50	15.494	34.485	8.20	273.54	0.59	0.25	0.32	0.20	0.11	1.77	0.01
	75	15.598	34.603	8.15	261.79	0.58	0.28	0.23	0.15	0.18	2.64	0.09
	85	15.579	34.601	8.09	266.71	0.63	0.30	0.45	0.27	0.13	2.80	0.01
	0	16.471	34.573	8.32	269.85	0.47	0.04	0.13	0.29	0.10	1.11	0.05
	10	16.472	34.607	8.29	269.31	0.44	0.05	0.08	0.31	0.10	0.91	0.05
	20	16.426	34.601	8.24	267.72	0.33	0.06	0.10	0.30	0.10	1.04	0.22
	30	15.753	34.480	8.13	276.36	0.44	0.19	0.18	0.60	0.08	1.82	0.21
C9	50	15.248	34.444	8.08	275.56	0.48	0.37	0.29	0.34	0.11	2.26	0.21
	75	14.588	34.408	7.90	279.75	0.63	0.42	0.52	0.20	0.15	2.74	0.17
	100	13.768	34.223	7.95	280.47	0.87	0.38	0.73	0.20	0.17	3.32	0.18
	115	13.796	34.229	7.90	275.83	0.74	0.38	0.64	0.19	0.16	3.05	0.13
	0	14.553	34.219	7.91	280.05	0.49	0.32	0.53	0.43	0.20	2.61	0.17
	10	14.497	34.260	7.89	318.31	0.39	0.32	0.64	0.36	0.21	1.60	0.26
	20	14.424	34.251	7.88	280.95	0.54	0.33	0.68	0.45	0.12	2.83	0.22
C9	30	14.341	34.231	7.84	284.87	0.32	0.33	0.75	0.38	0.12	2.93	0.09
	50	14.236	34.258	7.82	286.20	0.25	0.42	0.83	0.61	0.13	3.05	0.29
	75	14.034	34.242	7.81	283.70	0.82	0.44	0.86	0.40	0.15	3.19	0.20
	100	13.956	34.247	7.78	279.90	0.34	0.45	0.83	0.40	0.15	3.06	0.16
	115	14.014	34.264	7.74	280.68	0.53	0.46	0.78	0.10	0.17	3.23	0.39

Table 3-4. (Continued).

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	pH	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	Chl-a (ug/l)
D1	0	11.511	33.839	8.24	320.92	2.18	0.02	0.46		0.12		1.27
	10	11.500	33.843	8.19	316.10	2.63	0.14	0.56	0.14	0.21	1.20	1.53
	20	11.038	33.891		307.46		0.07	0.50	0.01	0.14	0.36	0.22
D3	0	12.421	34.031	8.41	293.99	1.18	0.31	1.84		0.28	4.12	0.12
	10	12.419	34.032	8.35	300.62	1.61	0.26	2.16	0.01	0.37	2.75	0.63
	20	12.400	34.037	7.89	293.51	1.41	0.32	2.00		0.53	4.27	0.24
	30	12.213	34.054	7.92	287.33	3.79	0.50	1.75	0.40	0.54	3.08	0.21
	40	12.140	34.048	7.93	285.87	5.96	0.38	1.76	0.20	0.56	4.25	0.37
D5	0	12.371	33.830	7.87	294.11	1.41	0.22	2.55	0.13	0.58	0.31	0.63
	10	12.317	33.824	7.61	300.53	1.23	0.21	1.96		0.55	4.72	0.35
	20	11.968	33.770	7.19	306.45	1.35	0.24	2.38	0.27	0.58	4.30	0.28
	30	11.458	33.748	7.13	296.19	1.88	0.22	3.13		0.66	5.49	0.26
	50	11.233	33.725	7.14	302.42	2.27	0.40	3.21	0.60	0.63	5.34	0.22
D7	65	11.268	33.759	7.15	295.94	2.27	0.29	3.36	0.03	0.66	5.38	0.09
	0	17.090	34.640	8.19	270.68	0.25	0.08	0.86	0.09	0.33	0.10	0.41
	10	17.053	34.639	8.18	270.03	0.29	0.11	0.57	0.27	0.32	0.07	0.25
	20	16.976	34.637	8.17	273.41	0.14	0.11	0.62	0.16	0.33	0.24	0.42
	30	16.821	34.624	8.15	274.86	0.28	0.17	0.91	0.12	0.37	1.14	0.24
	50	16.500	34.638	8.12	263.73	0.90	0.10	1.98	0.02	0.47	2.88	0.16
	75	15.986	34.592	8.10	259.62	2.40	0.11	2.58	0.02	0.51	3.08	0.13
D9	80	15.676	34.534	8.09	258.25	2.00	0.10	2.54	0.10	0.55	3.88	0.17
	0	17.449	34.644	8.25	281.16	0.37	0.07	0.64	0.21	0.32		0.18
	10	17.155	34.638	8.28	271.11	0.39	0.08	0.45	0.27	0.33	0.24	0.18
	20	17.110	34.637	8.26	275.48	0.44	0.08	0.50	0.25	0.30		0.39
	30	17.080	34.636	8.25	280.67	0.34	0.08	0.59	1.36	0.32	0.24	0.26
	50	16.547	34.626	8.18	234.57	0.20	0.09	3.29	0.02	0.58	5.08	0.01
	75	16.326	34.631	8.17	238.71	0.24	0.04	3.53	0.06	0.59	4.11	0.01
D11	100	16.126	34.625	8.15	252.39	0.58	0.08	3.89	0.18	0.81	4.81	0.05
	0			8.34	271.62	0.29	0.12	0.99	0.26	0.32	0.10	0.05
	10			8.38	275.30	0.54	0.16	0.50	0.37	0.31	(0.00)	0.05
	20			8.38	282.32	0.14	0.15	0.53	0.34	0.31	(0.00)	0.17
	30			8.36	268.64	0.23	0.27	0.67	0.29	0.34	0.42	0.17
	50			8.33	245.74	0.24	0.11	2.55	0.18	0.49	2.90	0.01
	75			8.29	230.39	0.19		4.31	0.13	0.64	5.23	0.01

Table 3-4. (Continued).

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	pH	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH) <sub>4</sub> (uM)	Chl-a (ug/l)
	100			8.28	235.49	0.34	0.04	5.59	0.35	0.69	5.44	0.01
	110			8.27	233.15	0.20	0.03	5.81	0.13	0.72	7.56	0.01
E1	0	12.356	32.775	8.37	322.04	5.00	0.52	21.59	2.83	0.19	2.88	1.08
	10	12.231	33.532	8.36	301.41	4.88	0.46	16.53	1.89	0.22	2.10	0.43
	20	12.581	34.109	8.32	286.33	4.36	0.30	4.72	0.87	0.22	2.01	0.26
	30	12.714	34.152	8.32	288.48	4.16	0.27	2.12	1.17	0.17	0.04	0.47
	40	12.730	34.157	8.31	286.31	7.45	0.25	2.67	0.49	0.19	1.88	0.52
E2	0	12.756	33.915	8.35	259.93	1.70	0.27	4.23	0.30	0.17	1.65	0.05
	10	12.670	34.039	8.34	286.56	1.21	0.30	4.21	0.33	0.19	2.02	0.18
	20	12.748	34.083	8.31		2.62	0.32	4.02	0.36	0.26	2.87	0.56
	30	12.741	34.110	8.29	285.74	1.23	0.33	3.94	0.31	0.23	2.63	0.13
	65	12.911	34.213	8.13	291.38	1.05	0.35	3.72	0.23	0.24	2.61	0.22
	70	12.890	34.235	7.89	283.89	1.17	0.44	4.09	0.17	0.27	3.23	0.30
E3	0	13.619	34.187	8.14	297.90	0.29	0.23	3.69	0.24	0.22	2.97	0.17
	10	13.531	34.210	8.15	291.81	0.69	0.23	3.84		0.22	2.84	0.13
	20	13.287	34.203	8.15	288.75	0.34	0.22	4.15	0.04	0.25	3.18	0.09
	30	13.145	34.184	8.15	288.13	0.29	0.21	4.11	0.01	0.23	3.29	0.17
	50	13.113	34.187	8.14	300.24	0.54	0.35	4.25		0.25	3.43	0.05
	75	12.344	34.197	8.13	355.96		0.71	4.61	0.00	0.32	4.92	0.01
E4	0	15.985	34.553	8.28	302.20	0.60	0.15	2.01	0.02	0.05	0.38	0.77
	10	15.597	34.558	8.24	297.76	0.87	0.22	1.72		0.05	0.80	0.64
	20	14.823	34.455	8.19	285.74	0.40	0.43	2.99		0.13	1.53	0.05
	30	14.736	34.460	8.18	277.33	0.73	0.58	3.54	0.05	0.17	2.38	0.05
	50	13.385	34.268	8.14	288.59	0.60	0.53	4.43	0.17	0.22	3.39	
	75	12.087	34.126	8.12	279.11	2.70	0.60	5.62	0.03	0.34	5.48	0.09
	95	12.083	34.126	8.04	282.22	2.60	0.61	5.79	0.04	0.33	5.35	0.13
E5	0	16.241	34.601	8.26	281.92	0.47	0.41	2.75	0.13	0.08	1.80	0.05
	10	15.434	34.531	8.23	284.39	0.67	0.34	2.71	0.17	0.09	1.90	0.09
	20	15.347	34.526	8.24	295.45	0.20	0.32	2.72	0.16	0.09	1.73	0.05
	30	15.224	34.507	8.21	284.92	0.20	0.42	3.22	0.22	0.11	2.25	0.09
	50	13.939	34.319	8.20	290.25	0.90	0.49	4.12	0.06	0.18	3.22	0.05
	75	11.800	34.046	8.15	295.18	2.20	0.55	4.82	0.18	0.27	4.10	0.10
	100	11.743	34.043	8.15	294.37	1.90	0.54	4.32	0.52	0.28	4.44	0.13
E6	0	15.992	34.642	8.17	277.81	0.40	0.48	2.29	0.20	0.13	1.63	0.26

Table 3-4. (Continued).

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	pH	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	Chl-a (ug/l)
	10	15.900	34.642	8.20	280.46	2.20	0.50	2.37	0.07	0.11	1.71	0.17
	20	15.849	34.640	8.20	294.46	0.20	0.55	2.38	0.32	0.12	1.77	0.25
	30	15.819	34.639	8.21	282.58	0.20	0.53	2.15	0.28	0.13	0.95	0.13
	50	14.836	34.498	8.17	283.98	0.40	0.58	3.70	0.10	0.20	2.86	0.05
	75	12.152	34.080	8.12	291.97	2.60	0.62	4.67	0.39	0.20	4.13	0.09
	100	11.687	34.041	8.11	291.93	4.00	0.63	5.03	0.37	0.25	5.01	0.22
E8	0	16.629	34.654	8.27	274.90	0.35	0.59	2.89	0.31	0.14	1.98	0.17
	10	15.791	34.603	8.29	283.91	0.29	0.44	2.95	0.30	0.15	2.47	0.17
	20	14.743	34.388	8.28	300.14	0.40	0.21	3.67	0.30	0.18	2.95	0.18
	30	13.137	34.037	8.27	305.99	0.33	0.16	4.38	0.25	0.12	3.53	0.42
	50	13.189	34.213	8.26	294.98	0.30	0.53	4.54	0.39	0.14	3.39	0.17
	75	11.859	34.051	8.25	293.72	1.10	0.58	4.16	0.81	0.22	4.35	0.04
	100	11.754	34.057	8.24	305.12	1.60	0.58	4.19	0.70	0.24	4.73	0.20
	110	11.745	34.061	8.24	296.38	3.20	0.51	4.08	0.63	0.21	3.93	0.29

Table 3-5. Water column of biogeochemistry in the South Sea during September 23-25 1998.

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sai (psu)	Density	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	Chl-a (ug/l)
S1	0	23.658	29.9255	19.905	-	0.89	0.30	2.32	2.42	0.94	22.23	1.54
S2	0	23.619	30.0738	20.0282	-	1.26	0.30	2.13	-	0.67	17.68	1.67
S3	0	23.7033	30.2643	20.1479	-	2.12	0.26	2.63	1.89	0.41	11.61	1.13
S4	0	24.4927	30.7819	20.3092	-	0.71	0.15	1.08	0.69	0.08	4.37	1.28
S5	0	24.7882	31.1947	20.5333	-	0.41	0.05	0.86	0.75	0.06	4.91	0.89
A1	0	23.9399	30.8457	20.5189	219.4	0.51	0.07	0.32	0.27	0.05	4.55	0.23
A1	10	23.7261	30.88	20.6066	212.6	0.50	0.05	0.51	0.73	0.09	6.16	0.09
A1	20	23.1641	31.1126	20.9433	211.0	1.22	-	0.76	1.47	0.13	5.54	0.14
A1	30	19.8294	32.0528	22.5607	199.4	2.53	0.20	3.60	0.83	0.33	8.75	0.17
A1	38	19.3056	32.2063	22.8114	200.6	3.90	0.26	3.53	0.63	0.31	8.48	0.05
A2	0	23.8996	30.9447	20.6054	229.8	1.51	0.01	0.60	0.62	0.04	4.91	0.73
A2	10	23.4871	30.9946	20.762	225.4	0.55	-	0.11	0.19	0.04	3.57	0.81
A2	20	23.1712	31.1297	20.9543	210.7	0.86	0.26	3.08	0.40	0.12	5.89	0.23
A2	30	21.7175	31.547	21.6753	202.8	0.95	0.20	2.62	0.90	0.28	5.80	-
A2	50	16.7316	32.8373	23.9183	192.6	2.49	0.30	7.28	0.21	0.56	10.98	0.05
A2	55	16.6702	32.8531	23.9447	192.2	1.89	0.20	5.69	0.26	0.46	8.48	0.09
A3	0	23.6475	30.8694	20.6213	234.5	2.83	-	0.27	0.09	0.07	4.11	0.79
A3	10	23.2909	30.9638	20.7948	221.2	0.61	-	3.44	0.40	0.04	4.11	0.62
A3	20	21.1627	31.7052	21.9456	202.0	0.75	0.28	3.33	0.34	0.24	7.77	0.21
A3	30	17.9607	32.5824	23.4319	195.1	0.66	0.26	5.32	0.28	0.39	7.86	0.19
A3	50	13.6011	33.4345	25.0601	184.0	1.75	0.01	8.99	0.08	0.58	11.52	0.00
A3	75	13.1753	33.4429	25.1526	187.6	2.47	-	9.54	0.03	0.69	15.09	0.05
A4	0	23.2755	31.3227	21.0706	200.6	0.52	-	1.77	0.47	0.07	5.89	0.27
A4	10	23.3421	31.7	21.337	201.6	0.35	-	1.80	0.52	0.09	5.27	0.18
A4	20	24.0975	32.8269	21.819	192.1	0.18	-	1.93	0.18	0.13	5.18	0.26
A4	30	23.0295	32.8274	22.28	145.4	0.19	0.03	7.34	0.11	0.40	12.14	-
A4	50	17.2545	33.0511	23.9599	162.2	0.73	-	8.60	0.23	0.51	10.98	-
A4	75	13.6603	33.4656	25.0721	178.2	0.85	-	11.02	0.12	0.74	15.00	-
A4	110	14.0237	33.7203	25.1939	174.2	3.51	-	10.46	0.44	0.64	12.23	-
A5	0	23.435	31.9491	21.4989	203.2	0.75	-	2.76	0.32	0.09	8.21	0.09
A5	10	22.5858	32.7954	22.3815	176.5	0.18	-	4.07	0.18	0.24	8.04	0.22

Table 3-5. (Continued).

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	Density	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	Chl-a (ug/l)
A5	20	21.6299	32.9104	22.7344	180.5	0.33	0.07	3.93	0.20	0.29	7.50	0.09
A5	30	21.2084	33.3359	23.1726	176.3	0.43	-	4.72	0.11	0.34	8.48	-
A5	45	19.9482	33.4029	23.5587	170.7	0.33	0.01	6.98	0.21	0.43	9.73	0.05
A5	65	17.5624	33.2984	24.0761	160.5	0.50	0.01	8.66	0.81	0.55	14.29	-
A5	95	15.2369	33.7778	24.9789	163.1	5.48	-	10.40	0.18	0.71	12.86	-
C2	0	24.6146	29.9946	19.6794	221.3	0.92	0.03	0.24	0.50	0.02	4.20	0.09
C2	10	24.6234	29.9869	19.671	219.5	0.34	0.05	0.26	0.48	0.02	4.11	0.05
C2	20	24.5809	30.0145	19.7043	218.5	0.40	0.09	0.33	0.54	0.05	5.45	0.09
C2	30	24.0243	30.5316	20.2571	194.8	-	0.24	0.71	1.23	0.28	11.07	0.14
C3	0	23.6735	31.0858	20.7773	224.4	0.64	0.09	0.30	0.48	0.01	3.75	0.22
C3	10	23.6851	31.0694	20.7616	223.7	0.52	0.07	0.26	0.36	0.01	4.02	0.28
C3	20	24.6332	30.8043	20.2848	220.0	0.23	0.09	0.42	0.49	0.03	4.29	0.34
C3	30	23.7365	31.4395	21.0259	210.7	0.22	0.15	0.77	0.52	0.05	4.91	0.05
C3	40	22.1359	32.2005	22.0561	154.5	1.74	1.12	4.49	0.27	0.60	17.86	0.05
C4	0	24.8075	31.2872	20.5975	219.8	0.32	0.01	0.57	0.39	0.04	2.77	0.23
C4	10	24.8001	31.2873	20.5997	218.3	0.25	0.03	0.65	0.62	0.06	2.86	0.09
C4	20	24.7241	31.3228	20.649	216.9	0.29	0.01	0.59	0.57	0.06	3.21	0.05
C4	30	19.8106	32.2968	22.7514	206.0	0.26	0.05	1.26	0.58	0.07	4.02	0.09
C4	50	14.9347	33.9895	25.2078	191.7	0.41	0.05	5.45	0.21	0.47	7.86	-
C4	75	14.8715	34.1583	25.3518	164.7	1.39	0.03	8.36	0.60	0.67	12.95	-
C4	83	14.8796	34.1802	25.3668	163.5	1.09	-	9.68	0.31	0.69	13.66	-

Table 3-6. Water column of biogeochemistry in the South Sea during November 24-27 1998.

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	Density	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	Chl-a (ug/l)
A1	0	14.4044	32.6486	24.2871	254.4	5.12	0.30	7.76	1.17	0.46	12.57	0.16
	10	14.3883	32.6476	24.2898	255.6	9.69	0.28	7.94	1.35	0.45	12.62	0.11
	20	14.389	32.6478	24.2898	258.9	10.87	0.30	7.36	0.09	0.42	12.99	0.16
	30	14.3727	32.6461	24.2919	258.3	9.80	0.30	7.56	0.30	0.42	12.80	0.21
A3	0	15.3713	32.9877	24.341	220.3	1.57	0.28	7.47	1.12	0.39	12.20	0.21
	10	15.3687	32.9891	24.3425	213.7	1.79	0.30	7.03	0.16	0.38	12.24	0.06
	20	15.3512	32.9949	24.3509	210.4	1.78	0.30	6.99	0.20	0.37	12.36	0.00
	30	15.3008	33.0106	24.374	217.3	2.00	0.28	7.37	0.32	0.39	12.48	0.11
A5	50	14.8825	33.1868	24.6005	190.5	4.90	0.24	8.98	0.16	0.52	15.00	
	0	17.3705	32.5805	23.5717	239.6	0.44	0.30	1.65	0.21	0.02	5.79	0.16
	10	17.3596	32.5794	23.5736	240.1	0.39	0.30	1.70	0.32	0.01	5.70	0.11
	20	17.0435	32.5982	23.6624	245.3	0.36	0.32	2.45	0.83	0.06	6.54	0.06
	30	15.0746	32.6594	24.1528	219.8	0.59	0.24	6.65	0.21	0.35	11.21	0.10
	50	14.0749	33.2414	24.8134	174.3	1.11	0.10	10.79	0.14	0.66	17.38	
A7	75	14.6397	33.8518	25.1654	158.5	2.04	0.06	11.99	0.14	0.75	20.37	
	0	17.9093	32.8715	23.6655	226.1	2.36	0.34	1.49	0.61	0.01	4.58	0.23
	10	17.9095	32.8701	23.6645	233.9	0.37	0.34	1.47	1.79		4.21	0.21
	20	17.9075	32.8702	23.6651	233.4	2.29	0.34	1.69	0.67	0.01	4.21	0.48
	30	17.9739	32.8914	23.6652	229.6	2.47	0.34	1.54	0.81	0.00	4.21	0.11
	50	18.7793	33.3516	23.8184	206.8	2.16	0.34	3.02	1.10	0.10	5.79	0.17
B2	75	17.1508	33.8764	24.6173	156.4	0.89	0.10	10.25	0.25	0.54	17.38	0.06
	110	15.6053	34.1118	25.1544	155.7	3.45	0.14	12.95	0.78	0.73	20.89	0.00
	0	13.9022	32.3111	24.1307	-	3.22	0.10	6.42	0.80	0.62	14.30	0.11
	10	14.0214	32.4053	24.1791	-	2.32	0.81	6.42	0.68	0.61	14.02	0.11
B4	20	14.3187	32.7793	24.4058	-	2.53	0.81	6.94	0.43	0.56	13.74	0.10
	0	14.1871	32.5138	24.2287	-	0.88	0.79	5.55	0.57	0.39	10.61	0.10
	10	14.1931	32.5139	24.2273	-	1.06	0.89	5.38	0.50	0.40	10.56	0.06
B6	20	14.2078	32.5191	24.2282	-	0.98	0.67	5.35	0.63	0.38	10.61	0.11
	30	14.1782	32.6171	24.3101	-	1.15	0.67	6.14	0.51	0.40	11.54	
	0	14.5281	32.8453	24.4129	-	0.55	0.67	5.13	0.24	0.28	10.75	0.32
	10	14.5459	32.8519	24.4141	-	0.46	0.32	5.28	0.15	0.28	10.75	0.10

Table 3-6. (Continued).

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	Density	DO (uM)	SS (mg/l)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	Chl-a (ug/l)
	20	14.5072	32.9753	24.5174	-		0.26	6.75	0.17	0.37	12.34	0.11
	30	14.7816	33.1294	24.5779	-	0.62	0.30	8.24	0.75	0.43	13.36	0.10
	50	15.1273	33.7683	24.9954	-	3.77	0.28	11.78	0.15	0.67	19.11	0.00
B8	0	15.6468	32.6615	24.0291	-	1.06	0.16	3.47	0.02	0.08	9.06	0.11
	10	15.6531	32.6617	24.0278	-		0.24	3.46	0.08	0.09	8.92	0.06
	20	15.3866	32.6692	24.0923	-	0.54	0.20	3.88	0.01	0.11	9.77	0.32
	30	15.3193	32.744	24.1647	-	0.54	0.18	3.97	0.05	0.14	10.09	0.11
	50	15.4001	33.4484	24.6892	-	0.57	0.18	10.88	0.66	0.56	17.43	0.00
	75	16.0208	34.5011	25.3599	-	0.88	0.08	12.72	0.97	0.71	20.89	



13 mg l<sup>-1</sup> 이상으로 높다. 또한 저온저염 (T<10 °C, 33.0<S<33.2 psu)의 특성을 갖는 정점 B5와 B7의 저층수에서도 재부유된 해저퇴적물의 영향으로 10 mg l<sup>-1</sup> 이상으로 높고, 제주도 쪽으로 갈수록 급격히 감소한다 (Fig. 3-3b).

용존산소 함량은 283~368 μM 범위로서 수층이 비교적 안정된 정점 B7의 표면 혼합층에서 350 μM 이상이다. 반면에 고염수가 유입되는 제주서부해역 (B11)에서는 300 μM 이하로 낮다 (Fig. 3-3c).

암모니아이온 농도는 관측선 A와 마찬가지로 대부분의 정점들에서 0.5 μM 이하이다 (Fig. 3-3d).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도범위는 각각 <0.1~4.5, <0.1~0.6, 1.1~8.5 μM로서 분포양상은 대체로 수온 및 염분 분포와 유사하다 (Fig. 3-3e~h). 비교적 얇은 수심 (<40 m)과 저온저염 (T>9.0°C, S<33.0psu)의 특성을 갖는 완도주변해역 (B1~B3)에서의 질산이온, 인산이온 및 규산농도는 각각 >4.0, >0.5, >7.0 μM로서 높다. 그러나 이들 농도들은 관측선 A와 마찬가지로 고온고염의 특성을 보이는 제주도쪽으로 갈수록 감소하여 수온 및 염분이 각각 >14°C, >34.2 psu를 보이는 정점 B11에서의 이들 농도들은 각각 <1.5, <0.1, <2.5 μM 이하이다. 정점 B5와 B7의 저온저염 (T<10 °C, 33.0<S<33.2 psu)의 성질을 가진 저층수에서는 규산농도가 8.0 μM 이상으로 높다. 이 저층수는 관측선 A의 정점 A5~A7에서 관측된 풍부한 영양염류를 함유한 저층수와 수온 및 염분이 유사하다. 엽록소 a 함량범위는 0.01~3.2 μg l<sup>-1</sup>이다. 표, 저층수간의 수직혼합이 활발한 완도주변해역에서는 영양염은 주변 정점들에 비해 상대적으로 풍부하나, 불안정한 수층과 높은 입자성부유물질로 인한 광저하로 인해 0.2 μg l<sup>-1</sup> 이하로 낮다 (Fig. 3-3i). 그러나 표층에 33.0 psu 이하의 저염수가 출현하는 정점 B7의 10 m 수심에서는 저층의 황해냉수로 사료되는 저온저염수 (T<10°C, 33.0<S<33.1 psu)와 접하면서 형성된 안정된 수층으로 인하여 적절한 광조건 및 저층수로부터의 풍부한 영양염 공급등 식물플랑크톤의 성장을 위한 좋은 조건을 갖추어 3 μg l<sup>-1</sup> 이상의 높은 함량을 보이며, 춘계 대번식이 이 정점에서부터 시작함을 가리킨다.

### (3) 관측선 C (127° E; 고흥반도 남북회단면)

수소이온 농도 (pH) 범위는 7.7~8.4로서 완도에서 제주도로 갈수록 점차 감소하여 정점 C9에서 8.0 이하의 낮은 pH를 보인다 (Fig. 3-4a).

입자성부유물질 (SS) 함량범위는 0.3~10.3 mg l<sup>-1</sup>로서 완도 주변정점들 (C1~C3)에서 높고, 제주도쪽으로 갈수록 감소하여 제주도 주변 정점들에서는 1 mg l<sup>-1</sup> 이하로 낮다. 수심이 30 m 이내로 얇은 완도 주변 정점 (C1)에서의 수직분포는 표, 저층간의 농도차이를 보이지 않는 관측선 B와는 달리 수심 20 m를 경계로 급격히 증가하여 저층에서 10.3 mg l<sup>-1</sup>의 최대값을 보였다 (Fig. 3-4b).

용존산소 함량은 262~318 μM 범위로서 저온저염 (T>9.0°C, S<33.0psu)의 완도 주변 정점들에서 300 μM 이상이나, 고염수가 유입되는 정점 C5와 C7에서 270 μ

M 이하이다 (Fig. 3-4c).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도범위는 각각  $<0.1\sim 4.5$ ,  $<0.1\sim 0.6$ ,  $1.1\sim 8.5 \mu\text{M}$ 로서 분포양상은 대체로 수온 및 염분분포와 유사하다. 40 m 이내로 비교적 얕은 수심을 갖고있는 완도 주변해역 (C1~C3)에서는 영양염류 농도가 높으나, 고온고염 ( $T>16.0^\circ\text{C}$ ,  $S<34.5\text{psu}$ )의 특성을 갖는 정점 C5와 C7 사이에서 각각  $<1.0$ ,  $<0.1$ ,  $<1.5 \mu\text{M}$ 로 최소값을 보인다.

관측선 A와 B에서 높은 영양염류를 가진 저온저염( $T<10^\circ\text{C}$ ,  $33.0<S<33.2 \text{psu}$ )의 저층수는 관측선 C에서 관찰되지 않는다 (Fig. 3-4d~h).

엽록소 *a* 함량범위는 전반적으로  $0.2 \mu\text{g l}^{-1}$  이하로서 다른 관측선들에 비해 낮다 (Fig. 3-4i).

#### (4) 관측선 D ( $128^\circ \text{E}$ ; 남해도 남북횡단면)

수소이온 농도 (pH) 범위는  $7.1\sim 8.4$ 로서 다른 관측선들에 비해서 변화폭이 크다. 저온저염 ( $>12^\circ\text{C}$ ,  $>33.8\text{psu}$ )의 특성을 보이는 정점 D5의 저층에서는 7.5 이하의 낮은 pH를 보이나, 고염 ( $>34.6\text{psu}$ )의 외해역에서는 전층에 걸쳐 8.1 이상이다 (Fig. 3-5a).

입자성부유물질 (SS) 함량은  $0.1\sim 6.0 \text{mg l}^{-1}$  범위로서 조사된 관측선중 가장 낮아, 남해도 주변 정점 (D1)을 제외하고는  $2 \text{mg l}^{-1}$  이하이다 (Fig. 3-5b).

용존산소 함량범위는  $230\sim 321 \mu\text{M}$ 로서 수온 및 염분전선이 형성되어 있는 정점 D5~D7을 경계로 하여 연안역에서는  $295 \mu\text{M}$  이상으로 높으나 외해역으로 갈수록 감소하여 정점 D11의 저층에서  $230 \mu\text{M}$ 로서 최소값을 보인다 (Fig. 3-5c).

질산이온과 인산이온 농도범위는 각각  $<0.4\sim 5.8$ ,  $0.1\sim 0.7 \mu\text{M}$ 로서 분포양상은 유사하여 수온 및 염분전선 안쪽의 연안역에서는 대체로 수직적으로 균일하다. 그러나 전선 바깥쪽 외해역에서는 수심 30 m를 경계로 급격한 농도구배를 보여 정점 D11의 저층에서 최대값을 보인다. 그러나 규산의 경우에는 질산이온 농도분포와는 달리 입자성부유물질이 최대값을 보인 정점 D3 저층에서  $7.5 \mu\text{M}$ 로 가장 높다 (Fig. 3-5d~h).

엽록소 *a* 함량범위는  $<0.1\sim 1.5 \mu\text{g l}^{-1}$ 로서 남해도 근접 정점인 D1의 표면혼합층에서  $1 \mu\text{g l}^{-1}$  이상으로 높다 (Fig. 3-5i).

#### (5) 관측선 E ( $128^\circ \text{E}$ ; 낙동강하구-대마도 남북횡단면)

수소이온 농도 (pH) 범위는  $7.9\sim 8.4$ 로서 연안역에서는 수심이 깊어질수록 감소하여 정점 E3의 저층에서 최소값을 보인다 (Fig. 3-6a).

입자성부유물질 (SS) 함량은  $0.2\sim 7.4 \text{mg l}^{-1}$  범위이다. 낙동강하구 인접정점인 E1에서는  $5 \text{mg l}^{-1}$  이상으로 높고, 비교적 표, 저층간에 균질하다. 그러나 외해쪽으로 갈수록 입자성부유물질 함량은 급속히 감소하여 고염 ( $>34.5\text{psu}$ )의 특성을 보이는

정점 E4~E8에서의 표면혼합층내에서는  $1 \text{ mg l}^{-1}$  이하이다 (Fig. 3-6b).

용존산소 함량범위는  $260\sim 356 \mu\text{M}$ 로서 뚜렷한 분포양상은 보이지 않는다 (Fig. 3-6c).

낙동강 하구역에 인접한 정점 E1의 표층수에서는 암모니아이온 및 질산이온농도가 각각  $2.8, 21.6 \mu\text{M}$ 로서 낙동강의 영향으로 인해 다른 정점들에 비해 상대적으로 상당히 높으나 인산이온농도는  $0.2 \mu\text{M}$  정도이다. 질소 대 인산 비 (N/P)는 100 이상으로서 질소계 영양염이 인산염에 비해 상대적으로 높다 (Fig. 3-6d~h).

엽록소 *a* 함량범위는  $<0.1\sim 1.1 \mu\text{g l}^{-1}$ 로서 낙동강 하구 인접정점들에서 비교적 높다 (Fig. 3-6i).

#### 4.2.2. 1998년 9월

##### (1) 관측선 A ( $126^{\circ} 33'E$ ; 보길도-제주도 남북횡단면)

입자성부유물질 (SS) 함량범위는  $0.2\sim 5.5 \text{ mg l}^{-1}$ 로서 춘계 (4월)와는 달리 수심이 얇은 연안해역에서도 수심  $20\sim 30\text{m}$ 에 강하게 형성되어 있는 밀도약층으로 인해 저층으로부터의 공급을 제한받아 표면혼합층 내에서는  $1 \text{ mg l}^{-1}$  이하로 낮다. 그러나 밀도약층 아래에서는 해저퇴적물의 재부유로 인해 수심 증가에 따라 입자성부유물질 함량이 증가하여 저층에서는  $3 \text{ mg l}^{-1}$  이상이다 (Fig. 3-7a).

용존산소 함량은  $145\sim 235 \mu\text{M}$  범위로서 저염수 ( $<31\text{psu}$ )가 출현하는 정점 A2~A3의 표층에서  $230 \mu\text{M}$  이상으로 높으나, 외해쪽으로 갈수록 점차 감소한다. 수직적으로는 수심증가에 따라 용존산소 함량은 감소하여, 상대적으로 고염의 특성을 보이는 외해역의 저층에서  $170 \mu\text{M}$  이하이다 (Fig. 3-7b).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도범위는 각각  $0.1\sim 11.0, <0.1\sim 0.7, 3.5\sim 15.1 \mu\text{M}$ 로서 강하게 형성되어 있는 밀도약층이 저층으로부터의 공급을 제한하여 연안역의 표층에서도 질산이온 및 인산이온농도는 각각  $0.5, 0.1 \mu\text{M}$  이하로 고갈되어 있다. 그러나 밀도약층을 경계로 수심이 증가함에 따라 이들 농도는 급격하게 증가하여 외해역의 저층에서 최대값을 갖는다 (Fig. 3-7c~g).

엽록소 *a* 함량은  $0.2\sim 0.8 \mu\text{g l}^{-1}$  범위로서 용존산소함량이 최대값을 보이는 저염수역 ( $<31\text{psu}$ ; 정점A2~A3)의 표층에서 최대값을 갖는다 (Fig. 3-7h).

##### (2) 관측선 C ( $126^{\circ} 42'E$ ; 고흥반도 남북횡단면)

입자성부유물질 (SS) 함량범위는  $0.2\sim 4.7 \text{ mg l}^{-1}$ 로서 분포양상은 일반적으로 관측선 A와 유사하여 수심  $20\text{m}$  부근에 형성된 강한 성층의 영향으로 인해 표면혼합층내에서는  $1 \text{ mg l}^{-1}$  이하로 낮다. 그러나 밀도약층 아래에서는 해저퇴적물의 재부유로 인해 수심증가에 따라 입자성부유물질 함량이 증가하여 정점 C1의 저층에서

5.5 mg l<sup>-1</sup>로 최대값을 갖는다 (Fig. 3-8a).

용존산소 함량은 154~224 μM 범위로서 관측선 A와 유사한 범위를 갖는다. 수직적으로는 밀도약층을 경계로 이하에서 급격히 감소하여 정점 C3의 저층에서 최소값을 보인다 (Fig. 3-8b).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도범위는 각각 0.2~9.7, <0.1~0.7, 2.8~17.9 μM로서 관측선 A와 마찬가지로 표면혼합층내에서는 거의 고갈되어 있으나 밀도약층을 경계로 이들 농도는 급격히 증가한다. 용존산소 함량이 최소값을 보인 정점 C3의 저층에서는 아질산이온과 규산농도가 최대값을 보였다 (Fig. 3-8c~g).

엽록소 a 함량 또한 강한 밀도약층의 형성으로 인한 저층으로부터의 영양염류 공급 제한으로 표층에서는 0.2 μg l<sup>-1</sup>로서 낮다. 그러나 비교적 저층으로부터의 영양염 공급이 원활하고, 광조건이 양호한 밀도약층 상부층에서 최대값을 보인다 (Fig. 3-8h).

#### 4.3.3. 1998년 11월

##### (1) 관측선 A (126° 33'E; 보길도-제주도 남북횡단면)

입자성부유물질 (SS) 함량범위는 0.4~10.9 mg l<sup>-1</sup>로서 수심이 얇은 연안역에서는 성층의 파괴로 인한 표,저층수의 혼합으로 5 mg l<sup>-1</sup> 이상의 높은 함량을 보인다. 그러나 외해역쪽으로 갈수록 입자성부유물질 함량은 급격히 감소하여 외해역의 표층에서는 1 mg l<sup>-1</sup> 이하이고, 수직적으로는 수심 증가에 따라 점차 증가한다 (Fig. 3-9a).

용존산소 함량은 156~259 μM 범위로서 표,저층수의 수직혼합이 비교적 활발히 일어나는 연안역에서는 비교적 수직적으로 균일하고 용존산소 함량이 최대값을 보이며 외해역쪽으로 갈수록 점차 감소한다. 수직적으로는 외해역에서 수심 30~50m에 형성되어 있는 밀도약층을 경계로 급격한 농도구배를 보이면서 감소하여 저층에서 160 μM이하이다 (Fig. 3-9b).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도범위는 각각 1.5~13.0, <0.1~0.75, 4.2~20.9 μM로서 농도분포는 용존산소함량 분포양상과 유사하다. 수심이 얇은 연안역에서는 표,저층수의 혼합으로 인해 이들 농도들은 비교적 높고, 수직적으로 비교적 균일하다. 그러나 외해역쪽으로 갈수록 이들 농도들은 정점 A3와 A5를 경계로 급격히 감소한다. 제주부근해역에서는 30~50m에 형성되어 있는 밀도약층을 경계로 급격한 농도구배를 보이며, 저층에서 최대값을 보인다 (Fig. 3-9c~g).

엽록소 a 함량은 표면혼합층내에서 <0.1~0.5 μg l<sup>-1</sup>로서 비교적 풍부한 영양염류를 갖지만 높은 탁도를 보이는 연안역보다는 안정된 수층과 저층수로부터의 풍부한 영양염류를 공급받을 수 있는 외해역의 밀도약층 상부층에서 높다 (Fig. 3-9h).

##### (2) 관측선 B (126° 42'E; 고흥반도 남북횡단면)

입자성부유물질 (SS) 함량범위는  $0.5 \sim 3.8 \text{ mg l}^{-1}$ 로서 관측선 A 보다는 범위폭이 작고, 표,저층수간의 수직혼합이 일어나는 연안역에서의 함량 또한 낮다 (Fig. 3-10a).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도범위는 각각  $3.5 \sim 12.7$ ,  $<0.1 \sim 0.71$ ,  $8.9 \sim 20.9 \text{ } \mu\text{M}$ 로서 분포양상은 관측선 A와 유사하여 수심이 얇은 연안역에서는 수직적으로 비교적 균일하나, 외해역에서는 강한 밀도약층이 형성되어 있는 수심 30m를 경계로 하여 수심증가에 따라 이들 농도는 급격하게 증가한다 (Fig. 3-10b~f).

엽록소 *a* 함량은 표면혼합층내에서  $<0.1 \sim 0.3 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ 로서 관측선 A와 마찬가지로 연안역에서 낮은 함량을 보이나, 외해역의 밀도약층 상부층에서 최대값을 보인다 (Fig. 3-10g).

### 4.3. 대륙붕 해양화학성분 분포 특성

남해는 황해, 동중국해 및 동해와 인접해 있어 해황은 매우 복잡하고, 주변 대륙으로부터 방출된 담수의 영향으로 영양염류를 비롯한 화학성분들의 시공간적 변화도 매우 심하다. 따라서 계절 변동성이 큰 남해에서의 생지화학적 특성을 이해하기 위해서는 입자성부유물질, 용존산소 및 용존무기영양염류 농도에 대한 계절변화를 이해하는 것이 필수적이다.

일반적으로 이들 화학성분들은 계절변화에 따라 뚜렷한 특징을 갖는다.

pH는 해수의 염분도가 35 psu이고, 대기의 이산화탄소와 평형을 유지할 경우에는 8.3 정도이다. 해수에서 pH를 조절하는 인자는 일차생산력과 유기물 분해로 인한 탄산염의 증감으로 인해 pH가 증감한다. 남해에서의 pH는 대부분의 해역에서는 정상적인 해양에서의 값을 보이나, 저층에서는 pH가 8.0 이하로 낮다. 이것은 저층으로 가라앉은 유기물질의 생화학적 산화로 인해 용존산소함유량과 pH가 감소하기 때문이다.

입자성부유물질 농도는 춘계 (4월)에 연안해역에서는 표, 저층간의 농도가 비교적 균일하나, 하계에는 표층과 저층의 농도차이가 매우 크다.

수평 농도분포는 해저퇴적층의 구성이 실트와 점토로 구성 (제 6장 참조)되어 있는 한반도 서남해역 (진도 및 완도 근접해역)에서는 연중  $5 \text{ mg l}^{-1}$  이상으로 높고, 서쪽에서 동쪽으로, 연안에서 외해로 갈수록 감소하는 분포양상을 보인다. 이는 남해로 유입되는 퇴적물중 상당량이 한반도 서남해역의 연안역에서 기원되고 있음을 암시한다. 일반적으로 한반도 서남해역 연안역에서 겨울에 강한 바람의 영향으로 인한 표,저층수의 혼합으로 해저의 퇴적물들이 재부유되어 일부가 남해로 유입되는 것으로 알려져 있다 (Wells, 1988). 또한 연중 제주해협 (관측선 B)의 저온저염 ( $T < 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $33.0 < S < 33.2 \text{ psu}$ )의 특성을 갖는 저층수에서의 입자성부유물질 농도는  $10 \text{ mg l}^{-1}$  이상으로 높다. 이러한 저온저염수를 통해서도 상당량의 부유물질들이 남해로 유입될 수 있다. 조와 김 (1994)은 제주해협의 북쪽을 통해 남해로 유입되는 1

4°C 이하의 저온수를 통해서 세립퇴적물이 운반되어 유속이 작은 남해 중앙부해역에 퇴적될 가능성을 시사한 바 있다.

질산이온, 인산이온 및 규산등 용존무기영양염류의 농도분포 또한 입자성부유물질과 마찬가지로 시·공간적으로 뚜렷한 변화 양상을 보인다.

Fig. 3-11과 3-12는 남해에서 수심이 얇고, 저염수 영향을 받는 연안역과 상대적으로 수심이 깊고, 고염의 영향을 받는 정점에서의 수온, 염분, 용존산소 및 용존무기영양염류등에 대한 계절별 수직분포도이다. 춘계 (4월)에 수심이 얇은 연안해역에서는 표, 저층수간의 혼합으로 인하여 이들 농도들은 수직적으로 비교적 균일하다. 그러나 9월에는 식물플랑크톤에 의한 영양염 소모와 강하게 형성되어있는 성층으로 저층수로부터의 공급제한을 받아 표면 혼합층내에서의 영양염류는 거의 고갈되어 있다. 그러나 수온약층을 경계로 급격히 증가하는 농도구배를 보인다. 이시기에 밀도약층 기저부에 용존산소 및 엽록소 a의 최대층이 형성된다. 이것은 빛은 충분하나 강한 밀도약층의 형성으로 인해 저층으로부터의 영양염공급이 제한을 받기 때문에 표층 식물플랑크톤이 밀도약층 부근에 가라앉거나, 수괴의 혼합으로 인해 아래로 내려온 식물플랑크톤이 표층 수괴의 안정으로 인해 밀도약층 부근에 머무르면서 광합성이 더 활발하여 산소를 더 많이 생성하는데 기인된다 (Goering et al., 1970; Pingree et al., 1976; Chung et al., 1991).

수심이 깊은 외해역에서는 연중 수심 20~40 m 부근에 수온약층이 형성되어 있다. 따라서 표층에서의 입자성부유물질 및 영양염류 농도는 낮으며, 수심이 깊어짐에 따라 증가하여, 표층과 저층간에 약 10배 이상의 농도 차이를 보인다. 이것은 생물입자에 의한 제거와 생산의 결과인데, 일반적으로 광합성이 활발한 표층에서는 식물플랑크톤의 소모와 강한 밀도약층 형성에 의한 저층수로부터의 공급제한으로 인하여 영양염류의 결핍이 일어난다. 그러나 수온약층을 경계로 아래 수심에서는 유평대에서 가라앉은 유기물 입자가 박테리아에 의해 용존산소가 소모되면서 무기화 (rem mineralization)되어 상대적으로 영양염류가 풍부하고, 유기물 분해로 인한 이산화탄소의 증가로 인해 pH가 낮다. 무기화된 영양염류는 밀도약층이 수직혼합을 억제하고, 식물플랑크톤은 빛이 부족한 밀도약층 아래에서는 성장하기 어려우므로 재생된 영양염류는 저층에서 계속 축적되고, 용존산소는 감소한다.

#### 4.4. 수괴특성에 따른 영양염류 농도 분포

남해는 저염의 황해 및 남해연안수와 양자강화석수와 쿠로시오로부터 분지되어 남해로 유입되는 고염의 대마난류수, 그리고 제주도 서쪽을 우회하여 제주해협을 통해 유입되는 제주난류수, 황해에서 남하하여 제주해협을 통해 유입되는 황해저층 냉수등 서로 기원을 달리하는 다양한 해수가 출현하여 시·공간적으로 복잡한 해황을 보이며, 각각의 수괴별로 고유의 화학특성을 갖는다. 이에 따라 1998년 4월, 9월 및 11월 제주해협에 출현하는 고온고염 표층수 (제주인접부근해역), 저염의 연안 표

층수 (보길도부근) 및 저온저염의 저층수로 구분하여 이 둘 수괴에 따른 친생물원소들의 분포특성을 수온-염분도표를 기초로하여 Table 3-7 에 정리하였다.

Table 3-7. Ranges of T, S, SS, DO and Nutrients concentrations at each water masses in the Cheju Strait based on T-S diagram.

Water mass	1998. 4.	1998. 9.	1998. 11
남해연안 표층수 (보길도인접해역)	T<11, S<33 S.S : 2.3~10.3 DO: NO <sub>3</sub> : 1.5~2.2 PO <sub>4</sub> : 0.3~0.5 Si(OH) <sub>4</sub> : 4.5~6.3	T>23, S<31 S.S : 0.2~2.8 DO: 212~230 NO <sub>3</sub> : 0.1~0.7 PO <sub>4</sub> : <0.1 Si(OH) <sub>4</sub> : 3.5~6.2	T>14, S<32.6 S.S : 1.0~3.2 DO: NO <sub>3</sub> : 5.0~6.4 PO <sub>4</sub> : 0.4~0.6 Si(OH) <sub>4</sub> : 10~14
외해역 표층수 (제주인근해역)	T<17, S>34.5 S.S : 0.1~0.4 DO: NO <sub>3</sub> : 0.4~0.9 PO <sub>4</sub> : 0.3 Si(OH) <sub>4</sub> : 0.1~0.2	T<20 32.5<S<33.5 S.S : 0.3~1.2 DO: 200~224 NO <sub>3</sub> : 0.3~1.5 PO <sub>4</sub> : <0.1 Si(OH) <sub>4</sub> : 2.9~5.9	T>17, 32.6<S<33.9 S.S : 0.4~2.5 DO: 226~240 NO <sub>3</sub> : 1.5~2.5 PO <sub>4</sub> : <0.1 Si(OH) <sub>4</sub> : 4.2~6.5
저온 저층수	T<15, 34.2<S<34.5 S.S : 0.2~0.8 DO: NO <sub>3</sub> : 1.0~5.8 PO <sub>4</sub> : 0.2~0.7 Si(OH) <sub>4</sub> : 3~8	T<15, 33.5<S<34.2 S.S : 1.0~5.5 DO: 163~188 NO <sub>3</sub> : 8.4~10.5 PO <sub>4</sub> : 0.6~0.8 Si(OH) <sub>4</sub> : 12~15	T>17, 32.6<S<34 S.S : 1.0~3.5 DO: <160 NO <sub>3</sub> : 10~13 PO <sub>4</sub> : 0.5~0.8 Si(OH) <sub>4</sub> : 17~21

Unit : T: °C, S: psu. S.S.: mg l<sup>-1</sup>, DO, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, Si(OH)<sub>4</sub>: μM

4월 제주부근해역의 표층수는 고염의 특성을 가진 대마난류의 영향으로 수심이 얕아 저층으로부터 또한 육상으로부터의 공급이 용이한 연안역보다 상대적으로 영양염류 농도가 낮다. 그러나 9월과 11월에는 저염의 해수와 혼합되면서 염분은 감소하고 영양염류는 증가한다. 특히 인산이온에 비해 상대적으로 질산이온이 높아 N/P 비율이 30 이상을 보인다. 이것은 양자강 퇴적수의 영향때문인 것으로 사료되는데, 일반적으로 농업지역을 집수역으로 하는 중국 하천수는 질소비료의 사용으로 인해 인산염에 비해 상대적으로 풍부한 질소계 영양염류를 함유하는 것으로 알

려져 있다 (Hong et al., 1997). 또한 인산염은 수화철에 의한 제거, 현탁물질에 의한 흡착 및 탈착등 질소계 영양염류와는 다른 물질순환 과정을 겪는 것으로 알려져 있어 양자강 퇴적수 중 상당량의 인산이온이 운송과정중 제거된다 (Edmond et al., 1985). Kim등 (1998) 또한 1996년 제주 서쪽 및 남쪽해역에서 출현하는 저염의 표층 중 인산이온 농도는 주변해역과 유사하나, 질산이온은 상대적으로 풍부하였고, 이를 양자강 퇴적수에 의한 영향인 것으로 추정하였다.

저층수는 저온 ( $T < 15^{\circ}\text{C}$ )의 특성과 연중 풍부한 영양염류를 함유하고 있으며, 이들 농도는 4월에서 11월로 갈수록 점차 축적된다. 이는 저층에 가라앉은 유기물의 분해로 무기화 (reminalization)되고, 강하게 형성된 밀도약층이 생물활동이 활발한 표층으로의 공급을 제한하여 저층에서 축적되기 때문이다. 남해에서 저온의 특성을 갖는 저층수는 황해냉수계가 기원으로서 제주해협의 북쪽단면을 통해 남해로 유입된 것으로 알려져 있다 (Rho, 1985; Cho and Kim, 1994).

본 연구에서도 9월 라돔 동위원소를 이용하여 해수기원을 분석한 결과 저온의 저층수는 황해에서 유래된 것으로 사료된다 (9. 해수기원 참조).



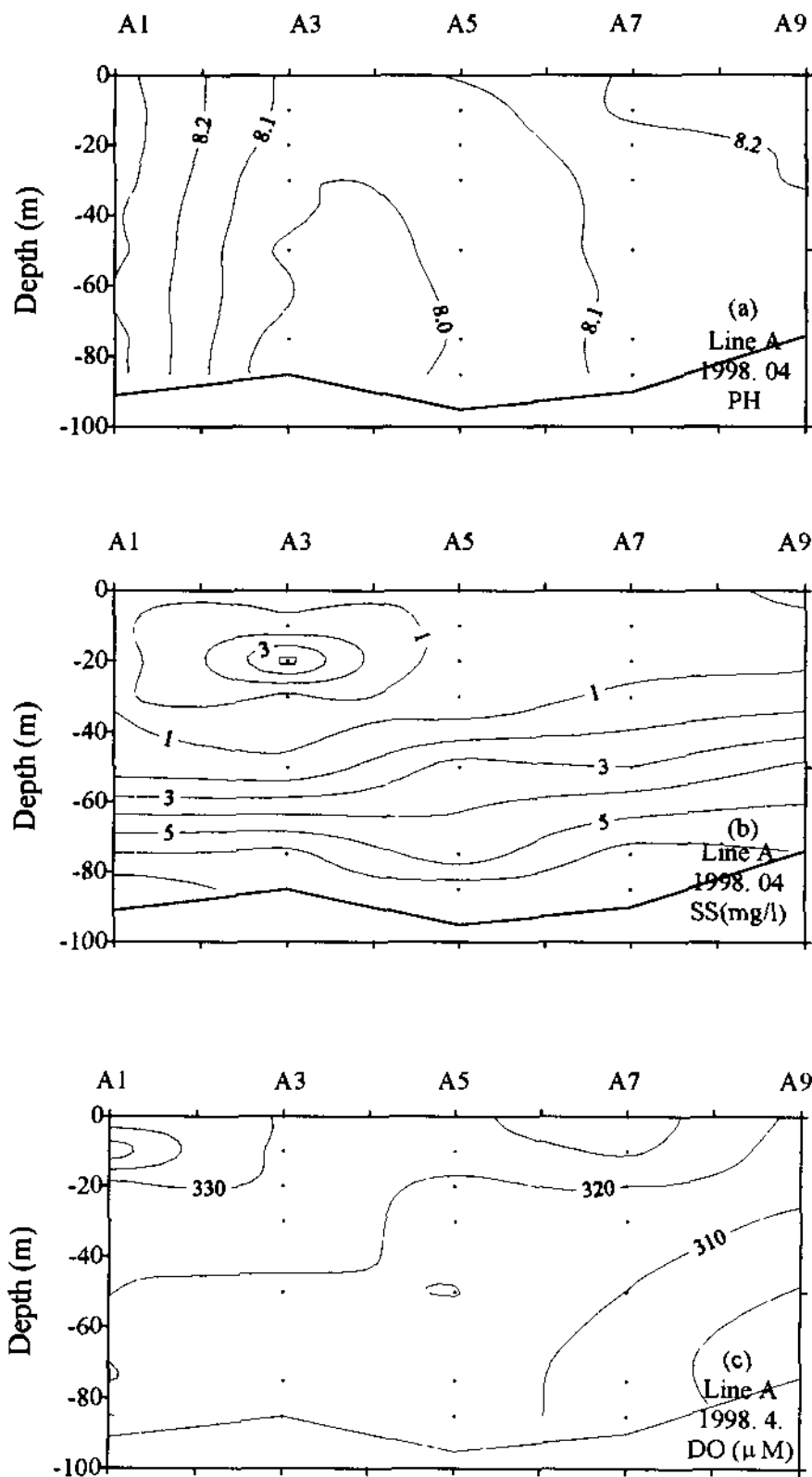


Fig 3- 2. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d)  $\text{NH}_4^+$ , (e)  $\text{NO}_2^-$ , (f)  $\text{NO}_3^-$ , (g)  $\text{PO}_4^{3-}$ , (h)  $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll a along section A in April 1998

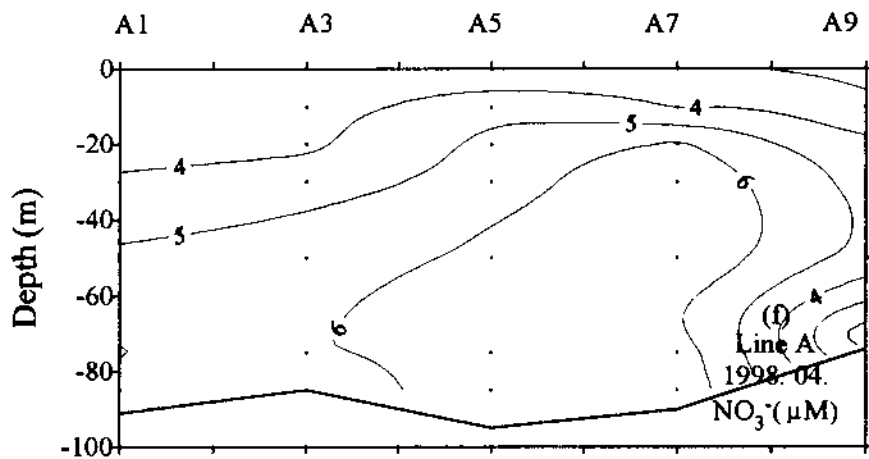
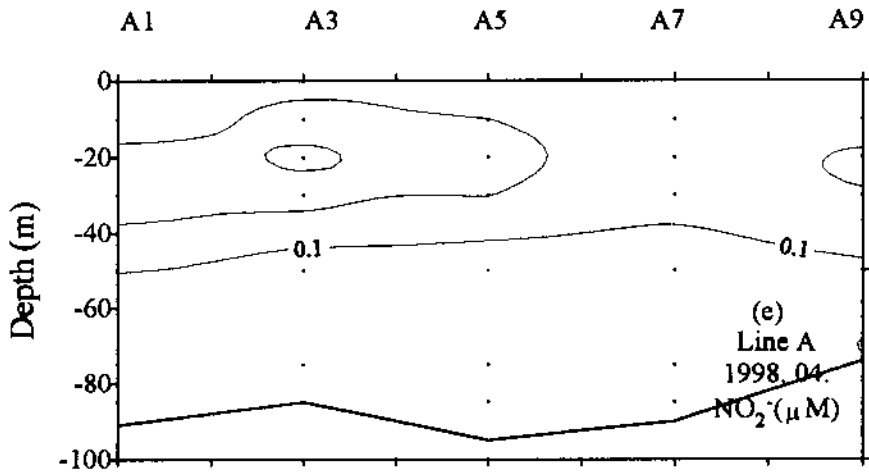
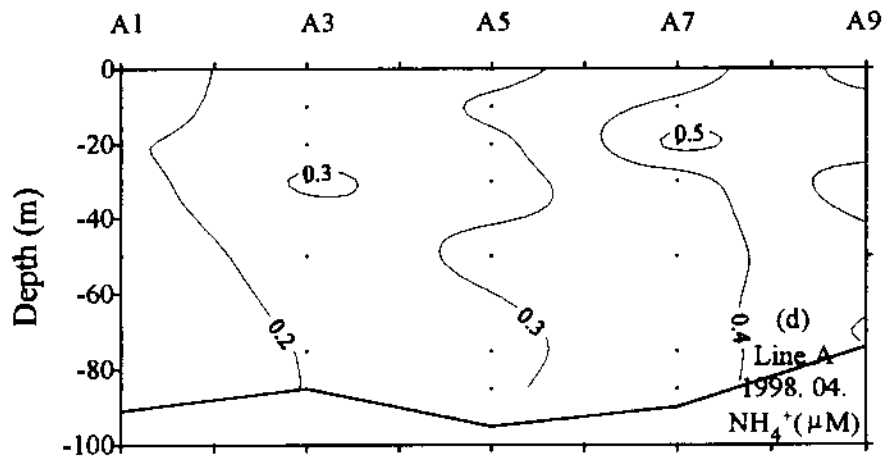


Fig. 3-2. Continued.

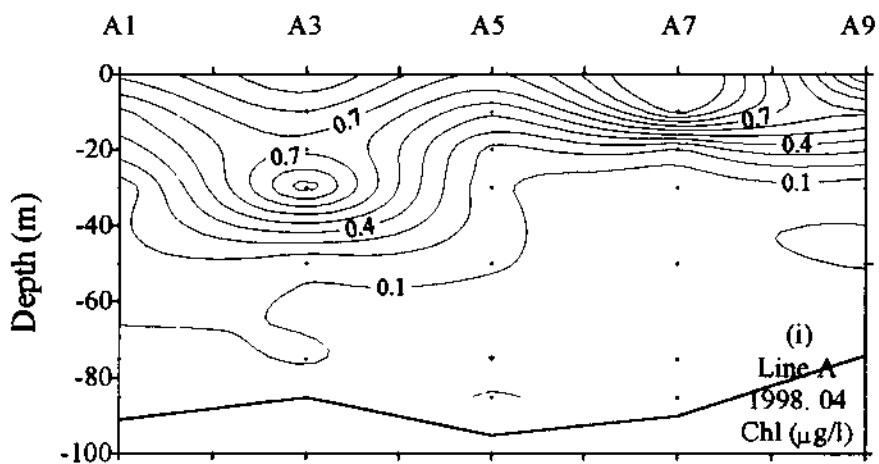
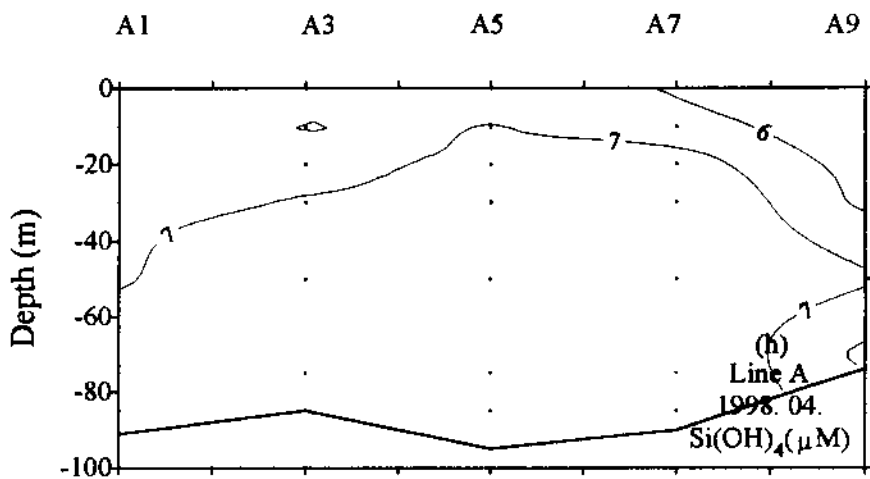
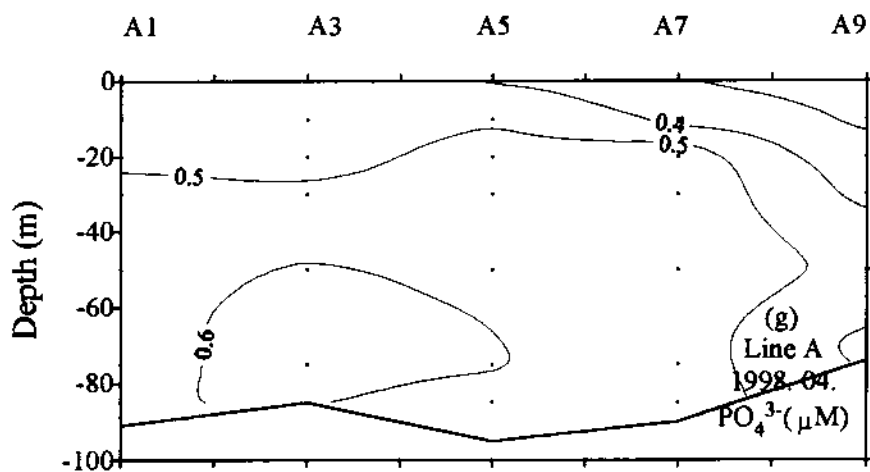


Fig. 3- 2. Continued.

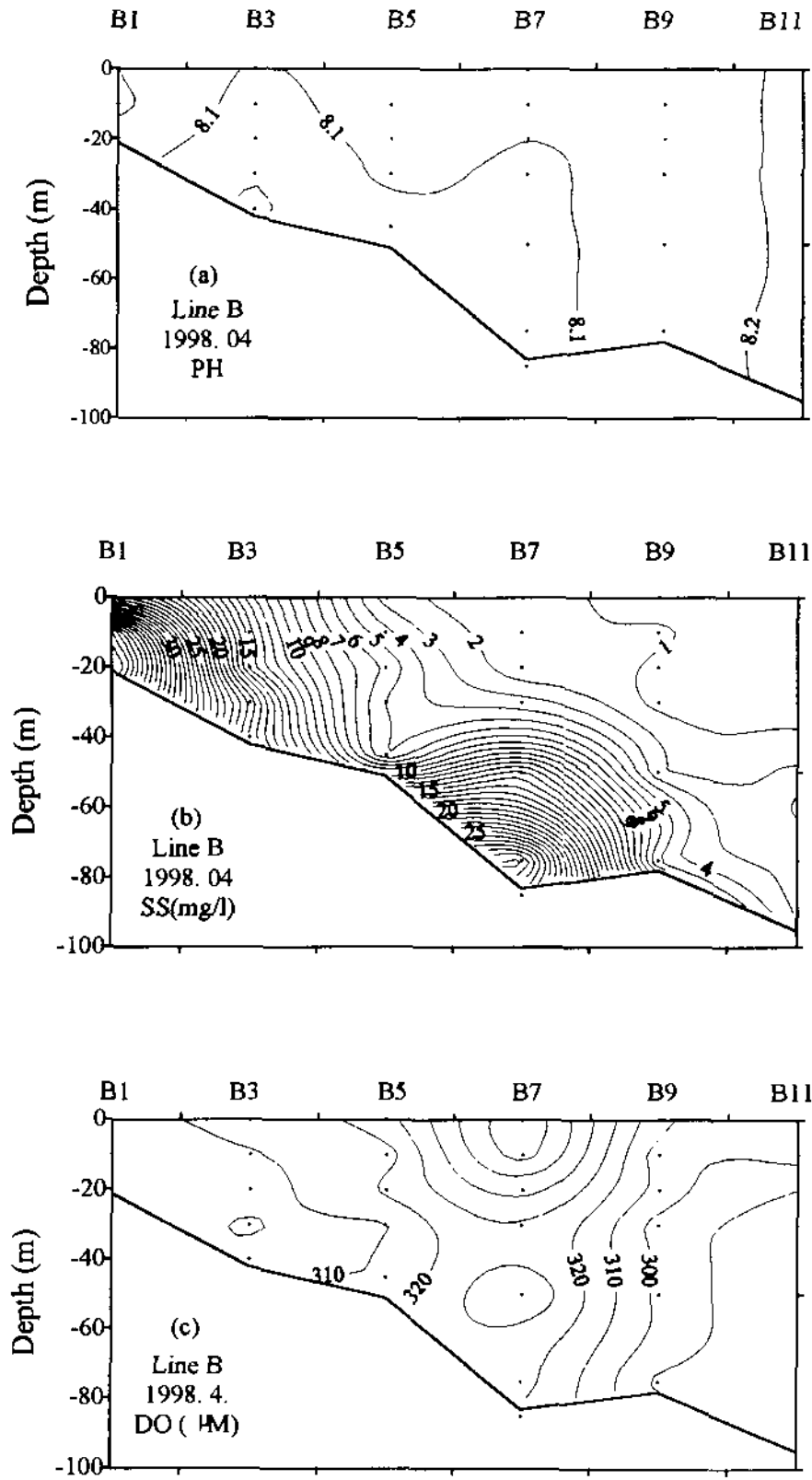


Fig. 3- 3. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d)  $\text{NH}_4^+$  (e)  $\text{NO}_2^-$  (f)  $\text{NO}_3^-$ , (g)  $\text{PO}_4^{3-}$ , (h)  $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll a along section B in April 1998.

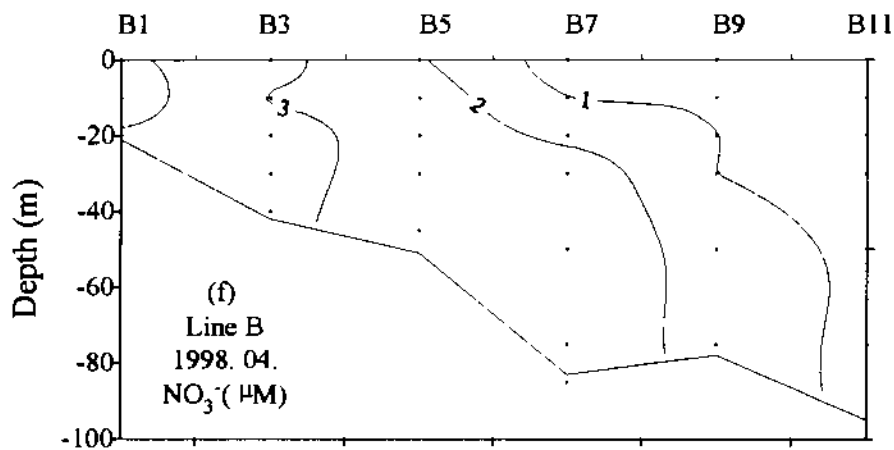
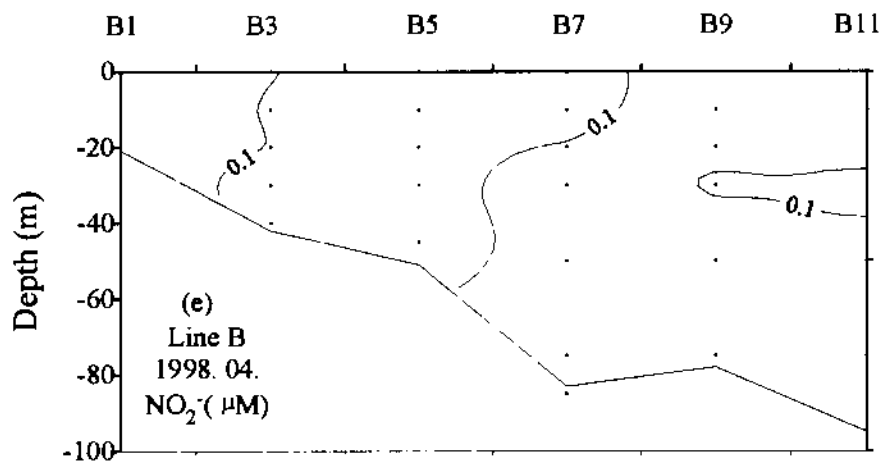
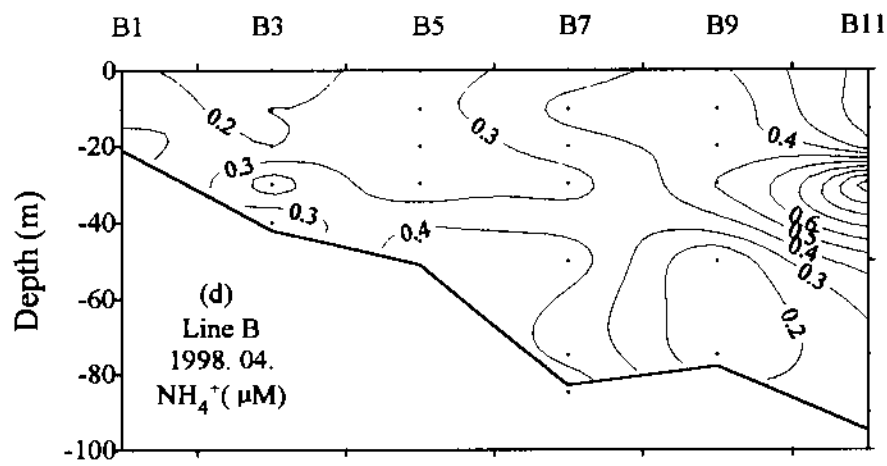


Fig.3- 3. Continued.

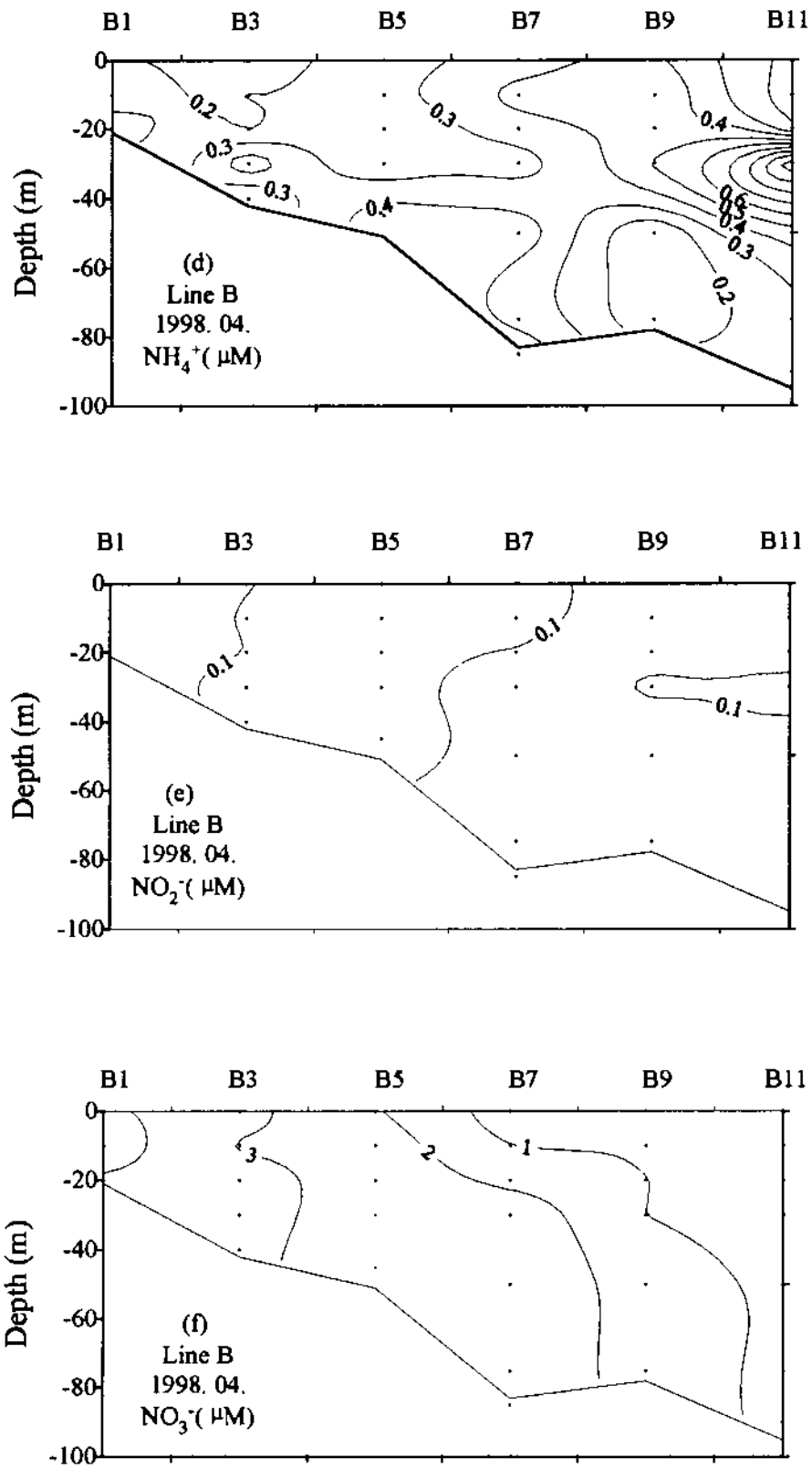


Fig.3-3. Continued.

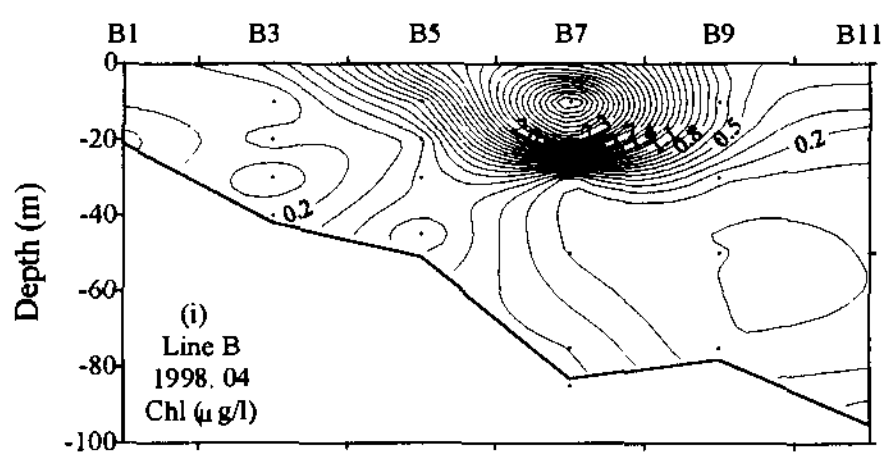
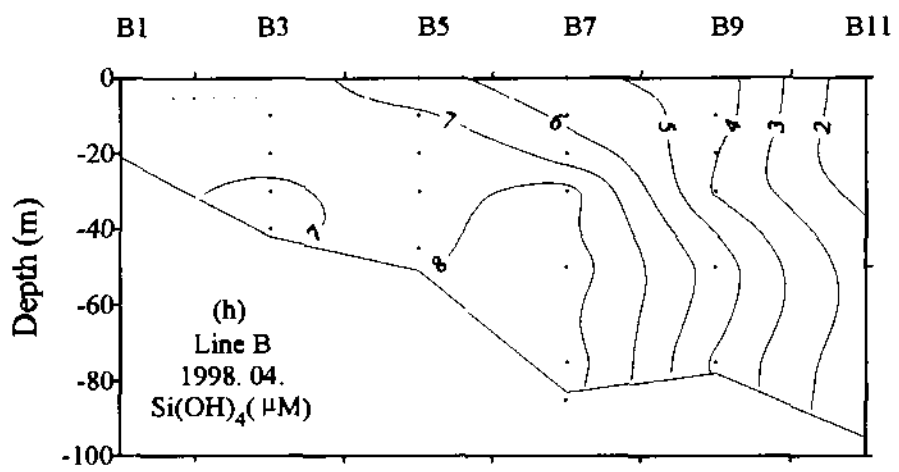
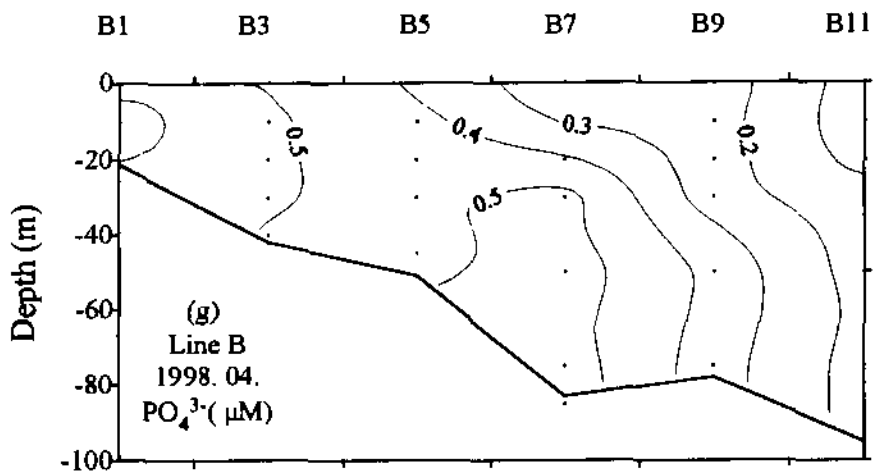


Fig. 3-3. Continued

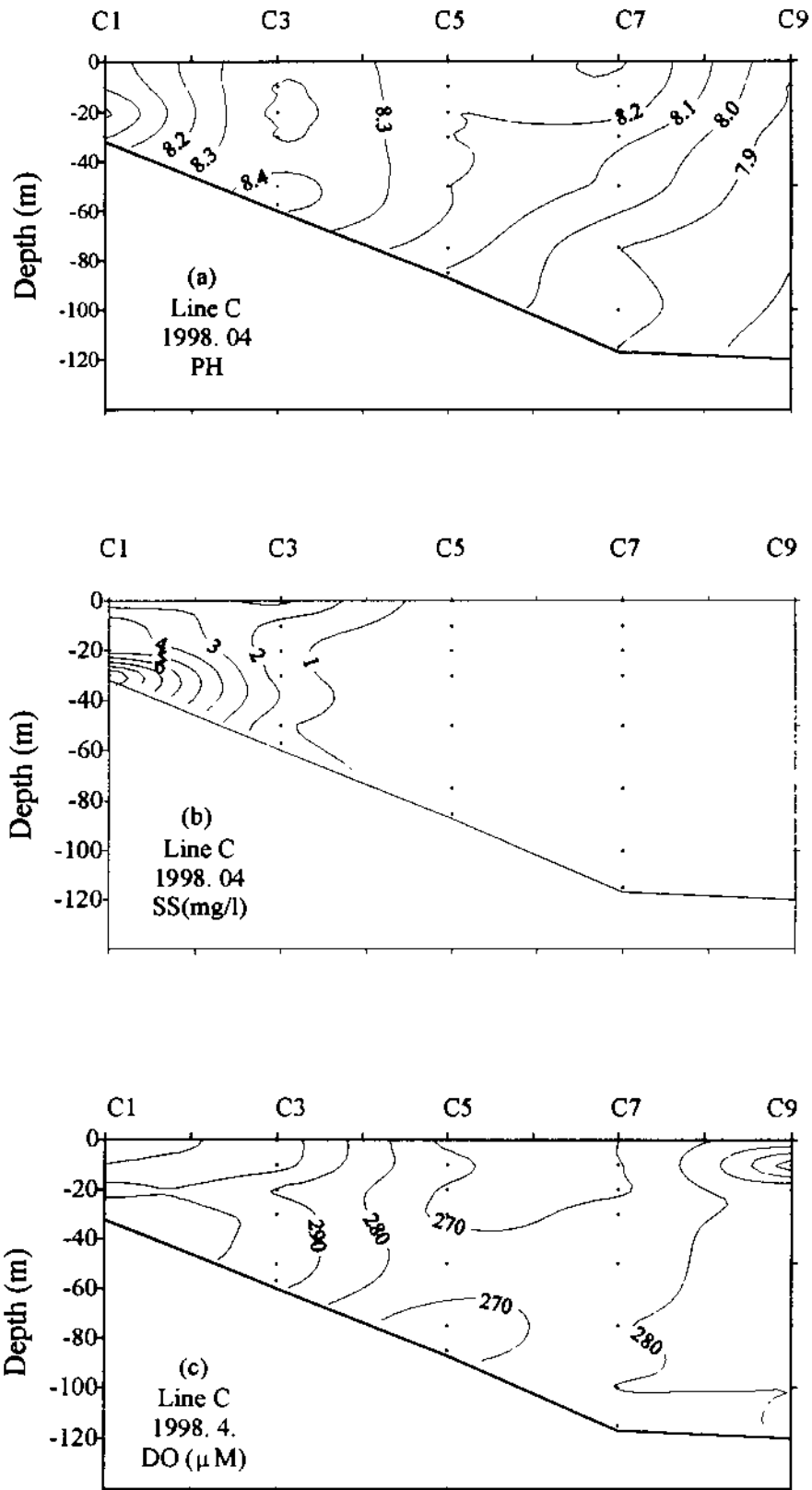


Fig. 3- 4. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d)  $\text{NH}_4^+$  (e)  $\text{NO}_2^-$  (f)  $\text{NO}_3^-$ , (g)  $\text{PO}_4^{3-}$ , (h)  $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll a along section C in April 1998



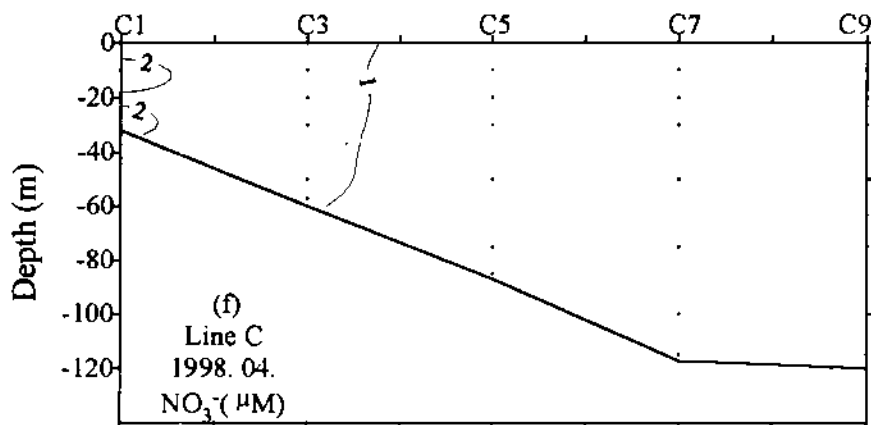
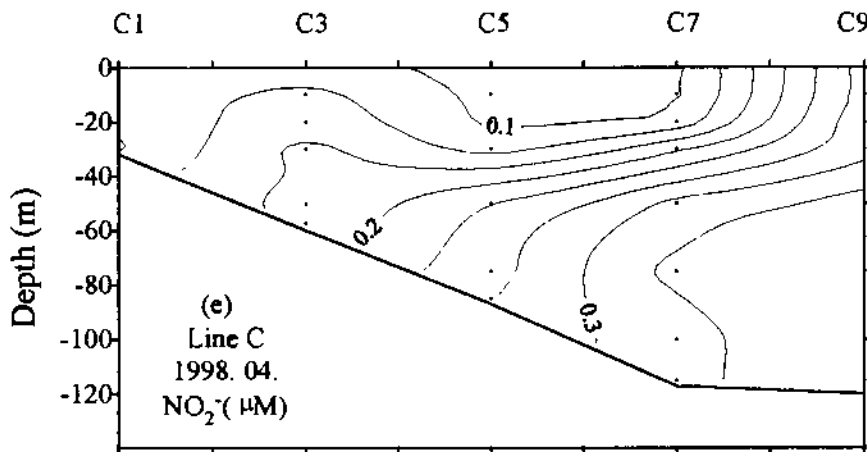
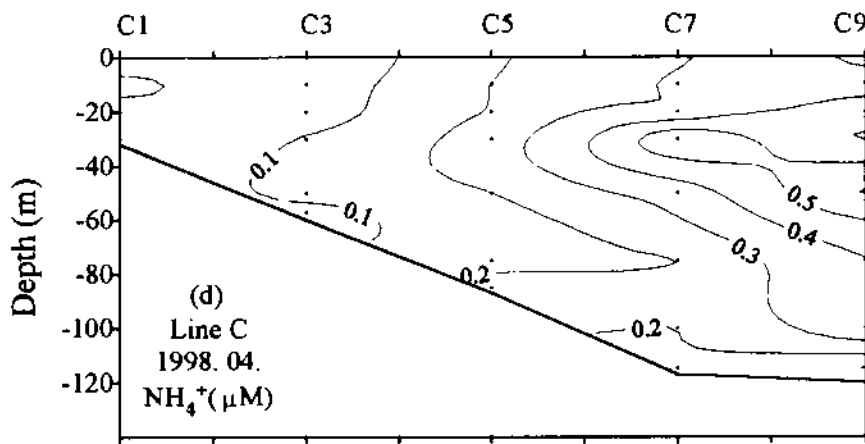


Fig 3-4 Continued

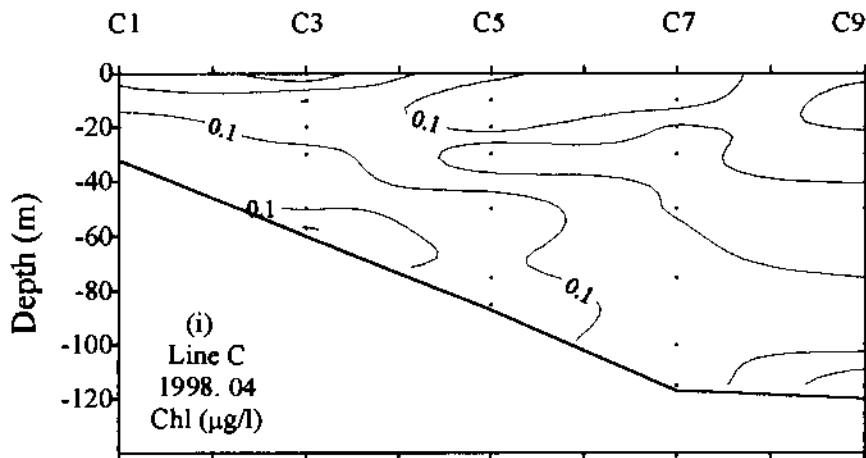
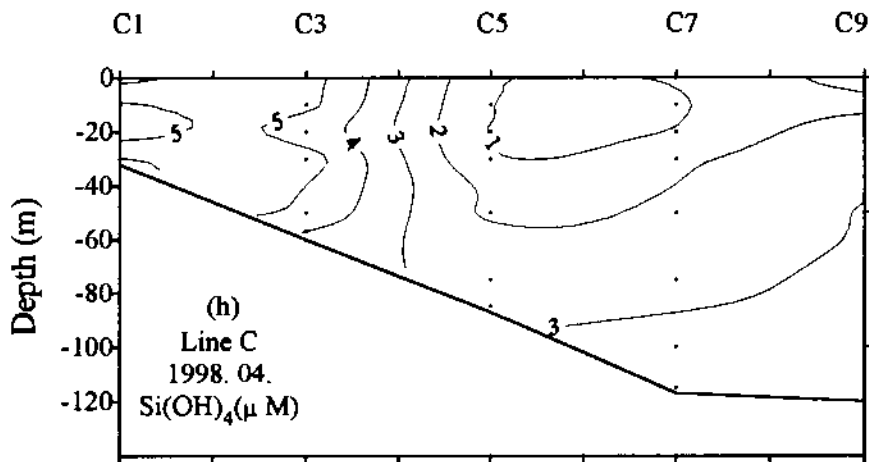
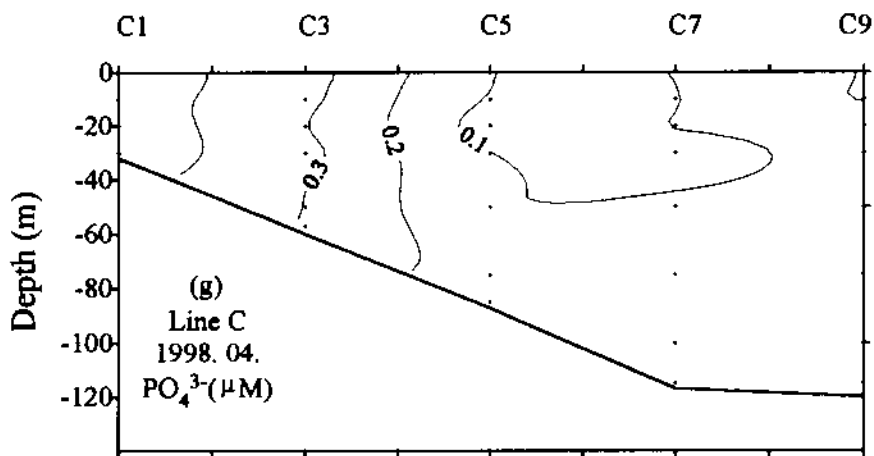


Fig. 3- 4. Continued.

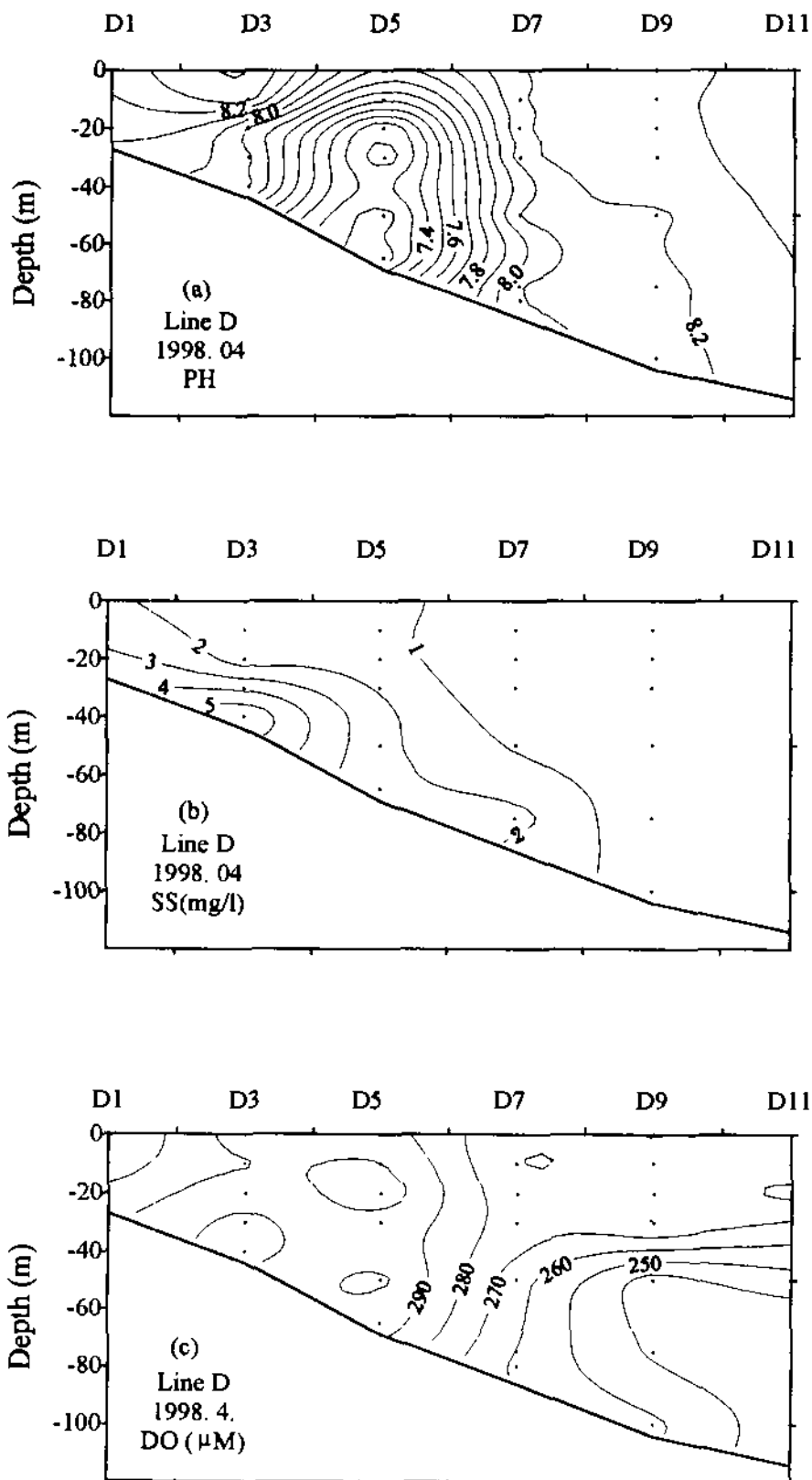


Fig. 3- 5. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d)  $\text{NH}_4^+$ , (e)  $\text{NO}_2^-$ , (f)  $\text{NO}_3^-$ , (g)  $\text{PO}_4^{3-}$ , (h)  $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll a along section D in April 1998.

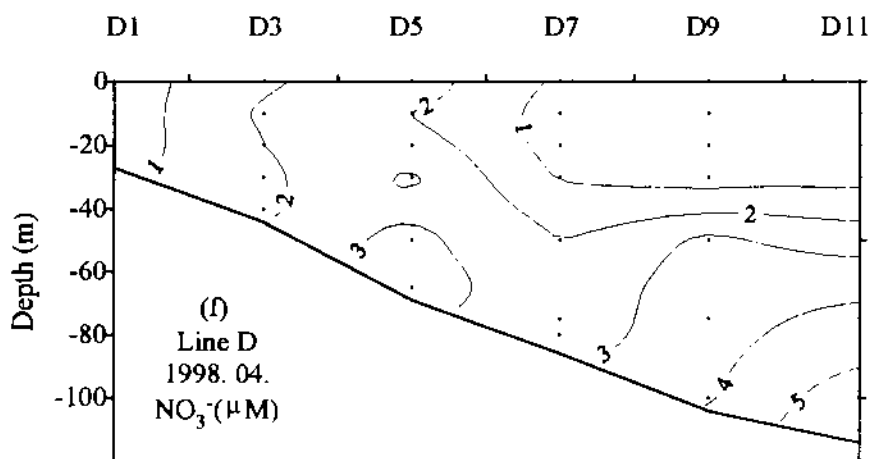
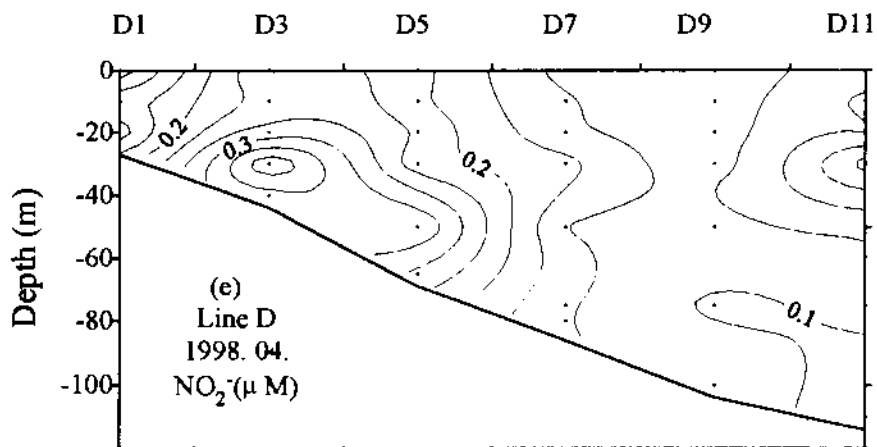
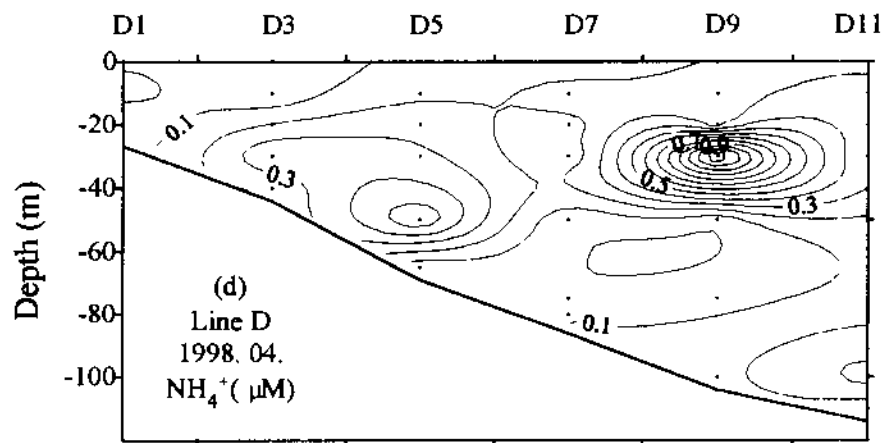


Fig. 3-5 Continued

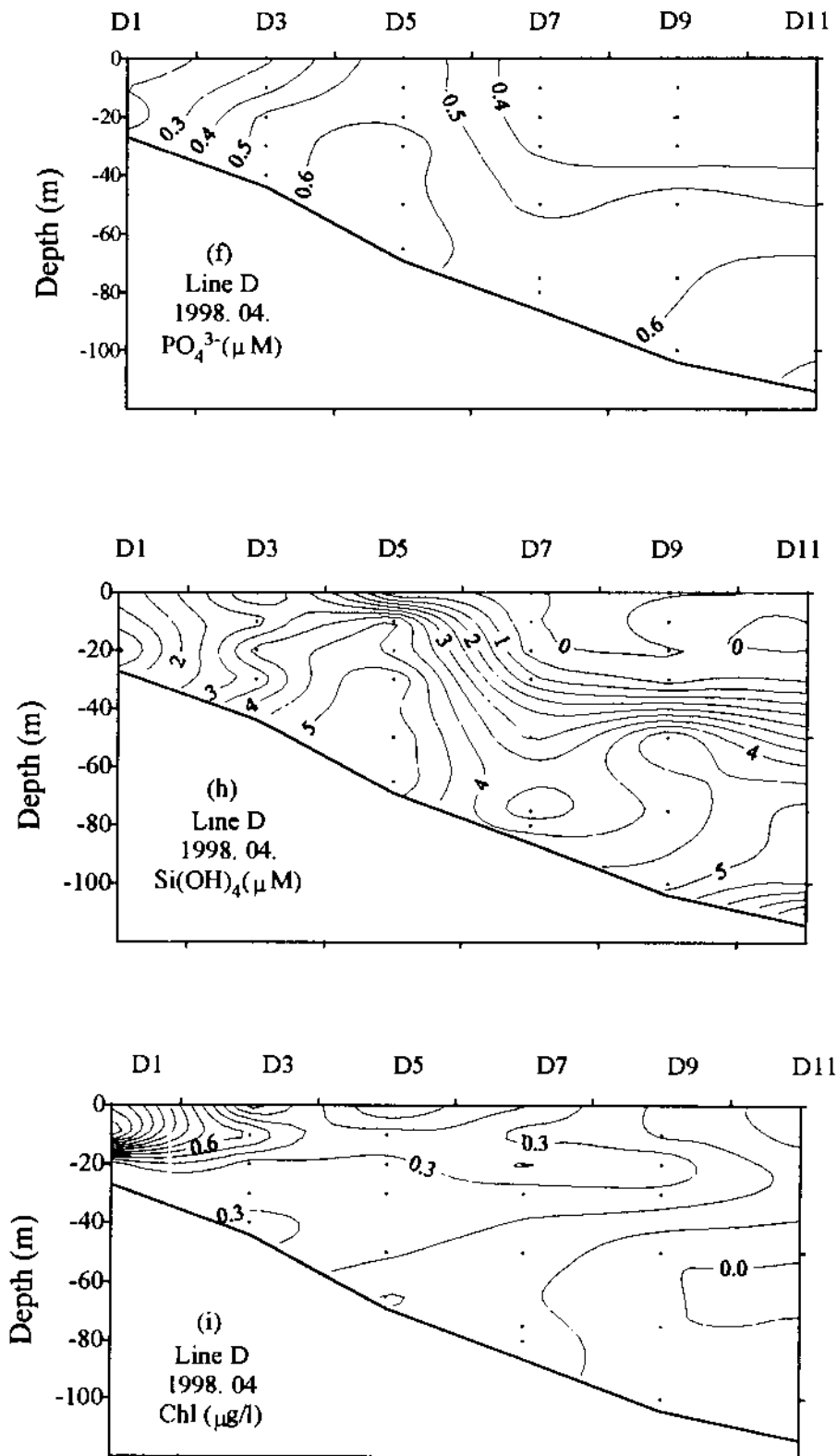


Fig. 3- 5. Continued

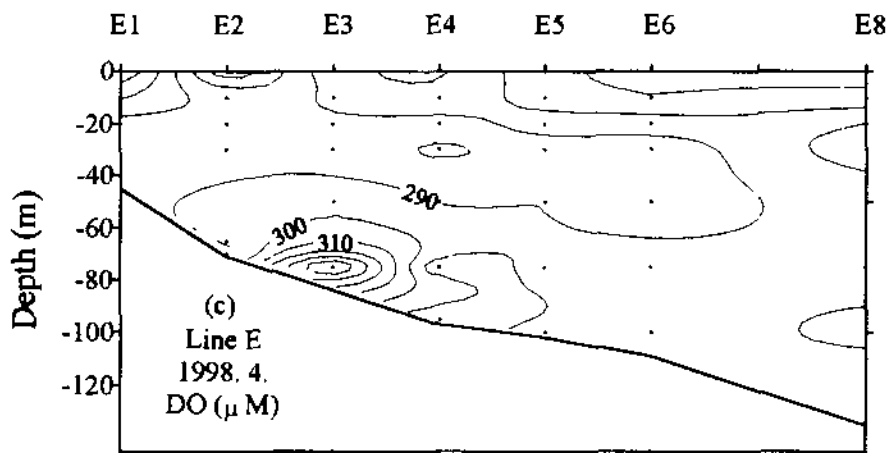
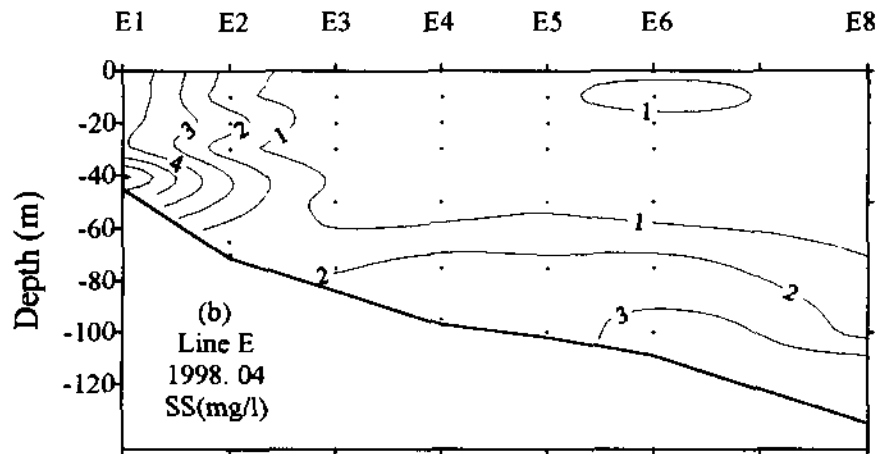
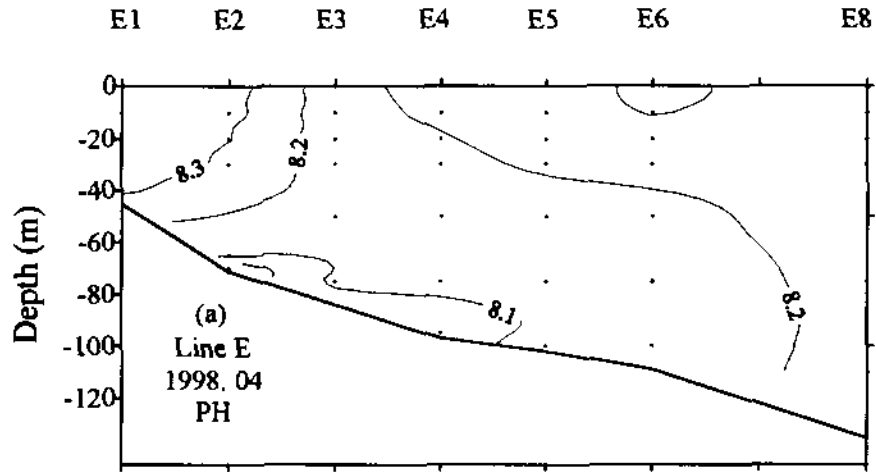


Fig. 3-6. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d)  $\text{NH}_4^+$ , (e)  $\text{NO}_2^-$ , (f)  $\text{NO}_3^-$ , (g)  $\text{PO}_4^{3-}$ , (h)  $\text{Si(OH)}_4$ , (i) Chlorophyll a along section E in April 1998.

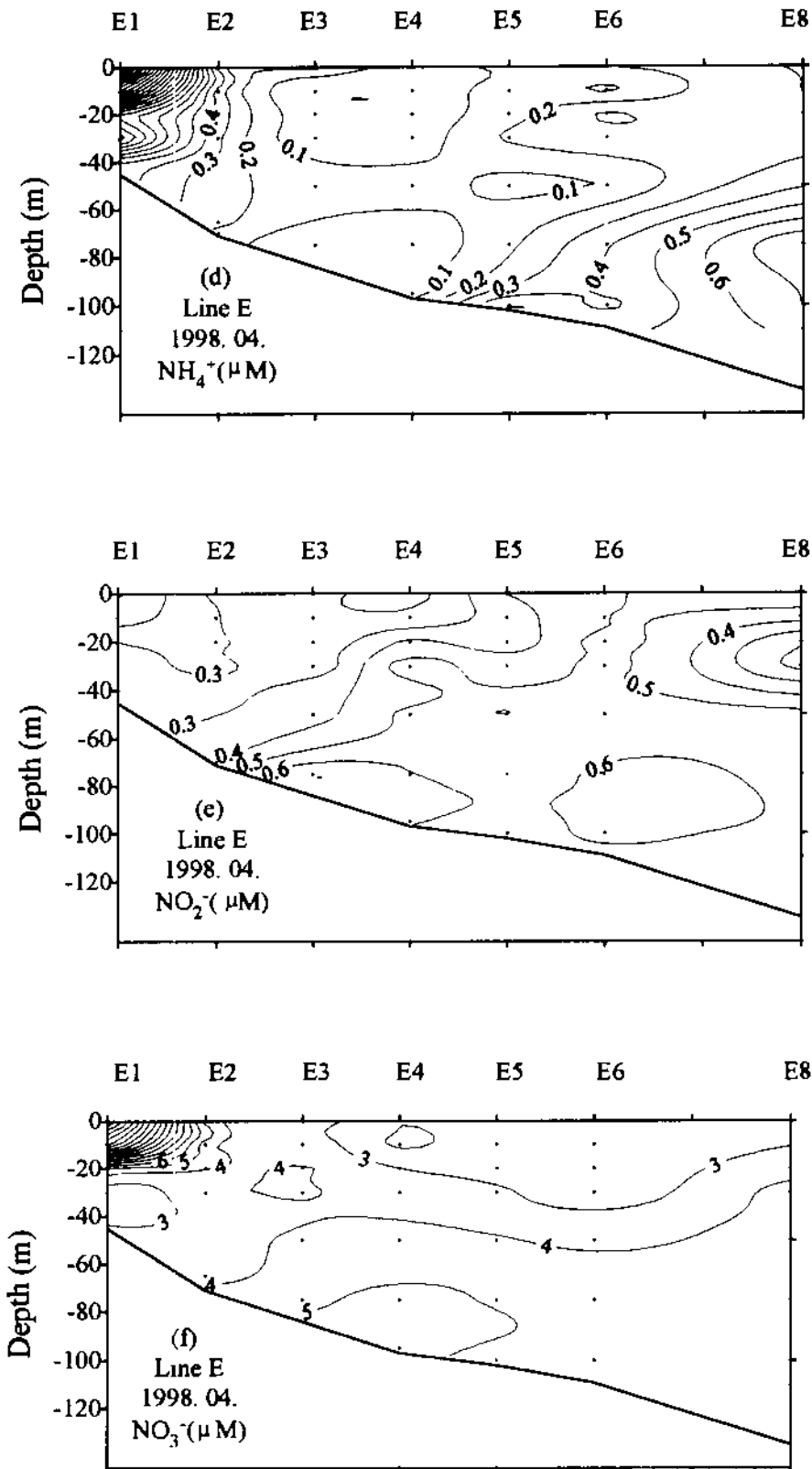


Fig. 3-6 Continued

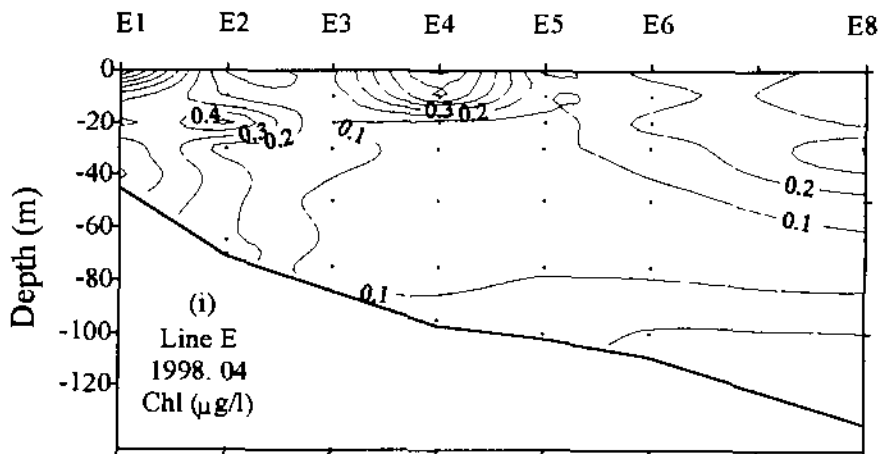
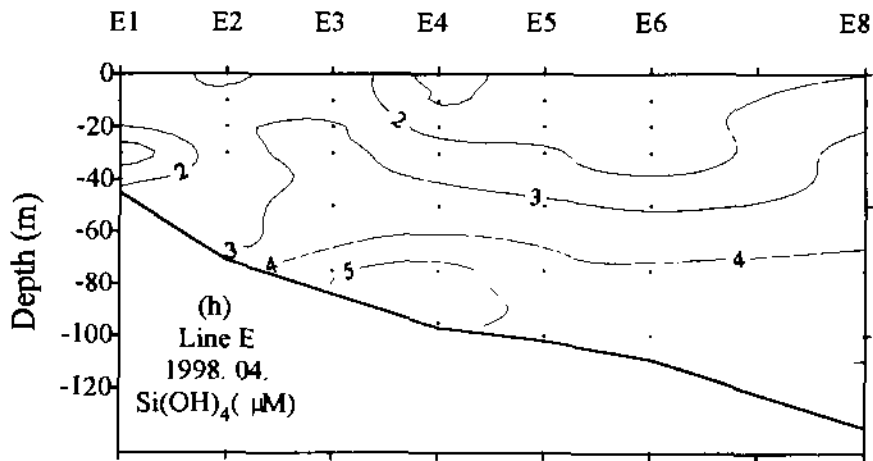
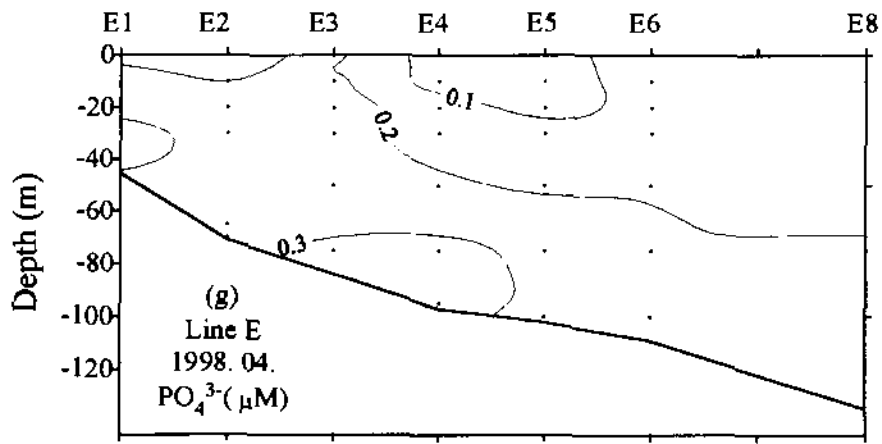


Fig 3-6 Continued



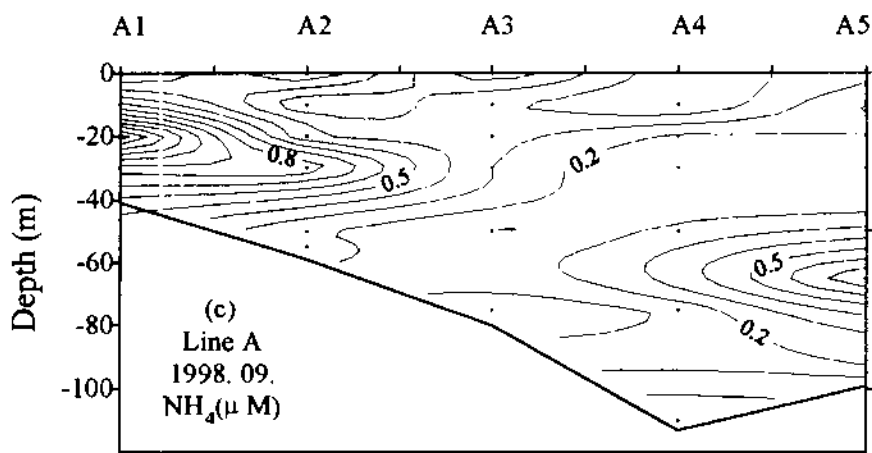
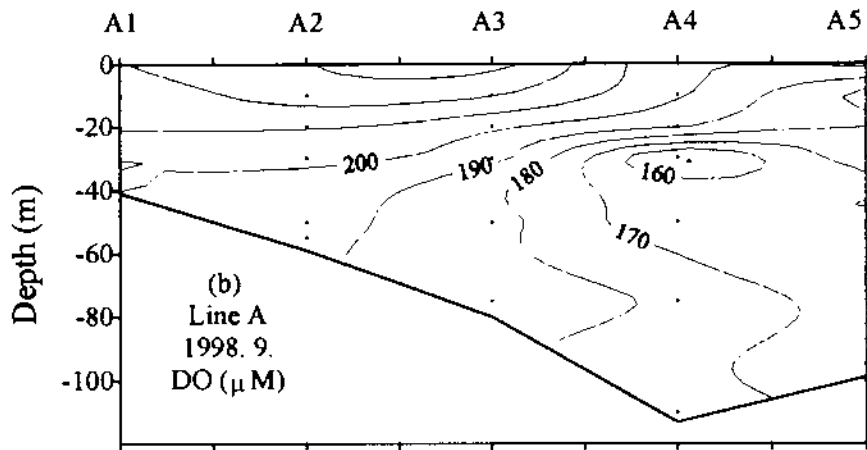
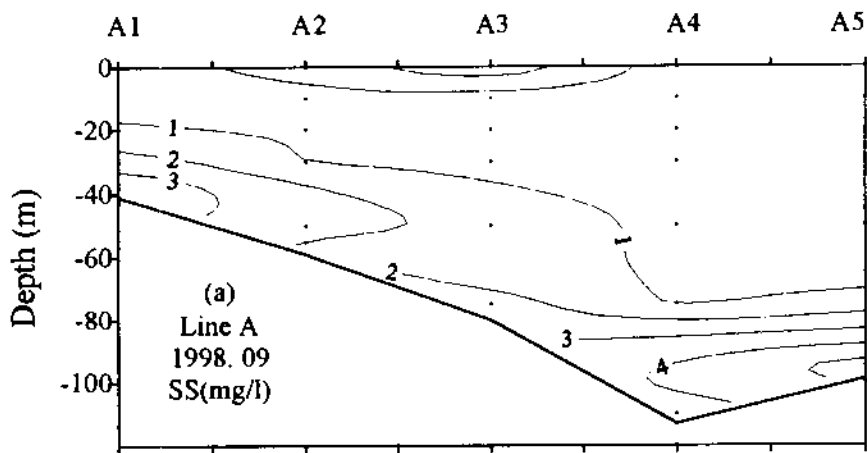


Fig 3-7 The vertical distribution of (a) SS, (b) DO, (c) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, (d) NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, (e) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, (f) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, (g) Si(OH)<sub>4</sub>, (h) Chlorophyll a along section A in September 1998

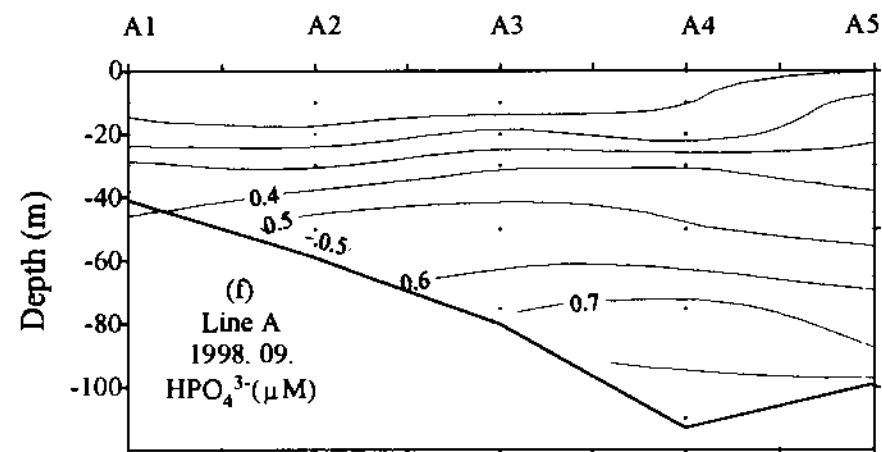
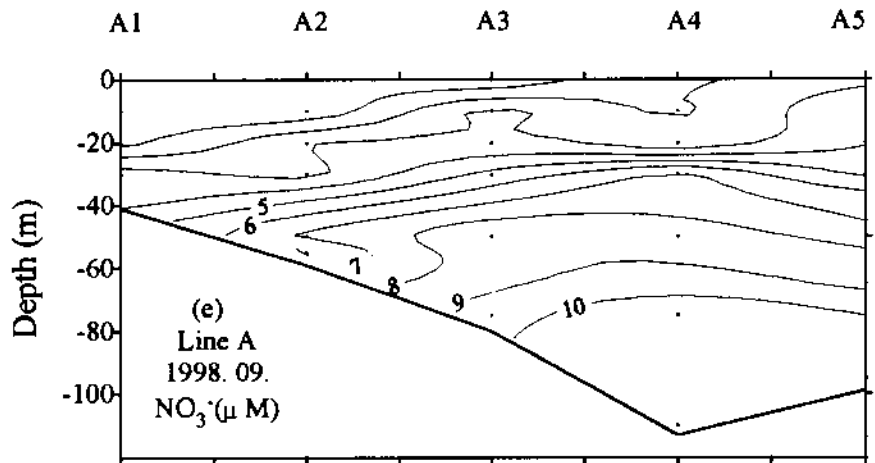
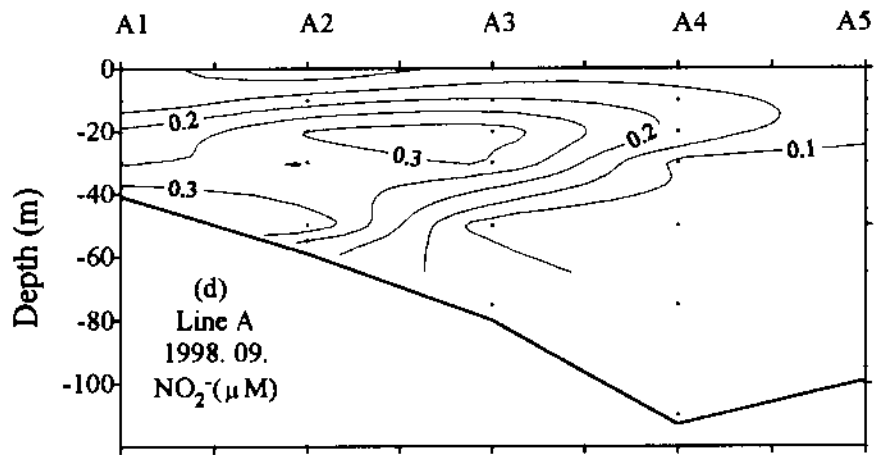


Fig. 3-7. Continued.

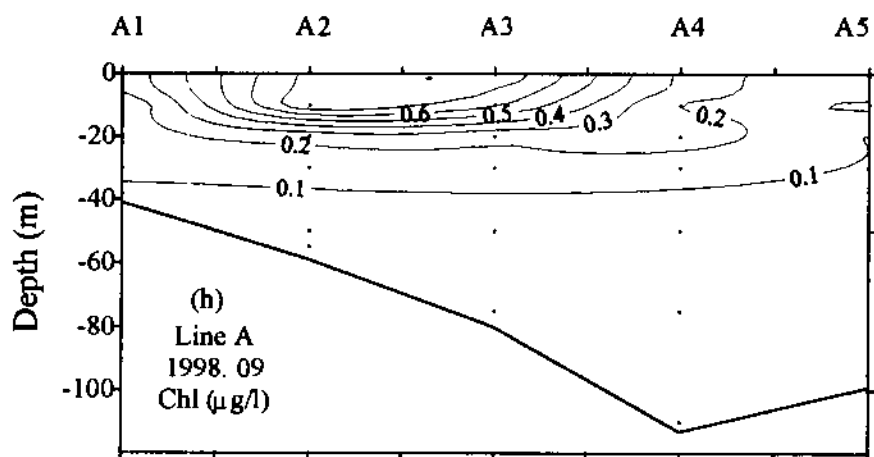
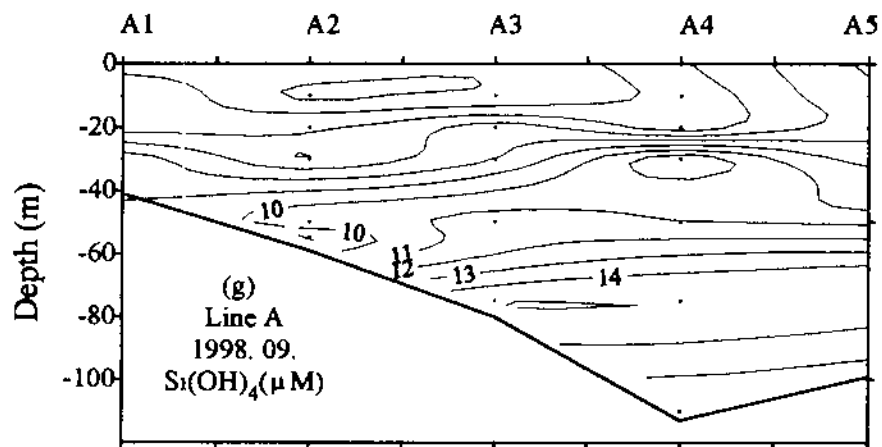


Fig. 3-7 Continued.

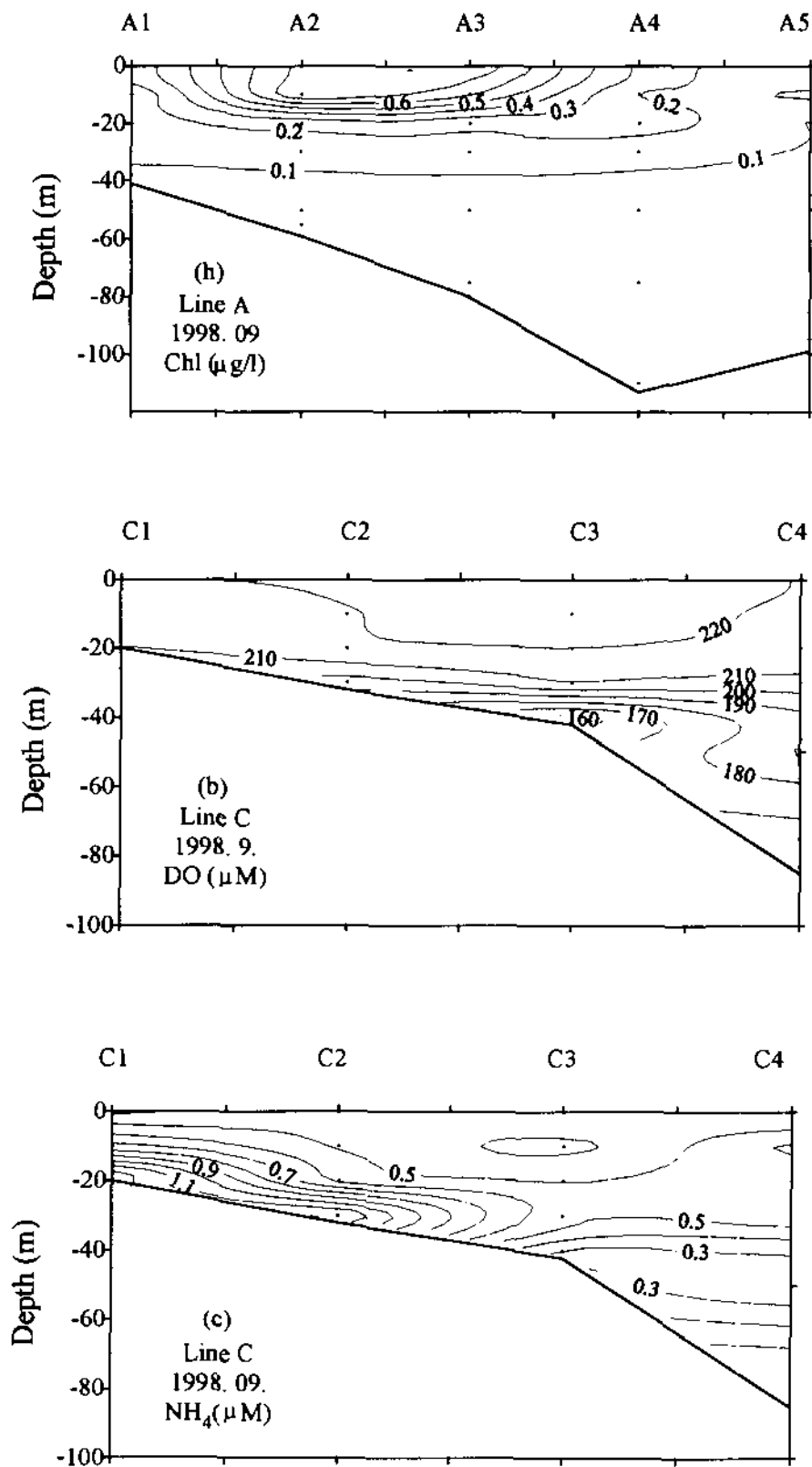


Fig 3- 8. The vertical distribution of (a) SS, (b) DO, (c)  $\text{NH}_4^+$ , (d)  $\text{NO}_2^-$ , (e)  $\text{NO}_3^-$ , (f)  $\text{PO}_4^{3-}$ , (g)  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , (h) Chlorophyll a along section C in September 1998.

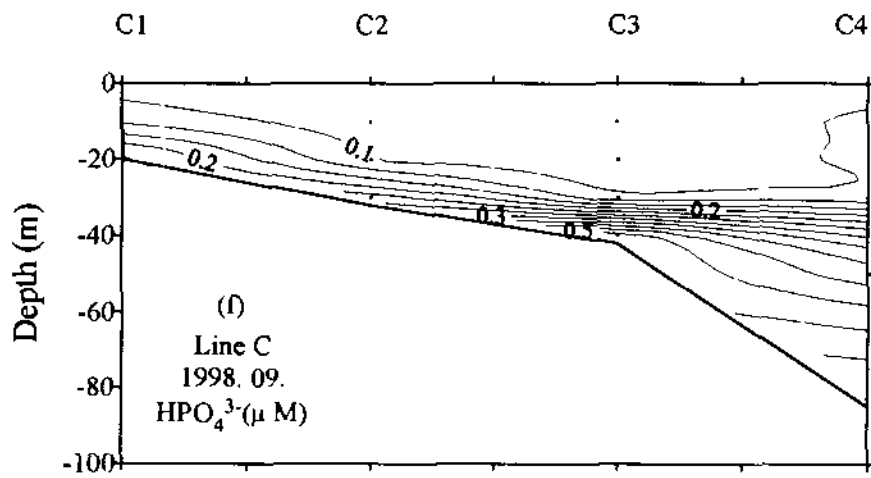
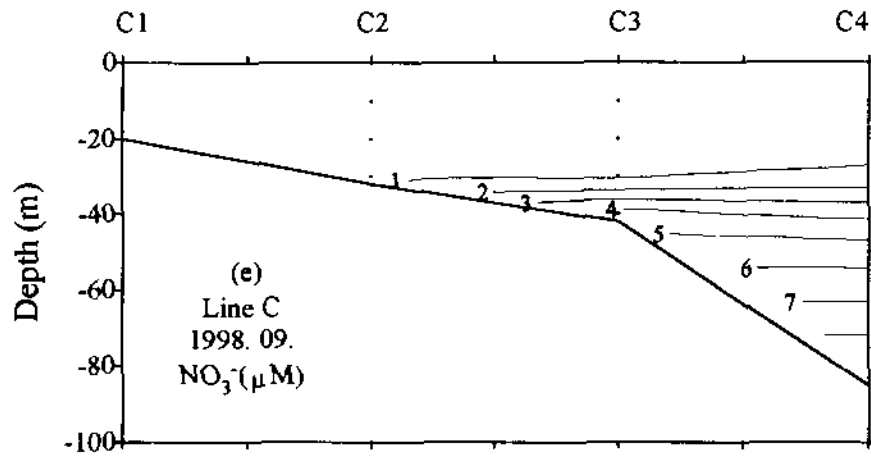
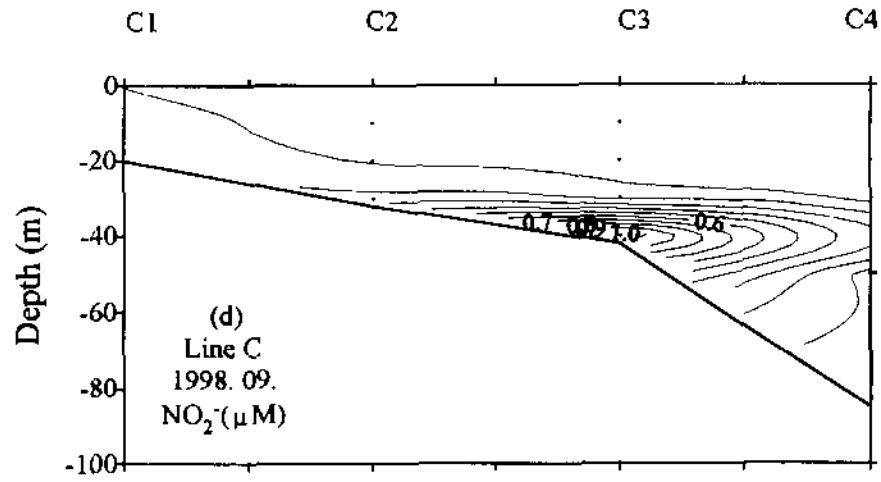


Fig. 3-8 Continued

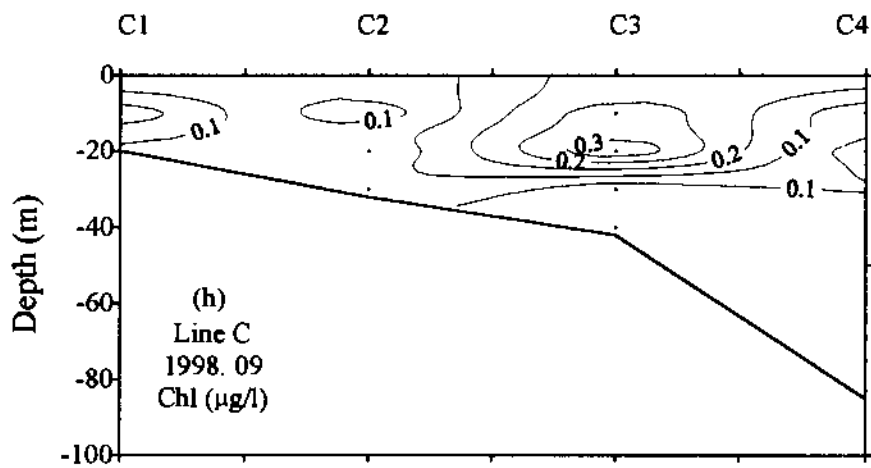
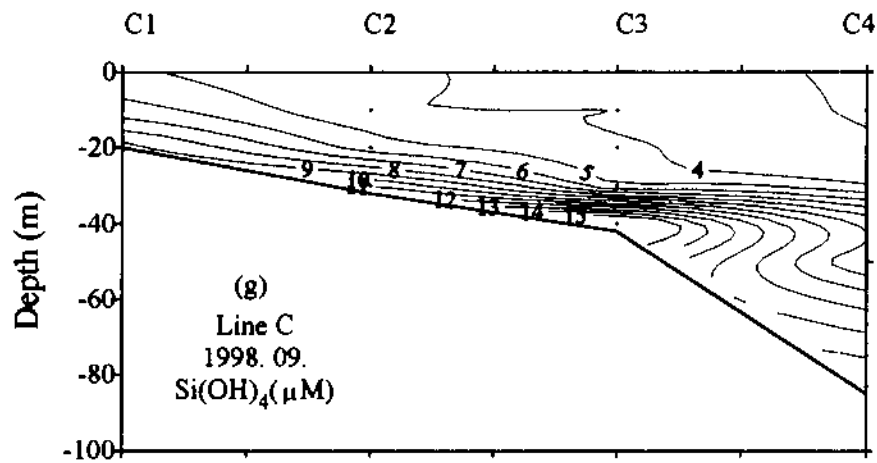


Fig. 3-8 Continued.

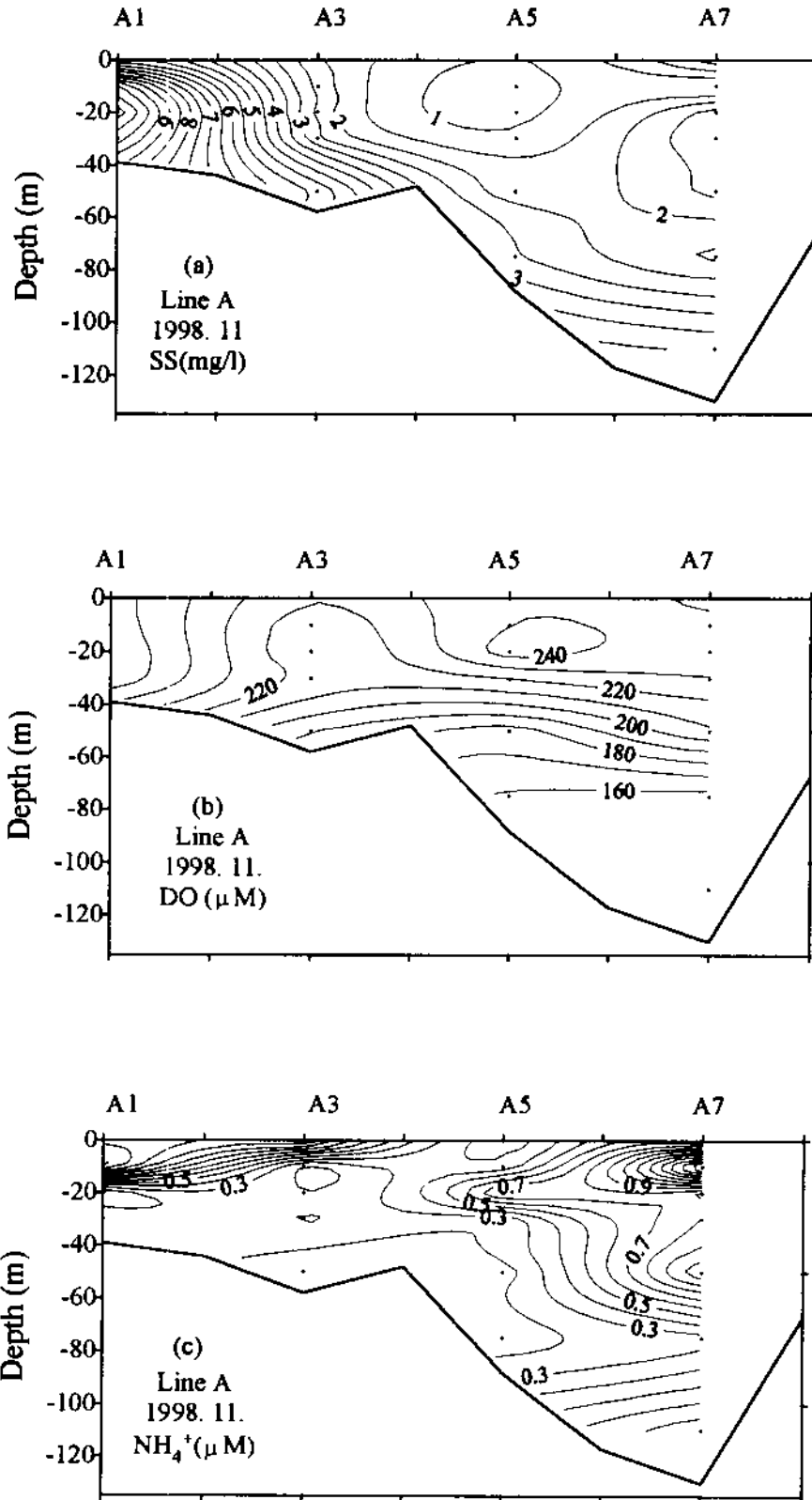


Fig. 3-9. The vertical distribution of (a) SS, (b) DO, (c) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, (d) NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, (e) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, (f) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, (g) Si(OH)<sub>4</sub>, (h) Chlorophyll a along section A in November 1998.

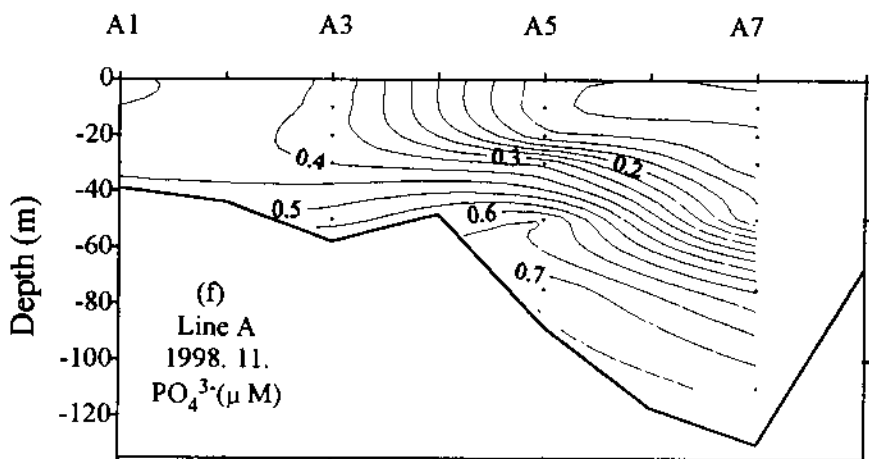
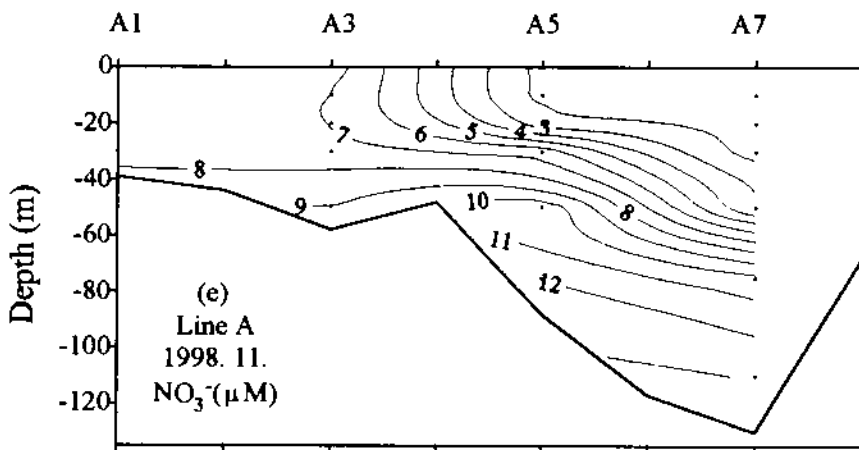
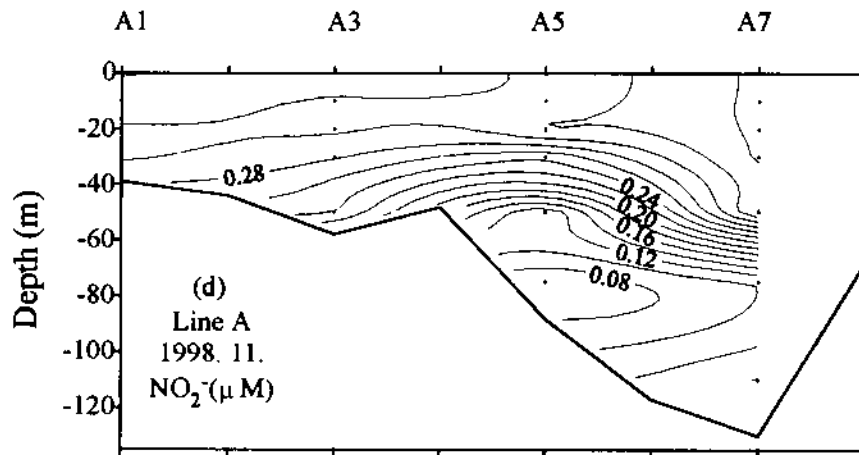


Fig 3-9. Continued.



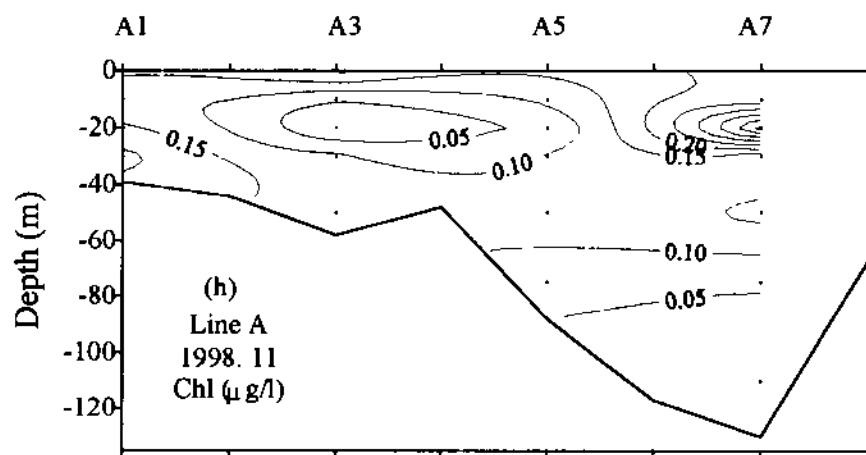
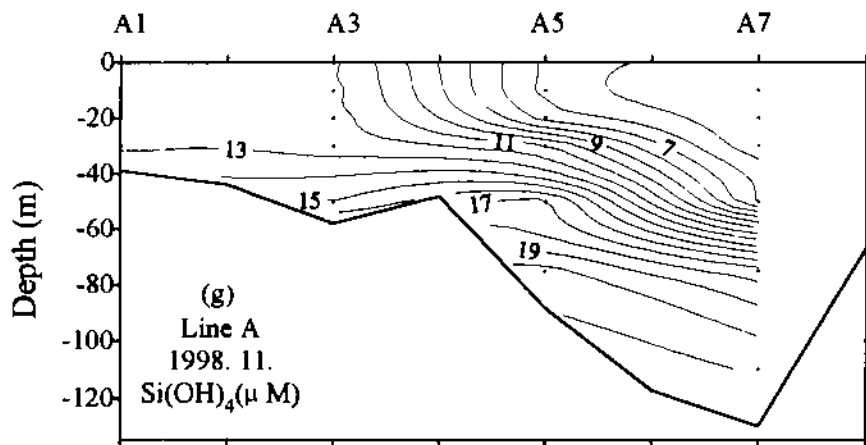


Fig. 3-9. Continued.

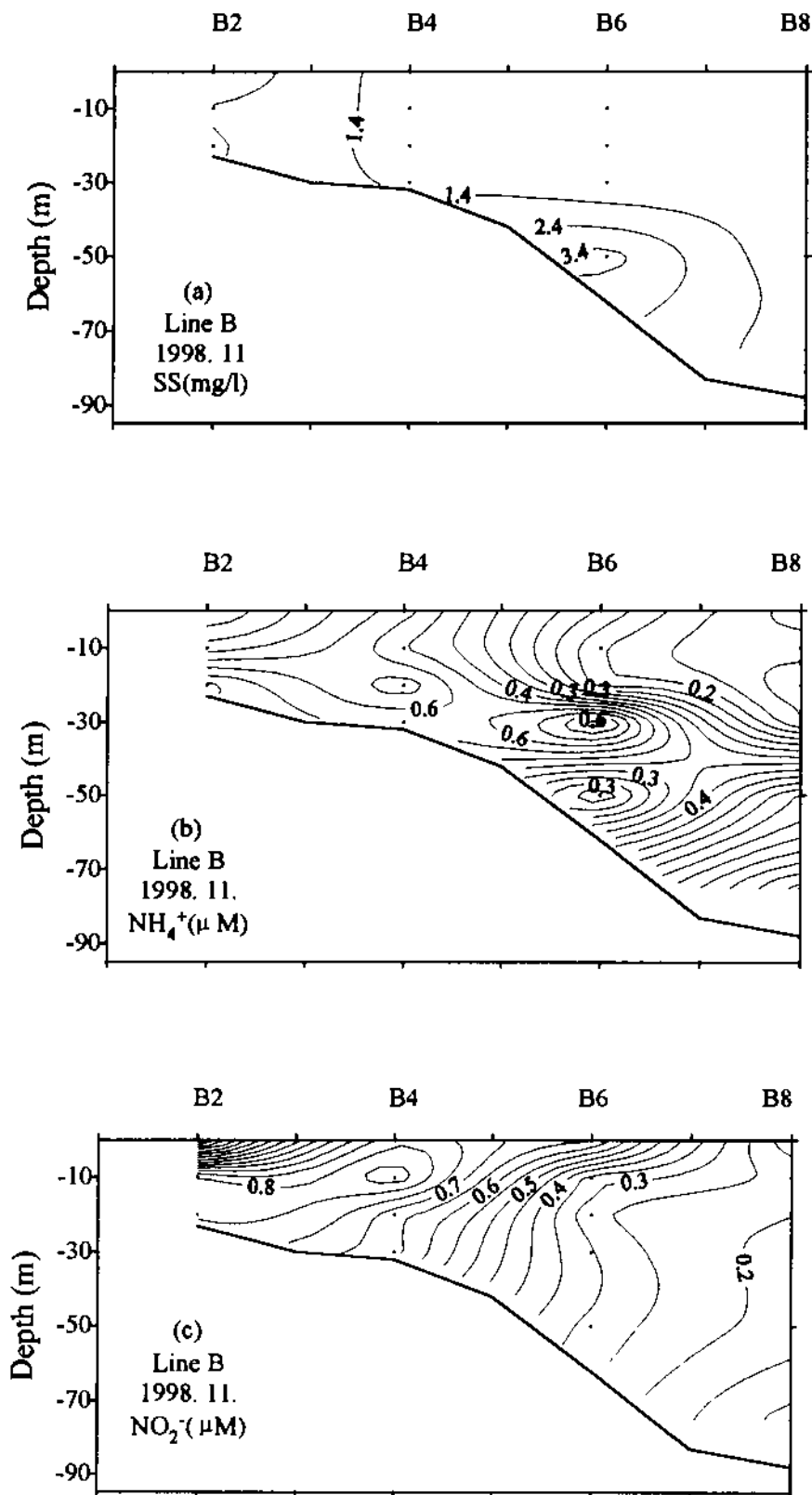


Fig. 3-10. The vertical distribution of (a) SS, (b)  $\text{NH}_4^+$ , (c)  $\text{NO}_2^-$ , (d)  $\text{NO}_3^-$ ,  
(e)  $\text{PO}_4^{3-}$ , (f)  $\text{Si(OH)}_4$ , (g) Chlorophyll a along section B in November 1998.

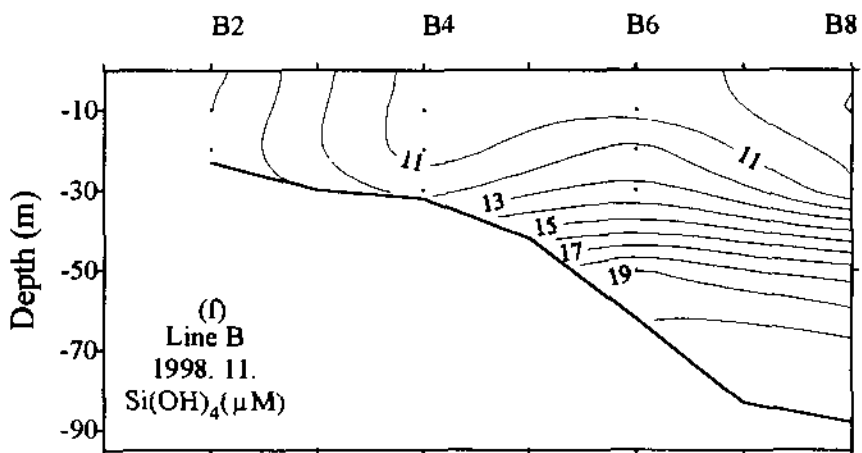
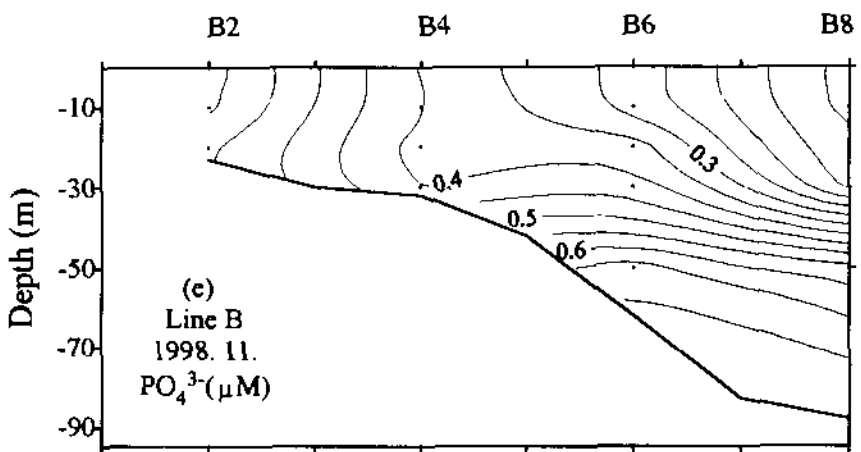
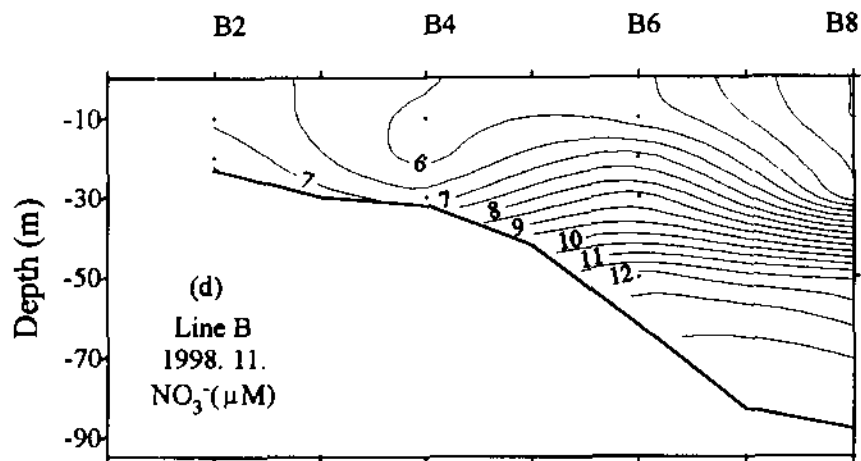


Fig. 3-10. Continued.

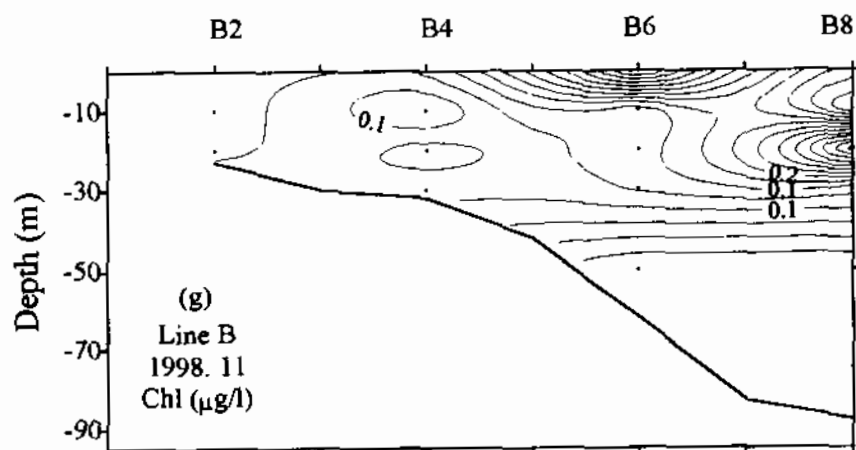


Fig 3-10 Continued

## 5. 남해 해수 및 퇴적물에서의 유기물 분포특성

### 5.1. 서론

해수중의 유기물은 용존 (Dissolved Organic Matter; DOM) 및 고형형태 (Particulate Organic Matter; POM)로 존재한다. 이들중 고형유기탄소는 총 유기탄소중 약 11%에 지나지 않으나 (Cauwet, 1978), 동물플랑크톤이나 어류 및 저서동물들에게 먹이로서 제공되어지기 때문에 중요한 역할을 한다. 특히 남해는 연간  $270 \text{ g C m}^{-2}$ 의 높은 일차생산력을 갖고있어 (Chung and Yang, 1991), 생산된 유기물질중 상당량이 해저에 쌓일 것으로 예상된다. Suess (1980)는 대양해역에서는 일차생산량의 거의 전부가 물기둥내에서 재분해되어 겨우 1% 미만의 극소량이 해저에 쌓이게 되지만 수심이 얇은 천해역에서는 일차생산량의 50% 정도가 해저에 쌓인다고 보고하였다. 해저에 가라앉은 유기물들은 퇴적물내에 저장되거나 재부유 및 분해과정들을 거쳐 무기물형태로 다시 수주내로 공급되어 높은 일차생산을 지지한다 (Roman and Tenore, 1978).

본 연구지역인 남해는 황해 및 동중국해동 주변해역으로부터 대마난류, 한국연안수 및 황해 저층냉수등이 유입되고, 수심이 얇은 연안해역에서는 강한 조류가 바닥에 퇴적된 부유물질과 고형유기물을 재부유시켜 남해의 유기물 순환에 큰 영향을 미칠것으로 예상된다. 이에따라 수계 및 퇴적물의 유기물 분포특성과 퇴적물등을 이해하는 것이 중요하다.

본 연구는 첫째, 해수 및 해저퇴적물에서의 유기물 특성분포를 이해하고, 둘째, 해저퇴적물의 축적율을 산출하여, 셋째, 해저퇴적물의 탄소, 질소 및 규소등 생물기원 퇴적과정을 추적하여 퇴적환경의 변화를 파악하는데 주안점을 두었다.

### 5.2. 수계에서의 유기탄소 함량 분포 특성

춘계 (4월), 하계 (9월)의 입자성 유기탄소, 질소에 대한 자료는 Table 3-8~9에 나타내었다. 추계 (11월) 자료는 3차년도에 수록될 예정이다.

#### 5.2.1. 춘계 (4월)

춘계 표층수에서의 입자성 유기탄소 및 질소 함량은 각각  $50.1 \sim 2576.3$ ,  $9.7 \sim 992.2 \mu\text{g l}^{-1}$ 로서 분포는 일반적으로 3 구역으로 구분되어 진다. 즉 표, 저층수의 활발한 혼합으로 해저퇴적물이 재부유되어 입자성 부유물질 농도 ( $>5\text{mg l}^{-1}$ )는 높으나 부유물질내 유기탄소 함량 비율은 낮은 저염의 연안해역, 입자성부유물질 농도는 낮으나 입자성유기탄소 함량 비율은 높은 전선 경계역 (정점 D5), 그리고 낮은 입자성 부유물질농도와 높은 입자성유기탄소 함량비율을 가진 고염 ( $>34.5\text{psu}$ )의 외해역으로 나눌 수 있다.

연안역에서의 부유물질내 유기탄소 함량비율은 비교적 활발한 표,저층의 수직혼합

Table 3-8. The chemical composition of organic matter in the water column in the South Sea during April 5 - 11.

Station	Dep. (m)	Carbon (%)	Nitrogen (%)	Sulphur (%)	Carbon ( $\mu\text{g/l}$ )	Nitrogen ( $\mu\text{g/l}$ )	Sulphur ( $\mu\text{g/l}$ )	C/N
A1	0	4.53	0.83	1.42	147.53	27.18	46.33	5.43
A3	0	3.32	0.64	1.38	97.76	18.95	40.75	5.16
A5	0	4.64	2.35	1.06	108.68	54.89	24.76	1.98
A7	0	8.04	3.59	1.35	97.11	43.35	16.37	2.24
A9	0	3.74	2.07	1.17	80.46	44.49	25.12	1.81
B1	0	2.14	0.37	1.62	627.10	107.12	473.94	5.85
B3	0	5.69	2.08	1.36	895.99	327.64	214.26	2.73
B5	0	1.81	0.75	0.39	68.75	28.43	14.96	2.42
B7	0	4.42	3.06	0.32	97.28	67.21	6.99	1.45
B9	0	16.54	2.80	1.36	247.97	42.05	20.37	5.90
B11	0	6.88	3.67	0.52	88.66	47.31	6.65	1.87
C1	0	4.65	1.86	0.53	130.66	52.25	14.85	2.50
C3	0	4.94	1.55	1.17	94.48	29.64	22.46	3.19
C5	0	5.69	1.57	1.69	61.48	16.92	18.22	3.63
C7	0	4.39	0.84	0.40	50.78	9.73	4.61	5.22
C9	0	3.50	1.11	1.66	52.40	16.60	24.76	3.16
D1	0	5.99	1.06	0.89	305.68	54.38	45.62	5.62
D3	0	3.05	0.66	0.54	127.02	27.51	22.38	4.62
D5	0	55.23	21.27	4.28	2576.30	992.19	199.81	2.60
	10	2.99	0.48	1.27	108.04	17.33	46.05	6.24
	20	2.42	0.56	0.91	105.12	24.41	39.64	4.31
	30	2.30	0.53	1.45	-	-	-	-
	50	3.30	0.36	1.11	205.05	22.43	68.60	9.14
	BT	51.54	18.66	6.70	2116.16	766.14	275.06	2.76
D7	0	1.93	0.36	1.23	87.36	16.29	55.44	5.36
	10	1.38	0.31	1.76	65.05	14.88	83.36	4.37
	20	1.38	0.24	1.95	60.55	10.39	85.60	5.83
	30	1.90	0.39	1.74	94.66	19.30	86.92	4.91
	50	1.20	0.20	1.37	73.53	12.80	84.13	5.84
	75	1.24	0.20	1.13	71.70	11.32	64.86	6.33
	BT	1.67	0.25	1.24	72.90	10.71	54.08	6.81
D9	0	3.15	0.85	1.32	144.82	39.29	60.72	3.69
	10	5.16	0.58	1.83	208.75	23.56	74.11	8.86
	20	1.82	0.32	1.96	74.97	13.19	80.80	5.68
	30	2.70	0.67	1.69	109.36	26.91	68.36	4.06
	50	-	-	-	-	-	-	-
	75	0.70	0.05	1.39	32.79	2.47	64.82	13.27
	BT	1.66	0.12	1.76	29.45	2.18	31.31	13.49
D11	0	5.99	2.04	1.90	124.25	42.28	39.31	2.94
	10	4.31	0.87	1.34	88.58	17.88	27.50	4.95
	20	18.61	3.31	2.34	358.55	63.77	45.17	5.62
	30	5.78	1.35	1.10	260.27	60.82	49.70	4.28
	50	3.30	-	1.12	137.53	-	46.61	-
	75	0.65	0.13	1.24	30.42	6.11	57.70	4.98
	100	0.61	0.12	1.45	7.77	1.51	18.34	5.16
E1	0	6.89	1.33	0.34	310.06	59.78	15.44	5.19
E2	0	4.88	2.14	0.56	109.88	48.11	12.52	2.28
E3	0	5.10	0.89	0.01	213.16	36.98	0.28	5.76
E4	0	3.86	2.69	1.34	56.59	39.50	19.59	1.43
E5	0	3.63	1.43	1.07	181.71	71.61	53.51	2.54
E8	0	2.46	0.41	1.70	102.86	17.04	71.19	6.04
E8	0	6.93	1.56	1.60	54.31	12.27	12.51	4.43
JM	0	9.18	1.79	1.32	459.94	89.62	66.05	5.13

Table 3-9. The chemical composition of organic matter in the water column in the South Sea  
During September 24 - 26, 1998

Station	Depth (m)	C (%)	N (%)	S (%)	C (ug/l)	N (ug/l)	S (ug/l)	C/N
A1	0	20.33472	4.408417	1.953383	75.74685	16.42135	7.27635	5.381489
	10	14.58004	3.233013	2.750983	154.2568	34.20527	29.1054	5.261361
	20	12.50096	2.771417	1.797034	79.22483	17.56386	11.38871	5.262452
	30	4.724759	0.974725	0.847373	112.6698	23.24395	15.43769	5.655151
	38	3.71989	0.818261	0.592228	134.5456	29.59587	21.42043	5.303775
A2	0	18.10651	3.632613	2.006897	215.4787	43.23035	23.88332	5.815171
	10	32.81966	6.652547	2.814146	105.5468	21.39434	9.050169	5.75563
	20	22.31087	4.829858	1.904163	20.97119	4.539844	1.789825	5.389258
	50	3.386734	0.789976	0.621984	39.31217	9.169798	7.219796	5.001658
	55	5.388092	1.152525	0.592698	58.34402	12.47992	6.420094	5.454204
A3	0	6.137717	1.227325	1.707245	64.42636	12.88298	17.9206	5.834372
	10	40.08527	8.072719	2.951236	109.6396	22.08016	8.072107	5.793109
	20	3.910717	1.253442	1.802026	18.11905	5.807417	8.349107	3.639981
	30	2.485307	0.672723	1.320027	13.42297	3.633329	7.129374	4.310134
	75	3.404758	0.647534	0.940408	18.64321	3.545664	5.149335	6.134369
A4	0	2.474391	0.48701	1.016857	25.47001	5.013015	10.46696	5.927573
	0	29.19731	6.164823	2.443713	32.77939	6.921155	2.74352	5.525468
	10	4.571848	1.11319	2.059129	19.58755	4.769332	8.822095	4.791475
	20	17.71892	4.457055	3.200107	28.484	7.164926	5.144322	4.638056
	30	18.21354	4.295682	2.220595	13.00362	3.066917	1.585402	4.946625
	50	1.816603	0.51779	1.142795	11.72232	3.341234	7.374316	4.093111
	75	3.984757	0.673963	1.169108	23.04554	3.89781	6.761444	6.897837
A5	110	3.258169	0.632627	0.546904	19.791	3.842748	3.322044	6.008591
	0	4.770233	1.13739	1.871706	30.11844	7.181287	11.81763	4.893019
	10	13.77449	3.431581	2.335723	14.14577	3.524076	2.39888	4.683041
	20	20.9881	4.754051	2.819635	15.48854	3.508337	2.0808	5.150579
	30	14.75449	3.789916	2.600329	12.95897	3.328709	2.283667	4.54194
	45	8.30761	2.014788	1.543814	11.89347	2.884442	2.210179	4.810537
	65	1.978074	0.576474	1.264204	12.75407	3.716945	8.151234	4.00322
B4	95	1.538013	0.350358	1.120401	61.01053	13.89815	44.44456	5.121468
	0	16.5955	4.127068	1.854178	17.94578	4.462866	2.005043	4.691323
	10	25.37035	5.617026	3.134463	22.16567	4.907507	2.736531	5.269468
	20	10.9147	2.485665	2.079153	18.45311	4.202431	3.515155	5.1229
	37	14.90717	3.316933	2.010347	14.79009	3.290883	1.994559	5.243307
	50	15.57548	2.87785	5.392001	84.41909	15.59795	29.22465	6.314225
	65	9.025956	2.390398	1.539968	18.95451	5.019836	3.233933	4.405242
C1	95	4.19795	0.892351	0.72669	11.64379	2.475101	2.015609	5.488431
	0	25.63151	5.77293	2.191964	35.3959	7.972142	3.026997	5.17994
	10	4.164016	1.066407	1.477702	80.40716	20.59232	28.53442	4.555502
	18	2.146104	0.541352	0.891816	105.3451	26.57316	43.77626	4.625065
C2	0	21.02327	4.682777	3.043082	171.3397	38.16464	24.80112	5.237735
	10	20.03759	4.315171	2.852256	59.1109	12.72975	8.414155	5.417443
	20	22.42903	5.127639	2.203917	27.93049	6.385362	2.7445	5.103188
	30	3.074056	0.838866	0.871154	9.336934	2.547915	2.645984	4.275296
C3	0	24.85722	6.053632	3.170523	57.04733	13.89309	7.27635	4.790528
	10	28.88582	6.865099	3.684228	57.04949	13.55857	7.27635	4.908905
	20	18.79374	4.633021	3.077848	44.63513	11.00342	7.309888	4.732555
	30	15.40832	4.275105	3.255638	34.4376	9.55486	7.27635	4.204896
	40	1.814194	0.407578	1.036202	59.18807	13.29723	33.80608	5.193017

Table 3-9. (Continued).

Station	Depth (m)	C (%)	N (%)	S (%)	C (ug/l)	N (ug/l)	S (ug/l)	C/N
C4	0	24.28259	5.734212	4.814719	45.8941	10.83766	9.099819	4.940468
	10	21.83552	5.283709	4.018865	51.09513	12.36388	9.404144	4.821382
	20	16.89488	4.050137	3.16413	47.81251	11.46189	8.954488	4.866674
	50	5.664367	1.48901	1.357274	30.67255	8.062988	7.349637	4.438136
	75	4.540997	1.239586	1.055423	33.26281	9.07997	7.730975	4.27387
	83	3.524324	1.05282	0.798924	32.22994	9.628035	7.306161	3.905428
S1		24.07274	4.728595	2.052257	440.772	86.58057	37.57683	5.939369
S2		19.70641	4.024055	1.934782	400.0401	81.68831	39.27608	5.713345
S3		18.84933	3.81361	2.241234	294.4266	59.56859	35.00807	5.766423
S4		18.75327	3.906418	2.798596	195.034	40.62674	29.1054	5.600736
S5		26.09767	5.158163	1.995434	27.21415	5.378833	2.0808	5.902738
BLANK		6164.639	1004.263	2926.439				



으로 높은 입자성부유물질 함량을 보이는 연안해역에서는 2% 미만이나, 충분한 광조 조건과 수층의 안정성으로 식물플랑크톤의 생장이 활발한 전선경계역에서는 10% 이상으로 높다. 클로로필 대 유기탄소 함량 비율 또한 연안역에서는 낮지만 전선경계역에서는 높다 (Fig. 3-13). 이것은 연안역에서는 입자성부유물질중 상당량이 광물질로 구성되어 있지만, 전선 경계역에서는 식물플랑크톤의 생체량에 따라 입자성 유기탄소 함량이 조절된다는 것을 의미한다.

일반적으로 전선구조는 측면 혼합 및 용승과정이 일어나 높은 농도의 영양염들을 전선 경계역으로 운송시켜 식물플랑크톤 성장을 촉진시켜 높은 생산성을 보인다 (Pingree and Mardell, 1981). 본 연구지역인 남해에서도 Chung and Yang (1991)은 전선경계역에서 일차생산력이 높게 나타난다고 보고하였다.

유기물의 기원을 나타내는 입자성 유기탄소대 유기질소 몰비율은 1.7~7.0의 범위로서 대부분이 해양기원을 보인다.

### 5.2.2. 하계 (9월)

표층수에서의 입자성 유기탄소 및 질소 함량은 각각 68.3~347.0, 7.6~38.5  $\mu\text{g l}^{-1}$ 로서 4월보다는 최대값에서 1/10 수준이고, 분포양상은 연안에서 외해로 갈수록 점차 감소한다 (Fig. 3-14).

유기물의 기원을 나타내는 C/N 몰비는 표층수에서 4.8~5.8로서 4월에 비해서는 변화폭이 작고, 해양기원으로서 육지기원 입자성 부유물질 유입은 거의 없음을 알 수 있다. 특히 고염 해수의 영향을 많이 받는 외해역에서는 클로로필 a 농도의 최대층에서 입자성부유물질중 유기탄소 함량비율이 최대를 보인다. 입자성부유물질 농도가 낮은 유광대내에서는 유기탄소함량비율이 일반적으로 10% 이상으로 높다. 그러나 입자성부유물질 농도가 높은 저층에서는 유기탄소 함량은 중층에 비해 높으나, 유기탄소함량비율은 3% 이하이다. 이는 식물플랑크톤이 유광대내에서는 입자성 부유물질은 식물플랑크톤으로 구성되어 있지만, 저층에서는 광물질이 상당량 함유되어 있음을 의미한다.

### 5.3. 퇴적물의 유기탄소 함량과 분포

1998년 4월 남해 대륙붕에서 채집된 퇴적물중 유기탄소, 질소 및 황에 대한 함량 분포를 Table 3-10과 Fig. 3-15에 나타내었다.

표층 퇴적물내 유기탄소 함량은 제주인접 정점인 A9에서의 최대값 (2.2%)을 제외하고는 0.1 ~ 0.8 % 범위이다.

이 값은 연안역의 마산만 (2.5%; Hong, 1987; Chung et al., 1999)보다는 훨씬 낮고, 황해퇴적물 (0.7-0.9%; 홍기훈, 1992)에 비해서도 낮다.

일반적으로 퇴적물에서의 유기탄소 함량은 공급과 분해율 및 퇴적물의 구성으로부터 결정될 수 있다. 퇴적물중 유기탄소 함량은 퇴적물중 점토함량이 증가함에 따라 증가하여, 퇴적물중 모래의 함량이 50 % 미만인 남해연안 인접정점들 (정점 C1,

D7)에서의 유기탄소 함량은 0.5 % 이상이나, 모래함량이 70% 이상인 정점들 (정점 A5, E3, E5)에서는 0.3% 이하이다 (계 5 절 참조).

표층 유기질소 함량은 유기탄소 함량 분포와 마찬가지로 정점 A9에서의 최대값 (0.2%)를 제외하고는 0.02~0.12 % 범위로서 모래 함량이 50% 이내인 정점들에서 0.08 % 이상이다.

유기탄소 및 유기질소에 대한 수직분포는 표층에서 높고, 깊이가 증가할수록 대체로 감소하는 양상을 보인다.

일반적으로 육지로부터 퇴적물과 유기물 공급이 제한을 받는 외해역에서의 유기물 공급은 주로 수층내에서의 생물생산에 의해 이루어 진다. 또한 연안보다 수심이 깊은 외해역에서는 유광대내에서 만들어진 유기물이 바닥의 퇴적물까지 도달하는데 더 많은 시간이 소요되므로 대부분의 유기물들은 가라앉으면서 분해된다.

유기물의 기원을 나타내는 C/N 물비는 표층퇴적물의 유기탄소 및 질소함량이 최대값을 보인 정점 A9 (12.5)을 제외하고는 3.0~8.4의 범위로서 수층내에서의 C/N 물비와 유사하여 대부분이 해양기원임을 나타낸다.

Table 3-10. The chemical composition in the sediment of the South Sea (April, 1998)

Station	Depth (cm)	Carbon (%)	Nitrogen (%)	Sulphur (%)	C/N
A1	0-0.5	0.27	0.05	0.10	5.80
	1-2	0.35	0.06	0.11	6.50
	3-4	0.14	0.03	0.05	5.88
	6-7	0.19	0.04	0.07	5.45
	9-10	0.38	0.07	0.12	6.42
	12-13	0.42	0.08	0.11	6.37
	15-16	0.45	0.08	0.14	6.48
	19-20	0.51	0.10	0.15	6.26
	26-28	0.09	0.02	0.07	4.43
	34-36	0.15	0.03	0.09	5.18
A5	0-0.5	0.12	0.03	0.07	4.36
	1-2	0.08	0.03	0.04	3.73
	3-4	0.18	0.04	0.05	5.09
	6-7	0.15	0.04	0.05	4.56
	9-10	0.17	0.04	0.07	4.94
	12-13	0.12	0.04	0.04	3.77
	15-16	0.09	0.03	0.06	3.32
	19-20	0.07	0.03	0.05	3.01
	26-28	0.08	0.02	0.07	3.79
	32-34	0.11	0.04	0.10	2.99
A9	0-0.5	2.52	0.24	0.44	12.45
	1-2	0.25	0.06	0.07	5.01
	3-4	0.27	0.04	0.03	8.62
	6-7	0.24	0.04	0.08	6.45
	9-10	0.10	0.02	0.62	6.01
	12-13	0.13	0.03	0.07	5.66
	15-16	0.14	0.03	0.06	5.90
	19-20	0.11	0.02	0.06	5.80
	26-28	0.15	0.03	0.08	6.41
	34-36	0.17	0.02	0.12	7.85
C1	0-0.5	0.61	0.09	0.19	8.27
	1-2	0.36	0.05	0.09	7.64
	3-4	0.55	0.08	0.12	8.00
	6-7	0.48	0.07	0.08	8.02
	9-10	0.48	0.07	0.17	7.83
	12-13	0.46	0.07	0.10	8.14
	15-16	0.48	0.07	0.15	8.01
	19-20	0.44	0.06	0.14	8.27
	26-28	0.42	0.06	0.17	7.88
	34-36	0.42	0.06	0.13	7.98
D7	0-0.5	1.08	0.16	0.44	7.68
	1-2	0.97	0.15	0.32	7.81
	3-4	0.90	0.12	0.22	8.43
	6-7	0.72	0.11	0.29	7.63
	9-10	0.66	0.10	0.25	7.77
	12-13	0.75	0.11	0.57	7.80
	15-16	0.65	0.09	0.20	8.37
	19-20	0.56	0.08	0.77	8.52
	26-28	0.57	0.90	0.20	0.75
	32-24	0.51	0.08	0.31	7.92

Table 3-10. (Continued).

Station	Depth (cm)	Carbon (%)	Nitrogen (%)	Sulphur (%)	C/N
E3	0-0.5	0.26	0.07	0.17	4.52
	1-2	0.29	0.07	0.17	5.04
	3-4	0.31	0.06	0.15	5.65
	6-7	0.35	0.07	0.13	5.71
	9-10	0.30	0.06	0.18	5.56
	12-13	0.24	0.05	0.12	5.40
	15-16	0.32	0.07	0.22	5.76
	19-20	0.22	0.05	0.19	5.14
E5	0-0.5	0.47	0.06	0.11	8.45
	1-2	0.53	0.09	0.18	7.06
	3-4	0.39	0.06	0.14	7.22
	6-7	0.40	0.06	0.13	7.50
	9-10	0.14	0.02	0.09	7.23
	12-13	0.30	0.05	0.12	7.57
	15-16	0.39	0.06	0.14	8.19
	19-20	0.59	0.09	0.28	7.92

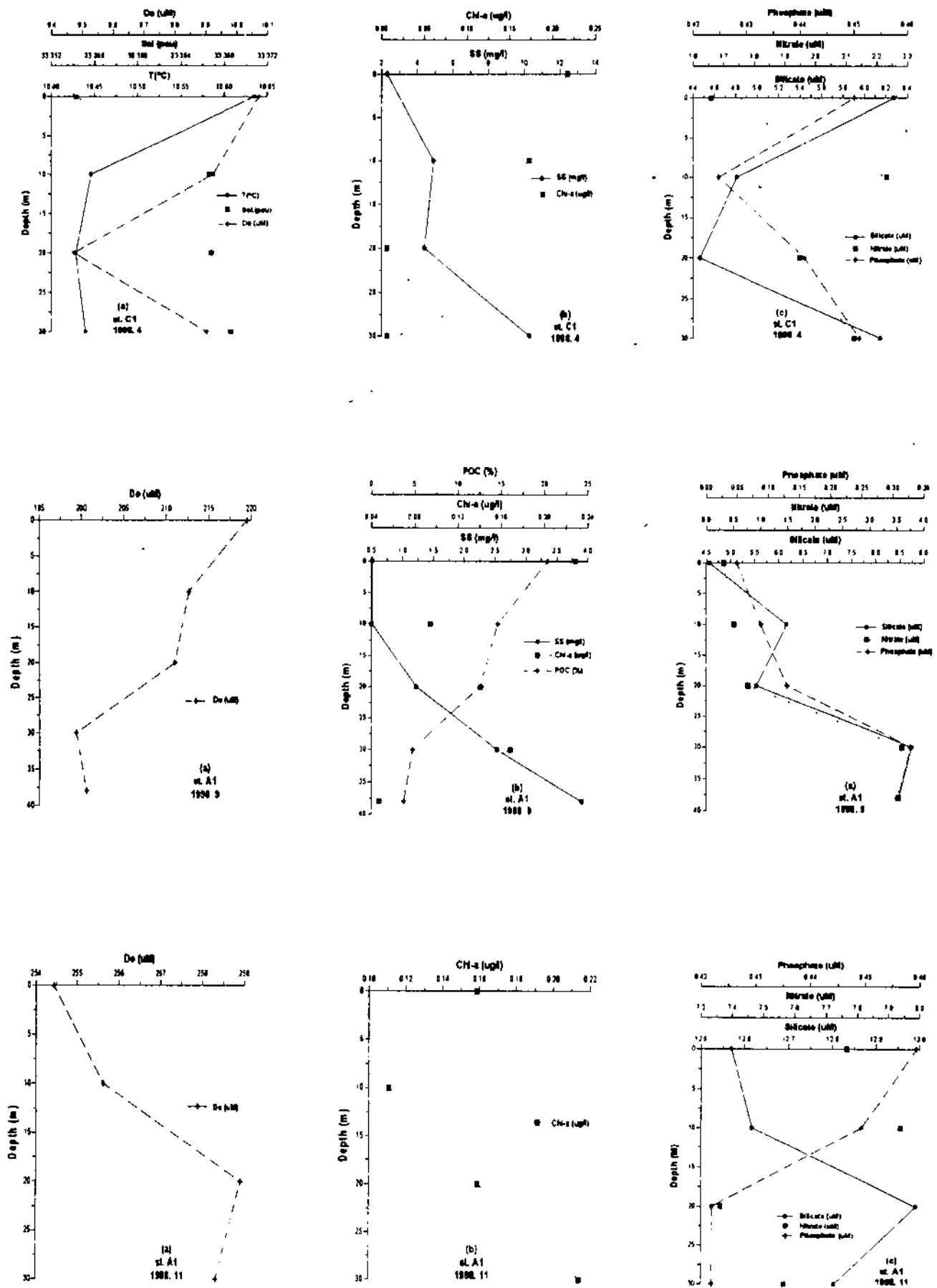


Fig 3-11. The vertical profiles of (a) Temperature, Salinity, DO (b) POC, SS, Chl-a (c)  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , at the representative stations in the coastal area of the Cheju Strait.

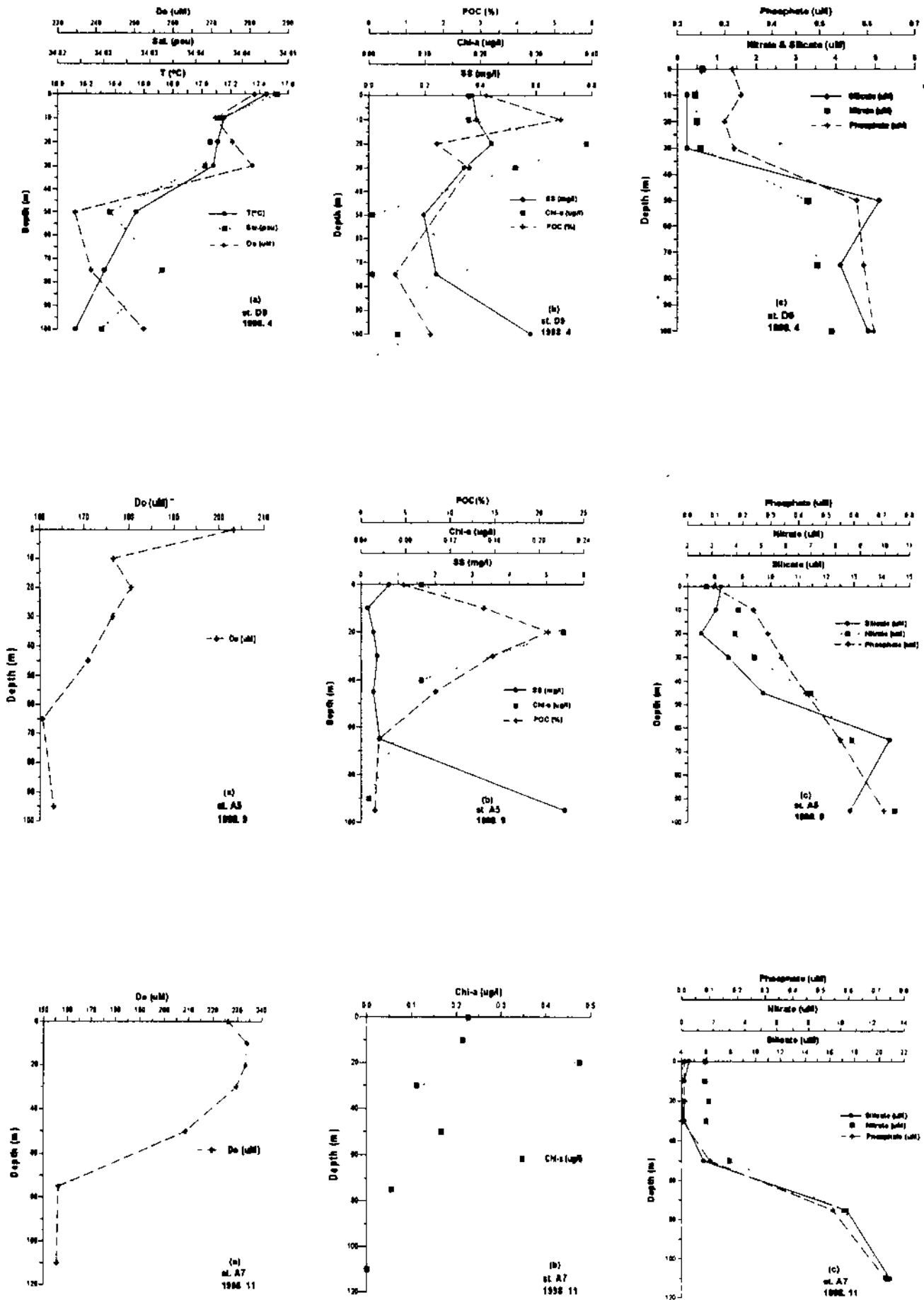


Fig. 3-12. The vertical profiles of (a) Temperature, Salinity, DO (b) POC, SS, Chl-a (c)  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , at the representative stations in the open area of the Cheju Strait.

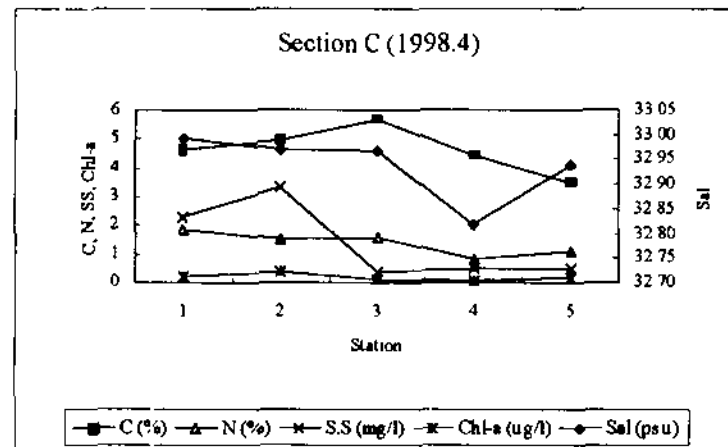
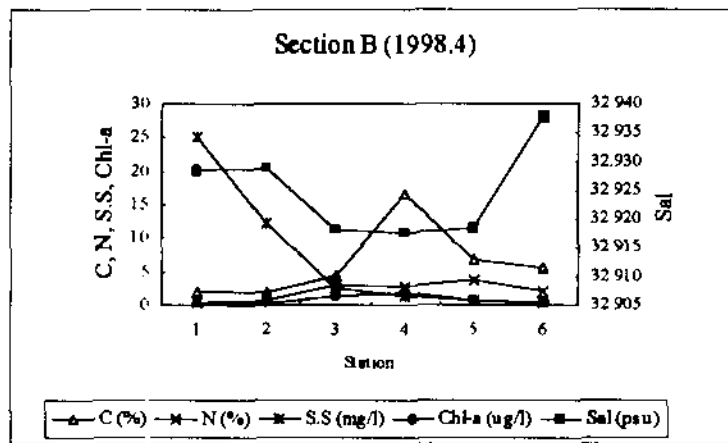
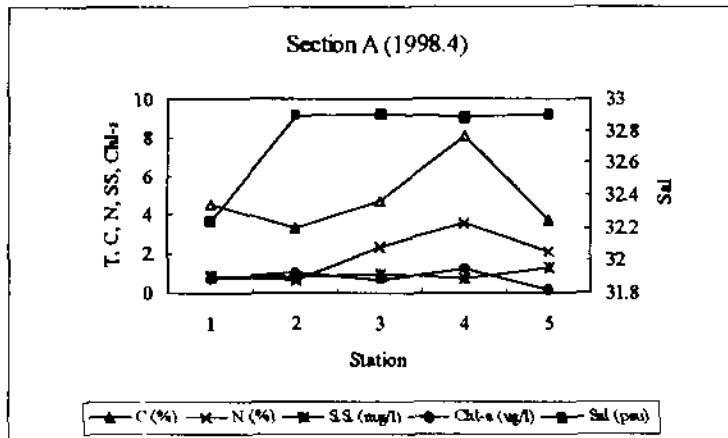


Fig. 3-13. The distribution of salinity, C, N, SS and Chl-a concentration in the surface water of each section of the South Sea (April, 1998).

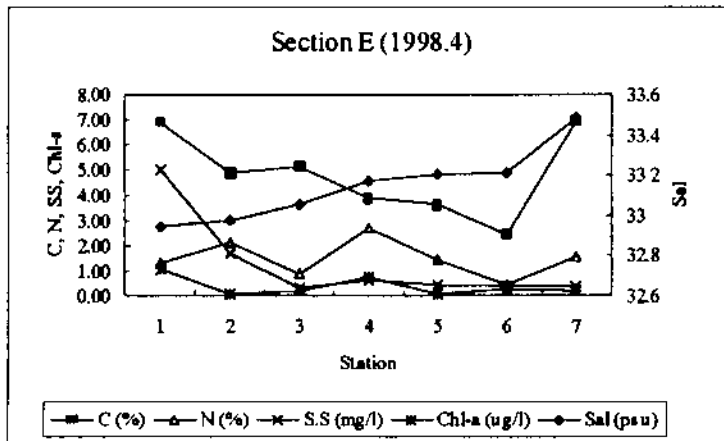
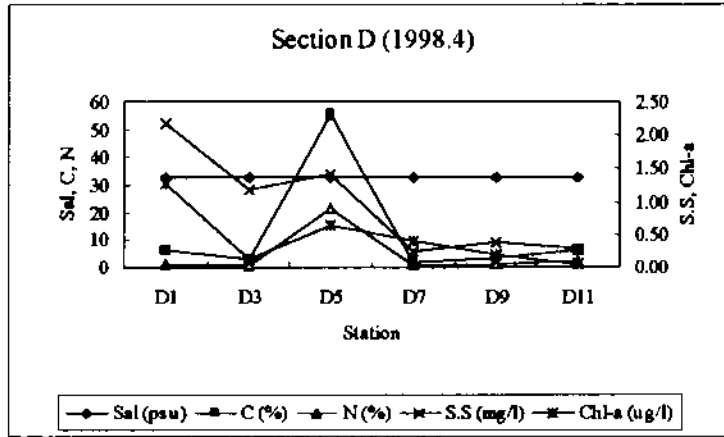


Fig. 3-13. (Continued).



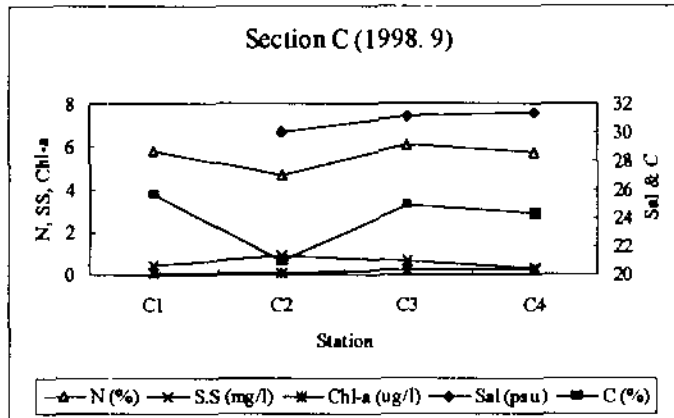
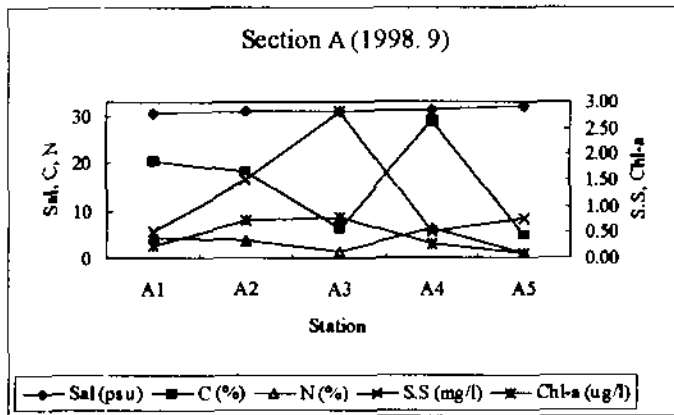


Fig. 3-14. The distribution of salinity, C, N, SS and Chl-a concentration in the surface water of each section of the South Sea (September, 1998).

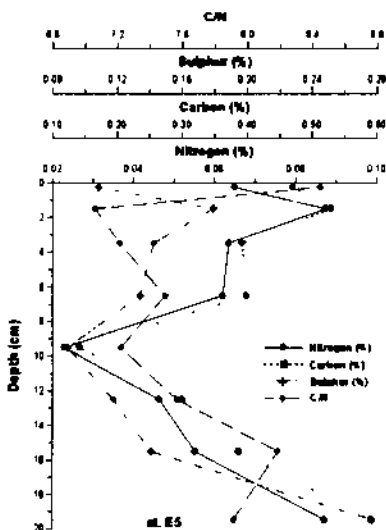
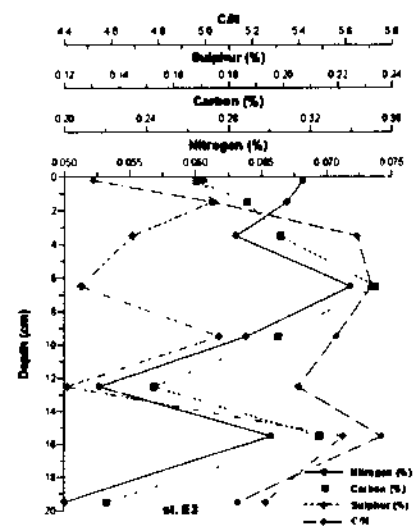
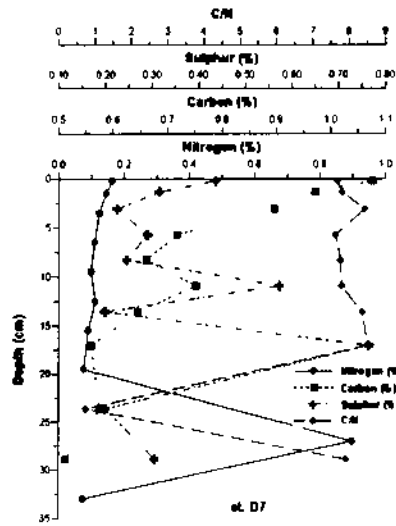
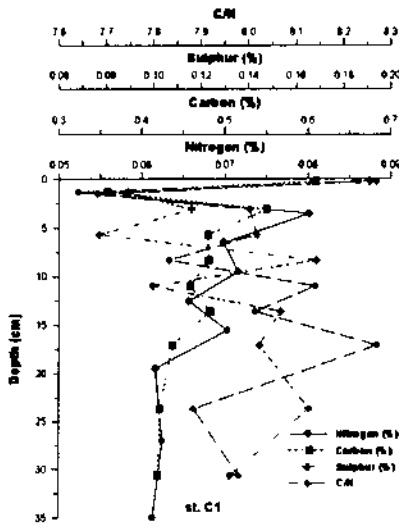
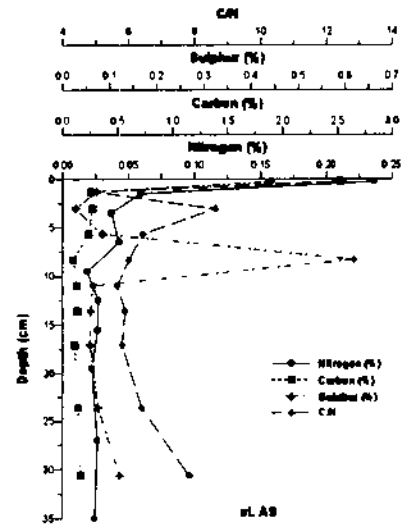
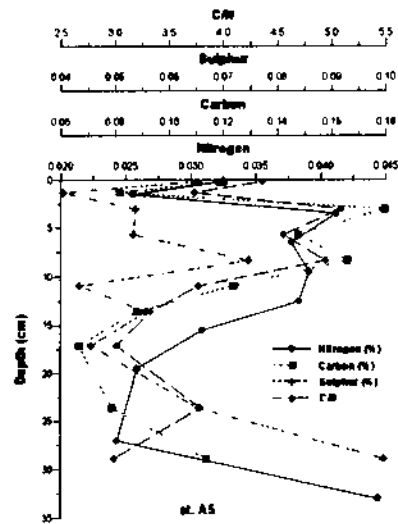
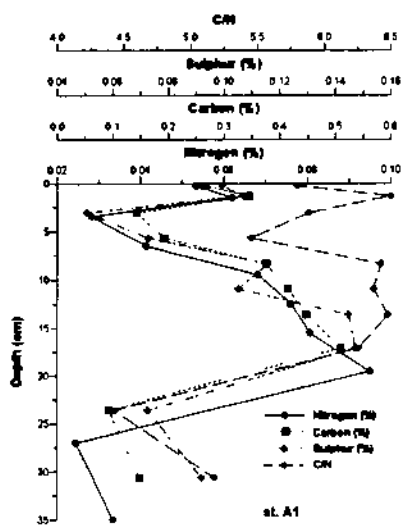


Fig. 3-15. The vertical profiles of organic C, N, S and C/N ratio in the sediment from each stations in April 1998.

## 6. $^{210}\text{Pb}$ -법에 의한 퇴적물의 해저퇴적률과 퇴적역학

### 6.1 서론

제주해협과 대한해협사이의 남해 대륙붕의 퇴적물과 주상퇴적물의 퇴적학적 특성은 제 5 절 홀로세 해침 퇴적작용 및 부유물질 출입 편에 개괄적으로 기술되어 있다. 그러나 본 조사해역에 대한 현생퇴적률 (100년 시간규모)과 퇴적물의 혼합율에 대하여서는 대륙붕 전체 해역을 대상으로 체계적으로 조사 연구되어 있지 않다 (예, Park and Lee, 1996). 한편 양자강입구의 해역 (29-32°N, 122-126°E) 은 현생 100년 규모의 퇴적작용이 잘 연구되어 있다 (DeMaster et al. 1985). 해저퇴적물의 축적과 혼합을 평가는 생물과정으로 액상에서 고상으로 또 고상에서 액상으로 재광물화할 수 있는 탄소, 질소, 규소, 인 등 친생물 원소와 친입자성 금속류의 해양 거동을 이해하고 초기속성과정을 모델링기 위하여서는 선행적으로 필요하다. 특히 남해 대륙붕과 같은 천해역에서는 물기등과정과 해저퇴적물 과정의 상호 연계 (water-sediment coupling) 성이 매우 강하다. 이러한 친생물 또는 생물관련물질이 외에도 불활성의 지질물질의 해저환경에서의 재분배는 다른 화학물질의 분포를 분배계수 (대상 물질의 해수와 퇴적물간의 분배비율)를 매개로 하여 결정하게 된다. 따라서 해저 퇴적물의 현생 퇴적역학의 이해는 해양환경상태의 평가 및 시료채취계획 수립 등 해양환경 감시계획에도 필수적이다. 본연구에서는 이러한 해양과학적 의미를 지니는 기초적인 퇴적변수를  $^{210}\text{Pb}$ -법을 이용하여 추정하였다.

### 6.2 재료 및 방법

제주해협과 대한해협사이의 남해 대륙붕에서 총 26개 정점에서 상자형 코어시추기 (Ocean Instruments BX640, 40cm x 40cm x 60 cm)를 이용하여 1998년 4월에 채취하였다 (Fig 3-1, 1998. 4). 채취퇴적물의 길이는 대체로 사질에서는 20cm 이하이나 니질에서는 40 cm 이었다. 채취한 시료는 현장에서 직경 13.5 cm의 아크릴관을 이용하여 부시료를 채취하고 이를 다시 1cm 간격으로 절개한 후 냉동보관하였다. 냉동 시료는 실험실로 옮겨서 수분함량을 측정하여 공극율을 계산하고 퇴적물의 절대질량을 측정하였다. 퇴적물의 과량  $^{210}\text{Pb}$ -함량분석과 퇴적물 축적률, 퇴적물 표층혼합층의 두께, 혼합율등은 전년도 보고서에 기술한 방법을 사용하였다 (한국해양연구소, 1997).

### 6.3 결과 및 고찰

남해대륙붕 해저퇴적물의  $^{210}\text{Pb}$ -법에 의한 퇴적물 축적률과 퇴적역학 변수는 Table 3-11에 정리하였고 각 정점별 과량  $^{210}\text{Pb}$ 의 함량의 수직적 분포는 Figure 1에 정리 하였다. 본 해역의 평균 수심은  $80 \pm 25$  m 이고 평균 퇴적률은  $102 \pm 68$   $\text{mg cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$  이다. 이는  $0.10 \pm 0.08$   $\text{cm yr}^{-1}$ 에 해당한다. 퇴적률은 수심과는 거의 무관하고 본 지역의 다양한 퇴적물의 근원과 더욱 상관이 있는 것으로 사료된다. 따라서 제

5 절에서 채택한 해역 구분 유형을 이용하여 해저 퇴적물 축적율과 퇴적 작용 변수를 기술한다.

제주도서부해역: 제주도 서부해역 (정점 A1, A3, A5, A7, A9, B11)은 수심이 대체로 74-95m 이고 퇴적율은  $36-161 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이다. 표층혼합층의 두께는 최대 8.4 cm 이며, 퇴적물 혼합율은 최고  $84.1 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$ 이다. 이 지역 해저퇴적물의 특징은 표층 수 cm의 하부에 사태 (slump) 형태의 강한 혼합구조가 과량  $^{210}\text{Pb}$  함량의 수직분포에서 뚜렷이 나타나고 있다 (Fig. 3-16). 정점 A5를 제외하고는 대개 하부의 사태구조가 2개이상 존재한다. 정점 A5 퇴적물은 2 상자로 퇴적작용을 단순화 시킬 수 있을 것이다. 이러한 수직 구조는 x-radiography (제 5절) 관측에서도 뚜렷이 발견된다. 이 지역의 퇴적물들은 황하기원 삼각주의 퇴적물이 재부유되어 공급되고 여기에 추가적으로 양자강 기원의 물질들이 하계에 확장하는 양자강 유출수와 함께 공급될 것으로 사료된다.

서남해역 흑산니대 (정점 B1, B2, B7, B9)의 퇴적율은  $26-71 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  이고, 즉  $0.03-0.06 \text{ cm yr}^{-1}$  이다. x-radiograph 상의 실트와 점토로 구성된 미세층들은 과량  $^{210}\text{Pb}$  함량의 수직 분포상에서는 정상상태의 퇴적과 slumping이 교호하는 것으로 나타났다 (Fig. 3-16). 예를 들면 B1 정점의 퇴적물은 0-2 cm은 정상상태의 퇴적 이고 그 바로 아래의 2-3cm 구간은 slumping 구조를 보이며 표층 28cm의 구간에서 4번의 slumping이 존재한다. 정점 B2에서는 6-28cm 구간이 모두 slumping 구조를 보인다. 정점 B7에서는 표층 36 cm 구간이 모두 혼합되어 있다. 정점 B9 에서는 표층 6cm 까지는 혼합되고 그이하 깊이에서는 정상상태로 볼수 있는 퇴적 구조를 가지고 있다. 이는 흑산니대의 저층물의 이동이 북쪽에서는 매우 강하고 남쪽에서는 비교적 완만하여지기 때문으로 사료된다. 특히 B9 정점의 퇴적물은 B11의 퇴적물의 과량  $^{210}\text{Pb}$  수직분포 특성과 유사하다.

고흥반도 서쪽 (정점 C1, C3) 해역은 겨울철 서해연안에서 재부유된 퇴적물이 이동되어 쌓이는 곳으로 퇴적율은  $74-189 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  이고, 표층혼합층은 1.5-16 cm로 크고 혼합율은  $>1.1-7.7 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$  이다. 정점 C1 퇴적물은 수직적으로 2 상자모형으로 과량  $^{210}\text{Pb}$ 을 근사할 수 있다.

섬진강 하구 부근 (D1, D3, D5) 퇴적물과 낙동강입구 부근 (E1, E2) 퇴적물의  $^{210}\text{Pb}$  함량분포는 현재 분석중이다.

남해 중앙부 (C5, C7, D7, D9, D10, D11, E3, E4, E5, E6) 해역은 홀로세 초기 해수면이 낮았을 때 퇴적된 층들이 대부분 그대로 노출이 되어 있다 (제 5 절). 현생 퇴적율은 E6 정점의  $29 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  를 제외하면, 약  $119-284 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  으로서 매우 높다. 표층혼합층의 두께는 1.5-10.3 cm이고 표층 퇴적물의 혼합율은 최고  $14.8 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$ 이다. 남해 중앙부 해역의 과량  $^{210}\text{Pb}$ 의 수직분포는 대략 2 상자 모형으로 근사될 수 있다 (Fig. 3-16).

Table 3-11. <sup>210</sup>Pb-derived sedimentation rates and sediment parameters in the Cheju-Korea Straits.

Cruise	St.	Lat N	Long E	Region	Water	Accumulation rate		SML	Mixing	SML	Steady state	Superficial	Mz	Corg(%)
					Depth (m)	mg cm <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	(cm yr <sup>-1</sup> )*	Depth (cm)	Coeff. (cm <sup>2</sup> yr <sup>-1</sup> )	Residence Time (yr)	Flux dpm cm <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup>	210Pb dpm g <sup>-1</sup>		
NH9710	JM	34 59.55	128 40.68	JangMok Bay	6	146	0.22	9.5	>26.2	34.0	1.1	4.90		
NH9703	A10	33 36.09	126 17.75	Trough	109	89	0.09	8.0	>12.4	51.0	0.7	9.30		
NH9710	SC1	34 52.04	128 50.01	Nakdong delta	43	207	0.35	6.5	>40	10.0	4.1	15.10		
NH9710	SC2	35 12.99	129 19.97	Korea Strait	87	65	0.09	4.5	>2.1	34.0	1.9	21.90		
NH9804	A1	34 10.10	124 59.92	Western Cheju	91	120	0.11	1.5	0.2	12.2	0.6	4.90	5.67	0.27
NH9804	A3	34 00.68	125 00.25	Western Cheju	85	100	0.04	6.4	84.7	140.3	0.9	2.27	3.13	
NH9804	A5	33 50.96	125 00.06	Western Cheju	94	56	0.05	nd	nd	nd	0.2	3.55	4.46	0.12
NH9804	A7	33 39.96	124 59.99	Western Cheju	90	161	0.15	8.4	12.7	42.2	1.2	4.73	6.83	
NH9804	A9	33 29.97	125 00.01	Western Cheju	74	36	0.03					3.87	5.02	2.52
NH9804	B1	34 30.82	125 52.78	Heuksan Mud Belt	21	26	0.03					2.05	8.23	
NH9804	B2	34 20.00	125 53.13	Heuksan Mud Belt	42	29	0.03				0.06	1.60	7.89	
NH9804	B7	34 00.01	125 52.98	Heuksan Mud Belt	83	non-steady state sedimentation							8.62	
NH9804	B9	33 44.97	125 52.94	Heuksan Mud Belt	78	71	0.06	7.1	24.2	27.1	0.6	4.67	8.3	
NH9804	B11	33 29.99	125 52.98	Western Cheju	95	72	0.07	nd	nd	nd	0.55	7.21	6.78	
NH9804	C1	34 10.04	127 00.01	Reworked zone	32	189	0.17	16.0	7.7	90.9	2.3	6.10	5.94	0.61
NH9804	C3	33 59.99	126 59.93	Reworked zone	60	74	0.06	1.5	>1.1	19.8	0.50	3.29	3.62	
NH9804	C5			Early Holocene Zone									3.86	
NH9804	C7			Early Holocene Zone									3.42	
NH9804	D1			Sumjin River Zone									9.18	
NH9804	D3			Sumjin River Zone									9.59	
NH9804	D5			Sumjin River Zone									9.94	
NH9804	D7	34 00.00	128 00.14	Early Holocene Zone	86	158	0.14	2.9	2.3	10.7	2.2	12.02	8.87	1.08
NH9804	D9			Early Holocene Zone									5.95	
NH9804	D10			Early Holocene Zone									3.01	
NH9804	D11	33 30.00	127 59.93	Early Holocene Zone	114	284	0.22	1.5	>3.7	6.0	2.4	7.71	2.46	
NH9804	E1			Nakdong River Zone									7.39	
NH9804	E3	34 50.02'	128 59.99'	Nakdong River Zone	86	119	0.09	2.0	>2.6	15.4	1.4	5.88	4.11	0.26
NH9804	E4	34 45.02'	128 59.98'	Early Holocene Zone	97	119	0.09	6.5	>14.8	23.4	3.3	9.98	3.79	
NH9804	E5	34 40.00'	129 00.01'	Early Holocene Zone	102	141	0.10	6.7	0.8	44.4	1.3	5.66	3.56	0.47
NH9804	E6	34 35.01	129 00.01	Early Holocene Zone	109	29	0.02	10.3	3.0	383.8	1.6	5.62	3.81	

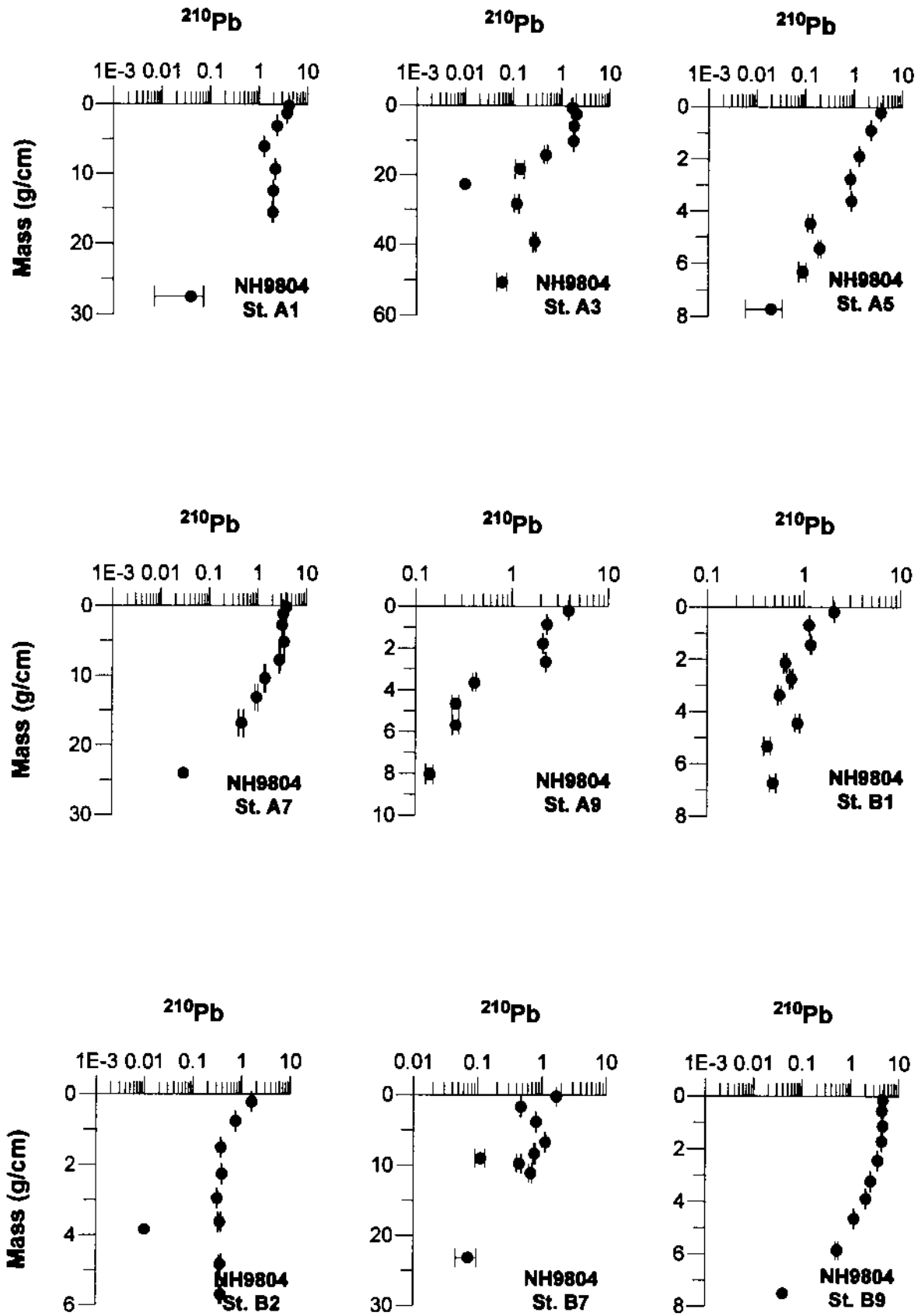


Fig 3-16. Depth distribution of excess  $^{210}\text{Pb}$  from each station of the South Sea of Korea in April, 1998.

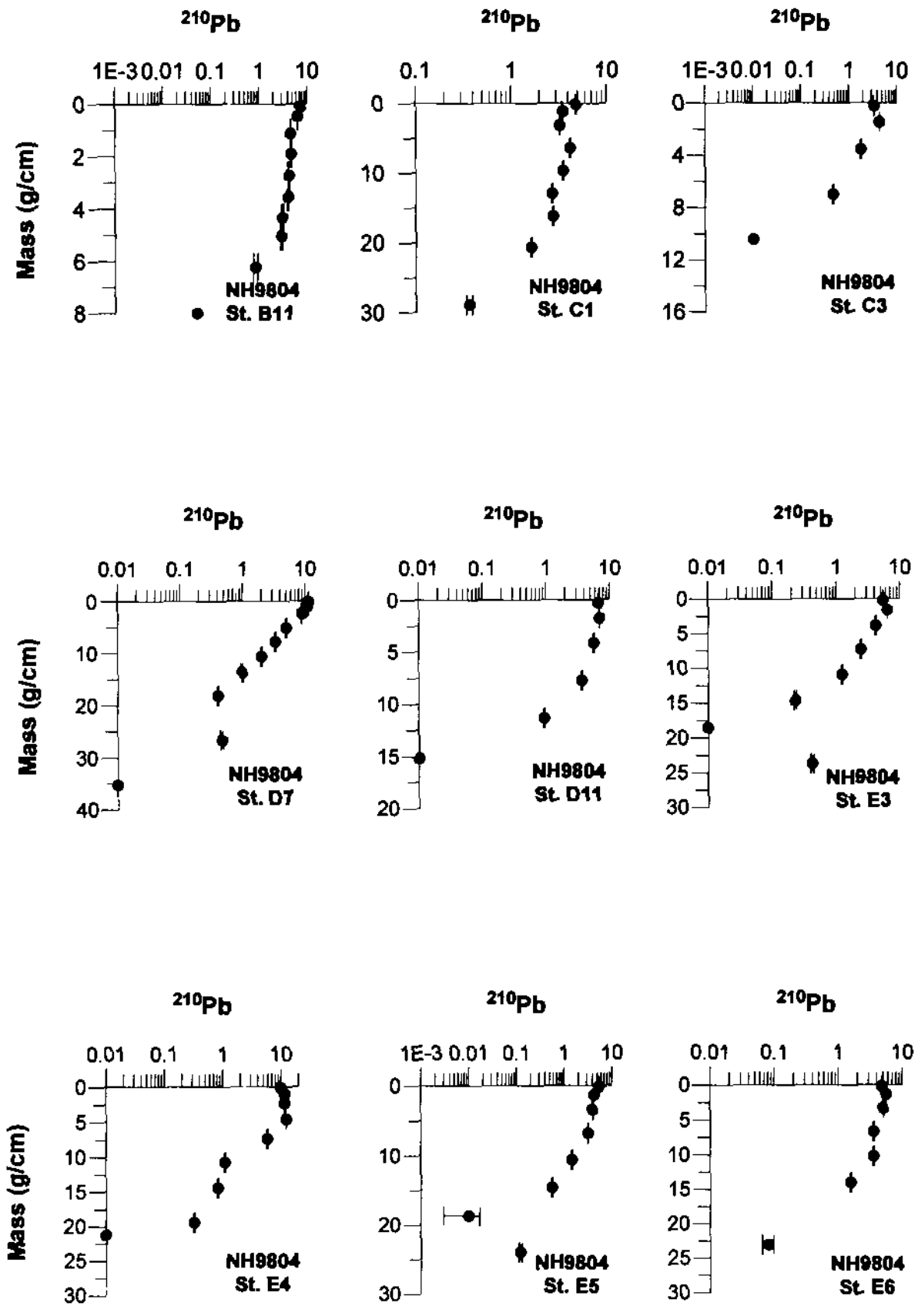


Fig. 3-16. (Continued)

## 7. 기초생산력

### 7.1. 서론

식물플랑크톤에 의한 기초생산 (primary production)은 해양 생태계의 먹이망 (food web)과 물질순환 (material flux)에서 있어서 중심적인 역할을 담당한다. 해양 환경에서의 기초생산은 기본적으로 식물플랑크톤이 빛 에너지를 흡수하여 무기탄소를 유기물로 전환시키는 과정이라 할 수 있다(Falkowski and Raven, 1997). 광합성 과정을 통해 식물플랑크톤에 의해 형성된 유기물은 이를 먹이로 하는 상위영양 단계의 생물들을 유지시킬 뿐만 아니라 미생물환 (microbial loop)의 근원이 되기도 한다. 해양환경에서 기초생산은 빛, 영양염, 수온, 혼합수심 및 초식과 같은 여러 요인들에 의해 일차적으로 조절되는 것으로 알려져 있다. 이처럼 해양환경에서 기초생산의 중요성에도 불구하고, 현재 동해 및 서해와 비교시 남해에서의 기초생산성에 대한 연구는 미진한 상태이다. 단지 Chung and Yang (1991)이 1989년 4월에 남해해역에서 측정한 기초생산을 보고한 바 있다.

### 7.2 재료 및 방법

기초생산성 (primary productivity) 연구는 1998년 4월, 9월 그리고 11월의 총 3회에 걸쳐 한국해양연구소 탐사선인 이어도호를 이용하여 수행되었다. 연구 해역은 동경 126° 10' ~128° 15' , 북위 33° 20' ~34° 45' 으로 4월에는 13개 정점, 9월에는 6개 정점, 그리고 11월에는 3개 정점에서 기초생산을 측정하였다.

기초생산성은 유광층내 (표층광의 1%까지) 6개 수심에서 시료를 취하여 4  $\mu\text{Ci}$   $^{14}\text{C-NaHCO}_3$ 를 주입한 다음 정오를 기준으로 3 - 6시간 동안 배양하여 측정하였다. 기초생산성 측정을 위한 해수시료는 Rosette 채수기에 부착된 5 liter Niskin sampler를 이용하여 표층광의 100, 49, 30, 15, 3.5, 1% 광투과 수심 (LPD: Light penetration depth)에서 채수하였다. 광도를 채수 수심의 광도로 조절하기 위하여 250 ml polycarbonate bottle을 천공된 nickel screen으로 포장하였다 (Stork Veco, Bedford, MA, U.S.A.). 배양은 표층해수로 냉각한 on-deck incubator에서 행하였다. 일정 시간 배양 후 25 mm Whatman GF/F 여과지로 시료를 여과한 후 여과지를 산증기 (HCl fumes) 처리한 다음 건조시켜, 섬광액 (scintillation cocktail; Lumagel Safe) 10 ml를 가하여 섬광계수기 (scintillation counter; Wallac Model#1405)를 이용하여 dpm 값을 측정, Steeman Nielson (1952) 방법에 기초한 Parsons *et al.* (1984)에 따라  $^{14}\text{C}$ 의 흡수율을 구하였다.

### 7.3 결과

본 조사시간 동안 유광층의 수심은 1998년 4월 조사시에는 정점 C1에서 8.7 m로



가장 얇았고, 정점 A9에서 29.8 m로 가장 깊었다. 9월 조사시에 유광층의 수심은 8 (정점 S2) - 19 m (정점 A1)의 범위를 보였다. 11월 조사시에는 전 정점에 걸쳐 유광층의 깊이가 약 19 m였다.

조사기간 동안 표층 광량은 (Figs. 3-17~18) 1998년 4월 조사의 경우, 조사시기 초기에 표층 최대 광량이 약  $600 \mu\text{Ein m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 으로 측정된 것을 제외하면 4월 조사기간 동안 계속 약  $300 \mu\text{Ein m}^{-2} \text{s}^{-1}$  이하로서 매우 약한 광량을 나타냈다. 11월 조사기간 동안 표층 최대 광량은 약  $900 \mu\text{Ein m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 값을 나타내었다.

1998년 3회 조사기간 동안 측정된 단위 부피당 및 단위 면적당 기초생산 값들을 Tables 3-12~14에 나타내었다. 기초생산량을 각 조사 시기별로 살펴보면 다음과 같다; 1998년 4월 조사시에 표층 (100% LPD)에서의 기초생산은 0.27 (정점 C7) -  $2.90 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$  (정점 C3)의 범위였고 평균( $\pm$ SD) 기초생산 값은  $1.41 \pm 1.07 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ 로서 정점간에 매우 큰 변화를 보였다. 1998년 9월의 표층 기초생산은 3.24 (정점 B4) -  $8.89 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (정점 S2)의 범위를 나타냈으며, 평균( $\pm$ SD) 기초생산 값은  $6.23 \pm 2.25 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ 로서 4월 조사기간 동안의 평균값과 비교시 약 4.4배 크게 증가하였다. 1998년 11월 조사기간 동안 표층 기초생산 값은 5.01 (정점 A5) -  $5.56 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (정점 A7)의 범위를 나타냈으며, 평균( $\pm$ SD) 기초생산 값은  $5.21 \pm 0.30 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ 로서 9월 조사시와 비교해 약 16% 정도 감소한 값을 나타냈으나, 통계적으로는 그 차이가 유의하지 않았다. 또한 4월과 11월 조사시와 비교해 11월 조사시의 표층 기초생산값의 정점간 변화는 큰 차이가 없었다.

각 조사시기별 기초생산의 수직분포를 살펴보면, 1998년 4월 조사시 (Fig. 3-19) 13개의 정점중 7개의 정점에서 특징적으로 표층(100% LPD)보다는 49 - 30% LPDs에서 가장 높은 기초생산값을 보인 점이 특징적이다. 4월 조사시 단위면적당 수층 적분한 기초생산량은 3.44 (정점 E3) -  $37.19 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (정점 B11)의 범위였고, 배양시간과 광량을 고려하여 추정된 일일 단위면적당 기초생산성은 19.6 (정점 E3) -  $212.0 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (정점 B11; 평균  $\pm$  SD =  $78.8 \pm 61.0 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )로서 정점간 12배 이상의 큰 차이를 나타내었다. 본 연구에서 4월 조사시의 평균 기초생산 값은 춘계 대번식(spring bloom)이 4월에 일어남을 고려할 때 매우 낮은 값으로 생각되며, 동일한 해역에서 Chung and Yang (1991)이 1989년 4월에 측정한 값 ( $1,727 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )과 비교할 때도 매우 낮은 값이다. 4월 조사에서 이처럼 기초생산이 매우 낮았던 것은 본 조사기간 내내 대부분 열악한 광조건으로 인하여 (대개 약  $300 \mu\text{Ein m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이하) 광합성이 활발하지 못했기 때문인 것으로 사료된다. 1998년 9월 조사시의 기초생산의 수직분포는 (Fig. 3-20) 모든 정점에서 표층에서 가장 높고 수심이 증가함에 따라 기초생산이 감소하는 경향을 보였다. 9월 조사시에 단위면적당 수층 적분한 기초생산량은 14.68 (정점 B4) -  $54.12 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (정점 A1)의 범위였고, 배양시간과 광량을 고려하여 추정된 일일 단위면적당 평균( $\pm$ SD) 기초생산성은  $158.3 (\pm 96.3) \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (범위; 정점 B4에서 최소  $94.2 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , 정점 A1에서 최대  $347.2 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )로서, 4월 조사시에 비해 약 2배 이상 증가하였다. 이러한 기초생산성의 증가는 주로 수온과 일조량의 증가에 기인한 것으로

판단된다. 1998년 11월 조사시에 기초생산성의 수직분포는 (Fig. 3-21) 9월 조사시와 유사하게 표층에서 가장 높고 수심이 증가하면서 감소하는 경향을 보였다. 11월 조사시 단위면적당 수층 적분한 기초생산량은 30.09 (정점 A5) - 48.53 mg C m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> (정점 A1)의 범위였고, 배양시간과 광량을 고려하여 추정된 일일 단위면적당 기초생산성은 160.4 (정점 A5) - 526.5 mg C m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> (정점 A7; 평균 ± SD = 344.6 ± 183.1 mg C m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>)의 범위였다. 본 조사기간중 4월 및 9월보다는 11월에 평균 기초생산성이 가장 높았다.

Table 3-12. Primary production April, 1998

Station	Depth(m)	mg C m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup>	mg C m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup>	mg C m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup>	
A1	0	1.94	16.65	114.92	
	3	1.86			
	Secchi 6	4			1.47
		7			1.58
		12			0.22
A5	16	0.06	23.08	159.26	
	0	2.67			
	4	2.55			
	Secchi 9	6			1.56
		10			0.74
18		0.09			
A9	24	0.06	13.93	96.11	
	0	1.09			
	5	0.98			
	Secchi 11	8			0.96
		12			0.37
22		0.10			
B1	30	0.13	3.57	20.35	
	0	0.72			
	2	0.48			
	Secchi 5	4			0.16
		6			0.27
10		0.16			
	14	0.10			

Table 3-12. (Continued).

Station	Depth(m)	mg C m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	mg C m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup>	mg C m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup>
B5 Secchi 7	0	2.89	19.68	112.20
	3	3.58		
	5	1.72		
	8	0.33		
	14	0.15		
	19	0.02		
B11 Secchi 10.8	0	2.85	37.19	212.00
	5	2.42		
	8	2.24		
	12	1.73		
	21	0.11		
	29	0.06		
C1 Secchi 3.2	0	0.95	4.41	30.45
	1	1.21		
	2	0.97		
	4	0.49		
	6	0.10		
	9	0.07		
C3 Secchi 5.4	0	2.90	14.95	103.13
	2	1.90		
	4	2.07		
	6	1.11		
	11	0.06		
	15	0.04		
C7 Secchi 7.5	0	0.27	5.72	39.43
	3	0.54		
	5	0.57		
	8	0.36		
	15	0.10		
	20	0.01		

Table 3-12. (Continued).

Station	Depth(m)	mg C m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	mg C m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup>	mg C m <sup>2</sup> day <sup>-1</sup>
D3	0	0.35	3.77	21.49
	2	1.04		
Secchi 3.8	3	0.88		
	4	0.14		
	7	0.18		
	10	0.03		
D5	0	0.74	4.74	26.99
	2	0.93		
Secchi 5.8	4	0.54		
	6	0.17		
	11	0.04		
	16	0.01		
D11	0	0.62	12.49	71.21
	4	0.77		
Secchi 10	7	0.87		
	11	0.83		
	20	0.01		
	27	0.04		
E3	0	0.38	3.44	19.63
	2	0.62		
Secchi 4.5	3	0.60		
	5	0.26		
	9	0.10		
	12	0.03		

Table 3-13. Primary production September, 1998.

Station	Depth(m)	mgC m-3 h-1	mgC m-2 h-1	mgC m-2 day-1
A1 Secchi 7	0	8.58	54.12	347.228
	3	5.52		
	5	3.78		
	8	3.74		
	14	0.35		
	19	0.04		
A2 Secchi 6	0	4.36	14.76	94.671
	3	0.74		
	4	1.38		
	7	0.96		
	12	0.24		
	16	0.01		
A3 Secchi 5	0	5.46	18.02	120.26
	2	1.14		
	4	2.65		
	6	1.78		
	10	0.00		
	14	0.02		
A5 Secchi 5	0	7.25	24.99	160.35
	2	3.45		
	4	3.69		
	6	1.35		
	10	0.12		
	14	0.04		
B4 Secchi 5	0	3.24	14.68	94.21
	2	2.66		
	4	1.43		
	6	1.11		
	10	0.15		
	14	0.01		
S2 Secchi 3	0	8.89	21.27	168.10
	1	6.15		
	2	4.04		
	3	2.20		
	6	0.29		
	8	0.05		

Table 3-14. Primary production November, 1998

Station	Depth(m)	mgC m-3	mgC m-2	mgC m-2 day-1
		h-1	h-1	
A1 Secchi 7	0	5.07	48.53	347.02
	3	4.79		
	5	3.58		
	8	2.83		
	14	1.12		
	19	0.68		
A5 Secchi 7	0	5.01	30.09	160.40
	3	3.81		
	5	3.32		
	8	0.34		
	14	0.56		
	19	0.21		
A7 Secchi 7	0	5.56	40.00	526.47
	3	3.85		
	5	3.44		
	8	2.10		
	14	0.64		
	19	0.40		

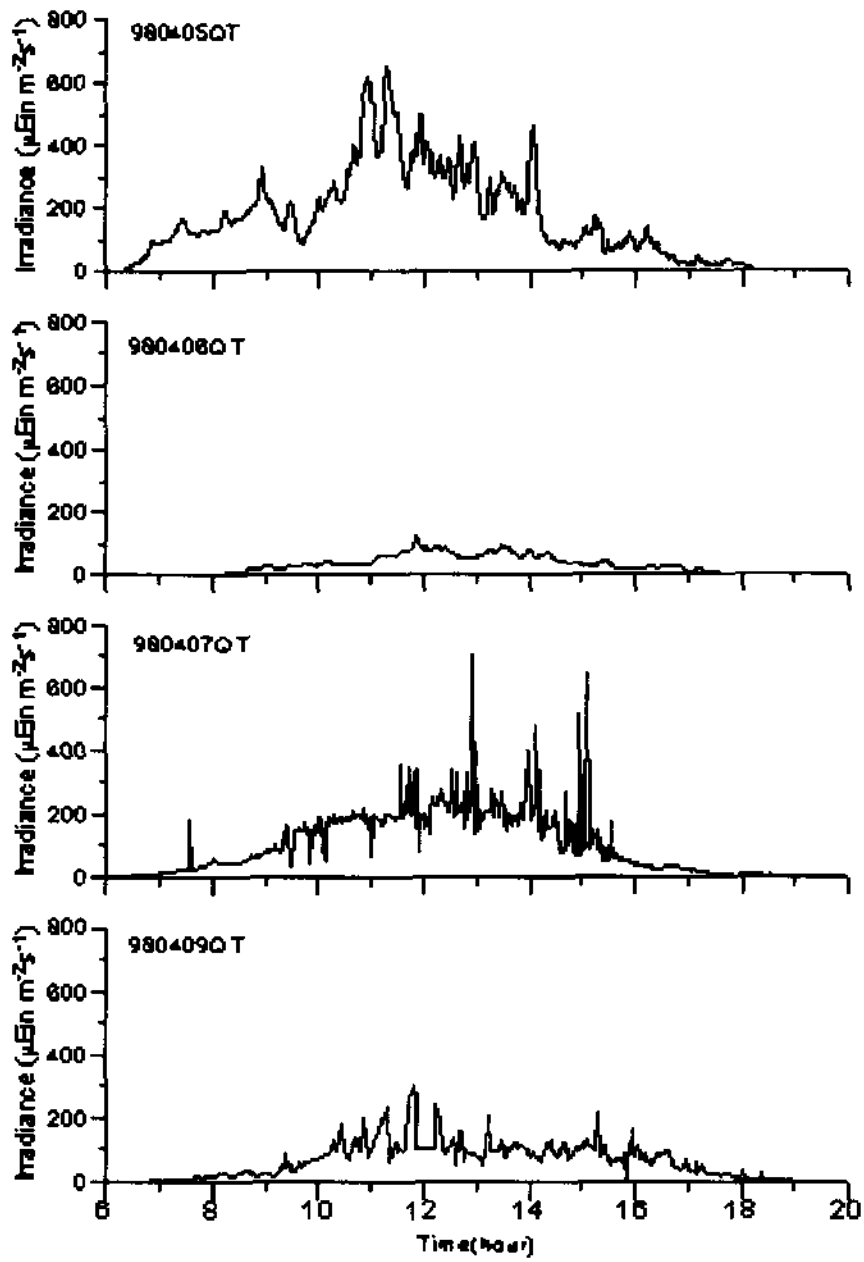


Fig. 3-17. SOUTHSEA 9804QT

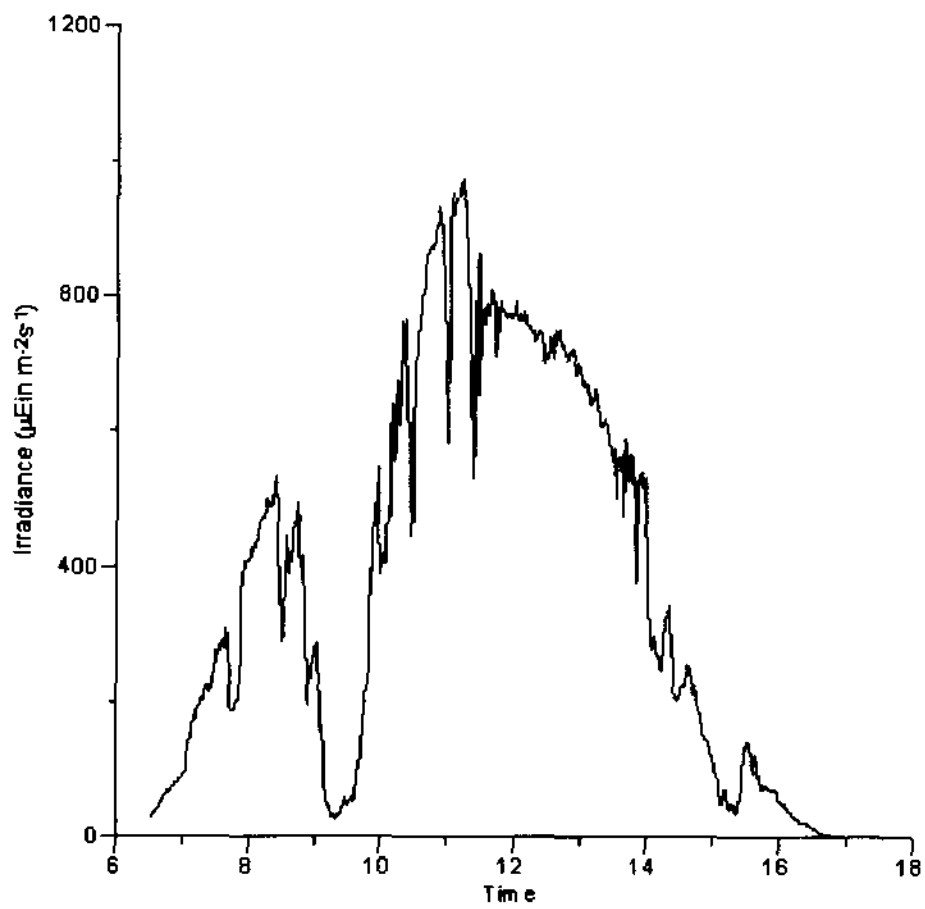


Fig. 3-18. SOUTHSEA 9811QT



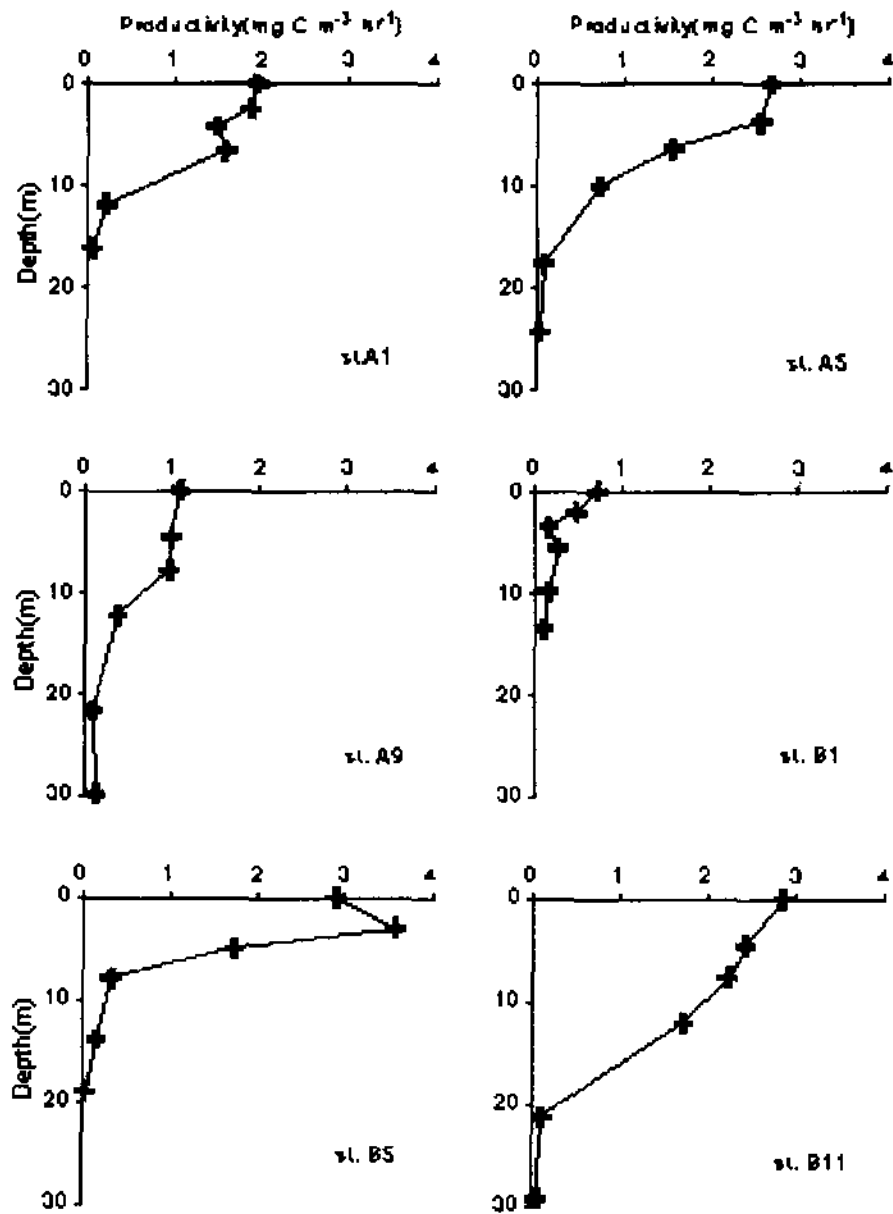


Fig. 3-19. SOUTHSEA 9804 Primary Production

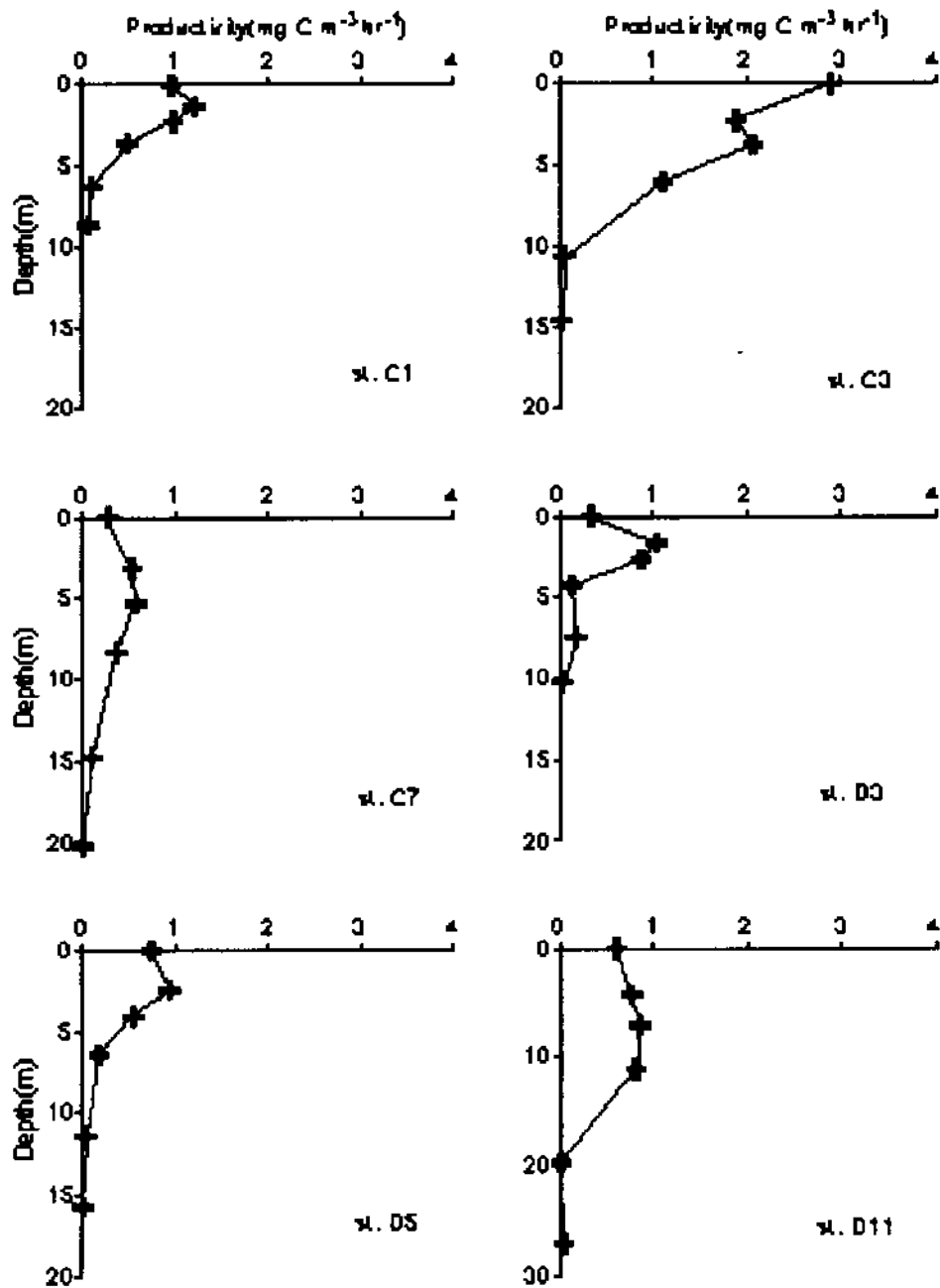


Fig. 3-19. (Continued).

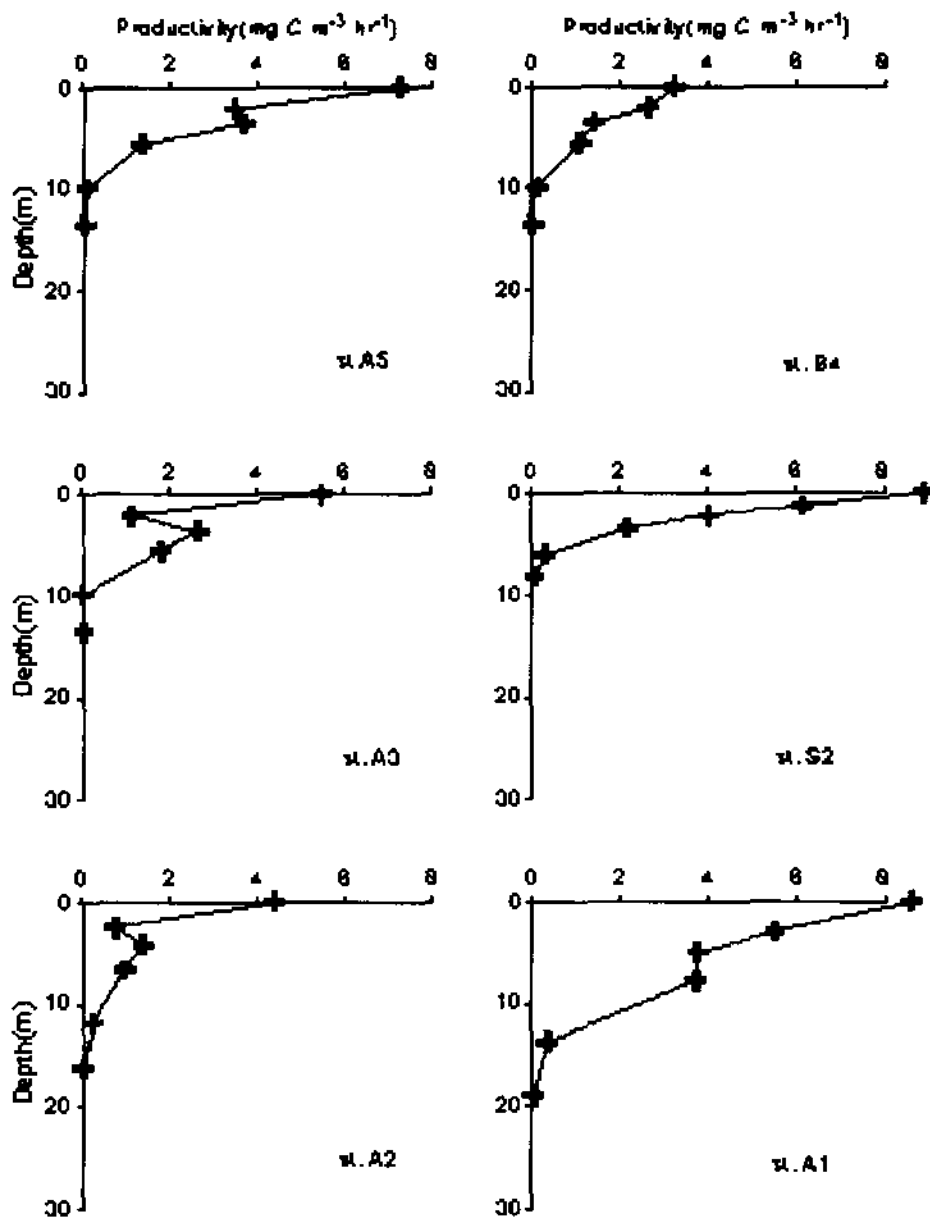


Fig. 3-20. SOUTHSEA 9809 Primary Production.

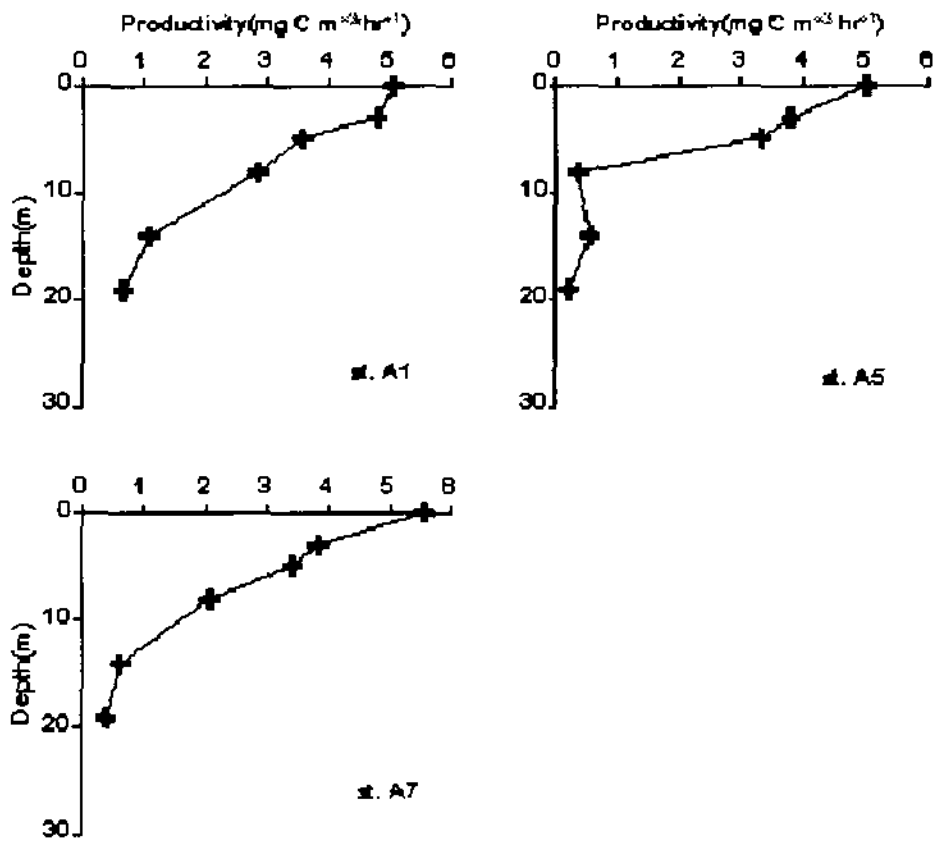


Fig. 3-21. SOUTHSEA 9811 Primary Production.

## 8. 대기유입 화학물질 특성

### 8.1. 서 론

대기는 하천과 마찬가지로 육상기원물질을 해양으로 공급하는 주요 매체이다. 일반적으로 연안해양에서 대기를 통한 중금속 유입량은 하천을 통한 유입량의 20배 이상으로 크다. 하천을 통해 해양으로 유입되는 경우는 하구 인접해역에만 국지적으로 영향을 미치나 대기를 통한 유입은 해양 전체에 영향을 미친다.

중국 및 우리나라에서 발생된 대기오염물질은 황해, 남해 및 동해와 더 나아가서 태평양을 건너 멀리 미국 텍사스에까지도 영향이 미치는 것이 최근 미국 샌프란시스코에서 열린 지구 물리학회에서 보고되어졌다. 특히 4~5월에 중국 고비사막에서 기원하는 황사는 중국의 대기를 통과하면서 유독성 오염물질과 더불어 우리나라 및 주변 해역에 상당량이 유입되는 것으로 밝혀졌다. 따라서 남해에서 대기로부터 유입되는 오염물질 산정은 남해의 환경관리를 위해 필수적이다.

본 연구는 남해에 유입되는 오염물질을 산정하기 위해 현장 조사시 선상에서 대기분진 시료를 채집하여 중금속등 독성 오염물질의 함유량을 파악하고, 대기유입에 의한 오염물질 플럭스를 산정하고자 한다.

12-28-1998/12/28, draft

## Chemical composition of marine aerosol particles in the Yellow Dust Storm and low dust periods over the Cheju-Korea Straits, the northwest Pacific

Gi-Hoon Hong, Suk-Hyun Kim, B J. Shon\*, Chung-Soo Chung, Kyung-Tae Kim, and Dong-Beom Yang

Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea

\*Department of Earth Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

### Abstract

Aerosol samples were collected in the marine boundary layer aboard the ship for November 1997 and April 1998. A part of the sampling period in April 1998 coincided to the Yellow Dust Storm occurrence in the region, therefore, provided a unique Yellow Dust Storm samples *in situ*. The samples were analyzed for contents of major and trace elements, nss sulfate, nitrate, ammonium, and  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$ . The aerosol Al and metal concentrations in the Yellow Dust period is an order of magnitude higher than the low dust period. There was a significant difference in major elemental composition of the marine aerosol particles between the Yellow Dust and the low dust periods. The anthropogenic elements and compounds were more enriched in the aerosol of the low dust period than that of the Yellow Dust Storm. The relationship of aerosol  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  concentration with nss sulfate, nitrate and other trace metal concentration suggests that these particles are emitted from the continent, pass through the higher altitude (free troposphere), then descend to the marine boundary layer in the region, despite the close proximity to the Chinese continent. Due to the strong annual variability of the dust storm occurrence in the region, contribution of dust storm will undergo a corresponding annual variability.

### 1. Introduction

Basic research on the fluxes of pollutants and other substances across the sea/air interface has been hindered by the paucity of data on the chemical composition of marine aerosol particles *in situ*. The data for background concentrations of trace elements in aerosol particles from remote marine regions are especially limited, and these data are needed to identify sources for trace elements in the atmosphere and to refine global mass balance models (Duce et al. 1983; Prospero et al., 1985). Now it is well known that atmospheric transport of mineral aerosols, and the components contained in, Fe and nitrate, Pb has shifted the distributions of these elements in the ocean away from steady state (Broecker and Peng, 1982) and significant enhancement of the biological productivity (Zhang, 1994), and the chemistry of the aerosol can affect its light scattering of the atmosphere and cloud formation hence affect the climate ( ). Interest in the biogeochemical cycles of certain potentially toxic trace elements, such as Pb, Cu,

Zn, and Cd, also is increased. Therefore, characterization of compositions and sources of trace elements in the atmosphere are important in understanding climate (Schneider et al. 1990; Uematsu et al., 1983).

The regional seas of the Northeast Asian Marginal seas are one the dustiest area in the world (GESAMP, 1989) due to the presence of constant westerlies and a large desert in China. Among the most outstanding geological events in the region are the dust storms, locally known as Yellow Dust Storms, that occur each spring. As shown through the images of the aerosols by NASA's TOMS instrument in March 28-April 13, 1998, the Chinese dust storm reaches the eastern Pacific Ocean. Approximately 11.4% of the total surface area of the People's Republic of China is desert (Gao, 1998). According to Gao, the evolution of dry climates in northeastern and northern China has been closely correlated with rapid uplift of the Tibetan Plateau, which has attained its present elevation of about 4000m above the sea level since the late Pleistocene to early Holocene. The Tibetan Plateau serves as a very strong shield for the atmosphere in northwestern China from the influence of moist air coming from the ocean to the southeast, therefore, the upper tropospheric transport is so effective. There are usually more than 10 days a year when the wind is gale strength which leads to the development of Yellow Dust Storm in the northeast China. In China, dust storms are most frequent in April for more than 200 years of records (Gao et al. 1992). Deserts and Gobi have created a huge accumulation of loess with a total area of ca. 0.6 million km<sup>2</sup> in the middle reaches of the Huanghe River and the North China Plain. Loess is eolian deposited material with greyish yellow, loose, porous, and calcareous features (Liu, 1988). Major dust storms have been observed at Nagasaki of Japan an average of 5.3 days a year with an annual range from 0 to 18 days over the past 62 years. Japanese observation correlated well with those in China (Uematsu et al. 1984). Despite the growing interests of the geochemical importance of Chinese dust, many aspects of the dust flux are as yet unstudied including the chemical composition of the Yellow Dust over the sea. We present here some results of our analyses of aerosol particles from the marine boundary layer over the Cheju-Korea Straits during dust storm and low dust periods. Yellow dust storm samples were sampled probably for the first time. These studies were part of the long-term Atmospheric Input of Asian Marginal Seas (AIMS) Program of the Korea Ocean Research and Development Institute, which was established to study the fluxes of natural and pollutants across the sea/air interface in the northeast Asian Marginal Seas. The specific objectives of this work are to (1) to measure the concentrations of selected chemical elements and compounds in marine aerosol particles during high dust and low dust periods, (2) to identify the sources for these elements in the marine atmosphere, (3) to describe the temporal variability in the trace element composition of the aerosol particles, and (4) to estimate total deposition and fluxes of atmospheric dust and chemical elements to the regional sea.

## 2. Materials and Methods

Sampling was carried out in November 1997, low dust period of April 1998, and high dust period of April 1998 in the Cheju-Korea Straits. Sampling of high dust events were confirmed later by TOMS images (Larko et al. 1998). All samples were collected on the ship windward and forward of the stack and only when the ship was underway between hydrographic stations (Fig. 1 and Table 1). The sampling equipment used in this study was a high-volume bulk aerosol sampler (flow rate  $-1.6 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ , Kimoto Inc., Tokyo, Japan) located on the upper deck of the research vessels 5-8 m above the sea surface. An inlet discriminates against the very coarse particle larger than  $100 \mu\text{m}$ . Whatman 41(R) filters (20 x 25cm) were used as the sampling medium for their high load capacity of aerosols and being relatively free from metals (Kitto and Anderson, 1988). Sample changing in the field was conducted with care to minimize contamination. A clean area was prepared in advance for loading and unloading filters. When one sampling interval was completed, the holder with the sample filter was put a clean plastic bag and sample filter was kept frozen until analyzed. The frozen sample filters were brought back to the clean area for unloading.

Chemical analysis was performed using a portion of each sample filter. The filter was cut using an acid clean ceramic scissors for trace metals analysis. A filter aliquot was subject to acid digestion using ultra pure  $\text{HNO}_3$ , HF, and suprapure  $\text{HClO}_4$  in closed teflon bomb. The completely digested samples were diluted to 30ml with 1%  $\text{HNO}_3$ . Analysis for major and trace elements were done using an ICP-AES (Perkin Elmer Optima 3300DV) and ICP-MS (VG Elemental PQII+), respectively. In and Ir were used as internal standards in the determination step of ICP-MS. The accuracy was checked using a standard reference material (NBS 1648 Urban Particulate). For chloride, nitrate, sulfate and ammonia analysis, a portion of each sample filter were extracted with 50 mL of double deionized water. The analyses of all filters were done by routine ion chromatography (Dionex DX-100). The detection limits of the species were estimated on the basis of their filter blanks, collection efficiency, and uncertainties in air volume samples. Gamma-ray spectrometric analysis was performed on the ashed sample filters to obtain  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{7}\text{Be}$  activity. The  $^{7}\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  gamma ray activity was measured at 477.6 and 47.4 keV, respectively.

## 3. Results and Discussion

The concentrations of 25 elements were determined in a total of 12 samples over the Cheju-Korea Straits. Two samples in November 1997, 7 samples in low dust April 1998, and 3 samples in high dust April 1998. The summary statistics for these samples, including mean concentrations and standard deviations are presented in Table 2. The samples are grouped by the season of collection to illustrate the temporal variability in the concentrations of the elements.

There was a large temporal variability in the region. Due to the lack of statistically



sufficient number of samples, spatial variability in elemental concentrations are not discussed here. The aerosol Al concentrations in November were generally 2-3 times higher than those in the low-dust April 1998. However, the aerosol Al concentrations in high-dust April 1998 were higher as much as two orders of magnitude than those in low-dust April 1998.

### 3.1 Enrichment Factors

The principal sources for most atmospheric elements are the oceans and the earth's crust. Enrichment factors, defined below, have shown that many elements exhibit atmospheric concentration ratios similar to those in average crustal material or in bulk seawater. Aluminium and sodium are most used as reference elements for calculating crustal and seawater enrichment factors, respectively. The enrichment factors computed in previous studies indicate that natural processes may dominate the atmospheric concentrations of many elements. Average enrichment factors of marine aerosols in the Cheju-Korea Straits, given for crust and seawater in Tables 3 and 4, respectively, were calculated according to the following equation:

$$EF = ([X]/[Al])_{\text{sample}} / ([X]/[Al])_{\text{crust}} \quad (1)$$

The sea-salt EF<sub>s</sub> are calculated similarly to crustal EF<sub>c</sub>; however, Na is used in lieu of Al and Bowen's sea-salt averages are used in lieu of crustal averages.

$$EF = ([X]/[Na])_{\text{sample}} / ([X]/[Na])_{\text{seawater}} \quad (2)$$

Taylor and McLennan (1995) crustal averages were used as the reference source, and Al was used as the crustal tracer. For seawater, Broecker (1982)'s averages were used as the reference source, and Na was used as seawater tracer. As expected, many elements linked strongly with crustal material or seawater-originated material, having EFs near unity. In general, elements with EF<sub>crust</sub> (or EF<sub>seawater</sub>) values less than 3-5 are considered to have approximately the same inter-element concentration ratios in the atmosphere as in average crustal material (or in bulk seawater) (Duce et al., 1983). In the aerosols over the Cheju-Korea Straits, Na, Mg, K, and Ca exhibit relative proportions in marine aerosol particles that are similar to those in bulk seawater including Sr in the aerosols samples of November 1997. Consequently, the oceans are assumed to be the predominant source for these elements. Sea-salt aerosol particles form after bubble burst at the sea surface (Duce et al. 1983). The elements of Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Zr, La, Ce, and Nd in marine aerosol over the region display relative proportions similar to those in average crustal material including Sr in both low and high-dust period of April 1998 and Ca in high dust April 1998. As pointed out by Duce et al. (1983), the crustal enrichment factors do not unequivocally demonstrate that their ultimate source is either crustal, because various

anthropogenic activities such as quarrying operations, agricultural land clearing, combustion of fossil fuel, and road construction resulted in dust that concentration ratios of some elements are similar to those in crustal material. Gao et al. (1997) also pointed out that the coal burning also introduce Al in the air. The elements of Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, and Pb have shown that these elements are enriched relative to both crustal and seawater sources. The anthropogenic atmospheric inputs for these elements in the northeast Asian continent are significant from industrial emissions and fossil fuel combustion are significantly greater than those from natural sources.

### 3.2 Meteorological evidence of origin

In order to examine the origins of the aerosols taken over the Cheju-Korea Strait during the low and high dust periods of April we performed backward air mass trajectory analysis using European Center for Medium-scale Weather Forecasting (ECMWF) reanalysis data. Four times daily data of temperature and wind are used for calculating isentropic trajectories at each sampling location. Since the transport of yellow sand dust is well correlated with flows on 850 mb altitude (Chun et al., 1998) backward trajectories are calculated on isentropic surface of 295K whose altitudes are close to those of 850 mb level except April 23 case which has 295K surface within very limited area. Results are presented in Fig. 2. During the low dust period from April 9 to April 11 it is indicated that air mass was originated from adjacent East China or Korean Peninsula. During the high dust period, surface weather analyses strongly suggest that the sampled aerosols on April 16 contain Yellow sand dust particles. For the 16 April case air mass was originated from Northeast China in which Yellow sands were reported on April 13 after the passage of low pressure system on April 12. Thus, within following three days, the air mass laden with Yellow Sand dusts likely moved into the sampling area. For the April 17 case, air mass trajectory goes back to the Gobi desert. Later in this section, we will provide compelling evidences that aerosols taken on April 17 were originated from the Yellow Sand storm event using informations on dust cloudy area given in surface weather maps and satellite observations. On the other hand, the aerosol sample taken on April 23 may not be related to the Yellow sand event since it traveled over the southern China where mostly hazy skies were reported in previous two days.

Fig. 3 shows time series of air mass laden with yellow sand particles outlined from

consecutive weather maps from April 15 to 18, 1998. It was reported that the Asian dusts produced by a storm in the West Gobi desert were transported into the west coast of North America across the Pacific Ocean (NASA, 1998). The dust area related to April 15 storm moved into the Shaanxi province on the following day (00 UTC April 16). At 00 UTC April 17, the dust area further moved south-eastward and located in the area from the Yantze basin to Kyushu of Japan, across the East China Sea. On April 18, it indicates that there were dust clouds over the East China Sea and over the south of Japan.

The evolution of the dust air mass is in good agreement with the area suggested by satellite observations. Figure 3 shows SeaWiFS image of April 16, 1998 in which yellowish cloud from the west of Shandong peninsula to mid-China represents dust sand area. Combining locations of Asian dust area (Figs. 2 and 3) with the satellite image, the yellow sand events reported at Cheju and Kyushu weather stations at 00 UTC 17 April appears to be the same dust air mass found in Figure 4 for April 16. Thus, the samples taken at April 17 must be associated with the April 15 dust storm event.

### 3.3 Non-sea salt correction for Chinese dust

As Ziemann et al. (1995) pointed out correctly, crustal average Na to Al ratio of Taylor is not accurate for the Chinese dust storm observed at Mauna Loa, Hawaii. Therefore, special care should be exercised to determine the sea-salt contribution of Na in the aerosol samples collected near the sea surface. The average Na to Al ratio in Loess is 0.15-0.17 compared to that of 0.36 in Taylor's upper crust (Table 5). The Tanaka's data mentioned in Holmes and Zoller (1996) are coincided to those of coarse fraction (32-63  $\mu\text{m}$ ) of Loess (Li and Chen, 1996). Since the dominant particle sizes of marine aerosols are 2-20  $\mu\text{m}$  in the Yellow and East China Sea (Li and Chen, 1996), we chose 0.15 as elemental mass ratio of Na/Al in the dust storms. And average continental crustal elemental ratio was used for other seasons since the atmospheric minerals originated from the surrounding land mass in the region (Mukai and Suzuki, 1996; Hong et al., 1998). Marine Na is calculated as all the sodium that is not due to crust by the following equation (Ziemann et al. 1995).

$$[\text{Na}]_{\text{marine}} = [\text{Na}]_{\text{total}} - \left\{ \frac{[\text{Na}]_{\text{crust}}}{[\text{Al}]_{\text{crust}}} \times [\text{Al}]_{\text{total}} \right\} \quad (3)$$

The concentration of nss sulfate was calculated by subtracting sea-salt sulfate from the total sulfate. Sea-salt sulfate was calculated as the marine [Na] times Bowen's ratio of 0.252, the typical sulfate-to sodium mass ratio in seawater.

$$[\text{nssSO}_4^{2-}] = [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{total}} - \{([\text{SO}_4^{2-}]_{\text{total}}/[\text{Na}]) \times [\text{Na}]_{\text{marine}}\} \quad (4)$$

The summary statistics of the non sea-salt mean concentrations for the samples including one standard deviations are presented in Table 6. These values are the true atmospheric element concentrations affecting the seawater composition. The marine fraction of total aerosol Na was , 97, 95, and 46 % for November 1997, low-dust April 1998, and high-dust April 1998, respectively. Fresh dust originated from the continent has substantially lower marine Na fraction. The dust-storm collected on 16, 17 and 23 April 1998 over the Cheju-Korea Strait should be less than 3 days since major dust storm occurred on 13 and 20-21 April 1998 observed by U.S. NASA Satellite equipped with TOMS (Larko, 1988). Also it is noted that when dust concentration is high, total atmospheric Na content can not be safely assumed to be entirely originated from the seawater. Marine fraction of aerosol sulfate was 44, 3.7, and 2.7% in November 1997, low-dust April 1998, and high-dust April 1998, respectively.

### 3.4 Atmospheric elemental concentrations

#### 3.4.1 Major and trace elements

Aerosol Al concentrations were  $747 \pm 379$ ,  $468 \pm 426$  and  $17287 \pm 16491$  ng m<sup>-3</sup> in November 1997, low-dust April 1998, and high-dust April 1998. Dust storm Al concentrations are the highest values observed over the sea and predicted over the Yellow Sea (Gao et al., 1992). In dust-storm period, atmospheric Na, Mg, and Al concentration was two orders of magnitude higher than the low dust period. Aerosol concentration of K, Ca, Zr, and Ce in dust storm was a two order of magnitude higher than those in the low dust period. Aerosol concentration of Ti, Cr, Fe, Mn, Co, Ni, Sr, Mo, Nd, Cl was one order of magnitude higher than those in the low dust period. Pb, nitrate, and nss sulfate were a factor of two times higher than those in the low dust period. Only aerosol Cd concentration in the Dust storm was similar to those in the low dust period (Table 3).

#### 3.4.2 Nitrate

The mean concentration of nitrates were  $1.3 \pm 0.2$  μgm<sup>-3</sup>, in November 1997 and April 1998 with an average of  $3.5 \pm 2.9$  μgm<sup>-3</sup> in the low-dust season, and  $7.0 \pm 2.5$  μgm<sup>-3</sup> in the dust-storm period. It is interesting to note that high dust storm aerosols carried more nitrate than those in the low dust. In comparison, the mean nitrate concentration were  $7.7 \pm 5.8$  μgm<sup>-3</sup> at Qingdao (February-June 1992) and  $1.9 \pm 1.2$  μgm<sup>-3</sup> in the East China Sea (April 1992) (Gao et al., 1996), and  $0.75 \pm 0.64$  μgm<sup>-3</sup> in the open North Pacific along the Tokyo-Honolulu track (Uematsu et al. 1995). It is interesting to note that the aerosol nitrate contents in the dust-storm period were very similar to those observed at the Chinese Yellow Sea coast of Qingdao.

### 3.4.3 nss Sulfate

The mean nss-sulfate concentrations were  $2.8 \pm 0.07$ ,  $11.4 \pm 1.4$ , and  $14.1 \pm 4.0 \mu\text{gm}^{-3}$ , in November 1997 and low-dust April 1998, and dust-storm April 1998. The difference in mean nss-sulfate concentrations were much lower in November 1997 than April 1998 period. In comparison, the mean sulfate concentrations were  $12 \pm 11 \mu\text{gm}^{-3}$  at Qingdao and  $4.0 \pm 1.3 \mu\text{gm}^{-3}$  in the East China Sea. Spring-time nss-sulfate concentrations were very similar to those observed at the Chinese Yellow Sea coast of Qingdao, and much higher than over the remote oceanic regions. In the open North Pacific along the Tokyo-Honolulu track  $1.7 \pm 2.0 \mu\text{gm}^{-3}$  of nitrate was observed (Uematsu et al. 1995). Gao et al. (1996) suggested that the much higher concentrations of nss-sulfate over the China Sea is attributed to a large input of nss-sulfate from the non-biogenic sources by analyzing methanesulfonate content.

### 3.4.4 Ammonium

The mean ammonium aerosol concentration over the region was  $1.5 \pm 0.3$ ,  $1.4 \pm 1.4$ ,  $3.2 \pm 0.9 \mu\text{gm}^{-3}$ , in November 1997 and low-dust April 1998, and dust-storm April 1998, respectively. In comparison, the mean ammonium concentrations were  $0.4$ - $1.2 \mu\text{gm}^{-3}$  in the North Atlantic coastal ocean (GESAMP, 1989), and much lower concentration of  $0.08 \mu\text{gm}^{-3}$  were observed in the NW Pacific Ocean (Quinn et al., 1988). The decomposition and volatilization of organic materials release a number of reduced nitrogen compounds (e.g., ammonia, amines, amino acids) to the atmosphere. In the atmosphere, these compounds can be hydrolyzed, oxidized or removed by deposition processes. Quinn et al. (1988) pointed out in some regions the oceans may be a source of ammonia, therefore, GESAMP (1989) cautioned that ammonium flux data may not be very meaningful from the standpoint of assessing the impact of continental inputs on the oceans.

## 3.5 Chemical characteristics of marine aerosol over the Cheju-Korea Straits

### 3.5.1 Relationship between aerosol nss sulfate and ammonium

The molar ratio of aerosol  $\text{NH}_4^+/\text{SO}_4^{2-}$  are 1.26, 0.44, and 0.51 in November 1997 and low-dust April 1998, and dust-storm April 1998. These values are lower than those observed at Cheju Island ( $\sim 1$ ) reported by Carmichael et al. (1997) however, their trend is similarly observed. The lowest values occur during spring dust storm events and summer periods. Recently, an ammonia emission inventory for Asia, on a mass basis, the anthropogenic  $\text{NH}_3$  (as N) and sulfur dioxide (as S) ratio varies from 1 to 2 in Eastern China, is 2 in Japan, and is 0.25 in South Korea (Carmichael et al., 1997). As noted by Carmichael et al. the winds of the northerly directions are the emissions less than what's necessary to fully neutralize

anthropogenic sulfur.

### 3.5.2 Relationships between aerosol nss-sulfate and nitrate

The sources for atmospheric nitrate are considerably more diverse than for sulfate, but the largest source for NO<sub>x</sub> is fossil fuel combustion (Logan, 1983; Arimoto et al. 1996) and which is expected to continue to increase annually, especially in Asia (Galloway et al., 1994). The source of NO<sub>x</sub> in the region could be also from biomass burning, soil microbial activity, lightning and stratosphere-troposphere exchange are the major natural sources of NO. There are substantial uncertainties associated with the flux estimates for all of the natural sources for NO<sub>x</sub>, especially that associated with lightning (Arimoto et al., 1996).

A preliminary inspection of scatter plot of nss-sulfate vs. nitrate showed that the relationship was reasonably well explained by linear models, suggesting some similarities in the sources and sinks of these compounds ( $n=12$ ,  $r^2 = 0.69$ ; Fig. 5). A similar trend was also observed in the relationship between aerosol nss sulfate and ammonium (Fig. 6). The slope of linear regression of nss sulfate on nitrate ranged from 1.3 to 2.1 which are similar to those values 1.7-1.8 at Cheju Island reported in Arimoto et al. (1996). Differences in the slopes for nss sulfate to nitrate regressions in different season may suggest that there are temporal differences in the source of air mass sampled during the cruise (Fig. 5). China is a dominant source for anthropogenic sulfur and nitrogen in the northeast marginal seas. The emissions of exhaust from Asian countries vary substantially in their relative proportions of sulfate and nitrate, ranging from 3.01 in China and 0.57 in Japan (Arimoto et al. 1996) and 1.7 (1990) to 1.3 (1994) in Korea. Korean emission of SO<sub>x</sub> is steady since 1990 however, NO<sub>x</sub> emission increases annually (Korea Ministry of Environment). Therefore, the low dust period of April 1998, the air mass was probably originated from the Korean Peninsula in the north and November and high-dust April, air mass was largely originated from the China. Much of the early interest in aerosol sulfate and nitrate resulted from their connections to the acid-base chemistry of precipitation. Dissolution reactions brought about by exposure to strong acids could make certain trace metals, both toxic metals and micronutrients, more biologically available to oceanic communities.

### 3.5.3 Mineral aerosols and nitrate

On a mass basis, mineral aerosol is one of the dominant natural components of the marine aerosol. We examined the relationship between nitrate and mineral aerosol as Al as its tracer (Fig. 7). Average nitrate/Al ratio is 1.77, 12.45 and 0.41 in November 1997, low-dust April and high-dust April 1998. 12.45 is very similar to the values reported at Cheju Island reported by Arimoto et al. (1996). Gao et al. (1996) reported that nitrate/Al ratio is 3.1 in Qindao, and 1.0 in the East China Sea. It is interesting that the Dust storm has lowest ratio of nitrate to Al, probably due to the source regions for mineral dust and NO<sub>x</sub> in China are different. Unlike NO<sub>x</sub>

which probably originates mainly from urban areas, dust comes from the vast sandy deserts in western and northwestern China, from the Loess plateau, and from regions of desert and gobi in northern and northeastern China (Gao et al., 1992). The emission inventory of Akimoto et al. (1994) shows that Shannxi and Xinjiang Provinces in China, which contain many of the main source regions for Chinese dust, account for only 1.4% and 2.7% of the NO<sub>x</sub> emissions from China, respectively. Thus on the basis of source strengths, one would expect the NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Al ratio to be low in the source regions for Asian dust. Differences in the relationship between NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and Al were observed. The mean nitrate to aluminium ratios varied more than a factor 3, ranging from 3.9 at Kato to 15 at Okinawa (Table 3 in Arimoto et al. 1996). High values observed in low dust April 1998, the air mass comes from the northern Korean Peninsula where a substantial nitrate sources present.

#### 3.5.4 Mineral aerosols and sulfate

Mineral aerosol particles can serve as a substrate for the uptake of SO<sub>2</sub>, and reactions with dust particles can at least partially neutralize anthropogenic acids (Arimoto et al., 1996). The aerosol S/Ca mass ratios in aerosol particles were of the order of 0.3–11 in Yellow Dust Storm event and 100–200 in the low dust season. The low value of the ratios of high dust period are comparable to the ratios (0.1–0.2) of soil particles in the Takalmakan Desert (Tanaka et al., 1986). Higher values of 0.6–0.7 in the aerosol collected at Nagoya (Japan) is thought to be resulted from the reactions between CaCO<sub>3</sub> and sulfur Oxide or sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) to form the minerals anhydrite (CaSO<sub>4</sub>) and gypsum (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O). Arimoto et al (1996) and Carmichael et al. (1997) reported aerosol S/Ca ratio is about 5 at Cheju Island. The high values we observed in the low dust period may be due to the significant lack of nss Ca in the lower marine boundary layer, unlike that air mass reaching Cheju Island, Kosan measuring site of elevation of 72 meters, often times have traveled at middle to upper layers in the troposphere, indicating that S is present in the aerosol in excess of that expected by the conversion of CaCO<sub>3</sub> in the soil dust to gypsum or anhydrite (which would lead to a S/Ca ratio of 0.8). Therefore, the weight ratio of aerosol S/Ca may be attributed. Winchester and Wang (1989) who proposed that the mass ratio of S to Ca was an indicator of chemical changes associated with aging. According the Winchester and Wang, the aerosols in November and low dust spring is aged and the aerosol in high-dust spring is unaged. These explanation appears to be supported by the elemental ratios of aerosol Al/<sup>210</sup>Pb (n=12, r<sup>2</sup>=0.62; Fig 10).

The nss SO<sub>4</sub>/Al ratios in aerosols over the region is 3.8 and 15.8 in November 1997 and low-dust April 1998. A significantly lower value of aerosol SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Al ratio of 0.8 was observed in Yellow-dust storm in April 1998. Gao et al. (1996) observed that SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Al ratio is 4.0 and 2.1 in Qingdao and the East China Sea. It seems that the low dust period, aerosols may be originated from the same sources, however, high dust season, the aerosol characteristics are very

different than the rest of the season.

#### 3.4.4 Concentration ratios of nss sulfate to certain enriched elements

The concentration ratios of nss sulfate to nitrate, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, and Pb are given in Table 7. The aerosol nss  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Zn}$  ratio varies from 300 to 4700 in the region, and these values are substantially higher than those observed in coastal sites of Qindao and Xiamen in April (Gao et al. 1996). Therefore there is some mechanism responsible for the enrichment of sulfate over the certain trace metals in the marine boundary layer.

#### 3.4.5 Relationship of aerosol sulfate with $^{210}\text{Pb}$ and $^7\text{Be}$

Tsunogai et al (1985) proposed to use a coupling of the sulfure dioxide and sulfate system with the  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{210}\text{Pb}$  system in elucidating the behavior of atmospheric sulfur compounds. The behavior of a chemical constituent in the atmosphere depends on its reactivity which in turn determines its atmospheric residence time hence its concentration in the air. Both sulfur dioxide and  $^{222}\text{Rn}$  are unstable gases having similar life times in the atmosphere. Both sulfate and  $^{210}\text{Pb}$  are produced from their gaseous precursors and soon became attached to aerosol particles. Aerosol nss  $\text{SO}_4^{2-}/^{210}\text{Pb}$  ratio ( $\times 10^{-4}$  g/dpm) was 6.9-15.6, and 3.8-310.4 in November 1997 and low dust April 1998. The scatter plot of  $^{210}\text{Pb}$  vs. Al shows a strong linearity in dust-storm period (Fig. 10). It appears that spring aerosol, especially in the Yellow Dust storm period was fresher (i.e. higher  $^{210}\text{Pb}$  specific activity) than the fall aerosols.

$^7\text{Be}$  is a natural radionuclide (53.3 day half-life) produced by cosmic rays in the upper atmosphere.  $^7\text{Be}$  rapidly attaches to aerosol particles in the atmosphere and thus provides a useful tool for the study of aerosol behavior and for identifying substances transported from the upper troposphere and the lower stratosphere (such as bomb fallout debris, volcanic components injected into the stratosphere, ozone and certain nitrogen species) into the planetary boundary layer (Uematsu et al. 1994; Graustein and Turekian, 1996). In the Cheju-Korea Strait region, a significant correlation between the nitrate concentrations and  $^7\text{Be}$  concentrations was observed during the high dust period (Fig. 11). A similar correlation was also observed in the central North Pacific (Uematsu et al., 1994; Uematsu et al. 1995). It does not imply that the sources of the nitrate are the stratosphere. Because, such high correlation was not observed at the stations in the South Pacific (Uematsu et al. 1994). The high nitrate concentrations in the North Pacific stations are believed to be originated from the anthropogenic sources. There is a pronounced transport pattern of continental sources from Asia to the central North Pacific Region (Uematsu et al., 1983). In high-dust period, the air parcels are lifted by frontal or convective processes to high elevation (400-500 hPa) over Asia and transported eastward by the westerlies, then descended gradually as they pass around the anticyclone over the central North Pacific (Liu, 1988; Merrill et al., 1989). By aircraft observation over the Northeast Pacific



(Andreae et al., 1988), the higher concentrations of nitrate and nss sulfate were found in the free troposphere where transport from Asia dominated. A few episodic events of high  $^7\text{Be}$  concentrations at the South Pacific stations might be associated with stratospheric intrusions because the nitrate concentrations did not covary at those times. Therefore, Uematsu et al suggested that  $^7\text{Be}$  can be used for a tracer of descending air mass from the free troposphere rather than stratosphere to the marine boundary layer with a few exceptions. This is evidenced by a positive relationship between aerosol  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  concentrations in the marine aerosol over the Cheju-Korea Straits (Fig. 12)

### 3.6 Atmospheric deposition of dust in the Cheju-Korea Straits

#### 3.6.1 Dry deposition

It becomes clear that atmospheric deposition over the ocean surface affects a much wider area than the river input does. The material flux transported through the atmosphere of the Cheju-Korea Strait has yet to be quantified because of the lack of a continuous sampling strategy. The atmospheric input rate of mineral particles to the regional sea can be estimated using the mean dust concentrations. We would expect most of the larger mineral particles (i.e. those with radii greater than  $\sim 10\ \mu\text{m}$ ) to be deposited relatively close to the coast of China because of the high settling velocities of material of such size. The dry deposition of aerosol particles ( $F_d$ ) is given by the product of the measured air concentration of the substances ( $C_{\text{air}}$ ) and a dry deposition velocity ( $V_d$ ),

$$F_d = C_{\text{air}} \cdot V_d \quad (5)$$

Where,  $F_d$  is the flux of aerosol particles due to dry deposition ( $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ),  $C_{\text{air}}$  is the concentration of that substance in the near-surface atmosphere ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ),  $V_d$  is the dry deposition velocity ( $\text{cm s}^{-1}$ ). A very detailed discussion on the particle size effect on the deposition flux is given by Gao et al. (1997). According to Gao et al. (1997), the dry deposition velocity should account for all mechanisms related to the dry deposition process. Each of these mechanisms is a function of particle size, particle density, wind speed, relative humidity, etc. Therefore, it is difficult to predict dry deposition velocities accurately. After careful consideration of deposition process, GESAMP (1989) suggested that the best value for the dry deposition velocity should be associated with an uncertainty of a factor of three.

Since we do not have information on the size distribution of aerosols, we take a literature values of 2 with range (1-6) for earth crustal elements, and 0.55 with range of 0.19-1.70 for enriched elements, and 1 with range of 0.3 to 1 for sulfate, nitrate and ammonia.

### 3.6.2 Dust storms

Major dust storm events (Yellow Dust Storm) are observed during spring in China, Korea, and Japan (Liu, 1988; Chung, 1992; Uematsu et al. 1983). During the past 60 years, 85% of the Kosa events occurred between March and June, based on the visual observations at Nagasaki in southern Japan. Dust storm occurs an average of 5.3 days per year with an annual range from 0 to 18 days (Uematsu et al., 1983, and Liu 1988). The dust storms in 1998 occurred over 10 days in the region, deposition fluxes was calculated for the dust storm period. During the dust storm period, a mean dry deposition velocity of  $4.8 \text{ cm s}^{-1}$  was used as a representative mean  $V_d$  (X.Y.Zhang et al. 1993; Gao et al., 1997).

### 3.6.3 Wet deposition

When direct precipitation chemistry measurements are not available, an estimate of the atmospheric removal of dust via wet deposition ( $F_w$ ) can be made using scavenging ratios. Studies have shown that the concentration of a substance in the atmosphere is generally related to the concentration of that substance in rain (Duce et al., 1991). This relationship can be described in terms of a scavenging ratio:

$$S = \rho C_r / C_a \quad (6)$$

Where  $S$  is the scavenging ratio for a substance (dimensionless),  $C_r$  is the concentration of that substance in rain ( $\text{g g}^{-1}$ ),  $C_a$  is the concentration of that substance in the atmosphere ( $\text{g m}^{-3}$ ), and  $\rho$  is the density of air ( $\sim 1200 \text{ gm}^{-3}$ ).

The atmospheric flux via wet deposition ( $F_w$ ) can be expressed as:

$$F_w = C_r P \quad (7)$$

Where  $P$  is the precipitation rate ( $\text{m s}^{-1}$ ). If  $C_r$  is replaced according to (6), Eq. (7) can be rewritten as:

$$F_w = P.S.C_a/\rho \quad (8)$$

Using Eq. (8), we can estimate the atmospheric fluxes of substances through wet deposition based only on their concentrations in air, the precipitation rate, and the scavenging ratio. Since  $S$  is a function of many parameters including particle size, particle shape, the vertical distribution of the atmospheric concentrations, the vertical extent of the rain and the rain cloud, etc., it is difficult to predict its value accurately. GESAMP (1989) reported a range of

scavenging ratios for mineral aerosol of 100 to 2000, and suggested that 500 to 2000 are the most appropriate values for coastal seas. The Pacific data of Uematsu *et al.* (1985) resulting from direct measurements suggest a mean scavenging ratio of 1000 for mineral aerosol with a range of 500 to 2000. For this work, we chose to adopt previous results suggested by GESAMP and Uematsu *et al.* from the Pacific, we assume a mean scavenging ratio of 1000 with a range of 500 to 2000 to be the best estimate for mineral aerosol along the Asian coast, as suggested by Gao *et al.* (1997).

The averaged value of the dust fluxes to the Cheju-Korea Strait is  $22 \text{ g m}^{-2}\text{yr}^{-1}$  which is similar to the average value in the region (Gao *et al.*, 1997). The annual dust fluxes can be partitioned as 41%, 39%, and 20% of wet deposition, dust-storm, and low-dust dry deposition, respectively. Dust storm plays a significant part of the total flux, therefore, the annual variation of total flux could be very large depending upon the frequency of occurrence and strength of dust storms. For other aerosol elements and compounds, dust storms in 1998 could be 8-66% of the total flux. The lowest contribution from dust storm is nitrate and the largest contribution from dust storm is Zr. Overall, the dry deposition is the major pathways of atmospheric elements to the surface of the sea, however, nss sulfate and nitrate is being brought down by wet deposition. The total mineral dust flux over the Cheju-Korea Straits (surface area,  $4.59 \times 10^{10} \text{ m}^2$ ) is estimated to be  $1.2 \times 10^6$  tons per year which is about 10% of the annual sediment discharge from the Nakdong River which is the major rivers flowing into the region (Park and Chu, 1991).

#### 4. Conclusions

Aerosol samples were collected in the marine boundary layer aboard the ship for November 1997 and April 1998. A part of the sampling period in April 1998 coincided to the Yellow Dust Storm occurrence in the region, therefore, provided a unique Yellow Dust Storm samples *in situ*. The following major findings are drawn from this work.

1. In the aerosols over the Cheju-Korea Straits, the elements can be classified according to the enrichment factors using the average earth crust and seawater. Na, Mg, K, and Ca are largely derived from the seawater, and the elements of Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Zr, La, Ce, and Nd are originated from earth crustal, and the elements of Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, and Pb are derived from industrial emissions and fossil fuel combustion are significantly greater than those from natural sources. However, Ca and Sr are largely derived from the Chinese Loess during the Yellow Dust storm period which was identified based on meteorological evidence.

2. In the Yellow Dust Storm period, aerosols Al and metal concentrations are significantly higher than those in the low dust period, therefore, a depositional flux due to the Yellow Dust Storm is significant (39% in 1998) despite the only 10 days of duration in the year of 1998. There was a significant difference in major elemental composition of the marine aerosol

particles between the Yellow Dust and the low dust periods. The enrichment of anthropogenic elements and compounds were rich in the aerosol of the low dust period than that of the Yellow Dust Storm.

3. The aerosol particles in the marine boundary layer during the low dust period is more aged than those in the Yellow Dust Storm period based on the S/Ca and Al/<sup>210</sup>Pb.

4. The relationship of aerosol <sup>210</sup>Pb and <sup>7</sup>Be concentration with nss sulfate, nitrate and other trace metal concentration suggested that these particles are emitted from the continent, pass through the higher altitude (free troposphere), then descend to the marine boundary layer in the region, despite the close proximity to the Chinese continent.

5. The annual dust fluxes can be partitioned as 41, 39, and 20% of wet, dust-storm, and low-dust period. Due to the strong annual variability of the dust storm occurrence in the region, contribution of dust storm will undergo a corresponding annual variability.

#### Acknowledgements

We are grateful to the captain and crew of R/V Eardo and R/V of Onnuri. This work was supported by the Ministry of Marine Affairs and Fisheries (BSPE98612) and Ministry of Science and Technology (BS97LO0103).

#### References

- Andreae, M.O., H. Berresheim, T.W. Andreae, M.A.Kritz, T.S.Bates, J.T.Merrill, Vertical distribution of dimethylsulfide, sulfur dioxide, aerosol ions, and radon over the Northeast Pacific Ocean. *J. Atmos. Chem.* 6, 149-173.
- Arimoto, R., R.A. Duce, D.L.Savoie, J.M.Prospero, R. Talbot, J.D.Cullen, U. Tomza, N.F.Lewis, and B.J.Ray. 1996. Relationships among aerosol constituents from Asia and the North Pacific during PEM-West A. *J. Geophysical Research.* 101-2011-2023.
- Chun, J.K., S.W. Yeh, M.H. Kwon, 1998: Classification of atmospheric circulation patterns associated with long-range transport of yellow sands. Fall Meeting of Korean Meteorological Society [October 29-30, Seoul, Korea], 85-88.
- Duce BA, R. Arimoto, B.J.Ray, C.K.Unni, and P.J.Harder. 1983. Atmospheric trace elements at Enewetak Atoll: 1. Concentrations, sources, and temporal variability. *J. Geophysical Research* 88 (C9), 5321-5342.
- Galloway JN, Levy II H., and P.S. Kashiba. 1994. Year 2020: Consequences of population growth and development on deposition of oxidized nitrogen. *Ambio* 23, 120-123.
- Gao, Y, R. Arimoto, M.Y.Zhou, J.T.Merril. and R.A. Duce. 1992. Relationship between the dust concentrations over eastern Asia and the remote North Pacific. *J. Geophysical Research* 97, 9867-9872.

- Gao Y. 1998. Atmospheric chemistry and transport of Asian dust. In *Health of the Yellow Sea*, G.H.Hong, J. Zhang, and B.K.Park (eds.). The Earth Love Publication Association, Seoul. 251-280.
- Gao Y, R. Arimoto, R.A. Duce, L.Q.Chen, M.Y.Zhou, and D.Y.Gu. 1996. Atmospheric non-sea-salt sulfate, nitrate and methanosulafe over the China Sea. *J. Geophysical Research* 101, 12,601-12611.
- GESAMP-IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution. 1989. The atmospheric input of trace species to the world ocean. *Reports and Studies. GESAMP (38)*.
- Hong G.H., S.H.Kim, D.B.Yang and G.H.Lim. 1998. Atmospheric input of trace metals over the Yellow Sea: Shiboard results, April 1995. In *Health of the Yellow Sea*, G.H.Hong, J. Zhang, and B K.Park (eds.). The Earth Love Publication Association, Seoul. pp.211-236.
- Liu C, J.Zhang, Z. Yu, and Z. Shen. 1998. Atmospheric transport of heavy metals to the Yellow Sea. In *Health of the Yellow Sea*, G.H.Hong, J. Zhang, and B.K.Park (eds.). The Earth Love Publication Association, Seoul. 193-209.
- Liu T. 1988. *Loess in China (2ed.)*. China Ocean Press Beijing and Springer-Verlag Berlin. 224p.
- Merrill, J.T. M. Uematsu, R. Bleck, Meteorological analysis of long range transport of mineral aerosols over the North Pacific. *J. Geophys. Res.* 94, 8584-8589.
- Mukai H. and M. Suzuki. 1996. Using air trajectories to analyze the seasonal variation of aerosols transported to the Oki Islands. *Atmospheric Environment* 30, 3917-3934
- Park SC, and KS Chu, 1991. Dispersal pattern of river-derived fine-grained sediments on the inner shelf of Korea Straits. In T. Ichie (ed.). *Oceanography of Asian Marginal Sea*. pp.231-240. Elsevier.
- Prospero J.M., D.L.Savoie, R. T. Nees, R.A. Duce and J. Merril. 1985. Particulate sulfate and nitrate in the boundary layer over the North Pacific Ocean. *J. Geophysical Research* 90 (10), 10586- .
- Uematsu, M., R.A.Duce, J.M. Prospero, L. Chen, J.T. Merril, and R.L.MacDonald. 1983. Transport of mineral aerosol from Asia over the North Pacific Ocean. *J. Geophysical Research* 88, 5343-52.
- Uematsu, M., R.A. Duce, and J.M. Prospero. 1994. Atmospheric beryllium-7 concentrations over the Pacific Ocean. *Geophysical Research Letters* 21, 561-564.
- Uematsu M, Kawamura K., Ibusuki T., and T. Kimoto. 1995. Chemical composition of marine aerosols over the Central North Pacific. Results from the 1991 cruise of hakurrei Maru No.2. In *Biogeochemical Processes and Ocean Flux in the Western Pacific*. Sakai H. and Y. Nozaki (eds.). 3-14. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo. 1995.
- Zieman J.J., J. L. Hlms. D. Connor, C. R. Jensen, W.H.Zoller, D.M. Hermann, J.R.Parrington,

and G.E.Gordon. 1995. Atmospheric aerosol trace element chemistry at Mauna Loa Observatory 1.1979-1985. *J. Geophysical Research* 100, 25979-25994.

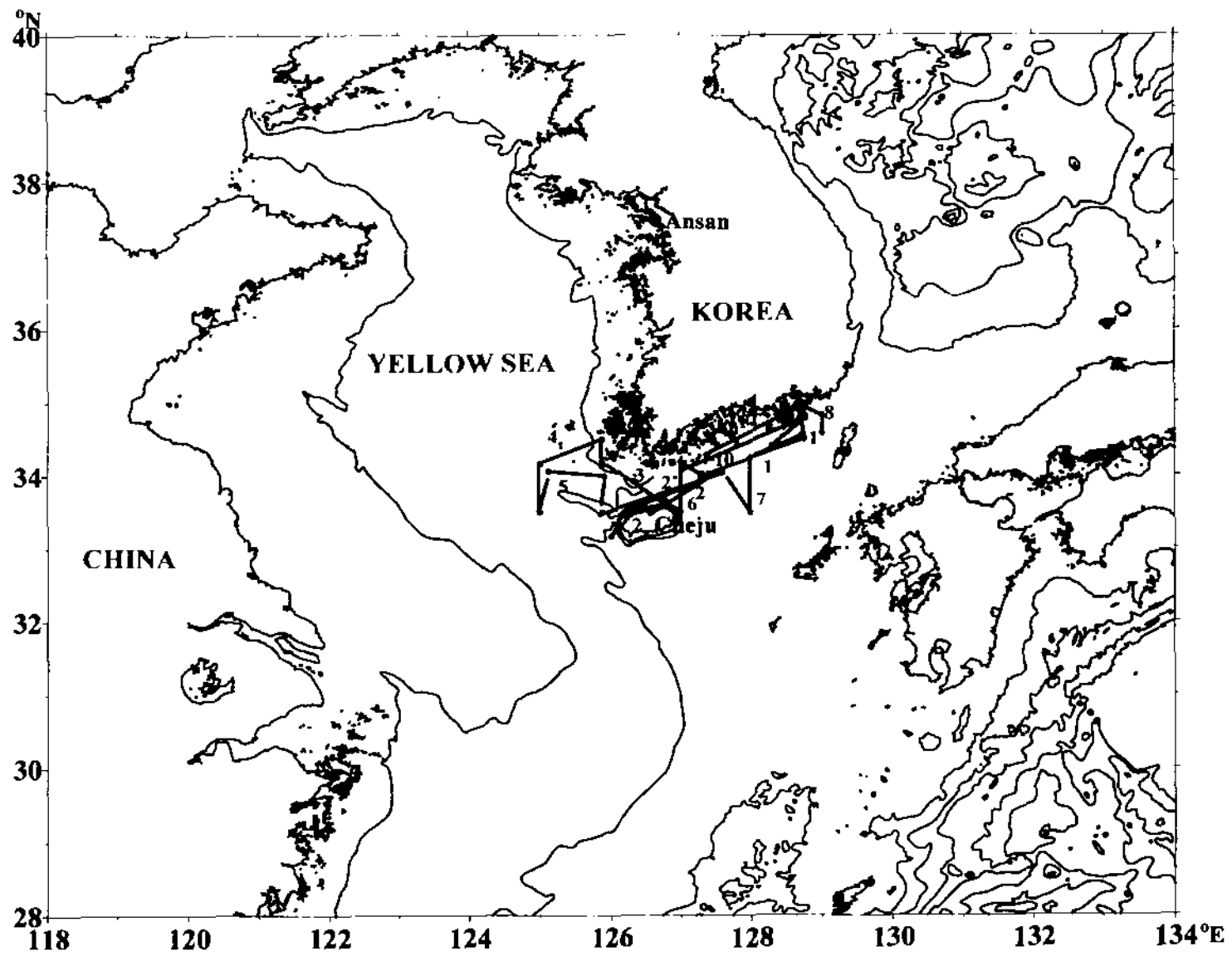


Fig. 1. Sampling locations in the Cheju-Korea Straits.

Low Dust

High Dust

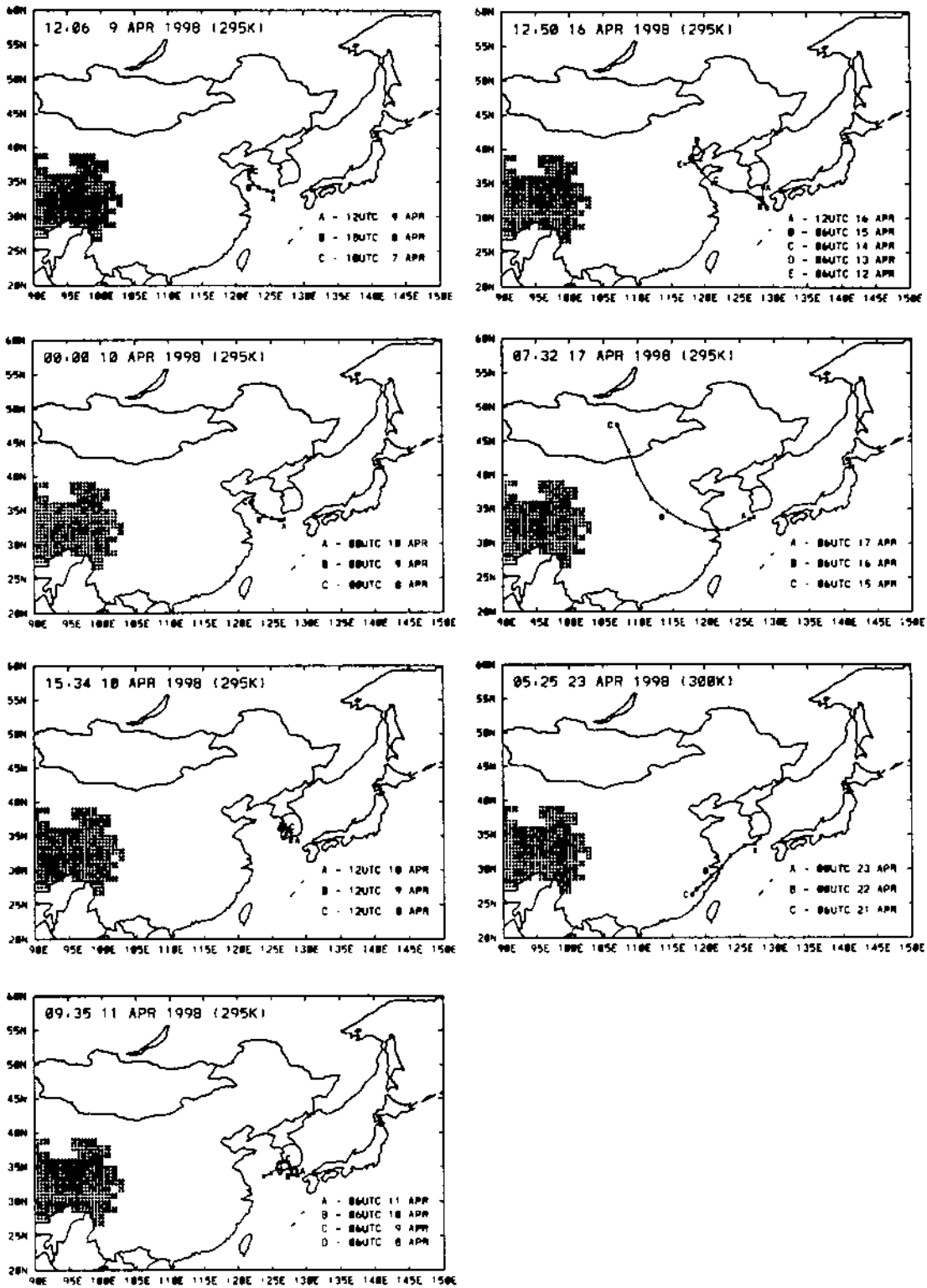


Fig. 2 Backward trajectory analysis on isentropics surface. A 300K surface is used for April 23 and 295K for the rest of case.



### Surface Weather Chart Analysis

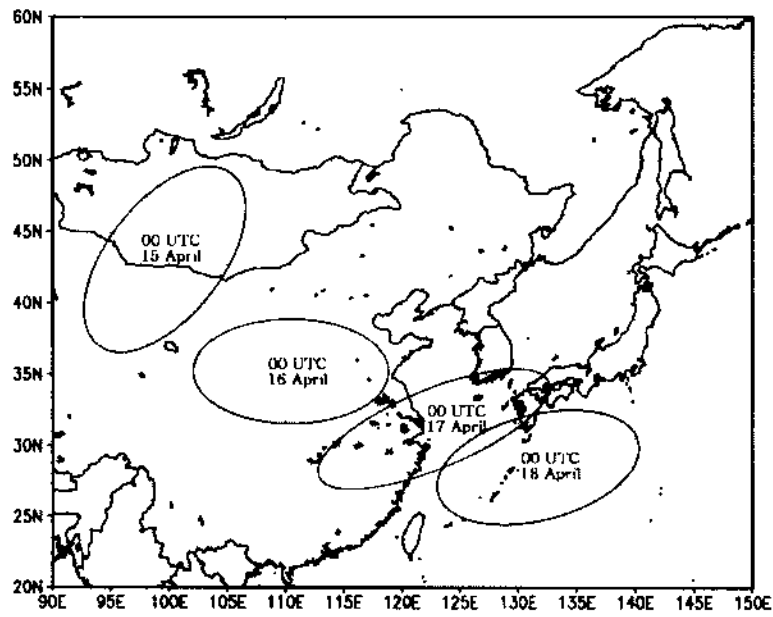


Fig. 3 Movement of the air mass laden with Yellow sand dusts generated by the dust storm on April 15. Dust areas were outlined from consecutive surface weather maps.

Yellow Sand Event : April 16, 1998

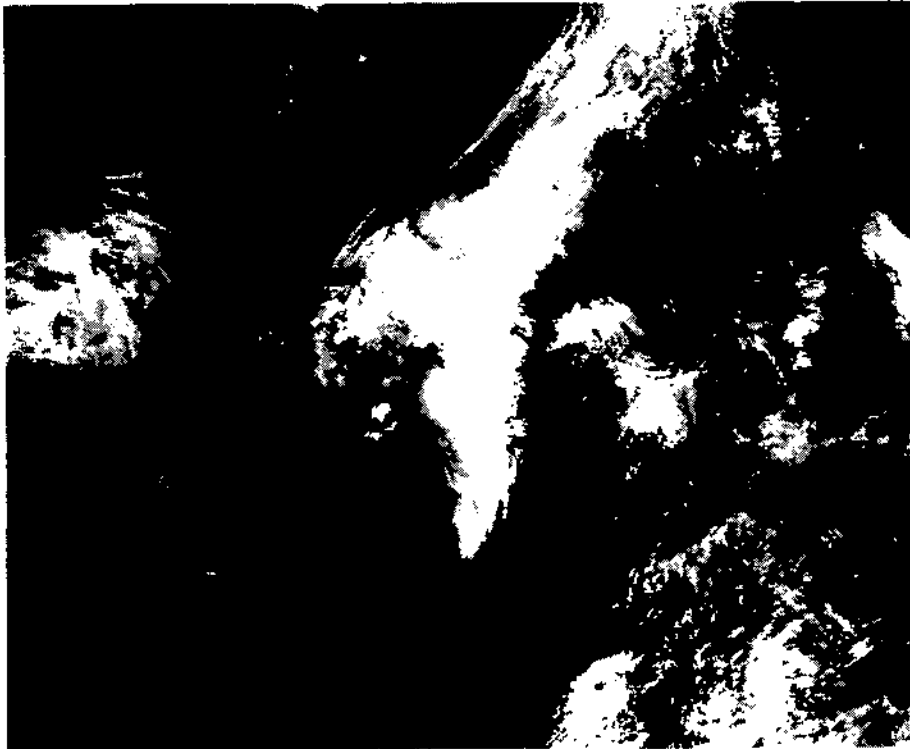


Fig. 4: SeaWiFS image on April 16. Yellow sand areas are depicted by yellowish color. (Image provided courtesy of the SeaWiFS Project at the National Aeronautics and Space Administration's Goddard Space Flight Center, the Goddard Distributed Active Archive Center, and Orbimage Inc.). (Explanation of the movement). SeaWiFS image of April 16.

$\tau_a(765)$  : April 18, 1998

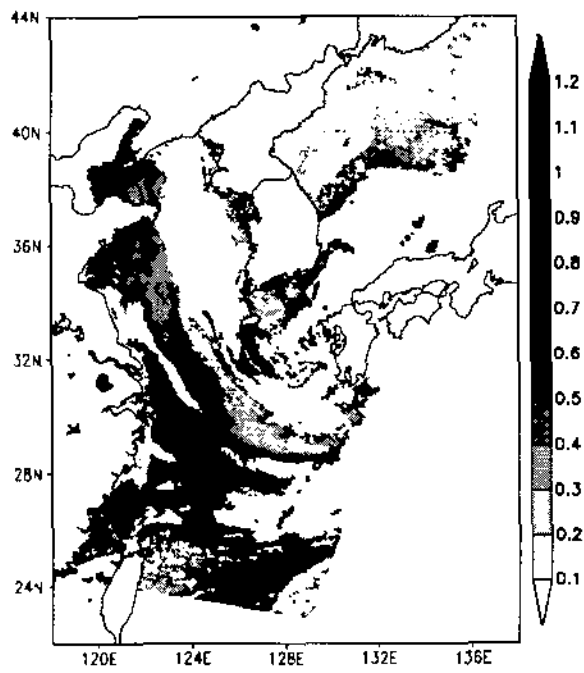


Fig. 4. Continued.

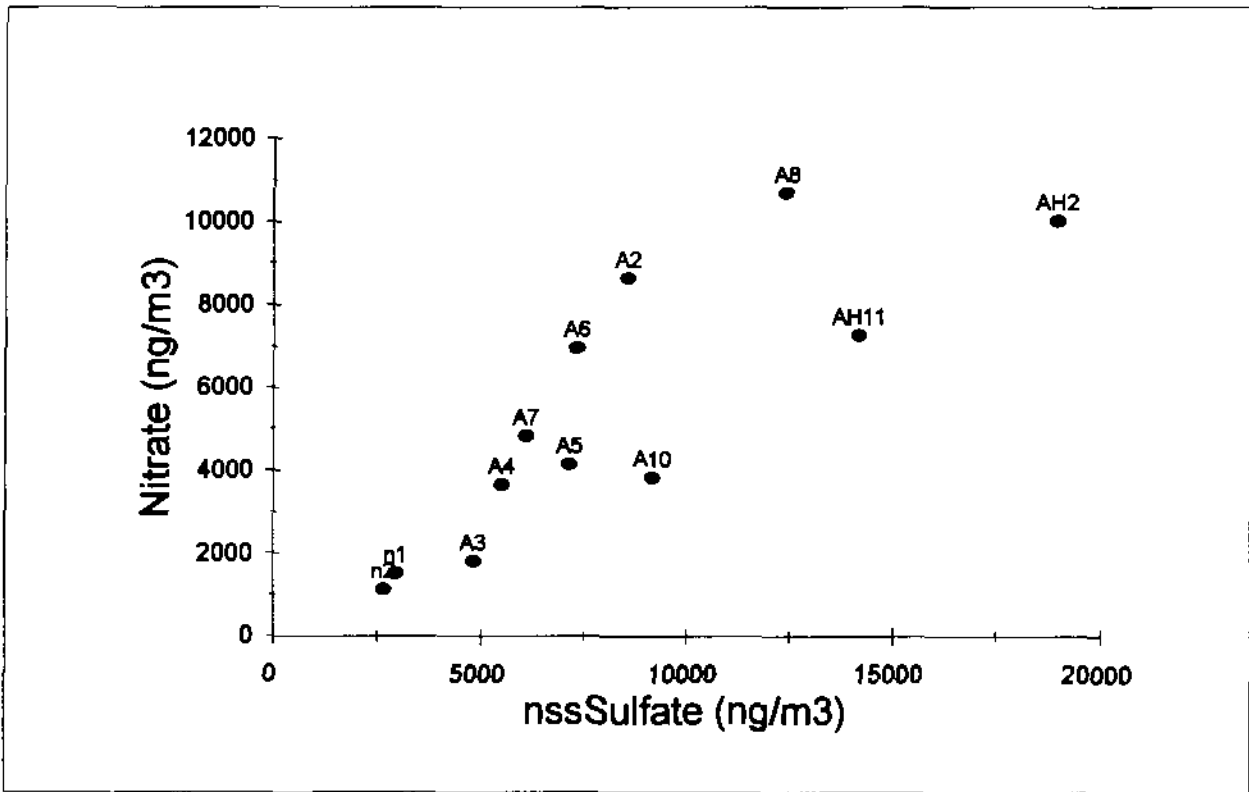


Fig.5. Relationship between nss sulfate and nitrate concentrations in the marine boundary layer in the Cheju-Korea Straits.

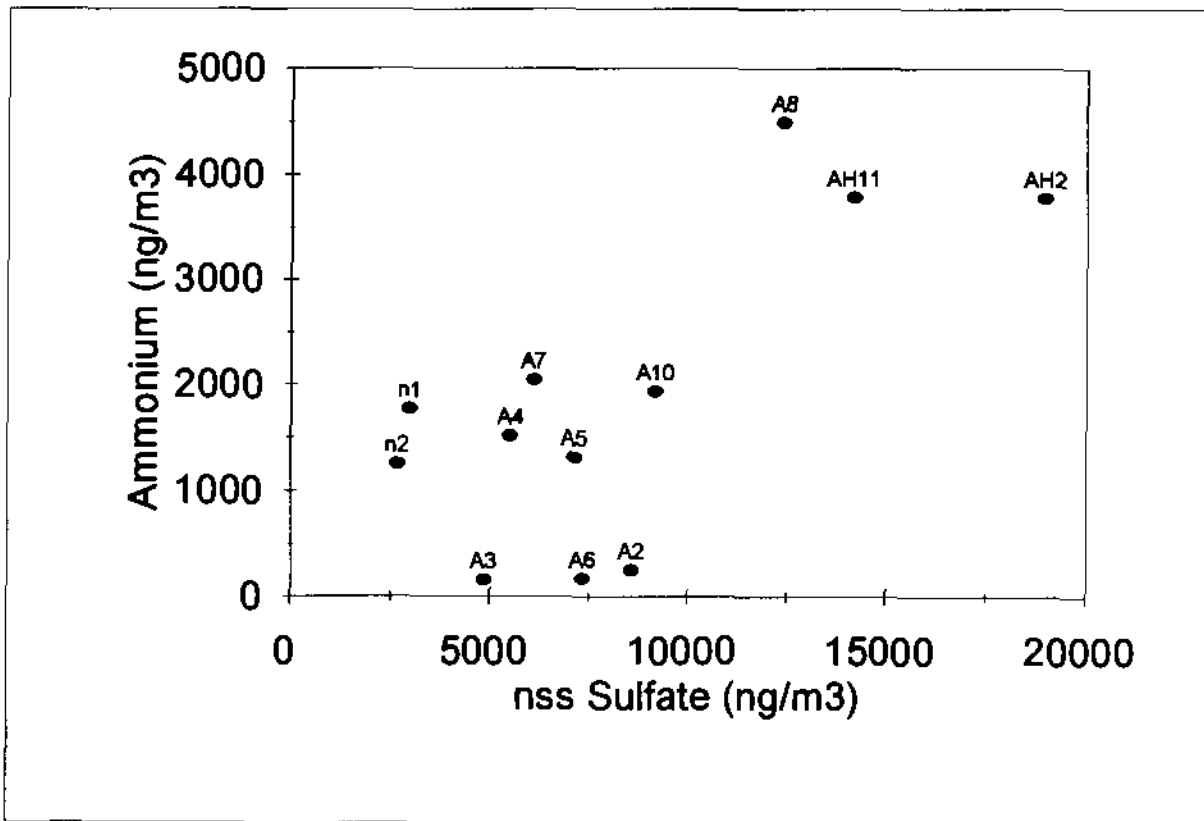


Fig.6. Relationship between nss sulfate and ammonium concentrations in the marine boundary layer in the Cheju-Korea Straits.

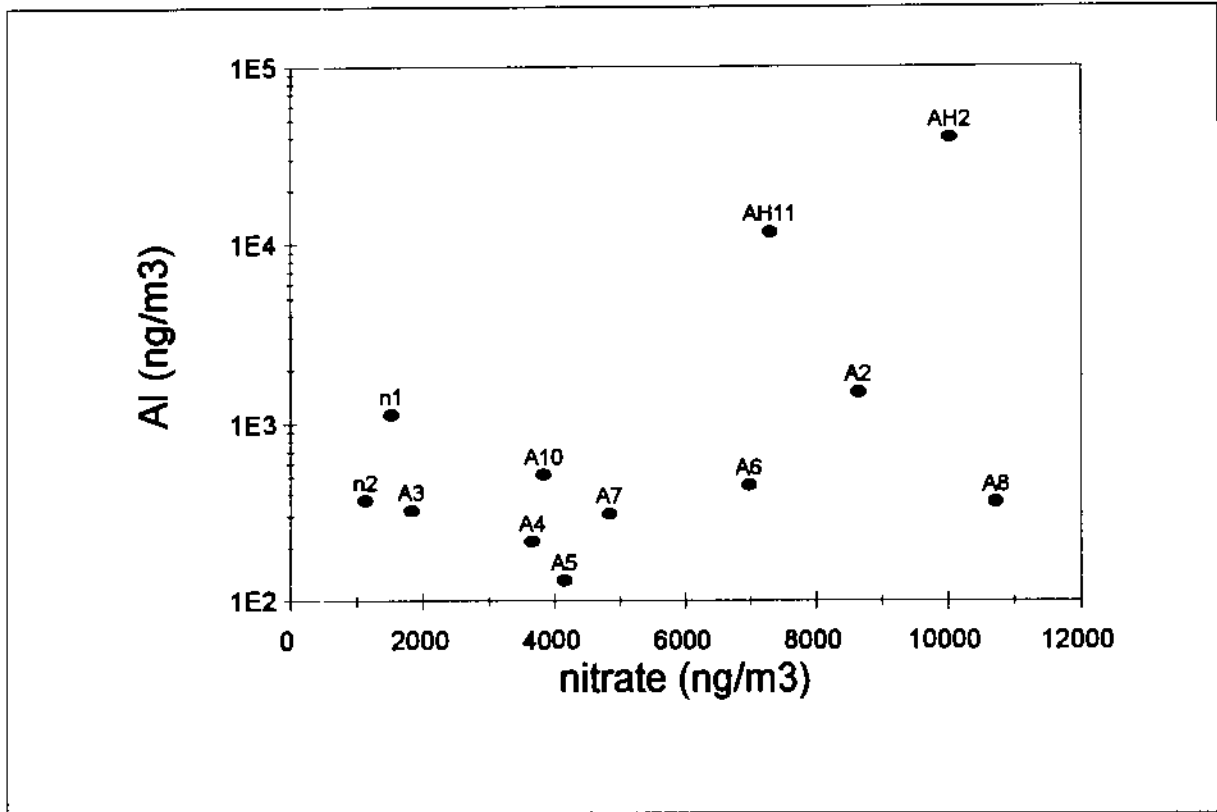


Fig.7. Relationship between nitrate and Al concentrations in the marine boundary layer in the Cheju-Korea Straits.

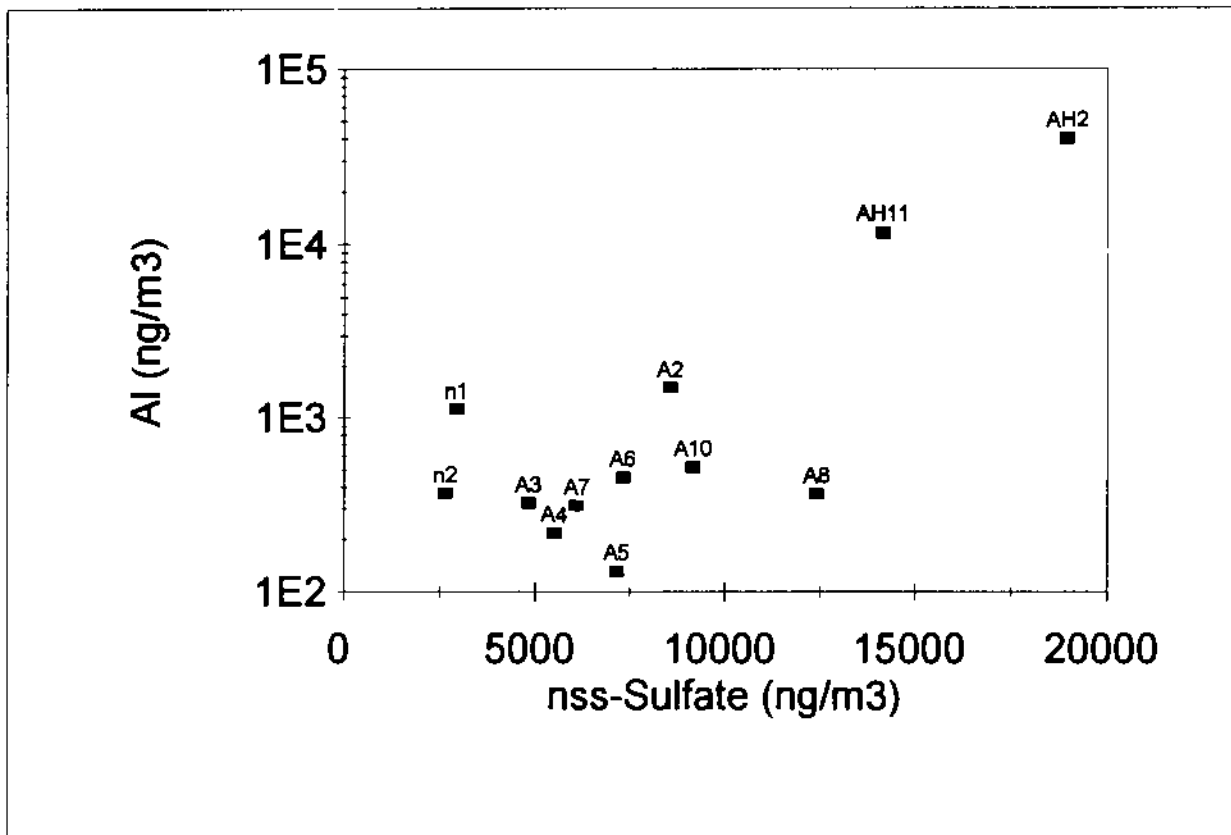


Fig.8. Relationship between nss sulfate and Al concentrations in the marine boundary layer in the Cheju-Korea Straits.

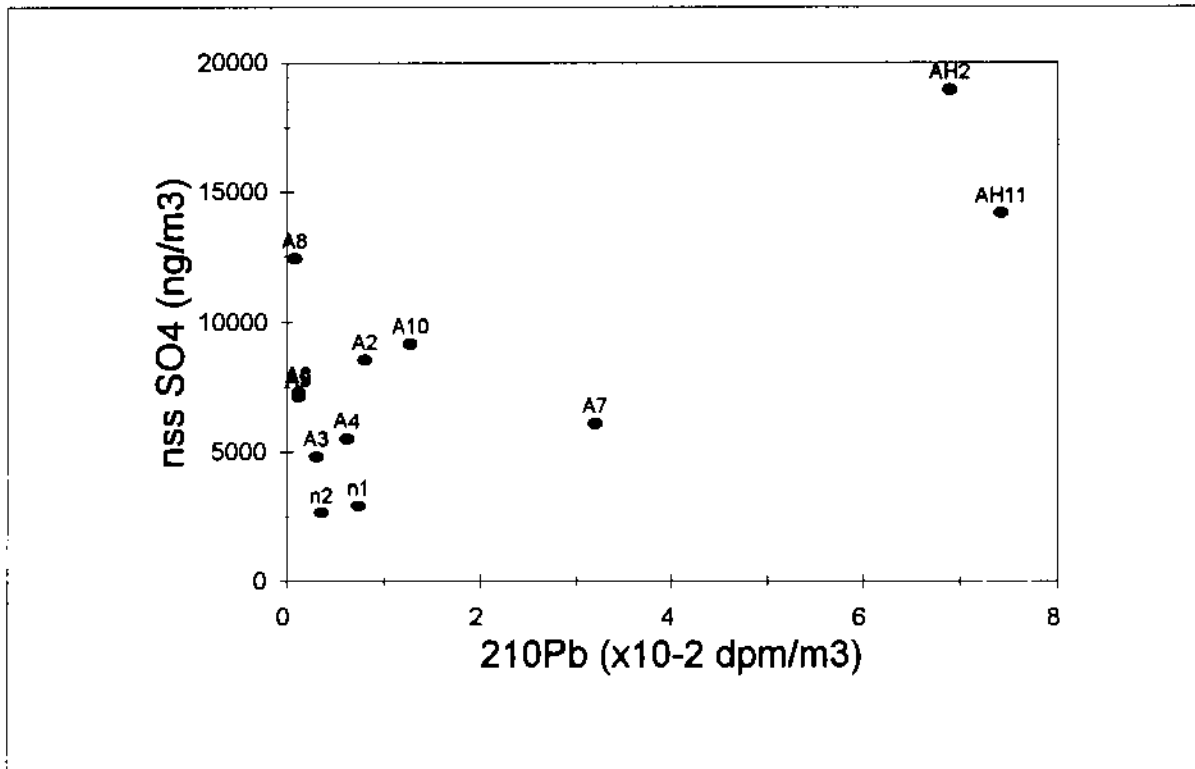


Fig. 9. Relationship between  $^{210}\text{Pb}$  and nss sulfate concentrations in the marine boundary layer in the Cheju-Korea Straits.

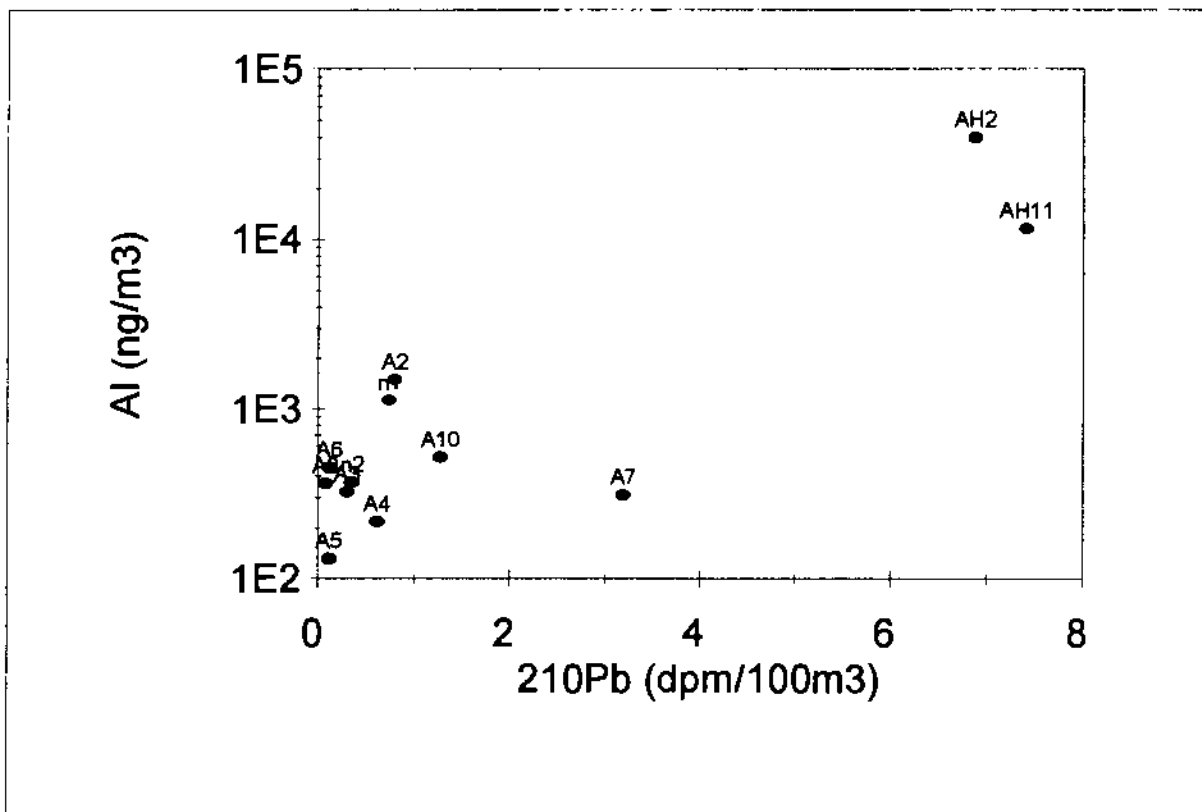


Fig. 10. Relationship between  $^{210}\text{Pb}$  and Al concentrations in the marine boundary layer in the Cheju-Korea Straits.

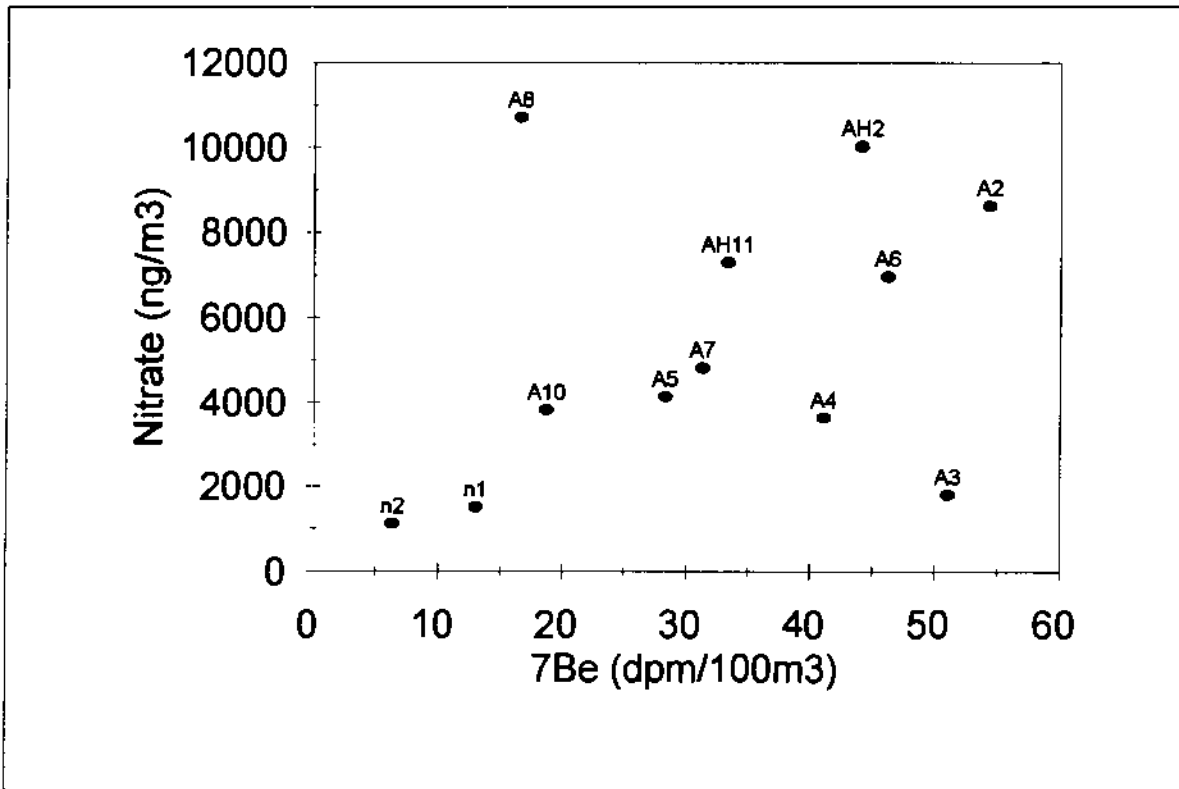


Fig. 11. Relationship between <sup>7</sup>Be and Nitrate concentrations in the marine boundary layer in the Cheju-Korea Straits.

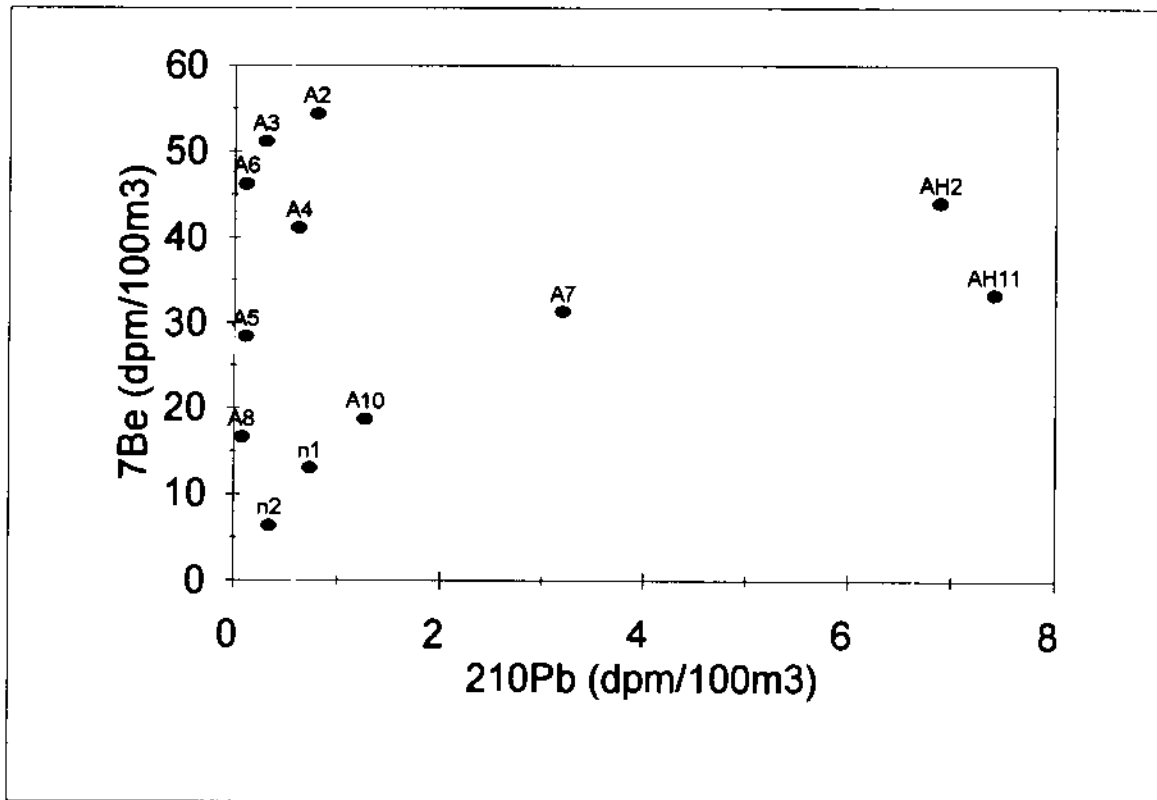


Fig. 12. Relationship between <sup>210</sup>Pb and <sup>7</sup>Be concentrations in the marine boundary layer in the Cheju-Korea Straits.

Table 1. Sampling positions, period, and air volume for the analysis of aerosol particles in the marine boundary layer in the Cheju-Korea Straits.

Sampling Year/month	Cruise	Sample ID	Sampling period		Sampling track				Sample volume (m <sup>3</sup> )
			Start	End	Start Lat.(N) Long.(E)	End Lat.(N) Long.(E)			
1997/11	YS9711	n1	Nov. 18, 11:12H	Nov.18, 18:12H	34°58' 34°30'	128°40' 128°45'	34°00'	127°19.5'	692
1998/04	NH9804	n2	Nov.18, 18:16H	Nov.19, 02:34	34°00'	127°19.5'	33°10'	126°00'	819
		a2	Apr.07, 08:00H	Apr. 08, 22:40H	34°00'	127°20'	33°30'	127°00'	731
		a3	Apr.08,03:50H	Apr.08, 11:27H	34°11'	127°00'	33°30'	127°00'	817
		a4	Apr.10		34°10.1'	125°53.04'	33°30'	125°00'	1458
					34°30'	125°52'	34°03.5'	125°00'	
		a5	Apr.09, 16:00H	Apr.10, 02:12H	34°10'	125°00'	33°30'	125°53'	757
					34°03.5'	125°07'	33°30'	125°53'	
		a6	Apr.10, 02:40H	Apr.10, 15:20H	34°00'	125°54'	34°03'	127°36'	1101
		a7	Apr.10, 19:09H	Apr.11 06:00H	33°30'	125°53'	34°03'	127°36'	1302
		a8	Apr.11, 15:30H	Apr.11, 21:41H	34°03'	128°00'	34°15'	128°00'	
					34°35'	128°00'	34°33.5'	128°43'	636
			34°50'	129°00'	34°58'	128°40'			
	YH9804	A1	Apr.16, 20:15H	Apr. 16, 23:25	34°47.7'	128°45.5'	34°24.5'	128°18.0'	313
		A2	Apr.17, 14:00H	Apr. 17, 19:05H	33°58.9'	127°17.2'	33°32.4'	126°34.6'	454
		a10	Apr. 23, 08:50H	Apr. 23, 20:00H	34°04.6'	127°00.8'	34°49.0'	128°45.8'	1209
		A11	Apr. 23,		34°17'	127°23'	35°00'	128°48'	456



Table 2. Aerosol chemical composition over the Cheju-Korea Straits (ng/m<sup>3</sup>)

Elements	Date					
	Nov. 1997		Low dust Apr. 1998		Dust storm Apr. 1998	
	Avg	Std	Avg	Std	Avg	Std
	(n=2)		(n=7)		(n=2)	
Na	9076 +-	641	2737 +-	1873	6573 +-	2184
Mg	2164 +-	47	490 +-	274	7233 +-	3538
Al	747 +-	379	468 +-	426	25672 +-	14036
K	228 +-	15	257 +-	129	8626 +-	5062
Ca	252 +-	45	419 +-	384	20372 +-	9607
Ti	16.94 +-	9.16	29.41 +-	24.16	1407 +-	719
Cr	2.04 +-	0.05	1.07 +-	0.74	27.6 +-	13.2
Mn	33.83 +-	15.03	12.07 +-	8.62	350 +-	186.3
Fe	122.5 +-	69.2	333 +-	287	14150 +-	7625
Co	0.12 +-	0.04	0.22 +-	0.14	6.99 +-	3.81
Ni	2.27 +-	1.16	4.21 +-	1.88	20.67 +-	8.36
Cu	55.2 +-	19.1	191 +-	53	112 +-	8
Zn	21.8 +-	10.1	35.17 +-	18.56	147.80 +-	66.80
As	9.27 +-	2.24	1.55 +-	0.81	19.80 +-	6.98
Sr	6.65 +-	0.06	4.57 +-	2.98	105.34 +-	47.22
Zr	0.66 +-	0.22	0.69 +-	0.61	39.78 +-	18.21
Mo	0.29 +-	0.02	0.83 +-	0.26	2.86 +-	1.28
Cd	0.37 +-	0.02	0.49 +-	0.25	0.56 +-	0.16
La	0.21 +-	0.08	0.22 +-	0.23	13.86 +-	7.19
Ce	0.41 +-	0.16	0.56 +-	0.44	27.56 +-	14.15
Nd	0.17 +-	0.10	0.41 +-	0.18	11.54 +-	5.92
Pb	48.8 +-	1.0	19.53 +-	8.13	92.65 +-	51.35
Cl	18667 +-	2076	4396 +-	3610	5261 +-	396
NO <sub>3</sub>	1323 +-	197	5826 +-	2869	8653 +-	1364
SO <sub>4</sub>	5025 +-	50	8056 +-	2119	17285 +-	2430
NH <sub>4</sub>	1514.97 +-	259	1425 +-	1432	3790 +-	3

Table 3. Enrichment factors calculated relative to average crustal material for marine aerosol particle samples over the Cheju-Korea Straits.

Element	Date		
	Nov.1997	Apr.1998 Low dust	Apr. 1998 Dust storm
Na	34	16	1
Mg	18	6	2
Al	1	1	1
K	1	2	1
Ca	0.9	2.4	2.1
Ti	0.6	1.7	1.5
Cr	6.3	5.2	2.5
Mn	6.1	3.5	1.8
Fe	0.4	1.6	1.3
Co	1.3	3.7	2.2
Ni	12.2	36.1	3.2
Cu	238	1310	14.0
Zn	33.1	85.1	6.5
As	666	177	41.3
Sr	2.0	2.2	0.9
Zr	0.4	0.6	0.7
Mo	20.6	94.6	6.0
Cd	405	867	18
La	1.4	2.3	2.7
Ce	1.3	2.9	2.6
Nd	1.1	4.5	2.3
Pb	657	419	36

Table 4. Enrichment factors calculated relative to average seawater for marine aerosol particle samples over the Cheju-Korea Straits.

Element	Date		
	Nov. 1997	Apr. 1998 Low dust	Apr. 1998 Dust storm
Na	1.03E+00	1.07E+00	1.00E+00
Mg	2.06E+00	1.60E+00	9.23E+00
Al	1.13E+06	2.43E+06	5.21E+07
K	7.02E-01	2.71E+00	3.56E+01
Ca	7.48E-01	4.27E+00	8.11E+01
Ti	2.17E+04	1.29E+05	2.41E+06
Cr	1.25E+08	2.25E+08	2.27E+09
Mn	6.92E+08	8.46E+08	9.58E+09
Fe	7.52E+07	7.00E+08	1.16E+10
Co	7.98E+04	4.82E+05	6.09E+06
Ni	5.94E+03	3.77E+04	7.23E+04
Cu	2.66E+05	3.16E+06	7.24E+05
Zn	7.02E+04	3.88E+05	6.38E+05
As	6.60E+03	3.78E+03	1.89E+04
Sr	1.07E+00	2.52E+00	2.27E+01
Zr	2.95E+04	1.07E+05	2.39E+06
Mo	3.34E+01	3.29E+02	4.45E+02
Cd	5.75E+03	2.64E+04	1.17E+04
La	6.15E+04	2.18E+05	5.47E+06
Ce	1.78E+05	8.41E+05	1.62E+07
Nd	7.11E+04	6.05E+05	6.58E+06
Pb	2.89E+07	3.97E+07	7.35E+07

Table 5. Elemental ratios of some major elements in the Chinese Loess and average earth crust.

	Loess fine	Loess coarse	Minquin Spring	Minquin Summer	earth crust average	Loess average	Japan Kosa coarse particle
Na/Al	0.1458	0.2353	0.2265	0.1502	0.3595	0.16	0.25
K/Al	0.25763	0.3116	0.3270	0.3517	0.1654	0.29	0.25
Ca/Al	0.5241	0.4595	0.6794	1.0551	0.3731	0.66	0.82
Mg/Al	0.16285	0.1463	0.3237	0.3572	0.1654	0.20	0.46
Si/Al	0.00256	0.0033	0.0065	0.0061	0.0044		
Cl/Al					0.0016		
Reference	1	1	2	2	3	4	5

1: Li and Chen (1996), 2: Liu et al. (1998), 3: Taylor (1964) and Cl from Emaley (1989), 4: Liu (1988), 5: Holmes and Zollar (1990)

Table 6. Non-sea salt corrected chemical composition of aerosols over the Cheju-Korea Straits. Av

Sampling period	November 1997		April 1998		April 1998	
	low dust		low dust		high Yellow Dust	
Number of samples	2		7		2	
element (ng/m <sup>3</sup> )	avg	std	average	one si	average	one sig
Na	268 +- 136	136	168 +- 153	153	3743 +- 2046	2046
Mg	124 +- 63	63	77 +- 71	71	4177 +- 2284	2284
Al	747 +- 379	379	468 +- 426	426	25672 +- 14036	14036
K	124 +- 63	63	77 +- 71	71	8014 +- 4381	4381
Ca	6 +- 3	3	11 +- 9	9	13455 +- 7356	7356
Ti	16.94 +- 9.16	9.16	29.41 +- 24.16	24.16	1407 +- 719	719
Cr	2.04 +- 0.05	0.05	1.07 +- 0.74	0.74	27.60 +- 13.17	13.17
Mn	33.83 +- 15.03	15.03	12.07 +- 8.62	8.62	349.8 +- 186.3	186.3
Fe	122.5 +- 69.2	69.2	333 +- 287	287	14151 +- 7625	7625
Co	0.12 +- 0.04	0.04	0.22 +- 0.14	0.14	6.99 +- 3.81	3.81
Ni	2.27 +- 1.16	1.16	4.21 +- 1.88	1.88	20.67 +- 8.36	8.36
Cu	55.2 +- 19.1	19.1	191 +- 53	53	112 +- 8	8
Zn	21.8 +- 10.1	10.1	35.17 +- 18.56	18.56	148 +- 67	67
As	9.27 +- 2.24	2.24	1.55 +- 0.81	0.81	19.80 +- 6.98	6.98
Sr	3.25 +- 1.65	1.65	2.04 +- 1.86	1.86	66.7 +- 36.5	36.5
Zr	0.66 +- 0.22	0.22	0.69 +- 0.61	0.61	39.78 +- 18.21	18.21
Mo	0.29 +- 0.02	0.02	0.83 +- 0.26	0.26	2.86 +- 1.28	1.28
Cd	0.37 +- 0.02	0.02	0.49 +- 0.25	0.25	0.56 +- 0.16	0.16
La	0.21 +- 0.08	0.08	0.22 +- 0.23	0.23	13.85 +- 7.19	7.19
Ce	0.41 +- 0.16	0.16	0.56 +- 0.44	0.44	27.56 +- 14.14	14.14
Nd	0.17 +- 0.10	0.10	0.41 +- 0.18	0.18	11.54 +- 5.92	5.92
Pb	48.8 +- 1.0	1.0	19.53 +- 8.13	8.13	92.7 +- 51.4	51.4
Cl	1.17 +- 0.59	0.59	0.73 +- 0.67	0.67	40.00 +- 22.00	22.00
NO <sub>3</sub>	1323 +- 197	197	5826 +- 2869	2869	8653 +- 1364	1364
SO <sub>4</sub>	2805 +- 77	77	1425 +- 1432	1432	9321 +- 5534	5534
NH <sub>4</sub>	0.30 +- 0.13	0.13	1425 +- 1432	1432	8656 +- 1364	1364
<sup>210</sup> Pb	0.55 +- 0.28	0.28	0.75 +- 1.03	1.03	7.15 +- 0.4	0.4
<sup>7</sup> Be	19.38 +- 9.46	9.46	38.45 +- 12.61	12.61	38.76 +- 7.59	7.59

Note: <sup>210</sup>Pb and <sup>7</sup>Be was given in dpm/100m<sup>3</sup>.

Table 7. Concentration ratios of nss sulfate to certain enriched elements over the Cheju-Korea Straits.

	Date	November 1998		April 1998 Low dust		April 1998 Dust storm		std
		avg	std	avg	std	avg	std	
SO4/nitrate		2.1 ±	-0.4	1.3	±	0.6	1.9 ±	1.8
SO4/Ni		1234 ±	-67	1762	±	894	802 ±	287
SO4/Cu		51 ±	-4	39	±	32	148 ±	285
SO4/Zn		129 ±	-8	211	±	91	112 ±	36
SO4/As		303 ±	-35	4781	±	2070	837 ±	343
SO4/Mo		9753 ±	-3691	8965	±	6592	5796 ±	1868
SO4/Cd		7609 ±	-3134	14982	±	6666	29371 ±	14589
SO4/Pb		58 ±	-75	379	±	207	179 ±	47
S/Ca		148.2 ±	-7.6	225.3	±	62.4	0.4 ±	0.1
NH4/SO4		0.54 ±	-3.34	0.19	±	0.85	0.19 ±	0.36

Table 8. Deposition flux of non-sea salt atmospheric chemical elements and compounds in the Cheju-Korea Straits

Elements	Annual total flux (ng/m <sup>2</sup> /yr)			Relative contribution		Total areal flux (g/yr)
	min	max	avg	%wet	%yellow dust	
Na	4.88E+08	8.33E+08	5.54E+08	48	28	2.54E+10
Mg	3.27E+08	4.85E+08	3.57E+08	34	49	1.84E+10
Al	1.99E+09	2.95E+09	2.17E+09	34	49	9.97E+10
K	4.86E+08	6.44E+08	5.16E+08	24	64	2.37E+10
Ca	5.71E+08	5.85E+08	5.74E+08	2	97	2.63E+10
Ti	9.37E+07	1.30E+08	1.01E+08	28	58	4.62E+09
Cr	3.52E+06	5.96E+06	3.98E+06	47	29	1.83E+08
Mn	4.95E+07	8.57E+07	5.64E+07	49	26	2.59E+09
Fe	9.34E+08	1.29E+09	1.00E+09	28	59	4.8E+10
Co	5.48E+05	8.15E+05	5.99E+05	34	48	27487588
Ni	1.84E+06	3.38E+06	2.19E+06	36	39	1E+08
Cu	4.18E+07	1.00E+08	5.51E+07	54	8	2.53E+09
Zn	1.47E+07	2.83E+07	1.78E+07	39	34	8.19E+08
As	2.46E+06	5.03E+06	3.04E+06	43	27	1.4E+08
Sr	3.56E+06	4.82E+06	5.03E+06	13	55	2.31E+08
Zr	1.85E+06	2.18E+06	2.23E+06	7	74	1.02E+08
Mo	2.87E+05	5.52E+05	3.47E+05	39	34	15946871
Cd	1.54E+05	3.59E+05	2.01E+05	52	12	9205496
La	8.98E+05	1.23E+06	9.62E+05	27	60	44134445
Ce	1.88E+06	2.64E+06	2.02E+06	29	56	92896523
Nd	9.23E+05	1.38E+06	1.01E+06	35	47	46323304
Pb	1.42E+07	3.04E+07	1.79E+07	46	22	8.21E+08
Cl	3.11E+06	4.61E+06	3.40E+06	34	49	1.56E+08
NO3	2.86E+09	3.65E+09	3.62E+09	60	10	1.66E+11
SO4	1.87E+09	2.33E+09	2.32E+09	55	17	1.06E+11
NH4	8.58E+08	1.02E+09	1.01E+09	43	36	4.63E+10
210Pb	7.27E+05	1.04E+06	7.98E+05	49	37	36618158
7Be	2.55E+07	3.10E+07	3.06E+07	57	5	1.41E+09

Note 210Pb and 7Be is given 1/100th dpm/m<sup>2</sup>/yr

## 9. 남해해수 기원

### 9.1. 서론

남해는 고온고염의 대마난류수와 한국 및 중국 연안수와 접하면서 연중 복잡한 해수특성을 보인다. 일반적으로 해양의 수괴를 분류하는 추적자로서 수온과 염분을 이용하지만 수온의 변화로 인하여 수온을 보존성 추적자로 보기는 어렵다 (Torgensen, 1979). 일반적으로 해양에서 수괴를 구분하는 추적자로서 라듐 (Ra) 동위체와 산소안정동위원소를 많이 사용한다.

해양에서  $^{228}\text{Ra}$  (반감기 5.7년)과  $^{226}\text{Ra}$  (반감기 1,620년)은 천연 U/Th 계열 방사능 핵종으로서 주로 저층퇴적물로부터 공급되거나 강물기원의 입자들로부터 탈착 (desorption)되어 연안역에 공급한다 (Elsinger and Moore, 1984; Reid et al., 1979; Okubo, 1980). 해양에서 육상기원의 중금속과 다른 오염물질들은 연안역과 대륙붕에서 체류시간이 수개월 미만으로 짧아 대부분이 연안과 대륙붕역의 퇴적물에서 침적되는 반면에 이들 Ra 동위체들은 해수중에서 용해성 및 방사붕괴를 제외한 비반응성으로 혼합과 순환에 의해 확산되고 운반되면서 외양역까지 영향을 미쳐 연안으로부터 멀어짐에 따라 뚜렷한 농도구배를 나타낸다. 특히  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  비는 오직 반감기가 짧은  $^{228}\text{Ra}$ 의 붕괴에 의해 변화하기 때문에 해역 및 수심에 따라 현저히 다른 특징을 보인다. 따라서 이들 Ra 동위체들은 다양한 해양환경에서의 성질이 서로 다른 수괴들의 특성을 이해하고, 연안수와 외양수간의 혼합의 정도를 연구하는 추적자로서 유용하다 (Moore et al., 1986; Okubo, 1980; Nozaki, 1989). 그러나 한반도 근해 해역에서 현재까지 이들 라듐 동위체들에 대한 연구는 동해 (Okubo, 1980; Harada and Tsunogai, 1986)와 대한해협 (Lee & Kim, 1998)에 대해 연구된 바 있으나, 남해로의 황해 및 동중국해 대륙붕수의 주요 유입 통로인 제주해협에 대해서는 미비하다.

라듐동위체들과 더불어 산소동위원소는 물분자 자체의 동위원소비를 측정함으로써 해양에서 수괴추적자로서 유용하게 사용되어져 오고 있다. 산소동위원소는 물분자 자체의 동위원소비를 측정함으로써 보존적인 성질을 갖는다. 특히 퇴적물에 포함된 Th으로부터 해수로 공급되는 성질로 인하여 하천수 자체보다는 하구 인접해역에서 높은 방사능세기를 갖고있는  $^{228}\text{Ra}$ 과는 달리 산소동위원소는 하천수와 해수간의 혼합율에 의해 동위원소값이 결정되기 때문에 해수기원에 대한 직접적인 추정이 가능하다.

이에따라 본 연구는 수괴추적자로서 유용하게 사용될 수 있는 라듐동위원소와 산소동위원소를 이용하여 이들의 분포특성과 염분과의 상관관계를 이용하여 제주해협에서의 해수기원을 추적하고, 양자강회석수와 쿠로시오 표층수간의 물리적 혼합정도를 밝히는데 중점을 두었다.



## 9.2. 라듐동위체 분포 특성

1998년 4월과 9월에 남해에서의 라듐 동위체 분석 결과는 Table 3.15에 나타내었다.

Table 3.15. Ra isotopes activities in the South Sea of Korea in April and September 1998.

St.	Temp. (°C)	Sal. (psu)	$^{226}\text{Ra}$ (dpm/l)	$^{228}\text{Ra}$ (dpm/l)	$\frac{^{226}\text{Ra}}{^{228}\text{Ra}}$
1998.4					
A1-0	10.042	32.233	0.390	0.193	2.018
B1-0	10.349	33.259	0.375	0.317	1.184
B3-0	10.051	33.204	0.382	0.291	1.314
B5-0	10.089	33.088	0.347	0.274	1.266
B7-0	10.237	32.879	0.393	0.234	1.684
B9-0	12.525	33.611	0.278	0.301	0.925
B11-0	14.805	34.330	0.146	0.234	0.621
C1-0	10.635	33.354	0.294	0.260	1.132
C3-0	11.526	33.325	0.271	0.147	1.843
C5-0	16.635	34.617	0.071	0.156	0.459
C9-0	14.553	34.219	0.157	0.188	0.836
D1-0	11.511	33.839	0.207	0.188	1.102
D3-0	12.421	34.031	0.232	0.227	1.021
D5-0	12.371	33.830	0.263	0.211	1.247
D7-0	17.090	34.640	0.067	0.135	0.500
D11-0			0.993	0.271	3.666
E1-0	12.356	32.775	0.215	0.136	1.586
E2-0	12.756	33.915	0.417	0.297	1.405
E3-0	13.619	34.187	0.352	0.255	1.379
E5-0	15.985	34.553	0.251	0.143	1.762
1998.9					
A2-0	23.900	30.945	0.335	0.161	2.072
A2-20	23.171	31.130	0.241	0.115	2.097
A2-50	16.732	32.837	0.259	0.125	2.072
A4-0	23.276	31.323	0.189	0.091	2.072
A4-25	24.098	32.627	0.154	0.070	2.216
A4-33	23.030	32.827	0.250	0.120	2.072
A4-50	17.255	33.051	0.197	0.089	2.216
A4-75	13.660	33.466	0.232	0.112	2.072
A4-110	14.024	33.720	0.274	0.130	2.102
S1-0	23.658	29.926	0.253	0.114	2.216
S3-0	23.703	30.264	0.263	0.119	2.216

### 9.2.1. 1998년 4월

조사된 정점들에서의 수온 및 염분은 각각 10.04~16.64°C, 32.23~34.62psu 범위로서 제주부근 해역에서 고온고염 ( $T > 14^\circ\text{C}$ ,  $S > 34\text{psu}$ )을 보인다. 표층수중  $^{226}\text{Ra}$  농도는 0.147~0.317 dpm l<sup>-1</sup> 범위로서 뚜렷한 경향은 보이지 않으나 대체로 저염수보다는 고염수에서 높다.

그러나  $^{228}\text{Ra}$  농도는 0.071~0.393 dpm l<sup>-1</sup> 범위로서  $^{226}\text{Ra}$ 과는 반대로 수심이 얇고, 저염의 특징을 보이는 연안역에서 높다. 이것은 수심이 낮은 천해역에서는 저층 퇴적물로부터 상당량의  $^{228}\text{Ra}$ 이 공급되기 때문이다. 그러나  $^{228}\text{Ra}$  농도는 외해역쪽으로 갈수록 점차 감소하여 본 조사정점중 가장 고염 (34.62psu)을 보이는 정점 C5에서 Nozaki등 (1991)에 의해 쿠로시오 본역에서 측정된 값 (0.07 dpm l<sup>-1</sup>)과 같다.

$^{226}\text{Ra}$ 의 최대값과 최소값의 차이는 0.17 dpm l<sup>-1</sup>로서  $^{228}\text{Ra}$ 의 차이 (0.32)보다는 약 절반수준이다. 이것은  $^{226}\text{Ra}$  ( $t_{1/2}$ : 1,622년)과  $^{228}\text{Ra}$  ( $t_{1/2}$ : 5.75년)간의 반감기 차이와  $^{228}\text{Ra}$ 이  $^{226}\text{Ra}$  보다는 해저퇴적물로부터 훨씬 많이 공급되기 때문이다 (Yamada and Nozaki, 1986). 따라서 수심이 낮은 연안역의 해수는 수심이 깊은 외해역 해수보다 상대적으로 많은  $^{228}\text{Ra}$ 을 함유한다. 이와같은 특징으로 인해 Ra 동위체들은 해역에 따라 현저히 다르기 때문에 각 수괴의 특성과 혼합과정을 이해하는데 유용한 추적자로 사용될 수 있다 (Moore et al., 1986).

### 9.2.2. 1998년 9월

4월 조사와는 달리 9월에는 제주해협내에서 비교적 저염의 연안수의 영향을 많이 받는 정점 A4와 상대적으로 고염의 외해수 영향을 많이 받는 정점 A9에서 수심에 따른 라듐동위체 분석을 하였다.

수온 및 염분은 각각 13.7~23.9°C, 29.9~33.7psu 범위로서 표층수의 경우 연안수의 영향을 많이 받는 정점 S1, S3, A2에서는 고온저염을 보이는 반면에 외해수의 영향을 받는 정점 A4에서는 상대적으로 저온고염을 보이고 있다.

$^{226}\text{Ra}$  농도는 0.07~0.13 dpm l<sup>-1</sup> 범위로서 연안수의 영향을 많이 받는 정점 S1, S3, A2와 정점 A4의 저층에서 0.1 dpm l<sup>-1</sup> 이상이다.

$^{228}\text{Ra}$  농도는 0.15~0.34 dpm l<sup>-1</sup> 범위로서 최대값과 최소값의 차이는  $^{226}\text{Ra}$  보다 3배정도 높다. 분포양상은  $^{226}\text{Ra}$ 과 마찬가지로 수심이 얇고, 저염의 특징을 보이는 정점 S1, S3, A2와 A4의 저층에서 0.25 dpm l<sup>-1</sup> 이상이다. 그러나 상대적으로 외해수의 영향을 받는 A4의 표면혼합층에서는 0.2 dpm l<sup>-1</sup> 이하이고, 수직분포는 수심중가에 따라 증가함으로서 라듐동위체들의 주요 공급원은 저층퇴적물로부터임을 알 수있다.

### 9.3. 염분과 라듐 동위체와의 관계

천연 U/Th 계열 방사성 핵종인  $^{226}\text{Ra}$ 과  $^{228}\text{Ra}$ 은 주로 저층퇴적물로부터 확산에 의해 공급되거나 강물기원의 입자들로부터 탈착 (desorption)되어 연안역에 공급된다. 그러나 육상기원의 중금속과 다른 오염물들은 연안역과 대륙붕에서 체류시간이 수개월 미만으로 짧아 대부분이 연안과 대륙붕 지역의 퇴적물로 침적되는 반면에 이들 Ra 동위체들은 해수중에서 용해성으로 해수의 물리적 혼합과 순환에 의해 표층해수로 확산되고 운반되면서 방사붕괴 (radio-decay)하여 외양역까지 영향을 미쳐 연안으로 멀어짐에 따라 뚜렷한 방사능세기구배를 나타낸다. 4월과 9월 제주해협에서의 해수의 혼합과 순환에 의한 Ra 동위체 추적자로서의 유용성을 이해하기 위해 구한 1998년 4월 제주해협 표층수중 염분과 라듐동위체들간의 상관관계는 다음과 같다 (Fig. 3-22~23).

$$1998\text{년 } 4\text{월: } ^{228}\text{Ra} = 5.24 - 0.15 S \quad (r^2 = 0.84)$$

$$^{226}\text{Ra} = 0.73 - 0.02 S \quad (r^2 = 0.03)$$

$^{226}\text{Ra}$ 에 비해  $^{228}\text{Ra}$ 은 염분과 상당히 양호한 역의 상관관계를 보임으로서  $^{228}\text{Ra}$  농도는 저염수에 의해 크게 조절된다는 것을 알 수 있다.

또한  $^{228}\text{Ra}$ 의 기울기는  $^{226}\text{Ra}$  기울기보다 약 7.5 배 높다. 이것은  $^{226}\text{Ra}$ 과  $^{228}\text{Ra}$ 간의 반감기 차이에 기인하는 것으로서  $^{228}\text{Ra}$ 은 염분이 높은 외양으로 갈수록  $^{226}\text{Ra}$  보다 상대적으로 현저히 감소하는 것을 알 수 있다.

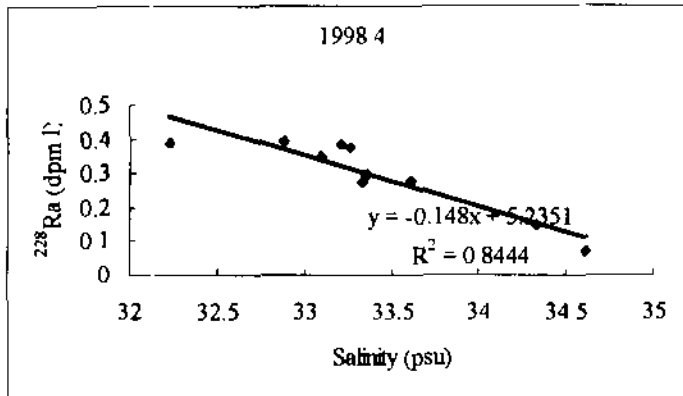


Fig. 3-22. The correlation of salinity with  $^{228}\text{Ra}$  activity in the surface water of the South Sea in April 1998.

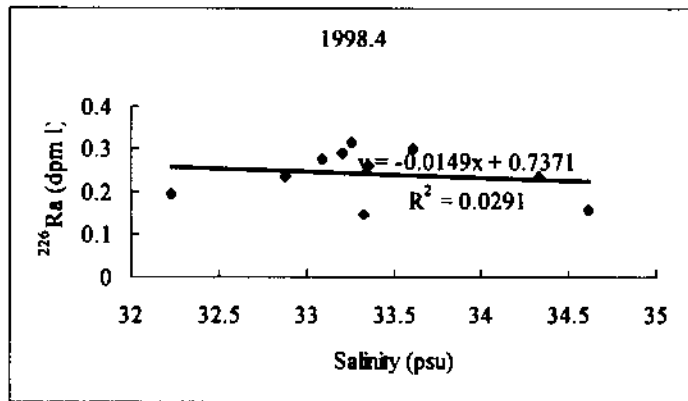


Fig. 3-23. The correlation of salinity with <sup>226</sup>Ra activity in the surface water of the South Sea in April 1998.

#### 9.4. 라듐동위체비 (<sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra)

외양 표층에서의 <sup>226</sup>Ra과 <sup>228</sup>Ra은 염분과 같이 강우 및 증발에 의해, 영양염류와 같이 생물 섭취에 의해 농도가 변할 수 있다. 그러나 <sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra 방사능비율은 오직 혼합과 반감기가 짧은 <sup>228</sup>Ra의 붕괴에 의해서만 변화한다 (Moore et al., 1986; Key et al., 1985). 따라서 보존성인 Ra 동위체와 염분과의 관계들 이용하여 해수의 물리적 혼합, 확산과정을 이해하기 위한 추적자로서 이용할 수 있다. 또한 이들 Ra 동위체의 농도분포는 해역 및 수심에 따라 현저히 다르기 때문에 다양한 해양환경의 성질이 서로 다른 수괴들의 특성과 혼합정도를 이해하는 추적자로서도 유용하다 (Moore et al., 1986; Okubo, 1980; Nozaki, 1989).

Fig. 은 그간 황해 및 남해에서 측정된 <sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra 방사능비와 염분간의 상관관계이다. 제주해협에서의 <sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra의 방사능비는 4월에 표층수에서 0.46~2.02로서 쿠로시오 영향을 많이 받는 동중국해 대륙붕단역에서의 최대값 (1.01; 한국해양연구소, 1998)보다는 약 2배 정도 높다. <sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra의 방사능비 또한 염분과 상당히 양호한 역의 상관관계를 보여 제주해협은 일반적으로 저염수에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 쿠로시오 표층수에서의 <sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra의 방사능비는 0.5 이하로 낮고, 상대적으로 수심이 얕은 황해 및 양자강하구 부근 해역은 3~4 정도 범위이다 (Nozaki, 1989). 제주해협과 쿠로시오 및 황해, 양자강하구 부근해역에 대한 <sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra의 방사능비는 대체로 직선관계를 보이고 있다. 이것은 다음과 같이 추정할 수 있다. <sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra의 방사능비가 3 이상으로서 높은 황해와 양자강하구 부근해역의 해수가 제주해협을 통해 남해로 유입이 되고, 또한 <sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra의 방사능비가 0.5 이하로 낮은 쿠로시오가 유입되면서 서로 혼합되어 남해의 <sup>228</sup>Ra/<sup>226</sup>Ra의 방사능비가 결정되는 것이다.

그러나 9월 수심별 자료에 의한 라듐동위체비와 염분과의 관계는 저층수의 경우 표층수와는 다른 특징을 보여준다.

저염의 표층수의 경우에는 양자강회석수와 쿠로시오 표층수간에 직선상에 놓여져 있어 이들의 기원은 이들 양단성분간의 혼합수임을 알 수 있다. 그러나 저온저염수 ( $T < 17^\circ\text{C}$ ,  $32.5 < S < 33.5\text{psu}$ )의 특성을 가진 저층수는 저염의 단성분으로서 양자강 회석수보다는 황해 표층수에 더 가까운 기울기를 갖는다. 조와 김 (1994)은 여름철 남해 중앙해역 저층에 존재하는 저온저염수 ( $T < 14^\circ\text{C}$ ,  $33.4 < S < 34.0\text{psu}$ )의 기원은 황해 저층냉수일 것이라고 추측하였다. 따라서 표층수와는 다른 단성분을 가진 저층수는 황해저층냉수로부터 유래된 것으로 판단된다. 그러나 좀더 자세한 고찰은 1999년 실시될 해양조사에서 황해 및 남해에 대한 계절별 자료가 보강된 후에 행해질 예정이다.

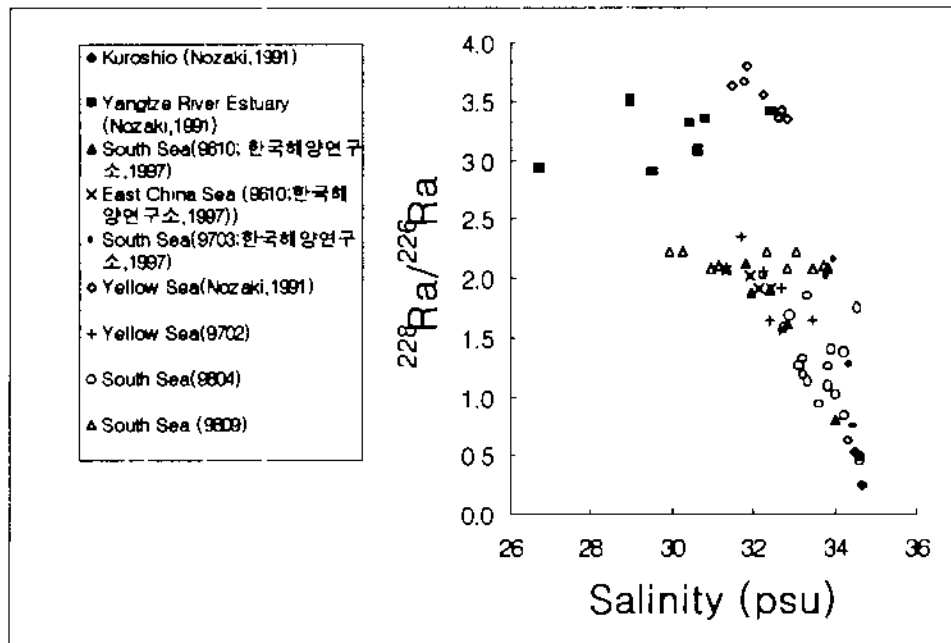


Fig. 3-24. The relationship of salinity with  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  ratio in the surface water of the South Sea, Kuroshio and Yellow Sea.

### 9.5. 산소동위원소를 이용한 남해 해수 기원

퇴적물에 포함된 Th으로부터 해수로 공급되는 성질로 인하여 하천수 자체보다는 하구 인접해역에서 높은 방사능세기를 갖고있는  $^{228}\text{Ra}$ 과는 달리 산소동위원소는 하천수와 해수간의 혼합율에 의해 동위원소값이 결정되기 때문에 해수기원에 대한 직접적인 추정이 가능하다. 이에따라 산소안정동위원소 분석을 위한 시료는 1996년 10월 2일부터 12일까지 한국해양연구소에서 수행된 쿠로시오해역과 동중국해의 해양순환과제와 연계하여 채집하였고, 정점 위치 및 분석된 결과는 Fig. 3-25~26와 Table 3-16에 나타내었다.

Table 3-16.  $\delta^{18}\text{O}$  values in the surface water of the East China Sea and the South Sea of Korea in October, 1996.

Region	St.	Location		Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	Sal. (psu)	$\delta^{18}\text{O}$ ( $\text{‰}$ )
		Latitude	Longitude			
Korea Strait	A4	34° 24.26'	128° 27.95'	22.96	32.856	-0.42
	A6	33° 57.76'	128° 50.13'	24.98	34.013	-0.13
South Sea	C1	34° 09.77'	127° 37.81'	22.15	32.143	-0.57
	C3	33° 50.03'	127° 53.98'	20.61	32.450	-0.51
	G1	34° 04.91'	126° 49.90'	21.59	31.702	-0.72
	D2	34° 00.07'	126° 00.18'	22.43	31.806	-0.64
	D4	33° 30.03'	126° 00.09'	22.75	32.404	-0.49
	E6	33° 43.98'	124° 50.18'	20.83	31.342	-0.77
East China Sea	E8	34° 00.02'	125° 30.06'	20.15	31.929	-0.60
	B5	31° 29.89'	127° 00.09'	26.06	33.913	-0.24
	D8	32° 30.04'	125° 59.88'	24.65	33.739	-0.28

조사된 정점들에서의  $\delta^{18}\text{O}$  값은 -0.13 ~ -0.77 ‰로서 염분과의 관계는 다음과 같은 직선의 상관관계를 갖는다 (Fig. 3-25).

$$\delta^{18}\text{O} = 0.25 \times \text{salinity} - 8.52 \quad (r=0.98)$$

이러한 직선의 상관관계는 본 연구지역인 한국남해는 고염의 end-member와 저염의 end-member간의 혼합수로서 생각할 수 있다. 고염의 end-member (K)는 쿠로시오를 대표할 지역 (4° N, 125° E)에서의  $\delta^{18}\text{O}$  (34.675psu, 0.07‰, 한국해양연구소, 1993)이고, 저염의 end-member (Y)는 황해에서의  $\delta^{18}\text{O}$  값이다 (한국해양연구소, 1993). 만일 직선 방정식에서 염분을 0로 할 경우에는  $\delta^{18}\text{O}$ 은 -8.5‰이다. 이것은 Zhang et al. (1990)에 의해 양자강 (-7.1~-8.7‰) 및 황하 (-7.9~-8.8‰)에서 측정된  $\delta^{18}\text{O}$  값과 유사하다 (Fig. 3-26). 따라서 남해의 해수는 쿠로시오와 양자강등 주요강들간의 혼합수로 판단된다.

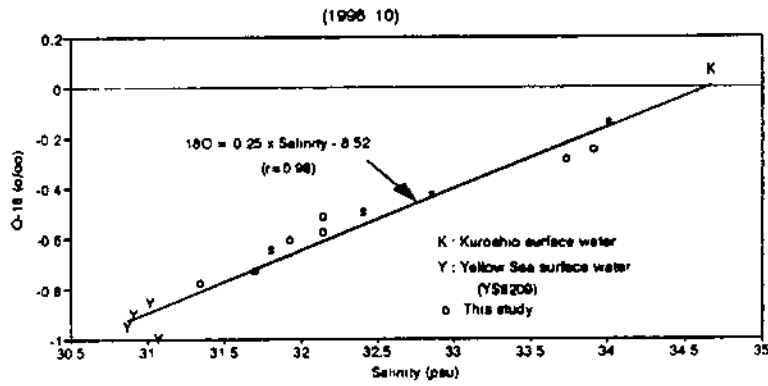


Fig. 3-25. The correlation diagram between salinity (psu) and  $\delta^{18}\text{O}$  in the East China Sea and the South Sea of Korea.

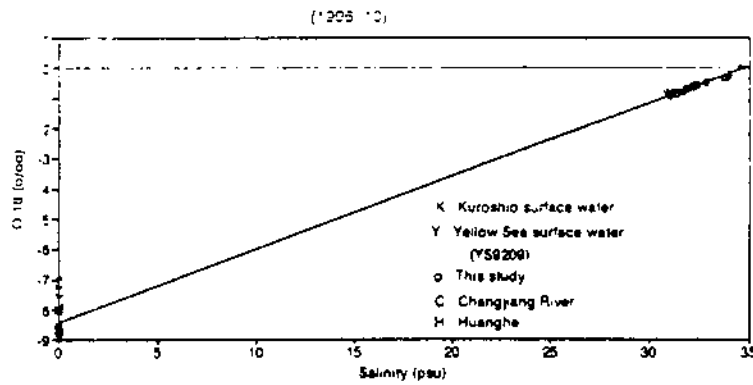


Fig. 3-26. A  $\delta^{18}\text{O}$  - S diagram of surface waters in the Huanghe, Changjiang River, East China Sea, Kuroshio and the South Sea of Korea.

The value  $\delta^{18}\text{O}$  of surface water of Kuroshio (0.07‰, 34.67psu).

The value  $\delta^{18}\text{O}$  of surface water of Huanghe River (-7.9~-8.8‰).

The value  $\delta^{18}\text{O}$  of surface water of Changjiang River (-7.1~-8.7‰).

### 9.6. 제주해협에서의 황해 및 동중국해 대륙붕수의 기여율

제주해협 표층수에서의 4월 (관측선 C)과 9월 (관측선 A)의 평균  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  비는 황해 및 양자강하구 부근해역에서의 비와 쿠로시오역에서의 비간의 직선상에 위치한다. 이것은  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비가 높은 황해와 동중국해수 ( $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra} \geq 3$ )와  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비가 낮은 쿠로시오 해류 ( $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra} \leq 1$ )가 유입되어 남해대륙붕에서 서로 혼합됨으로서 남해의  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비가 결정된다는 것을 의미한다. 만약  $^{228}\text{Ra}$  붕괴가 이동과 혼합 (mixing)하는 동안 무시되고, 염분과 라듐동위체로부터 양단성분은 양자강회석수와 쿠로시오 표층수라 가정하면 아래식을 통하여 한국남해 표층수중 양자강회석수에 대한 기여율을 구할 수 있다.

$$[^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}]_{\text{SSK}} = [f^{228}\text{Ra}_S + (1-f)^{228}\text{Ra}_K] / [f^{226}\text{Ra}_S + (1-f)^{226}\text{Ra}_K]$$

f에 대하여 방정식을 정리하면

$$f = \{ (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{SSK}} - (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_K \} / \{ (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{SSK}} - (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_K + ^{226}\text{Ra}_S / ^{226}\text{Ra}_K [ (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_S - (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{SSK}} ] \}$$

f = a fraction of the Shelf water component in the South Sea of Korea.

SSK = South Sea of Korea (제주해협)

S = The Shelf water

K = The Kuroshio water

본 조사 결과와 Nozaki (1989)의 결과를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

$$(^{228}\text{Ra} / ^{226}\text{Ra})_{\text{SSK}} = (4\text{월} : \text{남해 전체 } 0.62 \sim 2.02; \text{ 제주해협}; 0.62 \sim 1.68) \\ (9\text{월}: \text{ 제주해협 } 2.07)$$

$$(^{226}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_S = 3.5$$

$$(^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_K = 0.2$$

$$^{226}\text{Ra}_S = 131 \text{ dpm } 10^{-3} \text{ l}^{-1}$$

$$^{226}\text{Ra}_K = 65 \text{ dpm } 10^{-3} \text{ l}^{-1}$$

$$f = 0.17 (4\text{월}), 0.39 (8\text{월})$$

위 결과는 4월 제주해협 표층수 (관측선 B, C)중 약 6.7~31.4% (평균 15%), 대한해협 (관측선 E) 표층수중 약 21.6~30.8% (평균 23.7%)가 양자강 회석수로 구성되어 있다는 것을 의미하며, 남해 전체적으로는 약 6.7~38% (약 20%) 이다. 이 기여율은 1997년 2월 Lee and Kim (1998)이 대한해협 표층수에서 측정한 평균 10%보다는 2배정도 크다.

9월의 경우에는 제주해협 표층수중 약 39%로서 4월보다는 2.6배정도 크다. 이는 9월은 장마기 이후로서, 특히 98년 여름에 양자강유역의 대홍수로 인해 상당량의 저염수가 제주해협에 유입된 영향으로 사료된다.



## 10. 제주해협을 통과하는 화학물질 플럭스

### 10.1. 서론

동-서 길이가 약 70km 인 제주해협은 황해 및 동중국해와 남해를 연결시키는 길목에 위치하여 이곳을 통과하는 해수 및 화학물질량의 변화는 남해 해양 및 생태환경에 큰 영향을 준다. 제주도 서쪽해안을 따라서는 동중국해로부터 확장하는 고염빈영양의 대마난류가 유입이 되며, 하계에는 저염고영양염의 양자강 퇴적수가 제주해협을 통해 유입되어 대한해협을 통해 동해로 빠져나간다. 또한 저온저염고영양염의 황해 저층 냉수는 계절에 따라 남하 확장하여 제주해협을 통과하여 남해에 영향을 미친다.

황해의 연안을 따라서는 제주해협으로 들어오는 서한연안류 (West Korea Coastal Current)를 통해 황해 및 동중국해로부터 남해 대륙붕으로 퇴적물을 포함한 다양한 화학물질들이 유입되어 (Suk et al., 1996), 남해의 퇴적물 수급 및 화학물질 농도분포에 상당한 영향을 미친다 (Wells and Huh, 1984; Chough, 1983; Lee et al., 1990). 제주해협을 통해 유입되는 해류들은 시공간적인 변화가 다양하다. 따라서 제주해협을 통해 교환되는 화학물질 플럭스에 대한 연구는 남해에서의 생지화학적 과정과 화학물질 순환을 이해하는데 있어서 상당히 중요하다.

### 10.2. 제주해협을 통한 화학물질 플럭스

하계 (9월)에 한국 연안에 위치한 정점 A2에서는 표층에서 서향류(-), 20m 이하수심과 나머지 정점들에서는 동향류(+)이다. (제 1절 참조).

단위면적당 입자성부유물질, 암모니아, 질산, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각  $-47.6 \sim 458.1 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $-100.5 \sim 176.4 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $-52.3 \sim 2,793.2 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $-8.9 \sim 164.8 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $-500.5 \sim 3,565.1 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 의 범위이다 (Fig. 3-27).

제주해협을 통해 교환되는 총 입자성부유물질 플럭스중 약 78%, 질산이온을 포함한 용존무기영양염류는 암모니아이온 (78%)을 제외하고는 약 93% 이상이 동향류에 의해 남해로 유입된다. 즉 서향류에 의해 제주해협을 통해 남해에서 황해로 빠져나가는 화학물질의 양보다는 동향류에 의해 황해에서 남해로 들어오는 화학물질의 양이 거의 대부분을 차지한다는 것을 의미한다. 그러나 이러한 동향류에 의한 기여는 97년 9월의 입자성부유물질 (97%) 및 용존 무기영양염류 (97.5%)보다는 작다.

추계 (11월)에는 하계 (9월)과 유사하여 한국 연안에 위치한 정점 A2의 표층에서는 서향류(-), 25m 이하수심과 나머지 정점들에서는 동향류(+)이다. (제 1절 참조). 그러나 하계와는 달리 제주도 부근의 정점 A7 저층에서는 서향류(-)를 보이고 있다.

단위면적당 입자성부유물질, 암모니아, 질산, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각  $-164.8 \sim 304.9 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $37.5 \sim 233.7 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $-619.1 \sim 1,539.7 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $-35.1 \sim 80.4 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $-998.6 \sim 2,596.7 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 의 범위이다 (Fig. 3-28).

제주해협을 통해 교환되는 총 입자성부유물질 플럭스중 약 87%, 질산이온을 포함한 용존무기영양염류는 약 95% 정도가 동향류에 의해 남해로 유입되어 하계 (9월)와 마찬가지로 동향류에 의해 황해에서 남해로 들어오는 화학물질의 양이 거의 대부분을 차지한다.

9월과 11월 제주해협을 통해 남해로 들어오는 해수 수송량과 화학물질 평균농도를 곱하여 구한 화학물질들의 플럭스 (gross flux)는 Table 3-17에 나타내었다.

조사가 실시되지 않은 동계를 제외하고 1차년도 (97년 4월, 9월)와 2차년도 (1998년 9월, 11월) 및 1995년 4월 (Suk et al., 1996)자료를 이용하여 연간 질산이온 및 인산이온 플럭스를 계산해 보면 다음과 같다.

질산이온 ( $2.9 \times 10^9 \text{ mol yr}^{-1}$ ), 인산이온 ( $0.95 \times 10^9 \text{ mol yr}^{-1}$ ),

이는 지중해 동부에 위치한 Otranto 해협을 통해 Adriatic Sea로 빠져나가는 질산이온 ( $2.9 \times 10^9 \text{ mol yr}^{-1}$ ) 및 인산이온 ( $0.95 \times 10^9 \text{ mol yr}^{-1}$ ) 플럭스와 유사하다 (Civitaresse et al., 1998).

### 10.3. 남해분지규모에서의 화학물질 플럭스 추정

남해로 유입하는 주요 해류로는 제주해협을 통해 유입되는 제주해류와 제주-큐슈사이를 통해 유입되는 대마난류들 들 수 있다.

현재까지 조사된 국내의 해류 및 화학물질 농도자료들을 인용하여 남해분지규모의 화학물질 플럭스를 추정하였다 (Table 3-18). 여기서 제주-큐슈간 해협을 통한 해수수송량 자료는 전무하여 대한해협 (동, 서수도 포함) 수송량에서 제주해협을 통한 수송량을 뺀 나머지를 제주-큐슈간 해협을 통해 남해로 들어오는 해수수송량으로 계산하였고, 화학물질 농도들은 본 연구결과와 동중국해 자료 (한국해양연구소, 1997)를 인용하였다. 추정된 남해 분지규모에서의 화학물질 플럭스는 다음과 같다.

제주해협 (제주해류)을 통해 남해로 들어오는 평균 입자성부유물질, 질산이온, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각  $0.4 \times 10^9 \text{ mg s}^{-1}$ ,  $2.6 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $0.16 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $4.9 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$  이다. 반면에 제주-큐슈간 해협을 통해 들어오는 입자성부유물질, 질산이온, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각  $0.9 \times 10^9 \text{ mg s}^{-1}$ ,  $8.0 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $0.59 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $17.4 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$  이다.

대한해협을 통해 동해로 나가는 입자성부유물질, 질산이온, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각  $1.5 \times 10^9 \text{ mg s}^{-1}$ ,  $10.7 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $1.0 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ,  $24.2 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$  이다.

대마난류에 의해 제주-큐슈간 해협을 통해 남해로 들어오는 화학물질들의 총 플럭스는 제주해협을 통한 유입량보다 약 3~4배 크다. 제주해협과 제주-큐슈간 해협을 통해 남해로 유입되는 질산이온 플럭스는 약  $10.6 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ 로서 대한해협을 통해 동해로 빠져나가는 양 ( $10.7 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ )과 거의 같다. 그러나 인산이온 ( $0.75 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ ) 및 규산 ( $22.3 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ )의 경우에는 대한해협을 통해 나

Table 3-17. Along-strait material fluxes in the Cheju Strait.

Chemicals	Gross fluxes									
	1997년 3월			1997년 9월			1998년 9월		1998년 11월	
	연안역 (서향류)	연안역 (동향류)	외해역 (동향류)	연안역 (동향류)	연안역 (서향류)	외해역 (동향류)	연안역 (서향류)	연안역, 외해역 (동향류)	연안역 (서향류)	연안역, 외해역 (동향류)
Suspended matter (x 10 <sup>8</sup> mg s <sup>-1</sup> )	-0.56	0.12	3.67	0.57	-0.11	3.71	-1.92	6.97	-1.2	17.8
Ammonium (x 10 <sup>8</sup> umol s <sup>-1</sup> )	-0.07	0.04	1.76	0.25	-0.09	2.66	-0.44	1.55	-0.1	2.1
Nitrate (x 10 <sup>8</sup> umol s <sup>-1</sup> )	-0.78	0.33	13.30	2.18	-0.64	22.88	-2.14	37.02	-1.6	30.0
Phosphate (x 10 <sup>8</sup> umol s <sup>-1</sup> )	-0.08	0.03	1.21	0.19	-0.04	1.42	-0.19	2.36	-0.1	1.6
Silicate (x 10 <sup>8</sup> umol s <sup>-1</sup> )	-1.16	0.49	15.22	2.56	-0.77	33.63	-5.17	57.02	-2.6	53.4

Table 3-18. The comparison of chemical material transport in the South Sea.

해류 지역	제주해류 제주해협	대마난류 제주-큐슈	제주+대마난류 대한해협	쿠로시오해류 대만동부 쿠로시오
관측선 폭 (km)	100	200	166.2	300
수심 (m)	100	150	101	1000
물 수송량 (Sv)	0.52	2.97	3.49	29.5
질산이온 평균농도 (uM)	4.91	2.68	3.08	5.88
인산이온 평균농도 (uM)	0.31	0.2	0.29	0.40
규산 평균농도 (uM)	9.41	5.88	6.94	13.43
입자성부유물질 평균농도 (mg/l)	0.75	0.3	0.44	-

총 물질 플럭스				
질산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	2.55	7.96	10.75	173.5
인산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	0.16	0.59	1.01	11.8
규산 ( $\times 10^9$ umol/s)	4.89	17.46	24.22	396.3
입자성부유물질 ( $\times 10^9$ mg/s)	0.39	0.89	1.54	-

normalized with width and depth				
질산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	2.55	3.70	6.40	5.78
인산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	0.16	0.28	0.60	0.39
규산 ( $\times 10^9$ umol/s)	4.89	8.12	14.43	13.21
입자성부유물질 ( $\times 10^9$ mg/s)	0.39	0.41	0.91	-

normalized with water transport				
질산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	2.55	1.39	1.60	3.06
인산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	0.16	0.10	0.15	0.21
규산 ( $\times 10^9$ umol/s)	4.89	3.06	3.61	6.99
입자성부유물질 ( $\times 10^9$ mg/s)	0.39	0.16	0.23	-

가는 인산이온 ( $1.0 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ )과 규산 ( $24.2 \times 10^9 \mu\text{mol s}^{-1}$ )의 양보다 약간 작다.

그러나 이러한 플럭스는 해수수송량의 차이에 따라 달라질수 있기 때문에 이들 해류에 의한 화학물질 수송량의 상대적인 기여도를 추정하기 위해 대마난류 (평균 0.297 Sv)와 제주해류 (평균 0.52 Sv)의 해수수송량 (volume transport)간의 차이에 따른 비율로 화학물질 수송량을 표준화 (normalize)한 결과를 Table 3-19에 나타내었다.

제주해류 (제주해협)에 의해 남해로 유입되는 화학물질 플럭스는 대마난류 (제주-큐슈)에 의한 유입량보다도 약 2~3배 크다. 이 양은 대만동부에서 쿠로시오에 의한 수송량 (Chen et al., 1994)과 상용한 것으로서, 풍부한 화학물질들을 함유한 제주해류가 남해의 생지화학적 과정들에 있어서 상당히 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다. 그러나 좀더 정확한 화학물질 플럭스를 얻기 위해서는 제주해협에 대한 지속적이고 체계적인 연구가 요구된다.

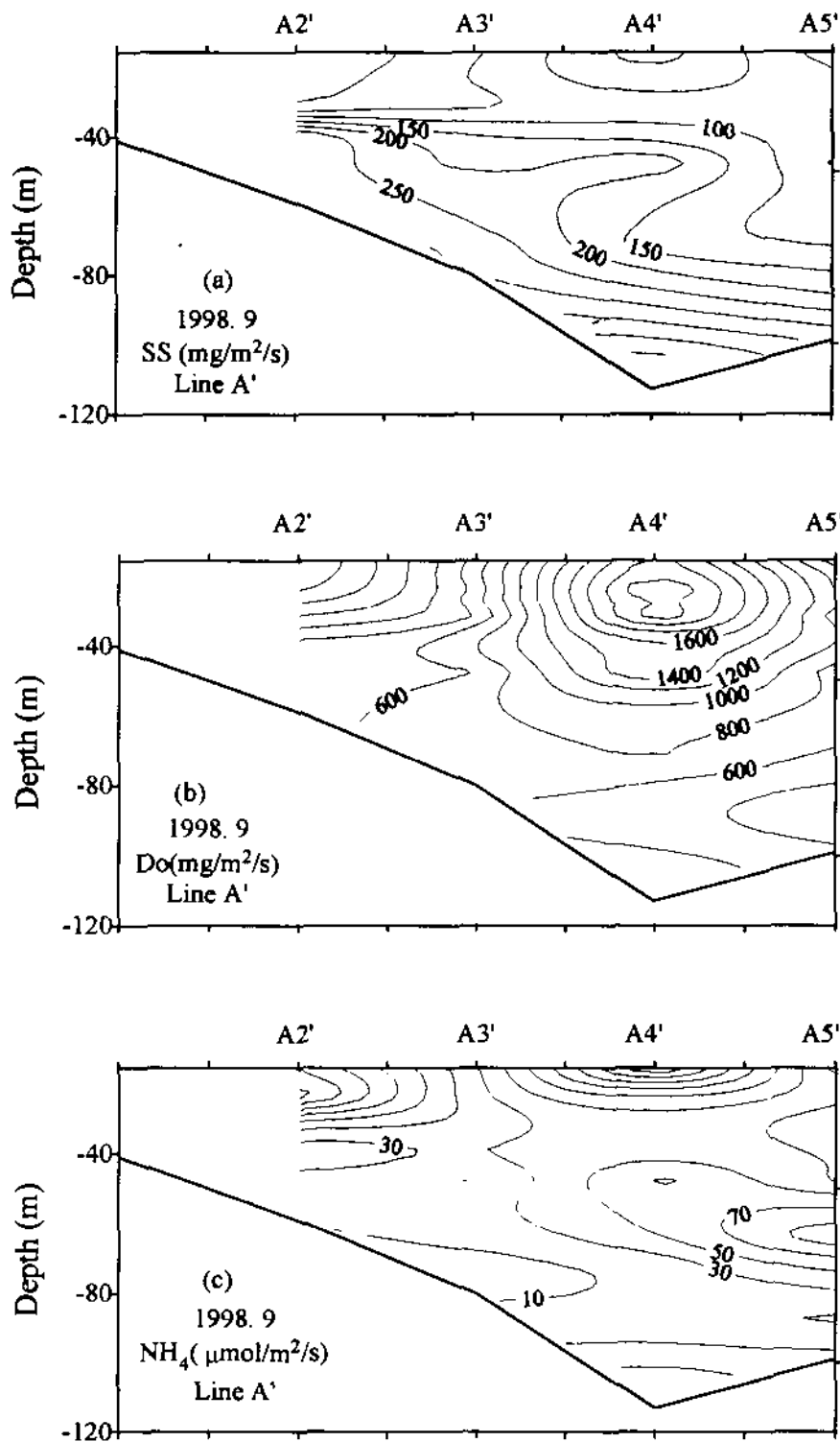


Fig. 3-27. The along-strait material fluxes per unit area (flux-density) of (a) SS, (b) DO, (c)  $\text{NH}_4^+$  (d)  $\text{NO}_3^-$ , (e)  $\text{PO}_4^{3-}$ , (f)  $\text{Si}(\text{OH})_4$  in the Cheju Strait calculated by multiplying mean current speed by concentration in September 1998.

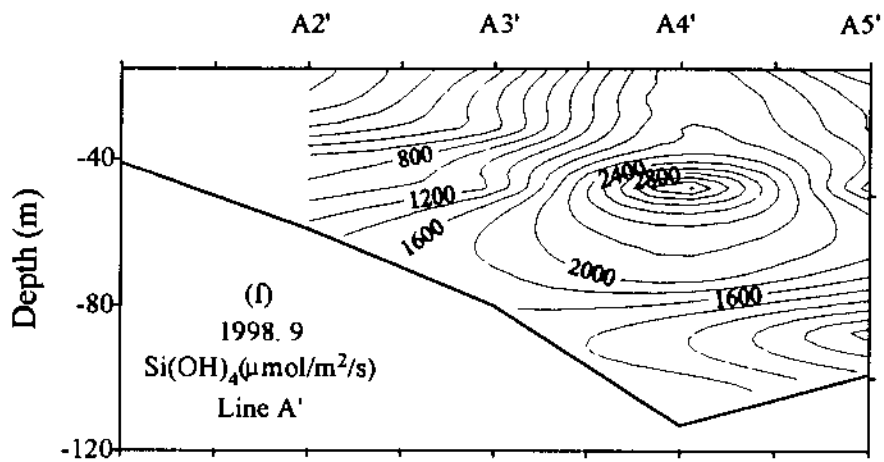
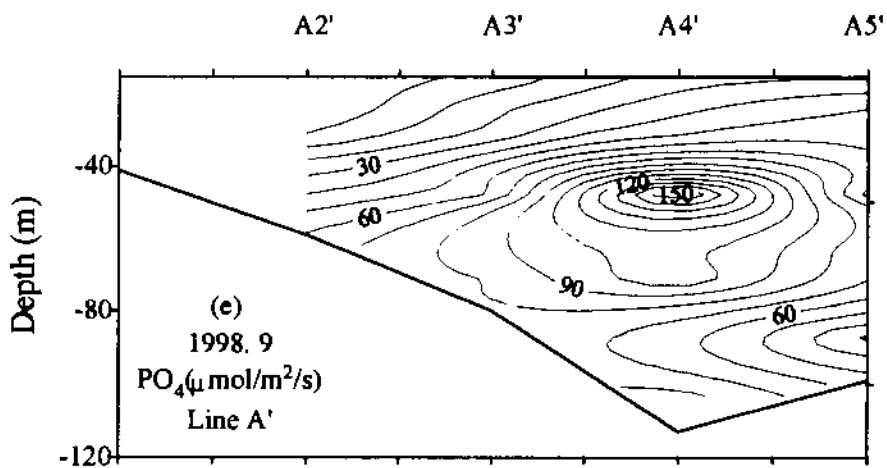
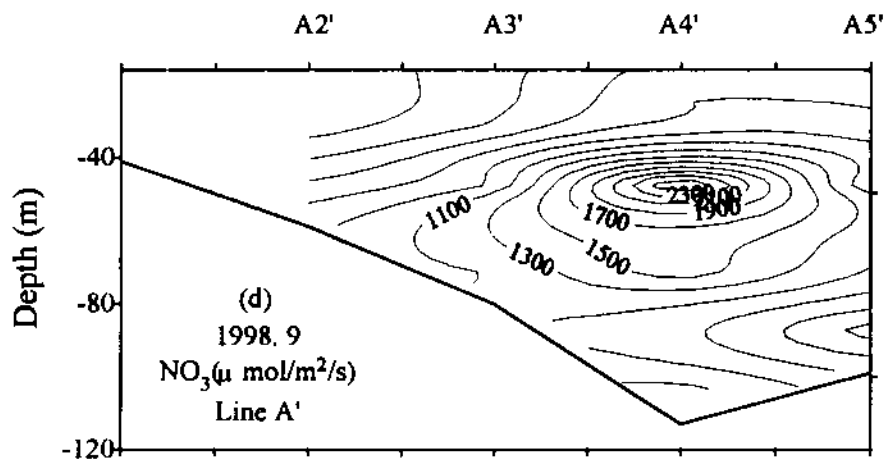


Fig. 3-27. (Continued).

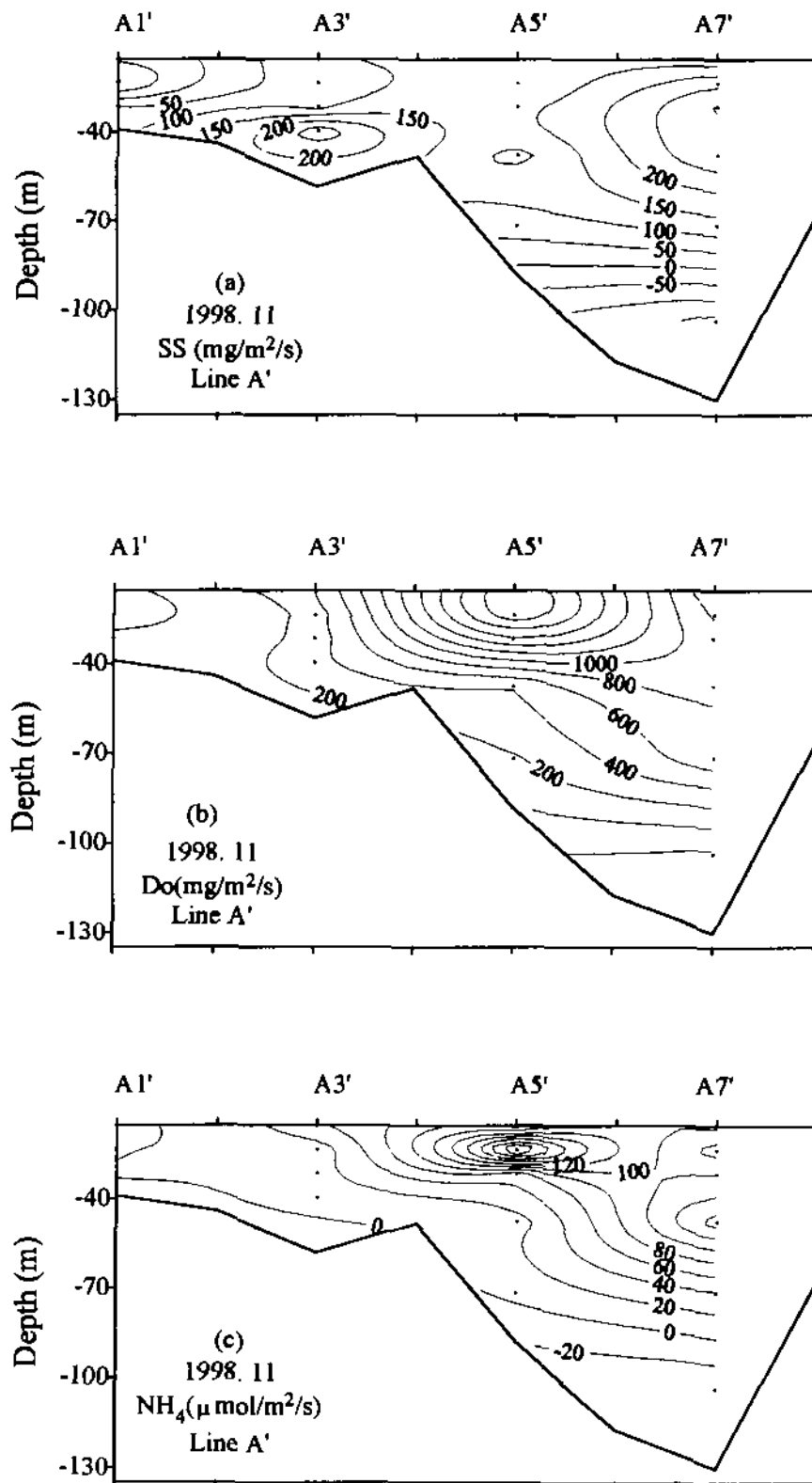


Fig. 3-28. The along-strait material fluxes per unit area (flux-density) of (a) SS, (b) DO, (c) NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (d) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, (e) PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, (f) Si(OH)<sub>4</sub> in the Cheju Strait calculated by multiplying mean current speed by concentration in November 1998.



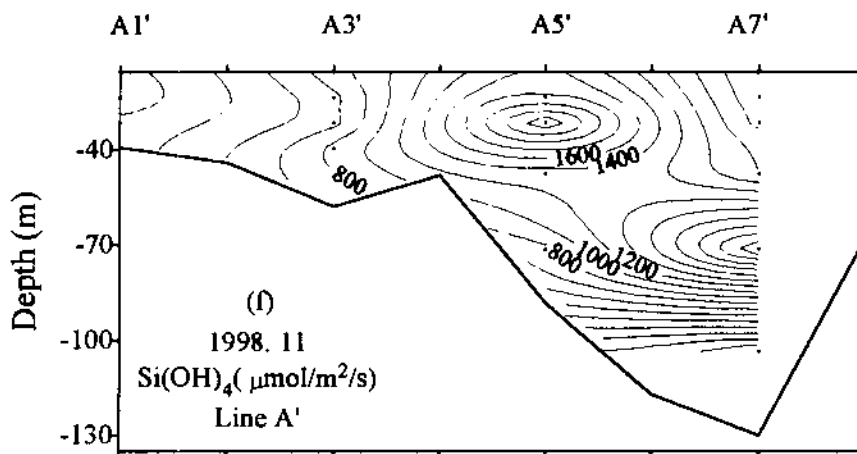
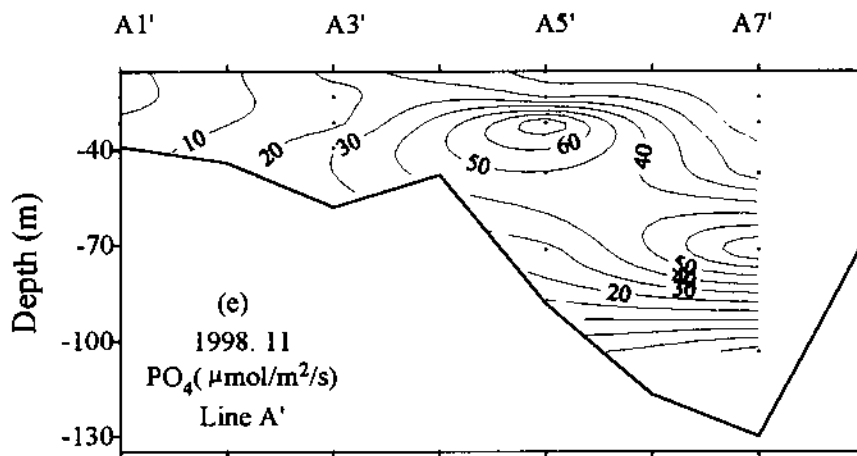
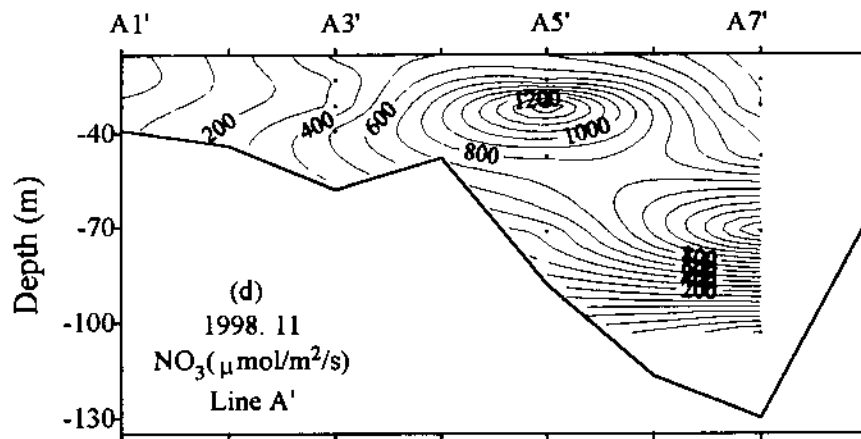


Fig. 3-28. (Continued).



## 제 4 절 저서생물 생화학 특성

### 1. 서론

우리나라 남해안과 서해안을 중심으로 널리 펼쳐져 있는 대륙붕은 대양과 육지의 경계면에 해당되는 해역으로 양쪽 모두의 특성을 고루 가지고 있는 매우 특이한 해역이다. 대륙붕을 물이 찬 육지로 볼 수도 있는 반면 일부 육지를 물 빠진 대륙붕으로 보아도 된다는 견해도 있다. 특히 복잡한 해안선을 갖고 있는 남해안은 대륙붕이 잘 발달되어 있고 여기에는 많은 하천들이 연결되어 있어 육지로부터의 육수 유출에 따른 육상 물질의 유입, 그리고 공간적으로 육지에 인접하고 있어 바람 등의 영향에 의한 육상 물질의 유입이 지속적으로 이루어지고 있는 곳이다. 또 육지에 인접한 대륙붕의 경우 육상에서의 공업화가 진행됨에 따라 항만, 임해 공단의 조성에 의한 여러 가지 산업 부산물들과 폐수들의 유입 또한 심각한 수준에 달하고 있다. 또한 육지 지역의 강우에 의한 담수 유입의 영향도 가장 직접적으로 나타나는 해역이기도하다. 또 한반도 남단과 제주도 사이의 제주해협은 대륙붕의 특성과 함께 서해와 남동해를 연결하는 길목으로서의 중요성도 가지고 있다. 이 해역에서 물질의 흐름은 한반도 주변 해역 전체의 물질의 흐름을 이해하는데 매우 중요한 정보를 제공해 줄 것으로 기대되고 있다.

지구과학자들의 견해를 빌지 않더라도 대륙붕은 육지의 성격을 다분히 가지고 있는 해양환경으로서 그 동안 수심이 얇은 탓도 있어 많은 조사가 이루어져 왔다. 특히 대륙붕으로는 앞에서 언급한 바와 같이 육지로부터의 많은 물질의 유입이 있고 이들 중 질소화합물이나 인산염등은 미세조류들의 영양원으로 이용되어 적조등 미세조류의 대번식의 원인중의 하나로 지목되고 있기도 하다. 이러한 영향은 먹이사슬에 따라서 분해자인 세균이나 저서동물의 번식에도 영향을 주게되어 대륙붕은 육상 유래 혹은 해양유래 미생물들이 혼재되어 있고 동시에 수많은 저서 생물들의 서식처가 되고 있다. 이들 중 전 해양에 존재하는 동물 종의 약 90%를 이루고 있는 저서 동물은 비록 그 절대 수에 있어서는 어류 등을 따르지 못하지만 그 종의 다양함에 있어서는 바다의 실질적인 주인이라는 주장도 제기되고 있다. 육상으로부터 유입되는 이러한 유기 혹은 무기 물질들 이외에도 생물학적 유입 역시 중요한 문제가 될 수있다. 특히 유기물질들의 유입에는 필연적으로 이들에 혼재되어 있는 세균이나 곰팡이등의 육상 유래 미소 생물들이 포함되어있고 이들의 영향은 이들이 물질로서는 적은 양이라하더라도 생명체이므로 이들의 생리의 결과에 의한 전체 물질의 운명은 크게 영향 받을 수도 있다.

대륙붕 해역은 대개의 경우 낮은 수심으로 육상 물질의 유입뿐만 아니라 생물활동이 왕성하며 특히 연안지역의 대형 해조류나 연중 생활사에 따라 특히 하절기에는 해조류의 계절적 소멸에 따른 다량의 유기물질이 용해되는가하면 지속적인 광합성으로 무기물의 흡수 동화가 이루어지는 해역이기도하다. 인간 경제활동의 결과 생성되는 이산화탄소의 흡수도 대형 해조류의 탄소동화작용으로 높을 것으로 기대되고 있다.

본 연구에서는 남해 대륙붕의 물질 순환에 관한 생지화학적 연구의 일환으로 생

물 유래 물질로서 소위 Biomarker의 가치를 갖는 지방 성분의 물질들 중 특히 일반 탄화수소와 지방산의 종류 및 조성을 각 해역 별로 조사하고 이와 동시에 남해 대륙붕에 서식하는 몇몇 주요 저서 생물들의 생화학 물질의 조성을 밝히고 생물 공학적으로 유용한 성분의 존재 여부를 밝힘으로써 이들의 존재가 새로운 부존자원으로서의 가능성도 타진하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 해수 및 해저 퇴적물에서 균주의 분리

#### 2.1.1. 균주 분리용 배지 및 조성

균주 분리는 일반 eubacteria와 방선균을 대상으로 하였으며 주로 사용된 배지는 eubacteria의 경우 ZoBell 배지를 사용하였고 방선균의 경우는 Bennet 배지와 M3-I 배지를 사용하였다. Bacto-peptone, Bacto-yeast extract 등 배지 성분은 주로 Difco 제품을 사용하였고 배지에 사용된 해수는 냉암소에서 숙성시킨 해수를 솜을 채운 filter로 여과하여 고형 물질을 제거하고 사용하였다. 기타 배지성분에 들어가는 시약은 Sigma 제품을 사용하였으며 배지의 조성은 아래와 같다.

#### ZoBell medium

Bacto-peptone	5 g
Bacto-yeast extract	1 g
FePO <sub>4</sub>	10 mg
Aged sea water	750 ml
Distilled water	250 ml
(Bacto agar)	20 g : 고체 배지의 경우

#### M3-I medium

Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.732 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.466 g
NaCl	0.29 g
Na-Propionate	0.2 g
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.1 g
CaCO <sub>3</sub>	0.02 g
KNO <sub>3</sub>	0.01 g
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.2 mg
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.18 mg
MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.002 mg
Cyclohexamide stock solution	10 ml
Thiamine-HCl solution	10 ml

Aged sea water	750 ml
Distilled water	250 ml

(Bacto agar 20 g 고체 배지의 경우)

Bennet ' s medium

Glucose	2 g
peptone	2 g
Malto extract	1 g
Yeast extract	1 g

Aged sea water	750 ml
Distilled water	250 ml

(Bacto agar 20 g 고체 배지의 경우)  
PH 7.2

2.1.2. 시료 채취 및 접종 방법

퇴적물 시료는 멸균된 50 ml capacity conical tube에 담아 실험실로 운반하였다. 퇴적물 시료에서는 주로 방선균의 분리를 수행하였는데 시료를 멸균 해수에 현탁하여 bath type sonicator로 1 분간 처리한 후 60 °C water bath에서 1 시간 동안 처리하여 일반 세균을 제거하고 10 배씩 희석 시켜 가면서 순차적으로 0.1 ml 씩을 각 배지에 분주한 후 도말하여 colony의 형성을 관찰하였다.

해수 시료는 70 % Ethanol로 멸균된 1 liter 들이 Nalgene bottle에 담아 실험실로 운반하여 처리하였는데 Eubacteria는 10 ml, 50 ml의 해수를 0.22 um membrane filter로 여과하여 이 filter를 ZoBell plate에 올려 25 °C에서 3 일 간 관찰하며 배양하여 형성된 colony를 다시 새로운 ZoBell plate에 3 차 streaking하여 순수 분리하였다. 방선균은 일정량의 해수 (100 ml, 500 ml)를 0.22 um membrane filter로 여과한 후 젖은 상태의 여과지를 유리 petridish에 넣어 60 °C의 oven에서 1 시간동안 건조시켜 포자를 형성하지 않는 대부분의 일반 세균을 제거한 후 이를 M-3I 혹은 Benette 배지 위에 올려놓고 7 일간 배양하여 형성되는 colony를 분리하였다.

2.1.3. 균주 분리 및 장기보존

각 정점에서 채집된 시료로부터 분리된 균주들은 고체배지에서 순수 배양한 후 30 % glycerol을 함유하는 멸균된 해수에 현탁하여 -70 °C에서 장기 보존하였다.

2.2. 해수 및 해저퇴적물로부터 지방 성분의 분리

2.2.1. 해수로부터 지방 성분의 분리

C-18 Sep-pak cartridge 흡착방법.

채수된 1 liter의 해수는 GF/F filter paper (pore size 0.45 um)로 여과하여 미생

물을 포함한 particulated material을 제거한 후 C-18 (ODS) Sep-pak cartridge (Packing volume 5 ml)를 통과하여 유기성분을 흡착시키고 이를 20 ml의 증류수로 세척하여 염분과 약하게 흡착된 비지방성 유기 물질을 제거하고 나서 20 ml의 MeOH을 사용하여 지방 성분을 elution하였다. 강하게 흡착된 성분의 제거를 위하여 n-hexane으로 추가 용출할 경우도 있었으나 이 경우 용출되는 양이 미미하여 정성적인 분석에서는 생략하였다. 용출된 분획은 Rotavaor로 solvent를 제거한 후 Folch solution 5 ml를 가하여 시료를 녹인 후 여기에 녹지 않는 비지방성 물질들을 filtration하여 제거하였다. ODS cartridge에 흡착되는 용존 유기물에는 amino acid, sugar, 일부 nucleic acid 등이 있으나 이들은 Folch solution의 주성분인 chloroform에 용해되지 않으므로 이러한 방식으로 제거할 수 있다. Folch solution에 용해된 지방 성분을 다시 농축한 후 조성을 알기 위하여 TLC 분석을 수행하였다. TLC plate는 Merck사에서 구입한 silica gel F254 plate를 사용하였다.

전개 용매 : 중성지방 : n-hexane : diethyl ether : formic acid (80:20:0.2)  
 인지질 : CHCl<sub>3</sub> : MeOH : DW (65:35:5)  
 전체 지방 : n-Hexane : Diethyl ether (1 : 1)

이와는 별도로 Pyrex 재질의 cap-tube에 옮겨진 총 지방성분에 5 % Methanolic HCl 0.4 ml를 가하고 80 °C에서 1 시간 반응시켜 complex lipid 상태로 존재하는 지방산 들을 지방산 메틸 에스테르로 transmethylation을 완결하였다. 반응이 종결된 후 이 시료에 0.5 ml의 증류수를 가하고 다시 1 ml의 n-hexane으로 3 회 추출한 후 n-hexane 층을 모두 취하여 이를 silica column (packing volume: 1 ml)에 흘려 fatty acid methyl ester 성분을 흡착 시킨 후 추가로 3 ml의 n-hexane으로 column을 세척하여 흡착되지 않은 hydrocarbon 성분을 완전히 용출시켰다. Hydrocarbon 성분을 따로 모으고 column을 다시 n-hexane:EtOAc (1:1, V/V)으로 흘려 fatty acid methyl ester 성분을 분리한 후 각각을 speed-vac으로 농축하여 GC로 분석하였다.

## 2.2.2. 해저퇴적물에서 지방 성분의 분리

시료의 세척 및 건조:

수집된 해저 퇴적물은 멸균된 50 ml capacity conical tube에 담아 실험실로 운반하였다. 함유된 염분을 제거하기 위하여 멸균된 증류수로 3 차례 세척하고 각 세척 단계마다 원심분리기 (5,000 rpm X 10 min)로 회수하였다. 이 과정에서 dissolved 지방성분과 약하게 결합된 여타 수용성 물질들이 염분과 함께 제거되었다. 이를 -70 oC에서 얼려 동결 건조하여 건조시료를 얻었다.

시료의 추출:

건조 중량 1 gram의 시료를 50 ml 들이 저속원심분리기용 Pyrex 유리 원심분리관에 넣고 10 ml의 MeOH을 가하여 Homogenizer (15,000 rpm)로 3 분간 처리한

후 이를 다시 ultrasonicator (KFC-400, Sonic and Materials, USA)로 1 분간 처리하고 다시 chloroform 20 ml를 가하여 동일 과정을 반복하였다. 이를 3,000 rpm에서 3 분간 원심 분리하여 층을 분리한 후 상등 액을 취하고 잔여물에 다시 chloroform 20 ml와 MeOH 10 ml (Folch solution)를 가하여 동일한 추출 과정을 반복하였다. 최종적으로 Folch solution 20 ml로 다시 한번 더 추출한 후 추출액을 모두 합하여 250 ml separatory funnel을 사용하여 합친 액과 동일한 부피의 0.15 M HCl로 1회 역 추출하여 비 지방성분을 제거하였다. 얻어진 유기 용매 층에 무수 sodium sulfate를 더하여 소량 함유된 수분을 제거한 후 미리 무게를 달아둔 pear flask에 Whatman #1 filter로 여과하였다.

#### 시료의 분획:

Rotary evaporator를 사용하여 감압 증류로 용매를 제거한 후 정밀 저울로 무게를 다시 측정하여 추출된 총 지방성분의 양을 결정하였다. 이를 다시 1 ml의 chloroform에 녹여 2 gram (dry weight)의 silica gel이 packing 된 column (Bio-sil A, 200-400 mesh)에 가하여 20 ml의 chloroform으로 씻어내어 중성 및 단순 지방을 분리하고 80 ml의 acetone으로 씻어 당지질 (glycolipid)을 분리한 후 이를 다시 20 ml의 methanol로 씻어 인지질 성분을 분리하였다. 해수 및 퇴적물 중에는 당지질 성분이 거의 나타나지 않아 필요한 경우 이 과정은 생략하기도 하였다. 분리된 분획은 미리 무게를 달아둔 pear flask에 옮겨 rotavapor로 감압 증류하여 용매를 제거하고 무게를 측정하여 함유된 각 지방의 양을 구하였다.

#### 비누화 및 메칠에스테르화:

각 분획을 0.5 M KOH/MeOH 1 ml를 가한 후 80 °C에서 1 시간동안 반응시켜 saponification (비누화)를 완결하고 여기에 5 ml의 증류수불 가하고 Hexane/dichloromethane (10:1) 5 ml로 3 회 추출하여 aliphatic alkane과 aliphatic alcohol등이 포함된 중성 지방성분을 얻었다. 이를 rotary evaporator로 1 차 농축한 후 다시 Speed-Vac (Vision Co., Korea)로 50 ul까지 농축하였다. 이를 Gas chromatograph로 분석하였다.

남은 액을 5 N HCl로 pH를 2 정도로 낮춘 후 동일 용매 5 ml로 3 회 추출하여 지방산이 포함된 acidic lipid를 얻었다. 이를 농축하여 0.3 ml의 5 % Methanolic HCl을 가하여 70 °C에서 1 시간동안 반응시켜 Fatty acid methyl ester로 methylation 시켰다. 반응 액에 증류수 0.4 ml를 가하고 n-Hexane 1 ml로 3 회 추출한 후 n-hexane 층을 speed-vac으로 50 ul 까지 농축하여 GC로 분석하였다.

### 2.2.3. Gas chromatography 분석

#### 전처리;

분석은 주로 fatty acid와 hydrocarbon을 대상으로 하였다. 시료전체를 transmethylation 시킨 후 이를 silica column에 loading한 후 hexane으로 hydrocarbon을 elution 시키고 다시 50 % EtOAc in hexane solvent로 elution 시켜 fatty acid methyl ester를 얻어 speed-vac으로 농축하여 각각 GC로 분석하였다.

분석 조건:

Gas chromatograph는 Hewlett-packard HP5890II plus를 사용했으며 detector는 FID를 사용하였다. Split-splitless injector를 사용하였으며 injection은 hexane에 녹인 시료 1 ul를 주입하였다. Column temperature gradient를 사용하였고 (조건은 table 4-1에 명시) 사용한 column은 fatty acid methyl ester의 경우는 omegawax-320 capillary column (Supelco, USA, 30 m X 0.32 inner diameter)을 사용하였으며 hydrocarbon의 경우는 EC-1 capillary column (Allech Co., USA, 30 m X 0.25 inner diameter)을 사용하였다.

Table 4-1. Condition for Gas chromatography analysis for fatty acid methyl ester and hydrocarbon.

사용 column		FAME	HC
		Omegawax-320 (0.32 cm X 30 m)	EC-1 (0.25 cm X 30 m)
Injector temp (°C)		300	300
Detector Temp (°C)		300	300
Oven temp	Ti (°C)	150	180
	Tf (°C)	260	300
	rate (°C/min)	6	6
Column head pressure (psi)		9	20

Fatty acid methyl ester와 hydrocarbon의 동정은 standard sample의 retention time의 비교와 ECL (equivalent chain length)값을 계산하여 결정하였다. GC 분석에서 standard로 사용된 Eicosapentaenoic acid (EPA)나 Docosahexaenoic acid (DHA) 등의 지방산과 hydrocarbon은 Sigma 제품을 사용하였다.

해수 및 퇴적물에서 분리된 지방 성분의 정성적인 성격확인을 위하여 H-NMR spectrum을 찍어 확인하였다. 이 방법으로는 분리된 지방 성분 중 fatty acid, aromatic 화합물, hydroxyl group의 존재, steroid 화합물의 존재 등을 확인할 수 있으며 특히 aliphatic compound의 존재가 확인될 수 있다.

NMR 측정은 Varian Unity-500을 이용하였다. Proton NMR은 500 MHz에서 측정하였으며 chemical shift는 internal standard 인 TMS (tetramethyl silane)나 CDCl<sub>3</sub>를 이용하여 측정하였다. 모든 NMR 실험은 Varian사에서 공급한 Vnmr software를 이용하였다.



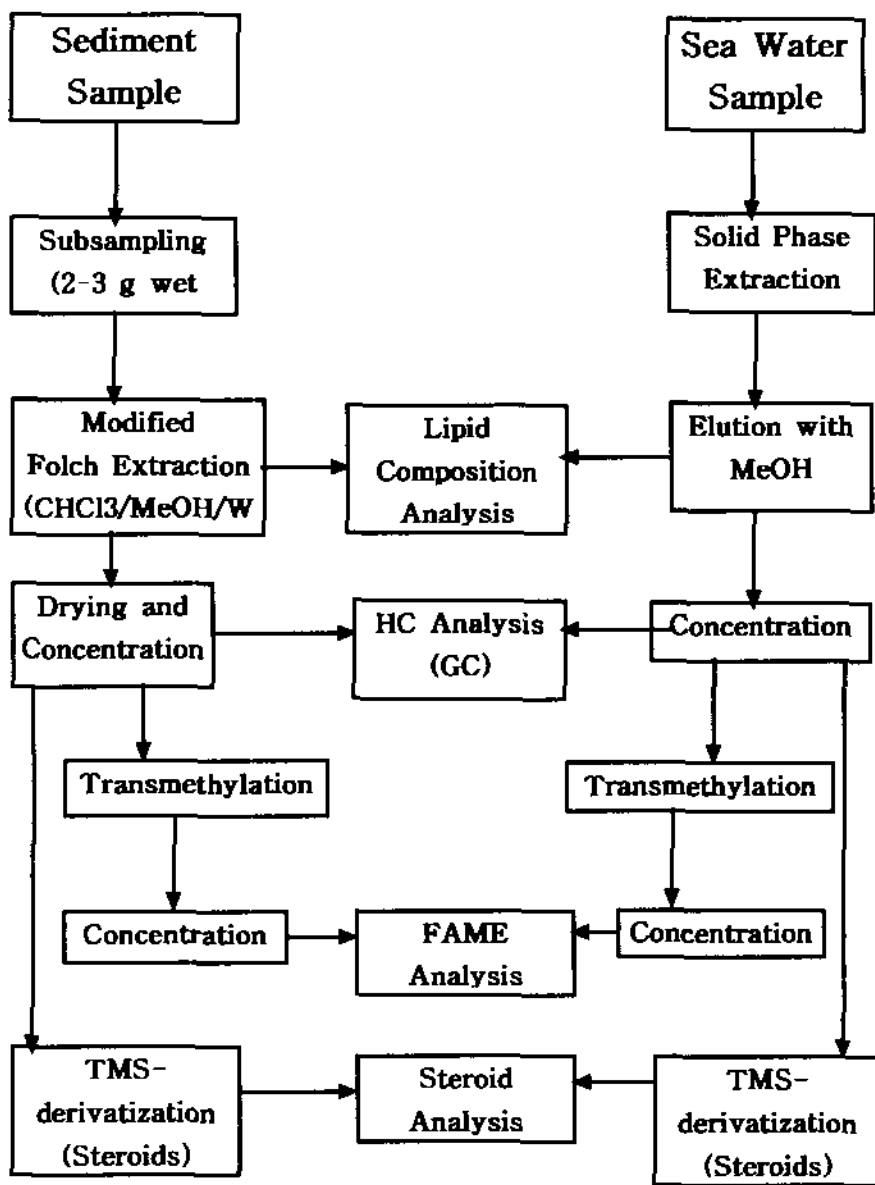


Figure 4-1. General Scheme for Lipid Analysis from sea water and sediment

## 2.3. 유용물질 생산 후보 생물의 분석

### 2.3.1. 생물 시료의 추출 및 분석

#### 2.3.1.1. 추출 및 분획

시료 무게 1 g 당 20 ml의 MeOH를 사용하여 2 회 추출하고 유기 용매층을 제거하고 남은 고형 물질에 다시 methylene chloride (MC: Kg 당 1 liter)를 가하여 2 회 추출하였다. 다시 남아있는 시료를 잘게 갈아서 MC:MeOH (1:1) solution (Kg 당 1 liter)으로 최종 추출하였다. 추출된 유기 용매층을 모두 합한 뒤 rotavapor를 이용하여 유기 용매를 제거하고 여기에 n-BuOH와 물의 혼합 용액 (1:1 (V/V), 2 liter)을 가하여 시료중의 salt를 n-BuOH와 물 사이의 partition을 통하여 제거한다. 여기서 n-BuOH 층을 취하여 solvent를 rotavapor를 이용하여 제거하고 silica flash column chromatography로 각 성분을 분리해낸다. Elution은 100 % n-hexane부터 5 % 씩 EtOAc의 함량을 70 % 까지 증가시켜 가면서 수행하였고 이후에는 100 % EtOAc와 acetone 그리고 최종적으로 methanol (MeOH)로 용출하였다. 각 과정은 vacuum을 걸어서 수행하였으며 elution 시키는 solvent의 양은 각 fraction 별로 500 ml 정도를 사용하였다.

#### 2.3.1.2. TLC 분석

각 분획의 유기 용매를 제거한 후 TLC로 지방 성분의 분석을 수행하였다. 전개 용매로는 n-hexane:diethyl ether (1:1) 용액을 사용하여 전개한 후 plate를 건조시켜 발색 시약 (anisaldehyde-sulfuric acid: anisaldehyde 6 ml, ethanol 108 ml, sulfuric acid 6 ml, glacial acetic acid 1.2 ml의 혼합액)을 뿌린 후 hot plate에서 10 분간 가열하여 나타나는 반점을 관찰하였다. 이 전개 용매 조건에서는 중성 지질만 이동하고 인지질의 경우 원래의 origin에서 이동하지 않으므로 중성 지질과 인지질의 대략적인 조성비를 추정할 수 있다.

#### 2.3.1.3. 분리 정제

EPA의 최종 분리 정제는 HPLC로 수행하였다. Flash chromatography를 수행하여 NMR spectrum 분석 결과 polyunsaturated fatty acid의 함량이 높은 분획들을 모아 농축한 후 Maxi-clean silica cartridge (0.3 g 함유)로 filtration하여 녹지 않는 물질들을 제거하고 30 % EtOAc in n-Hexane을 solvent로 하여 3 ml/min 정도의 flow rate로 HPLC 수행하였다. 사용된 HPLC는 Spectra-Physics P-1000 mono pupm (USA)를 장착하고 detector는 Reflective Index (Shodex RI-71, Japan) detector를 사용하였다. 사용된 column은 YMC-ODS semi-preparative column (1.0 X 30 cm)을 사용하였고 나오는 peak를 분취하여 농축하였다.

## 2.4. Biomarker로서의 steroid 화합물의 분석 기법 구축

Steroid 화합물에 공통적으로 붙어있는 3-OH group은 물질의 polarity를 높이고 이에 따라 boiling point가 상승하므로 그 상태로는 GC analysis가 불가능하거나 매우 어렵다. 이러한 free OH group은 적당한 nonpolar group으로 protection하여 nonpolar 유도체로 전환시킨 후 GC로 분석이 가능한데 이러한 유도체전환에는 trimethyl silyl ether로의 전환 등 여러 종류가 있다. Pyridine, hexamethyl disilazane, trimethylchlorosilane, Bis(trimethylsilyl)acetamide, t-butyldimethylsilyl chloride, imidazole, N,N-dimethyl formamide는 Aldrich (USA) 제품을 사용하였다.

#### -TMS-derivatization

약 10 mg의 hydroxyl 화합물을 0.5 ml의 pyridine에 녹인 후 0.15 ml의 hexamethyl disilazane과 0.05 ml의 trimethylchlorosilane을 가한다. 이 혼합물을 vortex로 30초간 섞어준 후 5 분간 방치하여 반응을 종료한다. 여기서 이 반응액의 일부 (1 ul)를 직접 GC에 injection하여 분석할 수 있다. 또는 반응 후 rotavapor로 solvent를 제거하고 반응물을 5 ml의 n-hexane으로 추출한 후 다시 1 ml의 물로 washing한 후 무수 sodium sulfate로 건조시켜 새로운 hexane에 녹여 차후 분석을 위하여 영하 20 oC에 보존한다.

#### - t-BDMS (t-buthyl dimethyl silyl)-derivatization

1 mmole의 t-buthyl dimethyl silyl chloride와 2 mmole의 imidazole을 10 ml의 N,N-dimethyl formamide에 녹여 만든 silylation reagent 0.5 ml를 10 mg의 시료에 가하고 60 oC에서 30 분간 처리하여 반응을 완결하고 즉시 얼음물에 담가 식힌 후 5 ml의 hexane을 가하여 녹인 후 1 ml의 물로 3 회 추출하여 반응 부산물을 제거한다. 무수 sodium sulfate로 건조시켜 새로운 hexane에 녹여 영하 20 oC에 차후 분석을 위하여 보존한다. t-BDMS (t-buthyl dimethyl silyl)-derivatization은 TMS 방법보다 안정성이 약 10,000배정도 높아 prep TLC에 의한 분리가 가능하다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1. 일반 세균 및 방선균의 분리 및 균주 보존

분리된 균주들은 각각 기질 분해능에 대한 검사를 거쳤으며 -70 °C의 초저온 냉동고에 보존하였다. 균주 분리 현황은 Table 4-2에 명시하였다.

여기서 전체 분리 균주 수 300여종 중에서 기질 분해능을 갖는 것의 함량은 비교적 낮았다. 기질 분해능력은 대개의 경우 일정 농도 이상의 기질의 존재 하에서 유도되는 특성을 갖고 있어 해당 해역에 단백질 등의 기질의 농도가 그리 높지 않음을 시사한다. 이 결과 중 특이한 것은 해양의 대형 해조류의 주요 구성 성분인 한천 (agar)를 분해하는 효소인 agarase를 생산하는 균주가 연안 해역에서 집중적으로 분리되었다는 점이다. 본 균주는 대형 해조류에 기생하여 번식하고 해조류의 구조 성분인 agarose를 분해함으로써 그 구조를 약화시켜 궁극적으로는 해조류의

사멸 과정에도 기여하는 것으로 의심받고 있다.

Table 4-2. Isolation of bacterial strains with substrate digestion activities.

기질	분해효소	분리된 세균 수
단백질	Protease	35
지질	Lipase	37
당	Agarase	54

### 3.2. 해수 시료에서 지방성분의 추출 및 분석

일반적으로 해수에 용해되어 있는 지방의 양은 매우 적어 이를 분석하기 위하여 회수 (추출)하는 방법으로 solid phase extraction (SPE)방법을 사용하였다. 이 방법은 일종의 hydrophobic interaction chromatography로서 hydrophobic ligand를 갖는 resin에 시료를 강제 이송하여 hydrophobic 물질만을 선택적으로 흡착시킨 후 이를 적당한 소량의 용매로 추출해 내는 방법이다. 본 연구에서는 ODS (C18, Octadecyl silane) resin을 사용하였다. 이 경우는 hydrophobicity가 커서 흡착은 매우 강하게 일어나지만 미세 분말 형태이므로 flow rate를 빠르게 하는데 어려움이 있다. 이 경우 적용하는 시료의 양은 대략 200 ml 정도가 적당하였으며 표층수를 사용할 경우는 대개의 지방 성분이 표층에 film 형태로 layer를 형성하므로 훨씬 적은 양의 해수로도 분석이 가능하였다. 대개 분석을 위하여서는 최소 1 mg의 지방 시료를 필요로 하는데 본 연구에서 사용한 ODS-SPE cartridge는 약 3 mg까지의 lipid를 흡착할 수 있으므로 이 cartridge에 완전히 포화될 때까지 해수를 흘려주는 방식을 취하였다. 표층수의 경우는 50 ml 정도의 해수로도 fatty acid methyl ester나 일반 hydrocarbon의 양과 조성을 분석하는데 필요한 지방을 추출할 수 있었으나 그 이외의 시료는 적어도 약 200 ml의 시료를 필요로 하였다. 용존 유기물이 적은 시료의 경우는 해수에 녹아있는 nonpolar aminoacids, pigment 등 lipid 이외의 유기물들도 어느 정도까지는 ODS column에 흡착되는데 MeOH로 elution시킨 후 solvent를 제거하고 이를 다시 Folch solution에 용해시키는 방법으로 lipid가 아닌 amino acid등의 유기물질의 제거가 가능하다.

Solid phase extraction 방법에 의한 해수 1 liter 당 함유되어 있는 지방 성분의 양은 Table 4-3과 같다.

추출된 지방 성분을 TLC로 분석한 결과는 origin에서 이동하지 않는 phospholipid와 Rf : 0.7 근처의 triacyl glycerol이 주성분임을 보여주고 있으며 이 phospholipid의 TLC 분석 결과는 대부분의 phospholipid가 choline이나 ethanol amine, serine 등의 head group이 제거된 형태로 나타나는 점도 특이한 데 이는 이

러한 phospholipid들이 분해 과정에 있다는 것을 시사하고 있다.

추출된 각 지방 성분을 transmethylation 시켜 fatty acid methyl ester와 조성에 있어서는 전반적으로 평이한 지방산 및 hydrocarbon의 조성을 보였다. 특히 지방산 조성의 경우 tetradecanoic acid (14:0), palmitic acid (C16:0)와 stearic acid (C18:0) 그리고 약간의 oleic acid (C18:1)가 주종을 이루는 전형적인 지방산 조성의 특징을 보이고 있으며 이는 앞서의 NMR 결과와 잘 일치하고 있다. 일반적인 해양 시료의 경우 palmitic acid와 stearic acid의 비율이 1.5 : 1 정도로 나타나는데 본 시료의 경우도 대부분의 시료에서 이 범주를 벗어나지 않았다. 육상 토양의 경우는 이와는 달리 이 비율이 0.8 : 1 정도의 경향을 보이고 있으며 이에 더불어 oleic acid(18:1)의 함량이 stearic acid의 0.5 정도에 달하는 경향을 보인다. 해양 시료의 경우 여기에 해양생물 특유의 eicosanoic acid (C20:0) 계열과 docosanoic acid (C22:0) 계열의 지방산 족이 상당량 포함되어 육상 생물체의 유입과 함께 해양생물의 활동이 매우 활발함을 보여준다. 일부 site의 경우 iso-pentadecanoic acid (i-15:0)의 함량이 여타지역에 비해 높게 나타났는데 본 지방산은 육상 유래 대장균의 특이 물질로 알려져 있다는 사실을 참고할 만하다.

Table 4-3. Amount of extractable lipid from sea water collected at Apr. 1998

	site		1	3	5	7	9	11
	line							
Lipid from Sea Water (mg/l)	A	표층	2.9	5.7	4.4	4.2	3.9	
		중층	3.5	3.8	3.4	3.9	3.5	3.8
	B	표층	3.7	4.5	3.7	3.1	3.8	4.6
		저층	3.1	2.9	3.2	3.6	5.5	5.7
	C	표층	2.6	3.4	2.4	2.1	2.9	
		중층	3.8	2.5	2.3	3.1	2.8	
		저층	2.8	2.0	4.2	3.2	4.5	
	D	표층	5.3	3.1	3.0	3.5	3.8	3.5
	E	표층	4.9	5.2	10.2	3.9	4.9	9.2

Hydrocarbon의 경우도 이와 유사한 경향을 보여 생체에 의한 이용도가 높은 짧은 사슬형 hydrocarbon과 일부 고리형 hydrocarbon이 주종을 이루고 있으나 A-1 해역과 A-5 해역의 해수분석에서는 이와는 달리 hydrocarbon의 조성이 전형적인 oil spill에 의한 오염의 형태를 보이고 있다. 즉 일반적으로 관찰되는 짧은 지방

족 화합물들과 함께 retention time 8 분부터 22 분에 걸쳐 일정 간격을 두고 정규 분포의 형태를 보이는 지방족 화합물들의 함유를 보이는데 이는 탄소수 26 정도의 hydrocarbon의 함량이 가장 높은 공업용 유류의 오염에 의한 것으로 사료된다.

### 3.2.1. 해수의 탄화수소의 분석

해수는 각각 10 m 깊이의 해수를 채취하여 분석하였으며 B-line과 C-line은 각 정점별로 상층, 중층, 그리고 저층의 해수를 채취하여 일반 탄화수소 및 지방산 조성을 분석하였다.

A-line의 해수의 hydrocarbon 조성은 sediment의 경우와는 다소의 차이를 보였다. 우선 sediment에서 모든 정점에서 관찰된 유류의 오염 현상이 부분적으로만 관찰되는데 A-5 와 A-9 정점에서 비교적 짧은 사슬의 hydrocarbon의 영향이 나타났다 (Fig. 4-2). 그런데 squalane 계열의 hydrocarbon은 모든 정점에서 뚜렷하게 나타나 긴 사슬 hydrocarbon의 경우 대부분이 분해된 것으로 보여지고 짧은 사슬의 경우는 새로운 유입으로 추정된다. 특히 A-1, A-3 정점에서 뚜렷하게 보이는 pristane이나 phytane의 peak는 함께 유입된 탄소수 20 미만의 짧은 사슬 hydrocarbon이 대부분 분해되고 남은 것으로 사료된다. 그러나 이 역시 남쪽으로 진행될수록 상대치가 감소하는 경향을 보이고 있으며 A-11 정점에서는 유사한 탄소수를 갖는 hydrocarbon에 비하여 두드러지지 않는 분해전의 양상을 보이고 있다. 이러한 해수의 탄화수소 분석은 해수에 포함된 hydrocarbon이 침강하여 퇴적될 가능성과 함께 비교적 낮은 비중을 갖는 짧은 hydrocarbon들이 퇴적된 상태에서 다시 해수 속으로 유입될 가능성을 함께 가지고 있으나 전자의 가능성이 보다 높게 인정되고 있다.

B-line의 해수는 각 정점에서 깊이별로 채수하여 분석하였다. 각 정점에서 표층수와 중간 깊이 해수 그리고 저층수를 취하여 분석하였는데 정점 B-1의 경우는 표층수와 중층수 (10 m 깊이)에서 모두 internal standard로 사용된 tricosane (C23:0)을 기준으로 short chain hydrocarbon group과 long chain hydrocarbon group의 영향이 명백하게 나타나고 있다. 반면에 저층수 (20m 깊이)의 경우 이러한 경향이 훨씬 약해지는 것을 볼 수 있다. 이것은 정점 B-1의 sediment에서 hydrocarbon의 오염이 거의 나타나지 않는 것과 일치하고 있다.

정점 B-3의 경우는 표층에서는 hydrocarbon의 양이 감소하고 있으나 20 m 깊이의 중층에서 영향이 가장 높게 나타나고 있으며 저층수 (40 m)에서도 나타나고 있으며 이러한 경향은 동일정점의 sediment 시료에서도 나타나고 있다. 정점 B-5의 해수는 표층수에서도 B-1의 경우와 유사한 hydrocarbon의 높은 함량을 보이고 있으나 중층수 (30 m)에서는 이러한 경향이 크게 감소한다. 그러나 저층수에서는 다시 hydrocarbon의 영향이 크게 나타나고 있으며 특히 short chain hydrocarbon의 영향이 두드러지고 있다. 동일정점의 sediment에서는 이러한 hydrocarbon의 영향이 거의 없었던 점으로 미루어 이러한 탄화수소의 유입 (침강)이 진행중인 것으로 사료된다. 정점 B-7의 경우도 이와 유사하나 표층에서 깊이가 더해갈수록 hydrocarbon의 영향이 감소하고 있다. 그러나 10 m 깊이 해수의 경우 13.5 분 근

처의 squalane 계열의 branched hydrocarbon이 높은 농도로 남아 있으나 여타 긴 사슬 hydrocarbon은 거의 소멸되어 분해의 진행을 보여주고 있으며 저층 해수의 경우도 이와 유사한 형태를 보여준다. 단 squalane peak 이외에도 14.3 분 근처의 2 개의 peak가 함께 나타나는데 비정상적으로 높은 농도를 보이고 있는 이들은 탄소수 28과 29 에 해당되는데 이들의 원천에 대해서는 확인되지 않았다.

정점 B-9의 경우는 깊이별로 큰 차이를 보이지 않는다. 주로 short chain hydrocarbon의 영향이 주로 나타나고 있으며 long chain hydrocarbon은 squalane peak이외에는 거의 검출되지 않아 안정화된 양상을 보여준다. 또 정점 B-11의 경우도 정점 B-9와 유사하나 중층 (10 m) 깊이에서 보다 높은 short chain hydrocarbon (SCHC)의 영향이 나타나고 있음을 보여주고 있다. 이러한 B-line에서의 hydrocarbon의 분포는 해수에서의 결과가 동일 정점에서 sediment에서는 발견되지 않는 경우가 일반적이는데 이것은 이러한 hydrocarbon의 흐름이 남북방향이 아닌 동서 방향임을 시사하고 있다. 즉, 육지로부터의 유입과 이에 수반하는 단순 확산이 아니라 동서로 흐르는 해류의 영향이 보다 절대적임을 보여주고 있다.

C-line에서의 시료도 각 정점에서 깊이별로 채취하여 분석하였는데 C-1 정점의 저층수 (30 m)에서 역시 14.3 분의 branched HC의 존재가 크게 나타나고 있으며 이러한 경향은 깊이에 따라 심화되는 형태로 나타나고 있다. 반면에 sediment에서는 long chain HC의 영향이 나타나고 있다. C-3 정점에서도 short chain HC의 영향은 모든 깊이에서 상존 하고 있다. 그리고 14.3 분의 branched HC은 중층 시료 (30 m)에서 가장 크게 나타나고 있으며 sediment에서는 long chain HC의 축적이 보인다. 정점 C-1의 저층수와 C-3의 중층수의 깊이가 동일한 30 m임을 고려하면 이 해역 근처에서 이 branched HC의 흐름이 계속되고 있음을 시사하고 있다.

정점 C-5에서도 SCHC의 영향이 주로 나타나고 있으며 표층수, 중층수 (30 m), 저층수 (80 m)에서 모두 squalane 계열의 branched HC의 peak가 검출되고 있어 위의 결론을 뒷받침하고 있으며 sediment의 결과도 C-5 정점에서는 retention time 15-18 분에서 몰려서 나오는 고리형 HC group이 검출되고 있다. C-7 정점에서는 표층수를 제외하고는 윗 쪽 정점들에서 보이는 SCHC의 영향은 나타나지 않고 있으나 저층수인 115 m의 해수에서는 예의 branched HC의 강한 peak와 함께 LCHC의 영향을 볼 수 있다. 이러한 경향은 인접한 정점 C-5의 sediment 시료의 hydrocarbon 분석결과와 비교할 때 많은 유사점을 보이는데 이는 정점 C-7에서 정점 C-5로 물질의 이동이 있었던 것으로 추정할 수 있다. 정점 C-9의 경우는 깊이에 따라 hydrocarbon의 함량이 증가하는 경향을 보이는데 short chain hydrocarbon과 long chain hydrocarbon 그리고 branched hydrocarbon 모두가 저층수 (115 m)에서 가장 높은 값을 보여 이들 유입물질의 퇴적이 상당기간 계속되고 있음을 보여주고 있다. D-line은 각 정점에서 10 m 깊이의 해수를 중심으로 분석을 수행하였는데 역시 육지에 근접한 D-1 정점에서 육상 유입으로 보이는 hydrocarbon의 함량이 매우 높았다. 즉 retention time 4 - 10 분까지 나오는 short chain HC와 함께 12분에서 18분 사이의 long chain HC group이 함께 검출되는데 D-3 정점에서는 long chain HC의 영향이 점차 사라져 정점 D-5와 그 아래 D-7, D-9, D-11 정점들에서는 squalane 계열의 branched HC만이 흔적으로 남고 거의 모든 long chain

HC의 영향이 사라지고 있다. 이러한 경향은 앞서의 D-line의 sediment 분석결과 는 상당량의 long chain HC의 영향이 존재하는 사실과 차이를 보이고 있으며 D-1 정점을 시작으로 수평거리의 증가에 따라 침전이 이루어지고 있는 것으로 사료될 수 있다. 또는 long chain HC가 해수 중에서 수화 (hydration)되어 침전되는 과정이 상당기간 이전에 이루어졌을 가능성도 고려할 수 있다.

반면에 부산항 아래쪽인 E-line에서는 전 정점에서 short chain hydrocarbon의 영향과 함께 14.3 분에서 보이는 branched HC의 검출이 확연하게 나타나고 있다. 물론 E-line의 경우는 각 정점간의 거리도 고려할 필요가 있으나 정점 E-1, E-2, E-3, 그리고 E-5까지 모두 다소의 long chain HC의 영향도 나타나 이러한 탄화수소의 유입이 현재에도 지속적으로 일어나고 있다고 여겨진다. 이러한 경향은 각 정점에서의 sediment 시료의 분석에서도 동일하게 나타나고 있는데 특히 E-5의 경우 탄소 수 30 이상의 heavy oil의 유입이 관찰되고 있다. 이 해역은 예년의 분석에서도 유류 오염으로 의심되는 long chain hydrocarbon의 영향이 관찰되었던 바 있어 부산항을 중심으로 선박이나 기타 물류의 유동이 많아 상시 육상유래 물질의 유입이 가능한 해역으로 사료된다.

### 3.2.2. 해수의 지방산 조성 및 함량 분석

해수에 용존되어 있는 지방 종류 중 지방산을 포함하고 있는 종류는 triacyl glycerol 등의 glyceride 종류와 phospholipid 가 주종을 이루는 것으로 여겨지고 있다. 이들은 모두 생물체에서 세포막의 주요 구성 성분이거나 저장성 지방의 형태로 생물에 포함된 것으로서 이러한 화합물로부터 지방산의 분석은 생물 유래 물질의 유동 및 분포를 확인할 수 있는 자료로 이용된다. 또한 이들 지방 성분의 화합물은 물에 대한 용해도가 낮아 수중에서 완전한 용해보다는 자체 분자들끼리 엉겨있는 양상을 보이고 있고 또 다른 종류의 수용성 생체 유래 물질들 (DNA 나 RNA 등 nucleic acid, cell wall의 주성분인 sugar 종류, 단백질이나 아미노산 등)과는 달리 단순한 확산보다는 실질적인 해수의 이동에 따른 물질의 이동을 보여줄 수 있다고 여겨진다.

A-line 해수에서의 지방산 조성은 hydrocarbon의 분석에서 나타났듯이 육상 유래 생체 물질의 유입을 보여주는데 모든 정점에서 dodecanoic acid가 검출되고 있으며 A-1, A-3, A-5 정점에서는 odd chain fatty acid인 tridecanoic acid와 pentadecanoic acid등이 검출되고 있다. 이와 동시에 eicosanoic acid 계열과 EPA의 검출은 해양 생물의 활동의 결과인데 상대적으로 낮게 나타나고 있고 육상 유래 물질 유입의 추적자로 흔히 이용되는 tetracosanoic acid (24:0)도 고르게 검출되고 있으며 특히 A-11 정점에서 강하게 나타나고 있다 (Fig. 4-3). Hydrocarbon의 경우는 공업 활동의 결과 나오는 불완전 연소 연기 등 aerosol이 바람을 따라 이동하여 강우시 해수로 유입될 수 있으나 지방산의 경우는 하천 및 해류의 운동 결과 유입되는 것이 주된 경로로 생각된다.

B-line에서의 해수는 각 정점에서 깊이별로 채수 분석하였는데 B-1 정점의 경우 표층수와 중층수(10 m)에서 매우 특이하게 다량의 tetradecanoic acid와



iso-pentadecanoic acid (i-15:0)가 검출되는데 이양은 다른 해역 시료와는 달리 major fatty acid인 palmitic acid보다 약 1.3 배 많은 경향을 보인다. 이는 해수 중 세균의 활동이 매우 활발함을 보여주고 있는데 이 해역이 진도 서쪽의 육지에 인접된 해역임을 고려할 필요가 있으며 실제로 해수 중의 세균의 활동 정도를 나타내는 지표인 extracellular digesting enzyme의 활성을 조사할 필요가 있다고 사료된다. 이들 지방산의 함량은 불과 20 m 깊이임에도 깊이에 따라 현격하게 감소하는 추세를 보이고 있다는 점도 특기할 만하다. 보통 하구 일원에서 육상 유래 미생물의 다량 유입의 경우 이러한 상황을 생각할 수 있는데 밀도가 낮은 담수와 여기 포함된 생물들이 20 m 정도의 깊이에도 완전한 혼합을 이루지 못하고 층을 이루게 되면 이와 같은 경향을 보일 수 있다.

정점 B-3의 경우는 특이한 경향을 보이고 있지 않으나 정점 B-5는 저층 해수 (50 m)는 매우 높은 palmitic acid의 함량을 보인다. 이것은 이 해역에 과거 bloom이 있었음을 추정하게 해준다. 이 시료에서는 또 oleic acid의 함량도 매우 높게 나타나고 있고 odd chain fatty acid도 고르게 검출되고 있어 퇴적물 근처에서 미생물의 활동이 활발한 해역으로 여겨진다. B-7 정점의 시료도 저층(50 m)에서 linolenic acid (18:3)의 함량이 매우 높는데 이 지방산은 일부 육상 식물의 주요 지방산일 뿐 아니라 식물성 plankton의 엽록체에 다량 함유되어 있는 것으로서 식물성 plankton의 bloom 후 침전된 형태가 아닌가 추정된다. 정점 B-9의 경우는 깊이별로 큰 차이를 보이고 있지 않아 지방산의 조성이 안정된 형태를 보이고 있으며 깊이가 깊어짐에 따라 단순화하는 경향 등 전형적인 해수 중 지방산 조성의 특징을 잘 보여주고 있다. 정점 B-11의 특이한 점도 저층 (50 m)에서 나타나는데 heptadecanoic acid의 함량이 stearic acid와 비슷한 수준을 보이고 있어 육상 세균의 유입과 활동이 추정된다.

C-line 역시 각 정점에서 깊이별로 해수를 분석하였다. 정점 C-1은 표층해수에서 매우 전형적인 해수의 지방산 조성 형태를 보여주고 있으나 20 m 깊이에서는 tetracosanoic acid가 검출되는 등 육상 물질 유입의 흔적을 보여주고 있으며 12.8 분 근처의 eicosadienoic acid (20:2)가 나타나고 있다. 본 지방산은 해양 생물 특유의 지방산으로 일부 패류나 동물성 plankton 그리고 해조류 등에서 주로 발견되는 것으로 알려져 있다. 30 m 깊이의 저층 지방산에는 linolenic acid (18:3)의 함량이 매우 높는데 이 지방산은 B-7 정점의 저층 해수에서도 발견된 것으로서 식물성 plankton의 bloom 후 침전된 형태를 추정하게 한다. C-3 정점에서도 eicosanoic acid와 eicosenoic acid (20:1)가 나타나고 있는데 표층이나 50 m 깊이의 저층보다는 30 m 깊이의 중간층해수에서 이들의 함량이 높게 검출되었다. 이와 함께 표층수에서 i-15:0과 i-17:0 등이 검출되었다. 또 tetradecanoic acid는 3 깊이 모두에서 나타나고 있다. 정점 C-5 역시 표층수에서는 매우 복잡한 양상을 보여 i-15:0, a-15:0, i-17:0 등의 branched fatty acid와 18:1, 18:2, 18:3, 20:1, 20:2 등의 unsaturated fatty acid가 기본적인 palmitic acid와 stearic acid와 함께 나타나고 있다. 여기에 높은 농도의 DHA (22:6, retention time 17.5 분)이 함께 검출되고 있다. DHA는 EPA와 함께 일부 미세 조류의 주요 구성 지방산으로 산화에 매우 약하므로 이들이 분해되지 않은 형태로 검출되는 것은 본 시료에서 추출된 지방 성분이 생물체로부터 유출

된 지 얼마 되지 않은 신선한 상태임을 말해주고 있다. 중층해수(30 m)와 저층 해수(85 m)에서는 DHA의 양은 감소하고 있으나 뒤로 long chain fatty acid가 검출되는데 24:0, 28:0, 30:0, 등이 나타나고 있다. 정점 C-7에서도 전 깊이에서 이러한 long chain fatty acid가 검출되는데 24:0, 26:0, 28:0, 30:0, 등이 나타나고 있으며 이들의 함량은 깊이에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 또 한가지 이 정점의 특징은 stearic acid의 함량이 palmitic acid와 거의 비슷하거나 오히려 더 높게 나타나는 점인데 이는 이 정점의 동쪽인 D line과 E-line에서 공통적으로 발견되는 현상으로 그 영향이 미치고 있는 것으로 여겨진다. 저층 해수(115 m)에서 linolenic acid의 높은 농도의 검출은 B-7 정점이나 C-1 정점에서도 발견되는 현상으로 역시 식물성 plankton의 침강의 결과로 해석된다. 정점 C-9는 정점 C-7에서 나타났던 stearic acid의 palmitic acid에 대비한 높은 함량이 계속되고 있어 D 및 E-line의 영향이 남쪽으로 진행될수록 확산되어 가는 양상을 보이고 있다. 이와 함께 24:0, 26:0, 28:0, 30:0, 등의 long chain fatty acid의 검출도 계속 나타난다. D-line 지방산 조성의 전반적인 경향은 북부의 정점들에서는 해수의 전형적인 형태에 육상의 약한 영향이 혼합된 형태로 나타나고 있다. 즉 palmitic acid와 DHA가 주로 검출되고 여기에 i-15:0, a-15:0, i-17:0 등의 branched fatty acid가 함께 나타나고 있다. 그런데 정점 C-7, 9에서 나타난 stearic acid의 palmitic acid에 대비한 높은 함량이 D-line의 전 정점에서 공통적으로 보인다. D-7 정점에서는 22:0, 24:0, 26:0, 28:0 등의 long chain fatty acid가 검출되고 있다.

E-line의 지방산 조성은 전반적으로 D-line과 유사한 형태를 보이고 있으나 육상 유입 물질들의 영향이 좀더 증가된 양상을 보인다. Palmitic acid와 DHA가 주로 검출되고 여기에 i-15:0, a-15:0, i-17:0 등의 branched fatty acid가 함께 나타나고 있는데 특히 E-5 정점에서는 DHA가 매우 높은 함량을 보이고 있다. 또 stearic acid의 palmitic acid에 대비한 높은 함량이 D-line의 경우처럼 전 정점에서 공통적으로 보이고 있으며 E-5 정점에서는 oleic acid의 함량도 높은 값을 보인다. 또 24:0, 26:0, 28:0 등의 long chain fatty acid는 E-1에서 가장 높고 아래로 이동할수록 감소하는 경향을 보이는데 이러한 점은 D-line에서도 발견되어 E-1 정점 근처가 이들 long chain fatty acid의 유입 경로로 추정되며 이 정점이 부산항에 인접한 곳임을 고려하면 항만의 선박이나 낙동강에서의 유입이 주된 원인 중의 하나가 아닌가 생각된다.

### 3.3. 해저 퇴적토에서 lipid 추출 및 분석

해저퇴적토에는 근간을 이루는 광물질 이외에 여러 종류의 다양한 유기물질이 함유되어 있다. 이들은 유영생물 혹은 부유 생물들의 사멸 시 침강된 잔해를 위시해서 육상에서 유기물질의 형태로 유입된 분진 등 그리고 저서면에 서식하는 저서생물 및 미생물유래의 물질들이다. 해수에서의 경우와 마찬가지로 퇴적토 시료에서 지방성분을 추출 분석하였다. 퇴적물 시료의 경우는 단위 무게당 추출 가능한 지방 지방성분의 양이 해수보다는 훨씬 많아 건조 중량 약 1 gram으로 분석이 가능하다. 추출되는 지방 성분의 양은 해역에 따라 차이를 보이고 있으나 10

Table 4.4. Composition of hydrocarbon in sea water (Apr. 1998)

HC	A1	A3	A5	A7	A9	B1-0	B1-10	B1-20	B3-0	B3-30	B3-40	B5-0	B5-30	B5-50	B7-0	B7-10	B7-50	B9-0	B9-10	B9-50	B11-0	B11-10	B11-50	C1-0	C1-10	C1-30
14.0	0.0	0.0	0.0	13.0	16.9	11.3	0.0	0.0	2.4	22.6	3.4	19.7	4.0	4.8	0.0	10.7	6.3	0.0	4.3	0.0	5.9	7.7	1.8	4.7	14.5	
15.0	0.0	0.0	7.9	0.0	22.5	21.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	14.2	6.0	14.9	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	10.0	
16.0	7.6	5.4	19.8	5.8	40.2	11.6	38.1	11.1	6.6	14.1	14.7	25.2	0.0	21.3	27.3	11.1	30.6	17.3	12.5	15.1	9.4	16.0	0.0	9.6	6.6	16.4
17-br	0.0	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	42.8	11.7	31.1	24.7	0.0	6.3	0.0	12.0	0.0	12.3	0.0	0.0
17.0	0.0	0.0	18.0	1.2	7.7	6.7	17.5	7.4	11.8	3.9	8.0	44.4	6.0	26.8	51.7	17.0	44.2	23.7	18.6	7.0	5.4	34.4	4.0	20.4	14.3	9.8
Prista	7.7	4.6	7.2	0.0	50.6	9.4	25.4	0.0	0.0	0.0	0.0	26.1	0.0	32.5	49.7	20.1	24.9	36.9	26.4	11.1	16.1	32.3	11.1	14.5	9.9	9.8
18.0	0.0	0.0	18.9	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19-br	0.0	0.0	44.0	23.7	16.4	58.5	43.4	11.5	23.3	35.1	51.6	65.1	0.0	50.4	76.3	26.9	33.5	34.8	14.2	13.8	21.2	33.7	35.1	22.0	16.7	0.0
19.0	74.5	44.0	23.7	16.4	58.5	43.4	11.5	23.3	35.1	51.6	65.1	0.0	50.4	76.3	26.9	33.5	34.8	14.2	13.8	21.2	33.7	35.1	22.0	16.7	0.0	
20.0	47.5	24.0	15.7	7.1	0.0	0.0	27.7	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.6	34.6	14.0	28.2	39.6	35.3	6.3	10.7	43.8	11.1	15.1	10.1	0.0
21-br	0.0	0.0	9.6	0.0	31.7	0.0	14.7	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	30.7	38.9	4.3	23.8	31.4	7.4	2.8	6.0	29.5	19.1	17.9	12.4	10.2
21.0	21.3	3.7	11.4	1.8	38.2	26.6	36.6	8.8	9.1	6.6	21.9	25.2	0.0	30.7	38.9	4.3	23.8	31.4	7.4	2.8	6.0	29.5	19.1	17.9	12.4	10.2
22-br	13.4	0.0	0.0	0.0	27.3	12.8	15.3	6.5	0.0	6.8	11.5	9.6	13.8	13.1	31.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22.0	22.6	10.8	22.0	7.3	30.5	15.3	28.4	6.7	7.5	11.0	14.7	11.0	0.0	27.9	23.0	9.0	17.3	16.8	13.1	2.8	0.0	18.7	10.6	12.2	8.2	0.0
23.0	16.7	7.1	11.4	1.9	59.0	26.8	12.7	11.0	2.6	6.6	7.4	6.2	15.0	23.6	39.7	6.3	13.3	17.7	7.9	7.1	6.5	15.9	10.3	4.4	5.6	5.2
NI	7.4	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	29.9	5.7	8.5	9.3	9.8	3.5	0.0	9.2	0.0	1.5	6.4	6.9
24-br	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	19.6	4.0	0.0	5.0	11.3	3.8	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
24.0	8.3	3.5	5.6	8.0	29.0	14.0	43.0	55.0	59.0	71.0	65.0	61.0	74.0	57.0	71.0	55.0	8.5	62.0	52.0	59.0	58.0	63.0	155.0	51.0	42.0	45.0
25.0	0.0	0.0	5.1	0.0	8.8	156.2	125.0	111.1	110.7	143.1	138.5	123.5	148.1	113.0	142.8	103.6	0.0	119.9	194.7	119.7	117.9	125.7	316.0	100.1	83.4	90.4
26.0	11.2	7.7	0.0	0.0	11.8	16.1	12.8	11.0	6.0	16.1	13.8	21.0	17.2	16.4	15.9	6.0	7.8	6.7	11.3	6.6	7.4	9.7	10.3	0.0	0.0	18.1
27.0	18.0	8.1	7.7	4.0	24.0	8.2	0.0	7.3	0.0	8.2	7.4	7.1	0.0	9.5	8.0	0.0	10.9	5.6	0.0	3.8	2.2	0.0	2.7	0.0	1.1	0.0
27-br	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	24.3	7.6	7.0	0.0	21.2	17.5	9.3	26.2	8.3	8.9	0.0	50.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
27.1	11.1	0.0	0.0	0.0	18.6	24.3	7.6	7.0	0.0	21.2	17.5	9.3	26.2	8.3	8.9	0.0	50.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
28.0	9.5	9.0	12.5	8.9	12.5	22.0	16.4	16.5	15.2	19.2	21.5	27.4	27.9	34.2	34.8	31.4	612.3	31.6	23.0	30.4	41.5	54.4	42.6	8.3	33.0	311.9
29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	8.6	5.6	7.0	8.8	10.9	13.6	21.5	12.3	12.9	12.4	1107.2	13.8	17.8	15.1	17.0	26.3	30.6	0.0	0.0	1148.6
30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	10.8	10.0	9.7	1.1	6.0	7.7	17.9	11.2	11.3	6.6	2.1	6.0	2.9	0.0	1.0	0.0	3.6	6.3	0.0	0.0	0.0
31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	13.6	12.0	16.6	0.0	10.0	0.0	9.3	15.4	7.0	6.7	2.1	8.4	1.8	0.0	0.0	0.0	13.8	4.6	0.0	0.0	0.0
32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8	7.6	9.9	2.9	7.3	9.0	5.2	13.3	0.0	7.4	0.0	6.2	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	22.9	0.0	18.5	0.0	8.5	7.7	6.2	4.1	0.0	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	6.8	0.0	0.0	0.0	13.6	0.0	7.1	0.0	4.2	4.2	0.0	15.7	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	6.4	10.8	7.2	0.0	6.2	7.0	5.9	0.0	4.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	2.9	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	4.4	0.0	3.7	1.9	0.0	1.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
SUM	283.0	136.4	232.2	62.3	629.3	593.4	612.6	349.8	268.5	452.0	461.6	536.8	416.9	635.6	834.9	355.8	2191.3	632.1	495.0	342.9	317.0	591.6	725.0	310.8	267.0	1934.8

Table 4.4. Composition of hydrocarbon in sea water (Apr. 1998)

	HC	C3-0	C3-C3	C3-50	C5-0	C5-30	C7-0	C7-50	C7-115	C9-0	C9-80	C9-115	D1	D3	D5	D7	D9	D11	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E9	
14.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	3.7	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
15.0	0.0	0.0	0.0	4.2	6.3	0.0	0.0	0.0	4.5	5.5	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	8.7	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	
16.0	4.6	4.7	5.4	6.6	10.0	6.1	0.0	12.4	0.0	11.7	13.8	32.8	36.6	15.2	21.3	13.4	19.7	11.4	27.4	21.4	16.0	7.4	16.8	24.0		
17-br	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	5.3	0.0	7.5	0.0	7.3	10.0	34.2	32.0	18.9	0.0	13.4	28.8	9.2	26.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
17.0	5.2	14.3	6.4	24.6	9.2	10.5	5.0	0.0	14.6	0.0	17.0	19.8	30.2	48.9	28.4	28.9	22.1	35.0	13.4	19.5	28.5	39.9	6.6	0.0	26.2	
18-br	0.0	0.0	0.0	28.1	4.5	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	19.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
18.0	2.2	5.8	9.3	13.7	16.4	11.7	3.8	0.0	12.1	0.0	13.8	14.9	49.4	34.3	26.9	41.7	27.1	38.2	18.3	43.5	13.5	29.8	12.0	12.3	21.5	
19-br	13.1	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	9.3	0.0	21.5	3.9	0.0	18.9	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	17.8	0.0	19.4	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	
19.0	0.0	17.4	5.6	23.1	22.6	19.2	0.0	0.0	4.2	16.5	19.2	36.3	50.1	28.6	25.1	23.2	24.0	26.2	35.7	15.6	31.4	32.3	27.6	25.8		
20.0	0.0	6.1	11.5	25.1	12.8	12.9	2.4	0.0	0.0	13.1	14.5	40.3	24.3	18.4	0.0	31.2	36.7	15.8	23.4	0.0	30.9	16.2	22.7	0.0	0.0	
21-br	0.0	9.1	4.7	22.8	7.3	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	8.0	0.0	32.2	0.0	18.9	14.0	15.4	0.0	12.0	0.0	14.9	8.1	6.5	0.0	
21.0	7.6	12.4	15.8	16.3	12.3	17.5	5.7	0.0	20.4	0.0	17.3	19.0	50.8	43.9	8.2	41.2	37.3	43.2	19.2	22.6	8.0	24.2	3.9	22.3	12.0	
22-br	0.0	8.5	11.3	15.3	12.2	6.6	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	20.9	6.8	12.2	0.0	11.8	0.0	
22.0	4.4	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	6.6	15.4	38.2	28.9	23.3	18.2	34.4	22.3	19.0	37.1	7.2	19.1	0.0	23.6	15.4	
23.0	5.7	7.9	6.7	10.8	6.3	11.2	4.3	3.6	9.3	3.3	8.9	8.9	33.1	31.2	11.5	21.8	28.4	18.0	23.2	13.5	6.9	22.6	11.6	20.6	0.0	
NI	5.6	5.3	8.4	119.4	6.9	7.6	0.6	4.4	0.0	4.0	5.1	6.3	30.2	0.0	9.8	0.0	23.0	18.0	16.0	13.8	18.9	13.3	5.5	15.9	0.0	
24-br	3.9	3.8	5.0	6.3	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	3.9	27.0	0.0	0.0	0.0	13.9	15.8	9.8	6.4	7.7	0.0	0.0	9.0	11.3	0.0	
24.0	2.0	42.0	51.0	7.0	40.0	32.0	51.0	52.0	50.0	48.0	53.0	40.0	13.0	61.0	5.6	11.0	65.0	62.0	58.0	62.0	71.0	84.0	72.0	62.0	62.0	
25.0	0.0	82.4	98.7	8.0	79.2	64.4	100.7	105.0	101.6	98.4	107.3	81.1	0.0	117.7	0.0	109.9	114.5	119.0	88.9	131.4	135.1	169.2	139.1	112.5	124.9	
30	5.1	3.8	0.0	6.7	0.0	6.5	3.9	0.0	6.4	0.0	4.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6	0.0	4.7	0.0	
26.0	0.0	1.9	6.7	35.9	0.0	5.1	4.7	3.0	9.4	4.1	8.2	5.0	23.5	14.3	0.0	20.5	15.7	8.1	18.9	16.5	14.9	38.0	11.1	27.1	17.5	
27-br	2.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	0.0	4.3	0.0	0.0	
27.0	4.7	4.3	0.0	7.7	0.0	6.5	19.9	1.7	15.1	0.0	0.0	5.1	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	22.5	9.9	21.3	0.0	19.0	13.2	
27.1	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7	0.0	0.0	4.4	47.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	35.5	21.3	29.2	28.7	26.6	23.7	
28.0	26.9	65.9	13.3	0.0	16.1	26.0	0.0	2.3	243.3	5.3	29.1	0.0	51.0	40.3	6.4	36.3	34.7	40.8	47.1	70.6	0.0	0.0	0.0	52.6	78.8	
29.0	1.5	42.9	26.0	0.0	0.0	18.2	12.9	0.0	927.0	15.0	19.1	18.5	32.0	27.5	0.0	36.5	35.5	29.0	79.2	117.4	125.4	143.5	133.2	127.5	135.1	
30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.9	8.2	19.0	19.4	0.0	9.7	0.0	
31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	12.1	24.5	29.5	4.1	6.6	9.9	
32.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1	0.0	3.6	0.0	19.3	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	10.2	17.4	20.2	25.3	4.0	8.7	12.6	
33.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	5.4	7.1	9.9	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	10.3	0.0	9.9	0.0	0.0	9.3	0.0	
34.0	1.1	1.0	0.0	0.0	10.2	0.0	2.5	0.0	20.5	0.0	8.9	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	0.0	7.2	0.0	5.7	0.0	0.0	
35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	10.9	0.0	0.0	0.0	4.9	9.9	
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	2.5	6.4	4.3	0.0	21.5	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	301.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	1.4	19.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.8	35.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	77.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUM	98.6	249.9	295.1	376.4	381.1	307.6	242.6	175.9	1544.0	190.3	364.0	415.3	1121.3	623.2	214.1	445.3	560.8	662.8	650.1	859.8	611.9	836.2	531.3	682.6	611.5	

Table 4.5. Composition of fatty acid in sea water (Apr. 1988)

脂肪酸名	脂肪酸名 (μg/l) dissolved																												
	FA	A1	A3	A5	A7	A9	B1-0	B1-10	B1-20	B3-0	B3-40	B5-0	B5-30	B5-60	B7-0	B7-10	B7-67	B9-0	B9-99	B9-10	B11-0	B11-31	B11-60	C1-0	C1-30				
I-13:0	0.0	5.8	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
I-13:1	10.1	7.6	8.7	2.7	4.0	5.9	7.1	3.8	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
I-14:0	0.0	4.8	7.4	0.0	0.0	51.0	57.6	3.8	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	19.2	0.0	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
I-14:1	24.8	35.3	39.1	6.1	5.9	6.5	26.1	9.0	7.1	5.2	5.9	22.4	36.8	6.0	32.2	20.4	18.9	22.3	6.9	18.6	16.6	16.6	25.4	4.7	0.0	18.4	0.0		
I-15:0	10.5	14.4	12.0	0.0	0.0	3.5	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	0.0	9.4	11.3	4.0	9.1	0.0	5.3	3.2	7.8	0.0	4.7		
I-15:1	14.8	17.1	10.8	0.0	0.0	4.3	9.3	4.9	14.1	4.4	1.7	0.0	2.3	16.9	0.0	17.6	15.4	7.1	11.0	25.7	7.5	8.6	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0		
I-16:0	7.7	8.5	11.8	3.3	0.0	32.2	33.2	3.2	0.0	2.5	0.0	0.0	12.0	4.9	16.9	11.0	5.3	0.0	0.0	4.8	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
I-16:1	0.0	5.2	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	6.7	0.0	5.3	8.5	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-17:0	7.5	6.8	10.0	0.0	2.9	2.5	7.1	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	10.3	8.3	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-17:1	12.4	8.9	13.3	0.0	0.0	1.9	4.0	3.3	16.7	9.1	0.0	5.9	8.4	14.4	7.2	16.9	14.5	11.5	3.5	0.0	2.8	14.0	11.7	5.3	2.8	12.2	0.0		
I-18:0	37.0	59.1	51.6	7.7	13.0	18.7	35.5	21.4	27.6	19.4	18.0	17.3	18.1	35.5	23.1	29.2	35.7	16.5	0.0	0.0	8.3	13.6	0.0	9.3	0.0	8.2	0.0	0.0	
I-18:1	0.0	57.1	66.7	5.3	9.9	0.0	0.0	9.5	0.0	11.8	7.0	11.1	13.3	70.2	14.0	26.9	22.3	23.8	20.8	16.2	22.2	20.4	37.5	25.3	13.0	16.2	0.0	0.0	
I-18:2	25.1	41.6	43.7	4.3	3.6	11.8	14.8	6.0	17.6	9.4	6.2	11.8	15.1	22.0	11.9	12.1	19.1	11.1	28.0	14.3	23.0	29.0	36.2	0.0	5.8	15.0	0.0	0.0	
I-19:0	2.5	4.2	4.4	1.0	1.0	1.0	1.2	1.5	1.0	1.8	1.0	1.0	1.5	2.2	1.2	1.2	1.8	1.1	2.6	1.4	2.3	2.9	3.6	1.0	1.0	1.5	0.0	0.0	
I-19:1	20.6	5.4	0.0	0.0	5.6	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	8.5	0.0	100.0	228.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I-20:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	4.3	8.7	6.4	3.5	0.0	0.0	5.1	0.0	61.4	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-20:1	16.6	21.8	24.3	5.5	3.9	10.1	12.5	6.6	16.5	14.4	6.0	5.8	0.0	8.8	14.4	6.1	0.0	4.2	0.0	0.0	2.5	0.0	20.9	100.0	2.7	17.0	0.0	0.0	
I-20:2	8.4	0.0	13.7	0.0	3.7	0.0	0.0	4.1	12.4	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	5.3	0.0	4.4	0.0	0.0	
I-20:3	13.4	17.3	14.8	3.2	2.6	5.3	12.3	10.4	0.0	7.6	7.1	0.0	6.0	11.3	4.8	6.9	11.8	4.3	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-21:0	14.0	7.2	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	4.6	10.3	0.0	4.7	3.3	0.0	2.5	4.7	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0		
I-21:1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	8.3	5.5	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-22:0	0.0	5.8	15.9	0.0	0.0	6.7	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	24.6	0.0	22.8	6.3	0.0	11.0	2.9	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
I-22:1	7.5	5.5	11.5	2.9	0.0	3.5	5.0	3.8	7.6	5.1	2.9	0.0	0.0	8.9	0.0	7.4	0.0	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-23:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-23:1	12.3	28.3	0.0	0.0	4.1	4.7	5.1	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-24:0	28.9	0.0	0.0	0.0	10.2	5.6	9.9	5.7	0.0	8.2	5.5	6.8	94.8	37.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	42.4	43.2	0.0	0.0	0.0	
I-25:0	9.8	9.4	7.3	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	6.5	2.9	0.0	13.3	10.1	8.9	136.3	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-26:0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I-27:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	183.9	30.4	107.7	80.2	0.0	40.3	63.5	
I-28:0	21.9	65.1	17.2	0.0	0.0	38.7	18.6	21.3	0.0	11.1	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-28:1	36.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.6	219.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.2	261.2	0.0	72.5	0.0	
I-29:0	0.0	8.5	7.9	0.0	0.0	2.2	9.6	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	9.2	472.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	186.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-30:0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	15.5	7.5	0.0	9.2	0.0	11.3	12.2	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	390.0	0.0	0.0	0.0	
I-31:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8	0.0	275.3	80.9	0.0	0.0	0.0	
I-31:1	28.7	0.0	0.0	0.0	8.3	2.3	0.0	0.0	0.0	4.5	1.9	0.0	0.0	4.8	0.0	153.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
I-32:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I-32:1	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUM	526.1	748.7	639.6	76.9	115.2	305.6	470.4	205.5	192.3	175.5	130.6	182.7	485.4	525.5	235.0	1227.0	610.8	239.1	234.5	414.3	493.0	438.3	1065.9	700.8	200.2	376.7			

Table 4.5. Composition of fatty acid in sea water (Apr. 1998)

FA	C3-0	C3-30	C3-60	C5-0	C5-30	C5-65	C7-0	C7-60	C7-115	C9-0	C9-60	C9-115	D1	D3	D5	D7	D9	D11	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E8	E9		
1-13:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
13:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-14:0	37.9	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14:0	98.3	28.5	11.1	8.1	0.0	4.2	2.6	0.0	3.0	0.0	3.4	2.1	0.0	0.0	0.0	5.0	6.7	6.1	4.7	8.6	9.0	4.8	10.3	9.2	10.8	9.2	10.8	9.2
1-15:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-16:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18:1	307.0	83.2	28.0	7.2	8.0	4.0	2.7	0.7	0.0	0.0	3.2	2.0	0.0	0.0	0.0	5.2	5.0	4.4	10.5	17.3	19.7	6.8	13.6	11.2	15.6	11.2	15.6	
1-17:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17:0	61.9	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	4.1	3.1	1.6	12.7	6.0	7.4	4.4	7.9	4.4	7.9	4.4	
NI	85.9	8.6	0.0	6.9	6.5	4.4	3.9	0.0	2.7	0.6	3.2	1.1	7.0	17.8	0.0	7.3	5.2	4.6	0.0	13.4	7.1	8.9	9.2	3.7	5.2	3.7	5.2	
18:0	185.1	41.3	13.6	12.7	13.4	8.3	7.2	0.0	6.6	0.0	5.8	3.5	27.1	23.1	38.9	14.3	10.4	11.2	17.0	38.8	18.0	18.3	17.9	34.6	20.5	24.4	22.9	
18:2	99.2	12.6	7.4	9.6	7.0	5.9	6.0	2.4	3.0	0.0	4.0	3.1	21.0	23.4	25.6	18.1	8.0	6.2	4.8	13.0	9.9	8.8	10.1	14.1	10.6	14.1	10.6	
19:0	9.9	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
NI	0.0	257.9	107.2	6.3	0.0	7.8	6.3	1.3	5.3	2.1	5.2	5.0	119.0	87.2	0.0	7.0	4.8	5.0	3.4	15.0	6.0	5.9	6.2	5.8	6.9	5.8	6.9	
20:0	151.7	39.3	5.8	0.0	0.0	4.3	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
20:1	63.4	11.5	5.1	5.0	0.0	2.9	3.5	0.7	2.9	1.0	2.2	0.0	11.5	0.0	3.6	9.8	6.5	3.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
20:2	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
20:4	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
20:5	55.4	19.4	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22:1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22:3	89.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22:5	59.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
23:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
24:0	0.0	0.0	0.0	6.3	10.9	0.0	12.6	3.2	2.0	0.0	0.0	0.0	32.7	0.0	0.0	51.1	0.0	0.0	0.0	13.2	36.5	3.0	14.6	0.0	0.5	5.0		
26:0	0.0	0.0	0.0	5.2	18.2	15.9	3.1	0.7	6.8	1.9	16.1	3.0	34.6	69.4	0.0	21.2	3.9	12.1	7.5	25.5	7.9	13.4	8.2	4.9	8.0	8.0		
27:0	249.1	95.4	46.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.7	50.4	10.8	9.5	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
28:0	0.0	0.0	0.0	18.6	57.5	10.7	97.8	0.0	0.0	33.9	62.5	1.5	0.0	0.0	0.0	21.2	49.7	41.0	3.6	47.3	41.9	31.3	12.3	26.7	17.8			
28:1	0.0	0.0	0.0	91.2	23.9	114.9	4.4	36.4	0.7	2.0	16.7	16.1	0.0	0.0	0.0	87.4	0.0	3.9	1.1	48.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
30:0	0.0	0.0	0.0	5.7	40.6	5.0	26.6	0.0	2.0	15.0	6.4	1.4	0.0	11.1	0.0	18.4	7.2	3.7	0.0	47.1	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
30:1	0.0	57.0	0.0	0.0	33.2	1.8	28.3	0.0	1.2	23.3	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
NI	50.4	158.6	0.0	0.0	7.0	0.0	6.8	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
31:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
32:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
3183.9	1351.2	327.4	189.4	400.5	154.7	311.0	47.9	84.6	147.6	165.0	57.7	384.7	431.1	185.1	453.2	178.5	175.5	169.1	549.0	214.9	181.7	215.7	362.2	243.7	362.2	243.7		

mg/gram dry weight 이상이다. 단 시료의 염분 제거를 위한 세척과 건조 중량 측정을 위한 동결 건조시 short chain hydrocarbon과 역시 short chain 유리 지방산 들 그리고 일부 phospholipid 성분들이 유실될 염려가 있고 이와 같은 현상이 실제로 확인되었다. 따라서 염분의 존재가 지방 추출에 악영향을 주지 않으므로 wet sample을 직접 추출하고 별도로 세척과 동결 건조를 통하여 건조 중량을 확인하는 방법을 사용하였다.

Table 4-6. Amount of extractable lipid from sediment collected at Apr. 1998

	Line	site	1	3	5	7	9	11
		depth						
lipid (mg/g, dry weight)	A	0 cm	3.8	6.0	6.6	6.1	6.7	
	B	0 cm	6.7	5.9	11.2	6.4	4.0	5.2
		10 cm	7.8					
	C	0 cm	5.3	4.6	5.8	7.8		
		20 cm	8.0					
	D	0 cm	8.0	10.9	7.3	7.5	7.9	6.8
	E	0 cm	6.2	5.9	8.5	7.1	10.1	27.4

### 3.3.1. 퇴적물의 탄화수소의 분석

우선적으로 A-line sediment에서는 모든 시료에서 고르게 육상 유래 hydrocarbon의 오염 징후가 명백히 관찰되고 있다 (Fig. 4-4). 탄소 수 28 개를 기준으로 정규분포 형태를 보이는 사슬형 탄화수소가 검출되고 있는데 이는 근래 들어 잦은 해양 유류오염의 특징중의 하나이다. 본 시료들에서도 탄소 수 18을 중심으로 하는 짧은 사슬 탄화수소의 영향과 탄소 수 28 개를 기준으로 한 긴 사슬 탄화수소의 영향이 명백히 나타난다. 이 해역 (A-line)이 한반도에서 멀리 떨어진 소혹산도 근처의 경도를 따라 설정되었음을 감안하면 이들의 검출은 중국 본토에서 유입되는 양자강의 영향일 가능성을 배제할 수 없다. 본 연구에서 설정된 정점은 A-line이 가장 서쪽이고 이보다 서쪽에서의 sampling은 이루어지지 않았으므로 단정 짓기는 어려우나 A-1부터 A-9까지의 전 정점에 걸쳐 고르게 탄화수소의 침전이 있음은 한반도에서의 유입으로 보기는 어렵다고 사료된다. retention time 13.5 분 근처에서 나오는 peak는 squalane 계열의 branched hydrocarbon으로 추정되는데 이들은 퇴적상태에서도 일반 사슬형 탄화수소(n-alkane)에 비해 분해되는 정도가 약하므로 이들과 전반적인 탄화수소의 비율로부터 퇴적물의 퇴적 및 분해 정도를 추정할 수 있다. 이 비율은 정점 A-5와 정점 A-7에서 가장 낮게 나타나고 여기서

떨어지는 정점에서 높아지므로 이 근처가 이들 탄화수소 오염의 주 공급원에 가장 근접하고 있는 것으로 판명된다.

B-line의 sediment에서는 A-line과 같은 탄화수소 오염의 흔적이 발견되고 있으나 그 정도는 A-line에 비하여 매우 약하다. B-3 정점 근처에서 짧은 사슬 탄화수소의 영향이 관찰될 뿐 A-line에서 보였던 긴 사슬 탄화수소의 영향은 B-11을 제외하고는 거의 보이지 않는다. 정점 B-11의 경우도 탄소 수 30 근처의 매우 긴 사슬 탄화수소만이 부분적으로 관찰되며 13.5 분 근처의 squalane 계열의 branched hydrocarbon의 영향도 미미하다. 단 B-1 정점의 경우만이 이러한 탄화수소계열의 물질이 관찰되어 이 근처는 탄화수소 오염이 과거에 있었으나 거의 분해가 완료되고 있는 것으로 사료된다. B-1 정점은 진도 서쪽의 섬들이 밀집되어있는 해역으로 육상 유래 오염의 가능성이 상대적으로 높은 곳으로 생각할 수 있다.

완도 아래쪽의 C-line에서도 정점 C-1과 C-5의 경우 다소의 long chain hydrocarbon이 검출되었다. 특히 정점 C-5의 경우 retention time 15 -18 분 사이의 alkyl benzene의 화합물로 추정되는 일련의 물질들이 나타나고 있다. 정점 C-3의 경우는 탄소 수 30 이하의 hydrocarbon은 거의 분해가 완료된 듯 30 탄소이상의 매우 긴 사슬 탄화수소만이 미약하게 검출되고 있다. 이러한 사실은 A-line에서 검출된 hydrocarbon의 원인이 한반도쪽 해역이 아님을 시사하고 있으며 이 해역으로 동진하고 있는 것으로 사료되고 이 해역의 경우 유류 등의 오염의 흔적은 있으나 해역의 분해능이 높아져 있음을 알 수 있다.

D-line sediment에서의 hydrocarbon 분포 역시 상당한 육상 유입 탄화수소의 영향하에 있음을 시사하고 있는데 이러한 경향은 전반적으로 육지에 인접한 해역에서 높고 남쪽으로 갈수록 감소하는 추세를 보여 육상으로부터 하천이나 항만에서 오염이 시작되어 퍼져간 형태를 보이고 있다. 그러나 정점 D-1 보다는 정점 D-3와 정점 D-5에서 이러한 hydrocarbon 유입의 징후가 더욱 명백히 나타나는데 특히 정점 D-7의 경우는 13.5 분 근처의 squalane 계열의 branched hydrocarbon의 영향이 명백한데 비해 여타 사슬형 탄화수소의 함량이 낮아 활발한 분해 활동을 추정할 수 있다. 이는 A-line과 비교했을 때 해역별 혹은 해류의 영향에 근거한 해수 온도의 차이도 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다. 이러한 경향은 정도의 차이는 있으나 E-line에서도 동일한 양상으로 나타나고 있는데 E-5 정점의 경우가 다소 특이하여 탄소수 30 근처의 탄화수소를 중심으로 한 매우 긴 사슬 탄화수소의 분포가 정규분포 형태를 보이는 새로운 양상을 보인다. 탄소수 30 근처의 탄화수소를 중심으로 하는 것은 원유가 아닌 정제된 heavy oil의 형태로 선박이나 임해 공단의 연료로 주로 사용되는 유류 성분이다.

### 3.3.2. 퇴적물의 지방산 조성 및 함량 분석

저서 퇴적물의 함유 지방산 조성의 분석에서는 A-line에서 hydrocarbon의 영향에서 보여진 것과 유사하게 육상 유입 물질의 영향이 관찰되는데 A-1 정점의 경우 tetradecanoic acid(14:0)와 palmitic acid(16:0) 그리고 stearic acid(18:0)의 비율에서는 일반적으로 해양유래 sediment에서 보이는 경향 (1:10:6)을 보이고 있으나



heptadecanoic acid(17:0)의 검출은 육상 유래 세균의 존재를 시사해 주고 있으며 이와 함께 eicosanoic acid(20:0)와 EPA (20:5)의 존재는 해양 생물의 활동 역시 활발함을 보여주고 있다 (Fig. 4-5). 단 17.4 분에서의 tetracosanoic acid (24:0)의 존재는 육상 유입 물질의 존재를 명확히 하고 있다. 참고로 tetracosanoic acid (24:0)는 육상 식물 유래 wax 성분의 주요 구성성분 지방산으로 알려져 있다. 특히 A-5 및 A-7 정점에서의 tetracosanoic acid (24:0)의 다량 검출은 이 해역이 육상 유래 물질의 오염원에 가장 근접해 있다는 hydrocarbon 결과 분석과 잘 일치하고 있다. 또 A-5 정점의 경우는 dodecanoic acid (12:0)가 tetradecanoic acid (14:0)보다 다량으로 검출되는데 이 역시 육상 유래 세균의 주산물로 알려져 있으며 주로 축산 폐수나 유가공 업체의 부산물에 다량 함유되어 있다.

B-line에서는 주로 해양 생물의 활동에 따른 지방산 조성을 보이고 있으나 B-1 정점의 경우 retention time 14 분 근처의 arachidonic acid (20:4)와 EPA의 다량 검출은 이 해역에서 식물성 plankton의 bloom이 있었음을 시사하고 있다. 이와 동시에 23 분 근처의 triacontanic acid (30:0)의 검출은 역시 육상 식물 유래로서 이 해역은 해양생물의 높은 활동과 함께 육상으로부터의 물질의 유입 역시 활발하게 이루어짐을 뒷받침하고 있다. 전반적으로 B-line은 해양 식물성 plankton이나 bacteria 등의 해양 생물의 활동이 우세한 가운데 육상 유입 물질의 영향이 gradient의 형태를 갖고 나타나고 있는 것으로 사료된다.

C-line에서도 B-line의 전반적인 형태와 유사한데 C-1 정점에서의 EPA 및 tetracosanoic acid, 그리고 triacontanic acid (30:0)의 검출은 동일하게 나타난다. 단 C-line의 경우 아랫쪽 정점인 C-5나 C-7 정점에서도 다소의 육상 물질의 유입이 의심되는 형태를 보인다. 즉, triacontanic acid (30:0)가 이 두 정점에서 공히 검출되고 있으며 C-7의 경우는 dodecanoic acid 역시 적은 양이지만 뚜렷이 검출된다. 이 해역은 제주도 북동쪽해역으로 거문도와 인접해 있어 북쪽으로부터의 육상의 영향과 제주도를 거쳐오는 해류의 영향이 공존하는 지역으로 평가된다. 제주도 바로 동쪽인 C-9과 C-11 정점은 바닥이 암반인 관계로 분석에 필요한 sediment 시료를 채취하지 못하여 이를 보다 확실히 확인할 수 없었다. 그러나 해수의 영향을 고찰해 볼 필요가 있다.

D-line의 특징은 tetradecanoic acid (14:0)와 palmitic acid (16:0), stearic acid (18:0), eicosanoic acid 계열의 major fatty acid 이외의 대단히 복잡한 branched 혹은 unsaturated fatty acid의 분포로 특징지을 수 있다. D-1 정점의 경우 이러한 경향이 매우 심하여 dodecanoic acid부터 triacontanic acid (30:0)까지 생물체에서 존재 가능한 거의 모든 지방산 전부가 나타나고 있다. 특히 bacteria 유래로 여겨지는 branched fatty acid와 odd chain fatty acid의 다량 검출은 이 해역의 가장 큰 특징이다. 이외에도 양에 차이는 있으나 D-1의 경우 palmitoleic acid (16:1)등 monounsaturated fatty acid 역시 주요 성분으로 나타나고 있는데 이러한 경향은 남쪽으로 멀어질수록 감소하고 있으나 D-7 정점에서 tetracosanoic acid의 다량 검출은 hydrocarbon 분석 결과에서 동일 정점에서 미 분해된 squalane의 검출과 함께 유류 오염의 확산과 이의 미생물에 의한 분해 결과 누적된 지방산 족이 아닌가 의심되고 있다. 특히 본 line은 palmitic acid와 stearic acid의 비율이 일반적인 10:6

정도가 아니라 거의 10:3 근처까지 낮아지고 있어 이러한 미생물 활동의 상승이 있는 해역으로 생각된다. 즉 stearic acid는 가장 이용도가 높은 지방산의 하나로서 미생물에 의하여 동화되면 주 지방산인 palmitic acid로 전환되므로 이러한 비율의 변화가 초래된 것으로 생각된다.

이러한 경향은 E-line 상부에서도 나타나는데 E-1 정점과 E-2 정점은 D-line과 매우 유사한 지방산 분포를 보여주고 있다. 이 해역은 부산 남쪽 해역으로서 비교적 정점간의 거리가 가까운 관계로 두 정점간의 뚜렷한 변화는 나타나지 않았으며 dodecanoic acid와 tridecanoic acid (13:0), iso-pentadecanoic acid (i-15:0) 등 육상 유래 미생물의 영향이 현저하게 나타나고 있다. 그러나 eicosanoic acid나 특히 EPA의 영향이 계속 남아 있어 해양생물의 활발한 활동을 유추할 수 있다. E-6 정점의 경우는 지방산의 조성에서는 이보다 북쪽 정점의 경우보다 복잡함은 적어지고 있으나 iso-heptadecanoic acid와 같은 bacteria의 영향이 뚜렷하게 보이고 있다.

### 3.4 98년 9월 해수 시료의 지방성분의 추출 및 분석

본 시료에서는 해수중의 탄화수소와 지방산 조성 및 함량을 조사하였으며 부유물질의 지방산 조성을 주로 분석하였다. 지방물질의 함량은 A-1 정점의 표층수의 2.1 mg/l부터 C-1 정점의 표층수에서 11.7 mg/l 까지 나타나고 있으며 GF/F를 이용한 suspended material의 지방물질 함량은 A-3 정점의 4.1 mg/l에서 C-1 표층수의 9.4 mg/l의 분포를 보이고 있다 (Table 4-9).

해수중 용존 지방 성분의 탄화수소조성은 비교적 단순하게 나타나고 있다 (Fig. 4-6). 수심별 차이 역시 두드러지게 나타나지 않고 있으며 주로 octadecane(C18)과 heneicosane (C21)이 가장 높게 나타나고 있고 탄소수 25 개의 탄화수소를 중심으로 탄소수 31까지의 탄화수소가 낮은 농도로 검출되고 있다. 모든 시료에서 탄소수 32와 34에 해당되는 peak가 나타나고 있다. 그러나 33 탄소의 탄화수소는 검출되지 않아 even numbered hydrocarbon이 우세한 경향을 보여준다.

해수의 용존 지방산은 특이한 사실은 발견되지 않고 주로 palmitic acid와 stearic acid가 주종을 이루는 전형적인 모습을 보이고 있다 (Fig. 4-7). 그러나 거의 모든 시료에서 retention time 16.5 분 정도의 tetracosanoic acid의 함량이 매우 높게 나타나고 있으며 A-4 표층수와 저층수 (110 m), A-5 표층수, 그리고 C-4 표층수에서는 I-17:0의 함량이 palmitic acid와 비슷한 수준으로 나타나고 있어 이 시기에 본 해역에서 세균의 활동이 왕성함을 시사하고 있다. 이외에도 petadecanoic acid등의 odd chain 지방산의 검출도 이러한 견해를 뒷받침하고 있다.

부유물질의 지방산 조성은 매우 단순하게 나타나고 있다. 주로 palmitic acid와 stearic acid가 주종을 이루고 있으며 여기에 eicosanoic acid가 약간 적게 나타나는 형태를 이루고 있다 (Fig. 4-8). 소량의 myristic acid, heptadecanoic acid, oleic acid가 함께 나타나고 있는데 가장 큰 특징은 eicosapentaenoic acid (20:5) peak가 거의 모든 시료에서 매우 높게 나타나고 있는 현상이다. 이 지방산은 해양 생물 특유의 지방산으로서 주로 해조류나 microalgae 등의 세포막 주성분으로 알려져 있다. 본 시료가 주로 표층수와 20 m 깊이의 중층수를 중심으로 분석이 이루어졌으

Table 4.7. Composition of hydrocarbon from sediment at Apr. 1988

HW	sediment HC (ug/g)																												
	A1	A3	A7	A9	B1-1	B1-5	B2	B5	B7	B9	B11	C1	C3	C5	C7	D1	D3	D5	D7	D9	D11	E1	E2	E3	E4	E6			
15	0.0	0.0	0.0	0.0	29.9	0.0	0.0	21.0	0.0	49.4	36.1	45.5	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7		
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1	0.0	20.9	13.6	0.0	53.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7	37.6	0.0		
17	2.3	14.6	282.8	20.4	218.8	18.6	34.0	40.3	35.9	0.0	56.6	34.1	0.0	58.2	41.6	38.8	54.1	49.0	31.6	26.0	50.1	37.9	25.0	0.0	6.4	36.9	200.6		
PHMA	0.0	0.0	11.6	7.0	46.3	0.0	5.8	0.0	13.2	0.0	0.0	40.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	19.5	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
18	0.0	6.9	116.4	7.8	38.8	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.3	0.0	25.9	0.0	0.0	5.2	10.6	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8		
20	0.0	9.8	119.1	0.0	23.7	7.4	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8	0.0	38.5	11.9	18.5	0.0	0.0	0.0	16.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
21	0.0	0.0	89.0	0.0	28.1	5.4	10.9	15.7	23.2	0.0	16.8	26.3	41.8	0.0	10.4	12.2	15.4	11.5	18.8	27.4	14.4	19.4	14.4	31.2	1.5	0.0	82.3		
22	0.0	0.0	80.8	0.0	30.8	0.0	0.0	54.5	18.9	48.8	49.6	85.6	57.4	65.0	52.1	50.7	60.6	53.2	60.6	66.2	109.6	43.6	53.5	70.8	9.1	51.5	17.0		
23	5.1	11.6	140.0	6.2	71.0	5.1	6.5	5.1	9.9	8.5	24.4	25.0	33.0	41.0	45.0	15.0	32.0	33.0	54.0	22.0	22.0	30.0	35.0	4.5	25.0	57.0	25.0		
23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	13.1	10.2	19.9	0.0	0.0	0.0	24.2	31.9	40.1	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
24	11.2	23.8	191.1	12.4	110.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	10.9	21.4	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3		
24.1	0.0	13.8	162.3	10.9	51.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.4	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
25	18.4	49.7	314.6	27.4	234.6	14.5	29.1	39.5	38.6	12.5	29.9	30.8	0.0	45.6	30.7	45.6	29.3	60.6	51.4	34.2	24.9	38.5	36.3	44.1	5.9	28.8	24.8		
50	0.0	20.3	0.0	16.8	136.7	0.0	0.0	18.5	10.1	19.3	34.1	27.2	25.2	0.0	125.6	0.0	0.0	10.4	0.0	0.0	13.2	0.0	65.4	0.0	0.0	0.0	33.7		
26	20.2	19.2	169.1	14.7	117.3	0.0	58.6	10.0	21.8	15.7	29.3	18.6	0.0	34.5	37.9	19.4	6.9	25.0	24.9	20.7	131.3	14.9	16.8	15.9	47.8	2.1	0.0		
27.0	10.7	16.5	141.0	12.3	87.7	0.0	12.2	5.5	0.0	0.0	0.0	25.4	0.0	0.0	0.0	35.6	12.7	15.4	20.4	0.0	0.0	10.3	7.0	22.3	0.0	0.0	0.0		
28.0	12.5	22.9	141.0	20.6	177.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.1	0.0	0.0	0.0	14.4	18.6	18.1	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
28.0	15.9	25.5	115.7	12.4	82.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7	0.0	0.0	0.0	17.4	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
30.0	11.1	20.5	139.0	15.6	75.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.3	0.0	8.4	0.0	0.0	11.1	0.0	20.5	0.0	7.6	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
MI	0.9	20.7	168.0	17.1	59.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
31.0	19.8	40.5	85.2	13.4	100.8	6.6	16.0	22.1	43.6	0.0	19.5	44.3	25.3	0.0	43.7	26.9	17.0	35.6	18.6	13.7	0.0	51.7	15.0	30.0	49.2	0.0	20.3		
32.0	20.0	0.0	0.0	9.1	21.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.6	29.4	0.0	13.7	35.8	9.1	12.5	86.9	10.4	8.4	15.9	75.6	5.8	0.0	0.0	21.9		
MI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	6.1	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
33.0	9.8	15.8	0.0	0.0	46.4	5.6	15.0	12.2	85.3	0.0	0.0	0.0	0.0	39.5	0.0	7.8	94.2	14.2	31.4	69.3	0.0	19.3	42.0	145.7	0.0	26.6	115.9		
34.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	106.7	0.0	0.0	0.0	0.0	36.6	0.0	5.7	0.0	10.9	5.6	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0		
MI	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	129.9	0.0	0.0	0.0	0.0	22.1	20.5	45.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
sum	189.7	389.2	2567.1	220.1	1318.0	75.4	223.8	166.8	476.8	104.6	248.6	321.4	244.6	722.5	651.7	447.0	237.3	532.1	382.3	401.9	663.4	349.4	301.9	357.5	659.7	41.7	351.4	847.5	311.1

Table 4.8. Composition of fatty acid from sediment at Apr. 1998

HC	A1	A3	A5	A7	A9	B1-1	B1-3	B1-5	B3	B5	B7	B9	B11	C1	C3	C5	C7	D1	D3	D5	D7	D9	D11	E1	E2	E3	E4	E5	E6	
14:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	0.0	14.4	0.0	0.0	0.0	19.0	21.2	17.0	21.7	0.0	34.2	
14:1	0.0	0.0	1.8	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	19.3	47.8	16.3	35.7	33.8	20.4	0.0	20.7	27.7	31.8	41.3	88.2	53.7	22.3	28.3	28.3	50.8	59.3	28.7	34.6	30.8	43.3
15:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2	23.9	33.9	25.3	9.9	20.6	40.2	41.9	0.0	0.0	0.0	16.5	0.0	0.0
16:0	3.1	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.4	0.0	0.0	14.7	0.0	0.0	0.0	9.1	21.1	22.6	28.9	0.0	10.4	21.1	27.1	28.2	0.0	0.0	18.7	0.0	0.0
16:1	16.2	17.6	16.0	27.9	29.9	35.3	29.3	53.5	101.2	182.6	99.7	98.7	119.3	127.3	123.1	141.8	168.9	140.8	217.6	201.9	144.7	91.1	127.4	196.7	200.6	119.6	151.6	196.3	139.0	
17:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	22.0	0.0	0.0	26.4	6.0	16.4	12.1	0.0	26.9	7.0	23.5	0.0	17.2	0.0	21.7	42.8	83.8	
18:0	10.3	10.8	7.0	14.1	18.1	19.2	16.2	26.3	43.8	58.7	42.0	40.3	40.0	57.8	55.7	78.9	64.3	45.9	70.5	62.5	37.8	30.8	39.9	62.8	52.1	45.7	56.1	58.7	95.9	
18:1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	14.2	72.3	24.6	30.8	42.6	66.2	25.3	74.0	66.6	0.0	76.5	84.0	74.4	33.6	50.0	79.3	83.4	36.7	67.9	29.4	66.7	
19:0	2.5	3.7	3.3	9.2	1.2	1.0	2.5	2.3	2.5	2.3	5.6	5.9	8.9	7.5	3.5	2.3	2.6	5.3	3.5	2.3	3.6	5.2	2.1	2.1	1.0	1.5	1.6	1.8	2.8	
19:1	4.9	7.8	6.5	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	0.0	99.4	20.4	28.7	33.5	19.1	14.6	17.0	15.5	17.9	0.0	0.0	0.0	14.5	36.7	22.4	19.4	0.0	0.0
20:0	3.1	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	0.0	12.5	20.2	29.5	14.0	0.0	0.0	10.9	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:2	7.9	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:3	5.2	18.7	2.6	6.0	0.0	0.0	0.0	11.8	21.1	38.0	24.3	21.5	21.1	17.8	19.5	17.1	14.1	20.0	27.7	20.6	25.8	9.4	13.5	17.6	22.0	17.2	18.9	13.0	44.5	
21:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:6	5.6	18.9	5.9	17.1	23.9	9.0	9.4	8.0	85.0	34.7	47.6	49.9	53.9	42.4	44.4	79.7	39.7	76.5	62.6	55.0	44.8	30.3	48.6	44.1	63.7	57.3	75.0	46.2	53.8	
23:0	3.8	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	28.1	32.2	0.0	0.0	0.0	38.7	22.6	28.0	24.0	0.0	19.8	20.7	19.2	17.2	19.1	0.0	18.7	53.7	
23:1	8.3	19.1	14.1	55.0	27.1	9.1	33.4	7.8	58.6	25.8	30.7	38.8	43.5	82.0	29.0	66.5	34.0	56.1	24.8	44.3	69.1	0.0	45.6	35.6	0.0	25.0	0.0	0.0	53.6	
24:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27:1	3.6	37.2	3.3	0.0	15.7	0.0	0.0	0.0	90.1	37.5	101.3	76.9	81.6	108.3	144.3	120.6	15.5	330.6	102.4	71.1	117.2	0.0	0.0	0.0	48.0	0.0	0.0	213.8	0.0	1471.6
28:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	4.0	235.8	5.6	21.2	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	2.8	6.2	13.6	91.6	44.1	46.8	30.9	37.5	22.0	21.0	35.9	31.9	23.4	19.8	33.5	22.3	59.9	32.5	18.8	18.0	23.7	24.6	21.4	32.6	48.0	32.4	40.1
SUM	80.7	701.9	119.2	697.0	339.3	602.0	396.4	245.5	819.5	898.2	1112.3	851.0	1048.1	1278.2	1140.6	1330.0	764.9	1181.6	1534.3	1203.7	1154.9	420.0	827.1	1076.5	1211.3	558.1	982.7	618.0	2398.2	

므로 여기서 particulated material의 주성분은 이와 같은 phytoplankton이나 이들을 먹이로 하는 zooplankton이므로 이 particulated material의 주 지방산이 EPA임은 당연할 수 있다. 그러나 EPA와 같은 polyunsaturated fatty acid는 매우 쉽게 분해되는 것으로 알려져 있어 본 해역의 particulated material은 비교적 신선한 상태를 알 수 있다. 그러나 EPA와 함께 해양성 지방산의 주요성분인 docosahexaenoic acid (DHA, 22:6)은 거의 검출되지 않고 있다. 정점 A-2의 50 m 깊이의 해수에서는 약간 다른 양상이 나타나는데 eicosanoic acid 이외에 eicosenoic acid와 eicosadienoic acid등이 검출되고 있다. 그러나 dissolved fatty acid와는 달리 retention time 16.5 분 정도의 tetracosanoic acid는 거의 나타나지 않고 있다.

Table 4-9. Amount of extractable lipid from sea water and particulated materials collected at Sep. 1998

Sampling site	depth	Amount of lipid extracted (mg/l)	
		sea water	Suspended solid
A-1	0 m	2.0	4.3
A-2	0 m	2.3	4.6
	10 m	4.5	6.0
	50 m	4.3	4.5
A-3	0 m	3.9	4.1
A-4	0 m	5.1	7.8
	20 m	4.2	8.9
	50 m	3.6	4.6
	75 m	2.6	6.8
	110 m	5.4	7.7
A-5	0 m	6.8	8.3
C-1	0 m	11.7	9.4
C-2	0 m	6.0	6.4
C-3	0 m	2.4	4.8
C-4	0 m	3.6	7.0

### 3.5. 저서생물의 지방산 조성 및 유용성분 정제

남해안에 서식하는 저서 생물 중 3 종류를 선택하여 그 주요 지방산 성분을 분석하였다. 대상 생물 선정은 주로 남해안 전 지역에 걸쳐 보편적으로 분포하는 것으로서 그 개체수가 많아 그 유용 성분이 확인되었을 경우 실제 이용가능성이 높은 것을 택하였다. 고려 대상에는 식용으로 이미 많이 사용하고 있는 대형 해조

류도 포함되었으며 주안점을 두고 관찰된 대상 물질로서는 지방 종류중에서 비교적 그 약리학 적 유용도가 높은 것으로 인정되고 있는 linolenic acid (18:3), arachidonic acid (20:4), eicosapentaenoic acid (20:5), 그리고 docosaheptaenoic acid (22:6) 등의 고도불포화 지방산의 생산 여부에 두었으며 특히 arachidonic acid (20:4)의 생산 생물을 검색하였는데 대형 해조류를 중심으로 3 종류의 해양 저서 식물에서 이 지방산의 함유가 발견되었다.

### 3.5.1. 감태 (*Ecklonia cava*)의 지방산 조성

감태는 한반도 남해안을 중심으로 매우 널리 분포하고 있으며 쉽게 대량으로 채집할 수 있고 양식이 추진된 바 있는 경제성도 가지고 있는 종류이다. 갈조식물 미역과의 다년생 해조로 줄기는 원기둥 모양으로 길이 1~2 m이고 기부는 뿌리 모양을 이루며, 줄기 끝에 측엽편을 가진 두껍고 역질의 중앙엽이 있다. 이 중앙엽의 길이는 1 m 정도이며 양쪽에 우상의 작은잎이 분지된다. 유체는 봄에 나타나고 초년에는 줄기의 길이 5~10 cm, 지름 5 mm, 중앙엽의 길이 20~30 cm, 나비 4 cm 정도로 되고, 2년째의 가을에 중앙엽에 형성된 자낭군에서 중앙엽은 소실되고 줄기만으로 있다가 구엽의 자리에 새 중앙엽이 만들어진다. 조장을 구성하는 중요한 종류로서 전복·소라 등의 먹이가 된다. 알긴산이나 요오드·칼륨 제조의 주요 원료이며 식용 가능하다. 해안 2~10 m의 점심대에 자생한다.

채집된 시료를 Folch 용액으로 추출한 후 추출된 지방성분을 TLC로 분석하였다. 전개 용매는 n-hexane과 diethyl ether (1:1) 혼합 용매를 사용하였는데 이 경우 triacyl glycerol (TAG), diacyl glycerol (DAG)등 중성지질 (neutral lipid)은 용매를 따라 각각의 성질대로 이동하지만 생체막의 주성분인 phospholipid는 origin에 남게 된다. 전체 지방 성분을 silica column에 흡착하고 polarity에 따라 100% hexane부터 에틸아세테이트 (EtOAc) 함량을 5 % 씩 증가시켜 가며 용출시킨 flash chromatography 결과 얻어진 분획을 농축하여 TLC를 수행한 결과를 보면 10 % EtOAc in hexane까지는 주로 triacyl glycerol이 주종을 이루고 있고 15 %부터 45 %까지는 유리 지방산과 diacyl glycerol등이 나타나고 있으며 phospholipid의 함량이 점차 증가하는 것으로 나타나고 있다. 전체 지방산의 조성을 보면 palmitic acid (16:0)가 26.5 %로 주종을 이루고 있으나 이와 함께 stearic acid와 oleic acid가 각각 11.2 %와 9.6 %를 점하고 있고 arachidonic acid (20:4)와 eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5)가 각각 10.4 %와 2.5 %를 점하고 있다 (Table 4-15).

### 3.5.2. 꼬시래기 (*Glacilaria verrucosa*)의 지방산 조성

홍조식물 꼬시래기과의 해조로서 강리라고도 불리우며 우리나라, 일본, 사할린, 타이완 등 세계 각지에 널리 분포한다. 옛날부터 식용 또는 한천 제조에 우뚝가사리(*Gelidium*)와 섞어 널리 이용되어 왔다. 몸통은 작은 반상근에서 많이 모여 나고 원주상이며 촘촘하게 우상으로 분기하고 가지는 편재하는 수가 많다. 체지는 지름 1 mm 이하의 철사 모양의 연골질로 흑자색 또는 암갈색이다. 조간대의 돌·조개껍데기 등에 착생하는데, 특히 내만 하구부의 얇은 해안의 자갈이나 말뚝 등에서 번식하며, 외해의 암초 위에서도 생육한다. 지반에서 떨어진 몸통과 체지는 바닷속이

Table 4.10. Composition of hydrocarbon in sea water (Sep. 1998)

남해 해수 HC (ug/l) dissolved															
HC	A1	A2-0	A2-20	A2-50	A3	A4-0	A4-20	A4-50	A4-75	A4-110	A5	C1	C2	C3	C4
NI	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	14.5	0.0	0.0	23.3	0.0	0.0	21.5	0.0	15.1	0.0
17	99.5	96.7	83.4	54.9	106.8	143.0	77.8	73.1	155.0	128.8	121.5	141.7	48.5	152.7	123.2
Prist	18.2	16.4	0.0	23.5	16.7	16.1	16.6	0.0	29.1	0.0	0.0	31.5	19.3	18.0	14.3
18	25.1	31.2	16.4	16.0	22.0	31.8	23.8	22.3	42.7	42.5	86.0	42.4	17.6	44.4	32.3
19	0.0	25.7	22.7	32.6	28.5	39.5	25.4	22.2	39.8	66.0	0.0	29.8	30.7	39.3	25.2
20	39.2	44.0	25.6	22.3	39.8	36.1	30.5	27.6	54.4	42.5	45.5	51.0	38.5	67.3	43.0
21	94.0	74.5	50.5	40.9	97.1	158.6	74.1	72.0	145.6	104.7	77.2	137.7	41.3	160.8	137.6
22	61.8	66.1	82.8	87.7	56.5	115.4	109.0	115.7	97.8	81.1	80.5	83.4	62.2	76.4	80.2
23	42.1	39.1	62.0	69.0	55.0	75.0	83.0	72.0	63.0	71.0	80.0	55.0	47.0	55.0	48.0
24	32.2	30.6	55.8	59.9	54.6	51.6	74.0	64.7	41.1	63.2	80.1	33.1	35.2	47.4	25.4
25	0.0	0.0	0.0	0.0	36.8	15.0	20.4	0.0	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	20.2	8.3
SQ	12.7	12.5	0.0	63.6	46.0	22.3	35.7	0.0	17.6	0.0	0.0	0.0	17.2	17.3	6.9
26	0.0	30.5	53.5	79.8	44.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	40.5	0.0	100.2	65.5	0.0	0.0	69.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	33.6	0.0	46.1	0.0	0.0	0.0	35.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	25.3	59.8	65.7	71.1	49.7	102.1	83.2	70.5	19.1	147.5	186.8	79.3	51.0	76.5	23.1
30	0.0	43.9	0.0	77.5	0.0	0.0	0.0	57.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	49.9	77.1	47.1	72.4	237.6	94.5	295.5	470.1	61.5	861.6	646.9	100.9	59.3	95.7	42.1
32	0.0	90.1	0.0	141.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33	0.0	268.7	0.0	367.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.5	0.0	0.0	0.0
SUM	499.9	1092.5	565.4	1426.1	957.4	915.4	948.9	1172.8	810.7	1608.8	1404.5	885.9	467.7	886.2	609.8

Table 4.11. Composition of fatty acid from sea water (Sep. 1996)

남해해수 9809 FA (ug/l) dissolved															
FA	A1	A2-0	A2-20	A2-50	A3	A4-0	A4-20	A4-50	A4-75	A4-110	A5	C1	C2	C3	C4
14:0	6.2	0.0	12.7	0.0	0.0	10.5	12.2	7.1	5.2	6.4	6.4	0.0	9.8	0.0	7.9
1-15:0	0.0	31.2	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7	0.0	13.8	0.0
16:0	91.5	107.2	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.8	0.0	0.0	0.0
1-16:0	0.0	0.0	107.7	76.6	83.9	122.8	91.2	74.4	75.2	82.3	79.3	29.3	95.5	75.8	90.9
16:0	33.0	36.6	34.4	20.2	14.9	101.4	52.7	32.7	48.4	73.8	64.4	0.0	42.1	79.5	50.5
1-17:0	16.4	28.0	14.9	19.0	0.0	9.9	17.9	12.3	11.7	8.8	13.9	23.6	14.6	136.3	10.8
17:0	11.9	25.4	11.9	0.0	17.4	6.1	9.3	10.2	7.8	6.8	17.0	26.8	21.8	61.0	0.0
n-18:0	5.2	0.0	6.3	35.5	11.0	4.2	5.8	5.6	4.0	8.2	0.0	120.0	0.0	83.7	19.9
18:0	150.5	111.7	109.6	106.3	139.8	144.0	104.5	100.7	131.9	136.3	125.1	0.0	124.0	157.9	141.2
18:1	5.6	0.0	7.1	0.0	10.7	3.9	5.7	5.2	0.0	0.0	6.9	0.0	6.0	0.0	0.0
19:0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
18:3	30.2	52.9	20.8	12.4	27.3	23.9	19.5	20.4	25.4	28.3	28.2	40.4	29.3	30.7	29.8
20:0	12.7	36.2	21.3	11.9	22.7	11.1	21.7	23.5	17.6	13.3	12.0	24.7	20.0	18.8	21.9
20:1	8.5	0.0	6.1	0.0	10.1	8.8	5.2	5.0	10.3	8.4	11.0	8.2	6.8	7.5	14.0
21:0	0.0	0.0	0.0	9.3	0.0	3.9	7.0	6.5	0.0	6.5	8.1	0.0	6.1	0.0	3.5
20:4	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	4.9	0.0	6.2	10.4	6.0	0.0	2.3
20:5	6.6	31.2	4.7	9.7	8.5	0.0	5.0	5.8	3.9	5.2	8.2	10.7	7.6	14.0	0.0
22:0	3.2	0.0	5.2	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	4.6	0.0	0.0	0.0	2.4
23:0	4.2	0.0	0.0	0.0	7.3	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.1	0.0	0.0	3.5
24:0	25.0	47.5	41.5	41.1	22.5	26.0	28.9	35.9	16.7	39.1	44.8	34.9	33.6	32.4	26.2
24:1	19.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	8.8	0.0	0.0	0.0
25:0	0.0	20.3	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	24.2	7.3	0.0	0.0	0.0
26:0	0.0	46.2	0.0	10.7	0.0	0.0	5.0	14.9	4.6	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0
27:0	0.0	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28:0	0.0	0.0	140.1	0.0	32.5	28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	0.0
NI	36.8	41.6	60.0	0.0	0.0	0.0	20.8	23.5	31.6	43.8	38.2	35.4	22.5	29.8	37.4
SUM	567.4	734.8	714.9	462.7	529.1	611.2	520.4	490.7	503.4	571.6	604.0	599.7	545.6	841.2	562.2



Table 4.12. Composition of fatty acid of suspended materials (Sep. 1998)

남해해수 SS 9809 FA (ug/l) particulated															
FA	A1	A2-0	A2-20	A2-50	A3	A4-0	A4-20	A4-50	A4-75	A4-110	A5	C1	C2	C3	C4
14:0	0.0	0.0	3.7	11.8	0.0	3.3	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	5.7
I-15:0	2.5	0.0	0.0	2.7	0.0	3.7	0.0	0.0	2.0	3.5	1.9	0.0	0.0	0.0	2.0
15:0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I-16:0	3.5	0.0	4.6	0.0	0.0	3.8	0.0	5.6	6.3	5.7	0.0	0.0	4.0	3.0	0.0
16:0	34.8	42.1	40.7	95.1	51.6	51.4	47.5	38.7	40.3	41.1	46.9	45.4	37.9	41.7	73.4
17:0	6.1	4.5	9.6	31.0	9.2	6.5	7.2	14.9	4.9	4.5	7.8	0.0	5.9	9.6	21.1
NI	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9
18:0	11.7	11.4	15.6	49.5	14.6	26.2	11.8	12.4	20.5	19.4	13.8	20.8	11.4	12.2	46.5
18:1	20.4	22.5	23.9	113.3	22.2	30.0	23.3	21.0	23.8	22.7	25.0	29.6	22.8	22.7	52.2
18:2	1.6	6.3	3.6	4.9	0.0	0.0	2.5	2.5	2.3	2.5	3.6	0.0	1.0	1.2	0.0
19:0	1.6	0.5	2.1	1.0	2.0	0.0	1.2	1.2	2.5	2.1	3.2	1.5	6.5	5.6	8.5
18:3	4.8	17.0	2.6	0.0	4.9	0.0	4.0	2.7	13.1	3.3	7.9	3.0	15.0	22.0	25.9
20:0	0.0	0.0	15.6	2.6	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:1	0.0	0.0	0.0	15.8	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NI	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7
20:4	0.0	0.0	7.8	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.9
NI	0.0	0.0	0.0	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0
20:5	32.1	34.5	33.7	25.1	53.7	40.6	41.2	39.4	40.7	40.2	42.4	40.3	39.9	51.7	47.1
22:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4
24:0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0
24:1	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25:0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
SUM	119.2	138.8	163.5	395.2	158.1	182.3	138.7	138.4	161.7	145.1	152.4	140.6	144.4	172.4	370.7

Table 4.13. Composition of hydrocarbon from sea water at Sep. 1997

남해97 HC (ug/l) dissolved																		
HC	A-1	A-3	A-5	A-7	A-9	A-11	B-1	B-3	B-5	B-7	B-9	B-8	B-9	B-11	C-2	C-4	C-6	C-7
14	9.2	10.8	25.9	28.6	6.8	24.4	16.5	17.5	7.3	33.4	25.6	33.8	7.6	16.3	21.3	14.8	9.6	22.3
15-br	10.1	51.6	9.8	8.1	6.1	8.9	6.5	8.2	3.2	17.1	11.6	47.4	12.0	8.1	10.3	17.7	11.3	10.1
NI	3.1	1.3	3.2	2.8	0.0	0.0	2.0	2.5	0.9	5.0	3.9	3.5	3.1	2.5	2.2	0.0	2.9	2.8
15	10.1	4.7	10.4	9.2	6.2	9.5	6.9	8.2	3.3	20.2	12.4	7.4	10.7	9.0	6.8	6.6	11.4	10.7
16	6.0	2.5	8.0	4.7	4.6	7.9	3.9	6.5	2.9	17.3	6.7	4.3	5.7	6.9	3.5	4.8	8.2	6.0
16.1	4.7	2.8	6.6	10.5	3.7	5.7	6.7	4.5	2.3	11.5	7.4	11.7	4.8	5.2	4.5	3.4	6.9	9.7
17-br	5.1	3.9	6.8	5.1	4.9	0.0	5.3	0.0	0.6	6.4	5.6	5.9	4.0	5.3	2.9	3.8	7.4	7.6
17	3.6	2.0	5.2	3.9	2.4	5.3	3.2	4.1	1.3	8.4	5.1	4.2	3.8	3.9	2.8	2.7	5.2	4.4
18	17.6	6.2	16.6	20.7	6.5	16.7	16.3	18.4	4.1	36.2	20.8	20.0	13.1	14.0	7.1	13.2	28.0	22.4
prista	3.5	3.1	5.3	3.2	2.3	4.3	2.8	4.6	13.1	8.8	5.7	3.1	6.3	4.3	3.7	3.1	5.9	6.8
19	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
19.1	3.5	2.5	5.3	3.4	2.4	4.3	3.2	4.0	1.3	8.5	4.9	4.1	3.5	4.2	2.3	3.3	5.7	3.8
20	5.5	3.2	8.1	4.6	3.6	6.9	5.4	7.3	2.1	14.3	7.7	4.3	4.9	7.0	3.6	5.0	10.1	6.1
20.1	3.1	2.0	6.3	10.6	3.3	5.0	7.5	4.2	1.7	10.1	6.4	10.1	3.4	4.5	4.1	3.1	7.1	8.9
20-br	2.9	1.0	4.7	0.9	4.5	3.9	1.8	3.9	7.3	0.0	1.7	0.0	2.9	4.0	0.8	0.0	6.0	0.0
NI	2.4	1.9	5.3	8.9	0.0	4.6	7.3	4.6	4.0	9.1	5.3	7.9	2.8	4.5	1.3	3.4	7.5	7.9
21	4.4	3.0	8.1	6.0	3.1	8.0	4.9	7.5	1.6	13.0	7.4	4.5	4.1	6.3	3.6	4.9	7.7	5.5
22	2.6	1.6	4.9	3.2	0.0	3.6	2.7	3.7	0.8	9.2	4.8	2.9	2.8	3.4	2.2	2.6	5.1	4.1
22.1	1.4	0.0	2.9	2.1	0.0	0.0	1.8	0.0	0.5	4.3	2.4	0.0	1.5	0.0	1.4	1.3	2.8	0.0
23	2.8	1.0	6.5	6.6	6.1	0.0	8.8	2.4	4.2	11.1	5.4	5.6	3.0	3.4	3.2	3.1	6.0	5.7
24	1.1	1.5	5.2	1.8	0.0	0.0	3.0	0.0	0.9	3.3	1.7	3.3	0.0	3.0	0.9	0.0	4.9	3.7
25	2.2	0.0	5.1	3.8	7.3	0.0	11.5	0.0	5.6	9.0	4.0	3.5	3.4	4.1	2.4	3.6	6.4	5.2
SQ	2.8	2.2	1.8	1.8	2.5	7.3	4.5	4.8	1.0	5.7	0.1	3.9	3.4	4.3	2.2	3.5	6.7	5.6
26	0.0	1.8	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	3.0	1.9	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
27	2.9	0.0	5.5	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	1.8	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	10.4	0.0	6.1	11.8	4.8	3.5	2.8	4.3	0.7	3.1	5.6	4.1
29	1.5	2.2	7.1	4.1	8.6	4.6	10.1	4.0	6.2	3.7	0.0	2.4	3.2	4.3	1.5	2.3	2.9	5.6
30	1.5	1.6	4.4	0.0	0.0	8.4	2.2	6.5	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.6	2.3	4.1	2.9
31	1.4	1.6	3.2	1.8	0.0	0.0	1.7	3.9	0.7	4.3	2.4	0.0	1.3	2.5	2.0	2.3	2.8	0.0
32	1.3	0.0	2.9	1.6	9.5	0.0	9.2	0.0	6.0	5.7	2.1	0.0	1.2	0.0	1.4	1.5	2.6	0.0
33	1.2	0.0	6.1	1.5	0.0	3.0	2.5	0.0	1.1	7.3	1.5	0.0	1.7	0.0	11.5	0.0	6.6	2.4
34	0.0	8.3	1.6	0.0	8.7	7.3	7.5	2.5	5.2	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
SUM	217.23	224.1	292.8	264.6	211.3	249.4	275.9	239.2	195.4	404.7	274.8	297.4	216.9	235.4	213.8	215.2	297.3	274.2

Table 4.14. Composition of fatty acid from sea water at Sep. 1997

남해97 지방산 (ug/l)																		
FA	A-1	A-3	A-5	A-7	A-9	A-11	B-1	B-3	B-5	B-7	B-9	B-11	C-2	C-4	C-6	C-7	SC-1	SC-2
13:0	0.9	0.0	0.6	1.0	0.0	0.9	0.0	2.3	0.5	1.5	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0
i-14:0	1.4	0.0	0.8	0.5	0.0	0.8	0.0	1.7	0.5	1.0	0.8	0.9	1.2	0.9	0.0	0.0	2.2	1.8
14:0	3.9	5.4	3.7	3.3	4.2	4.5	7.0	5.2	3.5	5.5	4.5	4.1	9.3	4.8	7.0	4.9	8.4	7.0
14:1	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a-15:0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	1.5	1.2	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.1	1.5	7.6	3.9	4.1
i-15:0	0.0	0.0	0.9	0.4	0.0	1.0	0.0	1.0	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	4.2	3.5
15:0	0.8	1.4	0.8	0.7	0.0	1.2	2.1	1.3	0.7	1.3	0.4	0.8	1.9	0.8	2.0	0.0	4.3	2.4
15:1	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a-16:0	0.8	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
i-16:0	1.4	0.0	0.9	0.8	0.0	0.9	1.9	1.1	0.6	0.0	1.0	0.8	0.0	0.0	2.0	2.1	0.0	1.5
16:0	51.2	54.9	44.4	46.1	57.1	49.7	82.1	58.3	50.0	64.4	57.6	48.8	69.1	62.8	80.7	72.9	38.6	31.3
16:1	1.0	0.0	0.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	11.9
a-17:0	0.6	4.1	0.3	0.4	0.0	0.0	2.5	2.1	0.4	1.1	1.2	0.3	2.6	0.0	0.0	0.0	2.6	2.5
i-17:0	1.1	1.2	1.0	0.6	0.0	0.8	1.5	1.4	0.3	1.3	1.6	0.7	1.2	1.0	1.8	1.6	1.6	1.5
17:0	1.9	1.5	1.5	1.6	2.1	1.5	2.2	1.6	1.7	2.0	1.6	1.5	2.0	1.8	2.2	2.3	1.6	1.2
a-18:0	1.1	1.1	0.8	1.0	0.0	0.9	0.0	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	1.3	1.0	0.0	0.0	1.9	0.0
i-18:0	1.2	1.8	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.8	1.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18:0	90.9	77.9	70.1	86.9	119.1	70.7	126.6	88.8	93.5	100.5	134.5	77.8	85.2	100.6	114.1	133.0	13.8	12.8
18:1-9	2.4	9.9	1.5	1.6	1.8	5.9	8.2	4.4	3.7	1.6	1.7	1.2	18.8	6.1	5.8	1.6	7.6	5.2
18:1-7	1.0	0.0	1.3	0.8	2.1	0.0	0.0	0.8	1.8	0.0	1.0	1.4	0.0	0.0	0.0	2.8	6.9	7.1
18:2	1.4	2.9	0.6	1.1	0.0	2.1	3.8	2.0	1.2	0.6	3.7	0.7	8.5	3.0	3.4	0.0	2.8	1.8
19:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19:3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.1	1.7	1.2	0.0	1.7	1.1	0.0	0.0	1.3	1.9	2.6	0.0	0.0
20:0	5.0	2.7	2.2	2.8	3.3	3.3	4.0	2.5	2.5	2.8	3.5	2.3	3.6	2.9	4.0	3.3	2.1	1.5
20:1	2.0	0.0	1.4	3.0	2.5	1.7	2.8	1.8	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0	2.3	2.3	2.7	0.0	1.2
20:4	1.4	1.7	0.8	0.8	0.0	0.0	1.9	1.0	0.7	1.2	6.9	0.9	2.0	1.3	2.0	0.0	0.0	0.0
20:5	5.6	0.0	1.8	3.4	2.1	1.5	2.2	1.3	1.7	1.7	8.1	1.6	1.8	0.9	0.0	2.6	27.4	22.3
21:0	0.5	0.0	0.3	0.3	1.9	0.9	0.0	1.7	0.4	0.0	3.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:0	0.0	0.0	0.3	0.9	0.0	1.2	0.0	1.1	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	1.9
22:1	1.7	1.2	0.7	0.7	0.0	0.6	0.0	0.0	1.4	0.0	1.6	0.5	0.0	1.7	2.7	3.4	2.5	5.1
22:6	1.5	0.0	0.8	0.7	3.5	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24:0	0.0	1.2	0.0	0.8	0.0	0.8	3.0	0.9	0.9	1.4	3.3	0.9	0.0	1.6	1.6	2.1	0.0	0.0
25:0	0.9	0.0	0.0	1.4	0.0	1.1	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.1
22:6	2.8	4.0	9.2	1.6	2.1	13.4	7.1	3.6	0.5	1.9	1.2	8.2	3.3	2.8	1.9	5.0	3.5	2.4
26:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	1.7	0.0	0.0	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27:0	1.6	0.0	0.0	0.9	2.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.4	0.3	2.0	0.0	0.0	0.0	5.5	4.3
28:0	1.2	0.0	0.0	0.7	2.7	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
SUM	187.2	173.1	149.2	167.6	206.6	165.7	263.8	197.2	172.5	198.3	244.0	156.6	215.1	198.7	236.9	261.5	150.9	136.5

나 바다 밑 어디에서나 부유생활을 할 수 있고 더구나 그 사이의 생장이 빨라, 보통의 착생체보다도 부유체 쪽이 더 크다. 전국 연안에 분포하며 특히 과도가 조용한 내만에 많이 자란다. 부유생활이 가능하므로 수조 등을 이용한 인공 양식의 가능성이 높다.

시료의 추출 및 정제는 감태의 경우와 동일하며 지방산의 조성은 arachidonic acid가 42.7 %로 가장 높게 나타나고 있어 산업용 arachidonic acid의 원료의 가능성이 있다. 여타 지방산으로는 palmitic acid가 30 %, oleic acid가 8 % 정도로 EPA나 DHA의 함유는 미미하였다 (Table 4-15). 또 특이한 것은 매우 흔한 지방산인 stearic acid의 함량이 2.6 %로서 매우 낮게 나타나고 있다.

### 3.5.3. 참깃풀 (*Antithamnion nipponicum*)의 지방산 조성

참깃풀 역시 홍조류로서 비단풀목 비단풀과에 속하며 비교적 크기가 작으나 성장 속도가 빠르고 오염 등에 강한 특성을 가지고 있어 수조 배양을 통한 원료 물질로의 개발 가능성이 있다. 시료의 추출 및 정제는 감태의 경우와 동일하며 지방산의 조성은 arachidonic acid가 42.1 %로 가장 높게 나타나고 있어 산업용 arachidonic acid의 원료의 가능성이 있다. 전반적으로 *G. verrucosa*와 유사한 지방산 조성을 보이고 있으며 여타 지방산으로는 palmitic acid가 27 %, stearic acid가 2.3 %, oleic acid가 3.1 % 정도로 EPA (5.6 %)나 DHA(2.8 %)의 함유는 다소 적었다 (Table 4-15).

Table 4-15. Fatty acid composition of *Antithamnion nipponicum* and *Glacilaria verucosa*

Fatty acid	<i>Antithamnion nipponicum</i>	<i>Glacilaria verucosa</i>	<i>Ecklonia cava</i>
14:0	2.5	4.3	7.3
15:0	1.2	0.5	0.2
16:0	27.0	29.8	26.5
16:1 (n-7)	1.9	2.3	3.5
18:0	2.4	2.6	11.2
18:1 (n-9)	3.7	8.3	9.6
18:2 (n-6)	2.0	1.9	3.0
18:3 (n-3)	1.0	0.3	2.2
20:0	1.0	nd	4.2
20:1 (n-9)	2.4	3.4	1.9
20:2 (n-6)	nd	1.6	nd
20:4 (n-6)	42.1	42.7	10.4
20:5 (n-3)	5.6	0.3	2.8
22:6 (n-3)	2.8	nd	nd
unidentified FA	4.4	2.2	17.2
total	100	100.2	100

감태의 경우 대형종으로서 그 개체를 쉽게 채집할 수 있으나 주요 유용 지방산인 arachidonic acid나 EPA, DHA가 비교적 적게 포함되어있고 꼬시래기나 참기름풀의 경우 지방산 조성은 매우 유용하나 그 개체가 작다는 것이 생산이라는 측면에서 어려움이 될 것으로 사료된다.

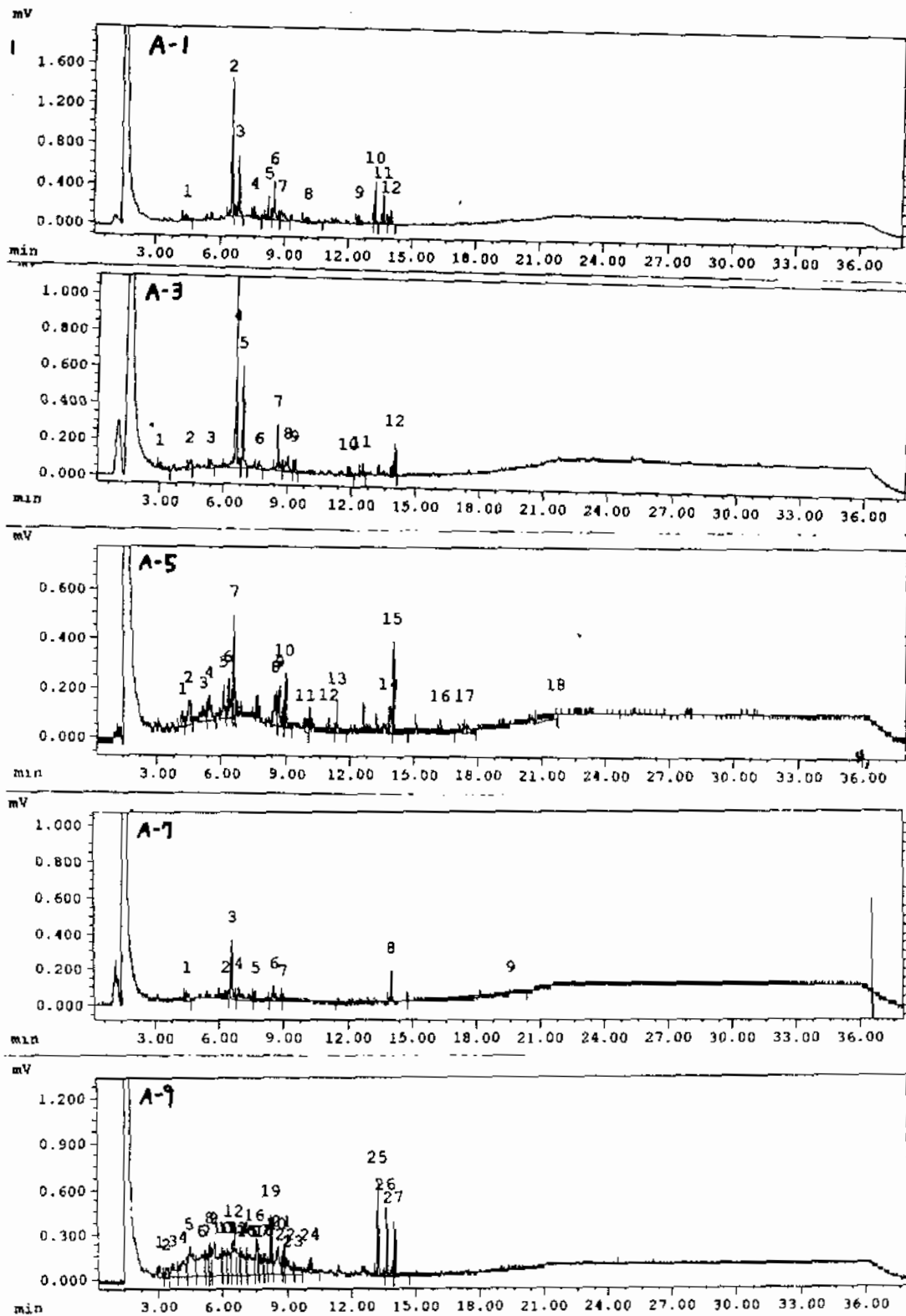
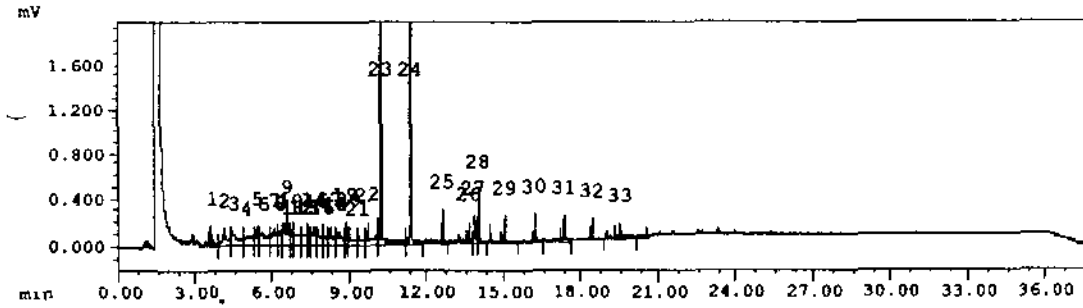


Figure 4-2. GC chromatogram of hydrocarbon extracted from sea water collected at Apr. 1998 (A-line)

SWB-1026.CWD

시료명: 남해해수 B-1 0m HC

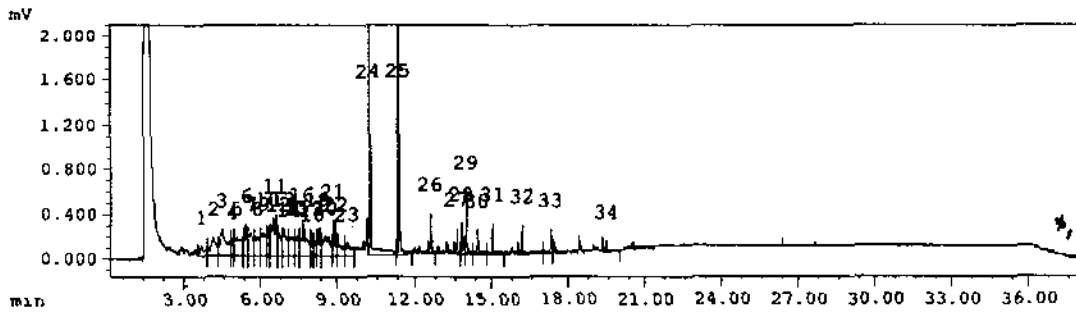
수집일자: 98/05/27



SSWB-110.CWD

시료명: 남해해수 B-1 10m HC

수집일자: 98/05/27



SSWB-120.CWD

시료명: 남해해수 B-1 20m HC

수집일자: 98/05/27

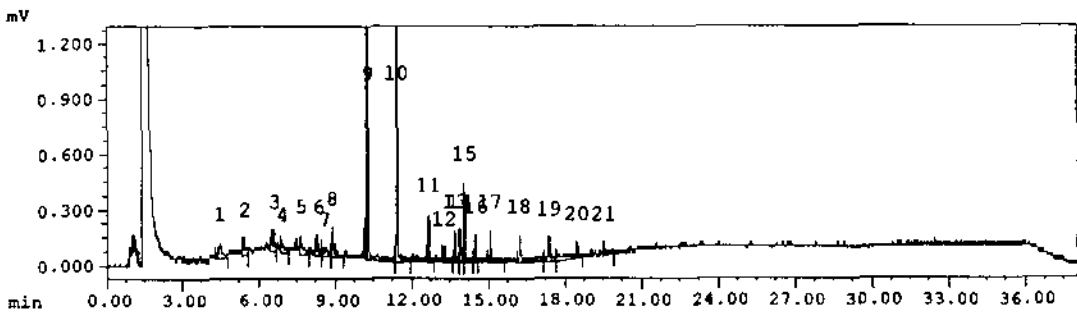
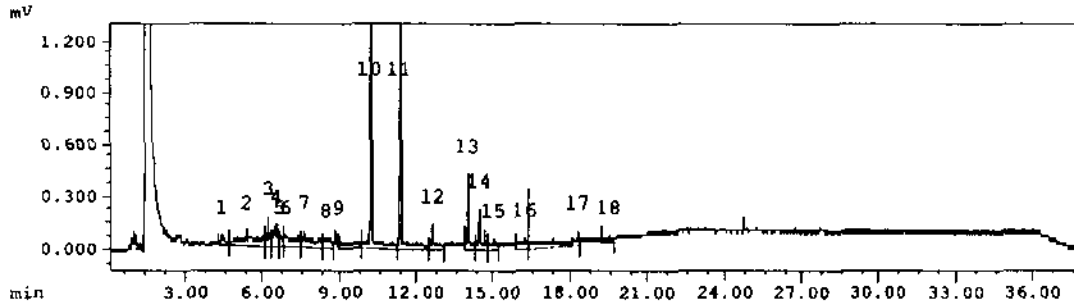


Figure 4-2. continued (site B-1 at 3 depth).

SSWB-300.CWD

시료명: 남해해수 B-3 0m HC

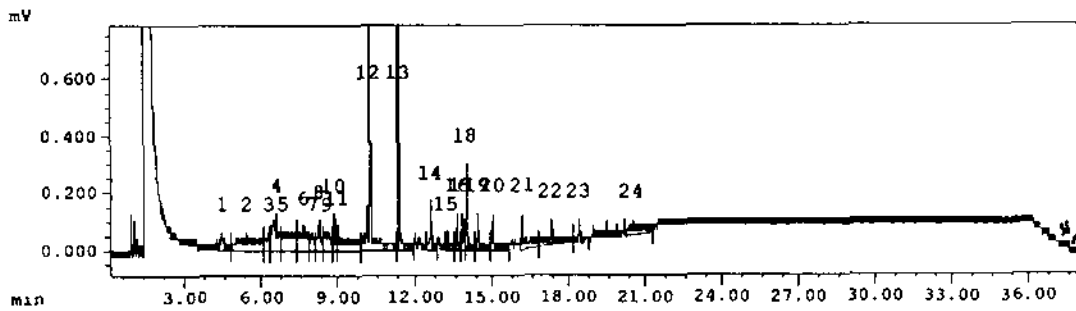
수집일자: 98/05/27



SSWB-320.CWD

시료명: 남해해수 B-3 20m HC

수집일자: 98/05/27



SSWB-340.CWD

시료명: 남해해수 B-3 40m HC

수집일자: 98/05/27

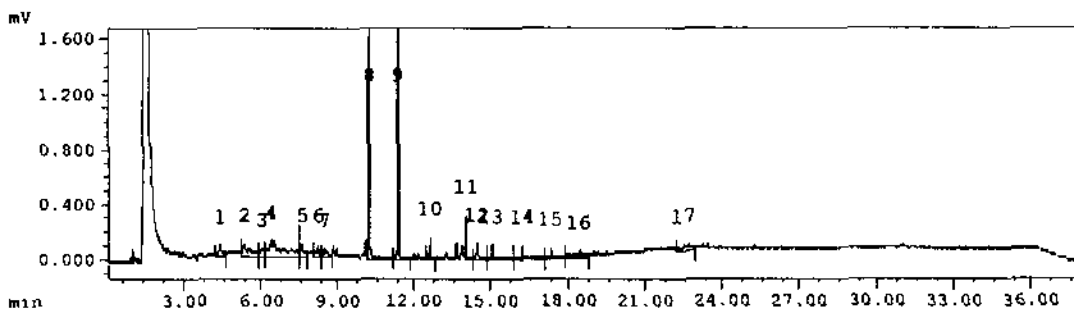


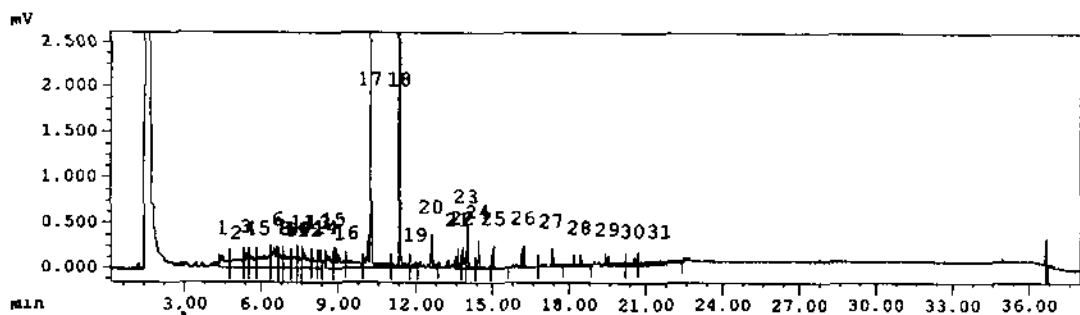
Figure 4-2. continued (site B-3 at 3 depth).



SSWB-500.CWD

시료명: 남해해수 B-5 0m HC

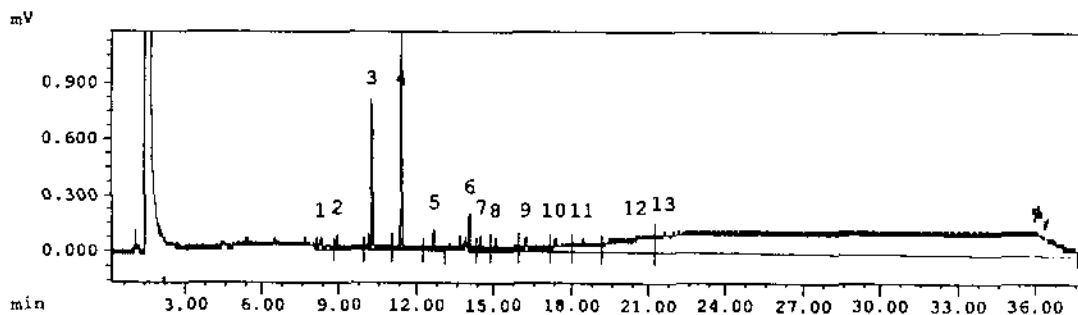
수집일자: 98/05/27



SSWB-530.CWD

시료명: 남해해수 B-5 30m HC

수집일자: 98/05/27



SSWB-550.CWD

시료명: 남해해수 B-5 50m HC

수집일자: 98/05/27

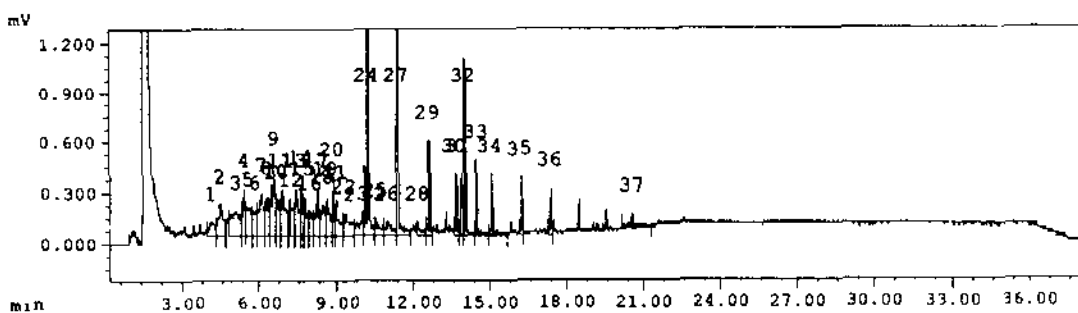
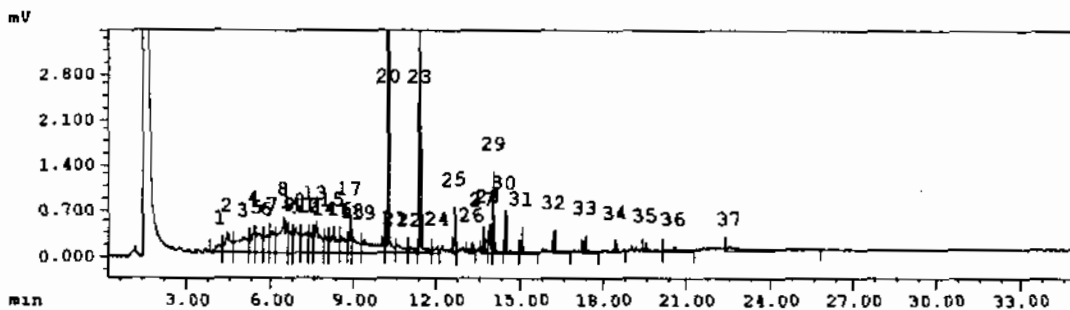


Figure 4-2. continued (site B-5 at 3 depth).

SSWB-700.CWD

시료명: 남해해수 B-7 0m HC

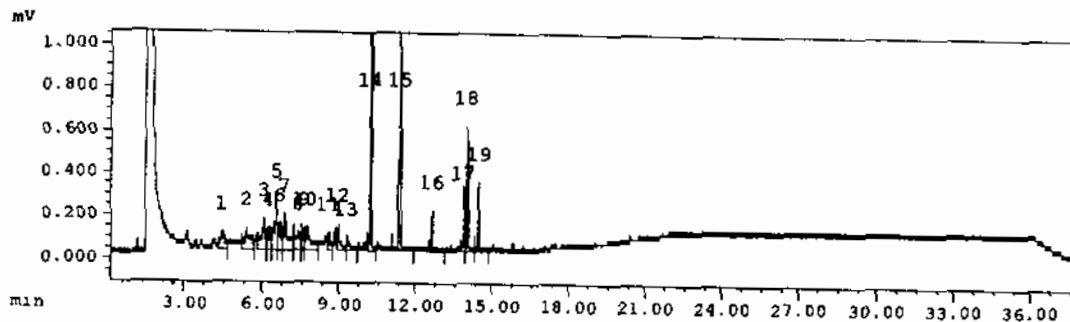
수집일자: 98/05/28



SSWB-710.CWD

시료명: 남해해수 B-7 10m HC

수집일자: 98/05/28



SSWB-750.CWD

시료명: 남해해수 B-7 50m HC

수집일자: 98/05/28

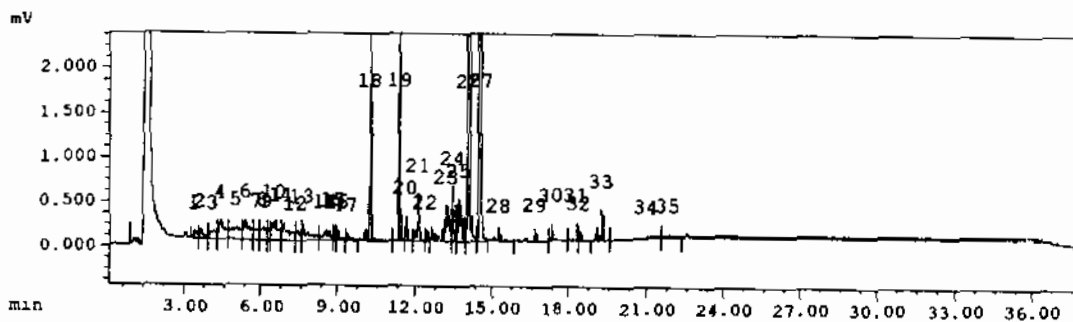
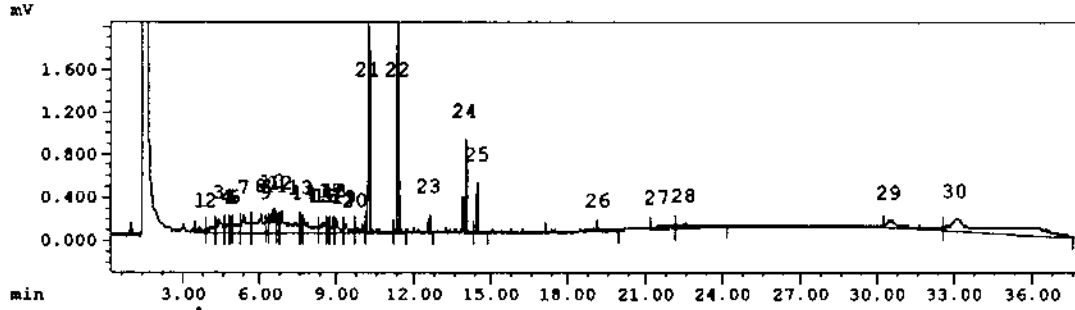


Figure 4-2, continued (site B-7 at 3 depth).

SSWB-900.CWD

시료명: 남해해수 B-9 0m HC

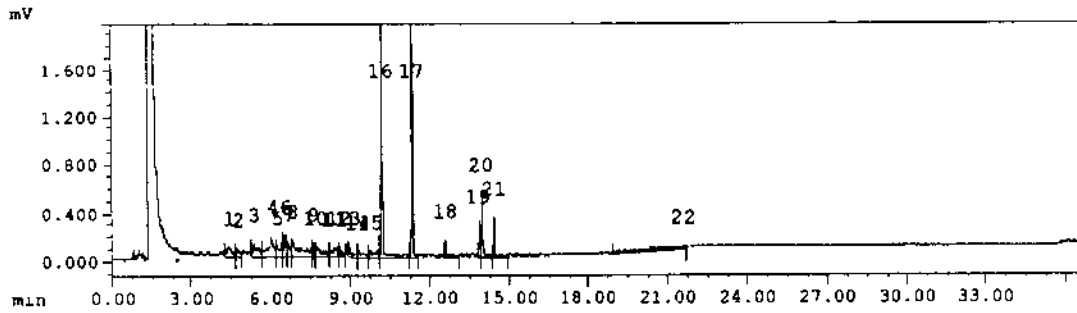
수집일자: 98/05/28



SSWB-910.CWD

시료명: 남해해수 B-9 10m HC

수집일자: 98/05/28



SSWB-950.CWD

시료명: 남해해수 B-9 50m HC

수집일자: 98/05/28

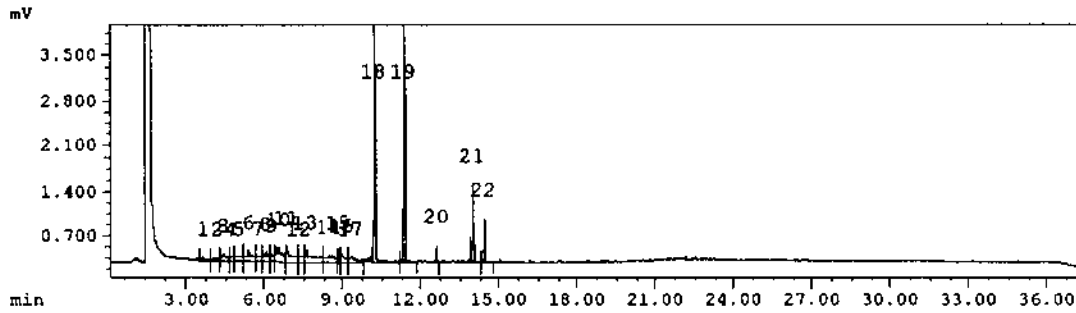
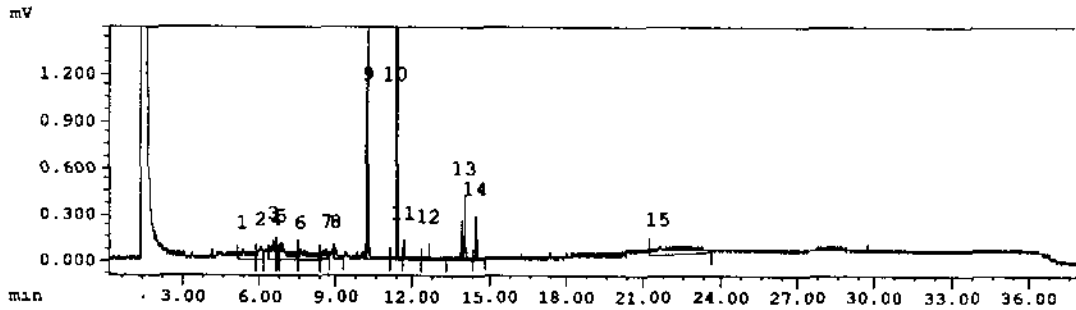


Figure 4-2. continued (site B-9 at 3 depth).

SSWB-110.CWD

시료명: 남해해수 B-11 0m HC

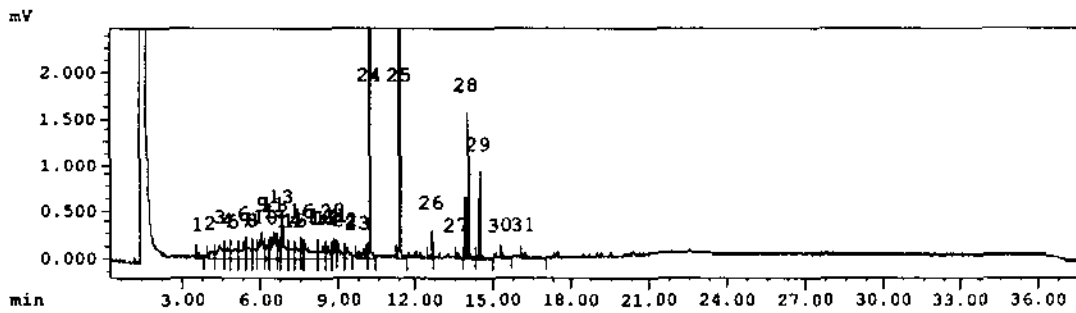
수집일자: 98/05/28



SSWB1110.CWD

시료명: 남해해수 B-11 10m HC

수집일자: 98/05/28



SSWB1150.CWD

시료명: 남해해수 B-11 50m HC

수집일자: 98/05/28

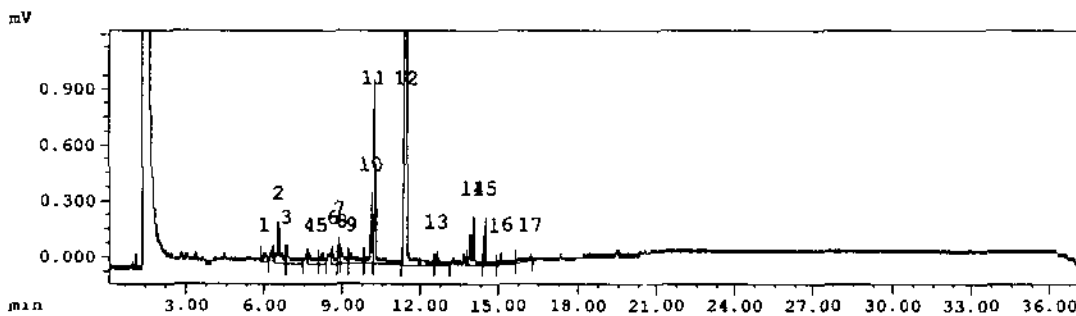
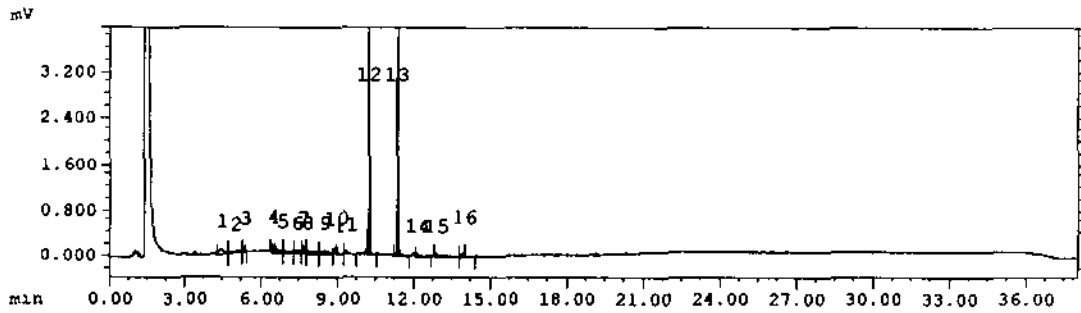


Figure 4-2. continued (site B-11 at 3 depth)

SSWC-100.CWD

시료명: 남해해수 C-1 0m HC

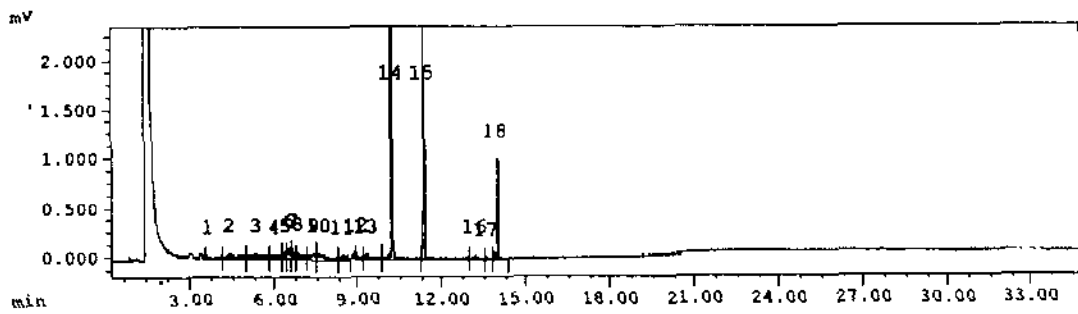
수집일자: 98/06/02



SSWC-120.CWD

시료명: 남해해수 C-1 20m HC

수집일자: 98/06/02



SSWC-130.CWD

시료명: 남해해수 C-1 30m HC

수집일자: 98/06/02

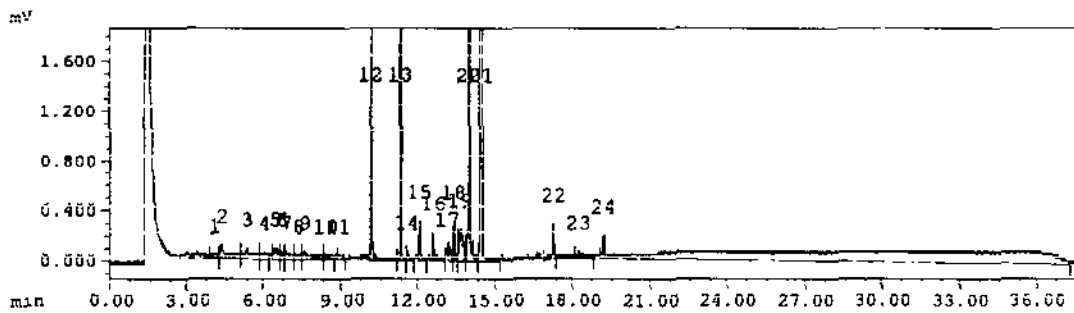
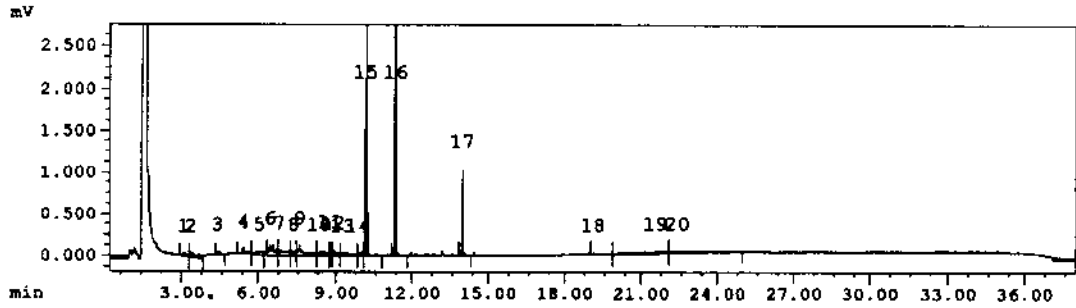


Figure 4-2. continued (site C-1 at 3 depth).

SSWC-300.CWD

시료명: 남해해수 C-3 0m HC

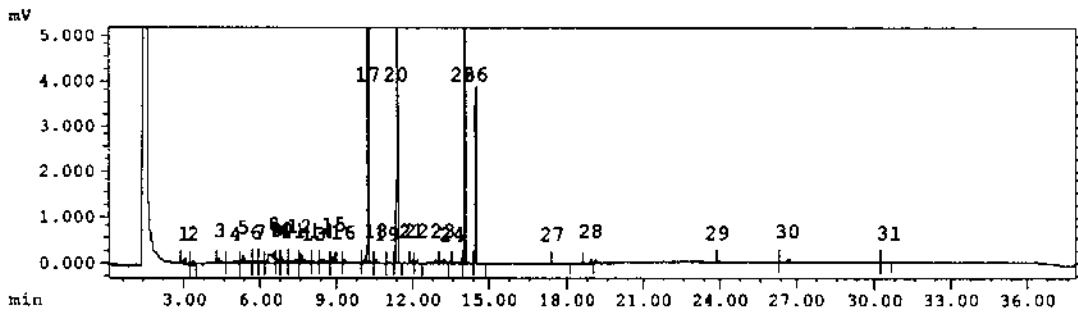
수집일자: 98/06/03



SSWC-330.CWD

시료명: 남해해수 C-3 30m HC

수집일자: 98/06/03



SSWC-350.CWD

시료명: 남해해수 C-3 50m HC

수집일자: 98/06/03

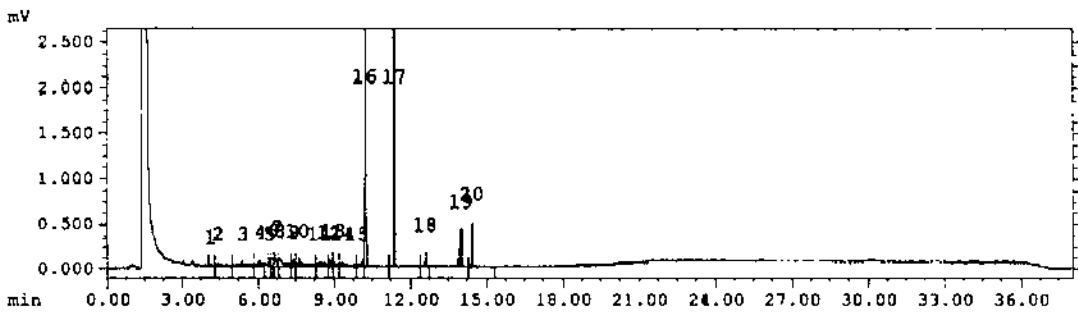
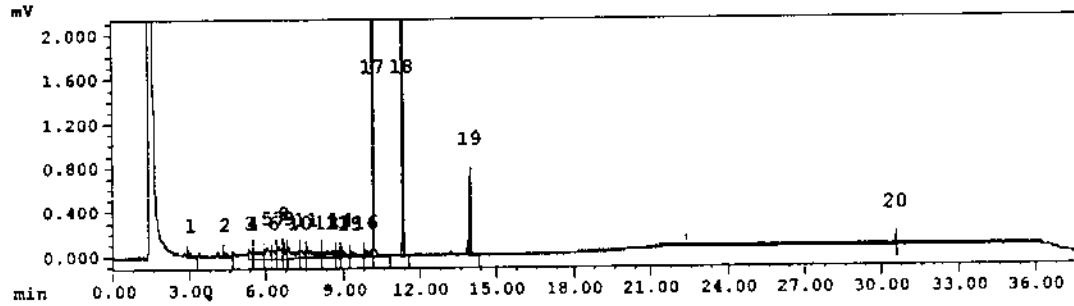


Figure 4-2, continued (site C-3 at 3 depth).

SSWC-500.CWD

시료명: 남해해수 C-5 0m HC

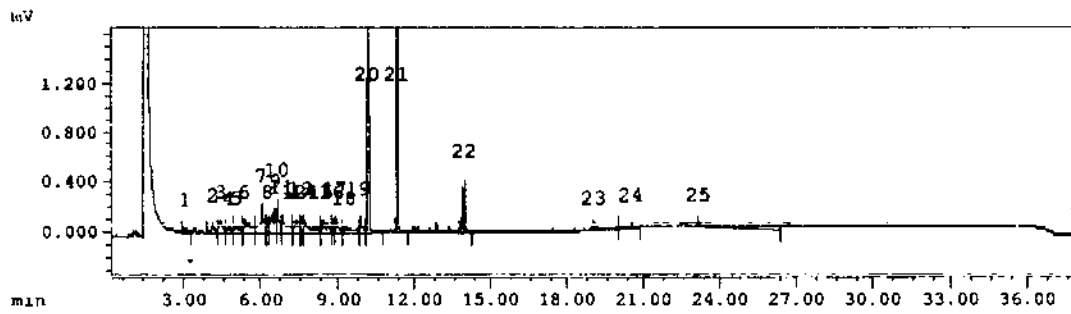
수집일자: 98/06/03



SSWC-530.CWD

시료명: 남해해수 C-5 30m HC

수집일자: 98/06/03



SSWC-585.CWD

시료명: 남해해수 C-5 85m HC

수집일자: 98/06/03

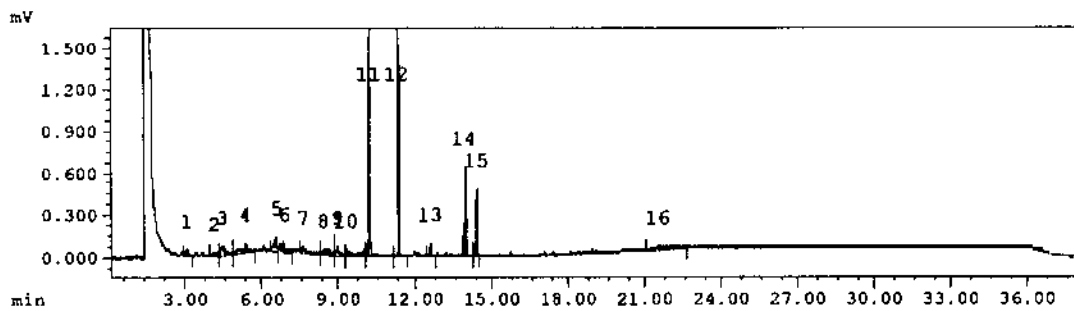
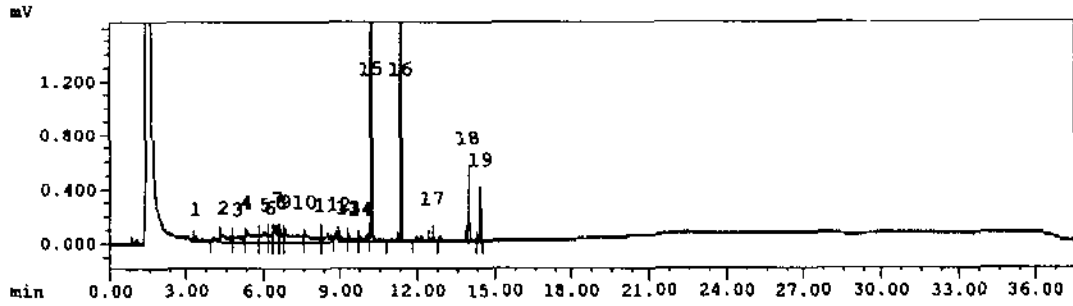


Figure 4-2. continued (site C-5 at 3 depth).

SSWC-700.CWD

시료명: 남해해수 C-7 0m HC

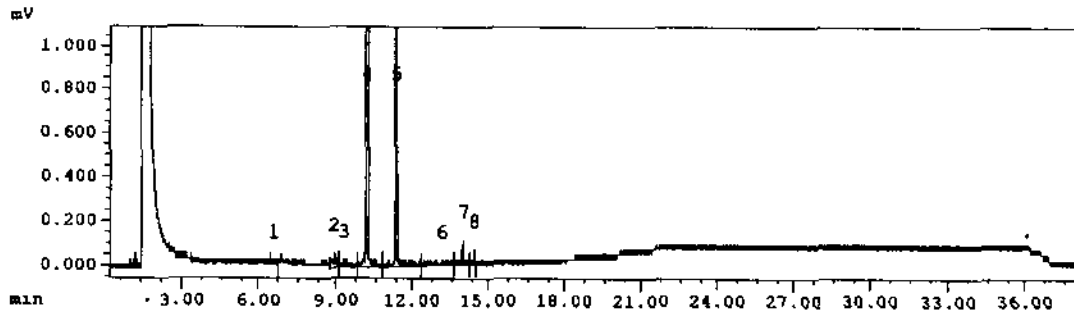
수집일자: 98/06/03



SSWC7'50.CWD

시료명: 남해해수 C-7 50m HC

수집일자: 98/06/04



SSWC7115.CWD

시료명: 남해해수 C-7 115m HC

수집일자: 98/06/03

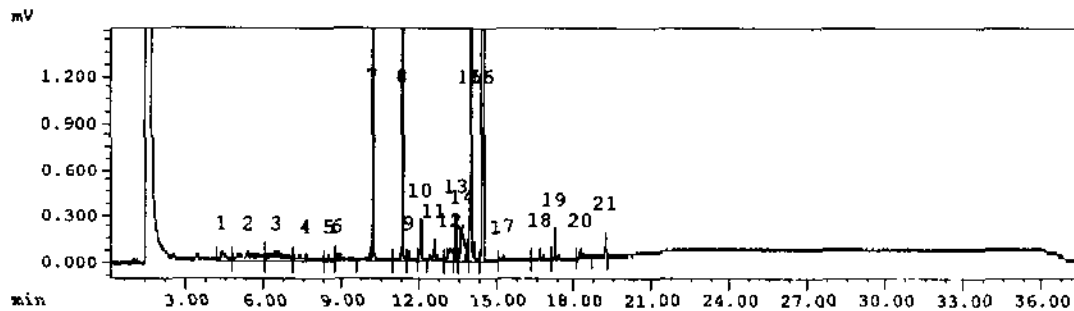


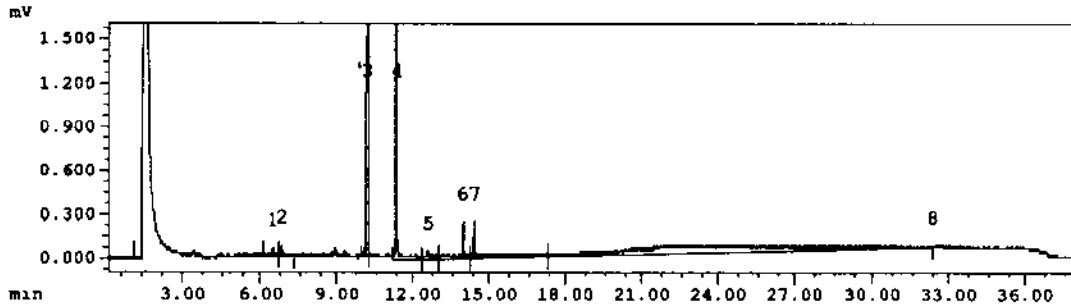
Figure 4-2. continued (site C-7 at 3 depth).



SSWC-900.CWD

시료명: 남해해수 C-9 0m HC

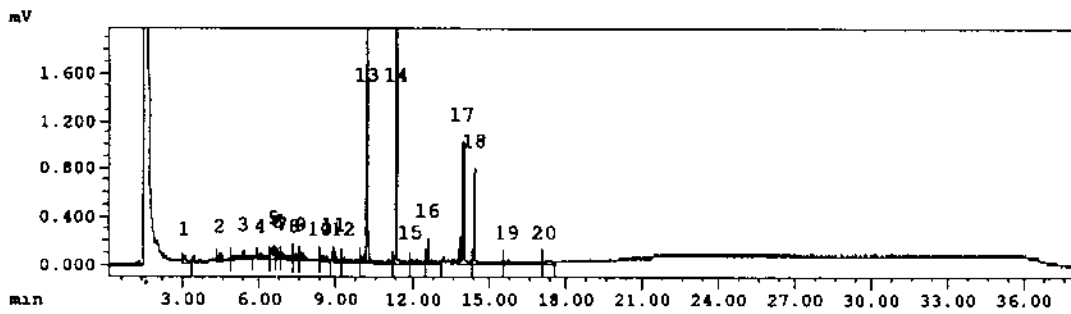
수집일자: 98/06/03



SSWC-950.CWD

시료명: 남해해수 C-9 50m HC

수집일자: 98/06/03



SSWC9115.CWD

시료명: 남해해수 C-9 115m HC

수집일자: 98/06/04

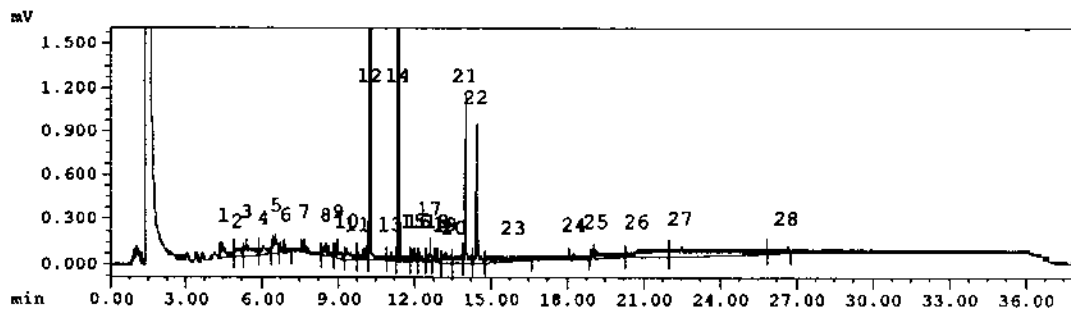


Figure 4-2. continued (site C-9 at 3 depth).

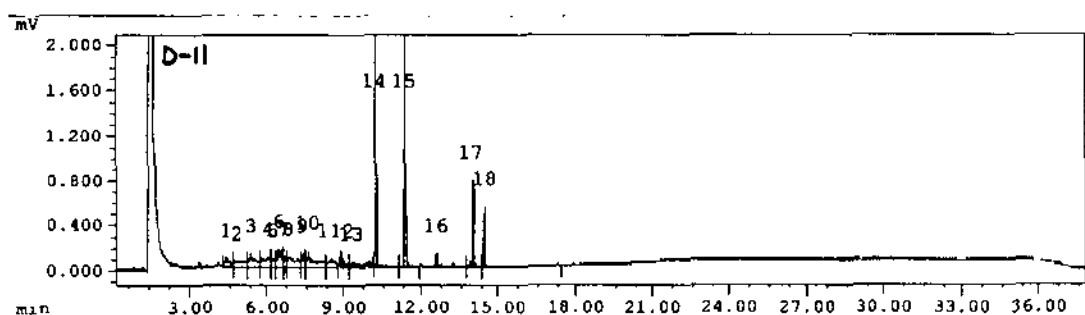
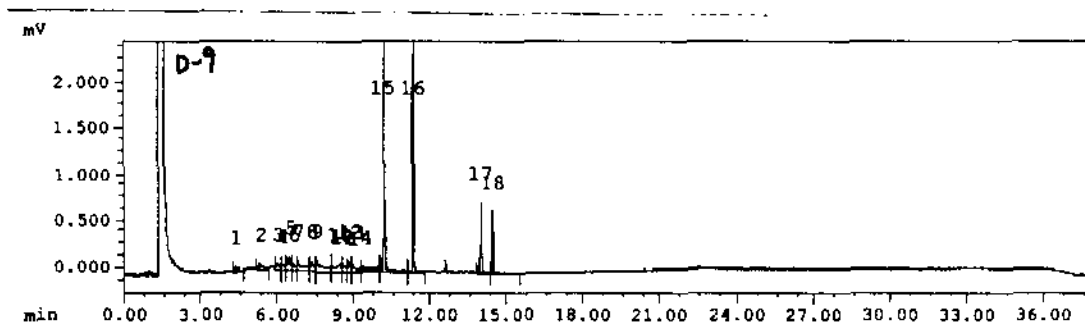
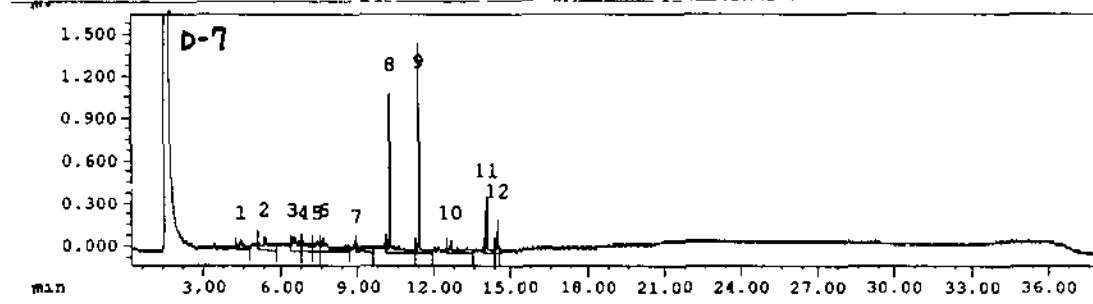
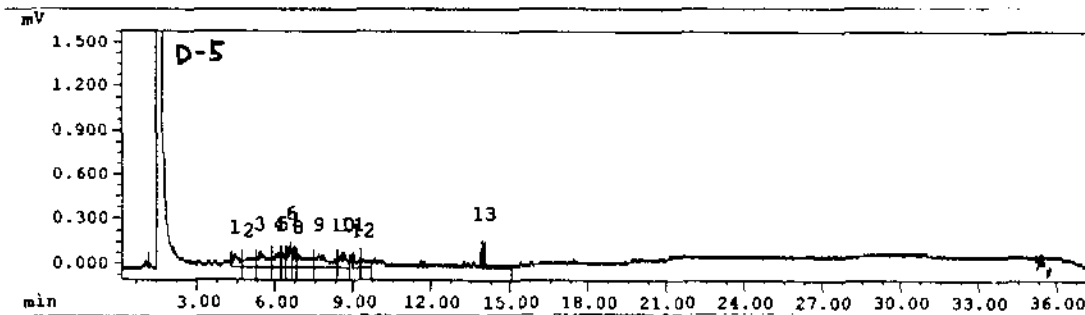
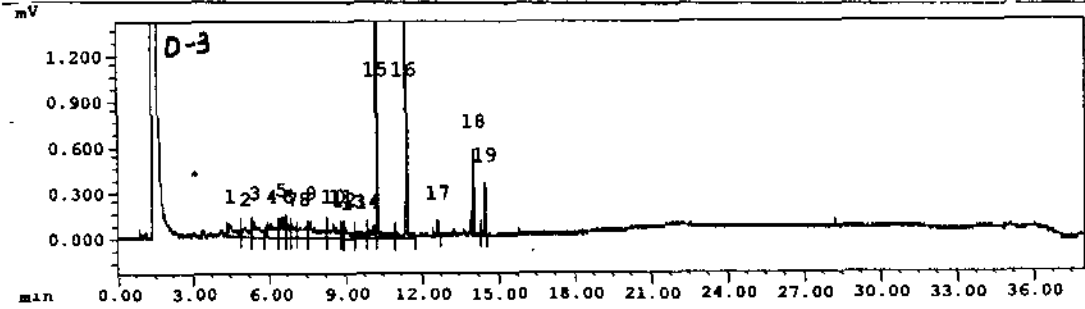
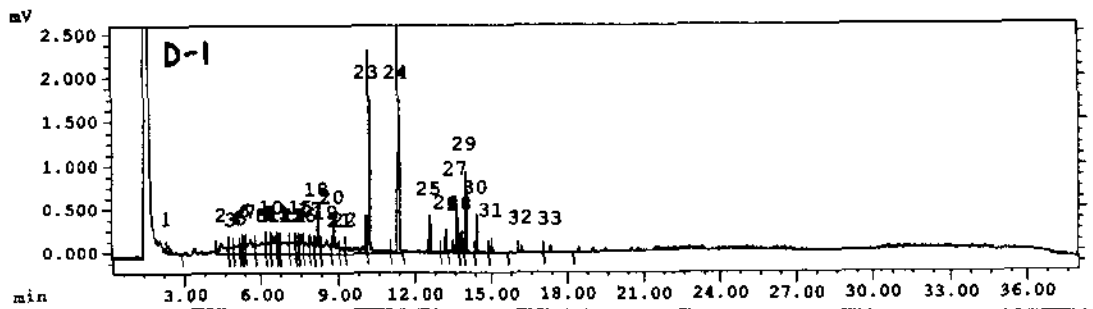


Figure 4-2. continued (site D-line).

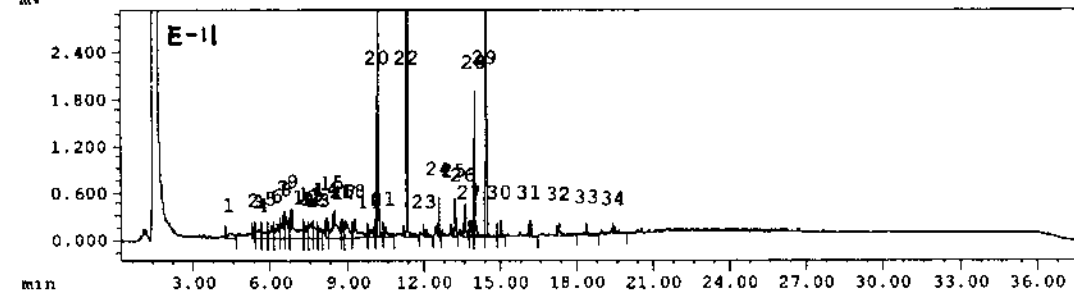
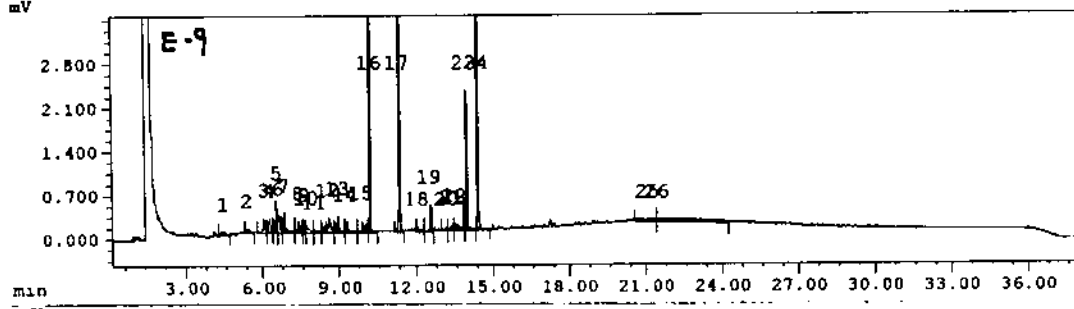
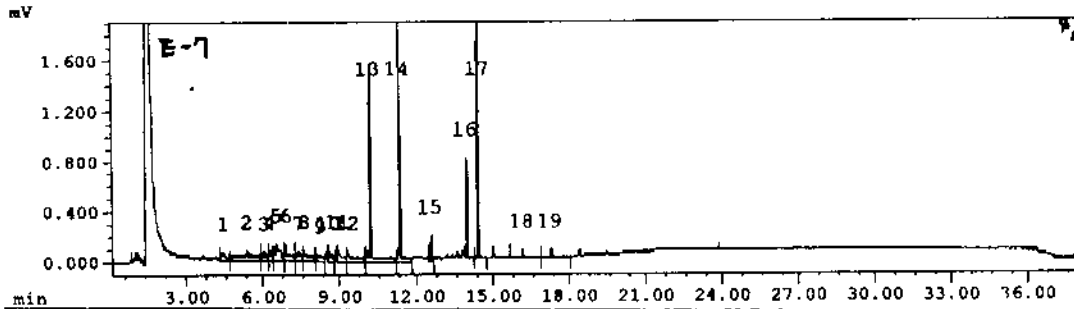
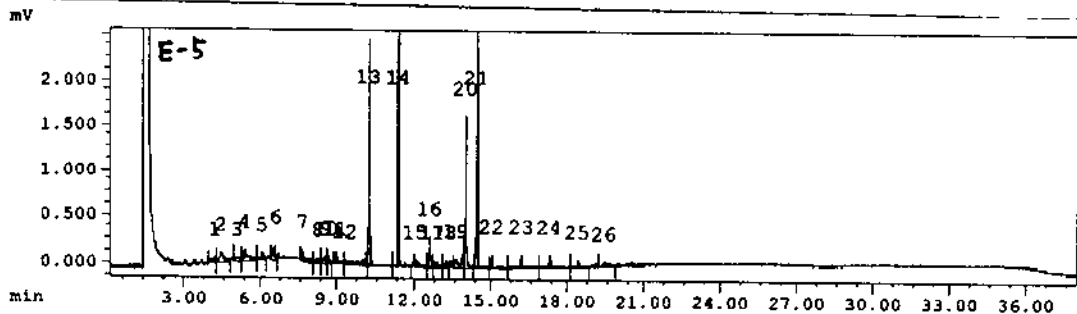
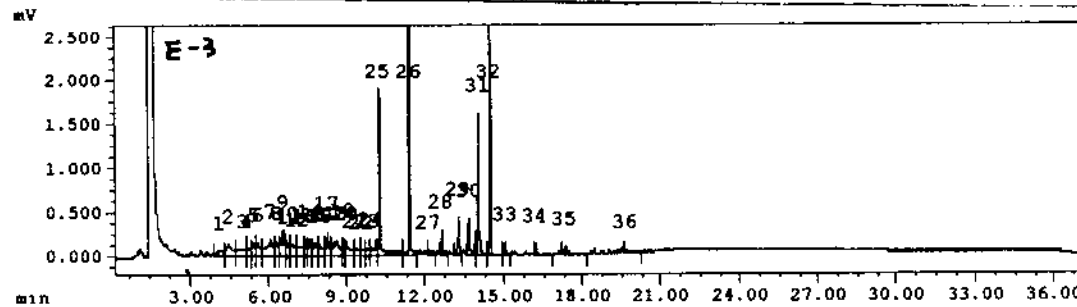
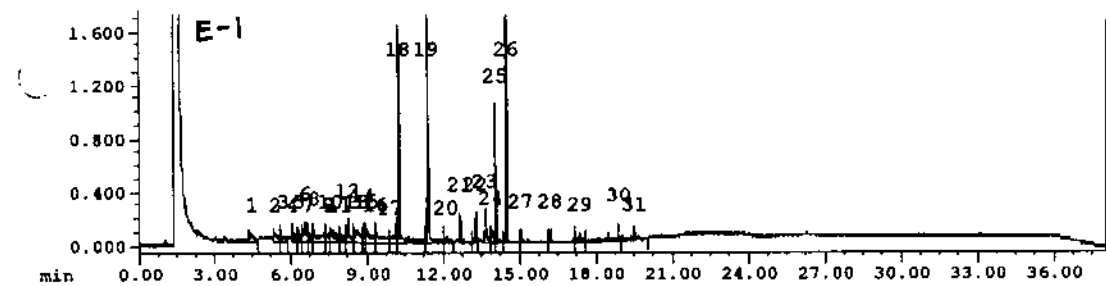


Figure 4-2, continued (site E-line).

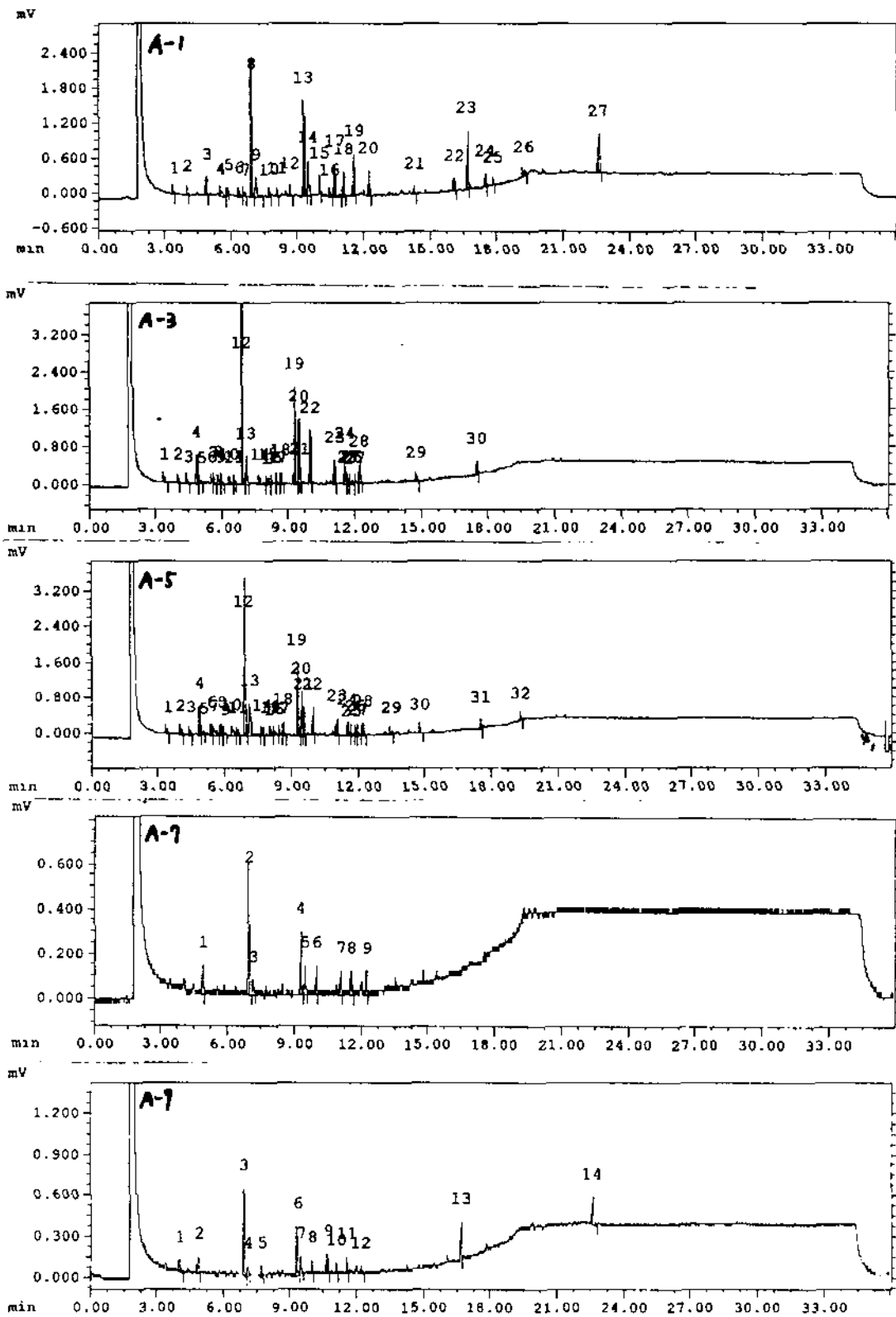
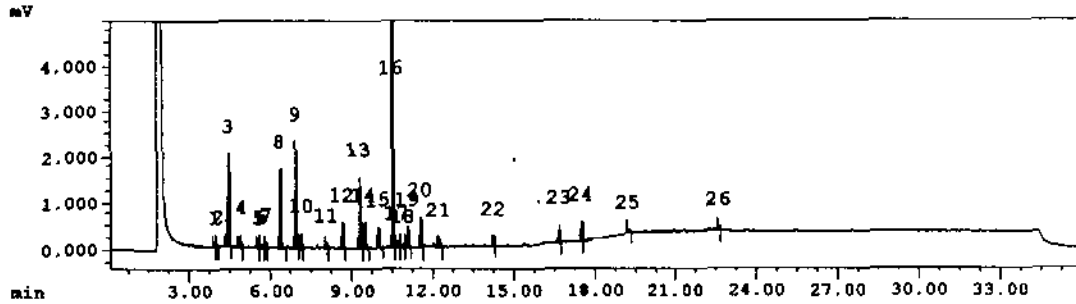


Figure 4-3. GC chromatogram of fatty acid extracted from sea water collected at Apr. 1998

FSWB-100.CWD

시료명: 남해SW B-1 0m FAME

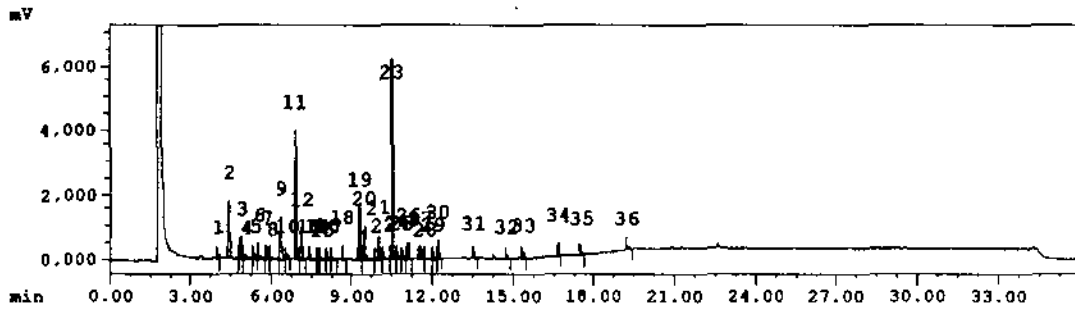
수집일자: 98/06/09



FSWB-110.CWD

시료명: 남해SW B-1 10m FAME

수집일자: 98/06/09



FSWB-120.CWD

시료명: 남해SW B-1 20m FAME

수집일자: 98/06/10

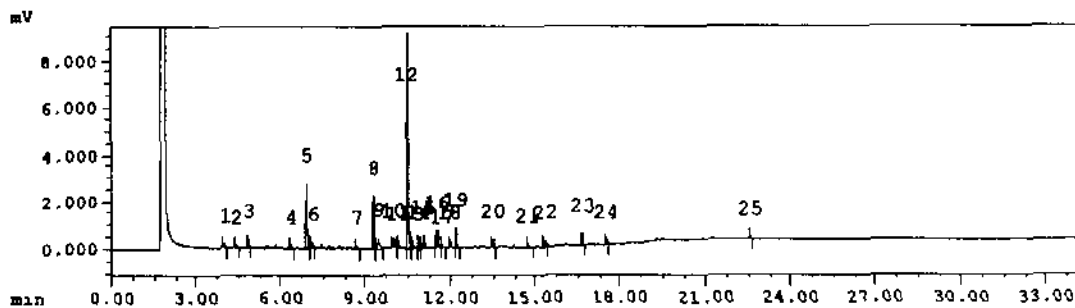
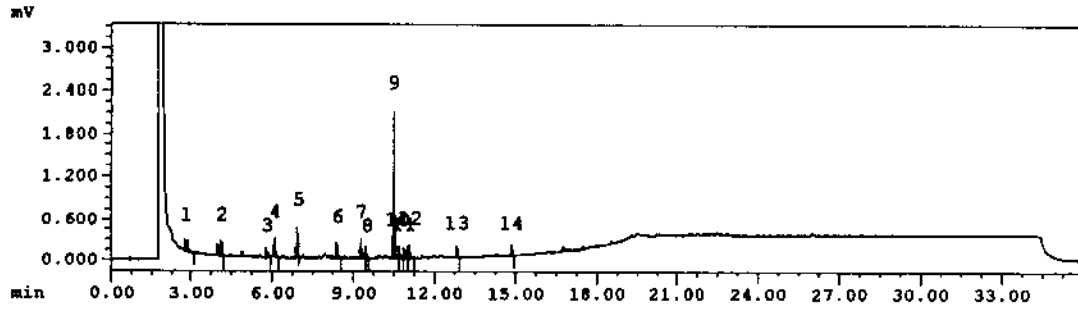


Figure 4-3. continued (site B-1 at 3 depth).

FSWB-300.CWD

시료명: 남해SW B-3 0m FAME

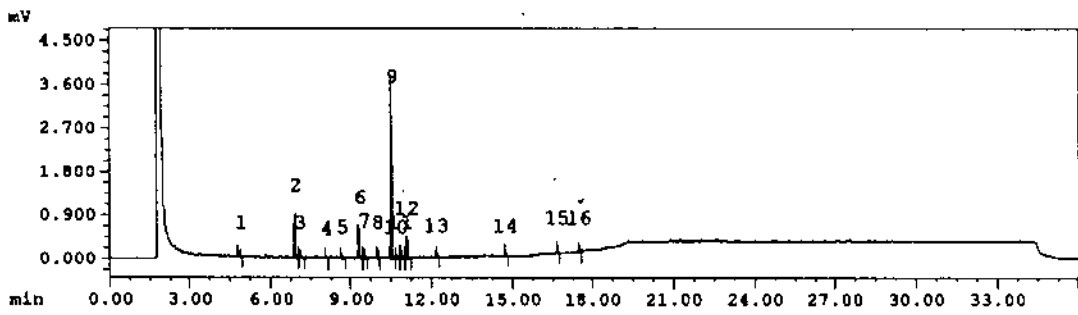
수집일자: 98/06/10



FSWB-320.CWD

시료명: 남해SW B-3 20m FAME

수집일자: 98/06/10



FSWB-340.CWD

시료명: 남해SW B-3 40m FAME

수집일자: 98/06/10

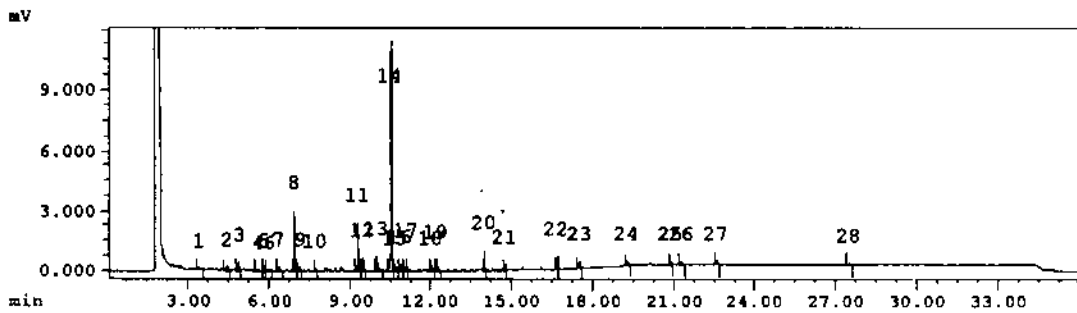
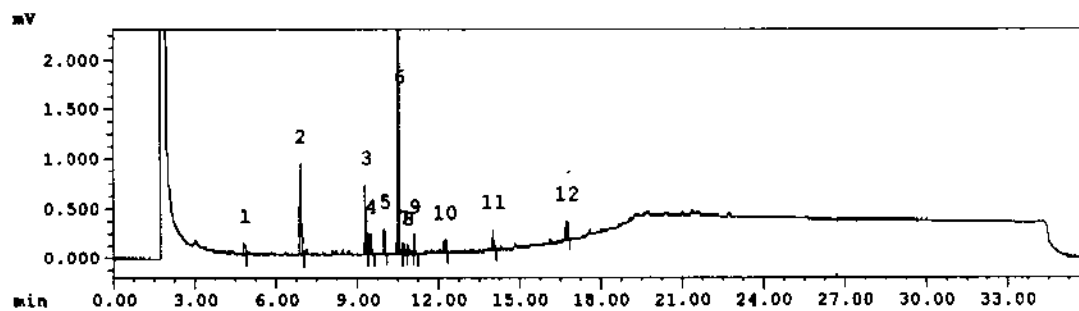


Figure 4-3. continued (site B-3 at 3 depth).

FSWB-500.CWD

시료명: 남해SW B-5 0m FAME

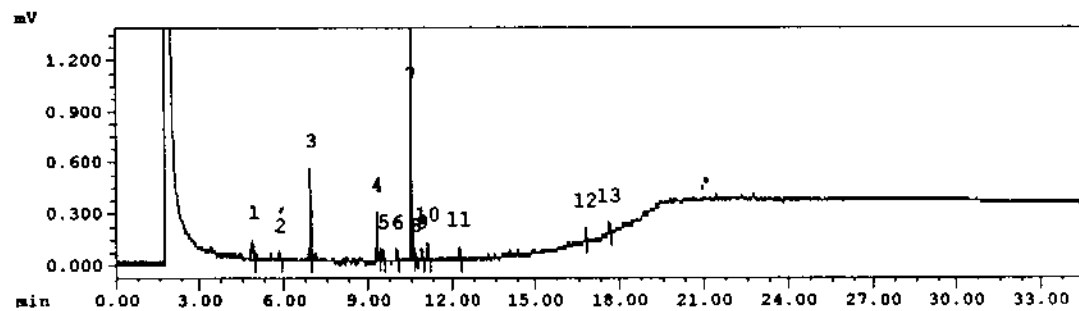
수집일자: 98/06/10



FSWB-530.CWD

시료명: 남해SW B-5 30m FAME

수집일자: 98/06/10



FSWB-550.CWD

시료명: 남해SW B-5 50m FAME

수집일자: 98/06/10

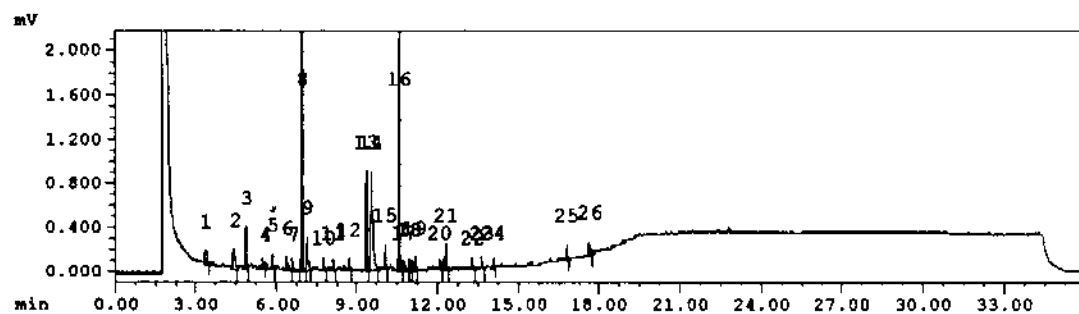
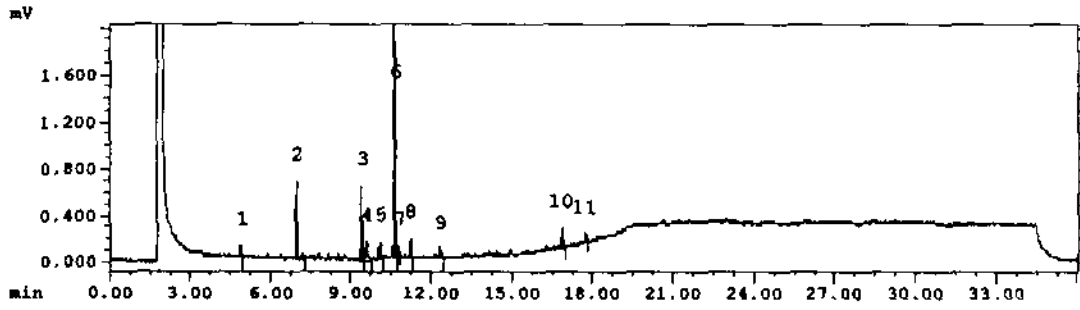


Figure 4-3, continued (site B-5 at 3 depth).

FSEB-70'.CWD

시료명: 남해SW B-7 0m FAME

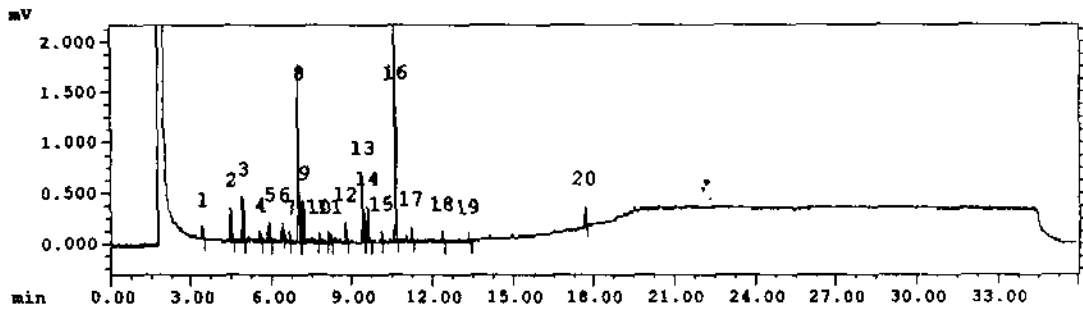
수집일자: 98/06/10



FSWB-710'.CWD

시료명: 남해SW B-7 10m FAME

수집일자: 98/06/10



FSWB-750'.CWD

시료명: 남해SW B-7 50m FAME

수집일자: 98/06/10

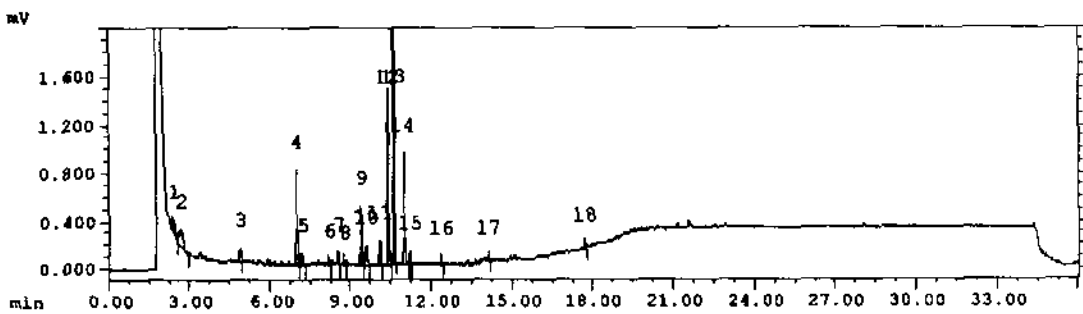


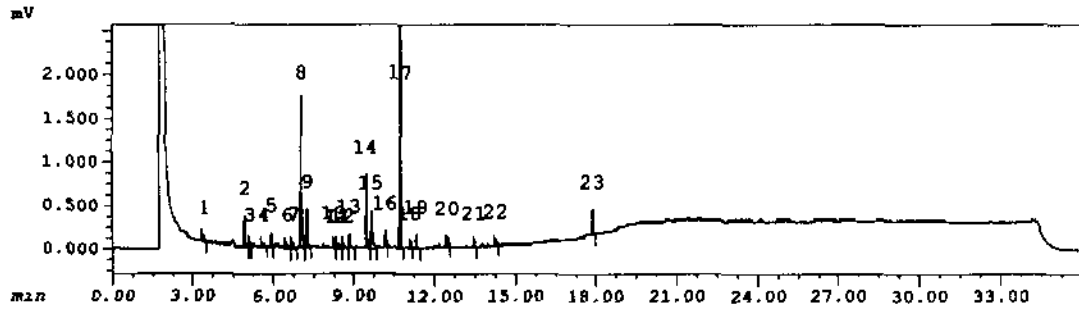
Figure 4-3. continued (site B-7 at 3 depth).



FSWB-900.CWD

시료명: 남해SW B-9 0m FAME

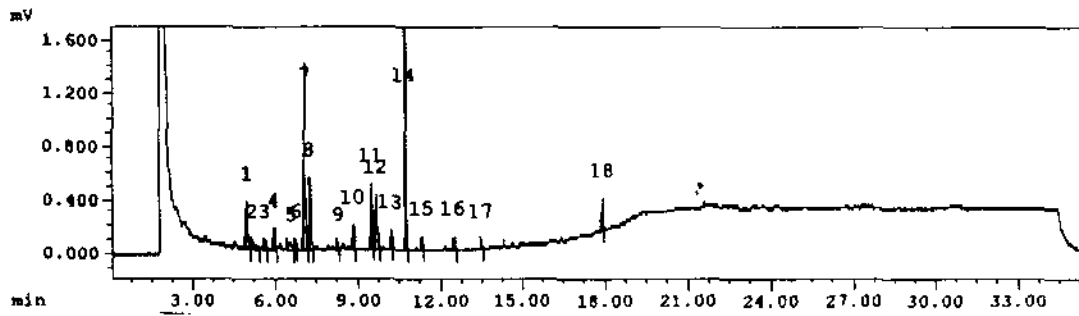
수집일자: 98/06/11



FSWB-910.CWD

시료명: 남해SW B-9 10m FAME

수집일자: 98/06/11



FSWB-950.CWD

시료명: 남해SW B-9 50m FAME

수집일자: 98/06/11

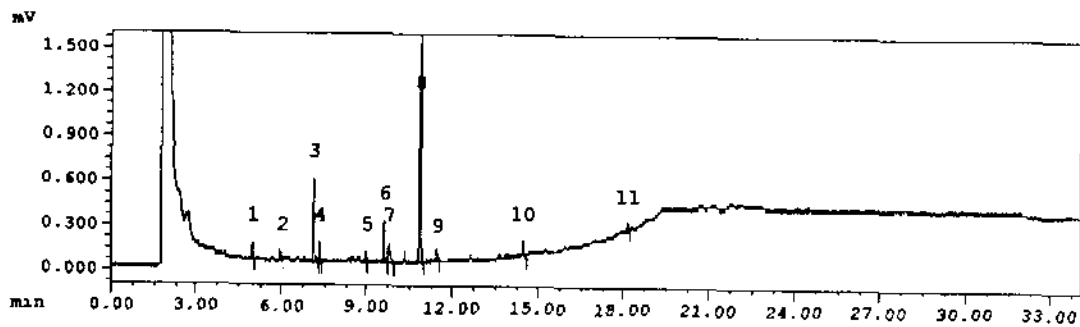
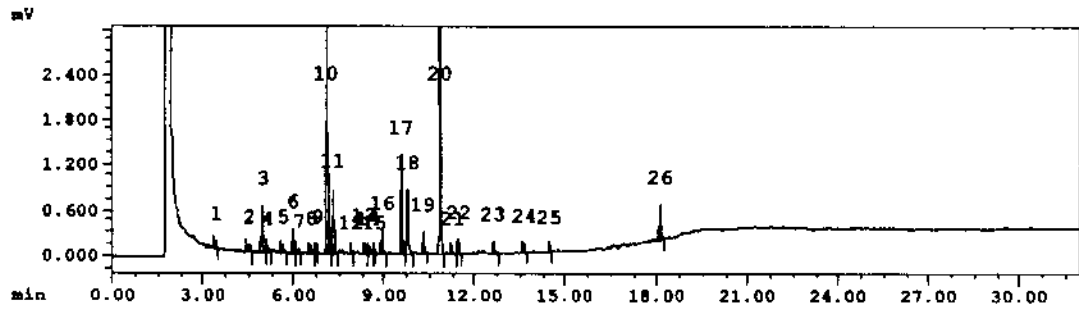


Figure 4-3. continued (site B-9 at 3 depth).

FSWB1100.CWD

시료명: 남해SW B-11 0m FAME

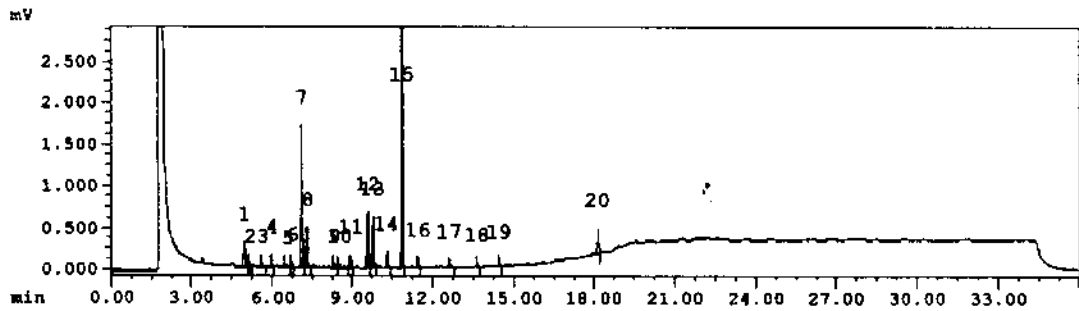
수집일자: 98/06/11



FSWB1110.CWD

시료명: 남해SW B-11 10m FAME

수집일자: 98/06/11



FSWB1150.CWD

시료명: 남해SW B-11 50m FAME

수집일자: 98/06/11

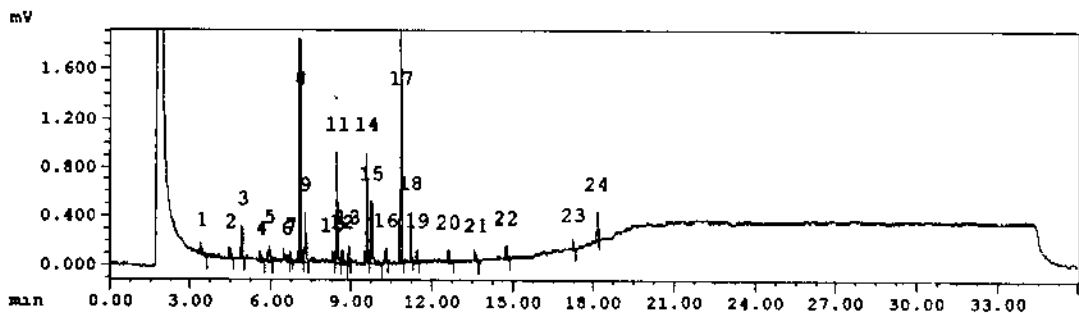
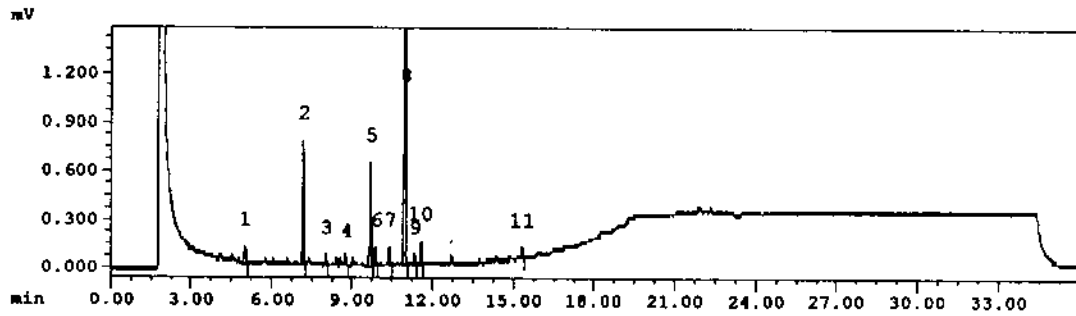


Figure 4-3. continued (site B-11 at 3 depth).

FSWC-100.CWD

시료명: 남해SW C-1 0m FAME

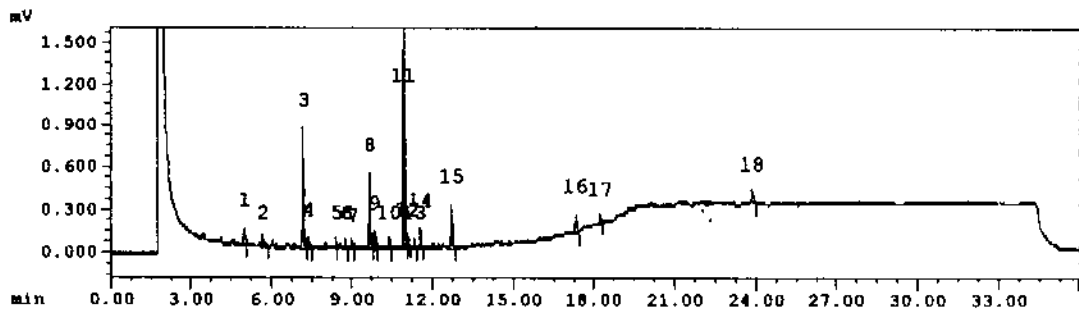
수집일자: 98/06/11



FSWC-120.CWD

시료명: 남해SW C-1 20m FAME

수집일자: 98/06/11



FSWC-130.CWD

시료명: 남해SW C-1 30m FAME

수집일자: 98/06/11

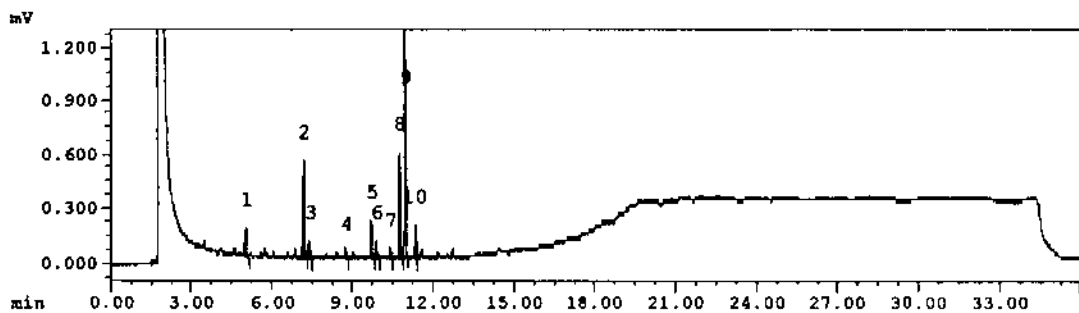
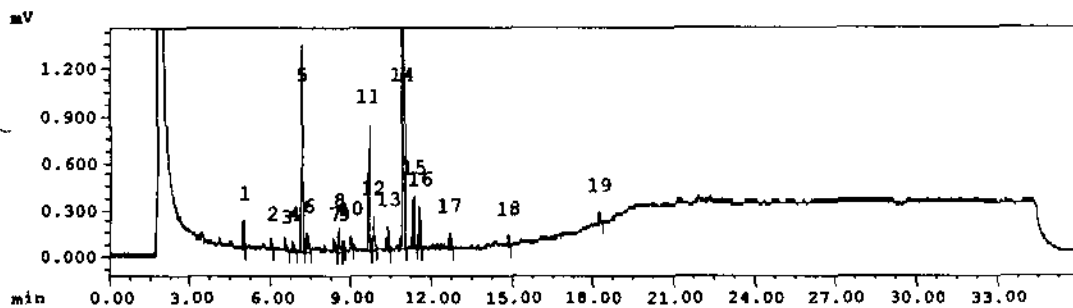


Figure 4-3. continued (site C-1 at 3 depth).

FSWC-300.CWD

시료명: 남해SW C-3 0m FAME

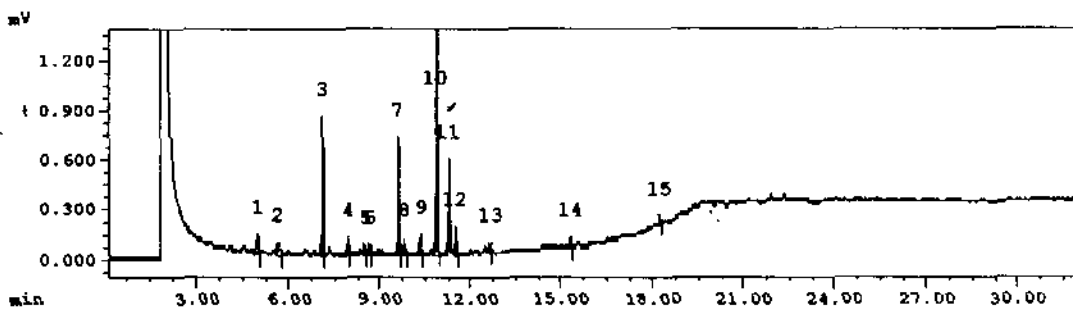
수집일자: 98/06/11



FSWC-330.CWD

시료명: 남해SW C-3 30m FAME

수집일자: 98/06/12



FSWC-350.CWD

시료명: 남해SW C-3 50m FAME

수집일자: 98/06/12

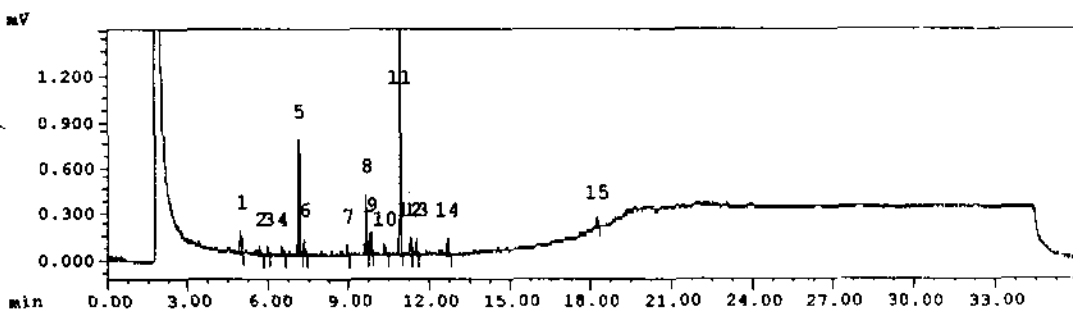
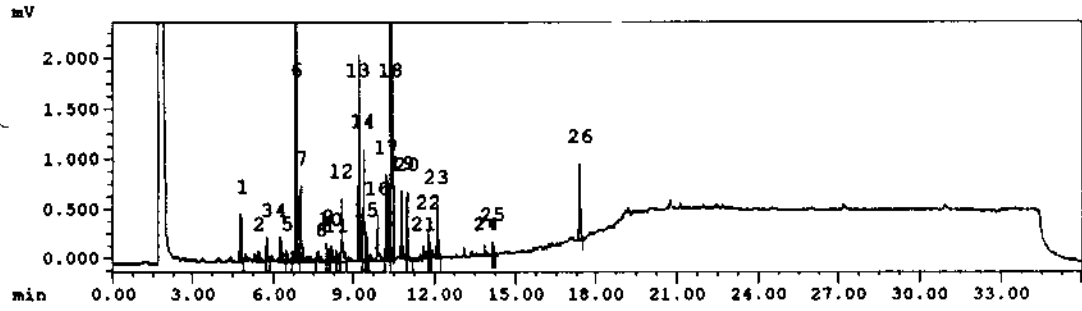


Figure 4-3. continued (site C-3 at 3 depth).

FSWC-500.CWD

시료명: 남해SW C-5 0m FAME

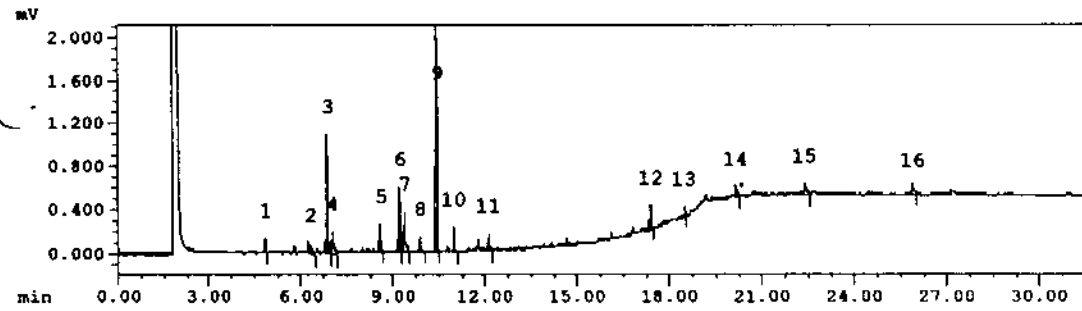
수집일자: 98/06/18



FSWC-530.CWD

시료명: 남해SW C-5 30m FAME

수집일자: 98/06/19



FSWC-585.CWD

시료명: 남해SW C-5 85m FAME

수집일자: 98/06/19

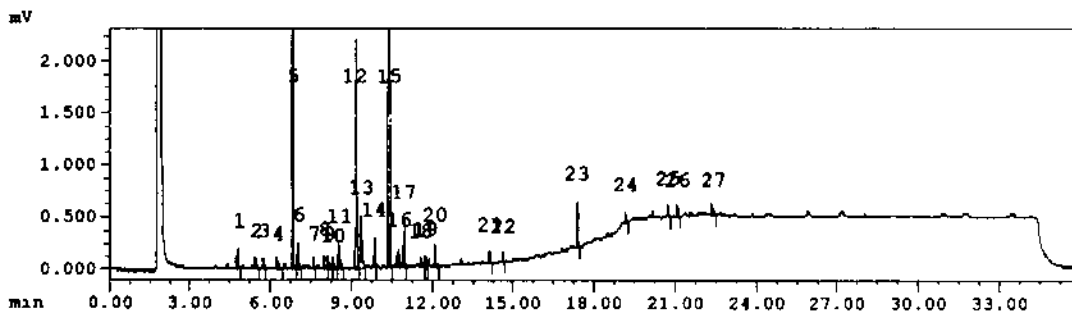
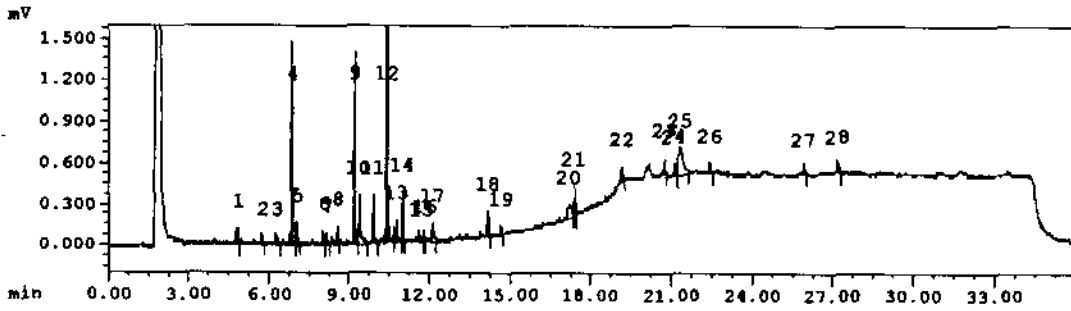


Figure 4-3. continued (site C-5 at 3 depth).

FSWC-700.CWD

시료명: 남해SW C-7 0m FAME

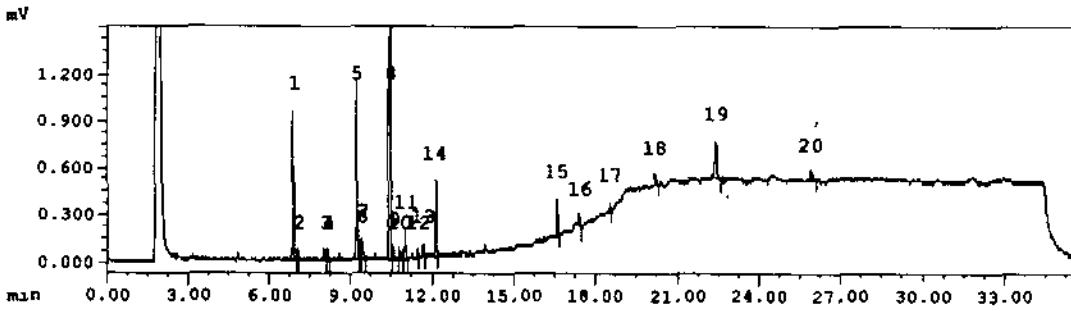
수집일자: 98/06/19



FSWC-750.CWD

시료명: 남해SW C-7 50m FAME

수집일자: 98/06/19



FSWC7115.CWD

시료명: 남해SW C-7 115m FAME

수집일자: 98/06/19

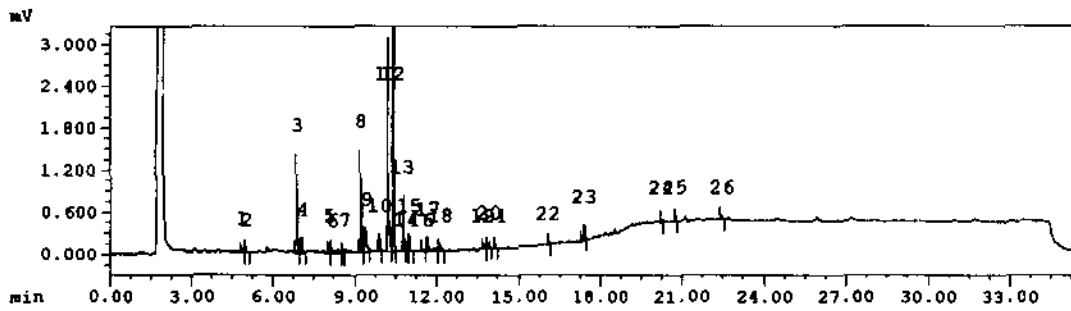
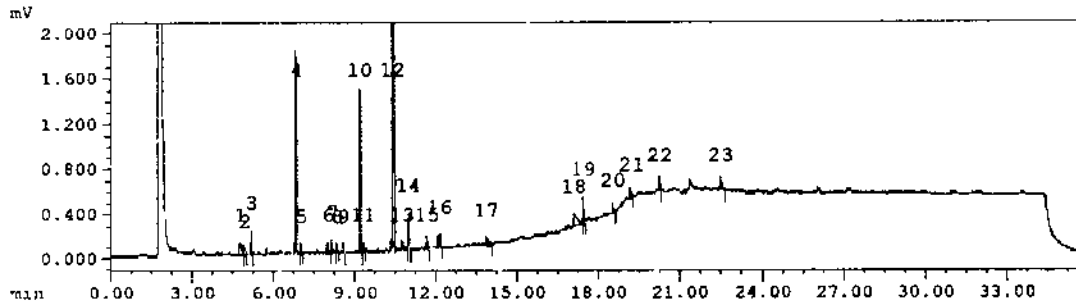


Figure 4-3. continued (site C-7 at 3 depth).

FSWC-900.CWD

시료명: 남해SW C-9 0m FAME

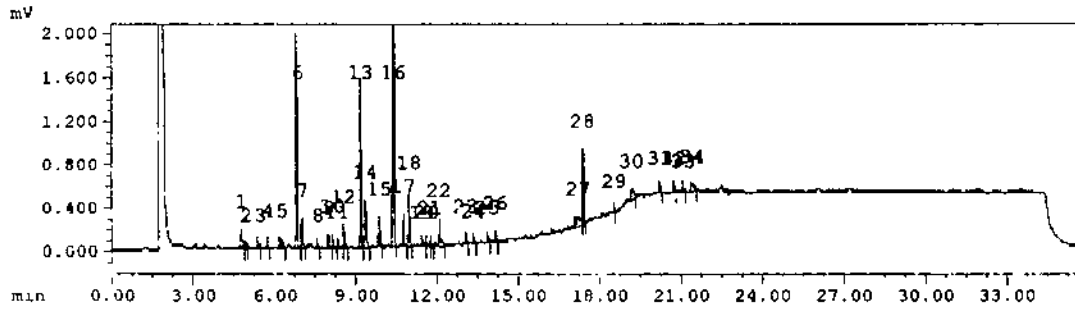
수집일자: 98/06/23



FSWC-950.CWD

시료명: 남해SW C-9 50m FAME

수집일자: 98/06/23



FSWC115.CWD

시료명: 남해SW C-9 115m FAME

수집일자: 98/06/23

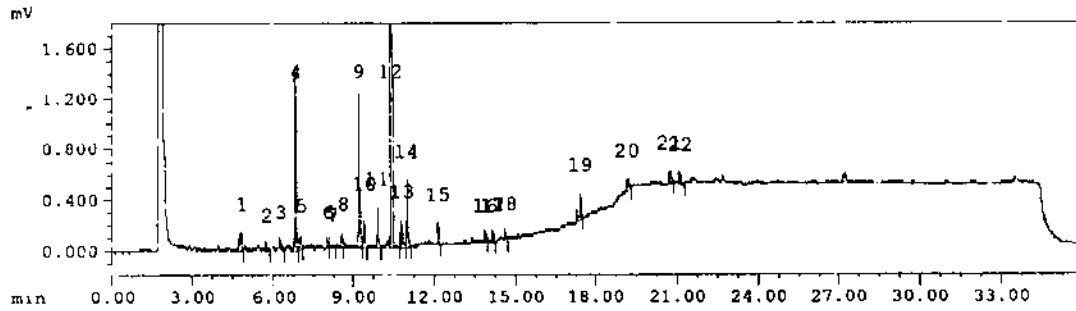


Figure 4-3. continued (site C-9 at 3 depth).

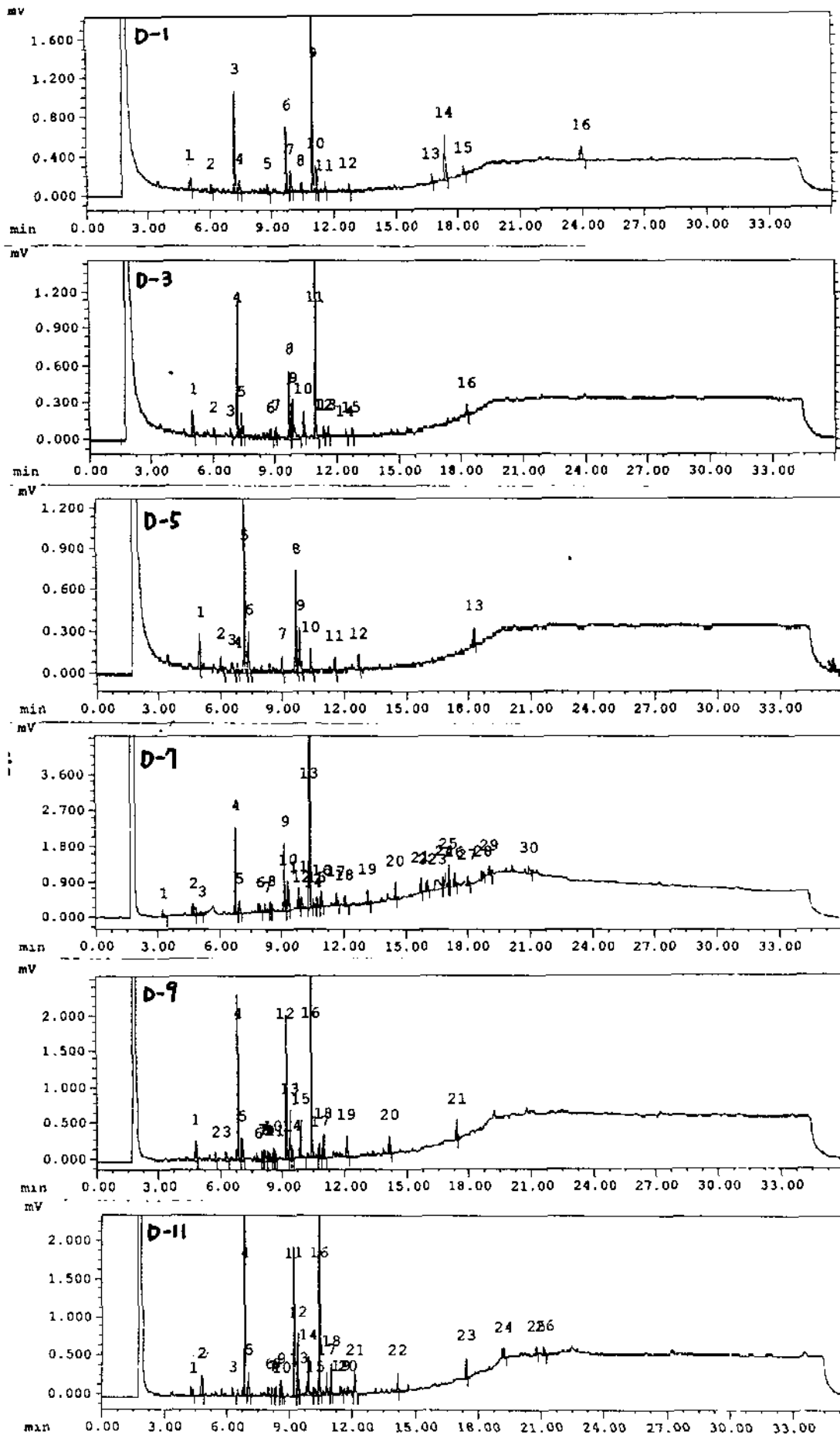


Figure 4-3. continued (D-line).



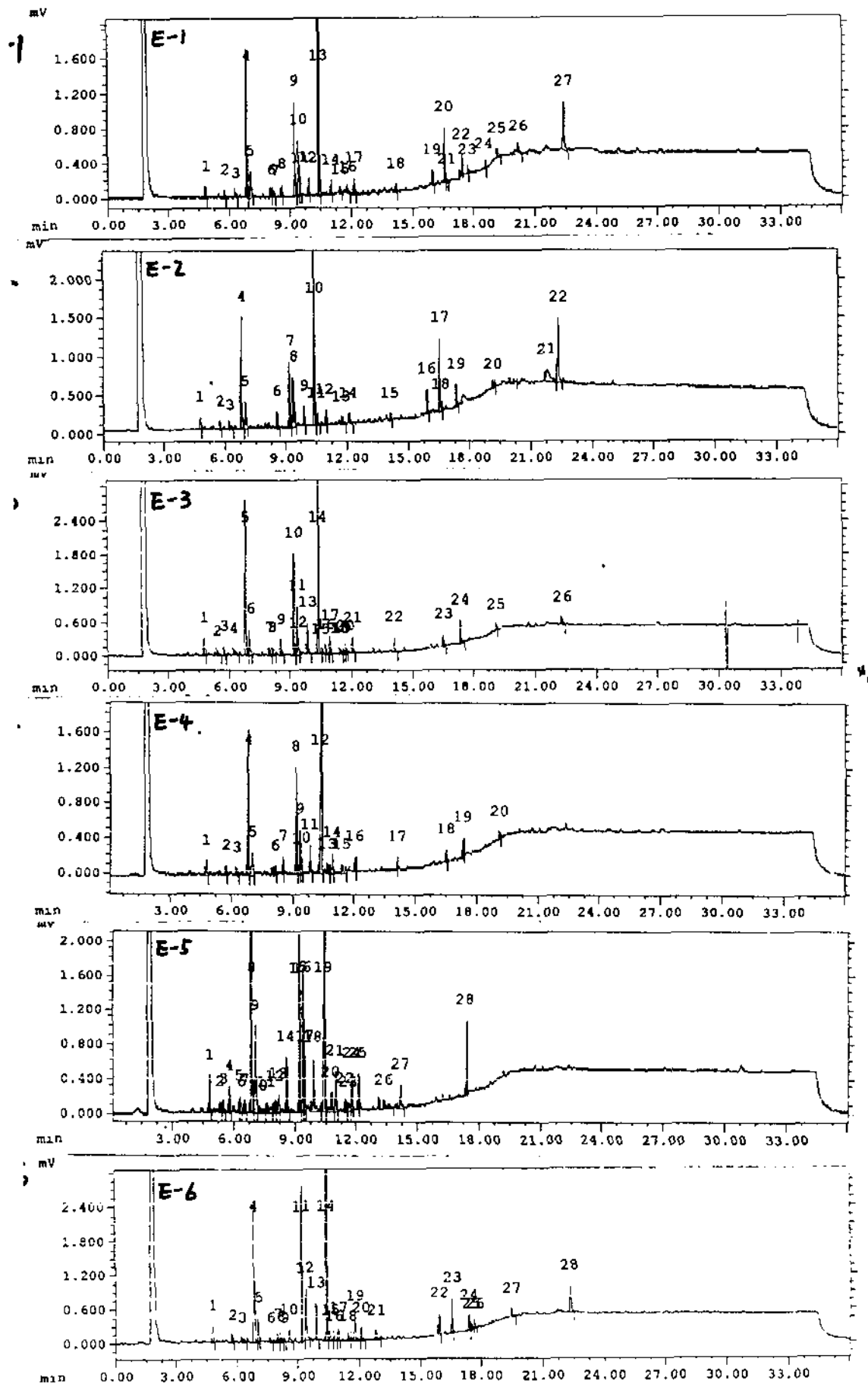


Figure 4-3. continued (E-line).

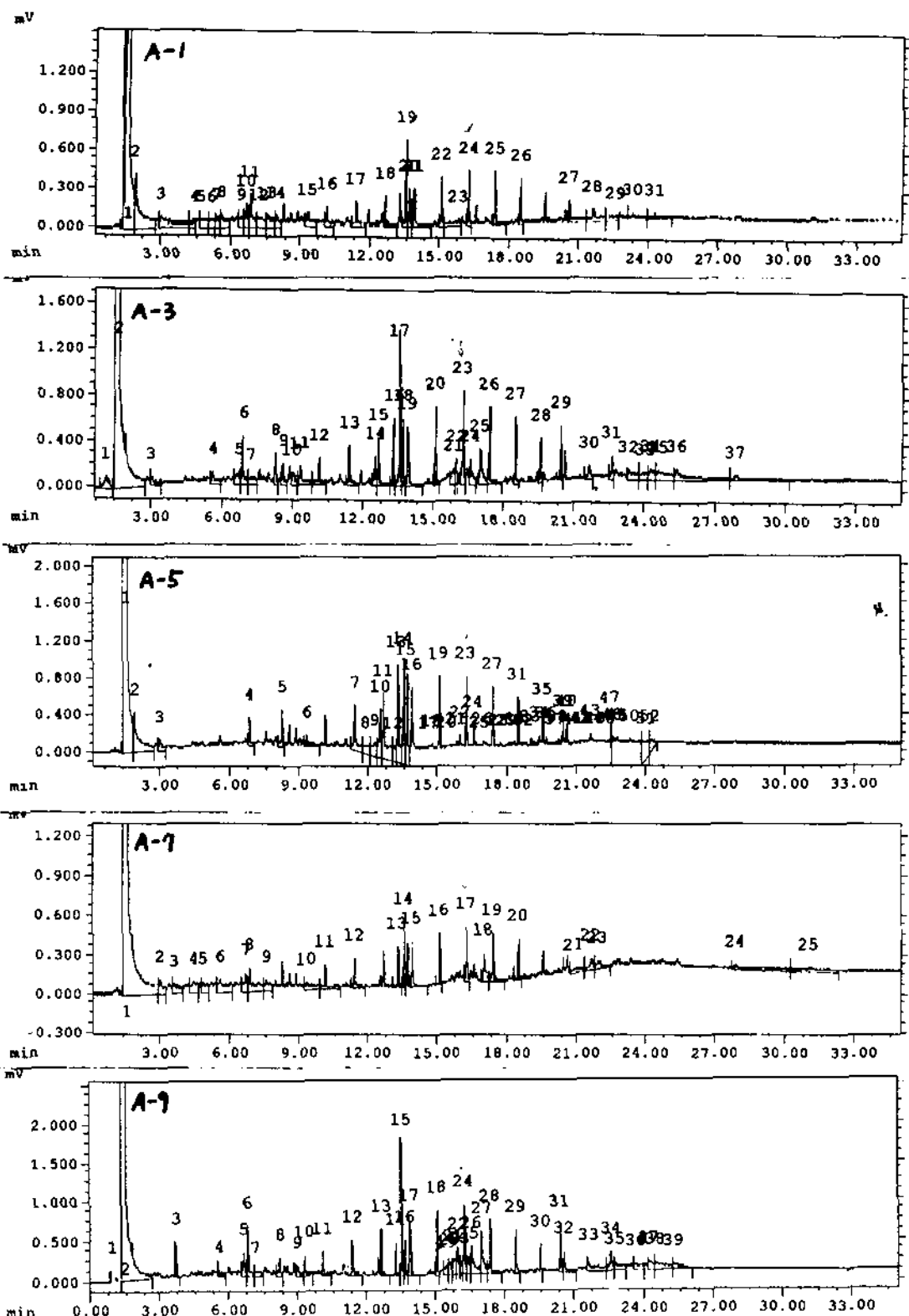
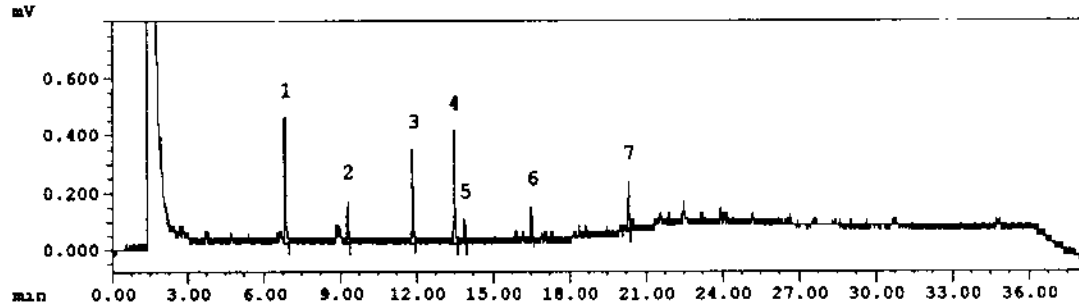


Figure 4-4. GC chromatogram of hydrocarbon extracted from sediment collected at Apr. 1998 (A-line)

SS072912.CWD

시료명: 남해Sediment B-1-1HC

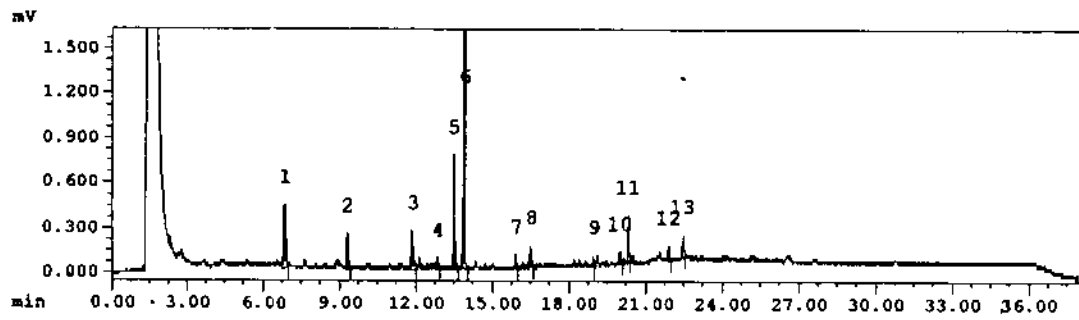
수집일자: 98/07/29



SS072913.CWD

시료명: 남해Sediment B-1-3HC

수집일자: 98/07/29



SS072915.CWD

시료명: 남해Sediment B-1-5HC

수집일자: 98/07/29

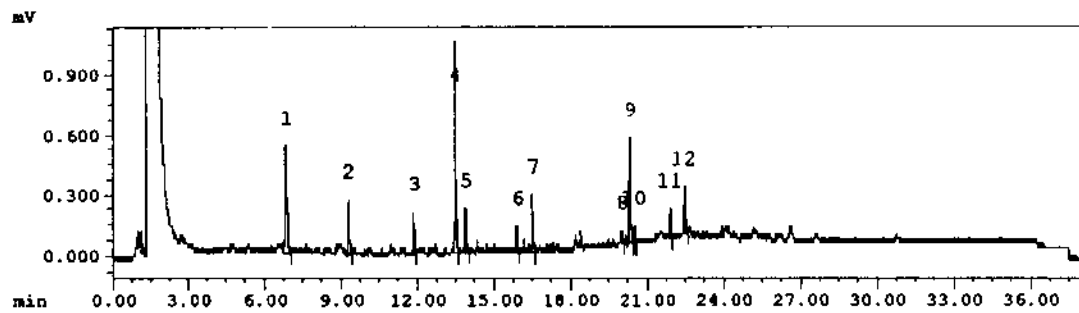


Figure 4-4. continued (site B-1 at 3 depth).

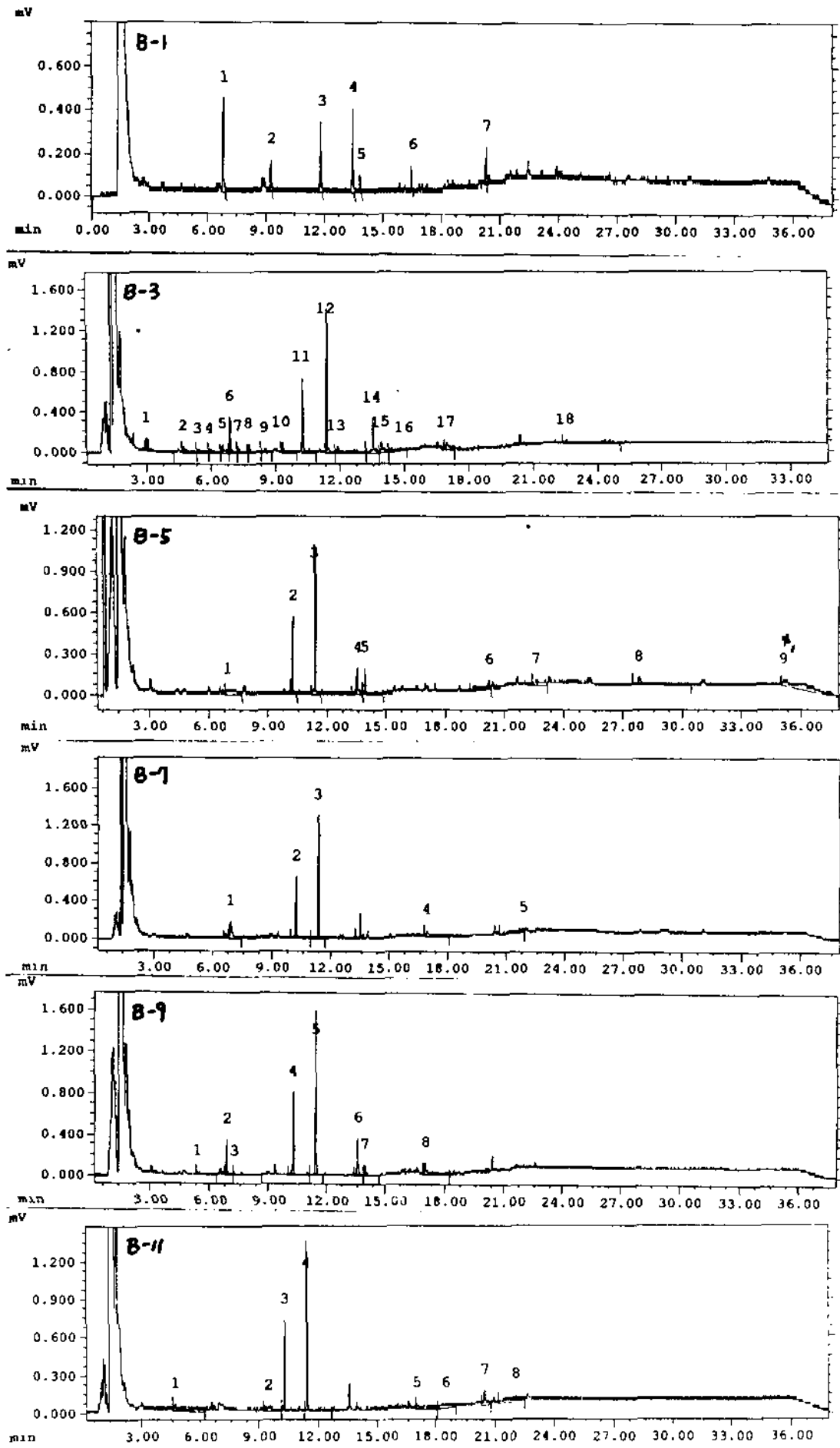
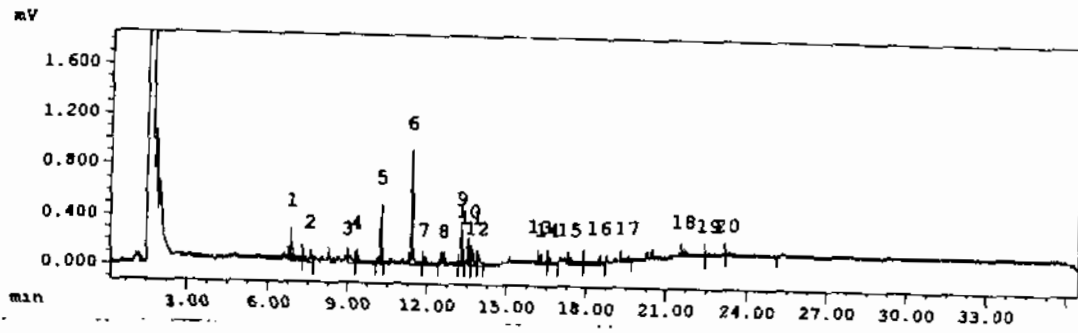


Figure 4-4. continued (B-line).

시료명: 남해Sediment C-1HC 1

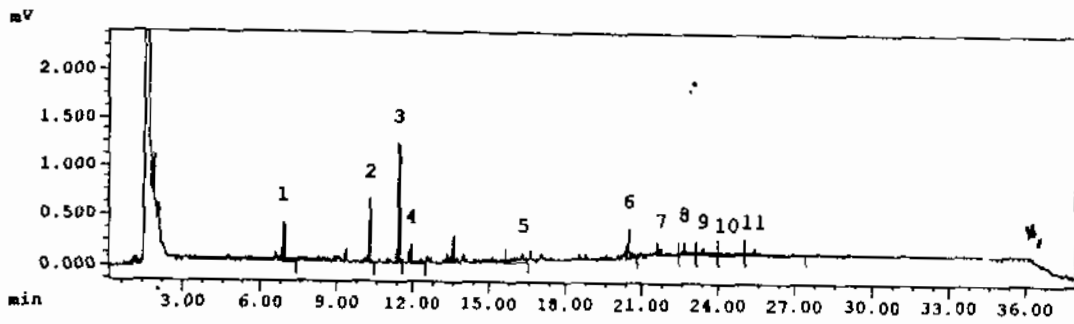
수집일자: 98/05/12



C-30512.CWD

시료명: 남해Sediment C-3HC

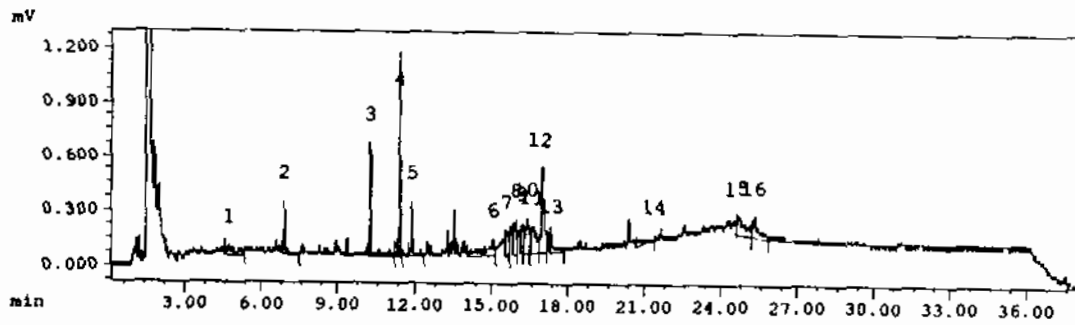
수집일자: 98/05/12



C-50512.CWD

시료명: 남해Sediment C-5HC

수집일자: 98/05/12



C-70512.CWD

시료명: 남해Sediment C-7 HC

수집일자: 98/05/12

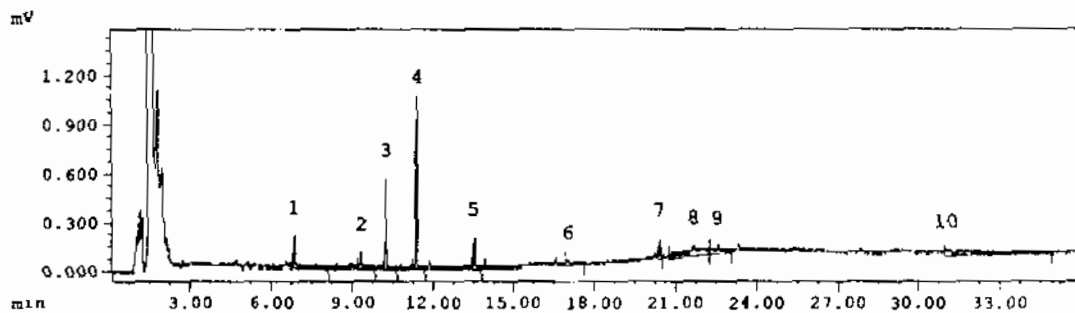


Figure 4-4. continued (C-line).

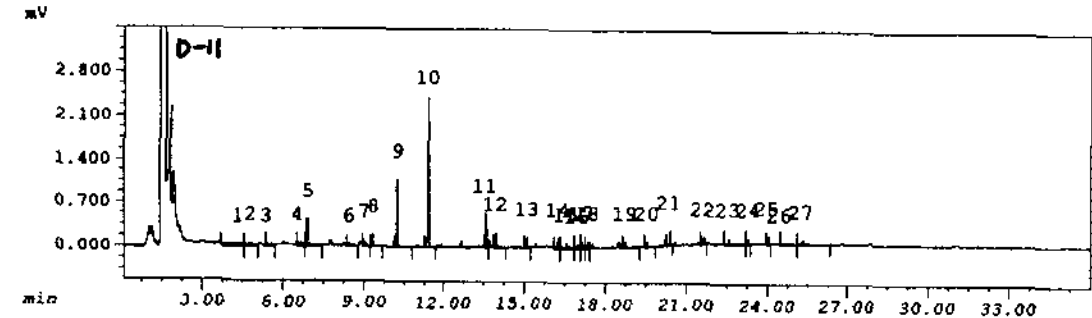
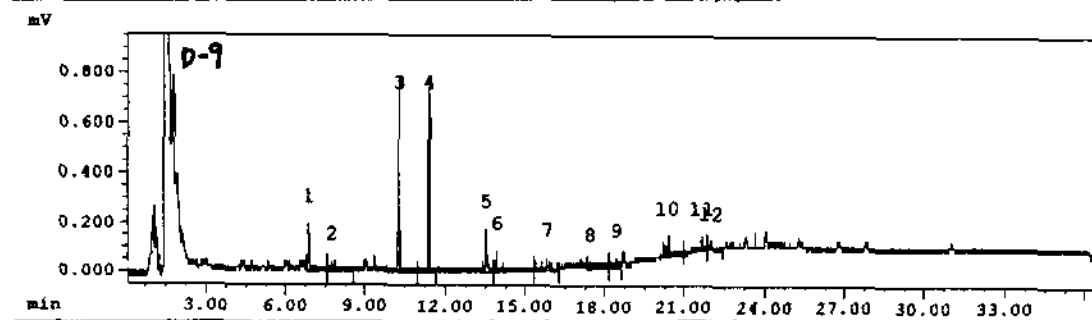
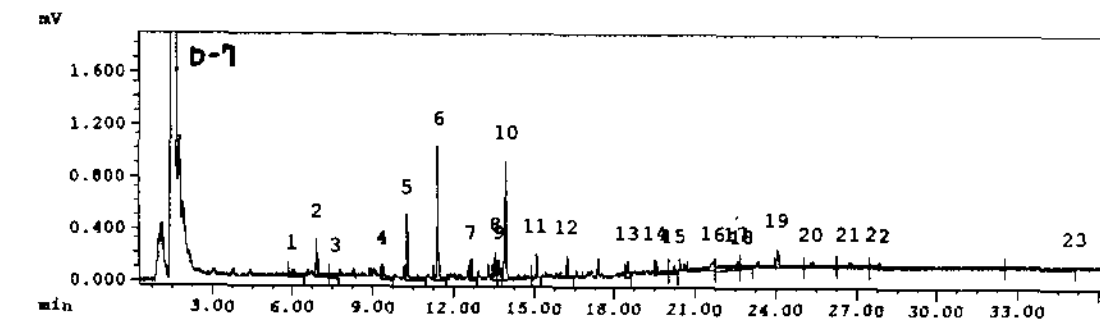
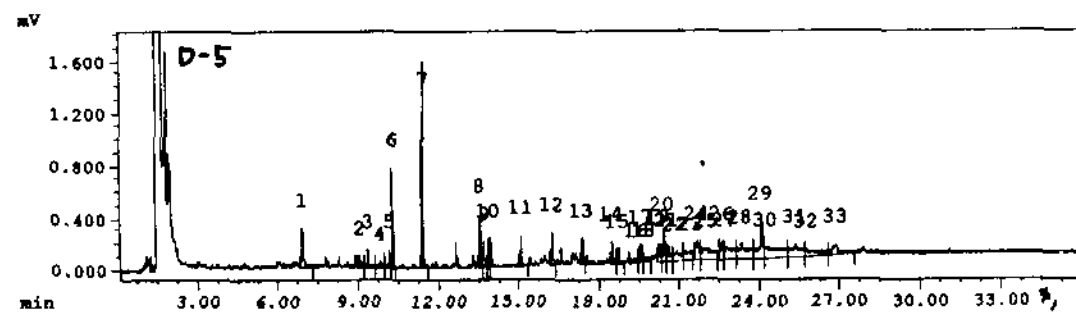
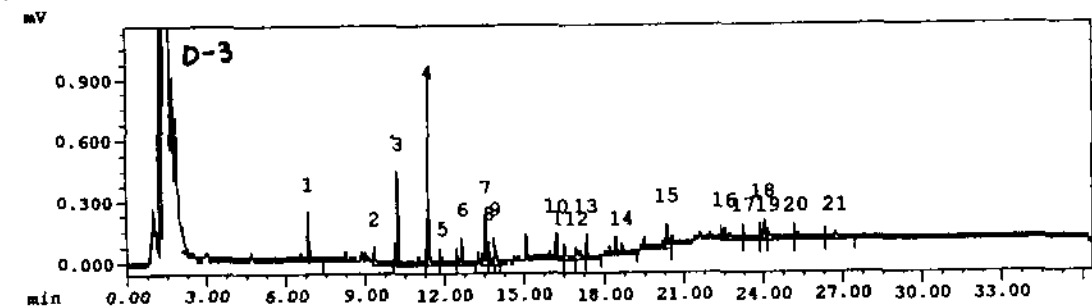
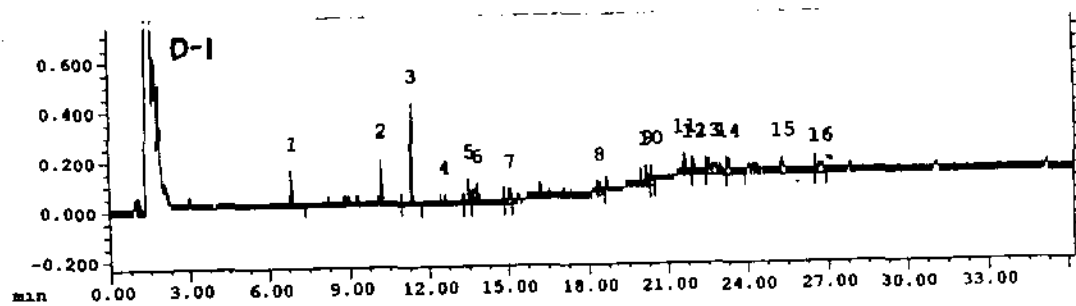


Figure 4-4. continued (D-line).

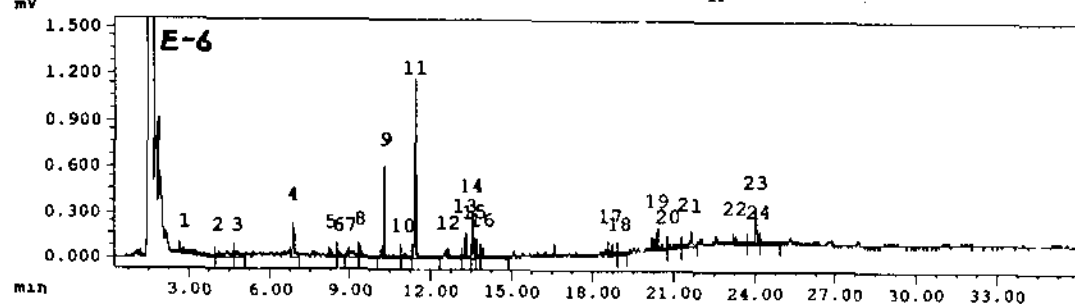
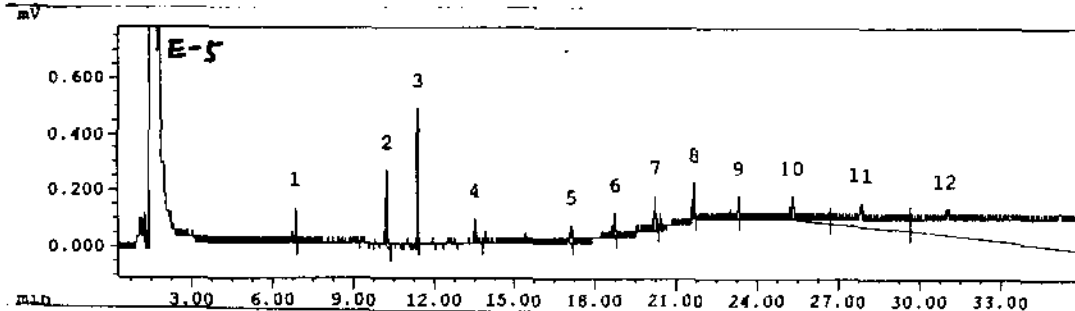
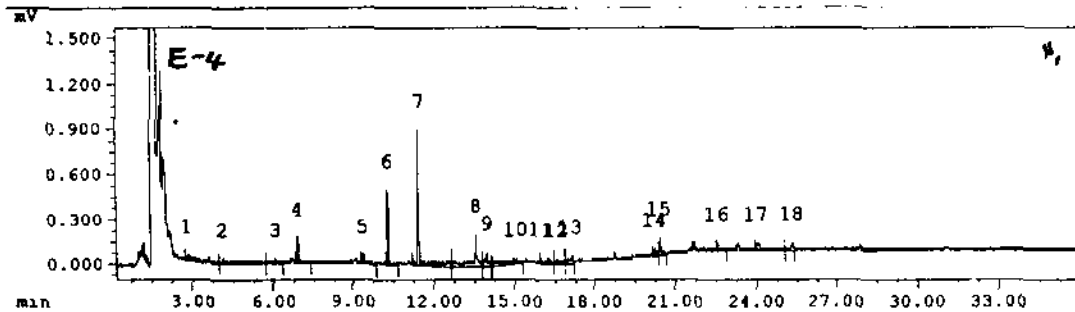
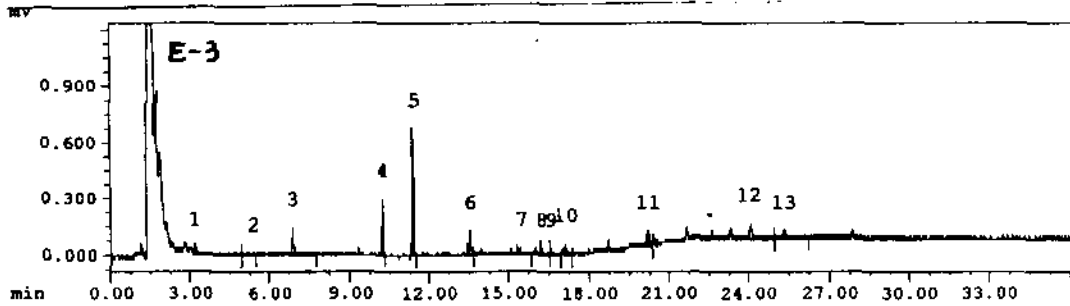
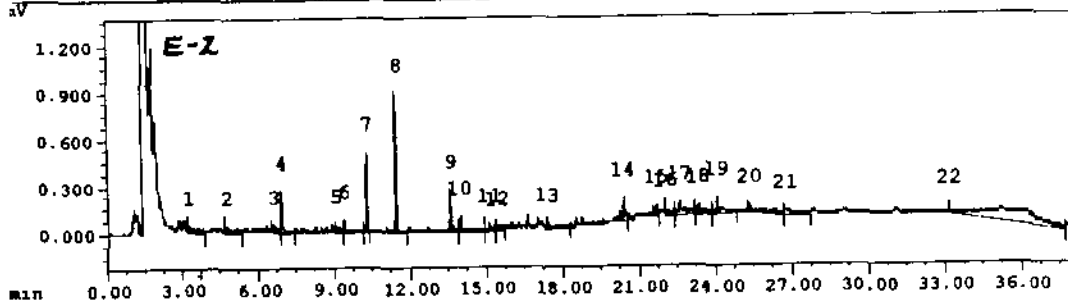
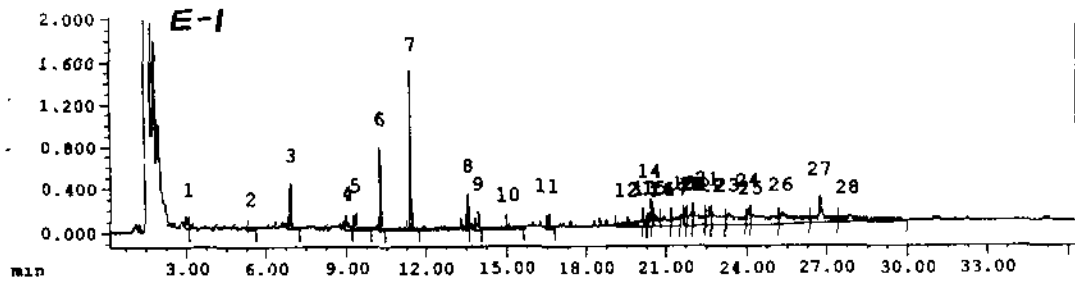


Figure 4-4, continued (E-line).

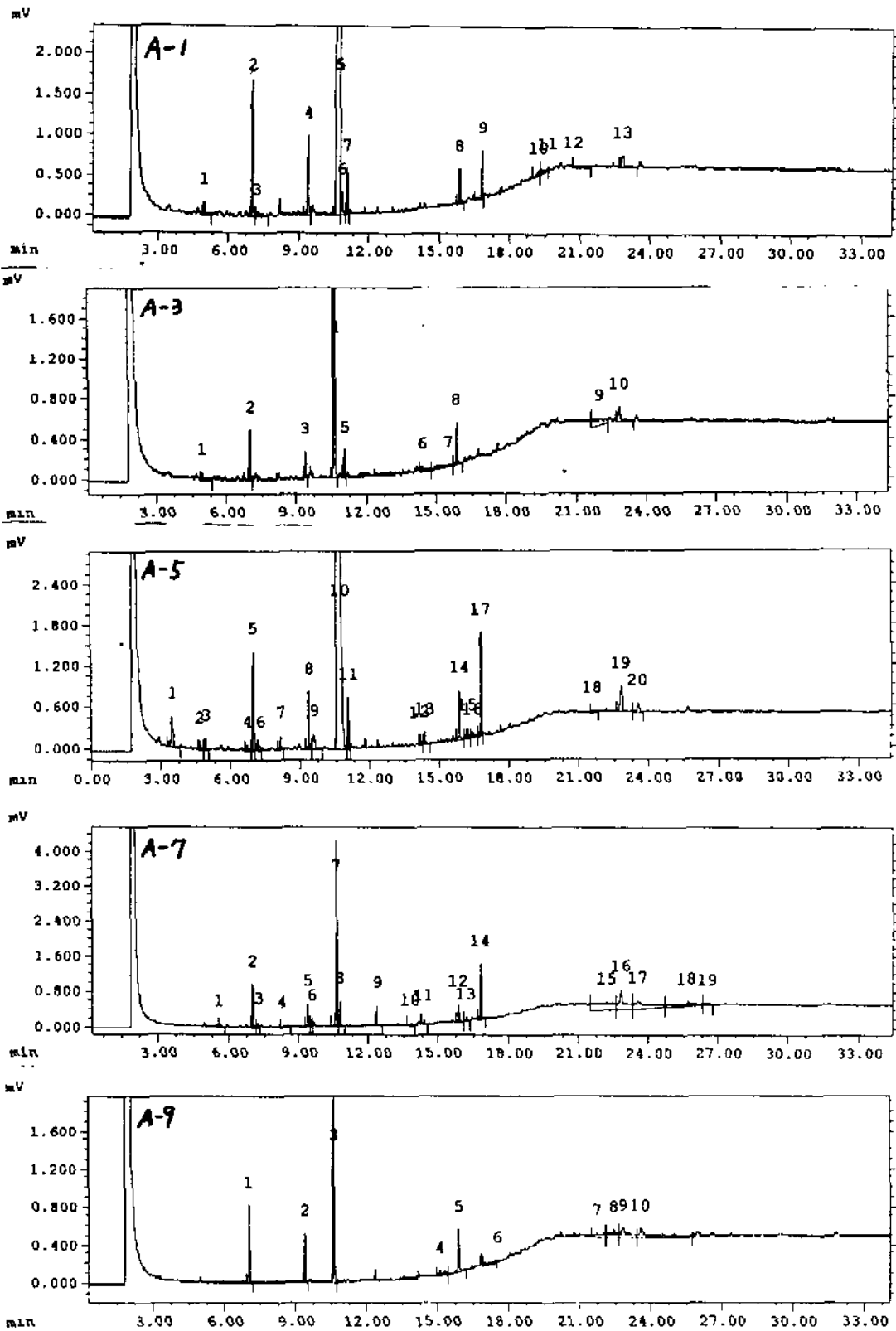


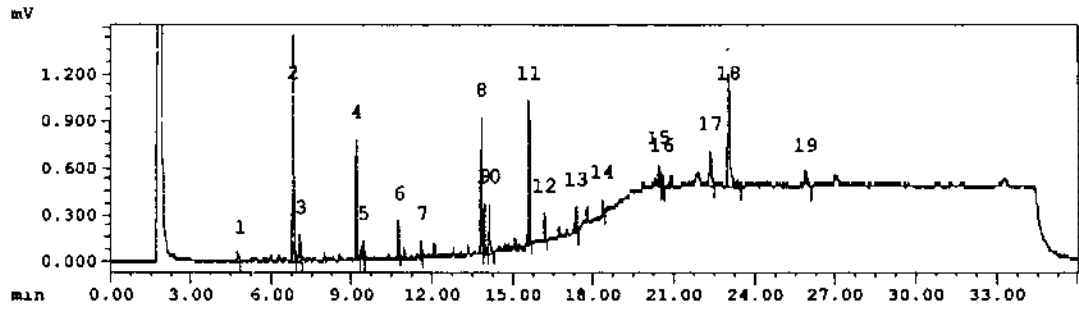
Figure 4-5. GC chromatogram of fatty acid extracted from sediment collected at Apr. 1998 (A-line)



FSB-1-10.CWD

시료명: 남해S B-1-1 FAME

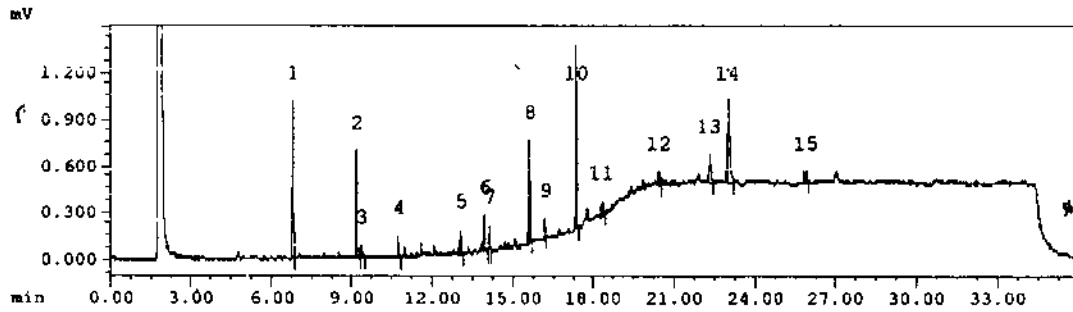
수집일자: 98/06/24



FSB-1-30.CWD

시료명: 남해S B-1-3 FAME

수집일자: 98/06/24



FSB-1-50.CWD

시료명: 남해S B-1-5 FAME

수집일자: 98/06/24

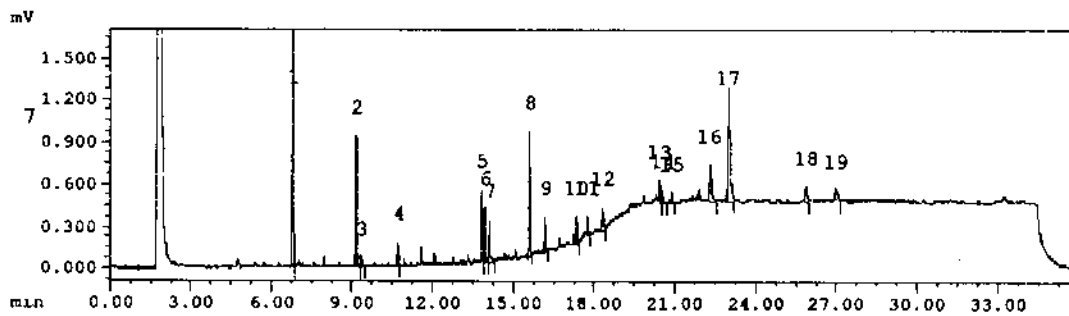


Figure 4-5. continued (site B-1 at 3 depth).

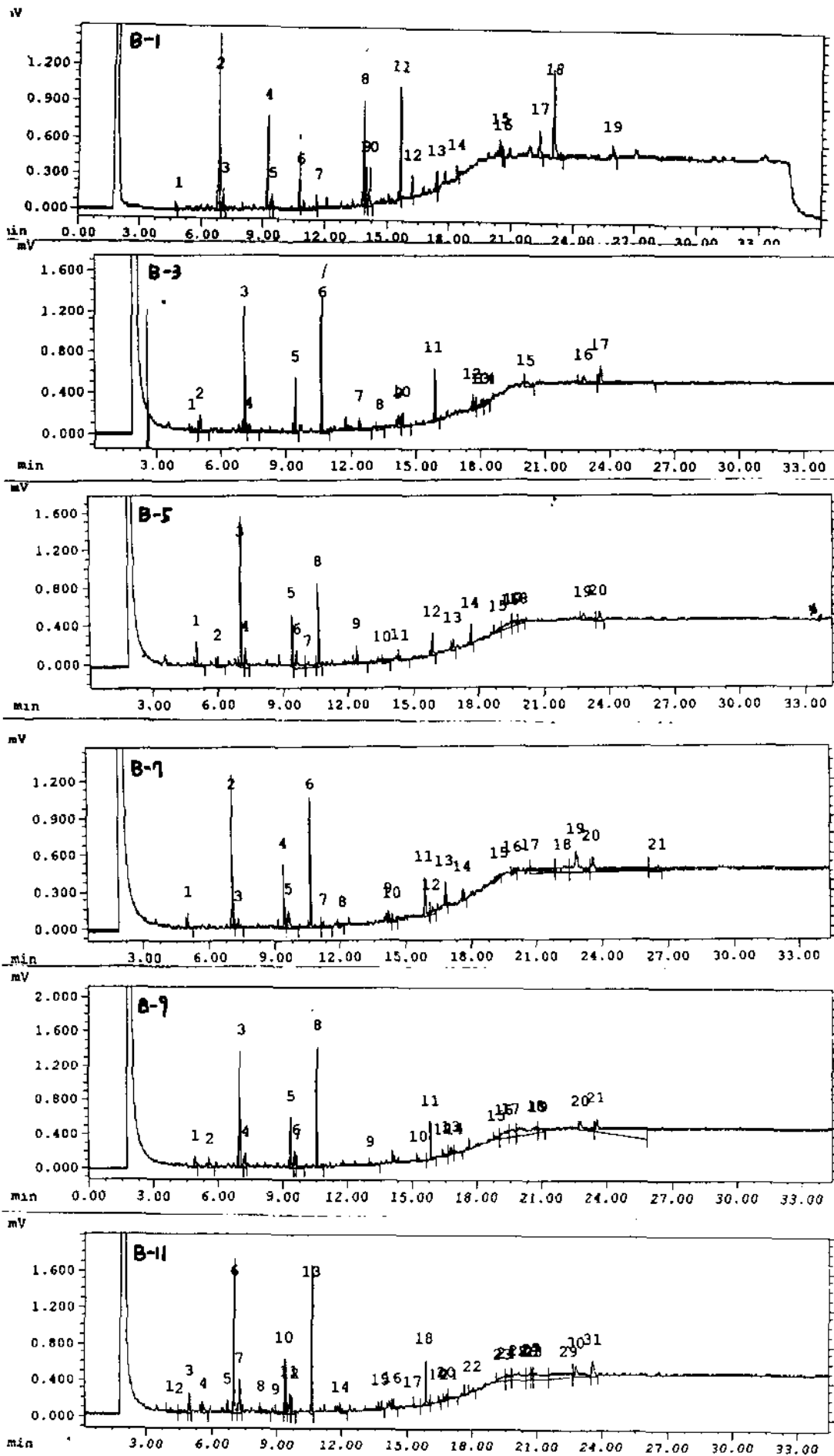


Figure 4-5. continued (B-line).

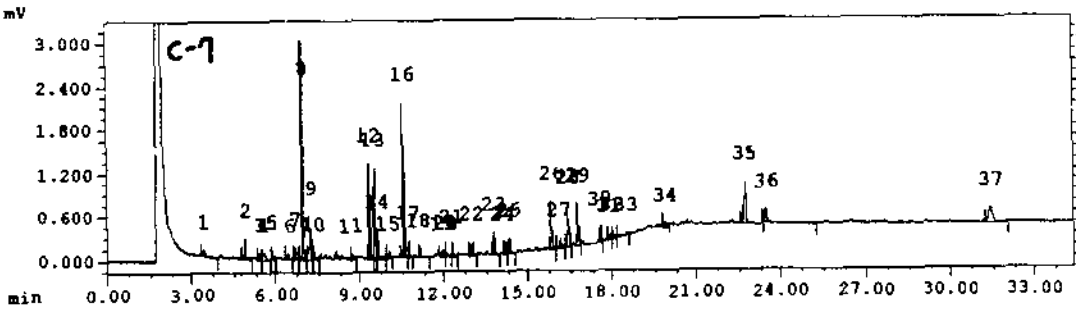
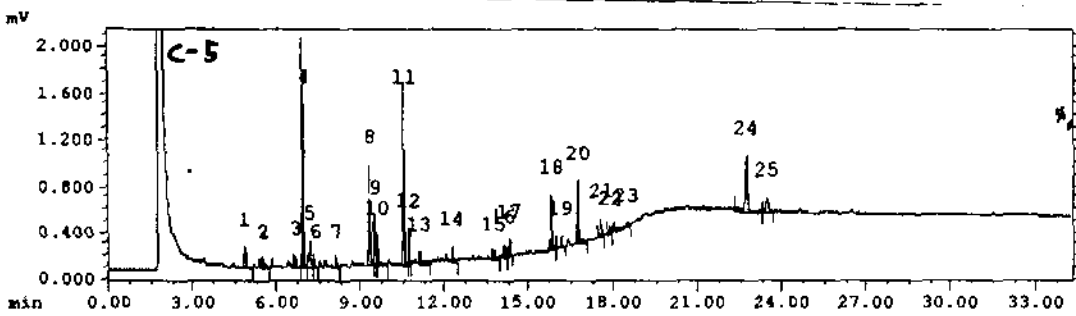
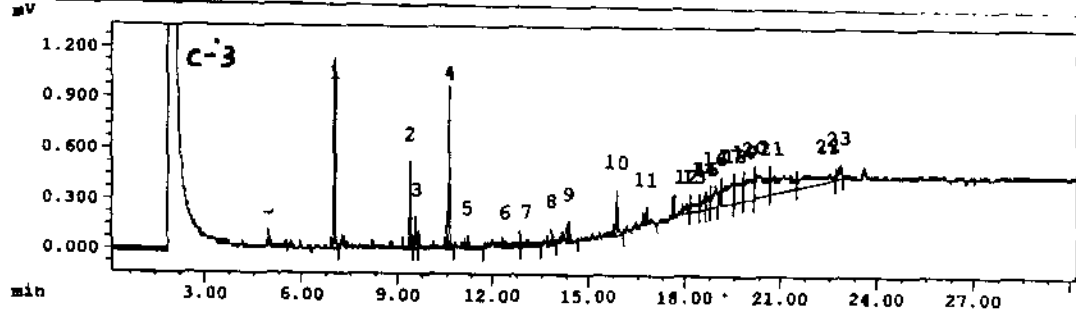
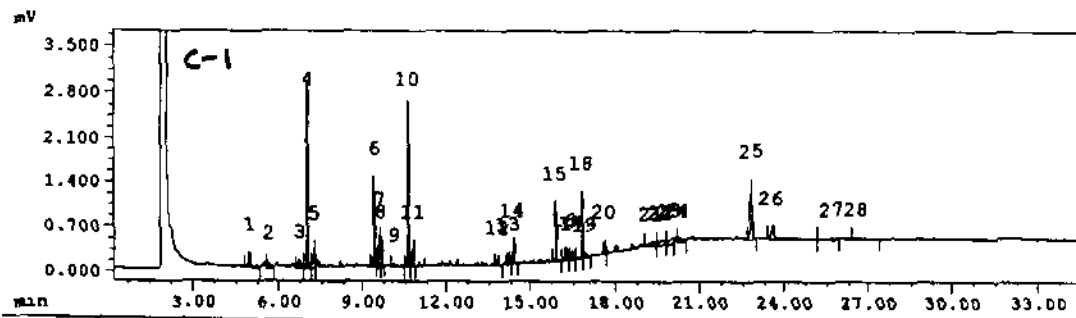


Figure 4-5. continued (C-line).

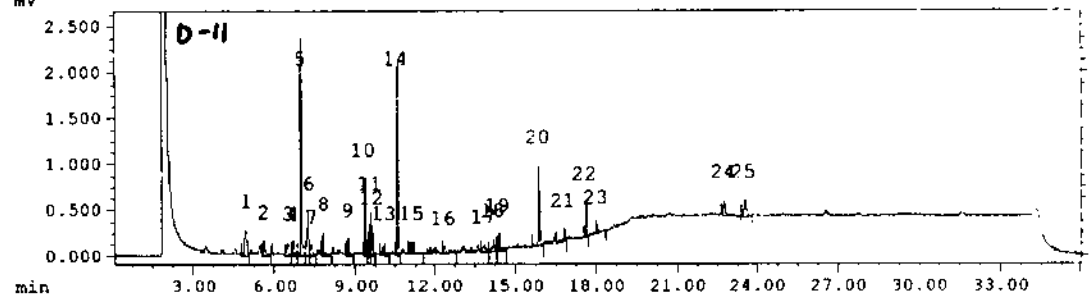
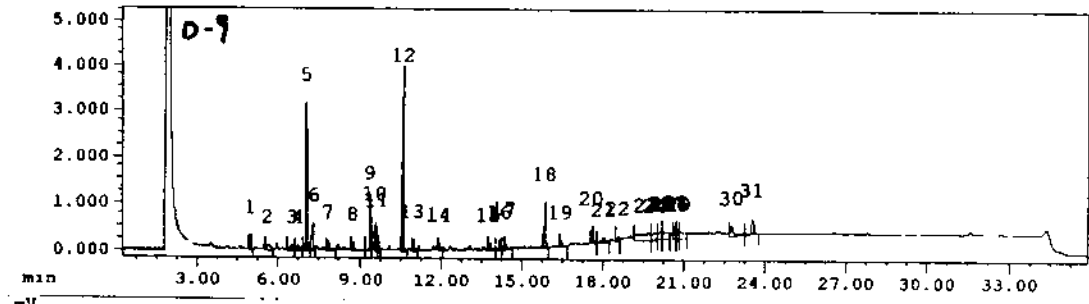
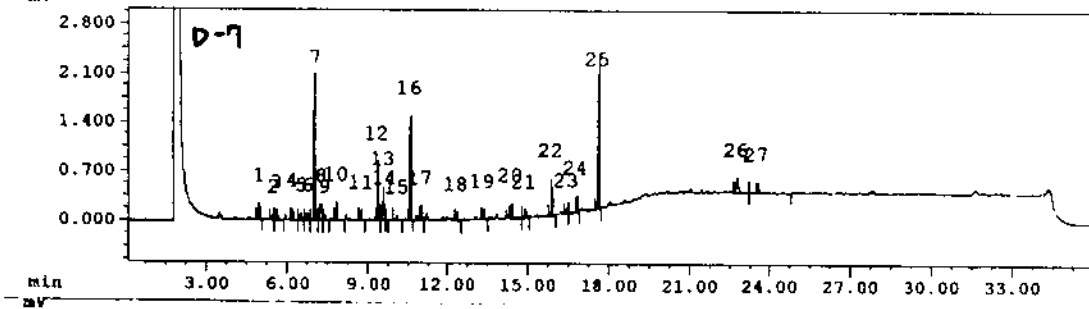
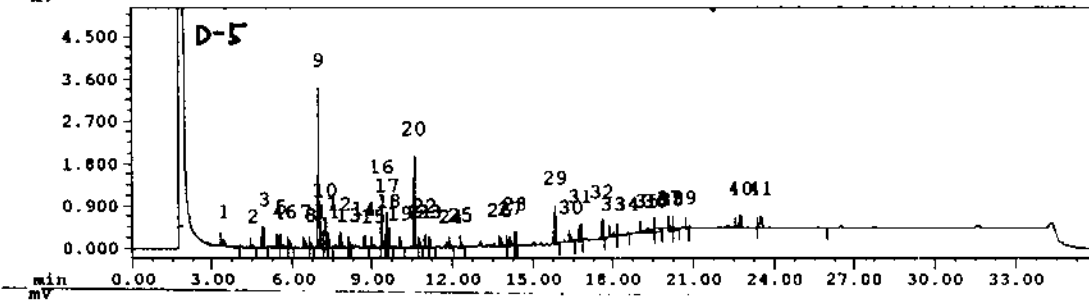
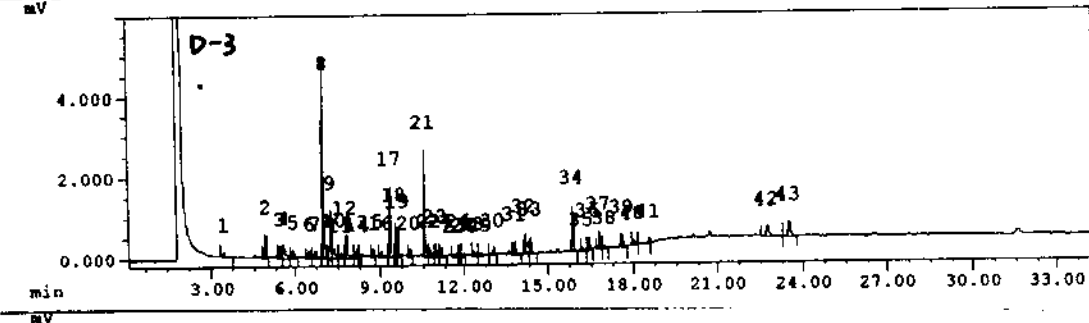
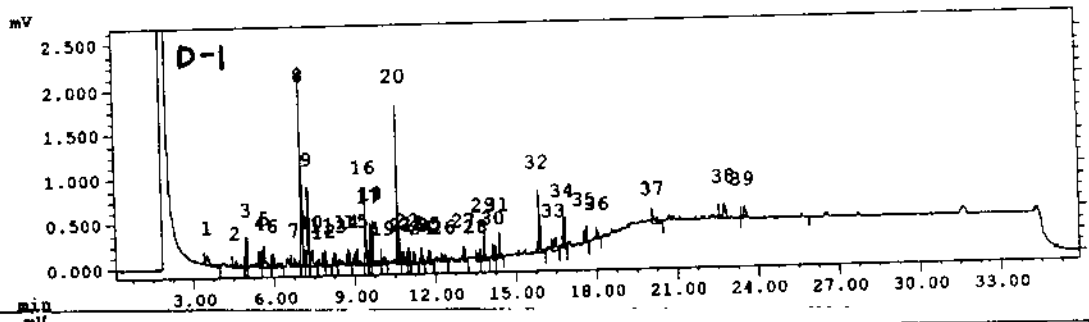


Figure 4-5, continued (D-line).

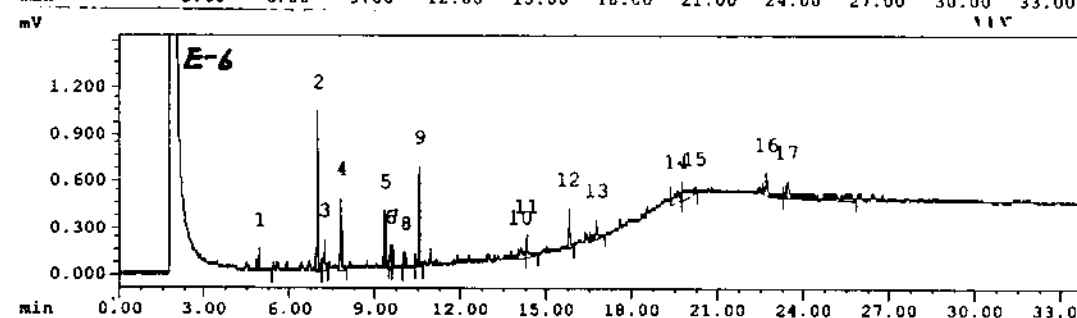
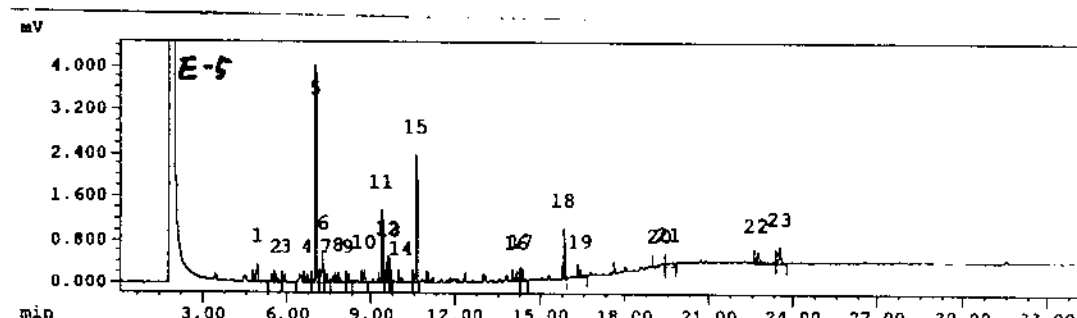
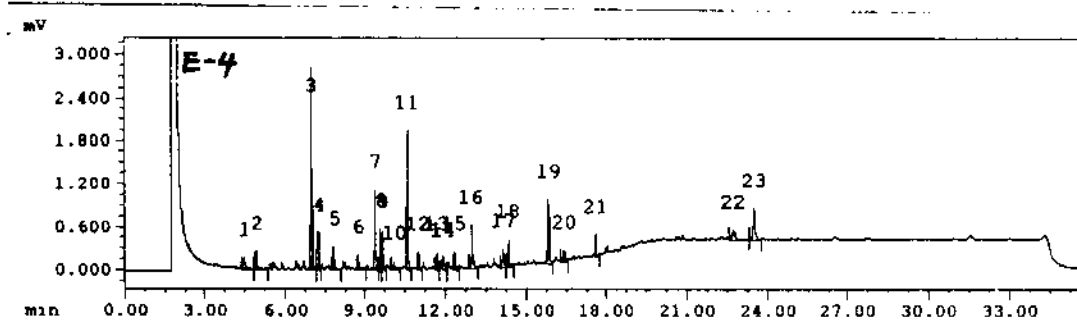
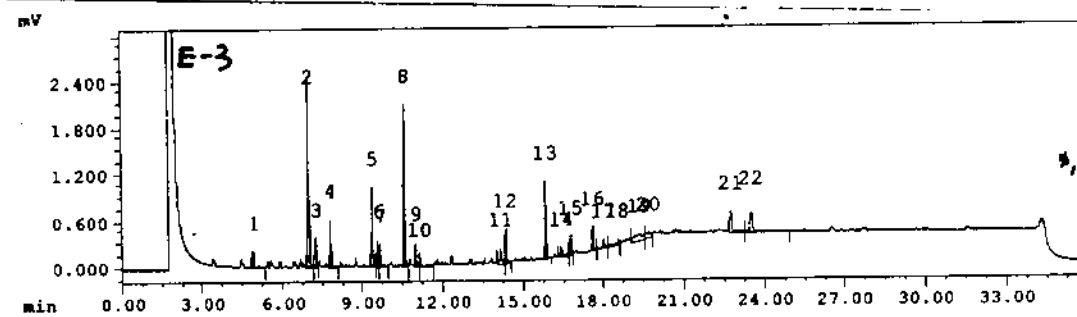
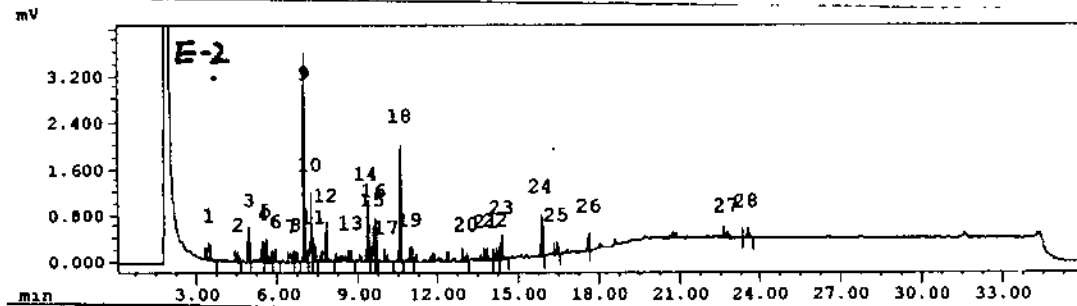
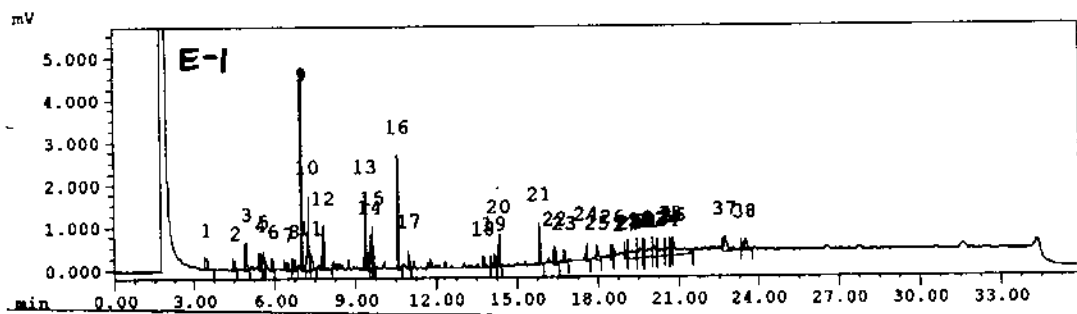


Figure 4-5. continued (E-line).

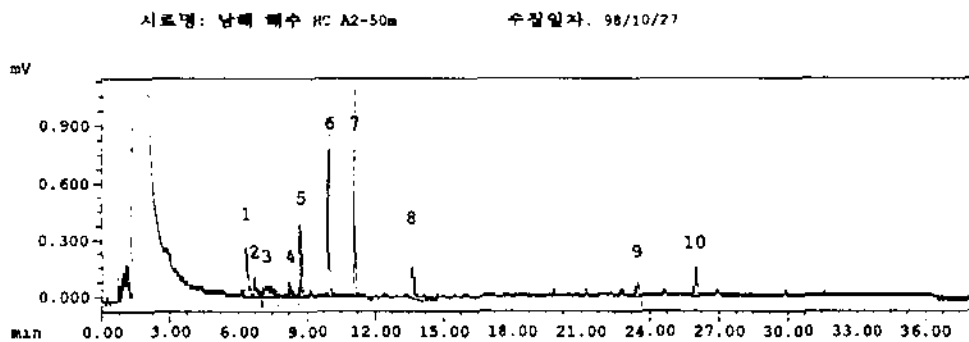
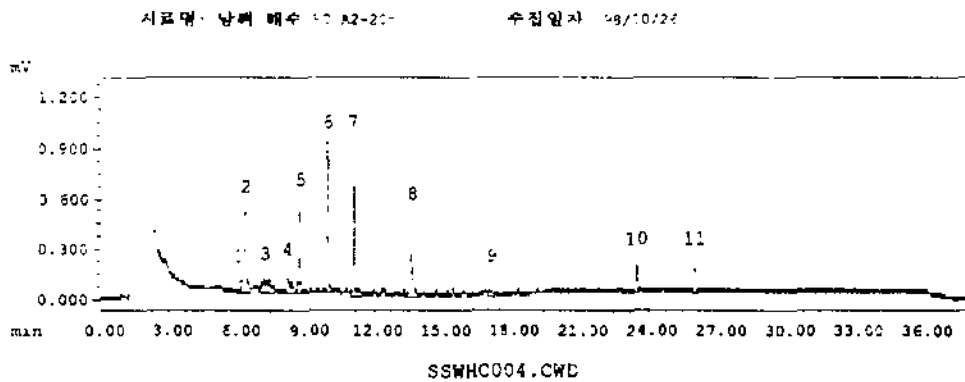
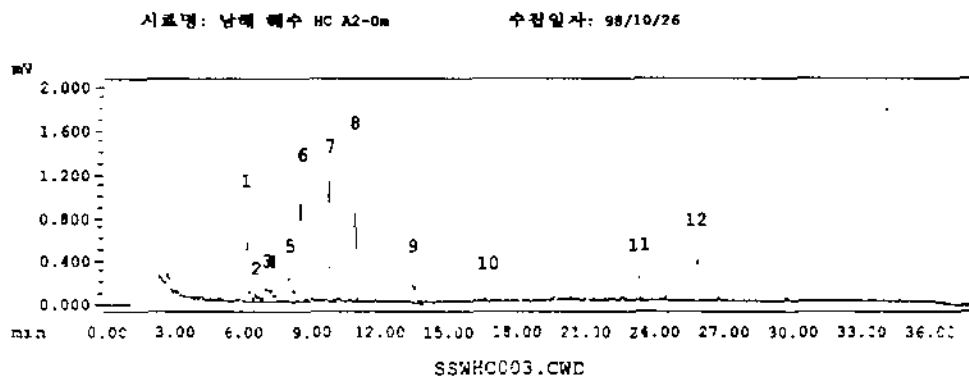
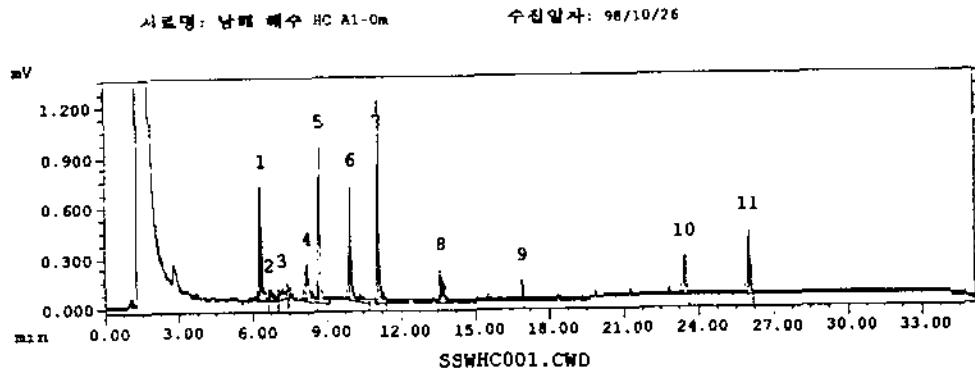
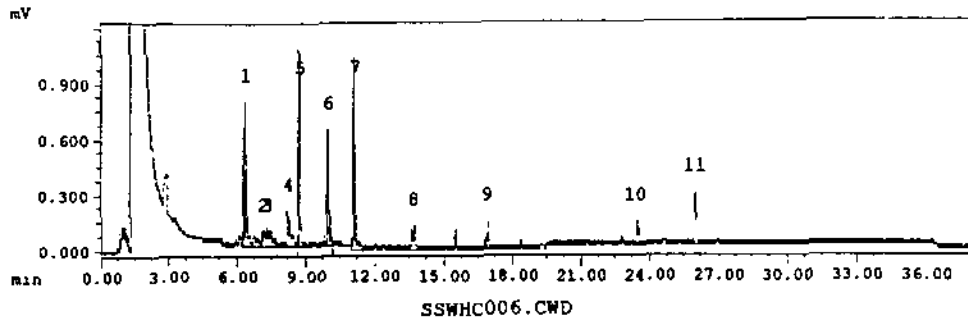


Figure 4-6. GC chromatogram of hydrocarbon extracted from sea water collected at Sep. 1998

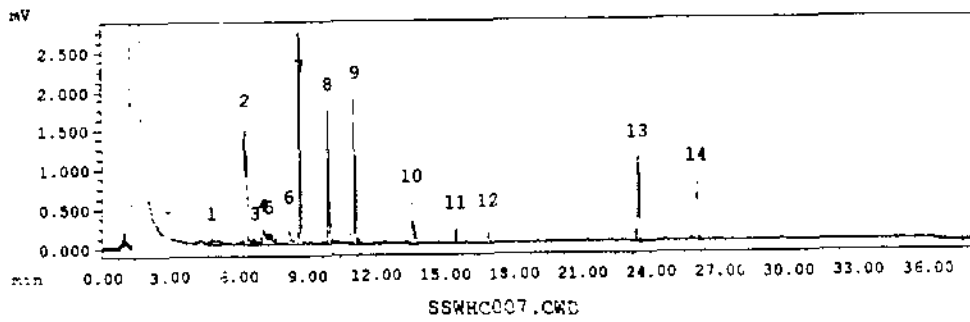
시료명: 남해 해수 HC A3-0m

수집일자: 98/10/27



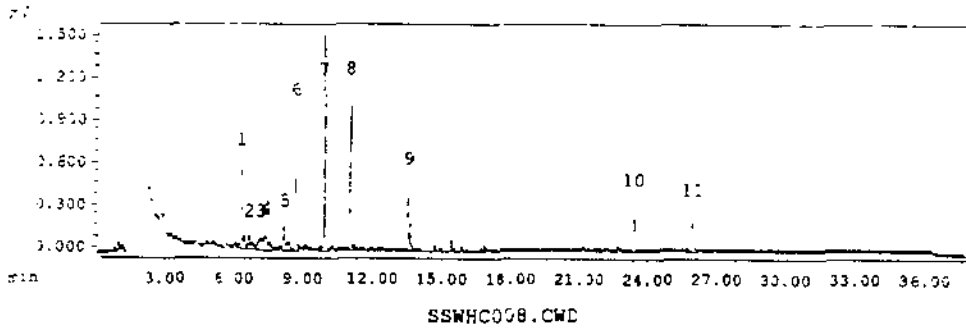
시료명: 남해 해수 HC A4-0m

수집일자: 98/10/27



시료명: 남해 해수 HC A4-20m

수집일자: 98/10/27



시료명: 남해 해수 HC A4-50m

수집일자: 98/10/28

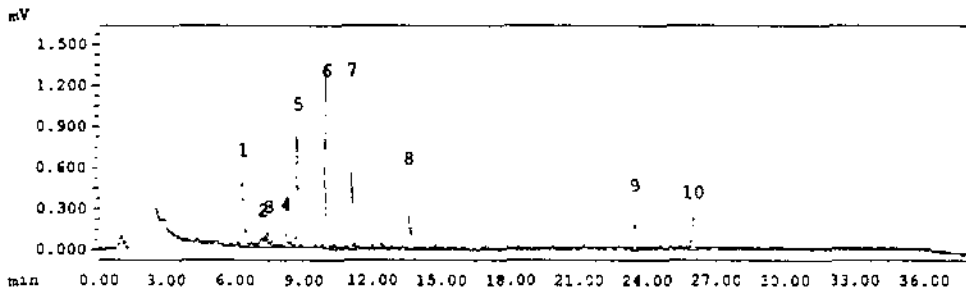
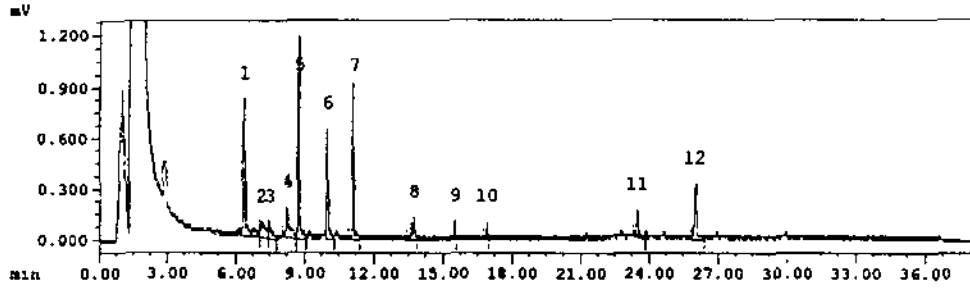


Figure 4-6. continued.

시료명: 남해 해수 HC A4-75m

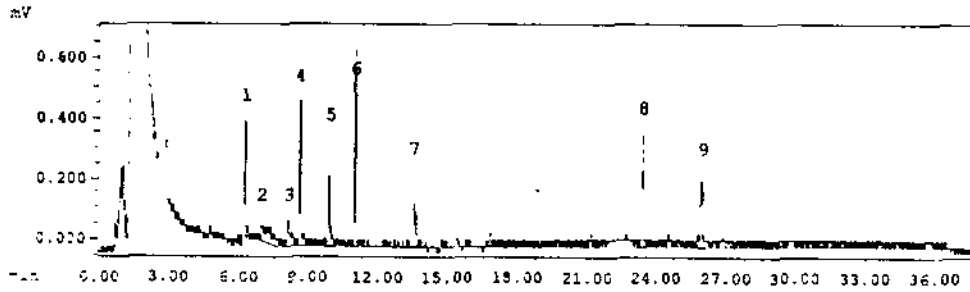
수집일자: 99/10/28



SSWHC010.CWD

시료명: 남해 해수 HC A4-110m

수집일자: 99/10/28



SSWHC011.CWD

시료명: 남해 해수 HC A5-100

수집일자: 99/10/28

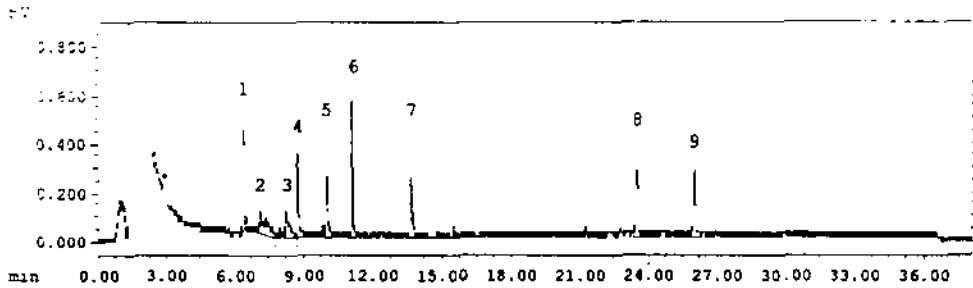
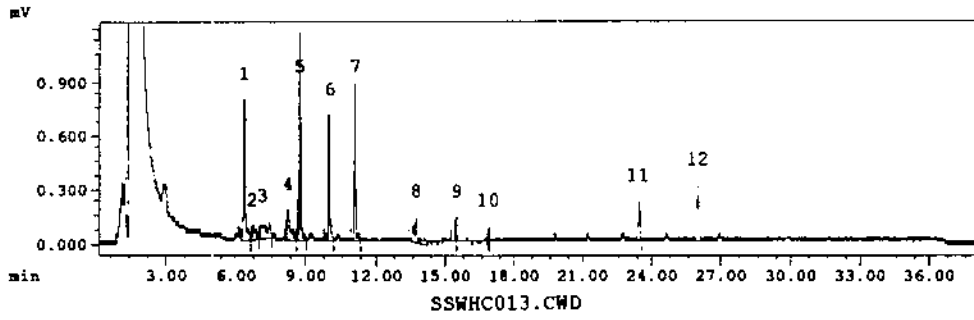


Figure 4-6. continued.



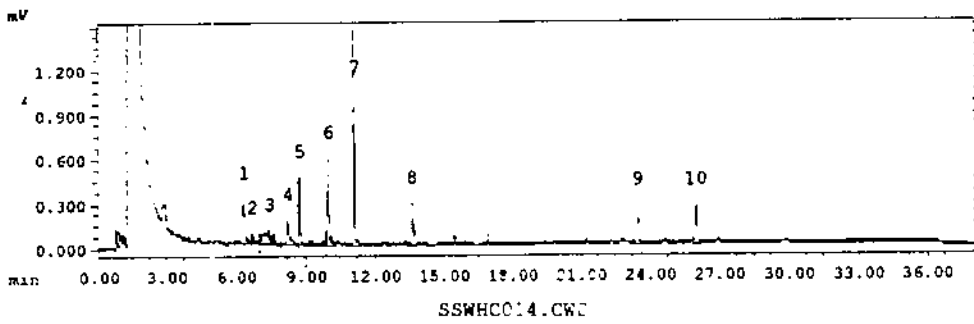
시료명: 남해 해수 HC C1-0m

수집일자: 98/10/28



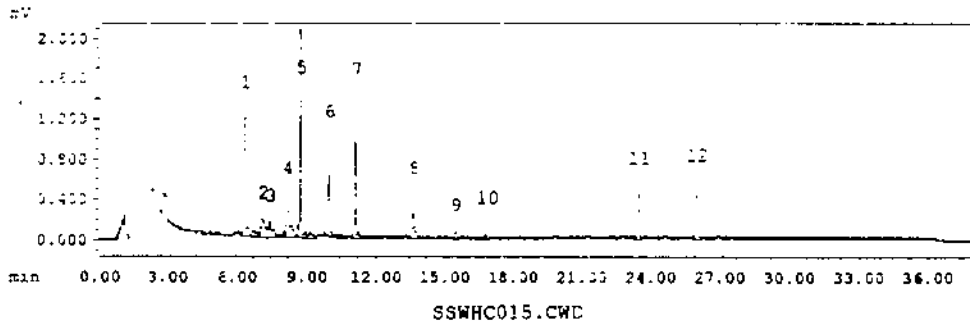
시료명: 남해 해수 HC C2-0m

수집일자: 98/10/28



시료명: 남해 해수 HC C3-0m

수집일자: 98/10/28



시료명: 남해 해수 HC C4-0m

수집일자: 98/10/28

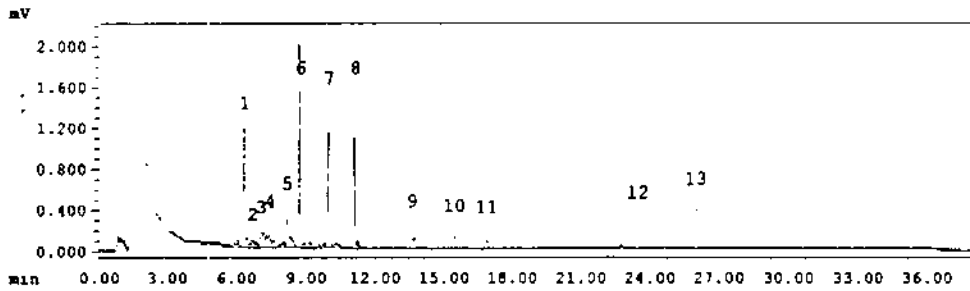
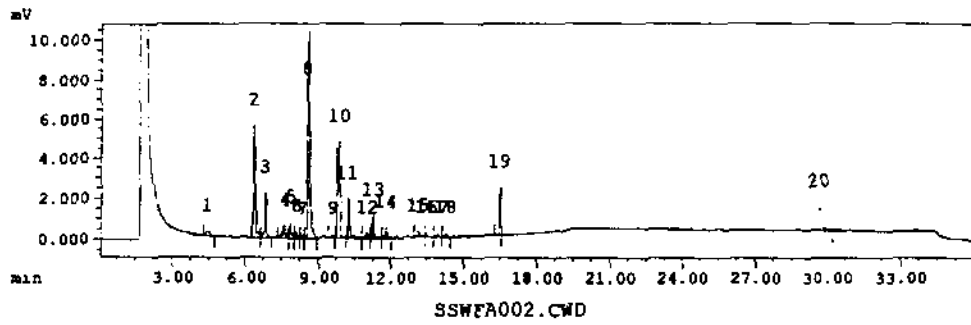


Figure 4-6. continued.

SSWFA001.CWD

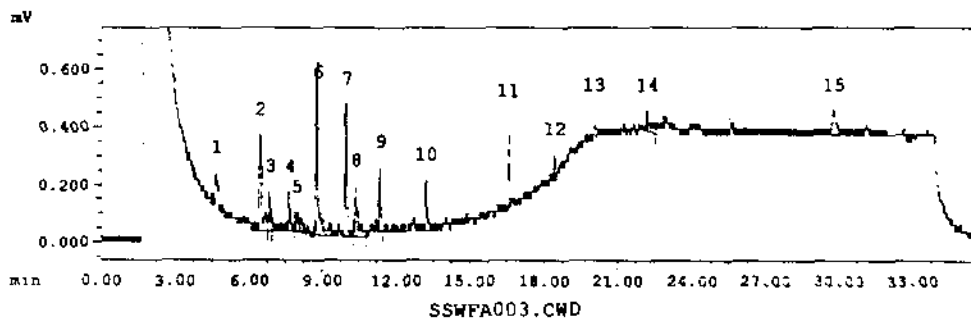
시료명: 남해 해수 A1-0m FAME

수집일자: 98/10/28



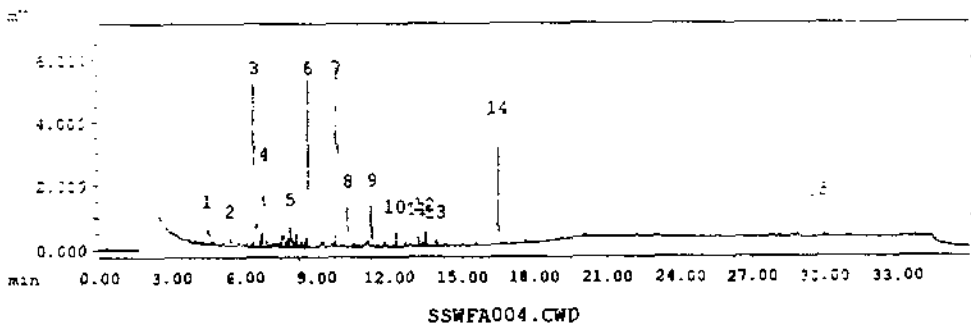
시료명: 남해 해수 A2-0m FAME

수집일자: 98/10/29



시료명: 남해 해수 A2-20m FAME

수집일자: 98/10/29



시료명: 남해 해수 A2-50m FAME

수집일자: 98/10/29

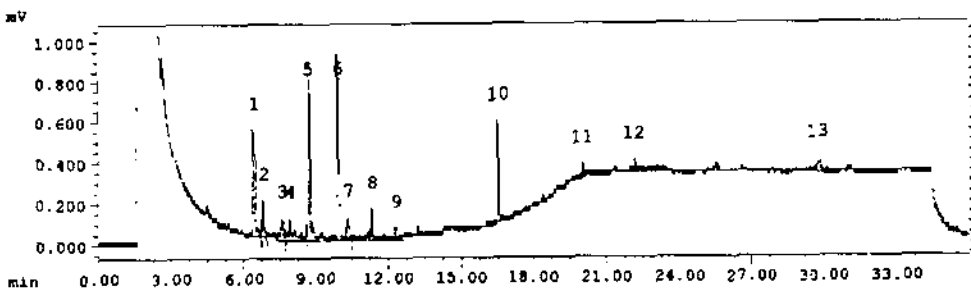
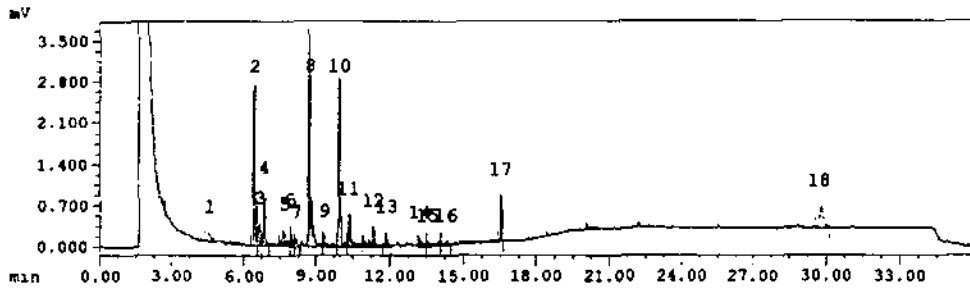


Figure 4-7. GC chromatogram of fatty acid extracted from sea water collected at Sep. 1998

SSWFA005.CWD

시료명: 남해 해수 A3-0m FAME

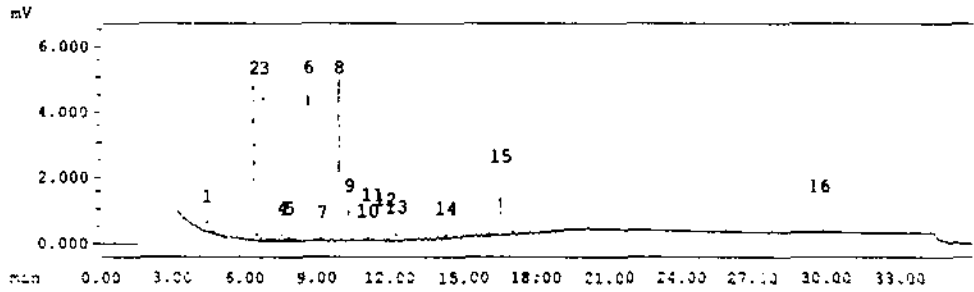
수집일자: 98/10/29



SSWFA006.CWD

시료명: 남해 해수 A4-0m FAME

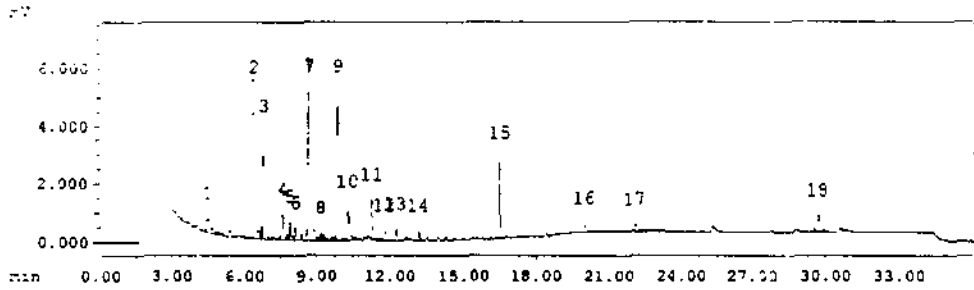
수집일자: 98/10/29



SSWFA007.CWD

시료명: 남해 해수 A4-20m FAME

수집일자: 98/10/29



SSWFA008.CWD

시료명: 남해 해수 A4-50m FAME

수집일자: 98/10/29

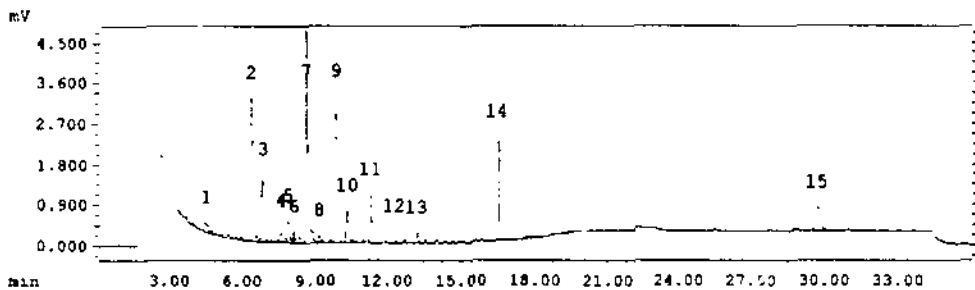
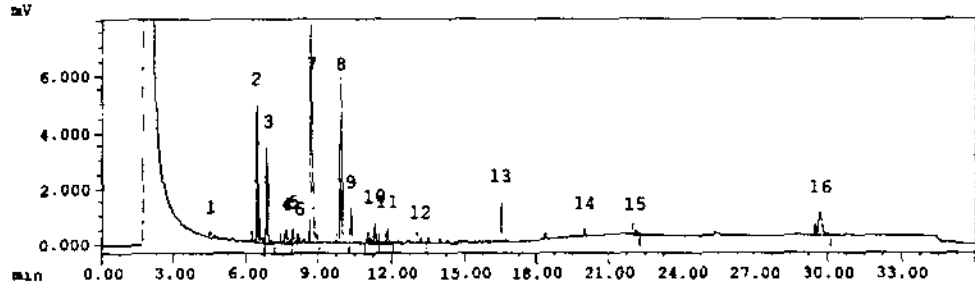


Figure 4-7. continued.

SSWFA009.CWD

시료명: 남해 배수 A4-75mFAME

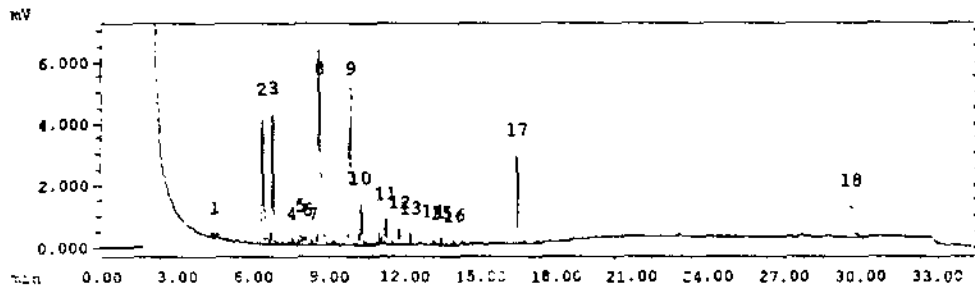
수집일자: 98/10/29



SSWFA010.CWD

시료명: 남해 배수 A4-110mFAME

수집일자: 98/10/29



SSWFA011.CWD

시료명: 남해 배수 A4-130mFAME

수집일자: 98/10/29

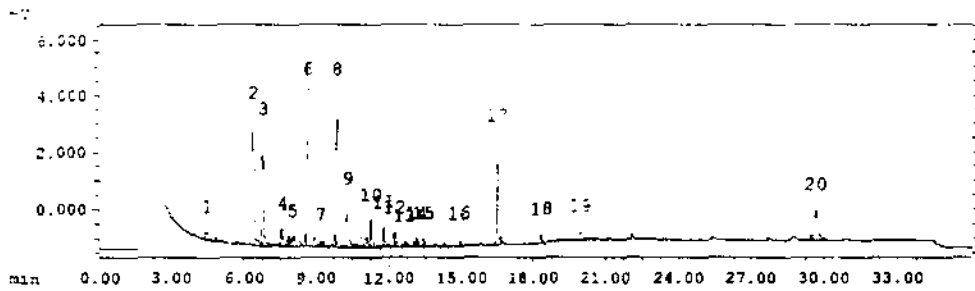
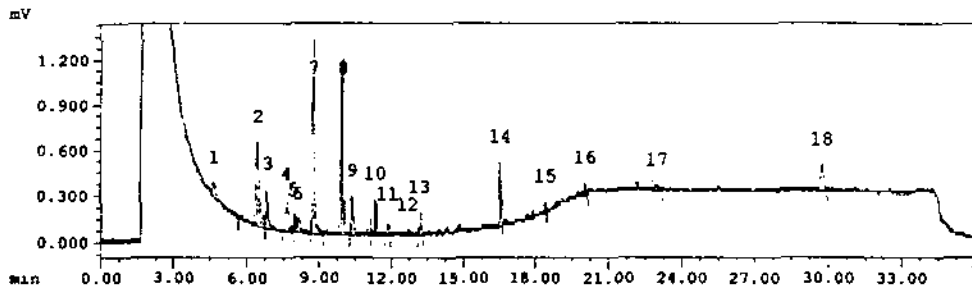


Figure 4-7, continued.

시료명: 남해 해수 C1-0m FAME

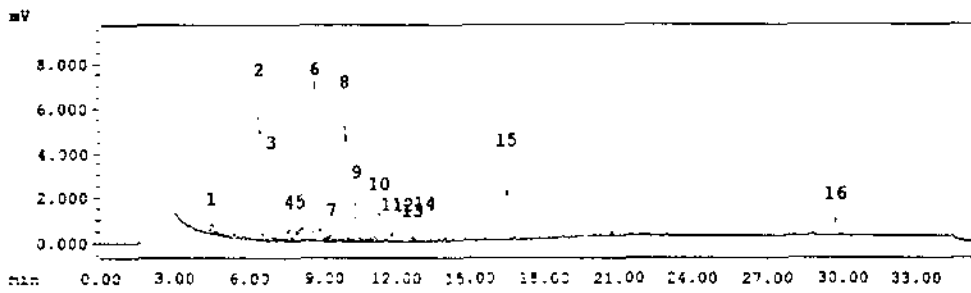
수집일자: 98/10/29



SSWFA013.CWD

시료명: 남해 해수 C2-0m FAME

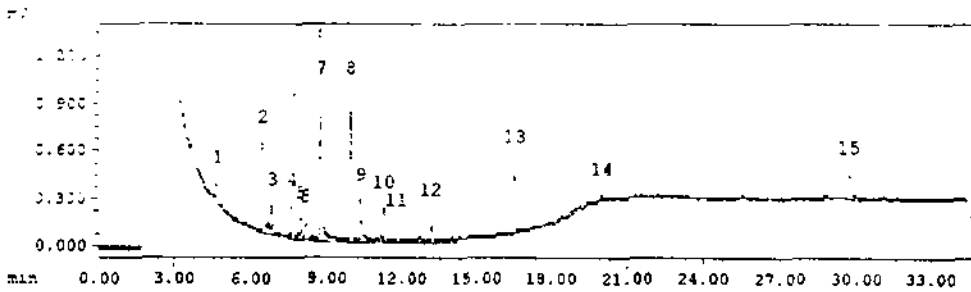
수집일자: 98/10/29



SSWFA014.CWD

시료명: 남해 해수 C3-0m FAME

수집일자: 98/10/29



SSWFA015.CWD

시료명: 남해 해수 C4-0m FAME

수집일자: 98/10/29

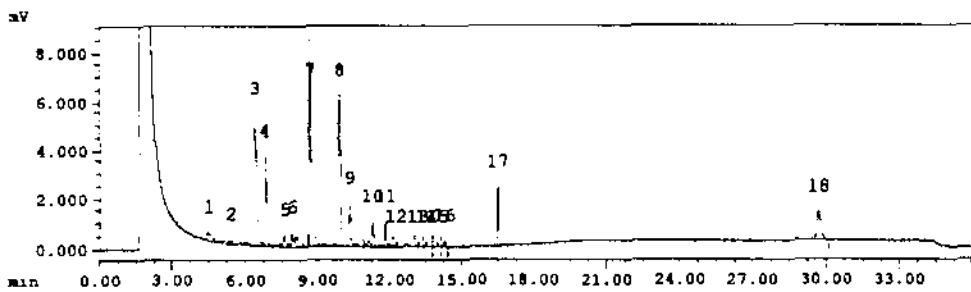
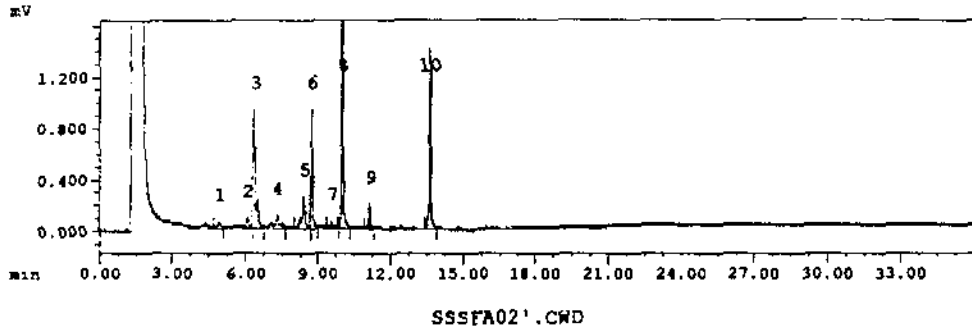


Figure 4-7. continued.

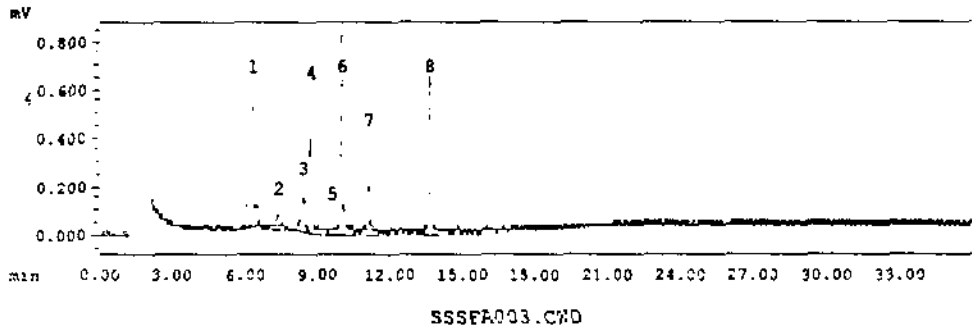
시료명: 남해해수SS A1-0wFAME

수집일자: 98/11/09



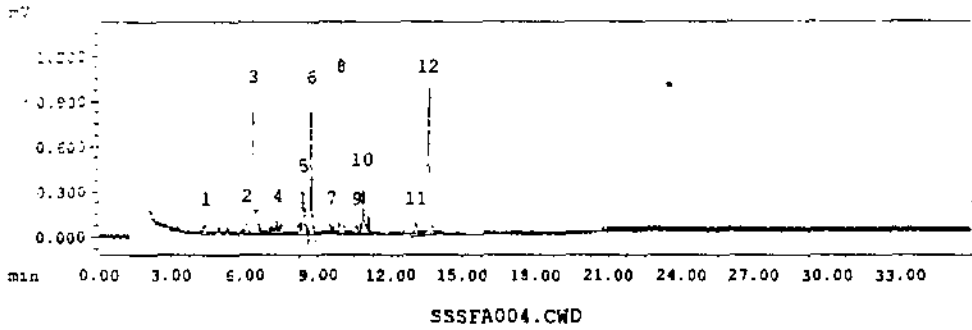
시료명: 남해해수SS A2-0wFAME

수집일자: 98/11/09



시료명: 남해해수SS A2-20FAME

수집일자: 98/11/09



시료명: 남해해수SS A2-50FAME

수집일자: 98/11/09

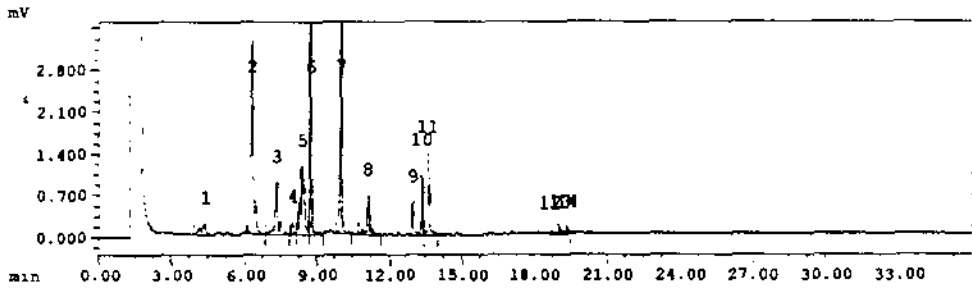
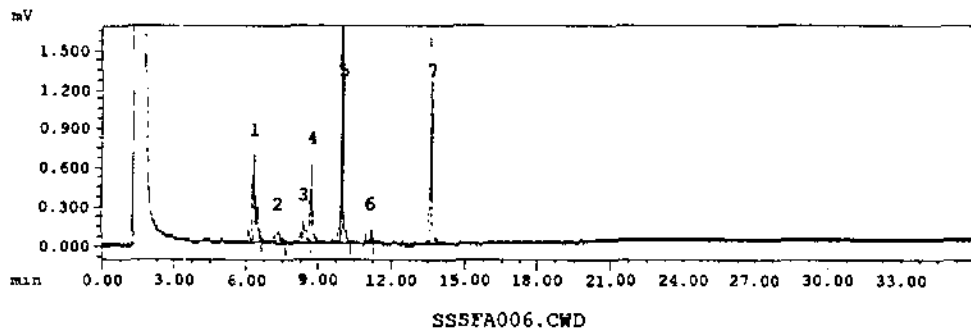


Figure 4-8. GC chromatogram of fatty acid extracted from particulated materials collected at Sep. 1998

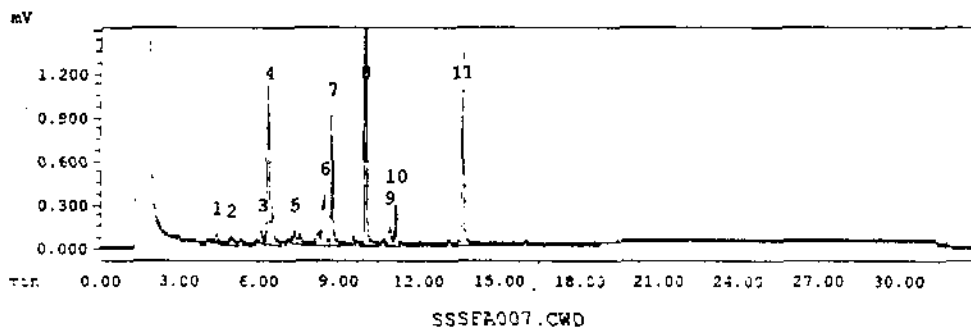
시료명: 남해해수SS A3-0mFAME

수집일자: 98/11/10



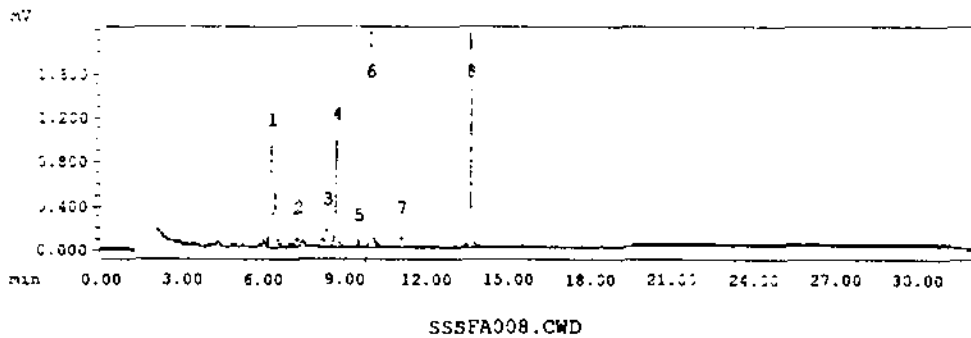
시료명: 남해해수SS A4-0mFAME

수집일자: 98/11/10



시료명: 남해해수SS A4-20FAME

수집일자: 98/11/10



시료명: 남해해수SS A4-50FAME

수집일자: 98/11/10

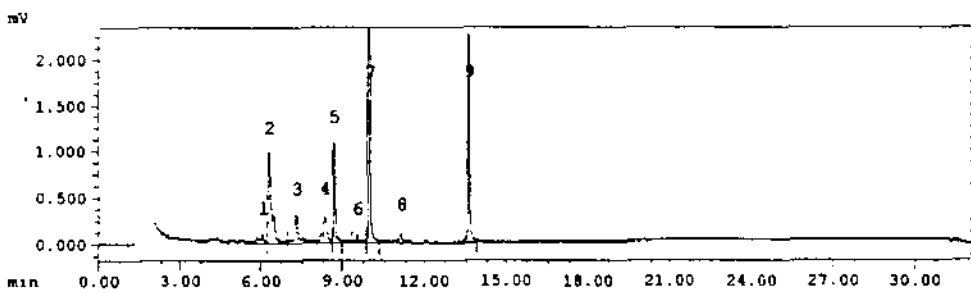
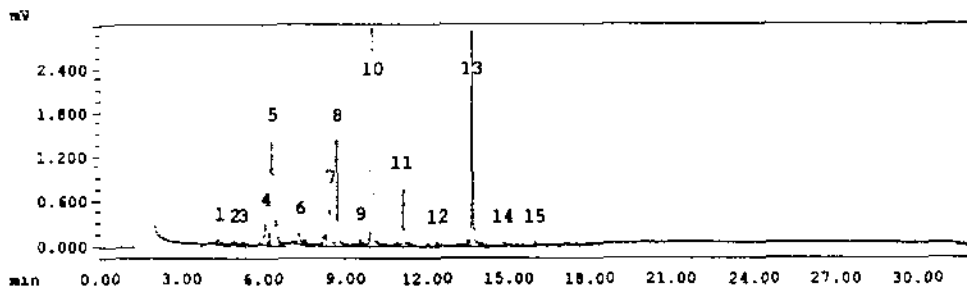


Figure 4-8. continued.

시료명: 남해해수SS A4-75FAME

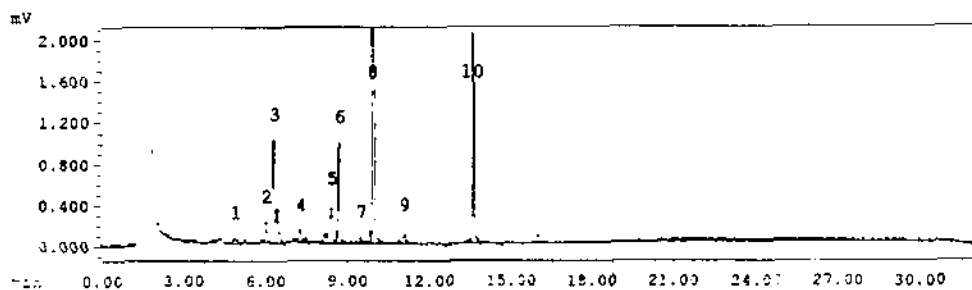
수집일자: 98/11/10



SSSFA010.CWD

시료명: 남해해수SSA4-110FAME

수집일자: 98/11/10



SSSFA011.CWD

시료명: 남해해수SS 25-CMEFAME

수집일자: 98/11/10

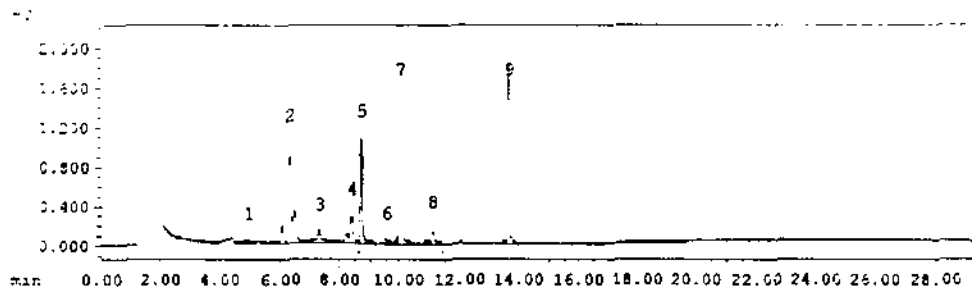


Figure 4-8, continued.



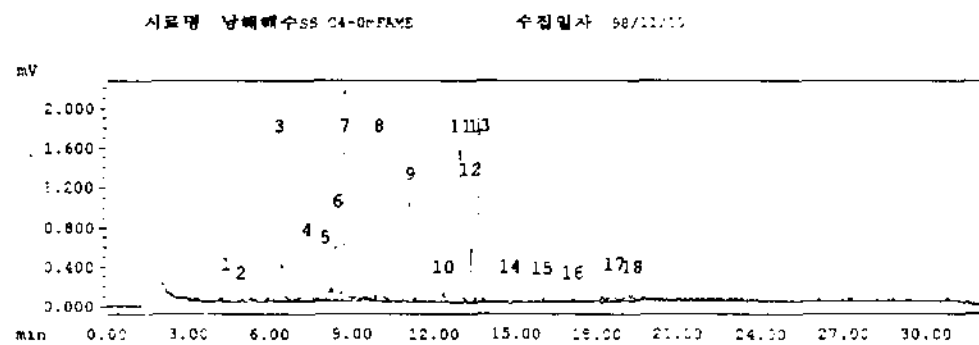
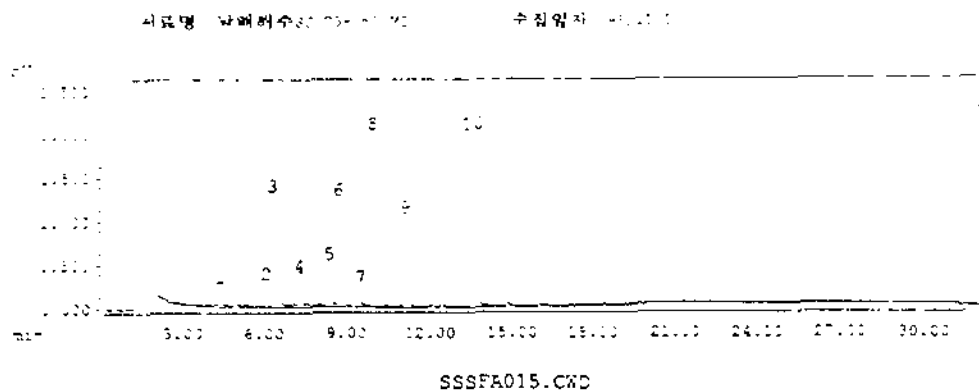
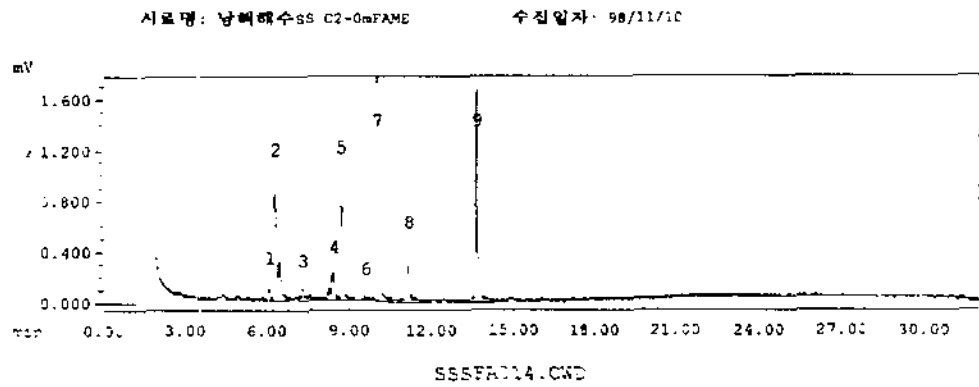
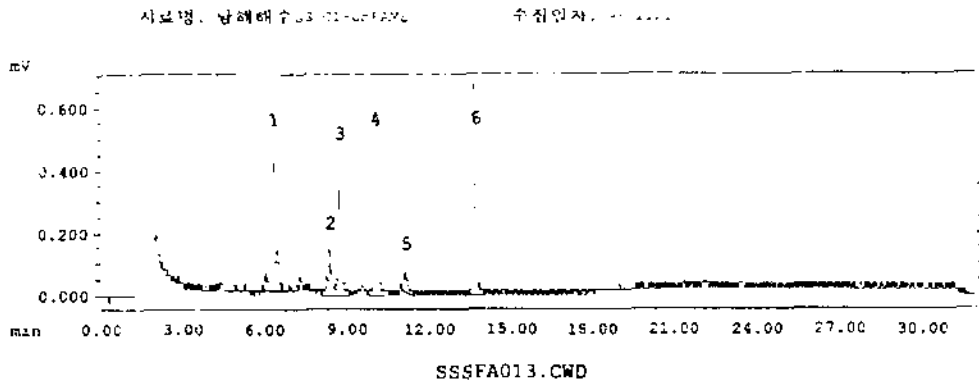


Figure 4-8. continued.



## 제 5 절 홀로세 해침 퇴적작용 및 부유물질 출입

### 1. 서론

남해는 현재 제주도과 쓰시마섬을 잇는 선 이북의 한국측 바다로서, 홀로세 이전 (15,000-18,000 yr BP)에는 육상환경이었으나 점진적인 해침에 의해 현재의 해양환경으로 변한 비교적 좁은(60-100km) 해협이다 (Fig. 5-1). 이와같은 해침작용에 의해 남해연안에는 무수히 많은 만들이 존재하는데 (리아스식 해안), 이들 대부분은 매우 두꺼운 (최대 30 m 이상) 홀로세층을 가지고 있다. 남해 해저의 표층퇴적물의 분포는 이러한 홀로세해침의 영향을 가장 잘 보여주고 있다. 즉 남해의 중앙부 가장 깊은 곳은 홀로세 초기의 해안환경을 나타내는 굵은 모래와 조개껍질로 이루어진 조립질퇴적물이 수심 200 m 이하의 해저에 그대로 노출되어 있다. 그러나 연안쪽으로 가면서 이러한 조립질퇴적물은 현생세립질퇴적물의 점차적인 유입에 의해 이들과 혼합된 상태로 변하며, 연안의 만에서는 남해안의 강들에서 유출된 세립질퇴적물들로 두껍게 쌓이게 되어 조립질퇴적체는 강입구를 제외하고는 보기가 힘들어진다. 따라서 남해의 홀로세퇴적물에 대한 지질학적인 연구는 물론 생물학적, 지화학적인 연구를 성공적으로 수행하기 위해서는, 이와같은 홀로세 해침작용과 이에 따른 퇴적작용을 잘 이해하여 이들에 대한 지식을 각각의 결과해석에 신중히 고려해야 할 것이다.

본 연구에서는 지금까지 발표된 남해에 대한 지질학적 연구결과 중 일부를 발췌하여 중요한 항목별로 정리해 보고자 한다. 우선 남해의 홀로세 해침작용을 알아보기 위해 한국자원연구소의 탄성파자료를 바탕으로 연구된 결과를 간략히 기술하고자 한다. 그 다음에는 남해를 대표하는 만에 대한 지질학적인 특징을, 가장 연구가 잘 되어있는 여수의 가막양에 대한 결과를 예를 들어 요약하고, 곧이어 연안 바깥으로의 해저표층퇴적물의 특징을 한국해양연구소의 기존자료를 토대로 기술하고자 한다. 마지막으로 이들 결과들을 가지고 남해의 현생퇴적작용을 요약, 정리하고자 한다. 이와같이 기존의 연구결과를 요약한 후에, 1998년 5월에 진해만 입구에서 획득한 수리역학적 자료를 제시하고 지질학적인 의미와 향후 연구방향을 제안하고자 한다.

### 2. 홀로세해침 퇴적작용

한국자원연구소는 남해의 제 4기에 대한 탄성파층서를 연구하기 위하여 총 6000km가 넘는 고해상 (3.5kHz, 스파키, 유니빔) 탄성파탐사를 섬진강 입구에서 포항까지 10년간 (1986-1995)에 걸쳐 실시하였다. 또한 탄성파 탐사측선을 따라 주요한 지점에서 수많은 피스톤코어 (길이, 0.5-4m)를 획득하여 층서와 층들의 지질해석에 이용하였다. 이에 대한 연구결과는 Min (1994)과 Yoo (1997)에서 볼 수 있다.

해수면이 최대 낮았을 때, 홀로세초기 퇴적물은 남해 중앙부에 있는 골에 100m 이상의 두께로 쌓였다 (Fig. 5-2). 이 퇴적체는 전체적으로 켜기모양으로, 골의 중앙선으로 향하는 일종의 클리노포움 (Clinofom) 양상을 보인다. 해저에 노출

된, 이 퇴적체의 하단부층준에서 얻은, 조개껍질의 탄소동위원소 연대측정에 의하면 40,000-50,000 yr BP로 (Yoo, 1997) 홀로세이전의 퇴적물임을 알 수 있다. 그러나 상부층준에서의 연대측정값도 15,000-15,500 yr BP로서, 이는 남해 중앙부골의 퇴적체는 전체가 마지막 빙하기때 가장 낮은 해수면하에서 퇴적되었음을 지시한다 (Yoo, 1997). 피스톤코아에서 본 실제의 퇴적물은 모래와 펄의 혼합물로서 다짐작용을 받은 펄 또는 펄질 모래이다. 전체적으로 조개껍질이 산재해 있는 괴상 (Massive)의 펄질 모래이지만 층상의 펄이나 모래 또는 자갈이 많은 펄질 모래도 존재한다.

홀로세 해수면상승에 의해 형성된 해침퇴적층은 다양한 퇴적체를 보이고 있다 (Fig. 5-2). 즉 해변과 수로퇴적물, 해침모래층 그리고 델타등이 탄성과 자료에서 나타난다 (Min, 1994; Yoo, 1997). 해변퇴적물은 중앙골 주변부에 현재의 120-150m 수심선과 평행하게 국부적으로 나타난다 (Fig. 5-2). 이 퇴적체를 가로지르는 탄성과 자료에서, 중앙골의 깊은 쪽으로 향하는 경사진 반사면들이 잘 발달되어 있는 것을 볼 수 있다. 수로퇴적물은 탄성과 자료에서 쐐기모양의 침식면에 퇴적물이 쌓여 있는 형태로 쉽게 구별할 수 있다. 대부분의 수로퇴적물들은 수평적으로 잘 발달된 내부반사면을 가지고 있다. 이 퇴적체는 섬진강과 낙동강의 연장선으로 추적이 가능하다 (Fig. 5-2). 델타퇴적체는 거제도 동쪽과 남해도 근처인 내대륙봉이내에서 발견된다 (Fig. 5-2). 이들의 내부반사면은 바다쪽으로 전진하는 양상을 가리키고 있다. 해침모래층은 수 m 이내로 매우 얇으며, 남해의 해저 대부분을 덮고 있다. 이들은 거제도와 남해도근처에서, 바다쪽으로 향하는 내부반사면을 갖는 큰 규모의 사주들로 발달되어 나타나기도 한다.

해침모래층은 주로 분급도가 보통인 중립 또는 세립의 모래 (90%)와 조개껍질 그리고 자갈들로 구성되어 있으며, 특히 모래는 보통 갈색 또는 붉은 색의 산화된 석영 입자로 이루어져 있다. 이들 모두의 해침퇴적물 위로는 펄질퇴적물이 덮고 있는데, 이 현생퇴적물의 내부반사면의 발달정도는 매우 다양하다. 즉 강 입구에서는 내부반사면이 연속적이고 증발달이 좋으나 바다쪽으로 가면서 불연속적이고 점차 증발달이 불량해진다. 일부 내대륙봉에서는 탄성과적으로 거의 투명한 음파특성이 나타나기도 한다. 이들 펄은 모래성분이 5%이하로 평균입도가  $7.9\phi$ 로 분급도가 불량하다. 피스톤코아에서는, 현생펄이 생물교란을 받아 균질하거나 실트와 점토층이 교호하는 층들로 이루어져 있다.

### 3. 만 퇴적작용: 가막양

가막양은 여수반도와 돌산도로 둘러싸여 있는 남해의 전형적인 만으로서, 남쪽으로는 여러 조수로를 통해 남해와 연결되어 있으며 북동쪽으로는 좁은 수로를 통해 광양만과 연결되어 있다 (Fig. 5-3). 가막양으로 흘러들어 오는 큰 강은 없으며, 작은 하천이 몇 개 유입될 뿐으로 따라서 육상으로부터 유입되는 퇴적물량은 미미하다. 가막양의 평균수심은 9m로 상당히 얇으며 주조류의 방향은 남북방향이다. 최대대조차는 350cm이며 평균조차는 195cm이다 (National Hydrographic Office of

Korea, 1973). 남쪽의 조수로에서의 최대유속은 1m/sec에 이른다 (National Hydrographic Office of Korea, 1973). 이곳에서는 커다란 과형의 퇴적체가 존재하는데, 이들의 평균입도는 7.5 $\phi$ 로서 주변의 실트질 점토에 비해 조립한 편이다. 만내의 조그만 섬주변에는 조류침식에 의한 모우트(Moat)들이 흔히 나타난다 (Chough, 1983).

탄성파자료상에서 보이는 음파기저부 (Acoustic basement)는 남쪽으로 가면서 깊어진다. 이 기저부위에 놓여있는 홀로세퇴적층은 그 두께가 수 m에서 30m이상으로 만 중앙부가 가장 두껍다. 특히 중앙부의 두꺼운 퇴적층은 가스를 함유하기 때문에 유니폼자료상에서 음파의 전달이 불량하게 나타난다 (Chough, 1983). 이들 가스는 퇴적물내의 유기물이 분해되어 발생하는 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> 또는 H<sub>2</sub>S로 보여진다. 만내의 모우트근처에서 얻은 피스톤코아 퇴적물의 탄소동위원소 연대측정에 의하면, 최상부층 6m가 쌓이는데 약 4,500 yr BP가 소요되었음이 밝혀졌다 (Chough, 1983).

만내의 평균입도는 북쪽으로 갈수록 미세해지는데, 이는 부유물질의 유입이 남쪽의 조수로를 통하여 이루어짐을 의미한다. 그러나 두드러진 해저면퇴적형(Bed form)이나 물리적인 퇴적구조가 보이지 않는 것은 구성물질이 극히 미세하고 이에 따라 해저에 서식하는 유기체에 의해 이 구조들이 파괴되기 때문으로 여겨진다. 피스톤코아상에 나타나는 모래 또는 실트의 미세층은 간헐적으로 발생하는 폭풍에 의해 이와같은 조립질퇴적물이 공급되어 형성된 것으로 보여진다.

#### 4. 표층퇴적물

##### 4.1. 분포

남해의 표층퇴적물의 분포와 입도특성을 밝히기 위하여 무수히 많은 퇴적물채취가 행해졌으며 이에대한 결과는 여러 곳에서 볼 수 있다 (Chang et al., 1978; Chough, 1983; Kim et al., 1986, 1987, 1988). 또한 이들 자료를 합성하여 남해의 표층퇴적물 분포도가 Chough et al. (1991)에 의해 제시되었다 (Fig. 5-4).

세립질퇴적물 (Silty clay, clayey silt)은 수심 60m이내의 연안에서 나타난다 (Fig. 5-4). 특히 낙동강입구 동쪽으로는 수심 110m이내에서 연안을 따라 벨트상으로 나타나는 것이 특징이다(Fig. 5-4). 그러나 고흥반도와 거제도근처에서는 모래함량이 상당히 증가하여 모래질 펄이나 펄질 모래가 우세하다. 반면 깊어질수록 이들 펄질퇴적물은 펄과 모래의 혼합물 (Sandy mud, muddy sand)로 바뀌고 결국은 앞서 설명되었듯이 자갈과 조개껍질이 풍부한 과거의 모래퇴적물로 대체되어진다 (Fig. 5-4). 각각의 특징적인 퇴적체에서 얻은 피스톤코아의 주상시료는 (Fig. 5-1) 이들의 표층퇴적물분포와 잘 일치하고 있다. 펄질 주상시료는 전체적으로 생물교란작용을 심하게 받았으며, 일부는 커다란 조개껍질을 함유하고 다짐작용을 받기도 하였다. 이들 펄질퇴적물은 바다쪽으로 갈수록 미세하나마 입도가 작아지는 경향을 보인다 (Fig. 5-5). 모래와 펄의 혼합질 퇴적물에서 획득한 주상시료는 (J-102코아, Fig. 5-6)

상부로 갈수록 모래함량이 급속히 감소하는 경향을 보인다. 이는 홀로세해침을 단적으로 보여주는 예라고 할 수 있다. 과거모래층에서 얻은 주상시료는 퇴적물이 조립하고 단단하기 때문에 깊게 투과되지 못하였다. 따라서 얇은 주상시료는 표층 퇴적상과 같은 자갈, 모래점질 그리고 모래의 혼합물이 수직적으로 변함이 없음을 보여주고 있다.

#### 4.2. 지질공학적 성질

빨질퇴적물의 함수율은 연안을 따라 입도에 의해 변한다 (Fig. 5-7; Table 5-1). 그러나 피스톤코아에서 함수율과 입도는 수직적으로 거의 변화가 없다. 전반적으로 함수율은 바다쪽으로 가면서 증가하는데 이는 입도가 세립해지는 경향과 잘 일치하고 있다. 이러한 경향하에서도, 고흥반도앞의 실트질퇴적물 (K-series 코아)은 함수율이 55-65%로 상당히 낮으나 울산앞의 점토우세의 빨질퇴적물은 150%이상의 높은 함수율을 갖는다 (Fig. 5-7). 반면 모래가 우세한 퇴적물은 대체적으로 50%이하의 함수율을 보인다. 따라서 상부로 가면서 입도가 세립해지는 주상시료는 변화가 매우 큰 함수율을 보인다. 연안의 빨질퇴적물은 동쪽으로 가면서 탄산염과 총유기물함량이 서서히 증가하는 경향을 보인다 (Fig. 5-5). 울산앞에서 이들 함량이 최대가 되어, 탄산염은 20-25%, 총유기물함량은 7-12%가 된다 (Table 5-1). 수심 70m이하에서 획득한 모래질퇴적물은 30%이상의 극히 높은 탄산염함량을 가지나 반대로 대개 1% 미만의 극히 낮은 총유기물함량을 가지고 있다. 빨질퇴적물의 전단용력은 표층에서도 3-5kPa로 상당히 높으며, 퇴적층 하부로 갈수록 서서히 증가하여 약 3m 깊이에서 12-15kPa 값을 가진다 (Fig. 5-6). 전단용력측정에 의해 얻은 전단민감도 (Sensitivity)는 Skempton and Northey's (1952) scheme에 따르면 1-3 값으로, 낮거나 중간 정도의 전단민감도를 갖는 점토로 구분된다. 아테버그한계값 (Atterberg limits)은 탄산염과 총유기물함량과 마찬가지로 동쪽으로 갈수록 증가하여 소성과 액성이 울산쪽으로 갈수록 증가함을 알려준다.

#### 5. 현생퇴적작용

피스톤코아의 주상시료가 보여주었듯이 실트함량이 바다쪽으로 갈수록 감소하는 것은 이들이 먼 바다에서 기원한 것이 아니라 남해 연안주변의 육상에서 유입되었음을 의미한다. 일부 점토광물연구에 의하면 (Aoki et al., 1974; Park et al., 1976; Park and Han, 1985) 일라이트우세의 니질퇴적물은 그 기원을 동지나해에서 찾아야 한다고 주장하지만, 염분이 높은 쓰시마난류가 상대적으로 차갑고 염분이 낮은 연안수와 수온전선을 뚫고 연안으로 침입하리라고 보기는 어렵다 (Huh, 1982; Zheng and Klemas, 1982). 여수와 울산 사이에서 얻은 표층퇴적물에 대한 미고생물학적 (Ostracoda) 연구에 의하면 (Kim et al., 1987) 연안에서는 *Bicornucythere bisanensis*로 대표되는 연안종이 우세하나 외해의 모래질퇴적물에서는 *Bradleya nuda*와 *Bradleya japonica*로 대표되는 난류성 종들이 우세함을 밝혀, 지역에 따른 수괴의

구분이 뚜렷하다는 것을 보여주었다. Park et al. (1987)에 의하면, 여수와 부산사이에서 불철 부유물질함량이 외해보다 연안이 더 높고 해저층으로 갈수록 또한 농도가 증가하여 이는 육상으로부터 퇴적물이 공급되고 해저에서는 재부유가 빈번히 일어나고 있다는 것을 의미한다고 해석하였다.

인공위성사진에 의하면 (Kim et al., 1987), 장마시기에 낙동강에서 유입된 부유물질이 연안을 따라 북서쪽으로 이동되는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 일반적인 해양물리조사 (Chu, 1975)에 의해서도 밝혀지고 있다. 따라서 울산앞의 니질 퇴적물은 낙동강에서 기원하였을 것으로 사료된다. 반면 고흥반도 서쪽에서는 다른 기원이 작용하는 것으로 보여진다. 즉 늦가을철 인공위성사진은 한국의 서남해안과 남해안에 매우 잘 발달된 부유물질흐름띠가 존재하는 것을 보여주는데, 이는 서해연안에서 부유된 물질중 일부가 남해안으로까지 이동됨을 의미한다 (Wells and Huh, 1984; Yoo, 1986; Wells, 1988). 고흥반도와 거제도사이의 켈질퇴적물은 섬진강에서 기원한 것으로 보여진다. Park and Yoo (1988) 또한 제 4기 후기의 연차층 서화적인 연구를 통해 이들의 가장 가능성이 큰 기원을 섬진강으로 보고 있다.

남해의 니질퇴적물은 점토의 함량이 대부분 50%를 넘으며, 이에 따라 함수율이 극히 높고 (200%에 육박) 탄산염과 유기물의 보존이 상당히 잘 되어 있다. 해저면에서의 전단용력이 어느정도 높은 것은 일종의 가성의 과압밀 (Apparant overconsolidation) 상태를 나타내는 것으로, 퇴적율이 낮은 수중환경하의 니질퇴적물에서 많이 보고되고 있다 (Almagor, 1967). 주상시료에서 보듯이 함수율이 수직적으로 변화가 거의 없는 것은 불량한 투수율, 심한 생물교란작용 그리고 퇴적물자체의 낮은 하중이 복합적으로 작용한 결과로 보여진다. 울산 앞바다의 니질퇴적물이 상대적으로 높은 탄산염과 유기물 함량을 갖는 것은, 동해의 심층수가 연안으로 용승 (Upwelling)함에 따라 생물의 기초생산성이 크게 증가하기 때문으로 사료된다. 이러한 높은 유기물함량은 울산앞 주상시료들이 가장 높은 소성과 액성을 지니게 된 원인으로 작용하는 것으로 보여진다.

## 6. 박스코아의 퇴적구조

1998년 탐사를 통해 총 27개의 박스코아 (길이, 30cm내외)를 남해의 여러지역에서 채취하였다 (Fig. 5-8). 서로의 비교연구를 위해 서남해의 남쪽과 제주도 서쪽해역에서도 시료를 채취하였다. 기존의 피스톤코아 시료에 비해 박스코아는 교란을 전혀 받지 않은 해저층 최상부시료를 얻을 수 있기 때문에 현생퇴적작용을 수 년에서 수 십년 단위로 연구하는데 가장 적합하다. 다음에 이들의 채취지역을 서남해 흑산나대, 제주도 서부, 남해연안, 그리고 남해 중앙부로 나누어서 퇴적특성을 기술하고자 한다.

### 6.1 서남해 흑산나대

흑산나대내에서 채취된 박스코아는 B1, B2, B7, B9이다 (Fig. 5-9). 이 지역의 특징은 실트와 점토로 구성된 미세층들이 잘 발달되어 있는 것이 특징이다 (Fig.

5-10). 모래함량은 B2코아의 경우 20%가 넘으나 대부분의 코아에서는 10%미만이고 거의 같은 양의 실트와 점토로 되어 있다. 따라서 평균입도는  $8\phi$  이하로 극히 미세하다 (Fig. 5-10). 그러나 흑산니대의 가장자리에서 채취된 B9코아는 모래함량이 20%를 넘을 뿐만 아니라 완전히 생물교란을 받아 미세충들이 보이지 않는다 (Fig. 5-10). 이는 오히려 제주도 서부의 박스코아에서 볼 수 있는 퇴적특성에 더 가깝다.

Lee(1986)의 연구에 의하면, 이러한 미세충들은 겨울철에 강한 파랑에 의해 서해 연안 및 흑산니대의 표층퇴적물이 재부유되고 체질당하여 주로 실트입자 ( $4-6\phi$ )들로 구성된 층이 형성되는 반면 여름철에는 점토성분이 상대적으로 증가하여 점토우세층이 이루어진 결과로 보고 있다. 이 이론과 기존의 Wells (1988) 이론을 따르다면, 겨울철에 이와같이 재부유된 부유물질들은 일부가 남해안으로 이동되는 것으로 예측할 수 있다. 흑산니대의 기원에 대해서는 아직 정립되어 있지 못한 실정이지만, 많은 해양지질학자들은 우리나라 기원, 특히 금강기원을 선호하고 있다 (Chough, 1983; Lee and Chough, 1989). 최근에 해양연구소 해양지질부의 퇴적역학팀이 최신 수리역학적 장비 (EM current metres, OBS, altimeter, T-S sensors, LISST-100)를 사용하여 연속적이고 믿음만한 자료를 얻어 분석중이다. 여기서 얻은 중간결과에 의하면, 여름철에는 흑산니대위로 순수부유물질이동은 거의 없으나 겨울철에는 여름철에 비해 수 배 높은 부유물질농도를 유지하고 이들은 뚜렷이 남쪽으로 이동한다는 것을 볼 수 있었다. 이러한 연구결과는 곧 해양연구소의 정규보고서로 발표될 예정이다.

## 6.2 제주도 서부

이 지역에서 채취된 박스코아는 A1, A3, A5, A7, A9, B11이다 (Fig. 5-9). 이 지역은 해수면이 낮았을 때 퇴적된 과거모래층이 현생니질퇴적물과 혼합되어가는 과정에 있는 곳이다. 따라서 코아퇴적물은 모래함량이 50-70%로 약간 우세한 가운데 점토함량이 약 30%로 점토질모래로 분류된다 (Fig. 5-11; Table 5-1). 퇴적구조는 박스코아 전체에 걸쳐 생물교란작용을 심하게 받아 물리적 구조는 보이지 않으며 생물의 활동흔적이 간혹 나타나고 코아 A9의 경우 조개껍질들이 산재해 있다 (Fig. 5-11). 이 지역의 평균입도는  $5-6\phi$ 의 범위를 갖는다.

이 지역은 우리나라의 강들은 물론 중국의 황하와 양자강으로부터 멀리 떨어져 있는 곳이다 (Fig. 5-8). 우리나라 강에서 기원한 부유물질은 흑산니대까지는 영향을 미치지만 그 바깥쪽으로 이곳까지 영향을 주지는 못하는 것으로 보여진다. 양자강은 이 지역에서 상대적으로 가장 가까이 위치하기 때문에 가능한 기원으로 보기가 쉬우나 지금까지 연구된 결과로는 양자강에서 유출되는 부유물질은 대부분 연안에 차우쳐서 남쪽으로 동지나해로 이동, 퇴적되는 것으로 알려져 있다 (McKee et al., 1983; Milliman et al., 1985). 그러나 여름철 홍수기에 양자강에서 나온 담수가 제주도 서쪽 근방까지 접근할 것이라는 예측 (Sternberg et al., 1985)이 있는 것으로 보아 이 지역에 양자강기원의 부유물질이 공급될 가능성을 전혀 배제할 수는 없다. 그러나 이보다는 현재의 황하 또는 예전의 황하기원 델타에서 부유물질이 공급된다



는 설이 가장 설득력이 있다 (Lee and Chough, 1991). 즉 황해 중앙부에 놓여있는 거대한 황하기원 니질퇴적물의 바로 주변부에 이 지역이 위치하기 때문에 현재의 황하기원 부유물질이 쌓일 것으로 볼 수 있다. 또 한편으로는 1855년 이전에 황하가 산둥반도 이남으로 흘렀을 때 생성된 강입구의 델타를 구성하는 니질퇴적물이 현재는 강한 조류에 의해 침식, 재부유되어 제주도 서부와 남서부로 이동되는데 그 경로에 이 지역이 위치하기 때문에 이들 재부유된 물질이 쌓일 확률이 또한 높을 것이다 (Nittrouer et al., 1984; Butenko et al., 1985; DeMaster et al., 1985). 두 가지 경우 모두 황하기원이라는 것이며, 만약 이 추론이 옳다면 이 지역의 퇴적물은 황하기원 퇴적물의 특징인 스펙타이트와 CaO를 다량 함유하고 있을 것이다.

### 6.3 남해 연안

남해연안의 박스코아들은 크게 3가지 지역으로 나뉠 수 있다 (Fig. 5-9). 즉 고흥반도 서쪽 (C1, C3), 섬진강 근처 (D1, D3, D5), 그리고 낙동강 입구 (E1, E2). 고흥반도 서쪽의 코아들은 모래함량이 50%정도 되며 실트와 점토함량이 각각 25%정도로써 평균입도는  $5.5-6.0\phi$ 이다 (Fig. 5-12; Table 5-1). 코아전체에 걸쳐 물리적 구조가 없고 조개껍질이 산재해 있는 것이 특징이다 (Fig. 5-12). 섬진강 근처의 코아들은 남해연안의 전형적인 니질퇴적물의 특징을 보인다 (Fig. 5-13; Table 5-1). 실트와 점토가 각각 50%정도로써 모래는 거의 없다. 이에따라 평균입도는  $9\phi$  이상이고 코아 전체에 걸쳐 생물교란을 심하게 받아 물리적 퇴적구조는 보이지 않는다 (Fig. 5-13). 낙동강입구의 E1 코아는 실트와 점토가 합쳐서 80%이상으로 빨질퇴적물이지만 실트우세와 점토우세의 층들이 교호하는 물리적 구조를 보인다 (Fig. 5-14; Table 5-1). 평균입도는  $6-8\phi$ 의 범위를 갖는다. 그러나 남쪽으로 몇 km 떨어진 지점의 E2 코아는 점토의 양이 70%이상으로 크게 증가하고 (평균입도는  $9\phi$  이상), 층리는 매우 얇아지고 거의 대부분 생물에 의해 교란되어 있다 (Fig. 5-14).

고흥반도 서쪽은 앞서 기술하였듯이 섬진강이나 낙동강으로부터 직접 육상기원의 퇴적물을 받는 곳이 아니고 겨울철에 서해연안에서 재부유된 퇴적물이 이동되어와 쌓이는 곳으로 보고 있다. 따라서 고흥반도 동쪽보다 니질퇴적물의 공급이 적을 것이며 이에따라 모래함량이 높은 것으로 사료된다. 반면 섬진강과 낙동강 입구에서는 부유물질의 공급이 활발하므로 니질퇴적물이 상대적으로 두껍게 쌓인다고 본다. 특히 낙동강 바로 입구에서는 E1 코아에서 보듯이 막대한 양의 부유물질공급으로 인하여 퇴적율이 높고 따라서 생물의 활동이 위축되어 물리적 퇴적구조가 잘 보존되어 있음을 알 수 있다. 여기서 층리의 발달은 홍수기와 갈수기 또는 여름과 겨울의 부유물질 유입량의 변화를 지시한다고 할 수 있다.

### 6.4 남해 중앙부

남해의 가장 깊은 곳에서 채취된 박스코아는 비교적 풍부하여 C5, C7, D7, D9, D10, D11, E3, E4, E5, E6이다 (Fig. 5-9). 이 지역의 퇴적물은 자갈 또는 조개껍질

을 풍부하게 함유하고 있으며 뿔함량은 30%이하이다. 전체적으로 3.5-4.0 $\phi$  입도의 사질퇴적물로서 해류에 의한 퇴적구조는 보이지 않는다 (Fig. 5-15; Table 5-1).

이 지역은 홀로세 초기 해수면이 낮았을 때 퇴적된 층들이 대부분 그대로 노출되어 있기 때문에, 박스코아내에는 그 당시 살았던 패류들의 잔재가 그대로 함유되어 있고 또한 당시의 해안가에 널려있던 자갈들도 포함되어 있다. 이러한 노출은 초반 홀로세해침시기에 해수면이 상대적으로 급속히 상승했음을 의미한다. 홀로세 해침에 대한 보다 자세한 내용은 앞서의 '제 2 절 홀로세해침 퇴적작용'에서 볼 수 있다.

## 7. 수리역학적 정선관측: 진해, 마산만 입구

진해, 마산만 입구인 거제도과 가덕도 사이의 가덕수로에서 1998년 5월 10일에 오전 7시부터 오후 7시까지 12시간동안 1 시간간격으로 정선관측을 실시하였다 (Fig. 5-16). 수온, 염분계가 장착된 유속계 (Valeport, Model MKIII 108)와 탁도계 (OBS: D&A, Model OBS-3)를 이용하여 해류, 수온, 염분 그리고 부유물질농도를 측정하였다. 매 시간마다 해수면근처에서 해저바닥근처까지 전 수층을 통해 거의 등간격으로 5개 수심에서 이들을 관측하였다. 관측을 실시하는 동안 표층, 중층, 저층에서는 광학탁도계에 의한 부유물질농도 관측치를 보정하고 입도특성변화를 파악하기 위하여 수증펄프를 이용하여 1-2리터 정도의 해수를 채취하였다. 또한 관측동안의 조석변화를 파악하기 위해 디지털측심기 (Raytheon, Model DE719D-MK2) 로 매회 수심변화를 기록하였다. 채수된 샘플은 필터링을 통해 실제 농도를 구하고 이들을 이용하여 OBS 측정치를 실제농도로 변환하였다. 또한 수층별 조류속과 부유물질농도를 구하여 전 수층과 시간에 대해 적분을 함으로써 부유물질의 순수출입량 (Flux)를 구하였다.

### 7.1 해류

표층의 해류는 오전 7시 창조 후반부에 9cm/sec로 아주 미약하게 만입구를 향하고 있다 (Fig. 5-17; Table 5-2). 그러나 중층과 저층에서는 표층보다는 유속이 강하여 20cm/sec에 이르고 있다. 8시에 정조를 지나 9시에 낙조가 시작되면서 해류는 표층에서 20cm/sec로 강해지면서 만 바깥으로 향한다 (Fig. 5-17; Table 5-2). 이후에 최강의 낙조유속은 10시에서 11시 사이에 37cm/sec 이상으로 증가하였다가 감소하기 시작한다. 이 때 중층의 최강유속은 26cm/sec이고 해저면에서 약 1m위인 저층의 유속은 15cm/sec에 이른다. 오후 1시 정조에 달했을 때는 창조시와 마찬가지로 표층에서 7cm/sec이하로 감소한다 (Fig. 5-17; Table 5-2). 곧 이어 다시 창조가 이어질 때 표층에서의 최강유속은 오후 2시에서 3시 사이에 35cm/sec에 달한다. 그러나 이 때 중층과 저층에서는 7cm/sec 이하로 아주 약하게 측정되었다. 오히려 중층과 저층의 최강유속은 이 시간 이후에 크게 증가하여 30cm/sec이상으로 커지는 기현상을 보인다 (Fig. 5-17; Table 5-2). 표층의 유속도 오후 5시까지 감소하

다가 그 이후에 급속히 증가하고 있다. 이와같이 오후 5시 이후에 유속이 증가하는 이유는, 이 때가 창조 후반부에 해당되나 해풍 또한 만 안쪽으로 지속적으로 불면서 창조류를 더욱 증가시켰기 때문으로 보여진다. 이러한 12시간 정선관측 결과는 Fig. 5-19에 요약되어 있다.

## 7.2 수온

전 관측기간을 통해 수온의 성층화가 뚜렷하다 (Fig. 5-18; Table 5-2). 표층의 수온은 16.5°C에서 17.0°C으로 창조와 낙조의 변화가 거의 없다. 중층 이하에서도 시간에 따른 별다른 변화를 보이지 않는다. 이는 여름철에 연안수가 데워진 다음 낙조시에 의해로 나가는 현상이 아직까지는 보이지 않는 것을 알 수 있다. 전체적으로 수온은 수심이 깊어질수록 서서히 감소하여 저층에서 14.0°C가 된다 (Fig. 5-18). 결국 5월 경에는 진해, 마산만 주변해역이 이미 수온성층이 이루어져서 수피가 안정되어 있음을 알 수 있다.

## 7.3 염분

염분도 수온과 마찬가지로 시간에 따른 변화가 거의 없이 수층별로 안정된 값을 보이고 있다 (Fig. 5-18; Table 5-2). 표층에서는 31.0-31.5 PSU로 저층의 33.5PSU에 비해 낮기 때문에 결국 깊어질수록 염분이 서서히 증가하는 경향을 보인다. 그러나 33.5PSU보다 높은 염분을 갖는 저층수의 두께가 낙조시에 감소하다가 창조시에 증가하는 것으로 보아 (Fig. 5-18), 창조시 외해의 좀 더 염분이 높은 수피가 만으로 진입하고 낙조시에는 육상수의 희석으로 염분이 낮아진 연안수가 외해쪽으로 빠져나가는 것으로 사료된다.

## 7.4 부유물질 농도

부유물질 농도는 저층에서 5m이내에서 25mg/l이상으로 낙조의 정조시 (13시 근방, Fig. 5-18)를 제외하고는 이 곳이 항상 가장 높은 농도를 보인다. 측정된 최대 값은 38mg/l로서 낙조와 창조 모두에서 비슷하지만 (Table 5-2), 정선관측 후반부인 창조시에 대체적으로 저층에서의 농도가 34mg/l로 낙조시의 30mg/l에 비해 약간 더 높다 (Fig. 5-18). 이와같은 저층지역을 제외한 전 수층에서의 부유물질 농도변화는 어떠한 뚜렷한 경향을 보이지 않고 있다 (Fig. 5-18). 즉 일부 시간대에 18mg/l보다 높은 값이 중층에 나타나기는 하나 전체적으로 14-18mg/l의 값을 가진다 (Fig. 5-18; Table 5-2). 이러한 현상은 해저의 니질퇴적물이 10-20cm/sec의 저층 조류에 의해 재부유된다는 것을 의미한다. 그러나 표층과 중층에서는 연안에서 또는 외해에서 확연히 부유물질이 이동된다는 현상을 볼 수는 없다. 따라서 이 지역에서는 강에 의한 부유물질의 흐름이 존재하거나 반대로 외해로부터 고농도수가 유입되는 현상을 적어도 봄철에서는 볼 수 없다는 것을 알 수 있다.

## 8. 결 론

남해의 니질퇴적물은 외해보다는 우리나라 연안 또는 육상으로부터 기원한 것으로 보여진다. 고흥반도 동쪽에서는 섬진강과 낙동강이 직접적인 공급처이며, 고흥반도 서쪽에서는 서해안에서 재부유되어 이동되어 온 부유물질이 주 공급원으로 사료된다. 따라서 남해와 서해의 경계부인 제주도와 목포사이에는 거대한 흑산니대의 일부분이 놓여 있는데 이 곳의 니질퇴적물은 겨울철의 재부유-퇴적현상을 지시하는 층리의 발달을 특징적으로 보이고 있다. 전반적으로 남해연안의 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 유기물과 탄산염함량이 서서히 증가한다. 그러나 수심 70m이하의 남해중앙부에는 과거 해수면이 낮았을 때 쌓인 조립질퇴적물이 해저에 그대로 노출되어 있다. 이 과거의 퇴적물과 연안의 현생 펄 사이에는 홀로세 해침작용에 의해 이들이 서로 혼합되어 모래질 펄 또는 펄질 모래가 퇴적되어 있다.

진해, 마산만 입구에서의 12시간 정선관측에 의하면, 5월경에 이 곳의 해수는 수온이 14-17°C, 염분은 31.0-31.5PSU로서 수괴의 성층화를 보여 상당히 안정되어 있음을 알 수 있다. 해류의 최강유속값은 35-37cm/sec로 창조와 낙조의 구별이 거의 없으나 전반적으로 전 수층에 걸쳐 창조시에 유속이 더욱 강한 경향을 보여 이 지역에서는 창조류가 우세한 비대칭 조류 구조를 갖는다. 해저의 니질퇴적물은 대부분의 조석주기동안에 재부유되어 저층의 탁도가 상대적으로 매우 높게 유지되지만 그 위의 수층에서는 부유물질이 뚜렷한 분포경향을 보이지 않기 때문에 만 안팎으로 확연히 흐르는 부유물질흐름은 감지되지 않는다. 그러나 해류와 부유물질농도를 가지고 출입량을 계산했을 때 한 조석주기동안에 0.13kg/m가 순수하게 만안으로 유입되었음이 밝혀졌다. 즉 이미 이 시기에 진해, 마산만은 펄이 쌓이고 있다고 볼 수 있다.

남해 연안의 퇴적작용은 계절적인 변화를 겪을 것이 확실하기 때문에, 물론 현재의 단 한차례의 정선관측 자료만으로 어떠한 확정적인 결론을 내릴 수는 없다. 이러한 관측이 적어도 4계절에 걸쳐서 이루어져야 하며 단발성이기는 하나 지대한 영향을 주는 폭풍이나 태풍시기에도 관측이 필요할 것이다. 이와같은 악천후에서는 사실상 선상관측이 불가능하므로 자동관측시스템을 (예를 들면 SeTMonS) 투입하여 정밀한 자료를 획득하여야 할 것이다. 또한 진해, 마산만에 국한할 것이 아니라 낙동강 입구, 울산앞 연안, 섬진강 입구, 여수 돌산도 근방, 제주도와 목포 사이의 연안, 그리고 고흥반도 서쪽의 몇 개 만을 선정하여 본 연구에서와 같은 퇴적역학적 조사를 되풀이하여 실시해야 할 것이다. 여기서 얻어진 조사결과는 남해의 전연안에서의 부유물질의 거동을 정량적으로 보여줄 것이며, 나아가 예기치 않은 오염물질의 확산이나 적조의 발생시 이들의 이동경로와 침전지역을 정확히 예보할 수 있는 발판이 될 것으로 기대된다.

Table 5-1. Summary of location and textural characteristics of box cores from the South Sea and its vicinity

Sample No.	Location (in degree)		Depth (m)	Core L (cm)	Composition				Sed Type	Textural Parameters*			
	Long	Lat.			Gravel	Sand	Silt	Clay		Mz	$\sigma_1$	Sk	$K_G$
A1	124 999	34 168	91	0	0	58.6	11.35	30.05	cS	5.67	3.78	0.71	1.85
				20	0	57.29	10.07	32.64	cS	5.84	3.88	0.62	1.68
				38	0	55.21	9.63	35.16	cS	6.03	3.92	0.5	1.53
A3	125 004	34 011	85	0	0	88.12	2.23	9.65	cS	3.13	2.79	2.52	7.88
				32	0	81.63	3.27	15.1	cS	3.7	3.3	1.79	4.56
A5	125 001	33.849	94	0	0	71.29	6.21	22.5	cS	4.46	3.81	1.16	2.65
				30	0	64.4	7.18	28.42	cS	5.32	3.87	0.85	1.98
A7	125 000	33 666	90	0	0	43.98	12.17	43.86	sC	6.83	3.98	0.14	1.34
				30	0	60.22	13.69	26.09	mS	5.14	3.18	0.73	2
A9	125 000	33 500	74	0	0	65.83	7.14	27.03	cS	5.02	3.92	0.91	2.08
				28	0	64.17	5.12	30.71	cS	5.29	4.06	0.76	1.79
B1	125 880	34.514	21	0	0	6.83	45.91	47.26	M	8.23	2.97	0.08	1.53
				20	0	4.58	45.55	49.87	M	8.48	2.91	0.03	1.48
				42	0	2.19	47.46	50.35	M	8.59	2.8	0.05	1.47
B2	125 884	34 417	31	0	0	17.7	34.7	47.6	sM	7.89	3.48	-0.2	1.72
				20	1.91	35.17	20.95	41.96	(g)sM	6.75	4.13	-0.13	1.7
				29	0	2.78	42.05	55.17	M	8.86	2.81	-0.13	1.5
				32	0	34.53	32.24	33.23	sM	6.29	3.85	0.14	1.73
B7	125 883	34 000	83	0	0	0	47.1	52.9	M	8.62	2.6	0.08	1.55
				7	0.86	81.37	8.21	9.56	(g)mS	3.12	2.9	1.97	6.03
				25	0	1.71	38.79	59.49	M	9.06	2.64	-0.19	1.58
B9	125 882	33.750	78	0	0	19.8	24.67	55.53	sC	8.3	3.32	-0.3	1.67
				35	0	35.37	22.01	42.62	sM	7.18	3.54	0.16	1.47
B11	125 883	33 500	95	0	0	40.97	17.39	41.64	sC	6.78	3.79	0.18	1.42
				32	0	54.8	11.99	33.2	cS	5.86	3.81	0.6	1.67
C1	127 000	34 167	32	0	0	51.42	20.53	28.04	mS	5.94	3.41	0.78	2.02
				32	0	54.31	19.18	26.5	mS	5.78	3.36	0.85	2.16
C3	126 999	34 000	60	0	3.17	73.85	5.77	17.22	(g)mS	3.62	3.68	1.22	3.37
				30	3.6	48.05	12.45	35.9	(g)sM	5.45	4.52	0.25	1.54

Table 5-1. Continued

Sample No	Location (in degree)		Depth (m)	Core L. (cm)	Composition				Sed. Type	Textural Parameters*			
	Long	Lat			Gravel	Sand	Silt	Clay		Mz	$\sigma_1$	Sk	$K_G$
C5	127 000	33.833	87	0	13.25	55.37	7.06	24.32	gmS	3.86	4.49	0.67	2.14
				15	15.7	49.36	9.09	25.85	gmS	3.84	4.77	0.44	2.01
				26	9.41	23.76	51.51	15.32	gM	4.61	3.6	0.16	2.87
C7	127 000	33.667	117	0	0.87	81.67	5.4	12.06	(g)mS	3.42	3.04	1.84	5.43
				27	2.99	75.59	5.6	15.83	(g)mS	3.63	3.43	1.4	3.85
D1	128 000	34.584	27	0	0	0.82	39.12	60.05	M	9.18	2.52	-0.16	1.57
				30	0	0.18	37.32	62.49	M	9.2	2.47	-0.2	1.61
D3	127 999	34.417	43	0	0	0	31.18	68.82	C	9.59	2.29	-0.28	1.64
				30	0	0	30.59	69.41	C	9.59	2.27	-0.29	1.67
				42	0	0	27.73	72.27	C	9.8	2.25	-0.42	1.72
D5	128 000	34.250	69	0	0	0	24.03	75.97	C	9.94	2.15	-0.53	1.94
				32	0	4.42	25.85	69.73	C	9.49	2.51	-0.58	2.24
D7	128 002	34.000	86	0	0	21.28	14.24	64.48	sC	8.87	3.29	-0.54	1.69
				20	1.68	51.2	19.04	28.08	(g)mS	5.83	3.92	0.31	1.78
D9	127 999	33.750	104	0	0	56.28	11.47	32.25	cS	5.95	3.74	0.69	1.74
				16	0	62.81	7.16	30.03	cS	5.56	3.86	0.8	1.87
D10	128 000	33.626	117	0	0	81.37	18.63	0	zS	3.01	0.77	0.5	1.8
				10	0	74.64	3.73	21.62	cS	4.33	3.85	1.2	2.83
D11	127.999	33.500	114	0	0	80.51	19.49	0	zS	2.46	1.2	0.01	2.2
				15	0	77.22	22.78	0	zS	2.62	1.17	-0.09	2.24
E1	129.000	35.000	44	0	0	0.64	83.99	15.37	Z	7.39	1.67	2.04	6.03
				20	0	11.24	28.86	59.91	sC	8.71	3.16	-0.46	1.9
				35	0	25.41	54.75	19.84	sZ	5.97	2.78	1.11	3.19
E2	129.000	34.917	73	0	0	1.63	22.61	75.76	C	9.89	2.35	-0.74	2.37
				20	0	2.34	26.75	70.91	C	9.6	2.46	-0.56	2.15
				43	0	9.98	20.84	69.19	C	9.38	2.8	-0.7	2.26
E3	129 001	34.835	86	0	4.72	65.07	6.3	23.9	(g)mS	4.11	4.19	0.92	2.33
				22	22.08	50.22	6.9	20.81	gmS	3.15	4.64	0.71	2.38
E4	129 000	34.750	97	0	3.38	70.81	5.92	19.88	(g)mS	3.79	3.93	1.08	2.91

Table 5-1. Continued

Sample No	Location (in degree)		Depth (m)	Core L (cm)	Composition				Sed Type	Textural Parameters*			
	Long.	Lat.			Gravel	Sand	Silt	Clay		Mz	$\sigma_1$	Sk	$K_G$
E5	129 000	34.667	102	25	4.49	65.84	7.11	22.56	(g)mS	3.85	4.17	0.94	2.52
				0	4.74	69.71	4.89	20.66	(g)mS	3.56	4.12	1.13	2.82
E6	129 000	34.584	109	25	32.45	47.98	5.03	14.53	msG	1.98	4.29	1.24	3.42
				0	0	73.67	5.8	20.53	cS	3.81	3.93	1.25	2.89
				22	4.23	71.03	5.89	18.86	(g)mS	3.46	3.98	1.28	3.13

\* Mz: Mean  $\sigma_1$  Sorting; Sk: Skewness;  $K_G$  Kurtosis

Table 5-2. Summary of 12-hour hydrodynamic measurements at the entrance of Jinhae-Masan Bay during 7 am - 7 pm, May 10, 1998

Time (hh mm)	depth (m)	Current		Temp (deg)	Salinity (o/oo)	Suspended sediments Conc (mg/l)	Wind	
		speed(m/sec)	dir.(deg)				speed(m/sec)	dir (deg)
7 00	0 93	0 09	310 21	17 35	30 04	17 58	0 7	360
7 00	5 98	0 02	20 36	16 52	31 88	14 94		
7 00	10 84	0 23	352 72	15 23	33 34	16 26		
7 00	16 17	0 20	347 94	14 30	33 82	24 20		
7 00	21 05	0 18	333 00	14 06	33 90	26 85		
8 00	1.22	0.08	128.39	17.18	31 06	20.23	0 8	180
8 00	6.01	0 07	35 41	16 37	31 98	18 91		
8:00	11 03	0 14	24 21	15 15	33 38	17 58		
8 00	16 18	0 08	17 43	14.50	33 75	9 64		
8:00	21 26	0 03	4 84	14 11	33.90	38 76		
9 00	0 87	0 20	147 81	16 97	31 03	13 61	0 5	202 5
9 00	5 76	0 19	111 60	16 36	31 99	14 94		
9 00	10 86	0 17	116 78	15 46	32 98	16 26		
9 00	16 25	0 16	114 69	14 94	33 40	22 88		
9 00	21 34	0.05	96 95	14.15	33.88	25 52		
10 00	1 08	0.37	150.10	17.03	31 07	17 58	1	67.5
10 00	5 59	0 22	136 87	16 92	31 38	17 58		
10 00	10 85	0 26	151 64	15 63	32.73	22 88		
10 00	15 97	0 24	134 38	15 05	33 28	12 29		
10 00	21 02	0 15	131 86	14 15	33 88	25 52		
11 00	1 50	0 29	131 12	16.92	31 50	16 26	1 3	67 5
11 00	5 73	0 24	149 81	16 44	31 98	20 23		
11 00	10 83	0 25	142 55	15 88	32 48	22 88		
11 00	16.09	0.24	131 53	15 15	33 17	25.52		
11 00	20 95	0 14	120 09	14 13	33.88	36 11		
12 00	1 07	0 25	139 85	16 62	31 81	16 26	2 3	22 5
12 00	5 73	0 21	113 29	16 56	31 90	16 26		
12:00	10 91	0 22	144 44	15 24	33 07	13 61		
12 00	15 99	0 16	127 67	14 96	33 36	20 23		
12 00	21 24	0 07	105 41	14 25	33 86	30.82		
13 00	0 64	0 07	144 42	16 47	31 93	13 61	0 7	90
13:00	5.77	0 08	337 95	16 35	32 06	18 91		
13 00	10 96	0 17	137 99	15 12	33 13	13 61		
13:00	15 88	0 12	87.95	14 82	33 39	24 20		
13 00	21 25	0 10	51 93	14 45	33 77	14 94		
14 00	1 17	0 35	336 34	16 66	31 83	20 23	2 5	22 5
14 00	5 79	0 25	341 70	16 33	32 09	9 64		
14 00	10 84	0 07	184 55	15 63	32 70	9 64		
14 00	16 01	0.05	48 72	14 89	33 33	20 23		
14 00	21 11	0 07	35 35	14 68	33 55	33 46		



Table 5-2. Continued

Time (hh mm)	depth (m)	Current		Temp (deg)	Salinity (o/oo)	Suspended sediments		Wind	
		speed(m/sec)	dir.(deg)			Conc (mg/l)	speed(m/sec)	dir (deg)	
15 00	1 09	0 23	299 61	16 57	31 94	14 94		1 3	22 5
15 00	5 63	0 31	319 68	16 43	32 04	20 23			
15 00	10 94	0 23	334 42	16 18	32 25	22 88			
15 00	16 00	0 08	48 46	15 64	32 71	9 64			
15 00	19 75	0 04	5 98	15 04	33 20	9 64			
16 00	0 90	0 16	288 84	16 86	31 72	18 91		3	22 5
16 00	5 70	0 19	323 49	16 18	32 25	18 91			
16 00	10 86	0 14	331 71	15 44	32 88	22 88			
16 00	15 93	0 32	310 92	14 55	33 68	24 20			
16 00	20 92	0 31	315 42	14 37	33 79	38 76			
17 00	0 98	0 14	314 78	16 63	31 89	16 26		1 8	360
17 00	5 73	0 18	330 82	16 04	32 37	16 26			
17 00	10 76	0 24	336 86	15 44	32 90	18 91			
17 00	15 90	0 30	317 21	14 96	33 29	9 64			
17 00	20 97	0 21	327 95	13 88	33 92	33 46			
18 00	1 44	0 31	329 69	16 64	30 37	22 88		2 2	22 5
18 00	5 68	0 07	177 02	16 44	32 03	10 97			
18 00	10 99	0 13	327 87	15 22	33 07	12 29			
18 00	16 10	0 33	332 04	14 01	33 85	9 64			
18 00	20 99	0 20	332 00	13 68	33 94	37 43			
19 00	1 32	0 38	322 40	16 53	30 85	12 29		2 5	360
19 00	5 78	0 09	336 06	16 23	32 04	18 91			
19 00	10 83	0 13	320 29	15 66	32 71	13 61			
19 00	15 94	0 28	324 49	14 92	33 33	16 26			
19 00	21 12	0 21	352 14	13 91	33 90	14 94			

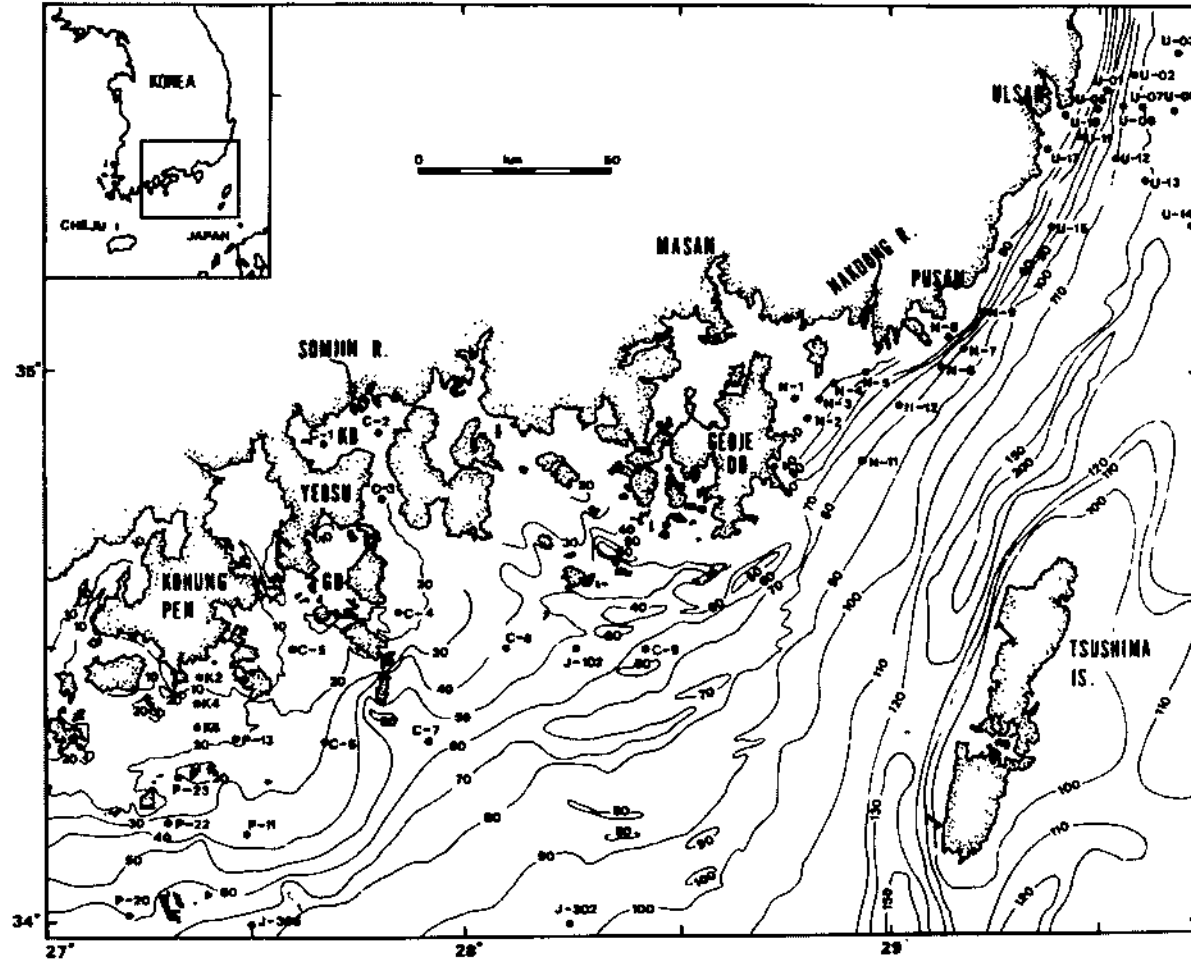


Fig. 5-1. Map showing bathymetry (contours in meters) and core sample locations (dots) in South Sea. GB, Gamagyang Bay; KB, Kwangyang Bay. After Chough et al. (1991).

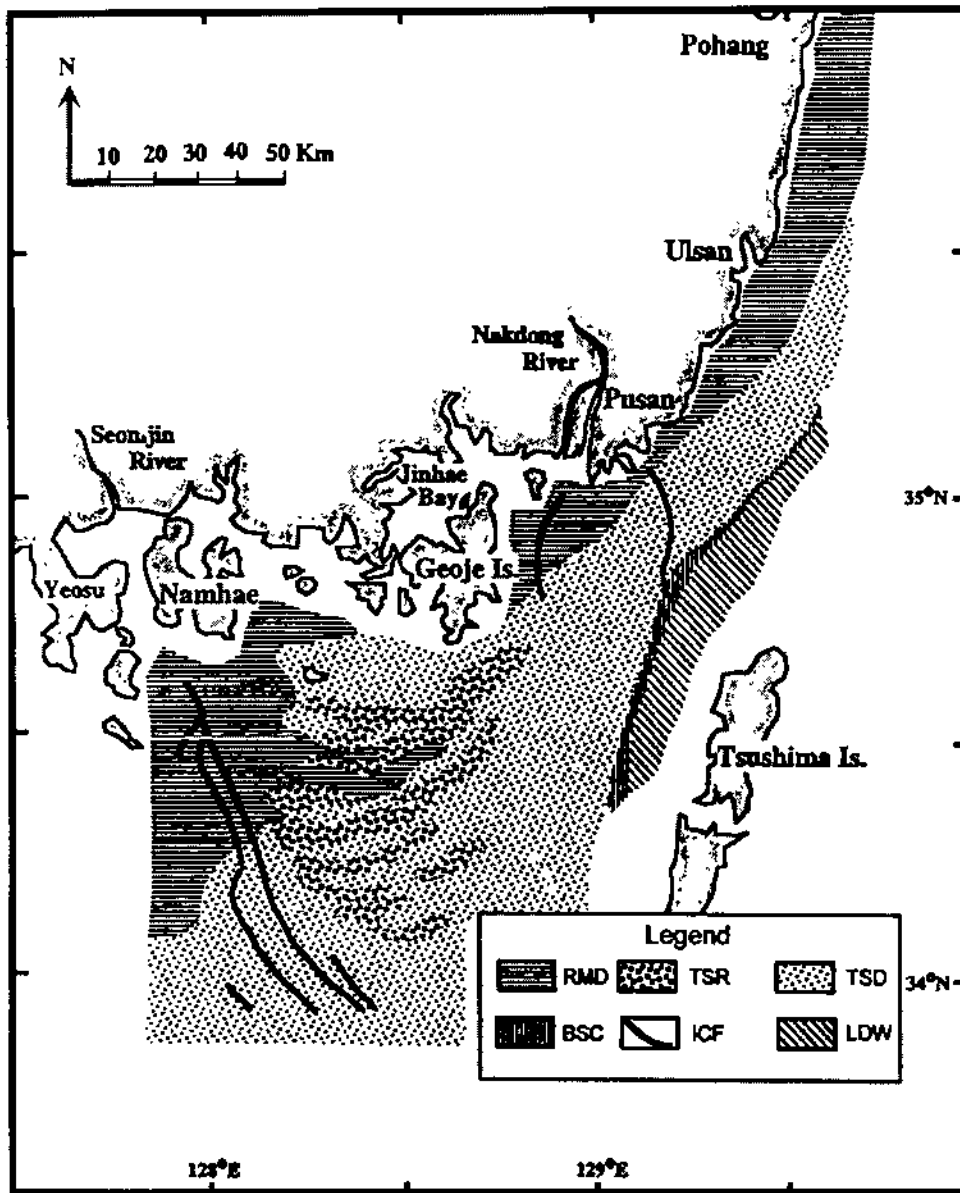


Fig. 5-2. Areal distribution pattern of a variety of transgressive deposits and recent mud in the eastern South Sea. RMD = recent mud deposits; TSR = transgressive sand ridge; TSD = transgressive deposits; BSC = beach-shoreface complex; ICF = incised channel fill; LSD = lowstand deposits. Modified after Yoo (1997).

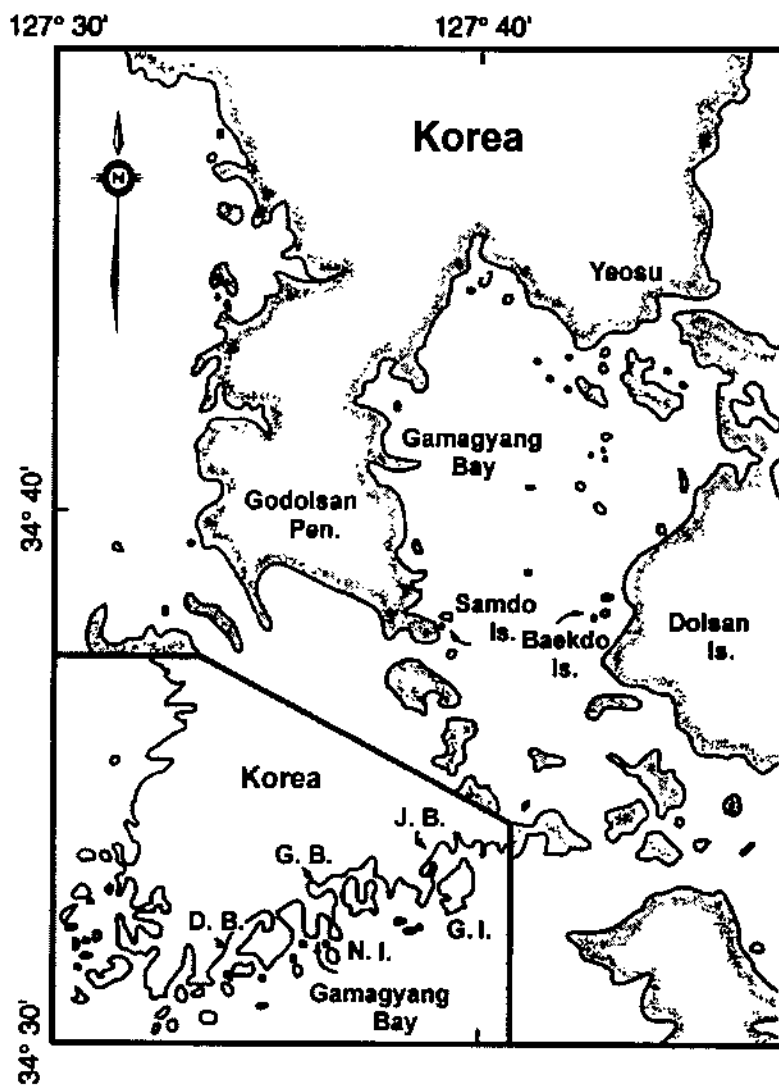


Fig. 5-3. Index map of Gamagyang Bay. D.B., Deugyang Bay; J.B., Jinhae Bay; G.B., Gwangyang Bay; G.I., Geoje Island; N.I., Namhae Island. After Chough (1983).

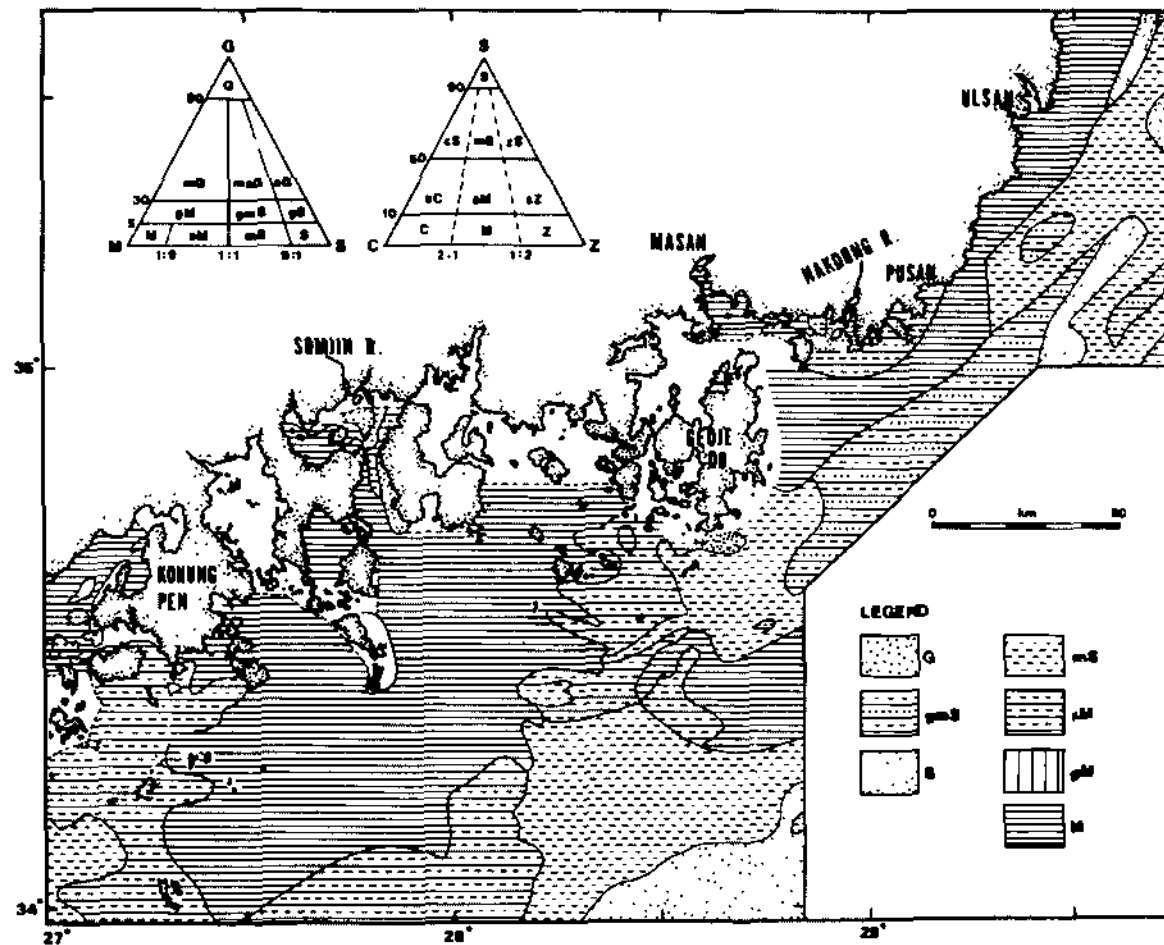


Fig. 5-4. Surface sediment distribution in the South Sea. Sediment classification according to Folk's (1954) scheme. After Chough et al. (1991).

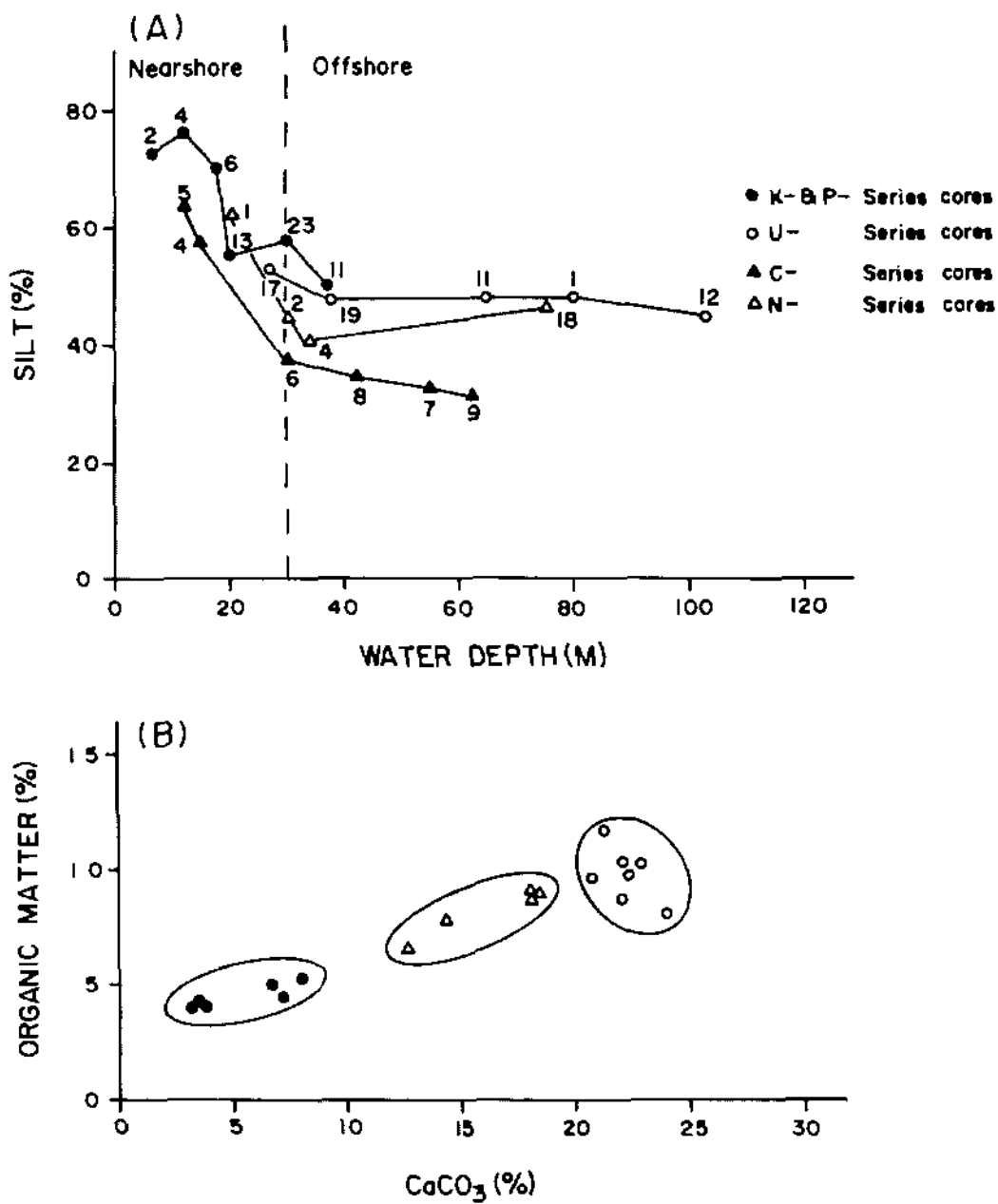


Fig. 5-5. A: Relationships of silt content versus water depth. Each point with core number represents silt contents averaged throughout the core (for core location, see Fig. 6.1). B: Relationships of organic matter versus CaCO<sub>3</sub> contents. After Chough et al. (1991).

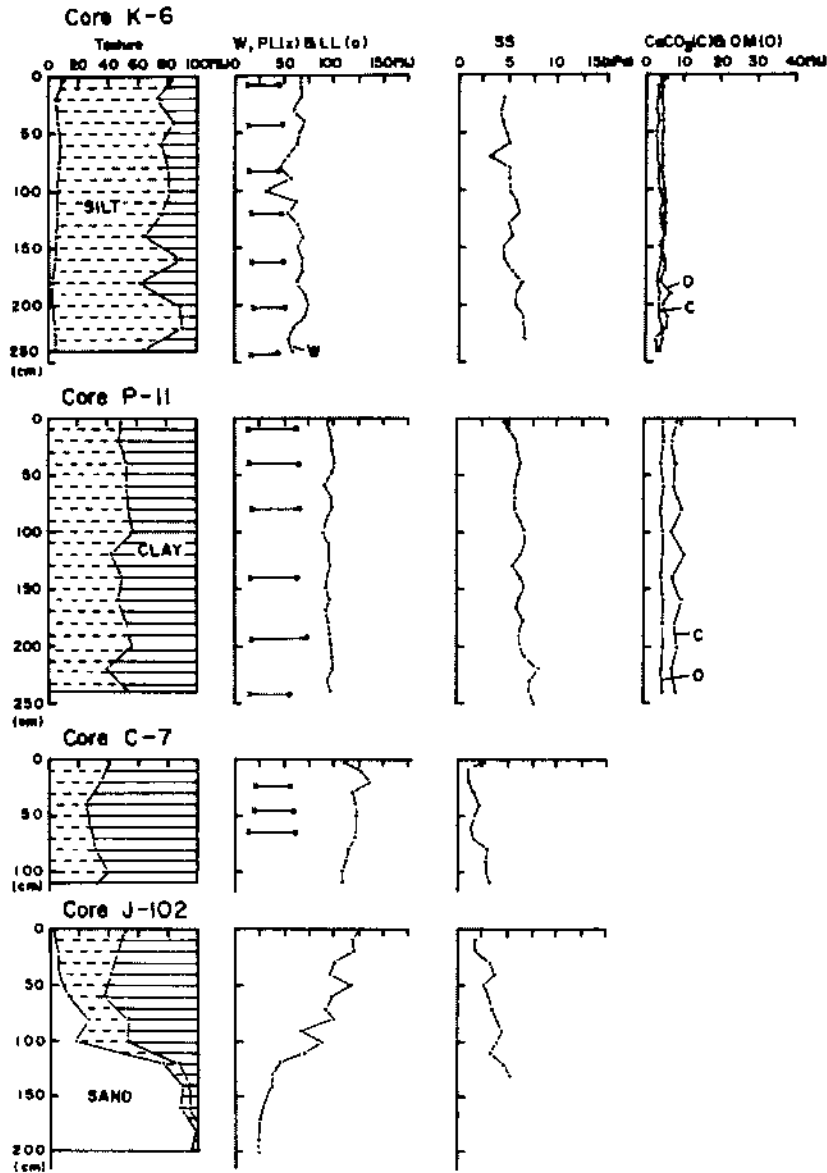


Fig. 5-6. Geotechnical properties of selected sediment cores (for core location, see Fig. 6.1). W, water content; PL, plastic limit; LL, liquid limit; SS, shear strength; OM, organic matter. After Chough et al. (1991).

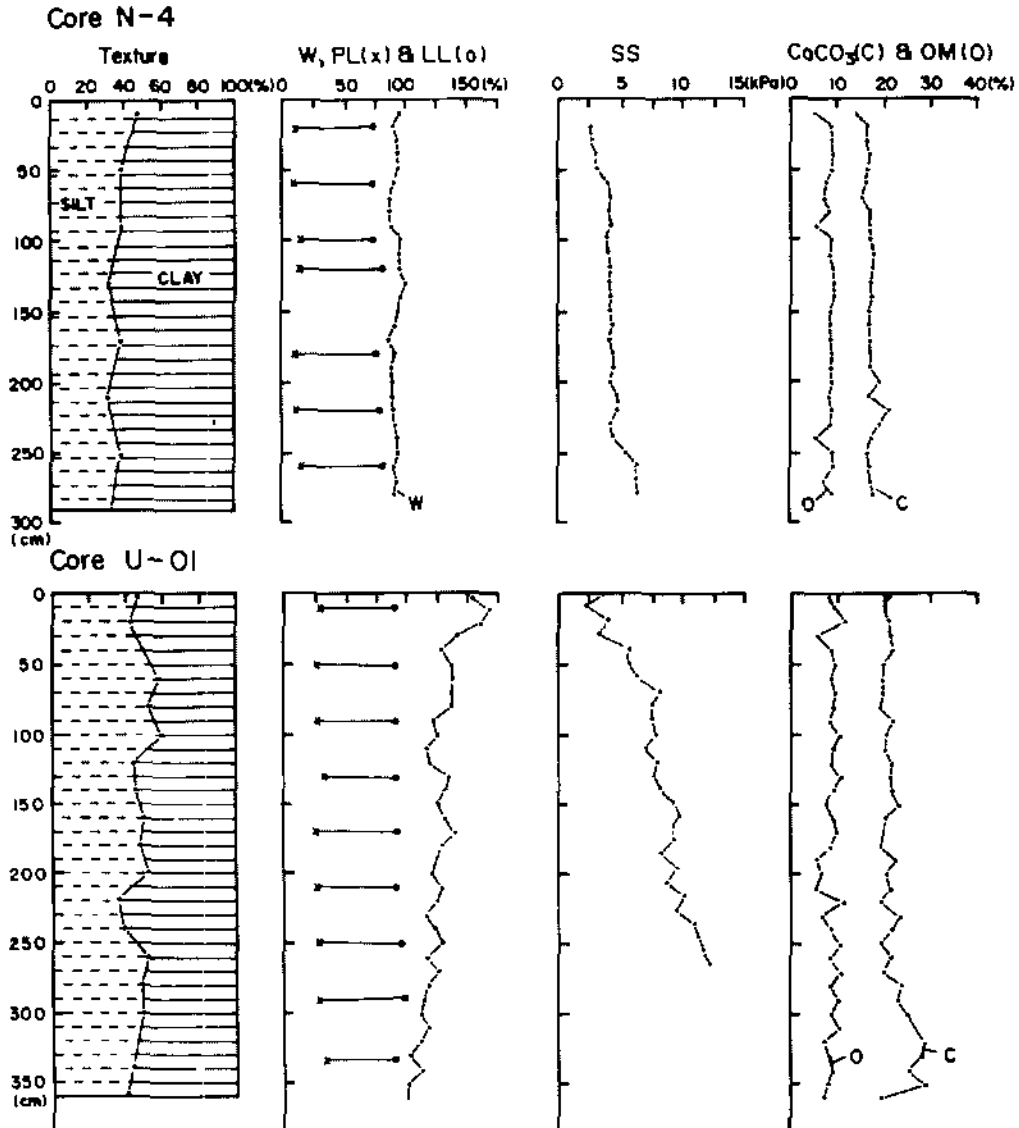


Fig. 5-6. Continued



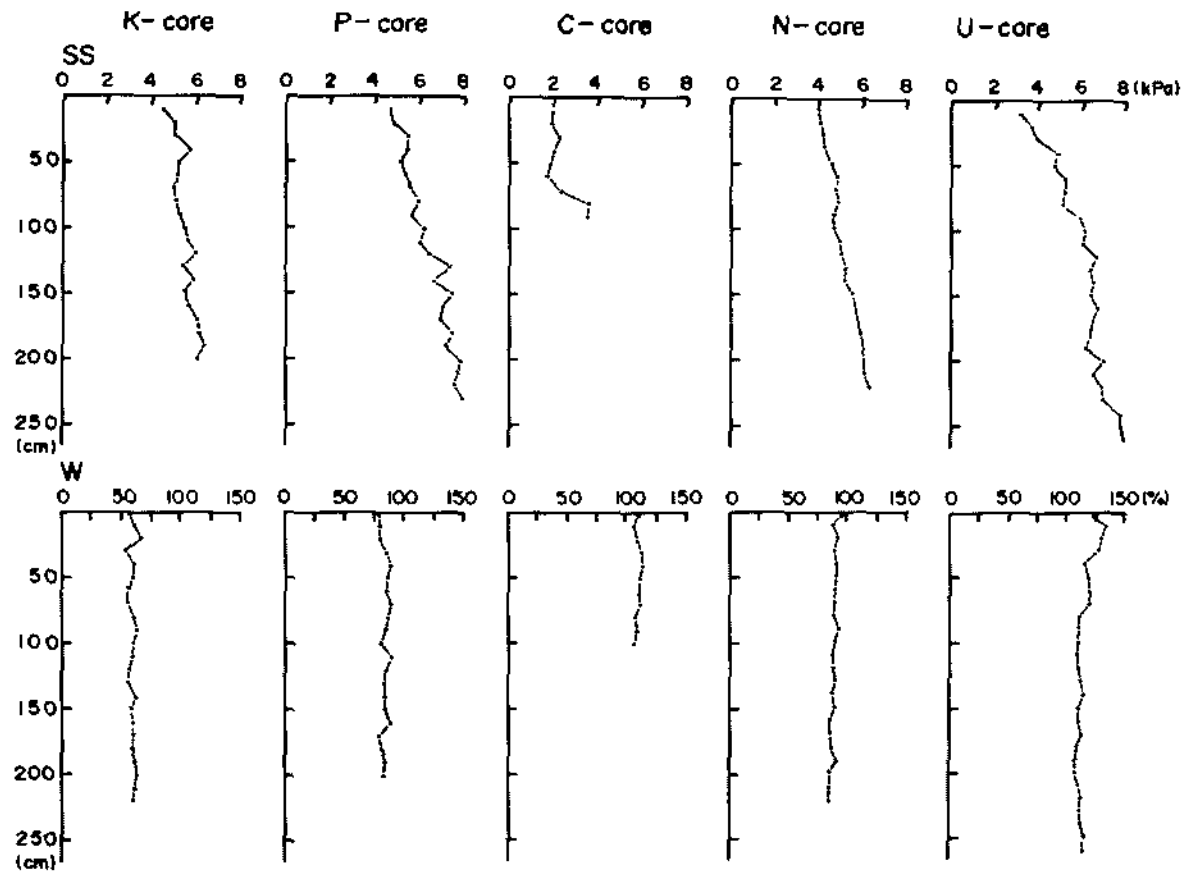


Fig. 5-7. Averaged vertical profiles of shear strength (SS) and water content (W) for each core series (for core location, see Fig. 6.1). After Chough et al. (1991).

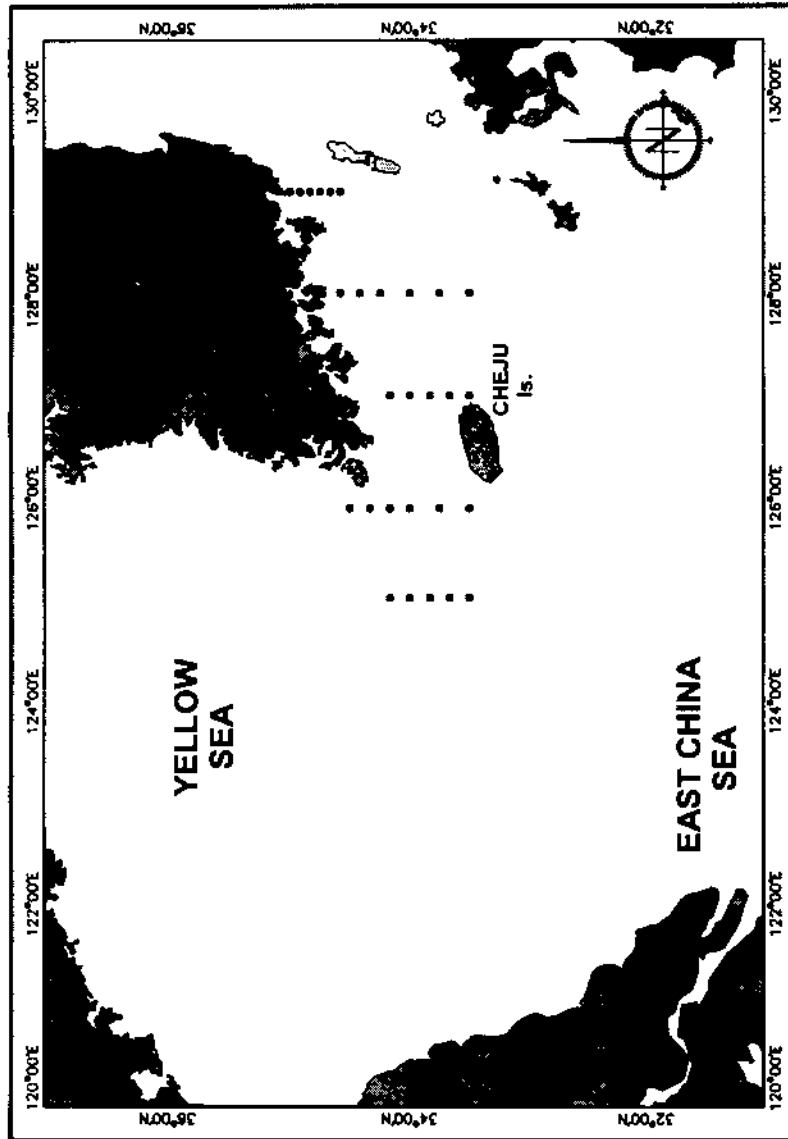


Fig. 5-8. Index map showing locations of box cores (dots)

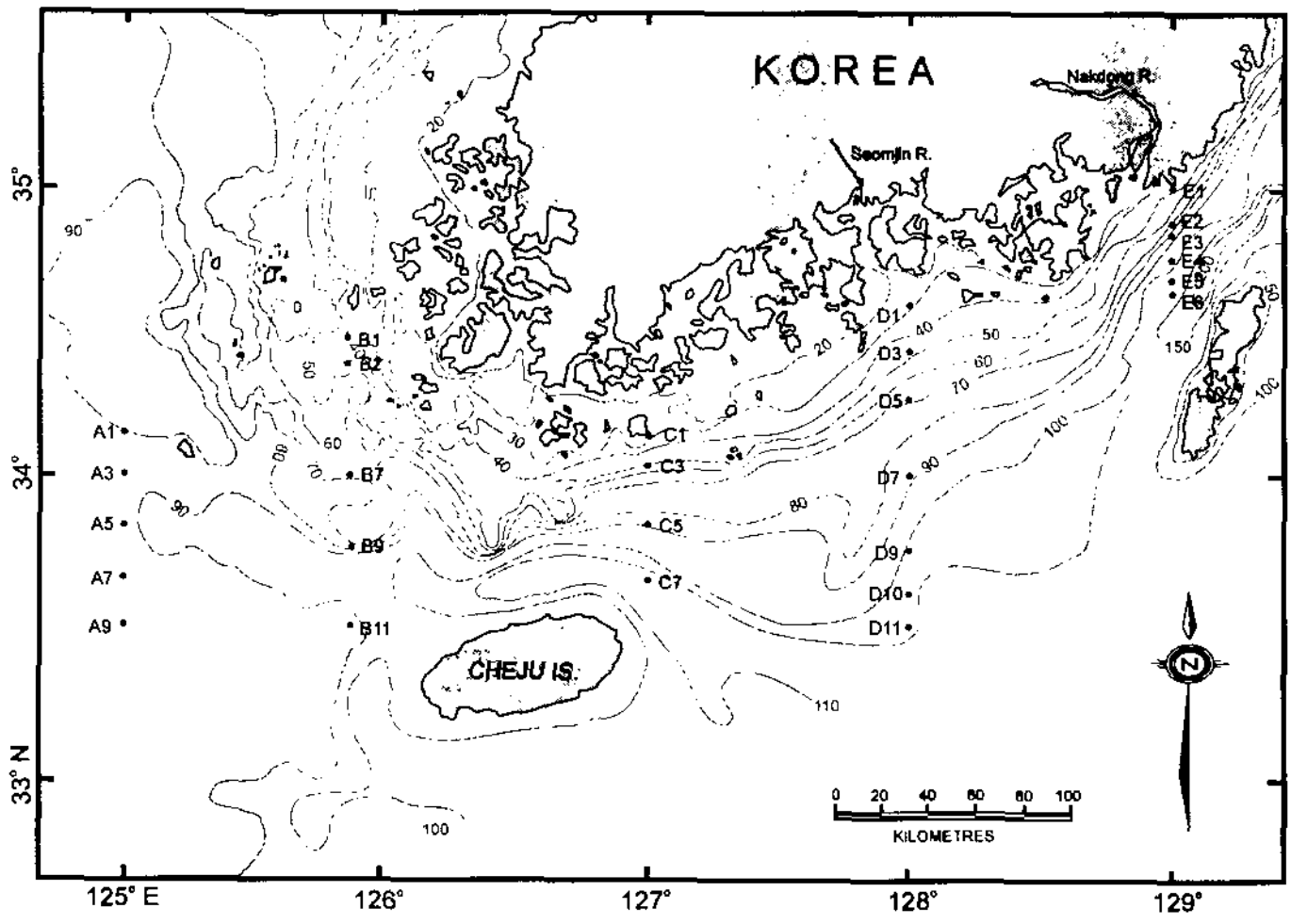


Fig. 5-9. Map showing bathymetry and box cores (dots) in the South Sea and adjacent area.

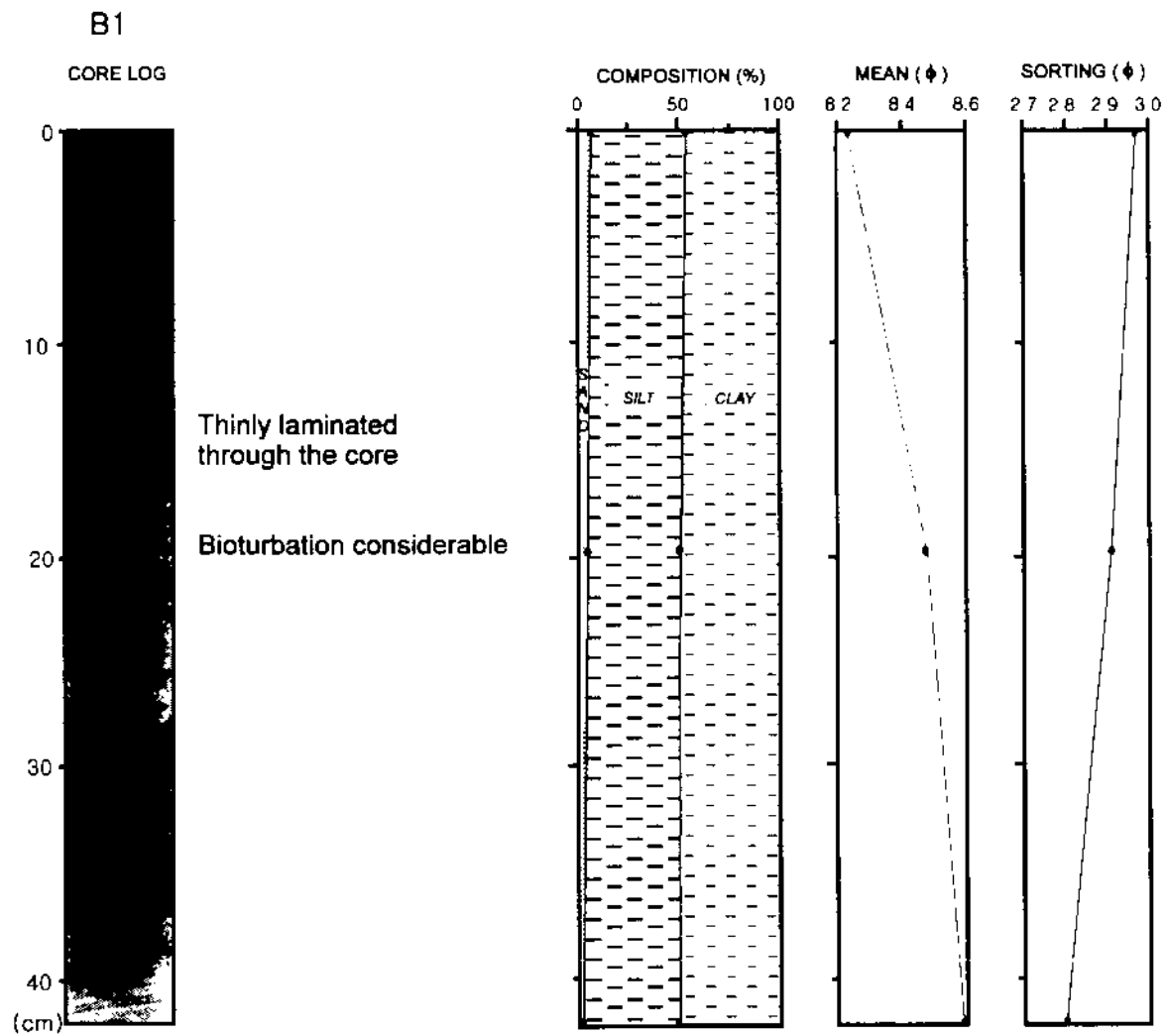


Fig. 5-10. X-radiographs and textural characteristics of box cores from the Heuksan mud belt.

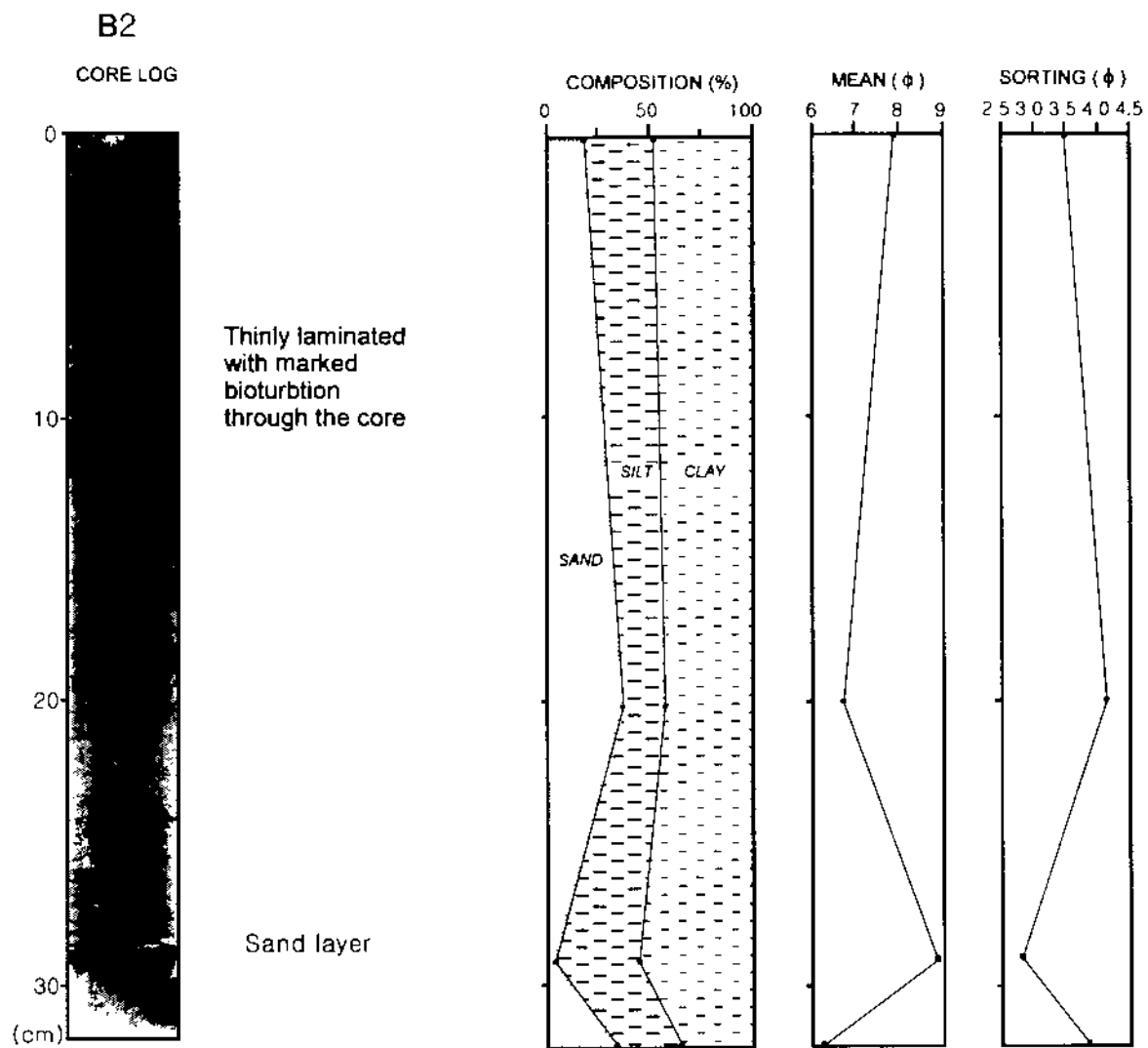


Fig. 5-10. Continued

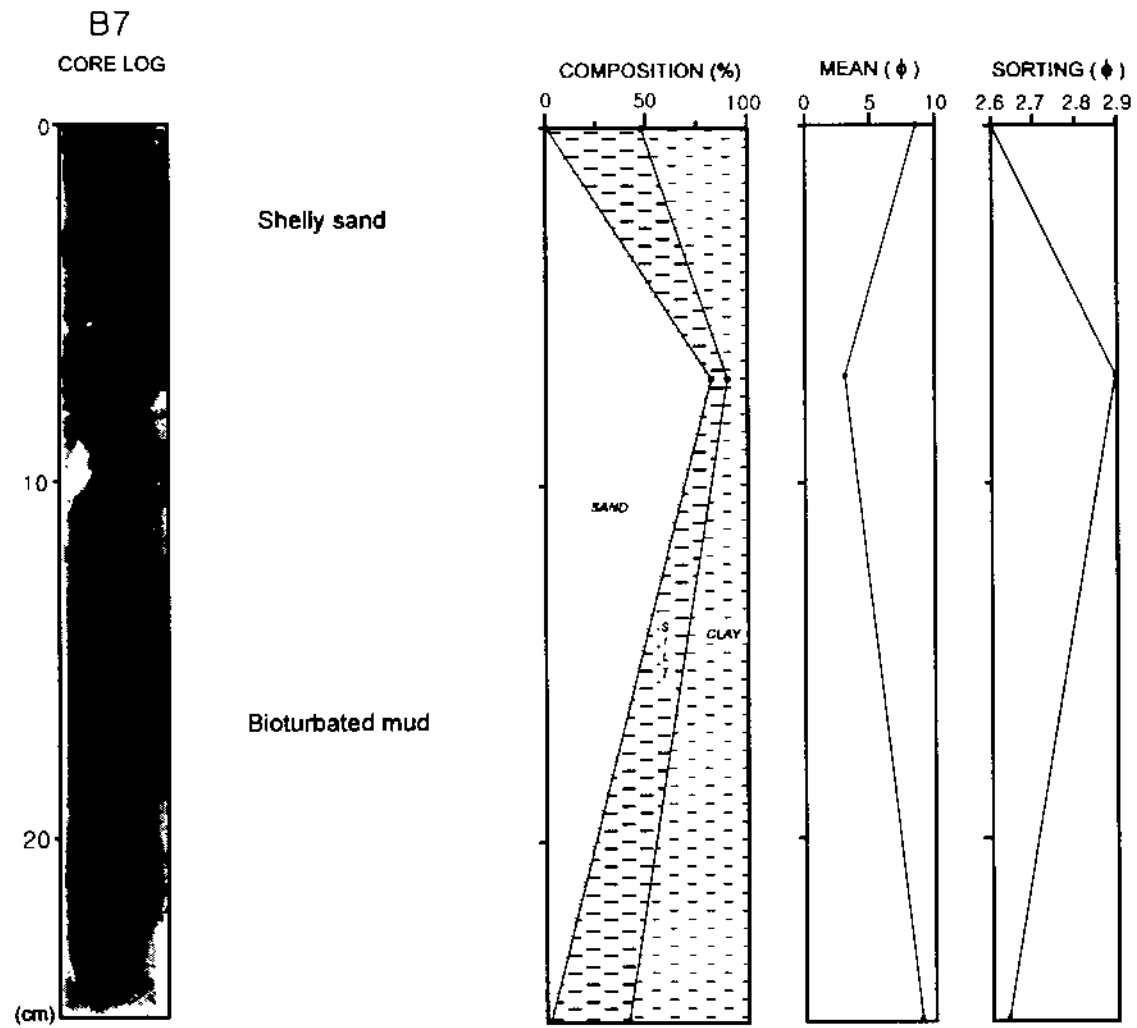


Fig. 5-10. Continued

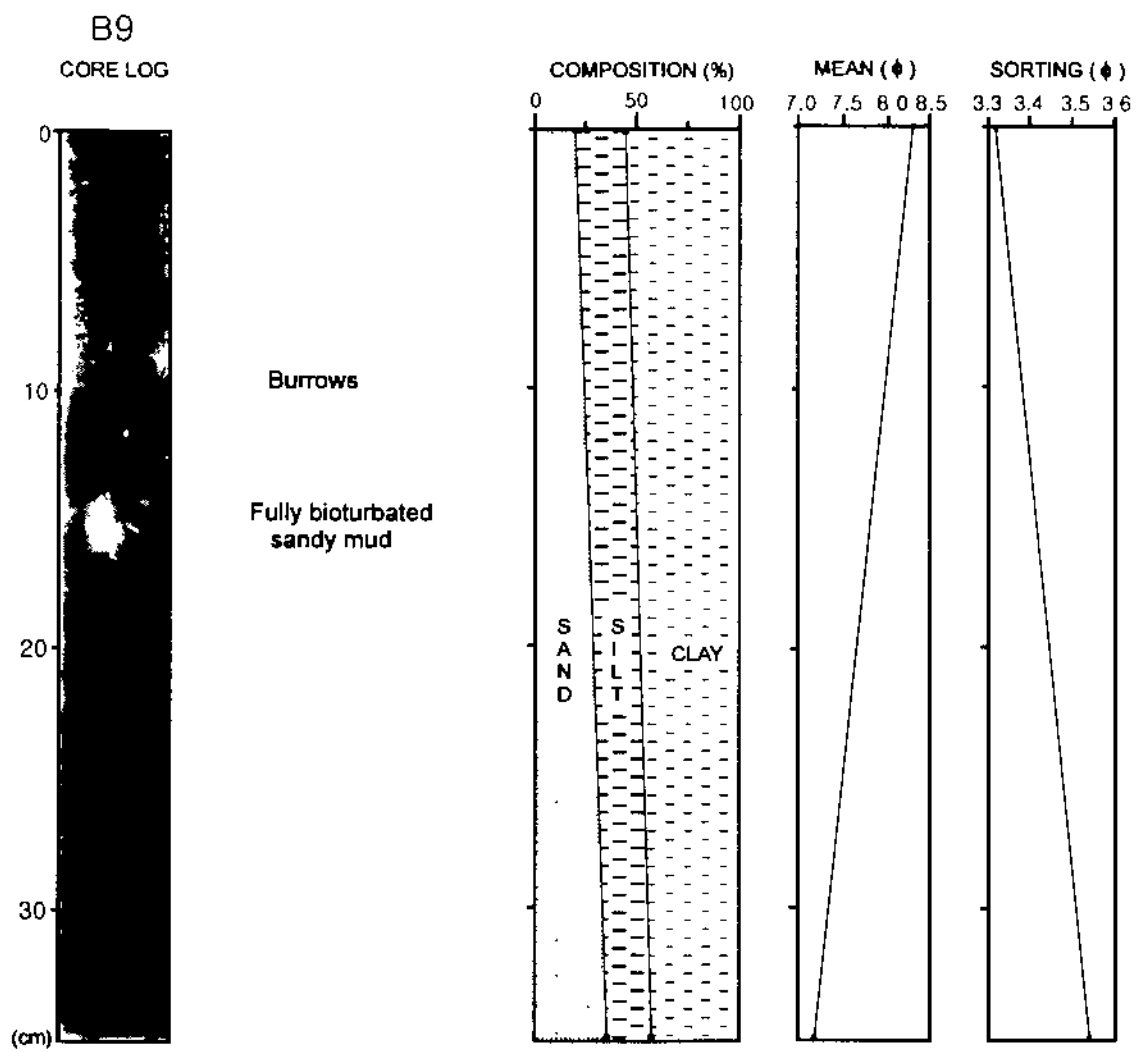


Fig. 5-10. Continued.

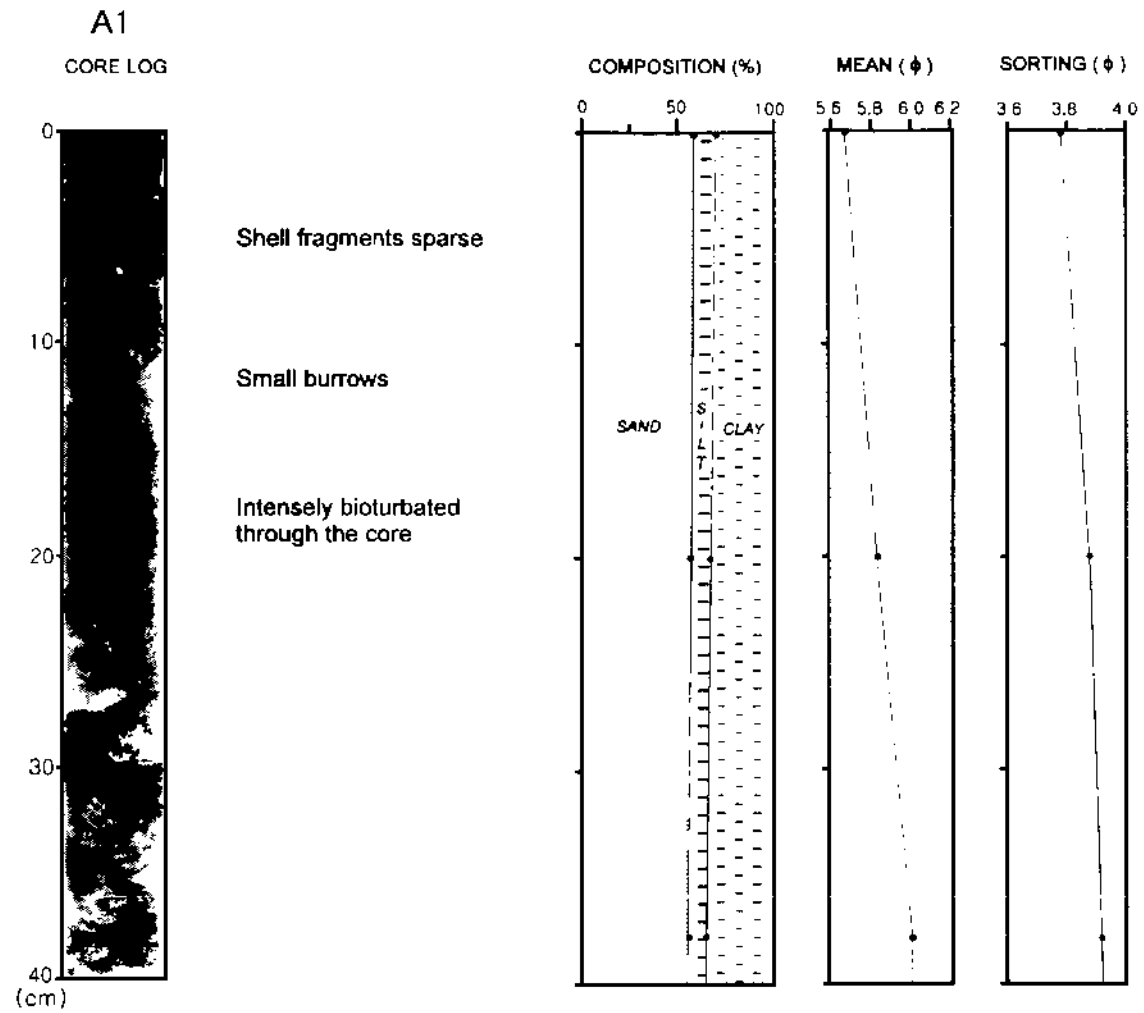


Fig. 5-11. X-radiographs and textural characteristics of box cores from west of Cheju Island.



A3  
CORE LOG



Massive to bioturbated  
very fine sand

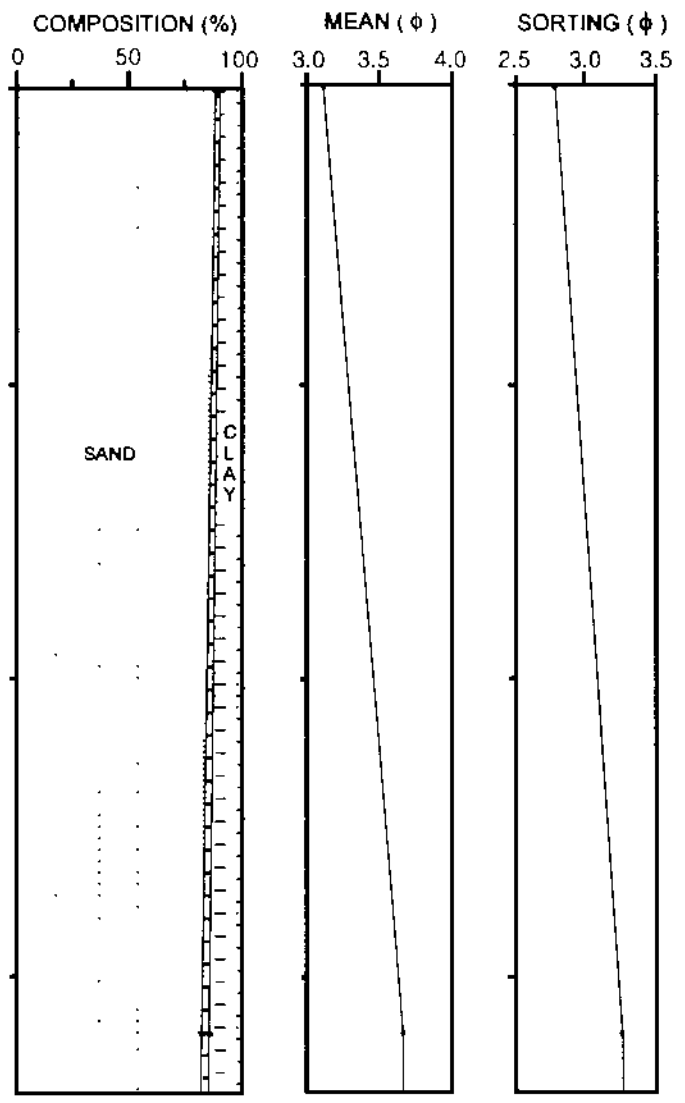


Fig. 5-11. Continued

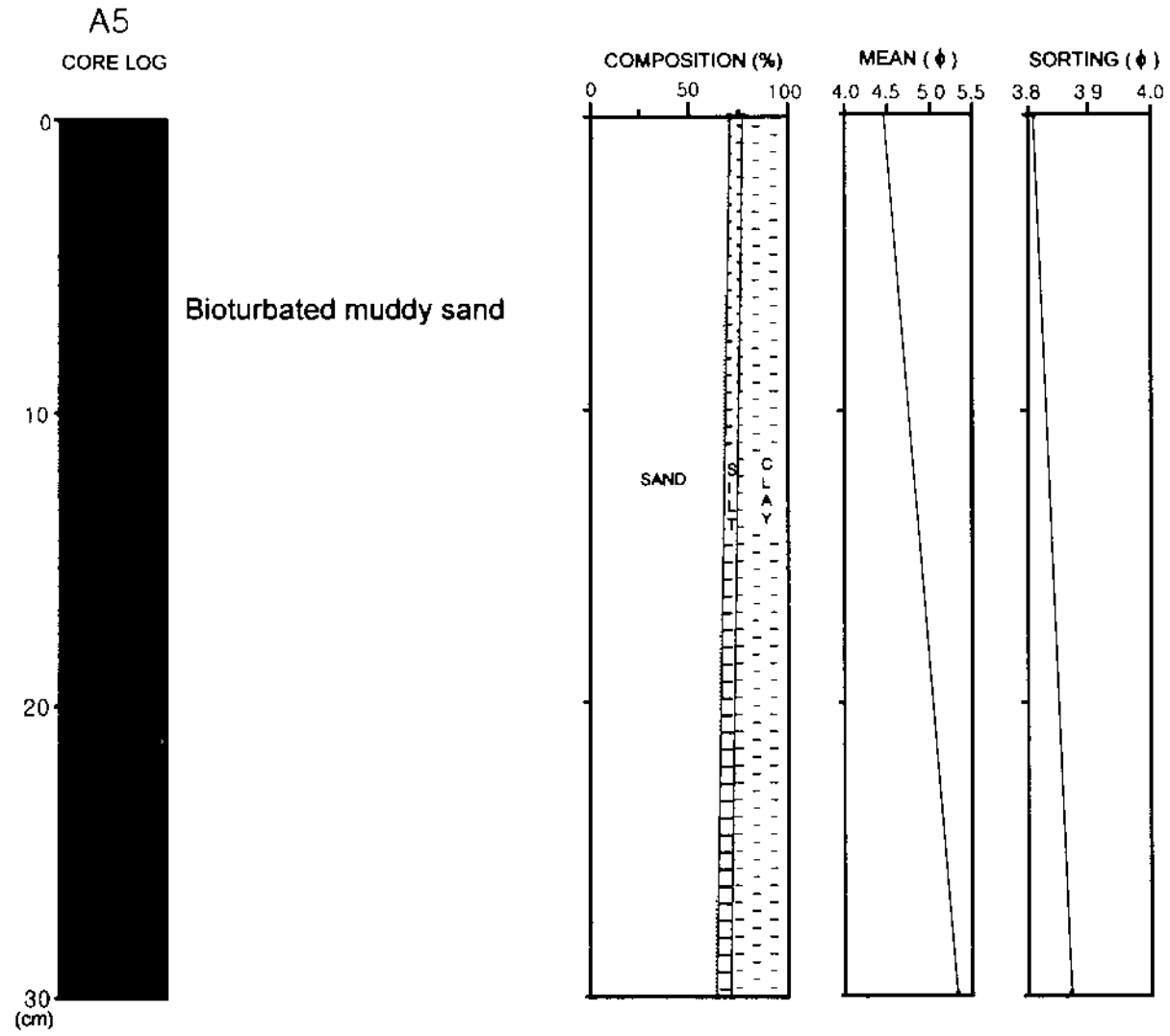


Fig. 5-11. Continued

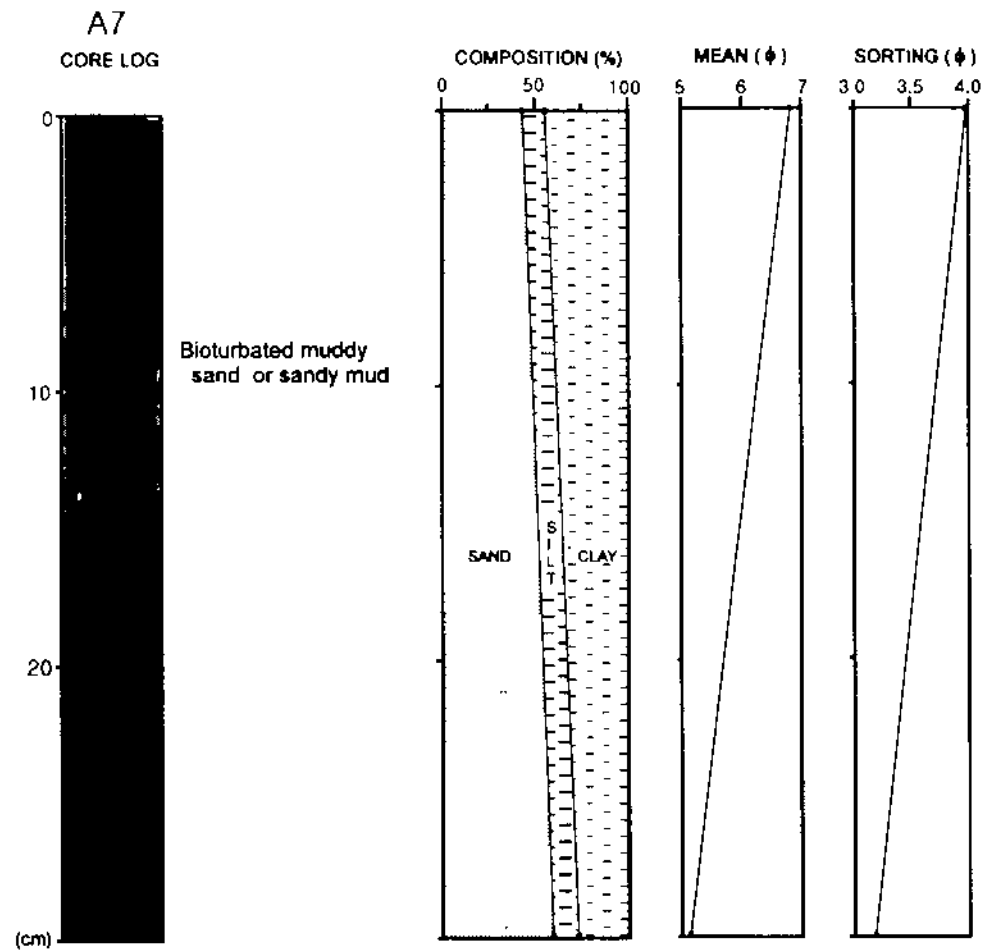


Fig. 5-11. Continued

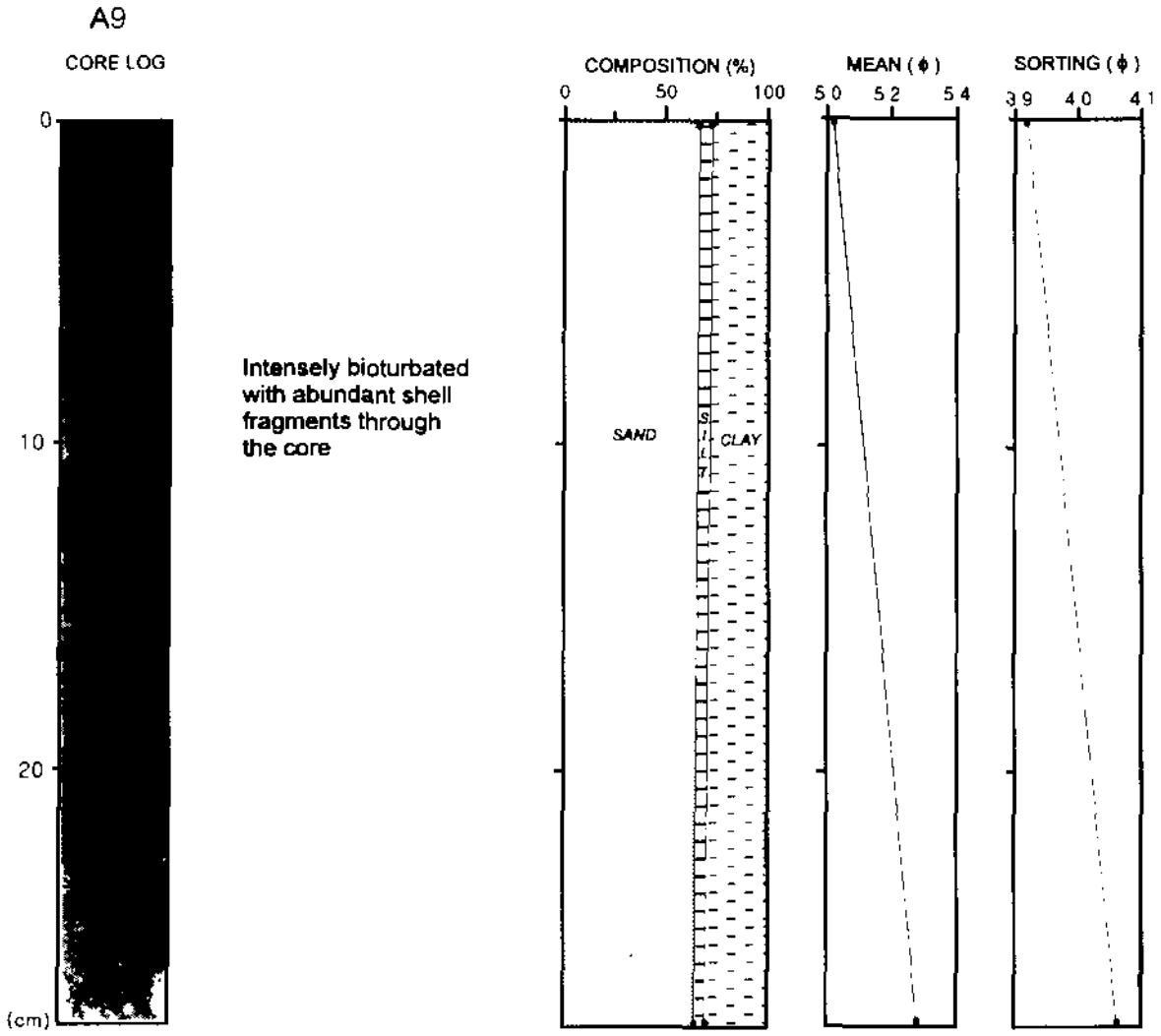


Fig. 5-11. Continued

-442-

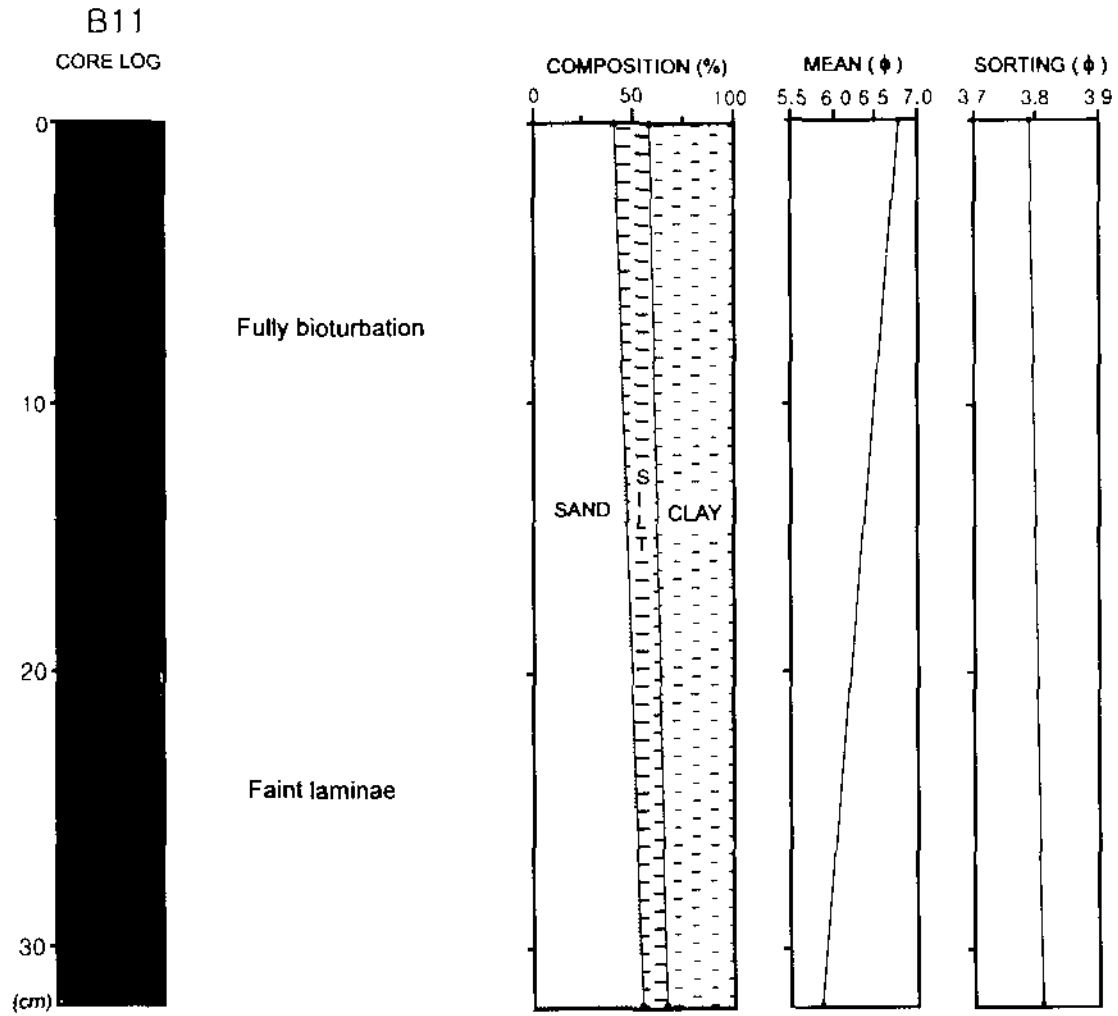


Fig. 5-11. Continued

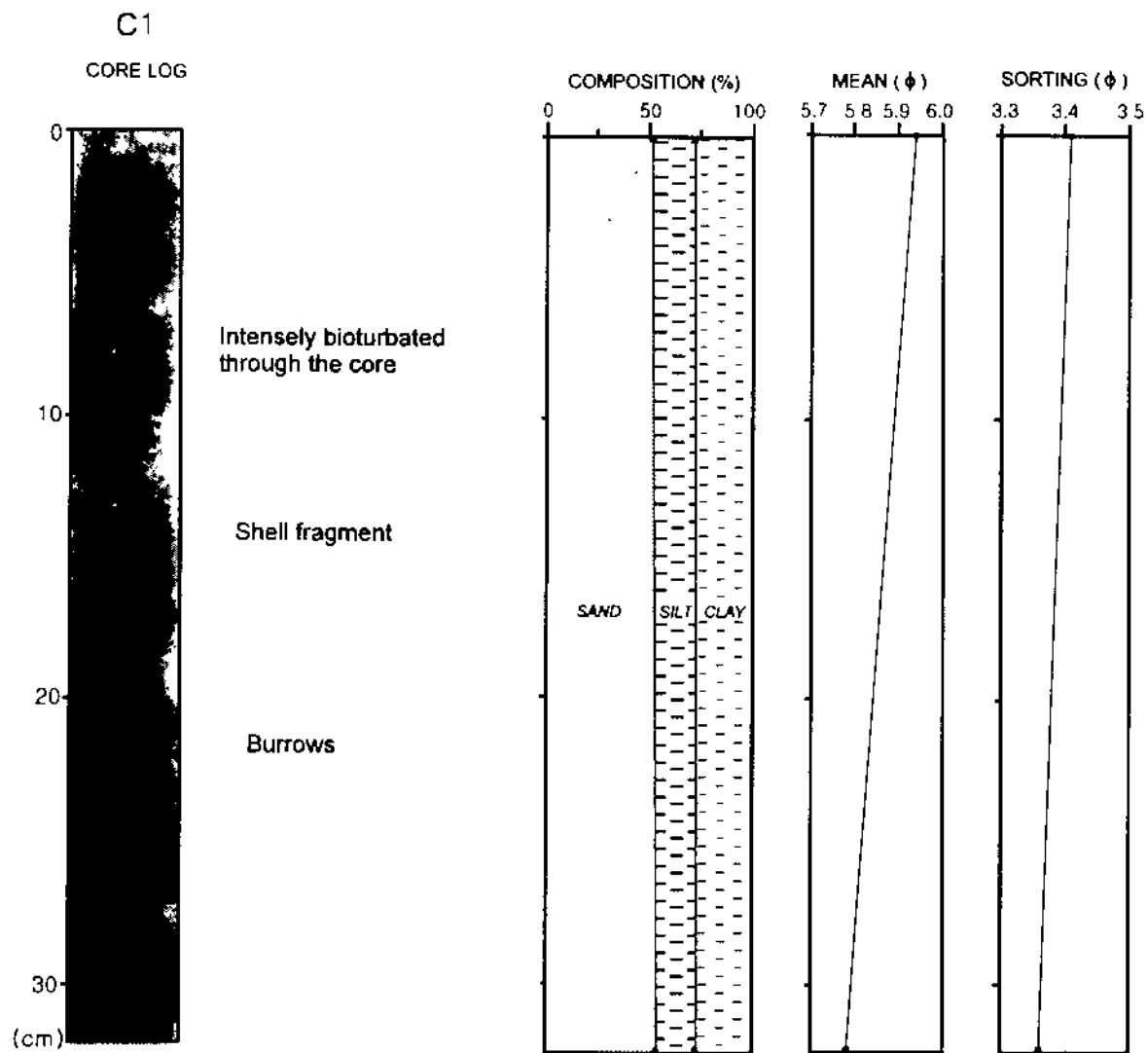


Fig. 5-12. X-radiographs and textural characteristics of box cores from the coastal region west of the Kohung Peninsula, South Sea.

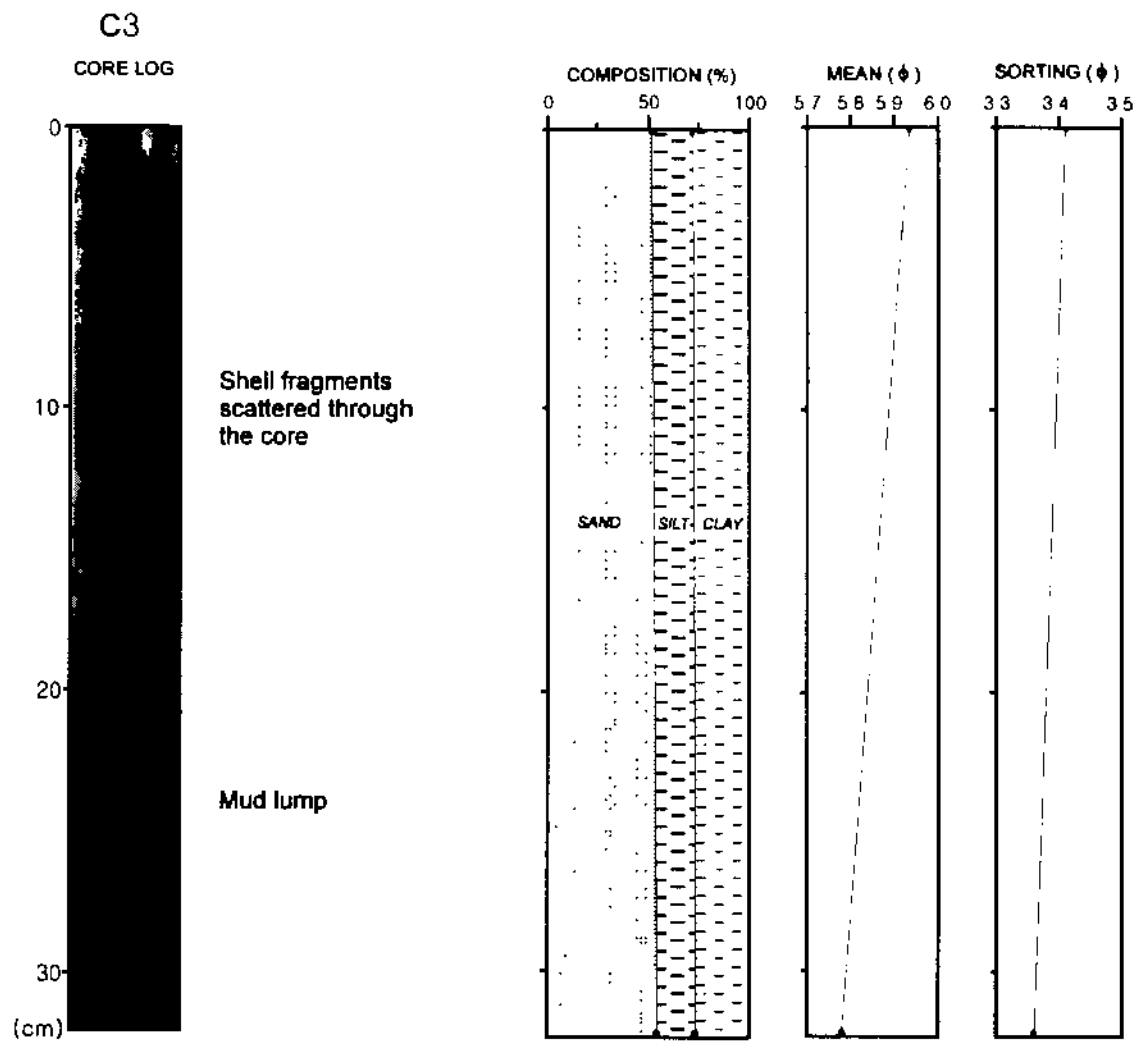


Fig. 5-12. Continued.

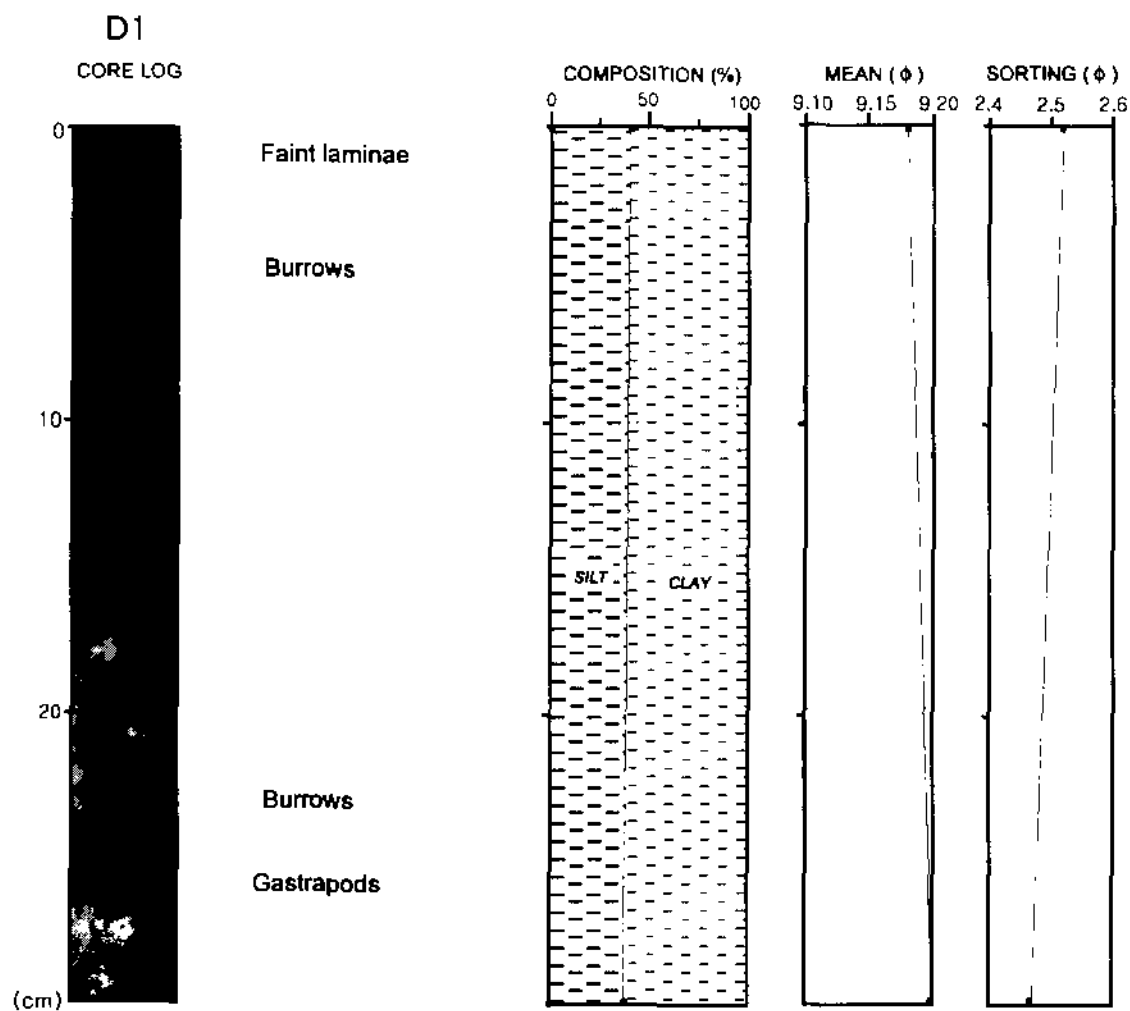


Fig. 5-13. X-radiographs and textural characteristics of box cores from off the Somjin River



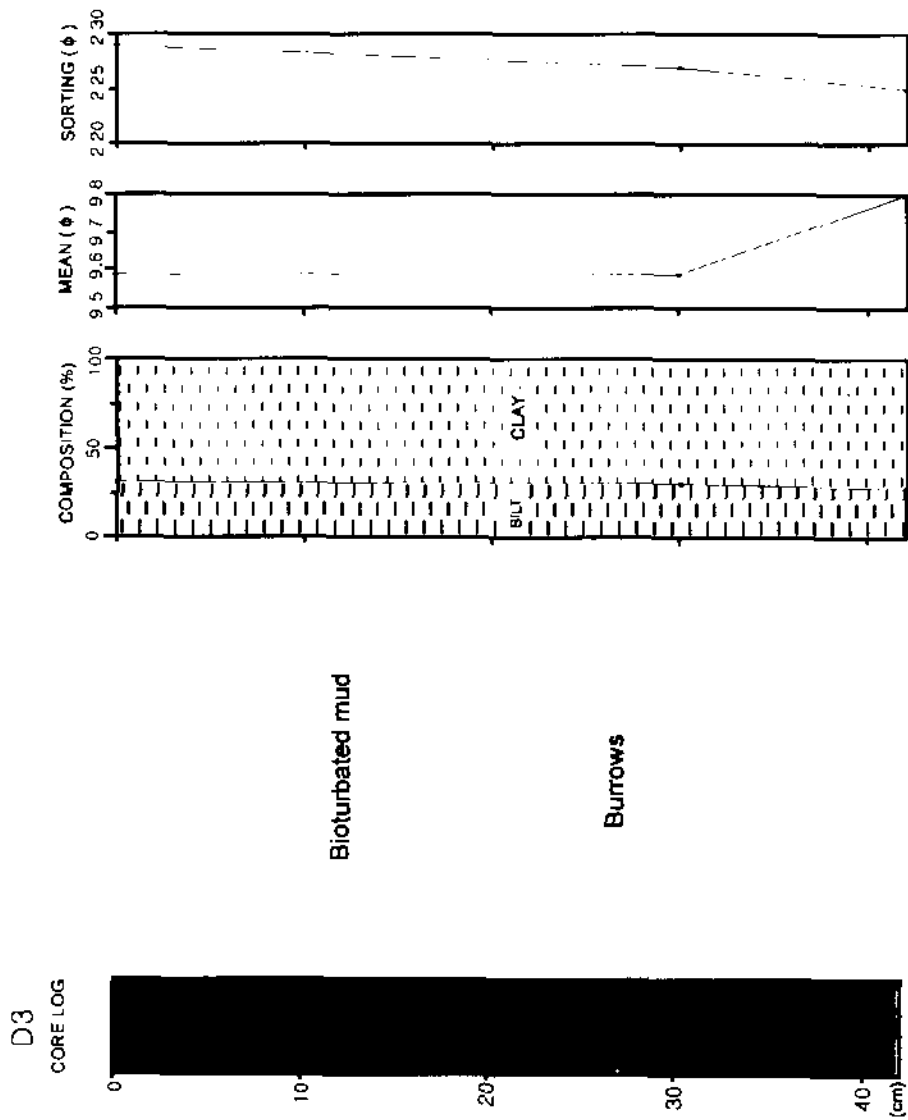


Fig. 5-13. Continued

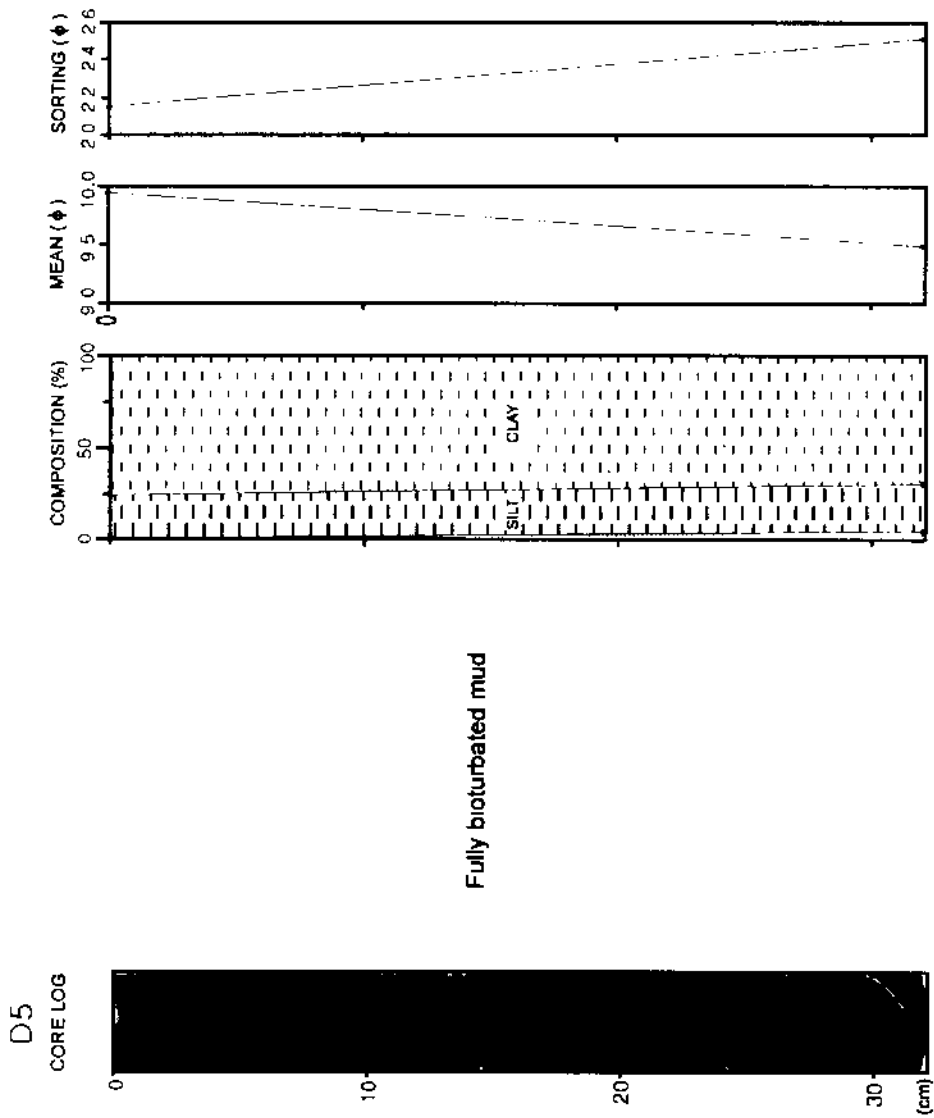


Fig. 5-13. Continued

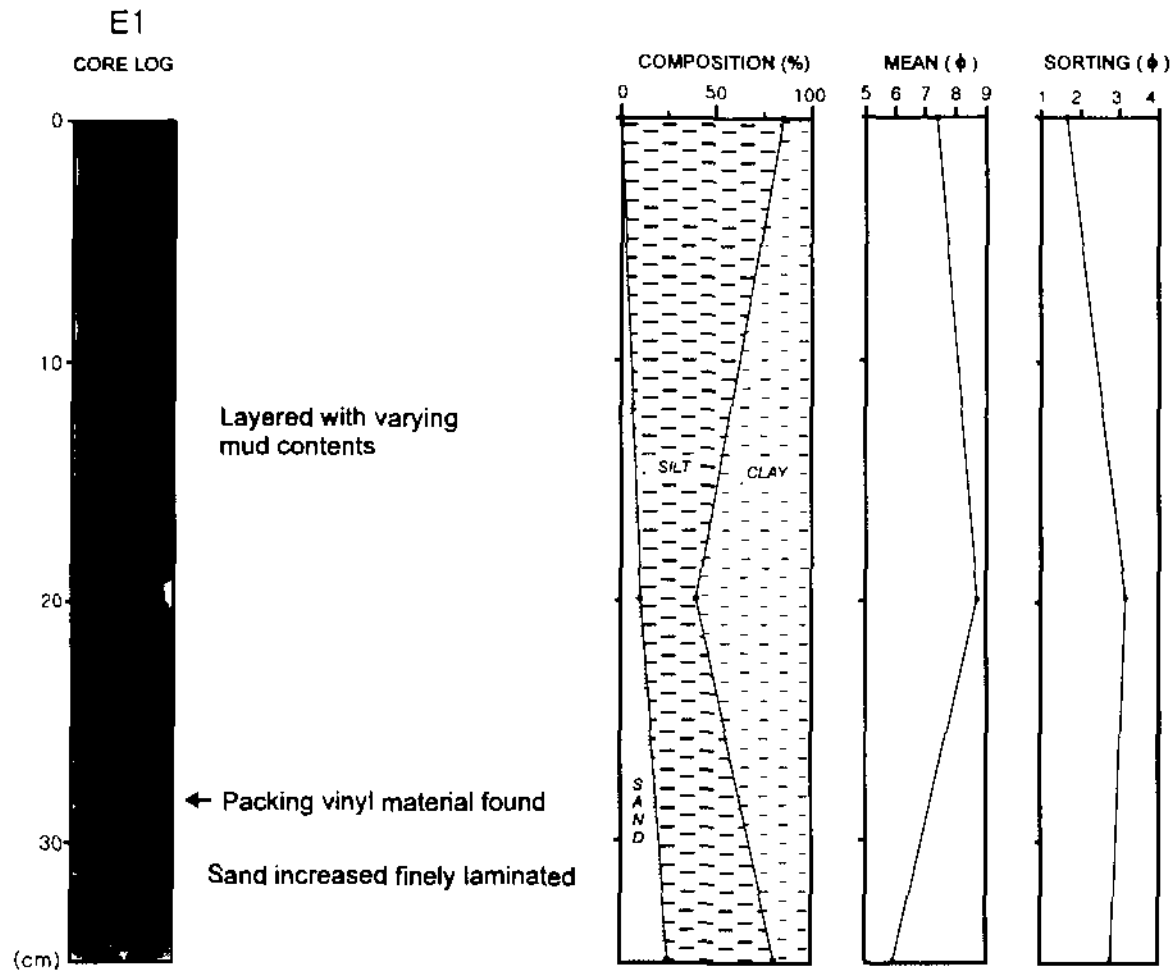


Fig. 5-14. X-radiographs and textural characteristics of box cores from off the mouth of the Nagdong River

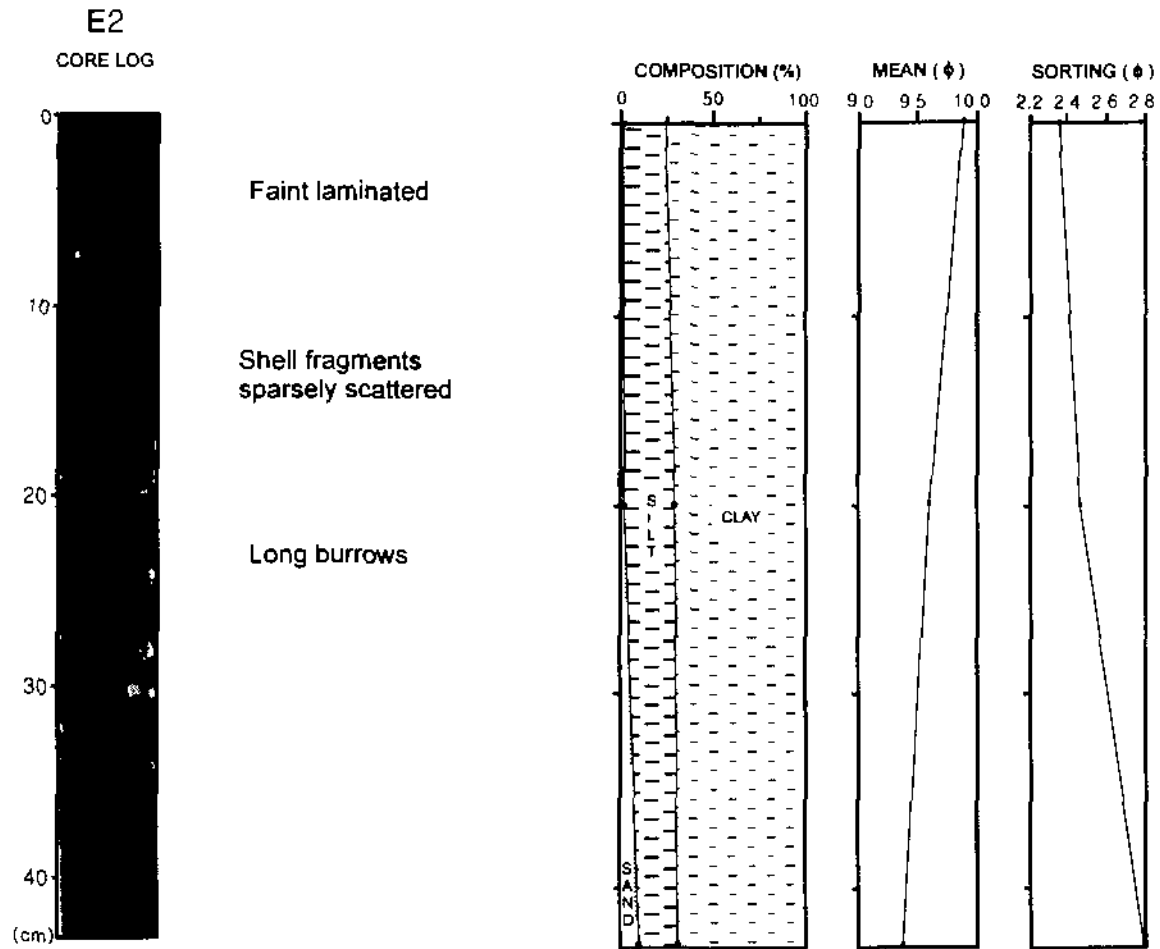


Fig. 5-14. Continued.

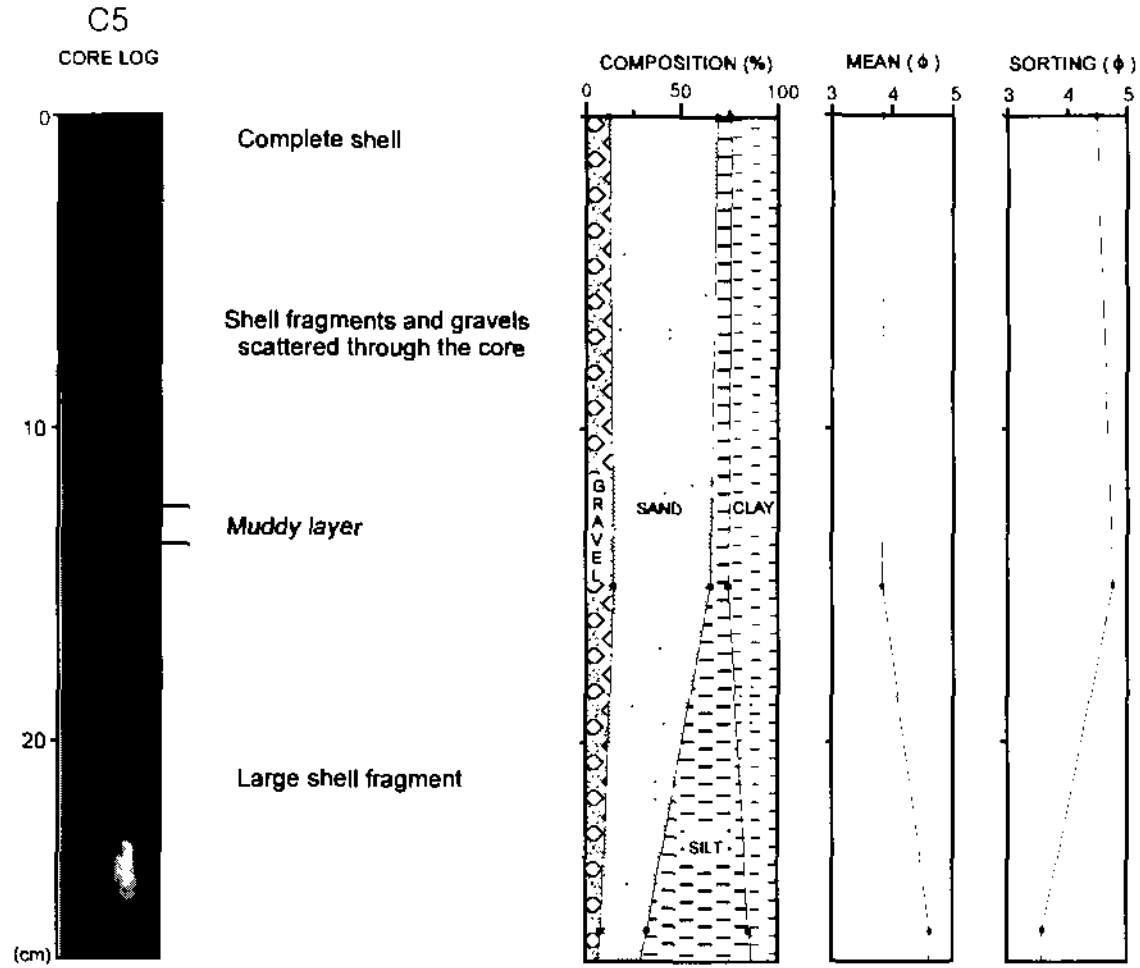


Fig. 5-15. X-radiographs and textural characteristics of box cores from the central trough of the South Sea.

C7

CORE LOG



Shell fragments abundant  
and scattered through the core

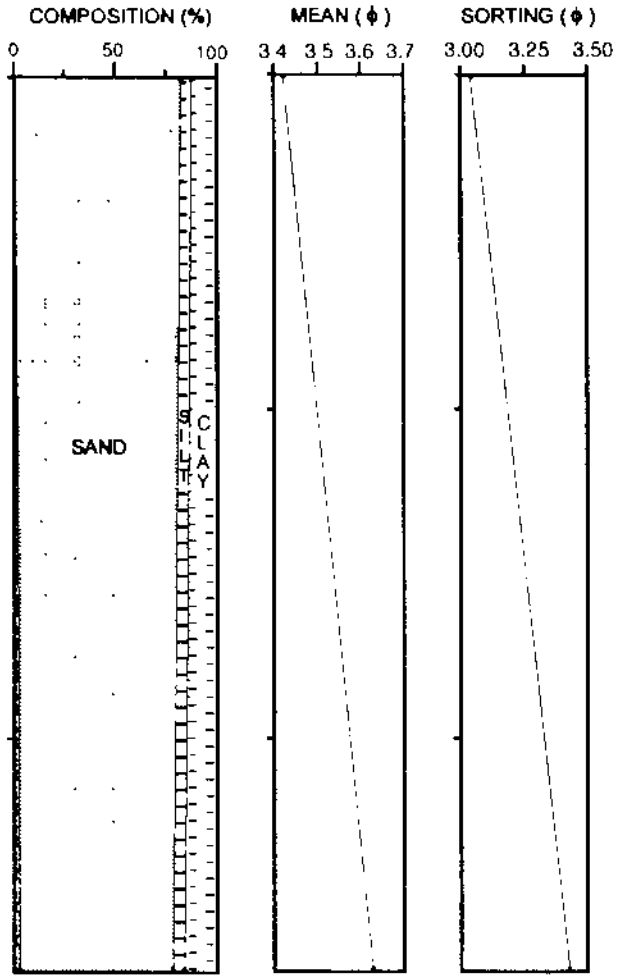


Fig. 5-15. Continued

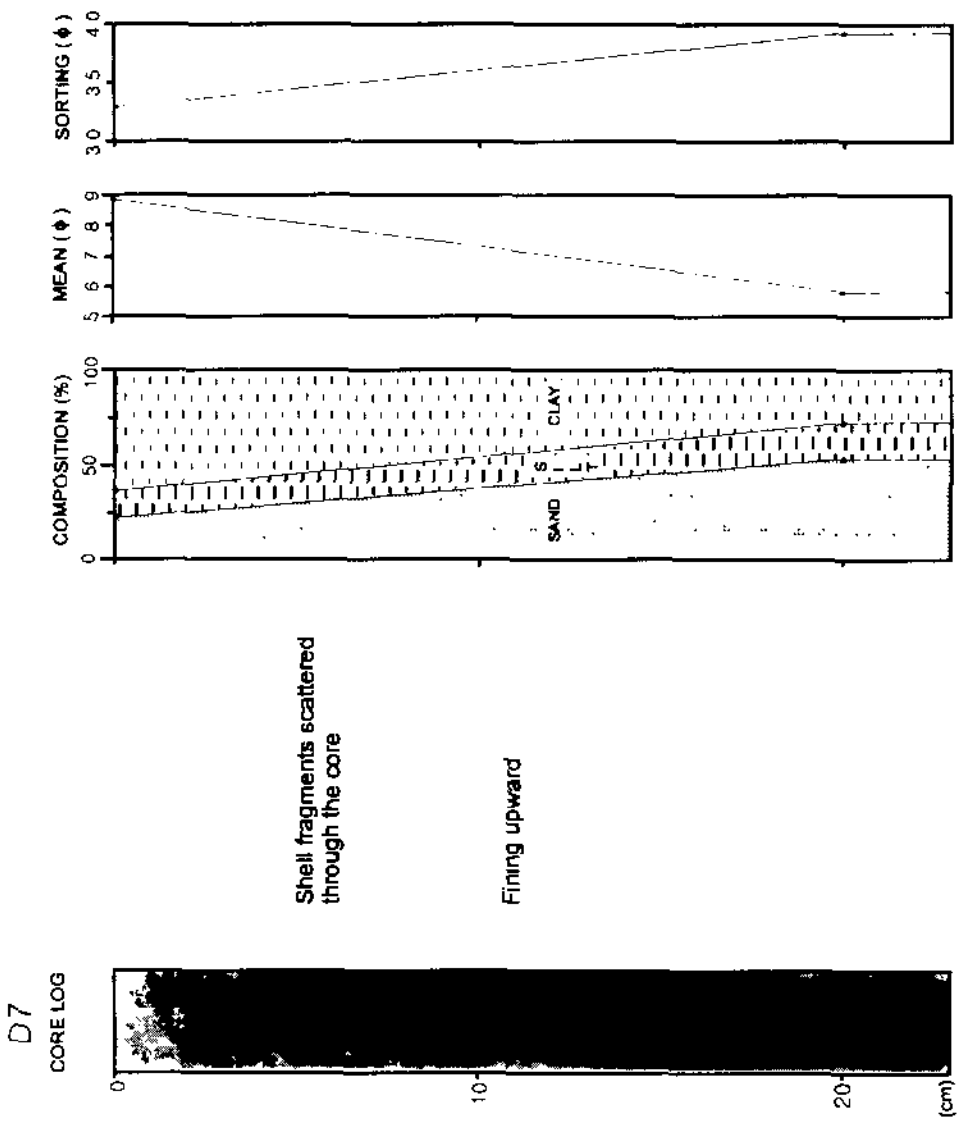


Fig. 5-15. Continued

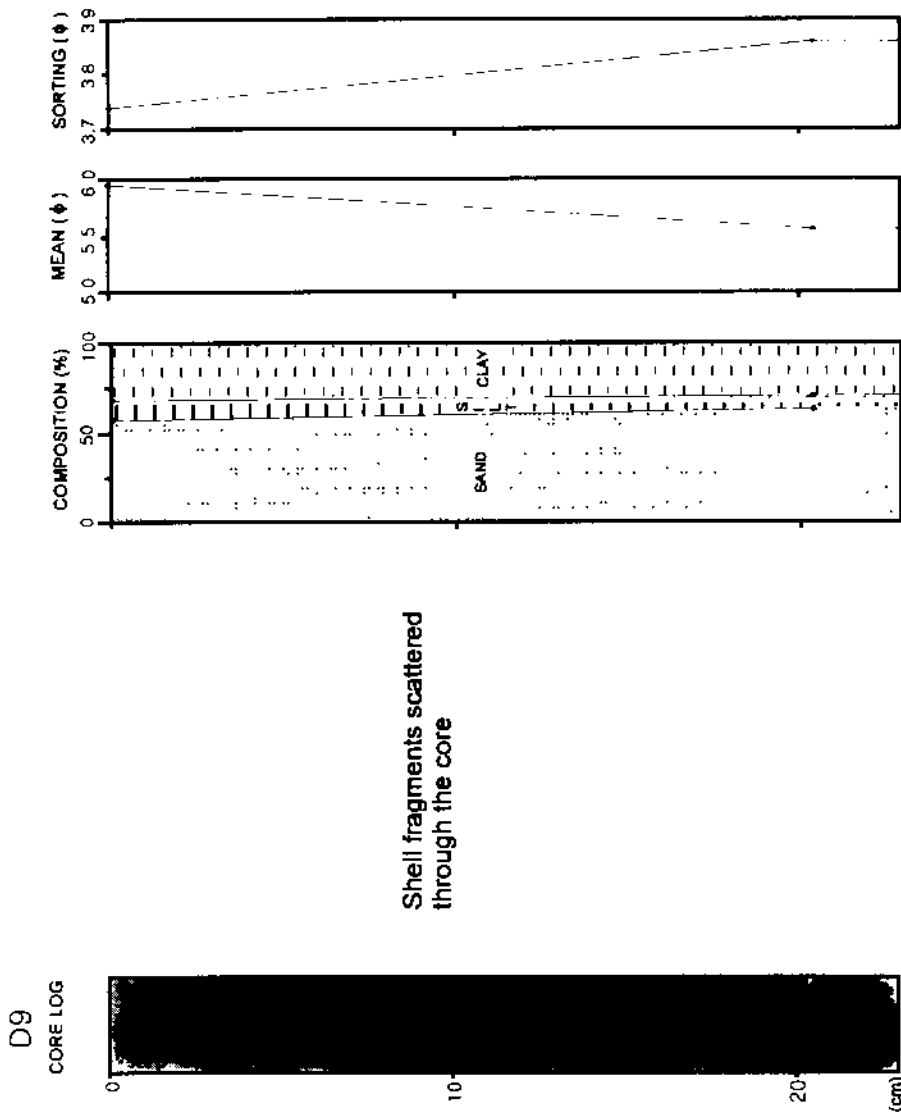


Fig. 5-15. Continued



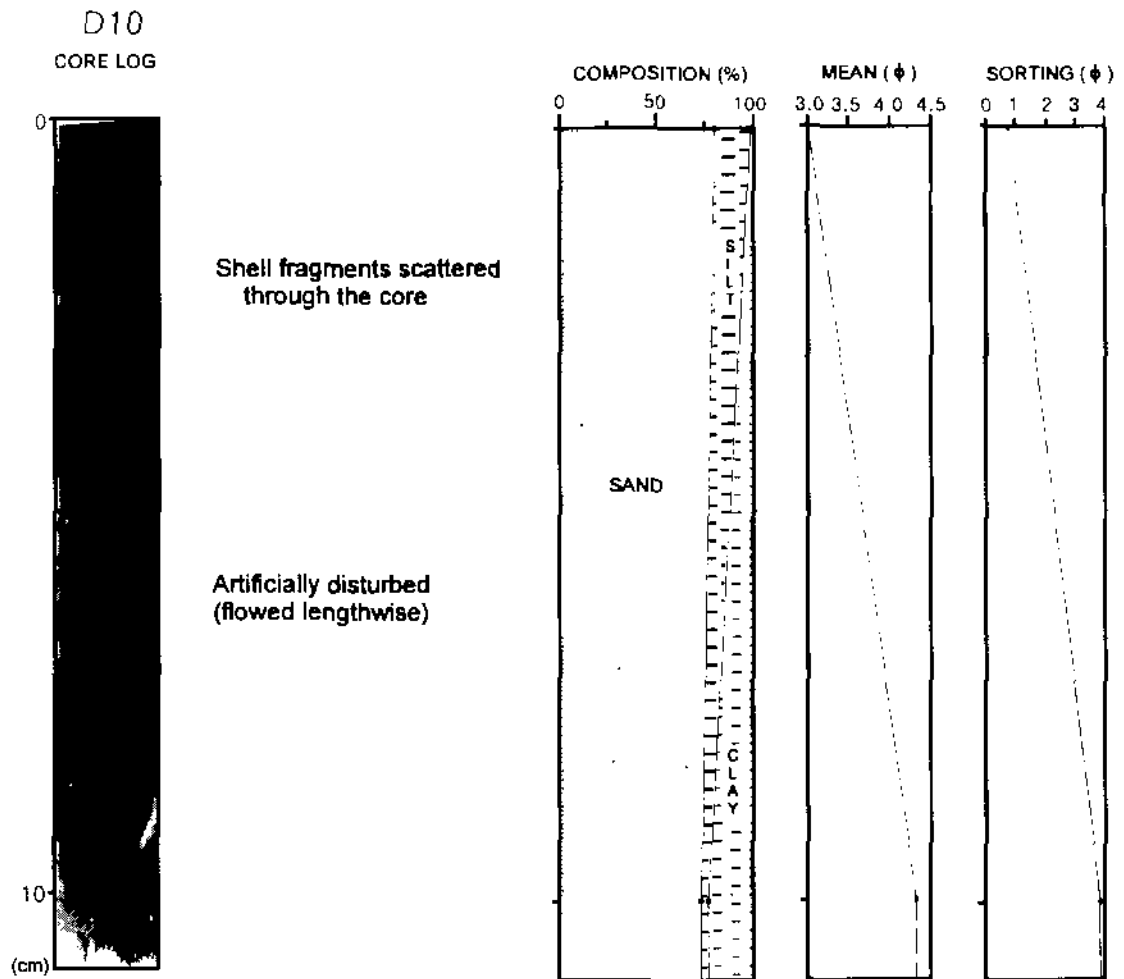


Fig. 5-15. Continued

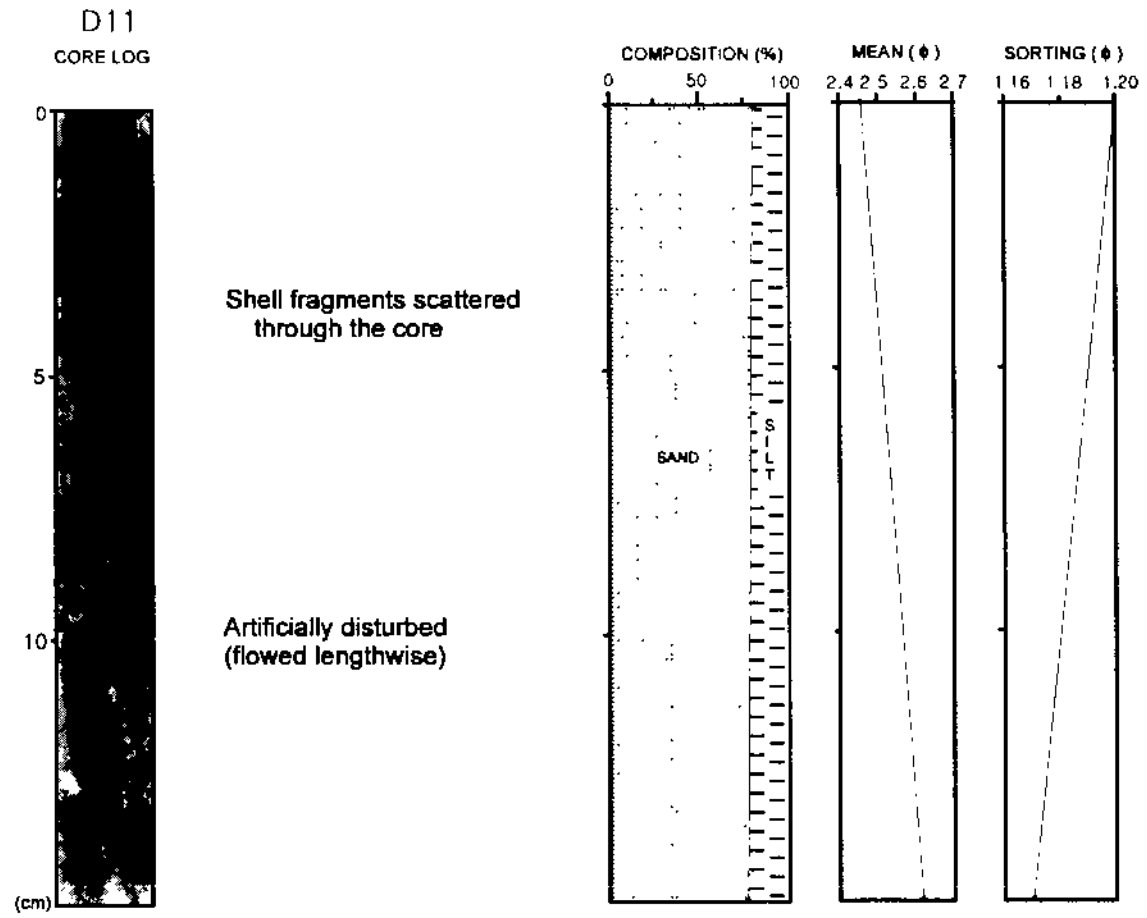


Fig. 5-15. Continued

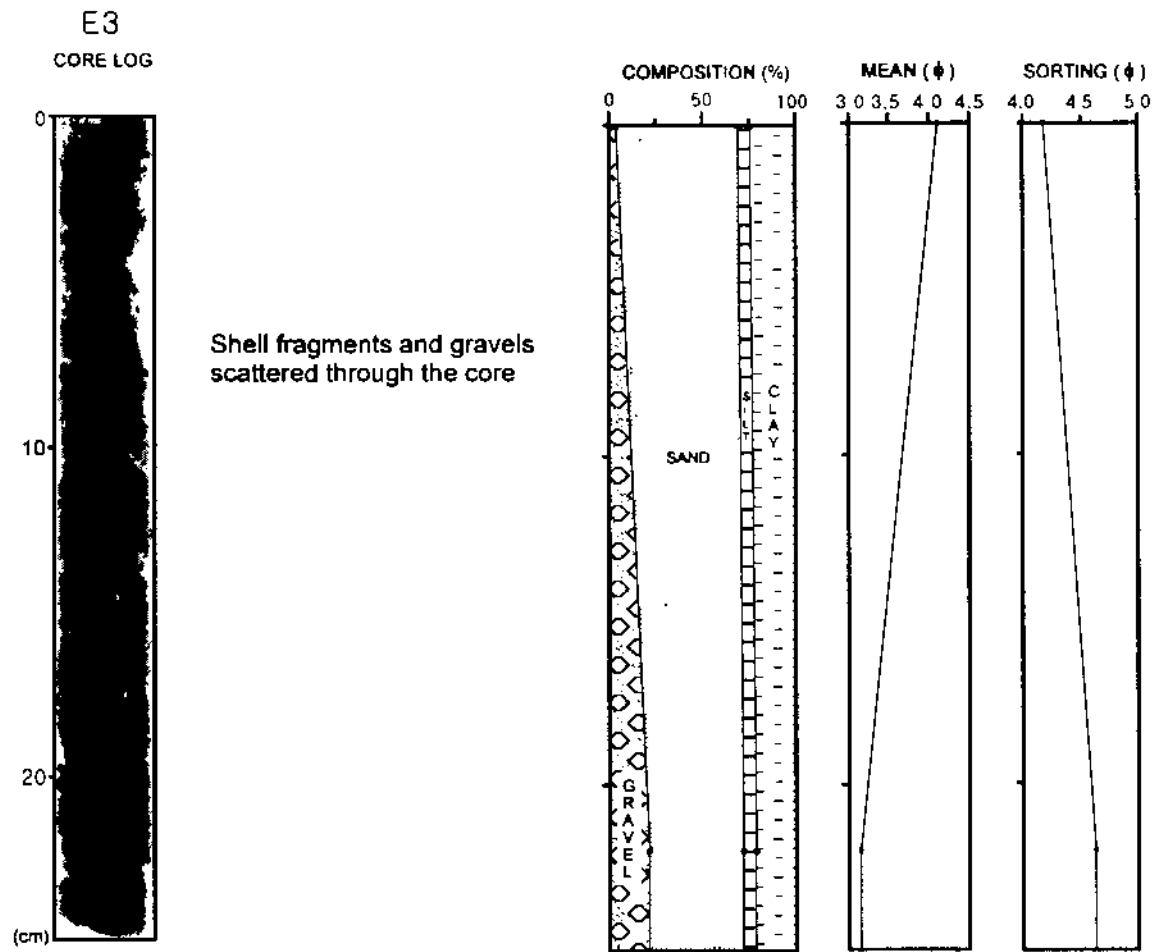


Fig. 5-15. Continued

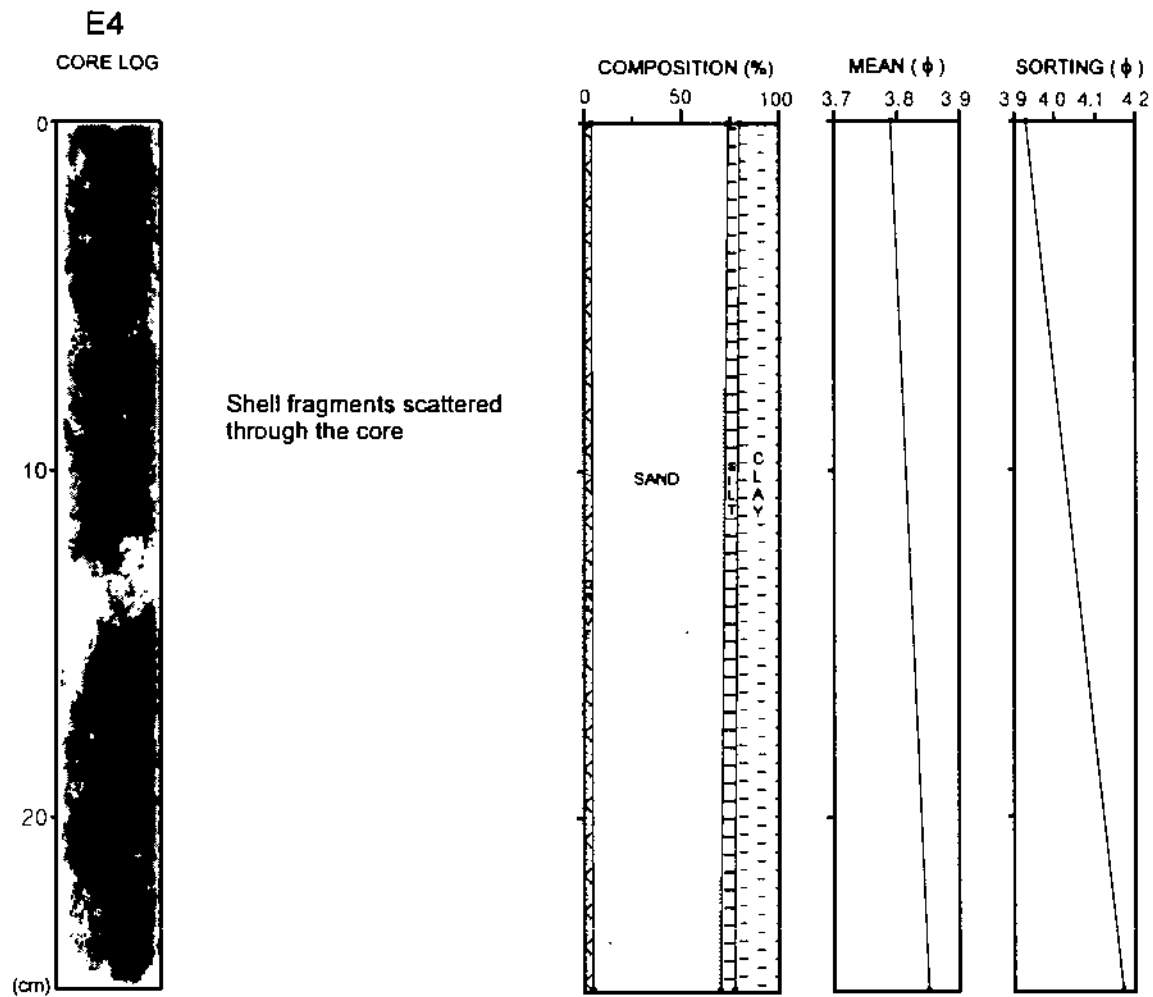


Fig. 5-15. Continued

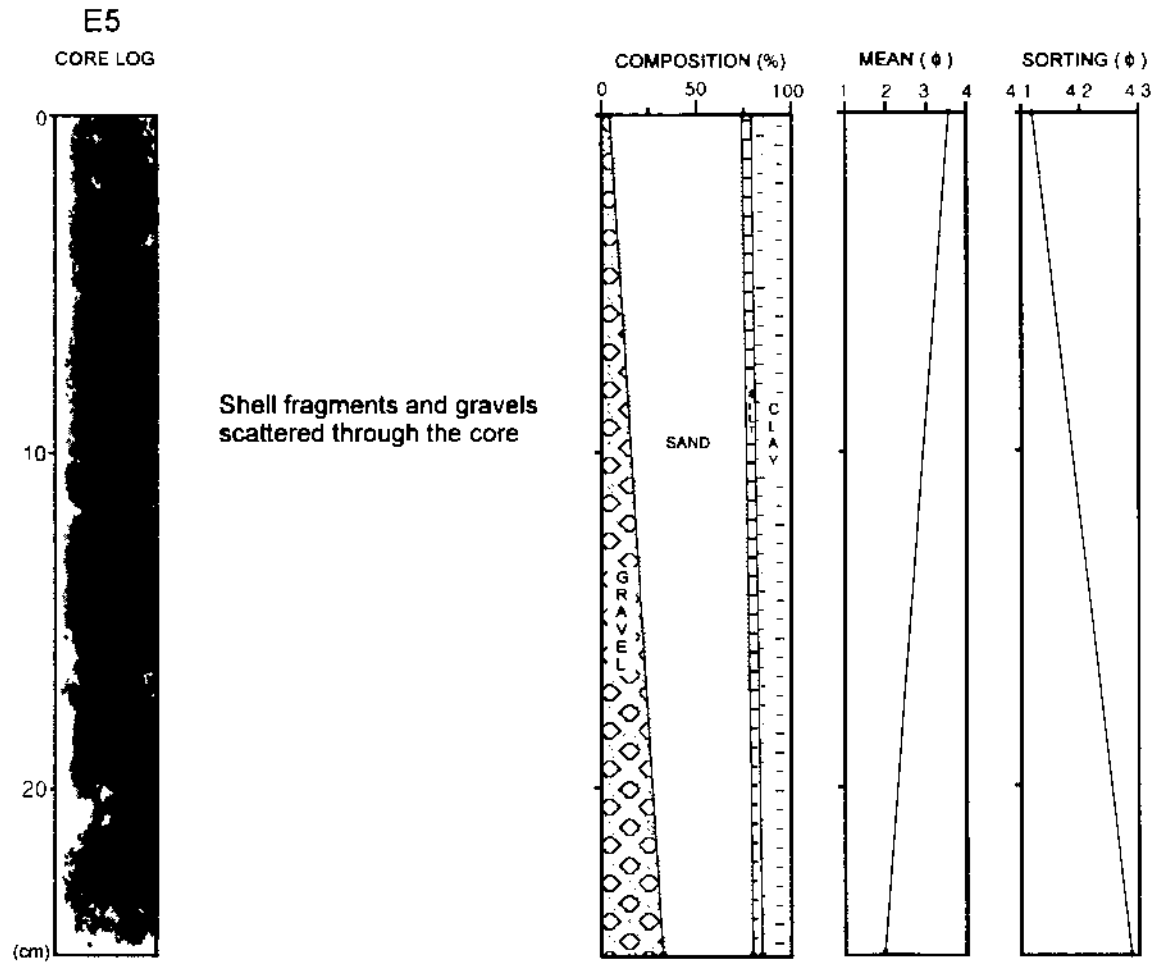


Fig. 5-15. Continued

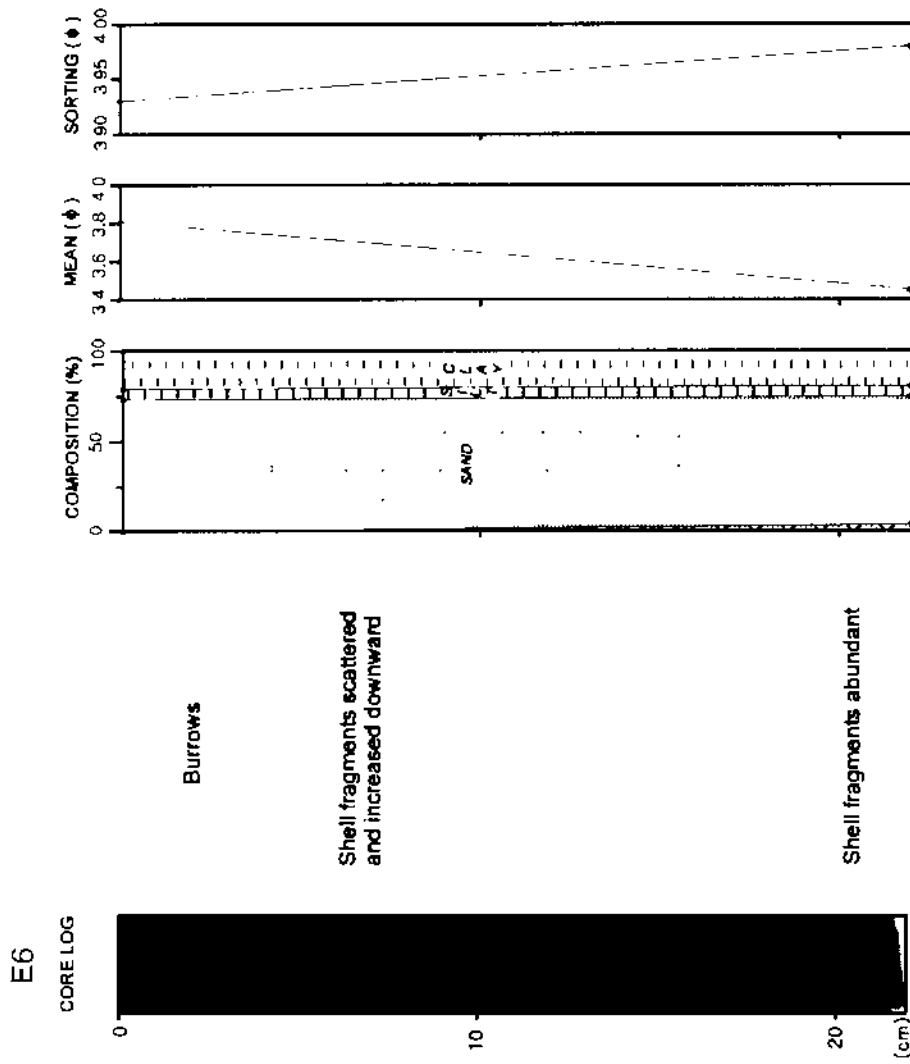


Fig. 5-15. Continued.

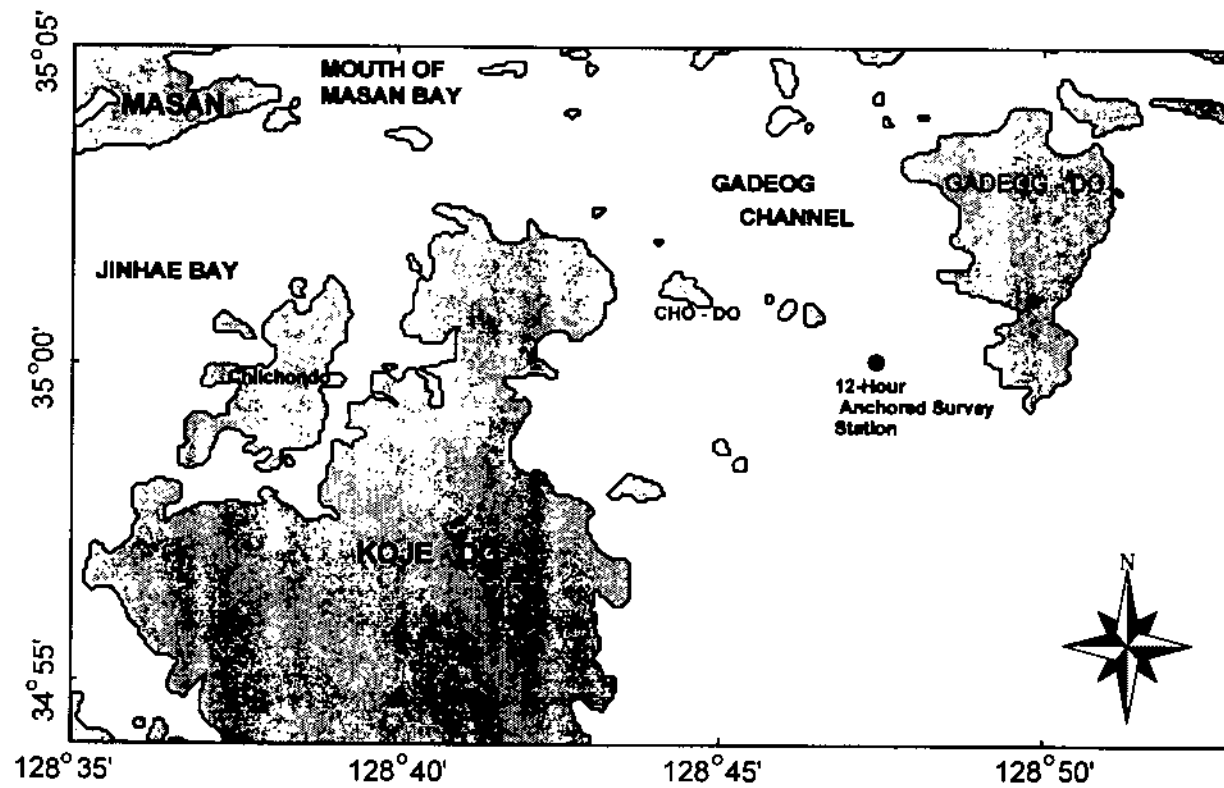


Fig. 5-16. Map showing the anchored, hydrographic site for 12-hour measurements.

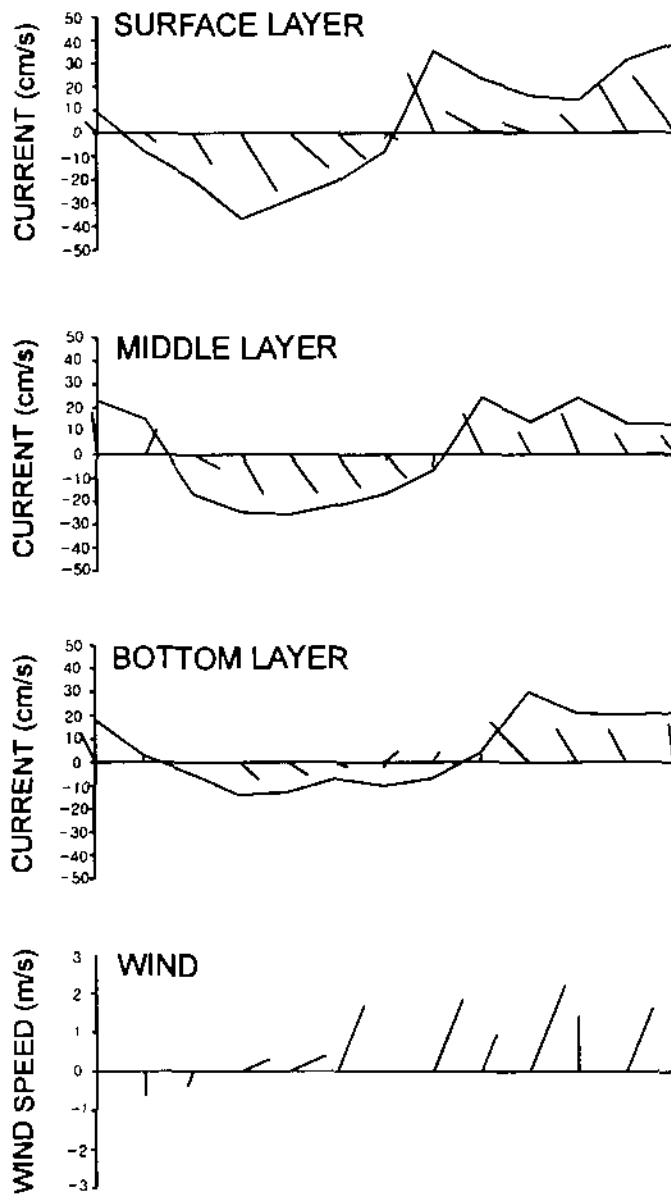


Fig. 5-17. Time-series of currents measured at surface, mid-depth and near-bottom, and winds obtained from a nearby meteorological station during 7am - 7 pm, May 10, 1998



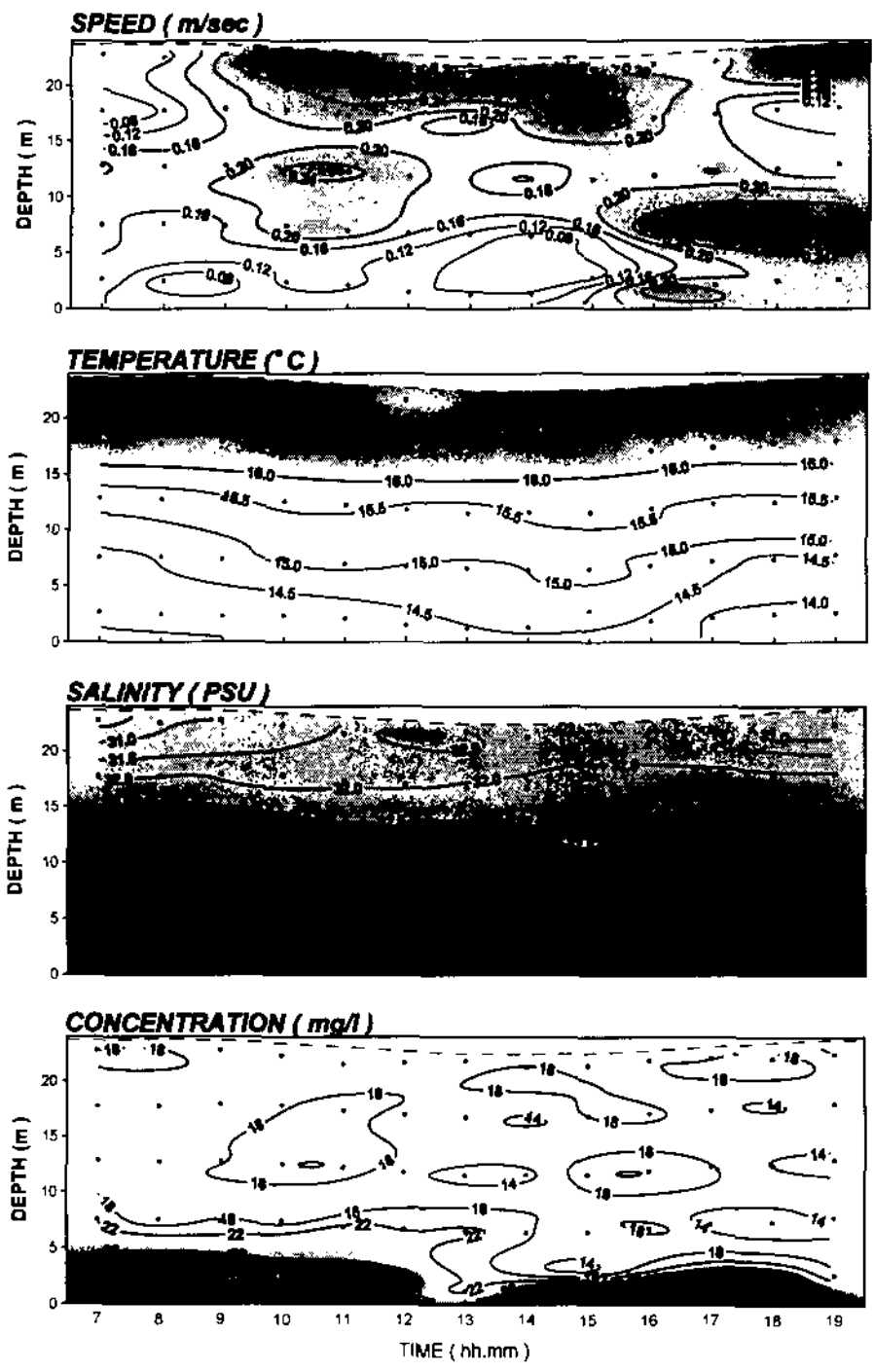


Fig. 5-18. Time-series of currents, temperature, salinity and suspended-matter concentrations from 12-hour hydrodynamic measurements at an anchored station (see Fig. 6.16 for location) during 7am - 7 pm, May 10, 1998.



## 제 6 절 제주도 연안의 치자어 종조성

### 1. 서론

제주도 주변해역은 수심 200 m 이하의 대륙붕 해역(Byun and Chang, 1988)으로 황해저층냉수, 중국대륙연안수, 양자강 퇴적수, 황해연안수, 대마난류수, 제주난류수, 한국남해연안수 등 다양한 수괴가 분포하고 있다(Kondo, 1985; Byun and Chang, 1988; KORDI, 1997). 이와 같은 해수의 특성상 유용해양생물이 서식할 수 있는 최적의 해양환경이 형성되어 멸치, 고등어, 전갱이, 삼치 등과 같은 상업적으로 중요한 수산 자원이 풍부하고 이에 따른 어업활동도 풍부한 해역이다. 뿐만 아니라 제주도 주변해역에는 500 여종의 다양한 어류가 서식하고 있는데(Chyung, 1977; Kim and Lee, 1994; Yoo *et al.*, 1995), 치자어의 경우 쿠로시오 해류에서 분지된 대마난류수(Byun and Chang, 1988; Hsueh *et al.*, 1996)의 중심 수역과 주변해역에 많은 종류의 난류성 종과 회유성 종이 분포하는 것으로 보고되었다(Yoo, 1991). 제주도 연안에서도 역시 난류수의 영향으로 난류성과 회유성 어류의 치자어가 출현한다(KORDI, 1989). 본 연구에서는 지금까지 제주도 주변해역과 연안을 대상으로 조사된 문헌을 정리하고, 제주도 연안의 계절별 치자어 분포양상과 종 조성의 특징을 조사하였다.

### 2. 재료 및 방법

제주도 연안을 대상으로 선정된 8개의 정점 (Fig. 6-1)을 대상으로 1998년 5월, 8월 그리고 11월에 봉고네트 (망목 300  $\mu$ m, 망구직경 60 cm이고)를 이용하여 1.5~2.0 knot의 속도로 표층에서 시료를 채집하였다. Bongo net을 통과한 물의 양을 측정하기 위하여 네트 입구에 유량계 (General Oceanics, Inc.)를 부착하였다. 채집된 시료는 현장에서 중성포르말린 (최종농도 7%)으로 고정하였다. 고정된 시료는 실험실로 옮겨 해부현미경 (Carl Zeiss Stemi 2000-C)을 이용하여 어란과 치자어를 골라낸 후 분석하였다. 치자어의 종 동정은 Chyung (1977), Okiyma (1988) 등을 참고하였다. 치자어 사진 촬영은 본 조사에서 채집된 시료 뿐만 아니라 제주도 중문주변 연안에서 1997년 7월~1998년 5월에 채집된 치자어 시료 (미발표자료) 등을 이용하였다. 사진촬영은 현미경에 부착된 디지털카메라(Carl Zeiss Prog Res 3008)를 이용하였다. 그리고 제주도 주변해역 및 연안에서 조사된 치자어에 관한 문헌을 조사하여 치자어의 채집시기와 함께 종 목록을 작성하였다.

### 3. 결과

본 조사에서 채집된 치자어는 총 33종이며 조사 시기별 출현 종 조성과 평균 출현량은 Table 6-1과 같다. 어란은 멸치 (*Engraulis japonicus*) 한 종 만 동정되었으며 전체 출현량의 36.1%를 차지하였다. 치자어의 경우 우점종은 자리돔(*Chromis*

notatus)으로 전체 출현량의 28.5%를 차지하였고, 다음은 썸뱅이(*Sebastiscus marmoratus*) 10.6%, 가막베도라치(*Enneapterygius theostomus*) 8.8%, 홍갑쟁 (*Helicolenus hilgendorfi*) 8.5%, 멸치(*Engraulis japonicus*) 7.4%, *Benthosema pierotum* 6.8% 순으로 이들 6 종이 전체 출현량의 70.6%를 차지하였다.

조사 시기별 치자어의 출현 종수는 Table 6-1과 같이 5월에 9종, 8월과 11월에 각각 16종씩 출현하였다. 정점별 치자어의 출현 종 수는 Fig. 6-2와 같이 5월에는 0~4종이었고, 8월은 2~12종 그리고 11월은 1~12종으로 정점간 치자어의 출현종수에 많은 차이를 보였다. 특히 제주도 동부연안에 위치한 정점 3에서 치자어의 출현 종수는 5월의 경우 1 종이었지만 8월과 11월에는 각각 12종으로 조사 기간동안 가장 다양한 종류의 치자어가 출현하였다.

어란의 평균 출현량은 5월이 3,907 indiv./1000m<sup>3</sup>, 8월이 8,888 indiv./1,000m<sup>3</sup> 그리고 11월이 3,103 indiv./1,000m<sup>3</sup>으로 8월이 조사 기간 동안 가장 많았다 (Table 7.1). 어란의 정점별 출현량은 Fig. 6-3과 같다. 5월의 출현량 범위는 590~13,439 indiv./1,000m<sup>3</sup>였으며 제주도 남부연안 (정점 5)과 남서부연안 (정점 6)에서 출현량이 많았다. 8월의 출현량 범위는 705~27,480 indiv./1,000m<sup>3</sup>로 제주도 남부연안에 위치한 정점 4와 5에서 출현량이 많았다. 11월의 출현량 범위는 836~12,344 indiv./1,000m<sup>3</sup>였으며 제주도 북부연안에 위치한 정점 2에서 출현량이 가장 많았다.

치자어의 평균 출현량은 5월이 29 indiv./1,000m<sup>3</sup>, 8월이 340 indiv./1,000m<sup>3</sup> 그리고 11월이 186 indiv./1,000m<sup>3</sup>로 8월에 가장 많았다 (Table 6-1). 치자어의 정점별 출현량은 Fig. 6-3과 같다. 5월의 출현량 범위는 0~84 indiv./1,000m<sup>3</sup>로 정점 7과 1에서 출현량이 비교적 많았다. 8월의 출현량 범위는 31~813 indiv./1,000m<sup>3</sup>였다. 제주도의 동부 및 동남부 연안에 위치한 정점 3과 4에 출현량이 많았고, 제주도 북부 연안에 위치한 정점 1에서도 비교적 출현량이 많았다. 11월의 출현량 범위는 4~712 indiv./1,000m<sup>3</sup>로 제주도의 남부연안에 위치한 정점 5와 동부연안에 위치한 정점 3에서 출현량이 많았다.

주요 우점종의 하나인 멸치(*Engraulis japonicus*)의 어란과 치자어의 분포 경향은 Fig. 6-4와 같다. 어란의 경우 5월과 8월의 정점별 출현량 범위는 각각 22~12,981 indiv./1,000m<sup>3</sup>와 64~19,368 indiv./1,000m<sup>3</sup>였다. 정점별 분포 경향은 5월과 8월이 비슷하게 나타났지만, 출현량이 가장 높은 정점은 5월이 제주도 서남부 연안에 위치한 정점 6이었고, 8월은 제주도 남부연안에 위치한 정점 5였다. 치자어의 경우 정점별 출현량은 5월에 정점 5와 6에서 각각 1 indiv./1,000m<sup>3</sup>와 16 indiv./1,000m<sup>3</sup>였고, 8월에는 2개 정점 (정점 2와 8)을 제외한 6개 정점에서 출현하였으며 출현량 범위는 9~115 indiv./1,000m<sup>3</sup>였다. 치자어의 분포 경향은 어란의 경우와 비슷하였으며 출현량이 가장 많은 정점은 어란의 경우와 같이 5월은 정점 6, 8월은 정점 5였다.

8월의 우점종은 자리돔 (*Chromis notatus*), 황학치 (*Aspasmichthys ciconiae*), 가막베도라치 (*Enneapterygius theostomus*)로 이들의 정점별 분포는 Fig. 6-5와 같다. 자리돔은 제주도의 북부연안 (정점 1), 동부연안 (정점 3), 그리고 남동부연안 (정점 4) 등을 포함한 5개 정점에서 15~471 indiv./1,000m<sup>3</sup> 출현하였다. 황학치는 서부연안 (정점 7), 북부연안 (정점 1과 8) 그리고 동부연안 (정점 3)의 4개 정점에서 11~

55 indiv./1,000m<sup>3</sup> 출현하였다. 가막베도라치는 제주도 남부연안의 정점 5를 제외한 7개 정점에서 8~133 출현하였으며 제주도의 동부와 동남부 연안(정점 3과 4)과 서부연안(정점 7)에서 출현량이 많았다.

11월의 우점종은 솜뱅이 (*Sebastiscus marmoratus*), 흥감쟁(*Helicolenus hilgendorfi*) 그리고 *Benthoosema pterotum* 3종으로 정점별 분포는 Fig. 6-6, Fig. 6-7과 같다. 솜뱅이는 5개 정점에서 6~321 indiv./1,000m<sup>3</sup> 출현하였으며 제주도 동부연안에 위치한 정점 3에서 출현량이 가장 많았다. 흥감쟁은 정점 3과 5에서 각각 5 indiv./1,000m<sup>3</sup>, 381 indiv./1,000m<sup>3</sup> 출현하였다. *Benthoosema pterotum*, *Champsodon snyderi*, 샛비늘치과 (*Myctophidae* spp.) 그리고 *Bregmaceros arabicus*와 같은 난류성 종들은 주로 제주도의 동부연안에 위치한 정점 3부터 제주도 남부 그리고 제주도의 서부연안의 정점 7 사이에 출현하였다 (Fig. 6-7).

지금까지 제주도 연안과 주변해역에서 밝혀진 치자어는 13목 75과 230여 종으로 종별 치자어 출현시기는 Table 6-5와 같다. 이 종 목록을 토대로 본 조사해역과 중문관광단지 주변해역 (1997년과 1998년)에 채집된 시료 등을 이용하여 촬영한 치자어 (Fig. 6-8~26)는 황학치 (*Aspasmichthys ciconiae*), 몽치다래류 (*Auxis* sp.), *Benthoosema pterotum*, 별목탁가자미 (*Bothus myriaster*), *Champsodon snyderi*, 만새기 (*Coryphaena hippurus*), 푸렁통구멍 (*Gnathagnus elongatus*), 흥감쟁 (*Helichoeres hilgendorfi*), *Laemonema nana*, 촉수과 (*Mullidae*), *Ophichthidae*, 두줄베도라치 (*Petroscirtes breviceps*), 가막베도라치 (*Enneapterygius theostomus*), 그물코쥐치 (*Rudarius ercodes*), 개볼락 (*Sebastes phachycephalus*), 솜뱅이(*Sebastiscus marmoratus*), 쥐치 (*Stephanolepis cirrhifer*), 복어류(*Takifugu* sp.) 그리고 앞동갈베도라치 (*Omobranchus elegans*) 등 모두 19종이다.

#### 4. 고찰

본 연구해역에서 어란과 치자어의 출현량이 가장 많은 시기는 여름철이었고, 치자어의 출현 종수는 여름과 가을철에 가장 많았는데 이러한 결과는 제주도 주변해역을 조사한 Yoo (1991)의 결과와 비슷한 것으로 보인다. 멸치, 자리돔, 솜뱅이 그리고 *Champsodon snyderi* 등은 Yoo (1991)의 조사에서 우점종으로 출현한 종류로 본 연구에서도 역시 우점하였다. 그리고 치자어의 출현 종 수가 많은 8월과 11월의 경우 연안성 어류인 앞동갈베도라치(*Omobranchus elegans*), 청베도라치 (*Pictiblennius yatabei*), 미역치(*Hypodytes rubripinnis*), 양볼락과 (*Scorpaenidae*)의 흥감쟁 (*Helicolenus hilgendorfi*), 황볼락 (*Sebastes owstoni*), 솜뱅이 (*Sebastiscus marmoratus*) 등과 난류성이거나 원양회유성 종류인 몽치다래류 (*Auxis* sp.), 만새기(*Coryphaena hippurus*) *Champsodon snyderi*, *Bregmaceros arabicus* 등이 출현하였다. 특히 난류성종이나 원양회유성 종들은 본 조사 뿐만 아니라 KORDI (1989)의 조사에서도 역시 출현하였다. 제주도의 주변해역에 분포하는 대마난류수 (Kondo, 1985)의 중심수역이나 주변해역에서는 이러한 종들의 출현량과 출현빈도가 높다고 보고되었다 (Yoo, 1991). 따라서 본 연구해역서 이러한 난류성이나 회유성 종들의 출현은 대마난류수의 영향으로 생각된다.

그리고 8개의 조사 정점 중 치자어의 출현종수가 많은 곳은 제주도 동부연안에 위치한 정점 3이었다. 5월을 제외한 8월과 11월에 출현종수가 가장 많았는데 이곳은 연안성 종류인 망둥어과 (Gobiidae), 청베도라치 (*P. yatabei*), 가막베도라치 (*E. etheostomus*), 자리돔 (*C. notatus*), 흥감쟁 (*H. hilgendorfi*), 솜뱅이 (*S. marmoratus*) 등 뿐만 아니라 난류성이거나 원양회유성 종류인 뽕치다래류 (*Auxis* sp.), 황학치 (*A. ciconiae*), 만새기 (*C. hippurus*), *B. pterotum*, 샛비늘치과 (Mycthopidae) 그리고 *B. arabicus* 등이 출현하였다. 이러한 종 조성의 특징으로 보아 제주도의 동부연안에 위치한 정점 3은 난류수의 영향이 가장 큰 것으로 판단된다.

Table 6-1. Mean abundances of fish eggs and larvae sampled in the coastal area of Cheju island in May, August, and November, 1998.

Species W Months	(indiv./1000m <sup>3</sup> )			
	May	August	November	Total
<b>Eggs</b>				
<i>Engraulis japonicus</i> 멸치	2,696	3,037		5,733
Unidentified spp.	1,211	5,851	3,103	10,165
<b>Total</b>	<b>3,907</b>	<b>8,888</b>	<b>3,103</b>	<b>15,898</b>
<b>Larvae</b>				
<i>Chromis notatus</i> 자리돔		158		158
<i>Sebastiscus marmoratus</i> 썸뱅이			59	59
<i>Enneapterygius etheostomus</i> 가막베도라치		47	2	49
<i>Helicolenus hilgendorfi</i> 홍감펍			48	48
<i>Engraulis japonicus</i> 멸치	2	39		41
<i>Benthosema pterotum</i>			38	38
Gobiidae spp. 망둥어과	10	8	3	21
<i>Aspasmichthys ciconiae</i> 황학치		14		14
<i>Omobranchus elegans</i> 가막베도라치		11		11
<i>Tripterygion baptrium</i> 청황베도라치	8			8
<i>Pictiblennius yatabei</i> 청베도라치	1	6		7
<i>Champsodon snyderi</i>			6	6
<i>Auxis</i> sp. 몽치다래류		3		3
<i>Sillago</i> sp.		3		3
Callionymidae spp.	1	1		2
<i>Coryphaena hippurus</i> 만새기		2		2
<i>Cynoglossus joyneri</i> 참서대		2		2
<i>Enneapterygius</i> sp.		2		2
Myctophidae 셋비놀치과			2	2
<i>Rudarius ercodes</i> 그물코쥐치		2		2
<i>Bothus myriaster</i> 별목탁가자미			1	1
<i>Bregmaceros arabicus</i>			1	1
<i>Gnathagnus elongatus</i> 푸름통구멍			1	1
<i>Hypodytes rubripinnis</i> 미역치		1		1
<i>Laemonema nana</i>			1	1
<i>Omobranchus</i> sp.	1			1
Ophichthidae sp.			1	1
<i>Pagrus major</i>	1			1
<i>Petroecirtes breviceps</i> 두줄베도라치			1	1
<i>Pseudolabrus japonicus</i> 황놀래기			1	1
<i>Sebastes olongus</i> 황점볼락			1	1
<i>Takifugu</i> sp.	1			1
Unidentified spp.	4	41	20	65
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>340</b>	<b>186</b>	<b>555</b>
<b>No. of species</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>33</b>

Table 6-2. Abundance of fish eggs and larvae sampled in the coastal area of Cheju Island in May 26-27, 1998.

Species \ Stations	(indiv./1000m <sup>3</sup> )								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Eggs</b>									
<i>Engraulis japonicus</i>	3,313	248	246	22	4,126	12,981	239	396	21,571
Unidentified spp.	1,017	629	592	568	2,290	458	2,071	2,063	9,688
<b>Total</b>	<b>4,330</b>	<b>877</b>	<b>838</b>	<b>590</b>	<b>6,416</b>	<b>13,439</b>	<b>2,310</b>	<b>2,459</b>	<b>31,259</b>
<b>Larvae</b>									
Gobiidae	12	0	0	0	0	0	66	0	78
<i>Tripterygion baptrum</i> 청황베도라치	48	11	0	0	0	0	0	7	66
<i>Engraulis japonicus</i> 멸치	0	0	0	0	1	16	0	0	17
<i>Omobranchus</i> sp.	6	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>Pagrus major</i>	0	6	0	0	0	0	0	0	6
<i>Takifugu</i> sp.	0	0	4	0	1	0	0	0	5
<i>Pictiblennius yatabei</i> 청베도라치	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Callionymidae spp.	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Unidentified spp.	0	0	0	0	0	16	18	0	34
<b>Total</b>	<b>66</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>32</b>	<b>84</b>	<b>7</b>	<b>215</b>
<b>No. of species</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	



Table 6-3. Abundance of fish eggs and larvae sampled in the coastal area of Cheju Island in August 18-19, 1998.

Species \ Stations	(indiv./1000m <sup>3</sup> )								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Eggs</b>									
<i>Engraulis japonicus</i> 멸치	64	772	468	3,094	19,368	393	70	64	24,293
Unidentified spp.	641	2,180	4,037	22,743	8,112	3,985	1,018	4,091	46,807
<b>Total</b>	<b>705</b>	<b>2,952</b>	<b>4,505</b>	<b>25,837</b>	<b>27,480</b>	<b>4,378</b>	<b>1,088</b>	<b>4,155</b>	<b>71,100</b>
<b>Larvae</b>									
<i>Chromis notatus</i> 자리돔	348	15	379	471	0	51	0	0	1,264
<i>Enneapterygius etheostomus</i> 가막베	27	8	62	89	0	17	133	43	379
<i>Engraulis japonicus</i> 멸치	9	0	55	13	115	103	13	0	308
<i>Aspasmichthys ciconiae</i> 활학치	55	0	34	0	0	0	13	11	113
<i>Omobranchus elegans</i> 앞동갈베도라	18	0	0	25	0	34	0	11	88
Gobiidae spp.	18	0	48	0	0	0	0	0	66
<i>Pictiblennius yatabei</i> 청베도라치	0	0	48	0	0	0	0	0	48
<i>Auxis</i> sp. 몽치다래류	0	0	21	0	0	0	0	0	21
<i>Sillago</i> sp.	0	0	21	0	0	0	0	0	21
<i>Enneapterygius</i> sp.	0	0	0	0	0	0	19	0	19
<i>Cynoglossus joyneri</i> 참서대	0	0	0	0	0	17	0	0	17
<i>Coryphaena hippurus</i> 만새기	0	0	14	0	0	0	0	0	14
<i>Rudarius ercodes</i> 그물코취치	0	0	14	0	0	0	0	0	14
<i>Hypodytes rubripinnis</i> 미역치	9	0	0	0	0	0	0	0	9
Callionymidae spp.	0	0	7	0	0	0	0	0	7
Unidentified spp.	9	8	110	127	64	0	6	0	324
<b>Total</b>	<b>493</b>	<b>31</b>	<b>813</b>	<b>725</b>	<b>179</b>	<b>222</b>	<b>184</b>	<b>65</b>	<b>2,712</b>
<b>No. of species</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	

Table 6-4. Abundance of fish eggs and larvae sampled in the coastal area of Cheju Island in November 18-19, 1998

Species \ Stations	(indiv./1000m <sup>3</sup> )								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Eggs</b>									
Unidentified spp.	2,335	12,344	836	965	2,486	2,283	1,882	1,693	24,824
<b>Larvae</b>									
<i>Sebastiscus marmoratus</i> 솜뱅이	6	0	321	0	0	91	14	37	469
<i>Helicolenus hilgendorfi</i> 홍감평	0	0	5	0	381	0	0	0	386
<i>Benthoosema pterotum</i>	0	0	33	9	246	6	7	0	301
<i>Champsodon snyderi</i>	0	0	14	0	12	18	0	0	44
Gobiidae spp. 망둥어과	0	0	5	0	12	6	0	0	23
Myctophidae spp. 셋비늘치과	0	0	5	0	12	0	0	0	17
<i>Enneapterygius theostomus</i> 가막베	0	0	0	14	0	0	0	0	14
<i>Bothus myriaster</i> 별목탁가자미	6	0	5	0	0	0	0	0	11
<i>Pseudolabrus japonicus</i> 황놀래기	0	0	5	0	0	6	0	0	11
<i>Bregmaceros arabicus</i>	0	0	0	0	0	0	7	0	7
<i>Gnathagnus elongatus</i> 푸렁퉁구멍	0	0	0	0	0	6	0	0	6
<i>Laemonema nana</i>	0	0	5	0	0	0	0	0	5
Ophichthidae spp.	0	0	5	0	0	0	0	0	5
<i>Sebastes olongus</i> 황점볼락	0	0	5	0	0	0	0	0	5
<i>Petroecirtes breviceps</i> 두줄베도라치	0	4	0	0	0	0	0	0	4
Unidentified spp.	19	0	19	0	49	24	50	0	161
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>4</b>	<b>427</b>	<b>23</b>	<b>712</b>	<b>157</b>	<b>78</b>	<b>37</b>	<b>1,469</b>
<b>No. of species</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	

Table 6-5 List of fish species found in around sea of Cheju Island

(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study; \*: only larval fish)

Species (Korean name) / Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Order Anguilliformes 뱀장어목												
Family 1. Muraenidae 뱀장어과												
Muraenidae sp. →			3									
<i>Gymnothorax nigromarginatus</i> →		3										
<i>Uroptergus</i> sp. →									1			
Family 2. Ophichthidae 바다뱀과												
Ophichthidae spp. →			3					2, 3			3, 4	
<i>Myrophinae</i> sp. →											3	
Family 3. Muraenesocidae 갯장어과												
<i>Muraenesox</i> sp. →											3	
Family 4. Congridae 먹붕장어과												
<i>Ariosoma</i> spp. →			3								3	
<i>Conger japonicus</i> Bleeker 검붕장어 →		3										
<i>Conger japonicus</i> : Baek(1982, 1984).												
<i>Conger myriaster</i> (Brevoort) 붕장어 →		3									3	
<i>Astroconger myriaster</i> : Uchida and Yabel(1939), Baek(1982).												
<i>Gnathophis nystromi nystromi</i> (Jordan et Snyder) →		3									3	

Table 6-5. Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name) / Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Family 5. Nettastomatidae												
<i>Saurenhelys stylurus</i> (Lea) →											3	
Order Clupeiformes 청어목												
Family 6. Engraulidae 멸치과												
<i>Engraulis japonicus</i> Temminck et Schlegel 멸치 →		3	3	3	4			all			1, 3	
<i>Engraulis japonicus</i> * Uchida and Yabe(1939), Baek(1982)												
Family 7. Clupeidae 청어과												
<i>Etrumeus teres</i> (Dekoy) 눈통멸 →		3	3	3							3	
<i>Etrumeus micropus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).												
<i>Spratelloides gracilis</i> (Temminck et Schlegel) 셋줄멸 →								2, 3				
<i>Spratelloides japonica</i> : Uchida and Yabe(1939)												
<i>Sardinops melanosticta</i> (Temminck et Schlegel) 정어리 →		3	3	1, 3	1							
<i>Sardinia melanostictus</i> * Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).												
Order Osmeriformes 바다빙어목												
Family 8. Argentinidae 셋멸과												
<i>Glossadon semifasciatus</i> (Kishinouye) →			3	3								
Family 9. Bathylagus												
<i>Bathylagus ochotensis</i> Schmidt →			3									

Table 6-5. Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study)

Species (Korean name) / Months	Jan	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep	Oct	Nov	Dec.
Order Salmoniformes 연어목												
Family 10. Salmonidae 연어과												
Salmonidae sp.											3	
<i>Cylothone alba</i> Brauer								3				
<i>Gonostoma elongatum</i> Günther			3	3								
<i>Gonostoma gracile</i> Günther		3									3	
<i>Maurolicus muelleri</i> (Gmelin)		3	3									
<i>Vinciguerrria nimbaria</i> (Jordan et Williams)			3								3	
Order Aulopiformes 홍메치목												
Family 11. Aulopodidae 홍메치과												
<i>Aulopus japonicus</i> (Günther) 히메치								3			3	
<i>Aulopus japonicus</i> : Baek(1982).												
<i>Hime japonicus</i> Chyung(1977)												
Family 12. Synodontidae 매통이과												
<i>Synodus variegatus</i> (Lacépède) 꽃동별			3									
<i>Synodus variegatus</i> : Mori(1952), Baek(1982)												
<i>Synodus fuscus</i> Tanaka								3			3	
<i>Synodus macrops</i> Tanaka								3			3	
<i>Trachinocephalus myops</i> (Forster) 황매퉁이											3	
<i>Trachinocephalus myops</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).												
<i>Saurida elongata</i> (Temminck et Schlegel) 날대퉁이								3				
<i>Saurida elongata</i> : Baek(1982).												

Table 6-5. Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991. 4: This study)

Species (Korean name) / Months	Jan	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
<i>Saurida wanieso</i> Shindo et Yamada →								3				
<i>Saurida gracilis</i> (Quoy et Gaimard) →								2				
Family 13. Paralepididae												
Paralepididae sp. →											3	
<i>Lestidiops luekeni</i> (Ege) →			3									
<i>Lestidium prolixum</i> Harry →								2, 3				
<i>Lestrolepis intermedia</i> (Poey) →								3			3	
<i>Stemonosudis</i> sp. →											3	
Order Myctophiformes												
Family 14. Myctophidae 셋비늘치과												
<i>Benthoosema pterotum</i> (Alcock) →		3						2, 3			3, 4	
<i>Ceratoscopelus warmingi</i> (Lütken) →											3	
<i>Diaphus pacificus</i> →								3			3	
<i>Diaphus theta</i> Eigenmann et Eigenmann →			3								3	
<i>Diaphus</i> spp →			3	3							3	
<i>Diogenichthys atlanticus</i> (Taning) →											3	
<i>Hygophum reinhardtii</i> (Lütken) →			3									
<i>Lampanyctus</i> spp. →			3								3	
<i>Myctophum asperum</i> Richardson →			3	3								
<i>Notoscopelus japonicus</i> (Tanaka) →		3	3									
<i>Protomyctophum thompsoni</i> (Chapman) →											3	
<i>Centrobranchus chaeerocephalus</i> Fowler →			3									
Myctophidae spp. →											4	

Table 6-5 Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3 Yoo, 1991; 4: This study)

Species (Korean name)	Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Order Ophidiiformes 참치목													
Family 15. Carapidae													
<i>Encheliophis sagamianus</i> (Tanaka)	→			3					3			3	
<i>Pyramoden ventralis</i> Smith et Radcliffe	→											3	
Family 16. Ophididae 양메기과													
<i>Hoplobrotula armata</i> (Temminck et Schlegel) 붉은메기	→								3				
<i>Hoplobrotula armata</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).													
<i>Neobythites sivicola</i> (Jordan et Snyder) 그물메기	→								3			3	
<i>Watasea sivicola</i> : Uchida and Yabe(1939).													
<i>Neobythites sivicola</i> : Baek(1982).													
<i>Sirembo imberbis</i> (Temminck et Schlegel)	→								2, 3			3	
Order Gadiformes 대구목													
Family 17. Moridae 수염대구과													
<i>Laemonema nana</i> Taki	→		3						3			3, 4	
Family 18. Macrouridae 민태과													
Macrouridae sp.	→			3									
Family 19. Bregmacerotidae 날개멸과													
Bregmacerotidae sp.	→								3				
<i>Bregmaceros atlanticus</i> Goode et Bean	→				3				3			3, 4	

Table 6-5. Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study)

Species (Korean name) / Months	Jan	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
<i>Bregmaceros japonicus</i> Tanaka →								2			3	
<i>Bregmaceros nectabanus</i> Whitley →			3					2, 3			3	
<i>Bregmaceros neonectabanus</i> Masuda, Ozawa et Tabeta →								3			3	
<i>Bregmaceros</i> sp. →			3									
Order Lophiiformes 아귀목.												
Family 20. Antennariidae 선뱀이과												
Antennariidae sp. →								2				
<i>Antennarius</i> sp. 선뱀이류 →								3				
Order Beloniformes 송사리목												
Family 21. Belonidae 동갈치과												
<i>Tylosurus acus melanotus</i> (Bleeker) 향알치 →								2				
<i>Tylosurus melanotus</i> : Baek(1982).												
Family 22 Scombresocidae 꽁치과												
<i>Cololabis saira</i> (Brevoort) 꽁치 →												1
<i>Cololabis saira</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982)												
Family 23. Exocoetidae 날치과												
<i>Cypselurus</i> sp →								2				



Table 6-5 (Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name)	Months	Jan	Feb.	Mar	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep	Oct	Nov	Dec
Order Beryciformes 금눈돔목													
Family 24. Berycidae 금눈돔과													
<i>Beryx splendens</i> Lowe	→											3	
Order Zeiformes 달고기목													
Family 25. Zeidae 달고기과													
<i>Zeus faber</i> Linnaeus 달고기	→			3									
<i>Zeus japonicus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).													
Order Gasterosteiformes 큰가시고기목													
Family 26. Syngnathidae 실고기과													
<i>Parasyngnathus argyrostictus</i> (Kaup)	→							1					
<i>Syngnathus schlegeli</i> Kaup	→								2				
<i>Urocampus nanus</i> Günther	→		1									1	
Family 27. Macrorhamphosidae 대주둥치과													
<i>Macrorhamphosus scolopax</i> (Linnaeus)	→		3	3	3							3	

Table 6-5. Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name) / Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Order Scorpaeniformes 솜뱅이목												
Family 28. Scorpaenidae 양볼낙과												
Scorpaenidae spp. →			3					1, 2, 3			3	
<i>Helicolenus hilgendorfi</i> (Steindachner et Doderlein) 홍감팽 →			3								4	
<i>Helicolenus hilgendorfi</i> : Baek(1982), Kim and Lee(1993).												
<i>Sebastes hubbsi</i> (Matsubara) 우럭볼낙 →										1	1	
<i>Sebastes hubbsi</i> : Baek(1982), Kim and Lee(1993).												
<i>Sebastes inermis</i> Cuvier 볼낙 →		3	3	1								
<i>Sebastes inermis</i> : Uchida and Yabe(1939).												
<i>Sebastes inermis</i> : Baek(1982), Kim and Lee(1993).												
<i>Sebastes longispinis</i> (Matsubara) 흰꼬리볼낙 →			3									
<i>Sebastes longispinis</i> : Kim and Lee(1994b)												
<i>Sebastes oblongus</i> Günther 황점볼낙 →									1		4	
<i>Sebastes oblongus</i> : Baek(1984).												
<i>Sebastes pachycephalus</i> Temminck et Schlegel 개볼낙 →					1							
<i>Sebastes pachycephalus</i> : Kim and Lee(1994b)												
<i>Sebastes vulpes</i> Steindachner 누루시볼낙 →			3									
<i>Sebastes vulpes</i> : Baek(1982)												
<i>Sebastes owstoni</i> (Jordan et Thompson) 황볼낙 →								2				1
<i>Sebastes</i> spp →		1	1, 3								3	
<i>Sebastiscus marmoratus</i> (Cuvier) 솜뱅이 →		3	3	1, 3							3, 4	
<i>Sebastiscus marmoratus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982), Kim and Lee(1993).												
<i>Sebastiscus</i> sp →			3									

Table 6-5 Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name) / Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep	Oct.	Nov.	Dec.
<i>Hypodytes</i> (= <i>Apistus</i> ) <i>rubripinnis</i> (Temminck et Schlegel) 미역치 <i>Hypodytes rubripinnis</i> : Baek(1982).								3, 4				
<i>Minous monodactylus</i> (Bloch et Schneider) →								3				
Family 29. Aploactinidae 풀미역치과												
<i>Erisphex pottii</i> (Steindachner) 풀미역치 → <i>Erisphex pottii</i> : Uchida and Yabe(1939).		3						3			3	
Family 30. Triglidae 성대구												
<i>Lepidotrigla</i> sp. →		3	3	3							3	
Family 31. Platycephalidae 양대구												
Platycephalidae sp →								2			3	
Family 32. Hoplichthyidae												
<i>Hoplichthys</i> sp →		3						3				
Family 33. Hexagrammidae 귀노래미과												
<i>Hexagrammos agrammus</i> (Temminck et Schlegel) 노래미 → <i>Agrammus agrammus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).											3	
<i>Hexagrammos</i> sp. →		1	1									1
Family 34. Cottidae 돛웃게과												
Cottidae sp. →								2				
<i>Cottus</i> sp. →								3				

Table 6-5 Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name) - Months	Jan	Feb	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
<i>Furcina osimae</i> Jordan et Starks 무늬횃대 <i>Furcina osimae</i> : Kim and Lee(1994b)		3										
<i>Pseudoblennius</i> sp. 돌락망둑어류		3										
Family 35 Liparidae 썸치과												
<i>Liparis tanakai</i> (Gilbert et Burke) 썸치 <i>Cyclogaster tanakae</i> : Uchida and Yabe(1939) <i>Liparis tanakai</i> : Mori(1952), Baek(1982).		3	3									
<i>Liparis tessellatus</i> (Gilbert et Burke)				3								
Order Perciformes 농어목												
Family 36. Moronidae 농어과												
<i>Lateolabrax japonicus</i> (Cuvier) 농어 <i>Lateolabrax japonicus</i> : Baek(1982).		3										
<i>Synagrops japonicus</i> (Sreindachner et Döderlein)			3					2				
<i>Synagrops philippinensis</i> (Günther)								3			3	
Family 37. Acropomatidae 반딧볼게르치과												
<i>Doederleinia berycoides</i> (Hilgendorf) 눈볼대 <i>Doederleima berycoides</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).											3	
Family 38 Serranidae 바리과												
Serranidae sp.				1				3			3	
<i>Chelidoperca hirundinacea</i> (Valenciennes) 각사돔 <i>Chelidoperca hirundinacea</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1974, 1982).								2, 3				

Table B-5. (Continued(1: Go *et al.*, 1991, 2: KORDI, 1989, 3: Yoo, 1991, 4: This study)

Species (Korean name)	Months	Jan	Feb	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep	Oct	Nov	Dec.
<i>Plectranthias japonicus</i> (Steindachner)	→											3	
<i>Plectranthias</i> sp.	→			3								3	
<i>Sacura margaritacea</i> (Hilgendorf) 꽃돔	→		3	3								3	
<i>Sacura margaritacea</i> : Baek(1982)													
<i>Epinephelus akaara</i> (Temminck et Schlegel) 붉바리	→								3			3	
<i>Epinephelus akaara</i> : Uchida and Yabe(1939).													
<i>Epinephelinae</i> sp.	→								3				
Family 39. Callanthiidae 노랑벤자리과													
<i>Callanthiidae</i> sp.	→											3	
<i>Callanthias japonicus</i> Franz 노랑벤자리	→			3	3				3				
<i>Percanthias japonicus</i> : Baek(1982).													
Family 40 Apogonidae 동갈돔과													
<i>Apogonidae</i> sp	→								1				
<i>Apogon notatus</i> (Houttuyn) 검경얼게비늘	→								2, 3	1	1		
<i>Apogon notatus</i> : KORDI(1995)													
<i>Apogon lineatus</i> Temminck et Schlegel 열등카리돔	→								2, 3				
<i>Apogon lineatus</i> : Kim and Lee(1994b)													
<i>Apogon semilineatus</i> Temminck et Schlegel 줄도화돔	→								2, 3				
<i>Apogon semilineatus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982)													
<i>Apogon coccineus</i> Rüppell	→								3				
<i>Apogon</i> spp	→								2, 3				
<i>Gymnapogon</i> spp	→								1, 2, 3				

Table 6-5 Continued(1: Go et al., 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name)	Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Family 41. Sillaginidae 보리멸과									4				
<i>Silago</i> sp.	→												
Family 42. Malacanthidae 옥돔과													
<i>Branchiostegus japonicus</i> (Hottuyn) 옥돔	→								2, 3			3	
<i>Branchiostegus japonicus</i> : Uchida and Yabe(1939).													
<i>Branchiostegus japonicus japonicus</i> : Baek(1982).													
Family 43. Pomatomidae 케르치과													
<i>Scombrops boops</i> (Hottuyn) 케르치	→								2				
<i>Scombrops boops</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).													
Family 44. Coryphaenidae 만새기과													
<i>Coryphaena hippurus</i> Linnaeus 만새기	→								2, 3, 4				
<i>Coryphaena hippurus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).													
Family 45. Carangidae 전갱이과													
<i>Caranx equula</i> Temminck et Schlegel 갈전갱이	→		3									3	
<i>Caranx equula</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).													
<i>Decapterus maruadsi</i> (Temminck et Schlegel) 가라지	→			3	3								
<i>Decapterus maruadsi</i> : Baek(1982).													
<i>Pseudocaranx dentex</i> (Bloch et Schneider)	→			3									
Family 46. Sparidae 도마과													
Sparidae sp.	→												
<i>Dentex tumifrons</i> (Temminck et Schlegel) 황돔	→			1					3				
<i>Taus tumifrons</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982)									3			3	

Table 6-5. Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name) / Months	Jan	Feb.	Mar	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov	Dec
<i>Pagrus major</i> (Temminck et Schlegel) 참돔 →			3	3	4			3				
<i>Pagrosomus major</i> : Uchida and Yabe(1939).												
<i>Chrysophrys major</i> : Baek(1982).												
Family 47. Lethrinidae 갈돔과												
<i>Lethrinus nematacanthus</i> Bleeker 줄갈돔 →								3				
<i>Lethrinus nematacanthus</i> : Kim and Lee(1994b)												
Family 48. Gerriidae 게레치과												
<i>Gerres oyena</i> (Forsskal) 게레치 →								2				
Family 49. Sciaenidae 민어과												
<i>Argyrosomus argentatus</i> (Houttuyn) 보구치 →											3	
<i>Nibea argentatus</i> : Uchida and Yabe(1939).												
<i>Nibea</i> sp. →								2, 3				
<i>Pseudosciaena crocea</i> (Richardson) 부세 →			3								3	
<i>Pseudosciaena crocea</i> : Baek(1982).												
Family 50. Mullidae 촉수과												
<i>Upeneus bensasi</i> (Temminck et Schlegel) 노랑촉수 →								2, 3				
<i>Upeneus bensasi</i> : Baek(1982, 1984)												
Family 51 Pempheridae 주걱치과												
<i>Pempheris japonica</i> Döderlein 날개주걱치 →								3				
<i>Pempheris vanicolensis</i> : Baek(1982)												

Table 6-5. Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name)	Months	Jan	Feb	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov	Dec
Family 52. Kyphosidae 황줄깜징이과													
<i>Labracoglossa argentiventris</i> Peters 황조어 →												3	
<i>Labracoglossa argentiventris</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1974, 1982, 1985).													
<i>Girella melanichthys</i> (Richardson) 긴꼬리벙에돔 →												3	
<i>Girella melanichthys</i> : Baek(1982) Kim and Lee(1994a).													
<i>Girella punctata</i> Gray 벙에돔 →		3			1, 3								
<i>Girella punctata</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).													
Family 53. Teraponidae 살벤자리과													
<i>Terapon theraps</i> Cuvier →					3								
Family 54. Cepolidae 홍갈치과													
<i>Cepola schlegeli</i> (Bleeker) 홍갈치 →												3	
<i>Cepola schlegeli</i> : Baek(1982).													
<i>Acanthocephala limbata</i> (Valenciennes) →				3									
<i>Acanthocephala krusensterni</i> (Temminck et Schlegel) 점줄홍갈치									2				
Family 55 Pomacentridae 자리돔과													
Pomacentridae sp →		1							1, 3	1	1	1	
<i>Chromis notatus</i> (Temminck et Schlegel) 자리돔 →							1	1	all	1			
<i>Chromis notatus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982, 1985)													
<i>Pomacentrus coelestis</i> Jordan et Starks 파랑돔 ·										1			
<i>Pomacentrus coelestis</i> : Mori(1952), Baek(1982, 1985).													
<i>Plectroglyphidodon leucozonus leucozonus</i> (Bleeker) ·												3	



Table 6-5 Continued(1. Go *et al.*, 1991; 2. KORDI, 1989; 3. Yoo, 1991; 4. This study)

Species (Korean name)	Months	Jan	Feb.	Mar	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep	Oct	Nov	Dec.
Family 56. Labridae 놀래기과													
Labridae spp.	→								2, 3				
<i>Cheilinus</i> sp.	→											3	
<i>Halichoeres poecilopterus</i> (Temminck et Schlegel) 용시놀래기 <i>Halichoeres poecilopterus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).	→								3				
<i>Halichoeres</i> sp.	→								3				
<i>Pseudolabrus japonicus</i> (Houttuyn) 황놀래기 <i>Pseudolabrus japonicus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982)	→											3, 4	
<i>Xyrichtys</i> spp.	→								3			3	
Family 57. Zoarcidae 등가시치과													
Zoarcidae sp	→											3	
<i>Zoarchias glaber</i> Tanaka 민베도라치 <i>Zoarchias glaber</i> : Kim and Kang(1991)	→		1										1
<i>Zoarchias veneficus</i> Jordan et Snyder	→				1	1							
Family 58. Stichaeidae 장갱이과													
Stichacidac sp	→					1							
<i>Opisthocentrus tenuis</i> Bean et Bean	→		1, 3										
Family 59. Pholididae 황줄베도라치과													
<i>Pholis nebulosa</i> (Temminck et Schlegel) 베도라치 <i>Pholis nebulosa</i> : Kim and Lee(1994b)	→				1								
<i>Enedrias fangi</i> Wand et Wang	→		3										

Table 6-5 Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name)	Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Family 60. Champsodontidae													
<i>Champsodontidae</i> sp.	→		3						3				
<i>Champsodon snyderi</i> Franz	→				3				2, 3			3, 4	
Family 61. Pinguipedidae 양동미리과													
<i>Parapercis pulchella</i> (Temminck et Schlegel) 눈동미리	→								3				
<i>Parapercis snyderi</i> Jordan et Starks 동미리	→								3				
<i>Parapercis</i> sp.	→				3				3				
Family 62. Percophidae													
<i>Spinapsaron</i> sp.	→		3						3			3	
Family 63. Ammodytidae 가나리과													
<i>Ammodytes personatus</i> Girard	→		1, 3										1
<i>Embolichthys mitsukurii</i> (Jordan et Evermann)	→								3				
Family 64. Uranoscopidae 통구멍과													
<i>Gnathagnus elongatus</i> (Temminck et Schlegel) 쿠령통구멍 <i>Gnathagnus elongatus</i> : Baek(1982).	→									1		1, 3, 4	
<i>Uranoscopus</i> sp.	→								3				
Family 65. Tripterygiidae 떡도라치과													
<i>Enneapterygius theostomus</i> (Jordan et Snyder) 기막베도라치 <i>Enneapterygius theostomus</i> : Uchida and Yabe(1939).6789(108af)	→								4			4	
<i>Tripterygion bapturnum</i> Jordan et Snyder 청황베도라치	→					1, 4							
<i>Enneapterygius</i> sp.	→								4				

Table 6-5 Continued(1: Go *et al.*, 1991, 2: KORDI, 1989, 3: Yoo, 1991, 4: This study).

Species (Korean name)	Months	Jan	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep	Oct	Nov.	Dec
Family 66. Labrisomidae 비늘베도라치과													
<i>Neoclinus bryope</i> (Jordan et Snyder) 비늘베도라치 <i>Neoclinus bryope</i> Kim and Kang(1991)	→		1	1								1	
Family 67. Blenniidae 청베도라치과													
<i>Entomacrodus stellifer lighti</i> (Herre) 저울베도라치 <i>Istiblennius stellifer</i> : Uchida and Yabe(1939). <i>Entomacrodus stellifer lighti</i> : Kim and Kang(1991).	→								2				
<i>Omobranchus elegans</i> (Steindachner) 앞동갈베도라치 <i>Dasson elegans</i> : Uchida and Yabe(1939). <i>Omobranchus elegans</i> : Baek(1982), Kim and Kang(1991).	→						1	1	all				
<i>Omobranchus loxozonus</i> (Jordan et Starks)	→						1						
<i>Omobranchus</i> sp.	→					4		1					
<i>Petroscirtes breviceps</i> (Valenciennes) 두줄베도라치 <i>Omobranchus trossulus</i> : Baek(1982).	→								1, 2	1	1	4	
<i>Pictiblennius yatabei</i> (Jordan et Snyder) 청베도라치 <i>Blennius yatabei</i> : Uchida and Yabe(1939).	→					4		1	1, 3, 4				
<i>Pholidapus dybowskii</i> (Steindachner)	→				1								
Family 68. Gobiesocidae 학치과													
Gobiesocidae sp.	→								2	1			
<i>Aspasmichthys ciconiae</i> (Jordan et Fowler) 황학치 <i>Aspasma ciconiae</i> : Mori(1952)	→								4				
<i>Aspasma minima</i> (Döderlein)	→							1		1	1		
<i>Discotrema crinophila</i> Briggs	→					1							
<i>Lepadichthys frenatus</i> Waite	→								1	1	1		

Table 6-5. Continued(1: Go *et al.*, 1991, 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name) . Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug	Sep.	Oct.	Nov	Dec
Family 69. Callionymidae 뚝양태과												
Callionymidae sp →				3	4			all	1	1	3	
<i>Conidens laticephalus</i> (Tanaka) →								1	1			
Family 70. Gobiidae 망둥어과												
Gobiidae spp. →		3	3	1, 3	4	1		all	1	1	3, 4	
<i>Astrebe lactisella</i> Jordan et Snyder →						1						
<i>Luciogobius guttatus</i> Gill 미끈망둑 →		1	1									
<i>Luciogobius guttatus</i> : Uchida and Yabe(1939), Jo(1980), Choi and Jeon(1980).												
<i>Luciogobius grandis</i> Arai →					1							
<i>Luciogobius</i> sp. →				3		1						
<i>Heteropomus barbatus</i> (Tomiyama) →								3				
<i>Valenciennesa helsdingeni</i> (Bleeker) →							1	1	1			
Family 71. Microdesmidae 등설망둑과												
<i>Parioglossus</i> sp →								3				
Family 72 Siganidae 독가시치과												
<i>Siganus fuscescens</i> (Houttuyn) 독가시치 →								2, 3				
<i>Siganus fuscescens</i> Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).												

Table 6-5. Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study)

Species (Korean name)	Months	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Family 73. Sphyraenidae 꼬치고기과													
<i>Sphyraena japonica</i> Cuvier 애꼬치	→					1							
<i>Sphyraena japonica</i> : Baek(1984).													
<i>Sphyraena pinguis</i> (Günther) 꼬치고기	→								2, 3				
<i>Sphyraena pinguis</i> : Uchida and Yabe(1939).													
<i>Sphyraena schlegeli</i> : Baek(1982).													
Family 74. Gempylidae 갈치꼬치과													
<i>Nealotus tripes</i> Johnson	*											3	
<i>Nesiarchus nasutus</i> Johnson	*								3				
Family 75. Trichiuridae 갈치과													
<i>Trichiurus lepturus</i> Linnaeus 갈치	*							1	2, 3			3	
<i>Trichiurus lepturus</i> : Baek(1982)													
<i>Benthodesmus elognatus pacificus</i> Parin et Bekker	→											3	
Family 76. Scombridae 고등어과													
Scombridae sp.	→								3				
<i>Auxis thazard</i> (Lacépède) 불치다래	→								3				
<i>Auxis thazard</i> : Baek (1982)													
<i>Auxis tapeinosoma</i> Bleeker	→								3				
<i>Auxis</i> sp.	→								all				
<i>Scomber japonicus</i> Honnuygn 고등어	→		1	1, 3	3			1	1, 3	1	1	1	1
<i>Scomber japonicus</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982).													

Table 6-5 Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study)

Species (Korean name) Months	Jan	Feb.	Mar	Apr	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Family 77. Centrolophidae 셋돔과												
<i>Psenopsis anomala</i> (Temminck et Schlegel) 셋돔 →								3				
<i>Psenopsis anomala</i> : Uchida and Yabe(1939).												
Family 78. Nomeidae 노메치과												
<i>Psenes pellucidus</i> Lütken 물릉돔 →										3		
<i>Psenes arafrensis</i> Günther →								3				
Order Pleuronectiformes 가자미목												
Family 79. Bothidae 별목탁가자미과												
<i>Arnoglossus tenuis</i> Günther →			3									
<i>Asterorhombus intermedius</i> (Bleeker) →								3				
<i>Bothus myriaster</i> (Temminck et Schlegel) →								3		4		
<i>Crossorhombus kobensis</i> (Tanaka) →										3		
<i>Engyprosopon</i> sp. →								3		3		
<i>Psettina tosana</i> Amaoka →			3									
<i>Tosarhombus</i> sp →								3		3		
Family 80 Paralichthyidae 넘치과												
Paralichthyidae sp →				3				2, 3				
<i>Pseudorhombus pentophthalmus</i> Guther 삼넙치 →								3				
<i>Pseudorhombus pentophthalmus</i> : Uchida and Yabe(1939).												

Table 6-5 Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study)

Species (Korean name)	Months	Jan	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct	Nov	Dec
Family 81. Pleuronectidae 가자미과													
<b>Pleuronectidae</b> sp	→		3						3				
<b><i>Eopsetta grigorjewi</i></b> (Herzenstein) 물가자미	→		3										
<i>Eopsetta grigorjewi</i> : Uchida and Yabe(1939), Baek(1982)													
<i>Xystrias grigorjewi</i> : Mori(1952).													
<b><i>Verasper variegatus</i></b> (Temminck et Schlegel) 넓가자미	→		3										
<i>Verasper variegatus</i> : Chyung(1977), Baek(1982)													
<b><i>Limanda yokohamae</i></b> (Güther) 문치기자미	→		3										
<i>Limanda yokohamae</i> : Kim and Lee(1994b)													
<b><i>Microstomus achne</i></b> (Jordan et Snyder) 찰가자미	→		3										
<i>Microstomus achne</i> : Uchida and Yabe(1939).													
<b><i>Pleuronichthys cornutus</i></b> (Temminck et Schlegel) 도다리	→			3									
<i>Pleuronichthys cornutus</i> : Baek(1982).													
<b><i>Tanakius kitaharae</i></b> (Jordan et Snyder) 갈가자미	→											3	
<i>Tanakius kitaharae</i> : Uchida and Yabe(1939).													
<b><i>Cleisthenes pinetorum herzensteini</i></b> (Schmidt)	→			3									
<i>Embassichthys bathybius</i> (Gilbert)													
<b><i>Kateius bicoloratus</i></b> (Basilewsky)	→		3										
<b><i>Poecilopsetta plinthus</i></b> (Jordan et Starks)	→		3						3				
Family 82. Soleidae 납석대구과													
Soleidae sp	→											3	

Table 6-5 Continued(1: Go *et al.*, 1991; 2: KORDI, 1989; 3: Yoo, 1991; 4: This study).

Species (Korean name) Months	Jan	Feb	Mar.	Apr	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Family 83. Cynoglossidae 참서대과												
<i>Cynoglossus joyneri</i> Günther 참서대 → <i>Areliscus joyneri</i> : Baek(1982).								3, 4			3	
<i>Cynoglossus robustus</i> Günther 개서대 → <i>Cynoglossus robustus</i> : Uchida and Yabe(1939).								2, 3				
<i>Cynoglossus</i> sp. →			3					2				
Order Tetraodontiformes 복어목												
Family 84. Monacanthidae 쥐치과												
<i>Aluterus monocerus</i> (Linnaeus) 객주리 → <i>Aluterus monocerus</i> : Baek(1984)								3				
<i>Rudarius ercodes</i> Jordan et Fowler 그물코쥐치 → <i>Rudarius ercodes</i> : Baek(1982).								1, 2, 4	1	1		
<i>Paramonacanthus japonicus</i> (Tilesius) 새양쥐치 →		1						1	1	1	1	
<i>Stephanolepis cirrhifer</i> (Temminck et Schlegel) 쥐치 → <i>Monacanthus cirrhifer</i> : Uchida and Yabe(1939) <i>Stephanolepis cirrhifer</i> : Baek(1982)								1, 3				
Family 85. Tetraodontidae 참복과												
<i>Takifugu niphobles</i> (Jordan et Snyder) 복섬 → <i>Sphaeroides niphobles</i> : Uchida and Yabe(1939) <i>Fugu niphobles</i> : Chyung(1977), Jo(1980). Choi and Jeon(1990). Baek(1982).					1		1	1				





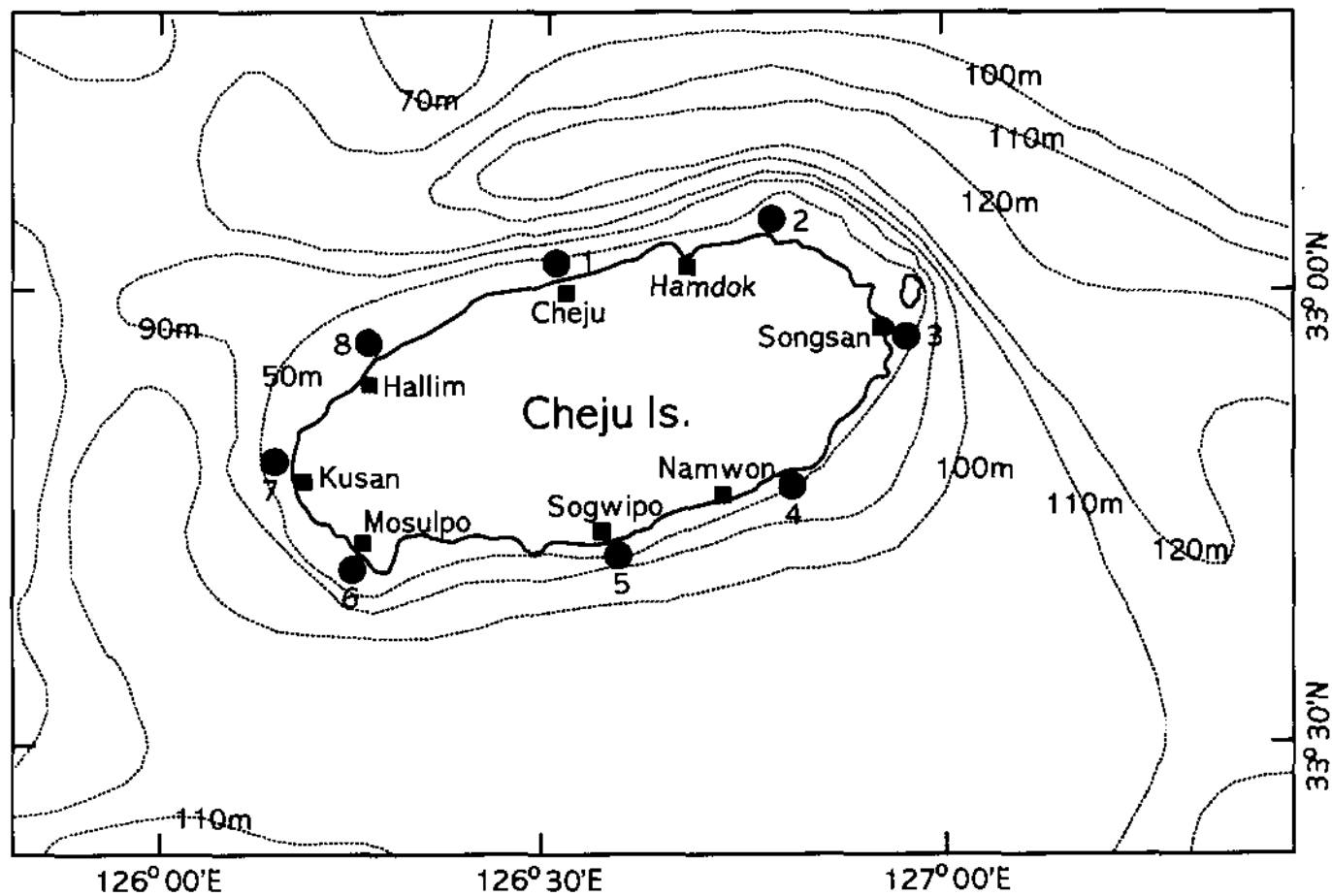


Fig. 6-1. Map showing the sampling stations.

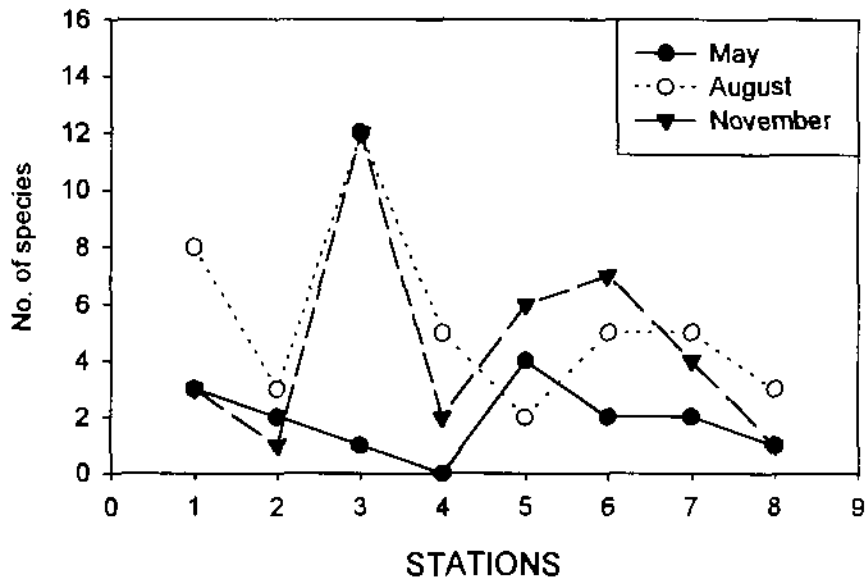


Fig. 6-2. Variations of number of larval fish species at each station in the coastal area of Cheju Island 1998.

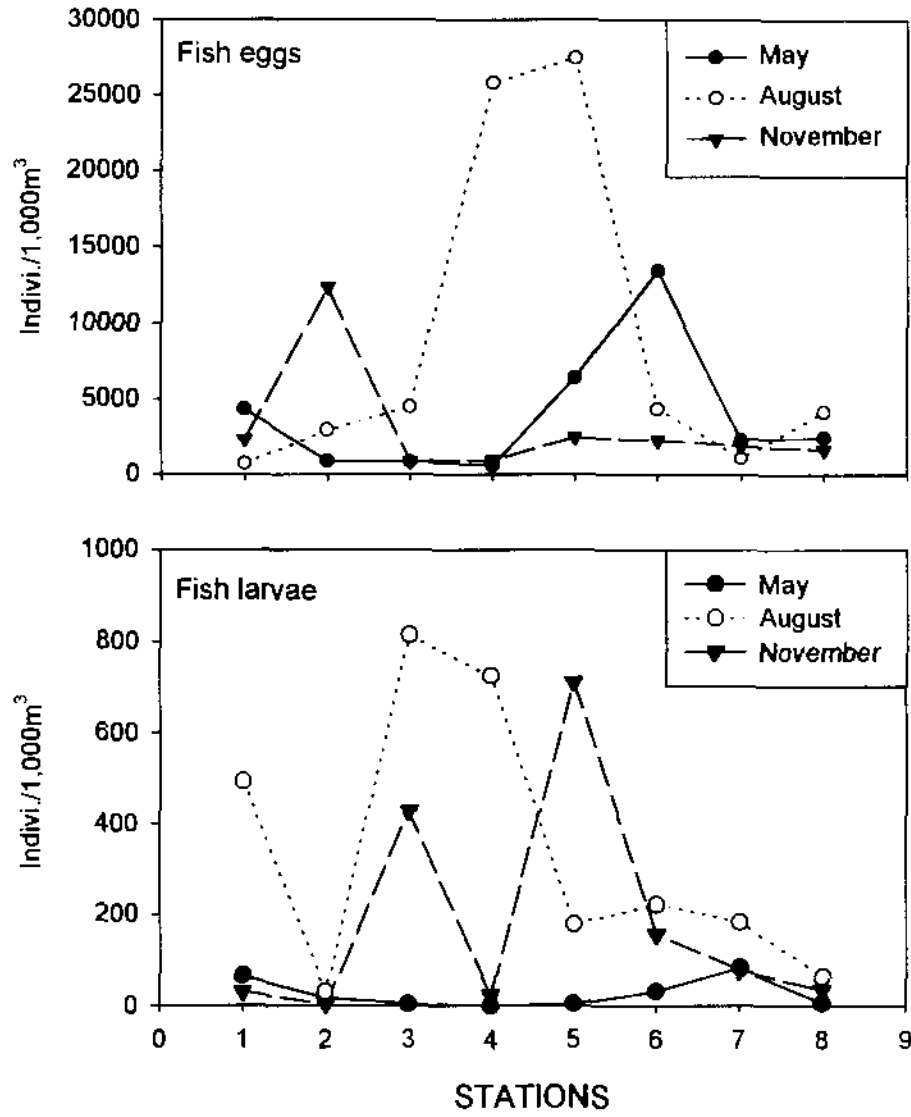


Fig. 6-3. Variation of abundance of fish eggs and larvae at each station in the coastal area of Cheju Island 1998.

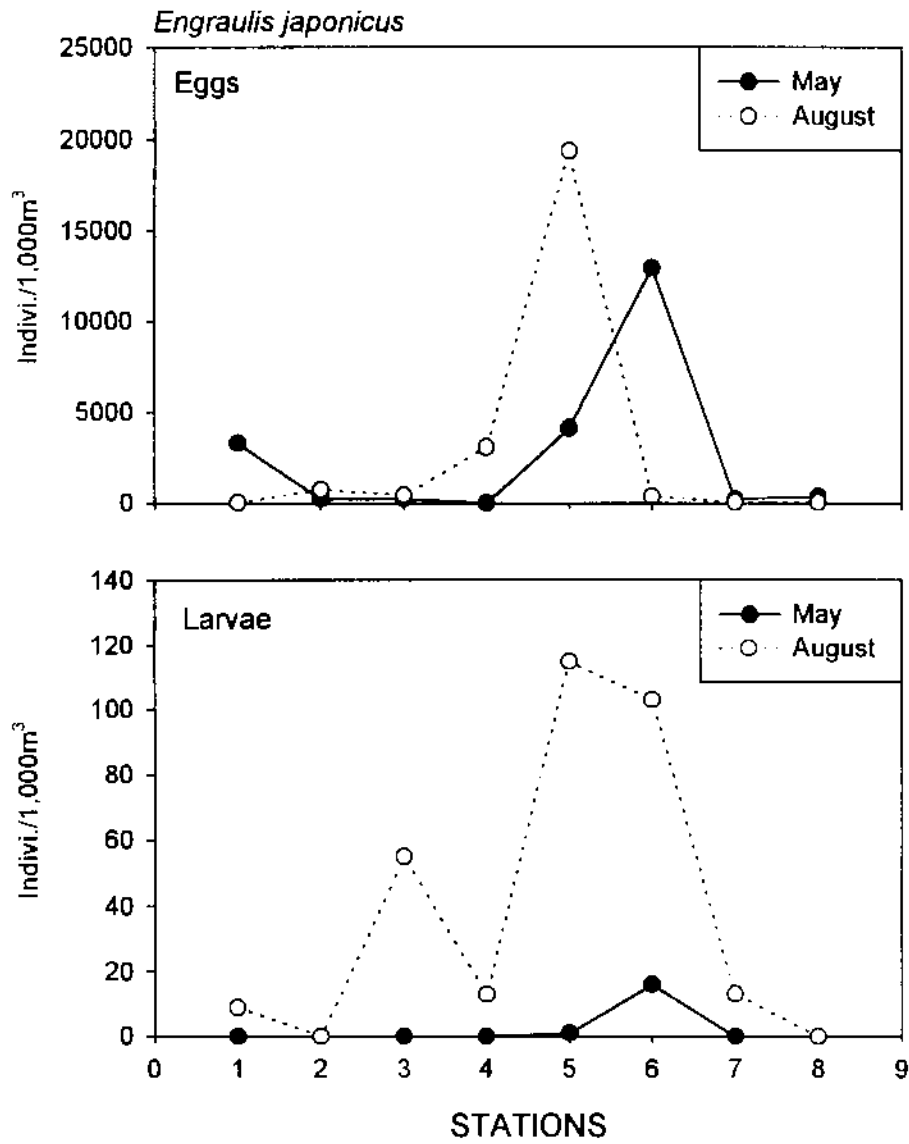


Fig. 6-4 Variation of abundance of *Engraulis japonicus* eggs and larvae at each station in the coastal area of Cheju Island, 1988.

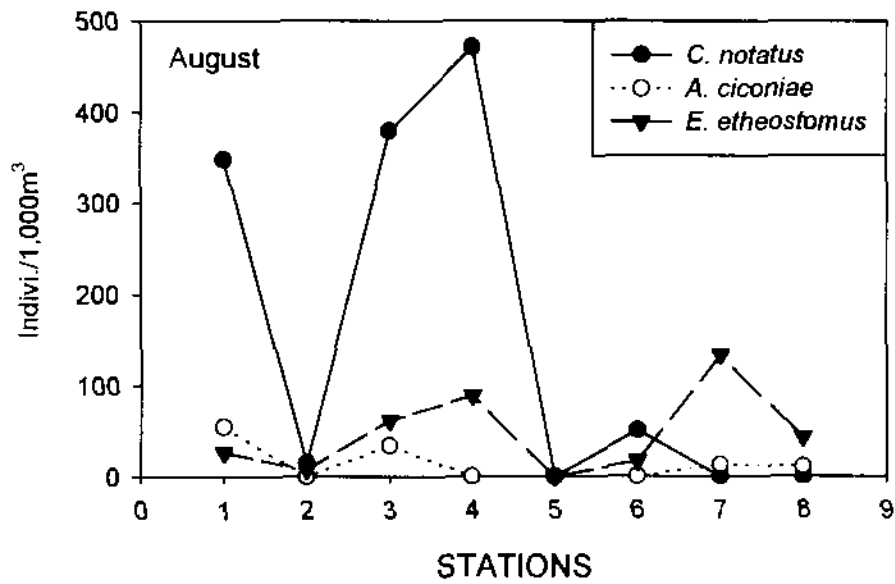


Fig. 6-5. Variation of abundance of three dominant fish larvae at each station in the coastal area of Cheju Island in August, 1998.

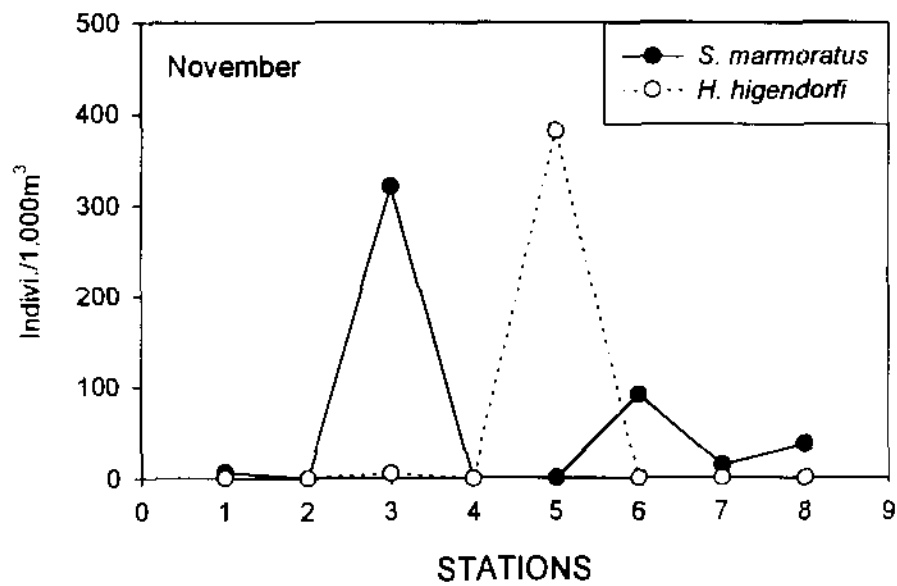


Fig. 6-6. Variation of abundance of two dominant fish larvae at each station in the coastal area of Cheju Island in November, 1998.

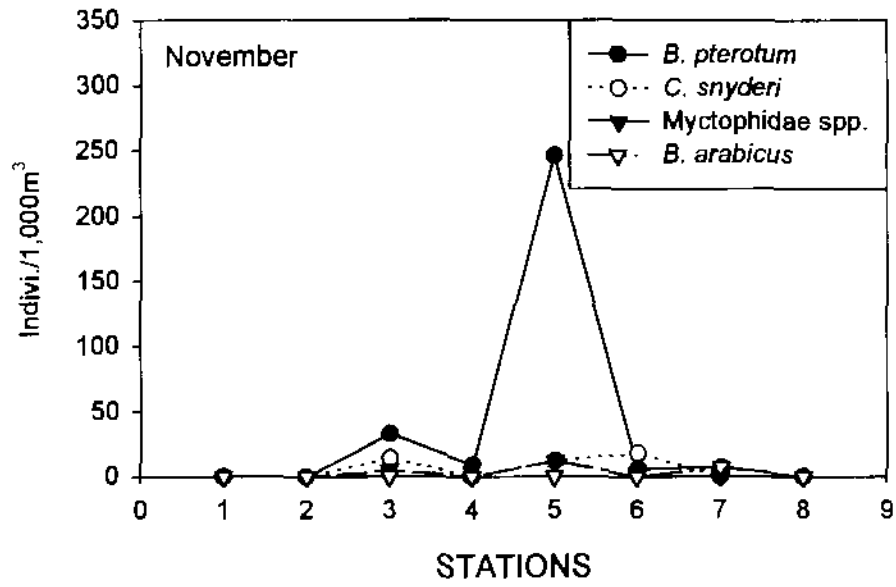


Fig. 6-7. Variation of abundance of four warm water species at each station in the coastal area of Cheju Island in November, 1998.



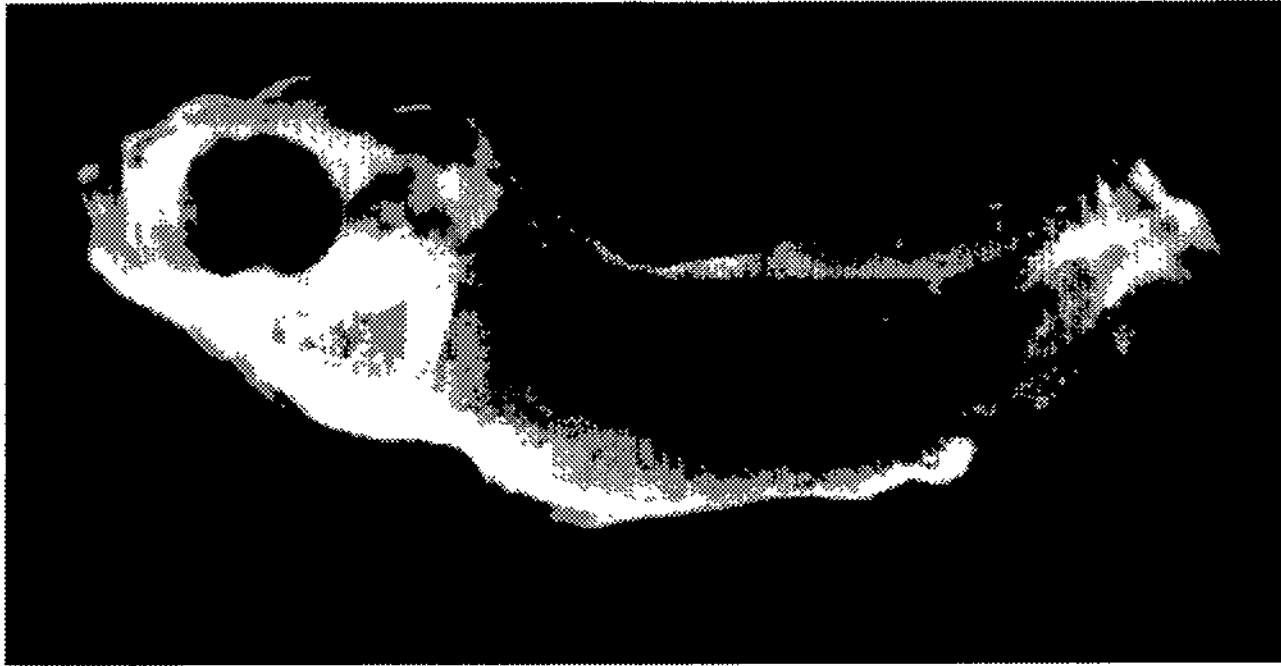


Fig. 6 8. Larvae of *Aspsmichthys ciconiae* (BL 2.4 mm, 50 X) from Cheju Island in August, 1998.



Fig. 6-9. Larvae of *Auxis* sp. (BL 4.5 mm, 25 X) from Yousu in August, 1996.



Fig. 6-10. Larvae of *Benthosema pterotum* (BL 5.6 mm, 20 X) from Cheju Island in November, 1998.

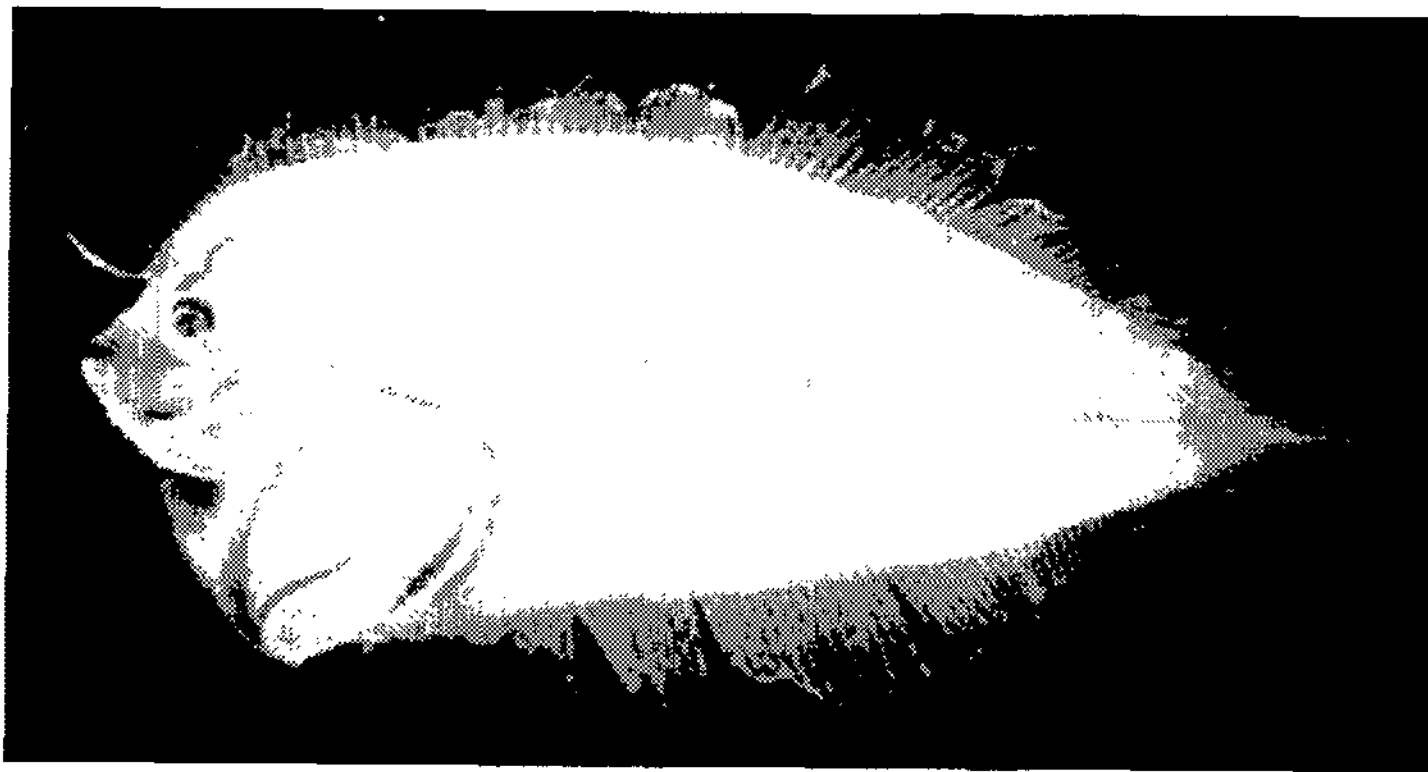


Fig. 6 11. Larvae of *Bothus myriaster* (BL 15 mm, 8 X) from Cheju Island in November, 1998.



Fig. 6-12. Larvae of *Champsodon snyderi* (BL 5.2 mm, 20 X) from Cheju Island in November, 1998.

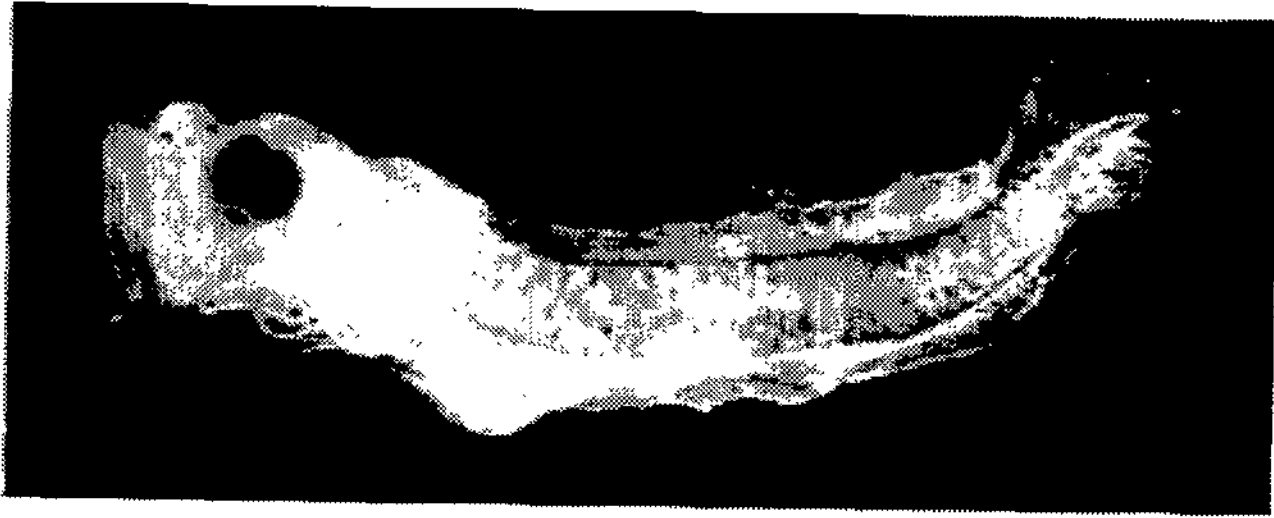


Fig. 6-13. Larvae of *Corypaena hippurus* (BL 4.6 mm, 25 X) from Cheju Island in August, 1998.



Fig. 6-14. Larvae of *Gnathagnus elongatus* (BL 5.9 mm, 16 X) from Cheju Island in September, 1997.

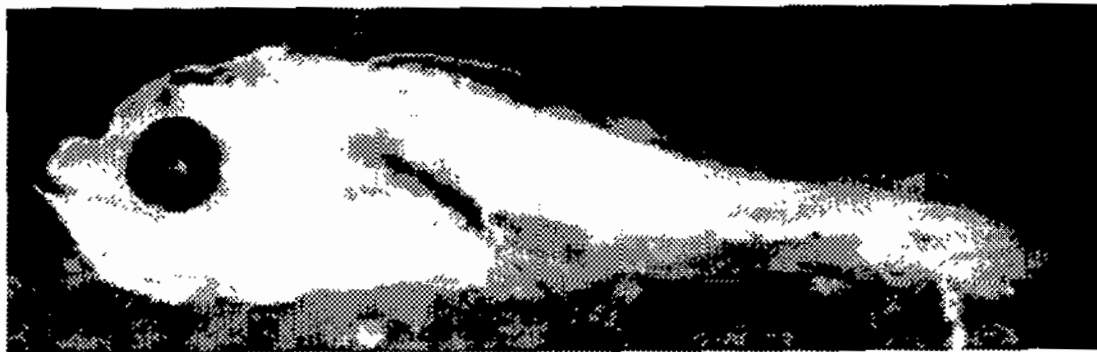


Fig. 6-15. Larvae of *Helichoeres hilgendorf* (BL 5.1 mm, 20 X) from Cheju Island in April, 1998.



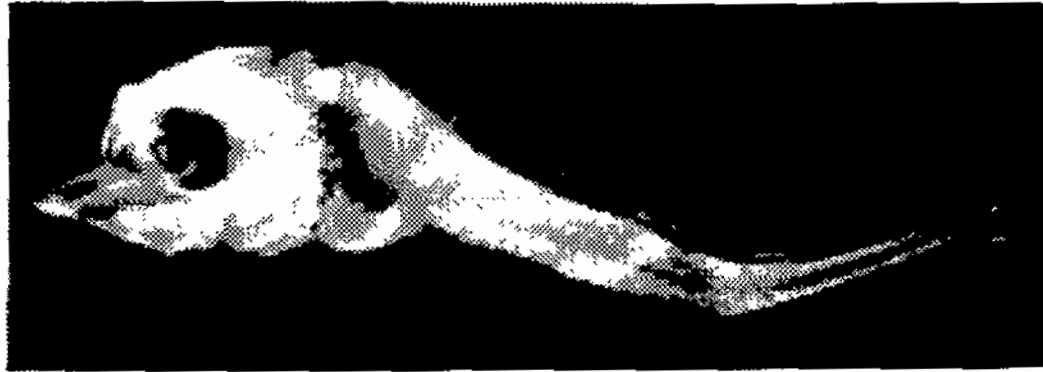


Fig. 6-16. Larvae of *Laemonema nana* (BL 2.5 mm, 40 X) from Cheju Island in November, 1998.



Fig. 6-17. Larvae of Mullidae (BL 5.2 mm, 20 X) from Cheju Island in July, 1997.

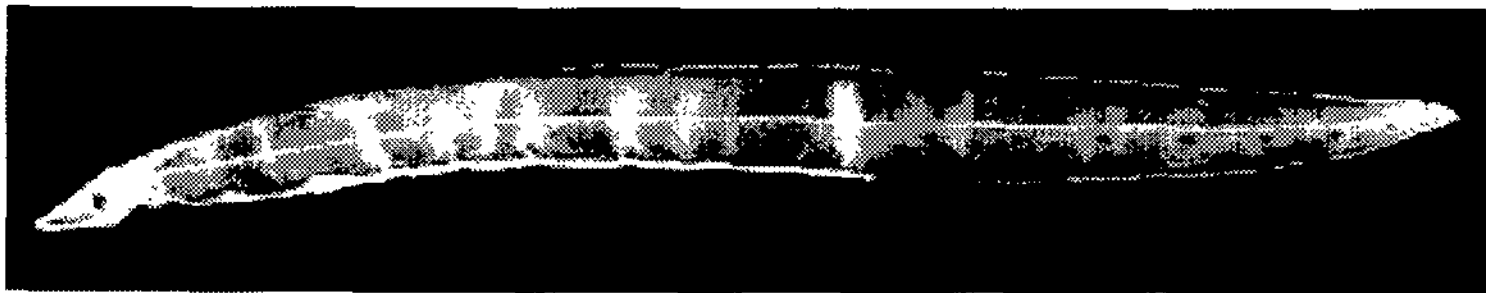


Fig. 6-18. Larvae of Ophichthidae (BL 15.0 mm, 10 X) from Cheju Island in November, 1998.



Fig. 6-19. Larvae of *Petroscoirtes breviceps* (BL 9.8 mm, 10 X) from Cheju Island in September, 1997.



Fig. 6-20. Larvae of *Enneapterygius etheostomus* (BL 5.0 mm, 25 X) from Cheju Island in November, 1998.

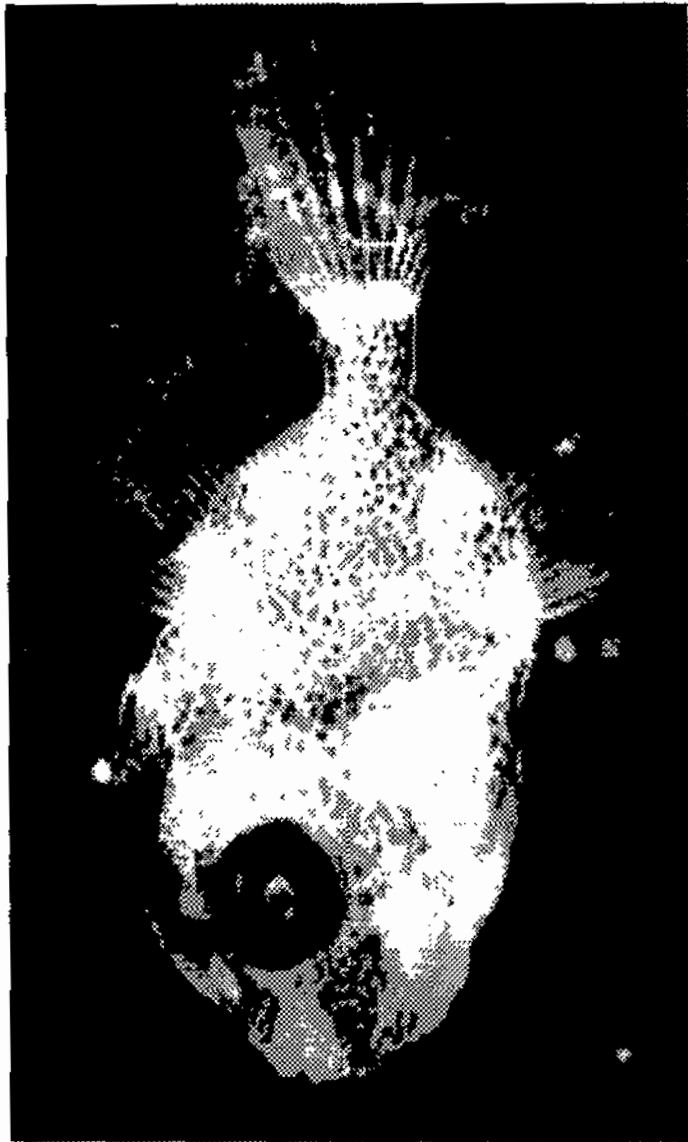


Fig. 6-21. Larvae of *Rudarius ercodes* (BL 4.2 mm, 20 X) from Cheju Island in July, 1997.



Fig. 6 22. Larvae of *Sebastes phachycephalus* (BL 5.2 mm, 20 X) from Cheju Island in March, 1997.



Fig. 6-23. Larvae of *Sebastiscus marmoratus* (BL 2.7 mm, 40 X) from Cheju Island in November, 1998.



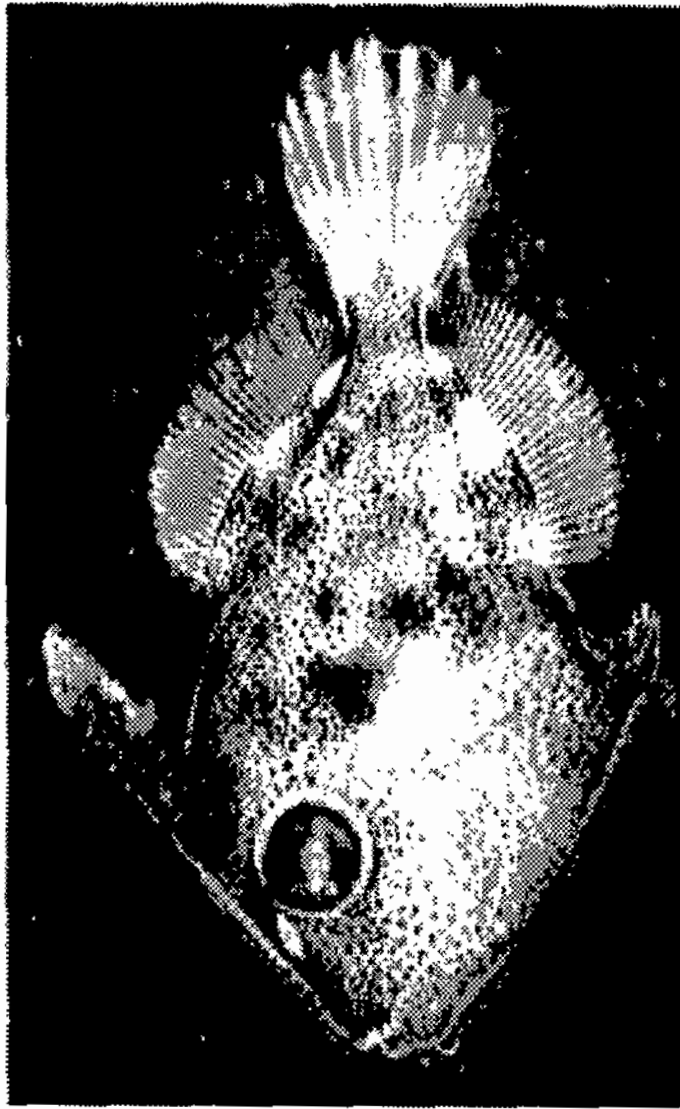


Fig. 6-24. Larvae of *Stephanolepis cirrhifer* (BL 10.6 mm, 8 X) from Cheju Island in July, 1997

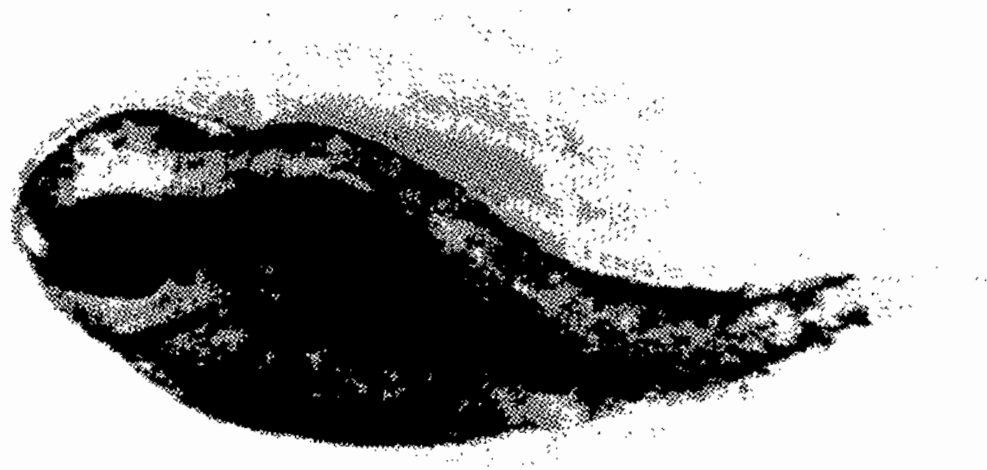


Fig. 6 25. Larvae of *Takifugu* sp. (BL 2.8 mm, 40 X) from Cheju Island in May, 1998.

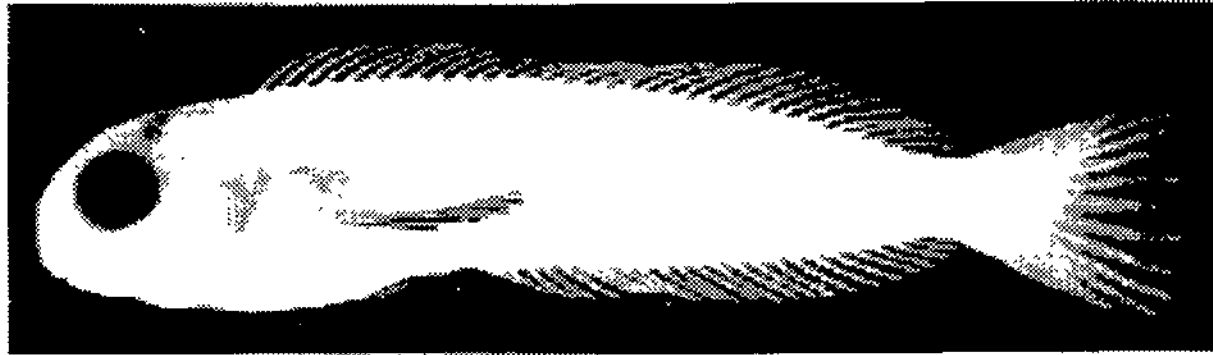


Fig. 6-26. Larvae of *Omobranchus elegans* (BL 16.0 mm, 6.5X ) from Inchon in August, 1998.



## 제 4 장

# 연구개발 목표 달성도 및 기여도



## 제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 기여도

본 연구는 10년간의 장기과제로서 제주해류변동성을 포함하는 남해 대륙붕과 한반도간의 물질이동기구를 규명하고 저서생물화학특성 및 거대물질을 규명개발하여 지속가능한 남해 이용과 개발을 위한 환경보전 종합시스템을 구축하는 것을 최종목표로 하였고 주요 분야별 연구목표는 다음과 같다. (1)제주해류 및 남해 해수순환변동연구, (2) 혐기성 내만환경 발달과정규명연구, (3) 대륙붕역 생지화학 플럭스 결정 주요과정연구, (4) 저서생물 생화학 특성규명, (5) 세립퇴적물이동, (6)치자어 및 어류 군집구조연구이다.

본 1998년은 제 2 차년도 연구사업기간으로 조사연구가 수행되었고 분야별 주요 연구개발 목표의 달성도 및 기여도는 다음과 같다.

### 연구개발목표의 달성도

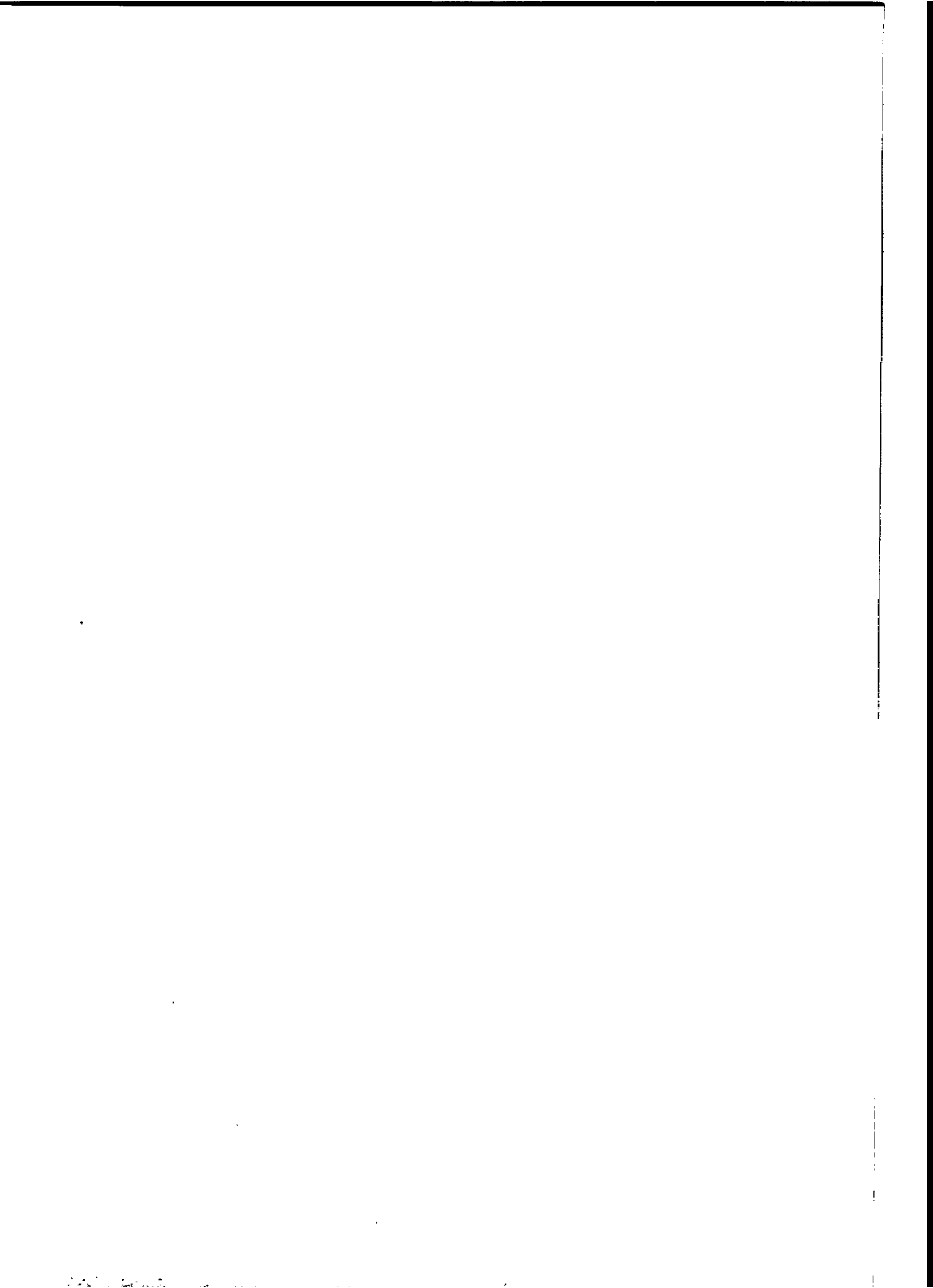
분야	개발 목표 및 내용	달성도	기여도
○ 남해 자료 수집	기존 해양관측자료 수집	100	-남해 연구에 활용
○ 해양조사	1998년 4월, 9월, 11월 (3회실시)	100	-국립해양조사원 및 대학과의 조사선 공동활용을 통해 협동연구 발판을 마련하고 연구비 절감에 기여
○ 워크샵 개최	대학, 산업계, 연구소 참여 (총 27편 논문 발표)	100	-국내 남해연구 활성화
○ 혐기성 내만환경	-내만환경에서의 중금속 원소 거동 -혐기성 내만환경의 물리, 화학, 생물학적 발생원인	100	-다른 내만해역의 물질수지 연구에 기여 -폐쇄성 내만해역의 용존 산소 수지 및 혐기성 환경 발생 예측에 기여
○ 대륙붕 물질수지 및 생지화학적 순환	- 계절별 친생물 원소 및 유기물 분포 특성 -퇴적물의 해저 축적율과 퇴적 역학 - 계절별 일차생산력 -대기유입 화학물질 특성 -라듐 동위원소 이용 남해 해수 기원 규명 -제주해협통과 물질 플럭스	100	- 수산자원 관리의 기초 자료로서 제공 - 생지화학과정 규명을 위한 기초자료 제공 - 수산자원의 합리적 이용 - 대기기원 오염물질 수지 예측 - 수괴 추적율 위한 기반 구축 - 남해환경관리정책 입안에 기초자료로서 기여

분야	개발목표 및 내용	달성도 (%)	기여도
생화학특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 퇴적물로부터 균주 분리</li> <li>- 지방 및 탄화수소를 이용한 생물추적자 활용</li> </ul>	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양세균 활동도 및 유기물질분해 및 순환을 이해하는데 기여</li> <li>- 고부가가치 산물의 생산에 기여하여 경제적 중요성을 고양</li> </ul>
세립질퇴적물 이동	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 홀로세 퇴적작용 요약</li> <li>- 박스코아퇴적물 분석</li> <li>- 만 안팎 부유물질 거동특성 파악</li> </ul>	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해수면 상승에 따른 연안세립질퇴적물의 퇴적작용 이해</li> <li>- 남해와 제주도근방의 세립질퇴적물의 기원 파악</li> <li>- 잔해, 마산만의 부유물질출입량을 정량분석</li> </ul>
치자어 분야 및 어류군집	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대마난류를 따라 회유하는 치자어 종 조성 파악</li> <li>- 제주도 주변해역에서 출현하는 치자어 계절별 종 조성 파악</li> <li>- 치자어 사진자료 확보</li> </ul>	100	제주도 주변해역을 대상으로 계절별 종 조성과 대마난류를 따라 출현하는 치자어의 종 조성을 파악하였고, 치자어 분류에 도움을 줄 수 있는 20여 종의 치자어 사진을 확보하였음.
해류 및 해수순환	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 남해의 역사적 해류자료와 조위 자료의 수집 및 분석</li> <li>- 제주해협, 제주도 동부, 남해도 남쪽의 기준선에서의 여름철과 겨울철 ADCP 및 CTD 반복 관측을 통해 계절별 해황특성 및 해류구조 파악</li> <li>- 남해에 표층부표를 투하하여 해류의 공간적인 특성 파악</li> <li>- 3차원 해수순환모델을 이용한 남해 해수순환 시도 (조석강제력은 고려안함)</li> </ul>	<p>100</p> <p>90</p> <p>100</p> <p>95</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 남해 연안 강수량 자료 수집하여 통계분석</li> <li>- 제주해협에서의 계절별 해류분포와 해수특성 분포를 파악함으로써 국립조사원이 대한해협에서 확보한 자료와 함께 남해의 해수순환을 파악하고 순환모델링을 포함한 시스템 모델링의 기반자료로 이용</li> <li>- 해협내 해류분포 자료는 황해와 동중국해로부터 남해로 유입되는 세반 물질의 플럭스의 정량적 변동을 파악하는데 기여</li> <li>- 3차원 해수순환 모델 결과는 남해의 오염물질, 적조, 유출유의 이동·확산의 실시간 예측에 기여</li> </ul>



## 제 5 장

### 연구개발결과의 활용계획



## 제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

### 제 1 절 추가연구의 필요성

남해는 생물의 생산력이 높고 유기물의 유입량 및 저장량이 많아 대륙-해양 교환과정을 이해하는데 매우 중요한 곳이다. 향후 내만해역에서 일어나는 각종 해양과정의 이해를 위해 더욱 심도 있는 연구가 필요하다. 또한 최근 장강 창장 (양자강) 수자원 보호국의 조사에 의하면 양자강 주변의 50개 대도시와 16만개의 공장에서 배출되는 생활하수 및 공장폐수중 83%가 정화처리없이 배출되어 상당량의 오염물질이 해양으로 배출되어지고 있고, 이러한 폐수 배출량은 매년 2~3% 씩 증가하고 있다고 보고되어져 있다. 따라서 양자강의 영향을 많이 받는 남해에서의 이들의 시공간적인 변화가 남해환경에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 자세히 검토되어져야 하고, 한반도 연안역과 외해역간의 물질교환 특성에 대한 연구가 계속 수행되어야 할 것이다.

남해의 해양을 지속성장가능한 환경으로 보전 이용하기 위하여서는 남해를 구성하는 생지화학 환경에 관한 정밀 지식이 필요하며 이러한 과학적 지식에 근거한 이용과 보전방안이 강구되어야 한다. 이를 위하여서는 남해 유기물의 생산과 분해, 저장기작과 이를 지배하는 해양생지화학과정과 물리과정 (제주해류, 대마난류)과의 상호 연관성등이 집중 조사연구되어야 한다. 이러한 자연적 현상을 근간으로 하여 이를 교란하는 인위적 과정 (해양이용과 오염)을 평가하는 지식기반의 구축은 매우 시급하다.

남해 연안 (열.염전선 이북)의 육성기성물질의 다량유입과 높은 박테리아활동등은 heterotroph화 또는 혐기성으로 환경이 변하고 있음으로 이의 원인과 향후 변화를 예측하는 기본 기구의 규명이 추가적으로 연구되어야 한다.

남해 대륙붕해역의 탄소, 질소, 인, 규소의 정밀 화학 존재 형태와 운반물질의 생성과 변천에 관한 정밀 연구가 분자수준의 조사와 병행하여 필요하다.

비교적 교란이 덜된 연대가 수립된 해저퇴적물 기둥에서의 화학물질의 시간에 따른 조성변화를 구축하여 향후 백년이내의 환경변화를 예측하는 노력이 필요하다. 이는 육상인간활동과 이에 따른 해양의 반응을 조사연구하는 기술을 개발하는 것으로 지구환경변화연구의 주요 사업중의 하나이다.

남해 대륙붕서식 생물중 1차년도에 해산갯지렁이와 목산호의 유용화학물질의 다량함유 발견에 이어 2차년도에서도 산업물질을 다량 함유하고 있는 2개 해조류를 또한 양식할수 있는 생물이 발견된바 향후 서식 저서 생물을 집중적으로 조사하여 산업물질 생산 후보 생물을 발굴하여야 한다.

또한 본 연구에서는 최초로 제주해협내 해류의 공간적인 분포와 해수 수송량을 정량적으로 제시하였다. 그러나 관측된 해류분포는 일평균 된 값으로 해류의 장, 단기간에 걸친 시간변동을 고려할 때 해류의 변동성을 충분히 파악하기에는 미흡하다. 이러한 해류의 변동, 특히 해협내 해류의 변동, 은 통상 해수면 변화와 연관되

므로 (예, Garrett and Petrie, 1981; Chang and Kim, 1995) 남해에서 국립해양조사원에 의해 운영중인 영구 조위관측망을 이용하여 제주해류나 대마난류의 변동을 정량적으로 모니터링 할 수 있다. 이를 위해서는 본 연구에서와 같은 공간적인 해류 분포를 파악하기 위한 ADCP 관측과 병행하여 해협에서의 해류계 계류에 의한 장기적인 해류관측을 통해 해수면 차이를 해류분포나 해수 수송량과 연관시키기 위한 보정작업이 요구된다. 장기적인 해류관측은 또한 순환모델 결과를 검증하는 자료로 활용되므로 이러한 해류관측의 필요성이 절실하다.

## 제 2 절 타 연구에의 응용 및 연구결과 활용

본 연구에서 개발된 기술들은 여러 인접분야에 많은 기술파급효과를 가져올 수 있는데 특히 황해 및 동해의 대륙-해양 물질교환과정 연구에 직접적으로 활용될 것이다. 다양한 유입원에 의해 연안해역으로 유입되는 많은 물질들이 어떠한 과정을 거쳐 연안해역에 잔류, 침강하며 외해역에 어느정도 영향을 줄 것인가에 대한 연구는 다른 지역해 연구에도 그대로 응용될 수 있을 것이다.

협기성내만환경의 발생원인에 대한 연구는 적조 및 부영양화 문제가 심각한 다른 해역에서 화학물질의 순환 및 그 영향을 예측하는데 활용될 것이다.

친생물 원소와 유기물 분포 및 일차생산력에 대한 연구 결과는 남해의 환경진단 및 합리적인 수산자원 관리의 기초적인 과학적 자료로서 제공되어질 수 있다. 특히 방사성 동위원소 (라듐 동위체)를 이용한 수괴 파악 및 기원 규명은 최근 국제적인 추세로서 이 분야에 대한 개발은 남해 해양과정 연구에 있어 크게 기여할 것으로 판단된다. 또한 남해에서의 물질수송 과정 연구는 동중국해 및 황해등에서 유입되는 오염물질 유입 변화가 남해 환경에 미치는 영향을 체계적으로 예측할 수 있어 남해 환경관리 및 개발 정책 결정에 있어 과학적인 근거자료로서 활용되어질 수 있다.

또한 분지구모의 해양생지화학 연구는 지구환경변화 연구에 크게 기여할 수 있다. 특히 남해는 황해와 동중국해의 환경변화를 동해에 전달하는 길목에 있으며 또한 대륙의 풍화산물이 동해로 이동되는 주요 경로이다. 따라서 동해의 환경연구에 필수적인 정보를 제공하게 된다. 제주해류의 화학물질 수송량은 동해의 탄소, 산소, 화학물질의 침강플럭스에 큰 영향을 미친다. 특히 탄소 고정량, 입자성 탄소, 질소의 수중 및 해저퇴적물에서의 분포를 종합적으로 해석하여 수치 모델을 구축하는 기술은 해양환경산업에 응용이 가능하다.

해양환경학적으로나 경제적으로 매우 중요한 남해 대륙붕 해역의 1998 연도를 기준으로한 지방산과 hydrocarbon의 조성과 함량의 조사를 통한 data의 구축은 향후 동일 정점들에서 동일한 조사를 monitoring의 개념으로 수행하거나 할 때 해양 환경내 유기물의 변천과 순환관계를 이해하는데 유용한 지표로 사용될 수 있으며 남해에서 빈번히 일어나고 있는 대규모 oil spill 등의 사고시 유출된 유기물들이 당해역에 어느 정도까지 영향을 미치고 있는지를 확인하는 reference로 활용될 수 있

다. 또한 분리된 200 여 균주의 heterotrophic bacteria는 단백질 및 지방 성분의 분해자로서의 역할이 중요시될 뿐 아니라 이들이 생산하는 효소체계를 이용한 생물공학적인 방법론의 개발에 기여할 것으로 생각된다. 특히 지질 분해효소(lipase)의 경우 이미 산업적인 lipid transformation이나 지방산의 제조에 사용되고 있어 이들 중 고역가 균주의 경우 매우 유용한 생물 산업 소재로 활용될 수 있다. Arachidonic acid는 인체내 필수 지방산의 하나로서 성장기의 아동에게 필수적인데 현재의 생산은 전적으로 달걀 노른자의 기름에서 추출하여 사용하고 있다. 그러나 본 연구에서 확인된 바와 같이 높은 arachidonic acid (총 지방산의 30-40 %)를 갖는 해조류를 원료로 이용할 경우 새로운 arachidonic acid의 원료로 개발될 수 있다고 여겨진다.

치자어 연구에서 얻어진 결과는 교육자료, 생물다양성에 관한 연구의 기본자료, 생태계 조사의 기초연구자료 그리고 치자어 분류에 이용할 수 있도록 인터넷상의 Home Page 작성하여 자료를 배포할 예정이다.

본 연구를 통해 획득된 남해 개방경계인 제주해협과 대한해협에서의 해수특성 자료와 해류분포 자료는 남해의 3차원 순환을 재현하고 예측하기 위한 해양순환모델의 가장 중요한 입력자료이며 확보된 자료 및 순환모델 결과는 남해의 수질모델이나 생태계 모델의 입력자료로 활용될 수 있다. 남해의 주요 유입구인 제주해협을 통해 황해와 동중국해로부터 유입되는 성질이 다른 해수의 정량적인 수송을 파악함으로써 유입조건의 변화에 의한 남해의 해양 변동 연구에 활용되고, 남해의 개방경계에서의 획득된 자료의 분석을 통해 남해와 인접해와의 해수와 물질교환 과정 연구에 활용될 것이다. 남해의 주요 해류인 제주해류와 대마난류의 형성 기작을 역학적으로 규명하기 위한 기반자료로 제공되며, 영구 조위관측망을 이용한 남해 해수 수송의 모니터링을 위한 자료로 활용될 수 있다.

본 1, 2차년도 연구를 통하여 얻어진 결과들은 1998년 한국해양연구소에서 대학 및 타연구소가 참여한 워크샵을 개최하여 총 27편의 논문을 발표하였고, 또한 다음과 같이 국내 및 국제 학술계에 이미 발표되어 논문에 게재되었거나 출판되어질 예정이다.

- 논문 발표 -

o 1997년

- 남해해수순환에 관한 수치실험 연구. '97 추계한국해양학회
- Barotropic circulation of the South Sea driven by tide, wind, and offshore forcing. The 1st International Symposium on Phytoplankton Blooms, 1997 Jan 21-22, Seoul.
- "해양예측시스템 (남해유출유 예측시스템)" - '97 해양수산EXPO 출품, 서울 여의도 중소기업전시장
- The larval fish community structure in the southern part of the east Korean sea, in summer. 1997. 5 th Indo-Pacific Fish Conference at Nouméa - New Caledonia.

○ 1998년

- Shipboard results over the Yellow and East (Japan) Sea and East China Seas. IOC/WESTPAC-Sida/SAREC Workshop on atmospheric inputs of pollutants to the Marine Environment. Qingdao, China, June, 1998.
- On the distribution and persistence of organophosphorus pesticides in coastal areas of Korea. Estuaries (Submitted)
- 제주도 주변 해역의 치자어 군집에 관한 연구-가을철, 한국해양학회지 바다 1998, May, 3(2): 71-79.
- 마산만에서의 광합성 색소 유도체분석에 의한 부영양화 진행과정에 대한 연구 (한국해양학회지 투고)
- Down core distribution of silicon bearing phytoplankton species abundance during the past 70 years in Chinhae Bay, Korea. (한국해양학회 투고)
- On the distribution and persistence of organophosphorus pesticides in coastal area of Korea. Estuaries (Submitted).
- Volume transport measurements in the southern sea of Korea. The third CREAMS International Symposium
- 한국남해안의 유기인제 분포에 관하여. 한국해양학회 춘계학술발표회 1998. 4. 30. 충남대
- 한국 남해안에서의 강수량 변동성에 관한 연구, 한국해양학회 추계 학술발표회
- 제주도주변해역의 치자어 군집에 관한 연구. 한국남해의 해양수송과 과정연구 워크샵, 한국해양연구소, 1998년 9월
- 남해 연안역 낙동강 하구, 통영, 광양만에서의 자연형광을 이용한 기초생산력 추정, 한국남해의 해양수송과 과정연구 워크샵, 한국해양연구소, 1998년 9월
- Recent sedimentary processes in the South Sea. 한국남해의 해양수송과 과정연구 워크샵, 한국해양연구소, 1998년 9월
- The variability of precipitation at the southern coastal area of Korea. 한국 남해의 해양수송과 과정연구 워크샵, 한국해양연구소, 1998년 9월
- The nutrient stream in the Northeast Asian marginal seas: Cheju Current. 한국남해의 해양수송과 과정연구 워크샵, 한국해양연구소, 1998년 9월
- Chemical composition of marine aerosol particles in the Yellow Dust storm and low dust periods over the Cheju-Korea Straits, the northwest Pacific. 한국남해의 해양수송과 과정연구 워크샵, 한국해양연구소, 1998년 9월
- 조석강제력과 개방경계를 통한 유출입에 의한 남해의 2차원 해수순환, 한국남해의 해양수송과 과정 연구 워크샵, 한국해양연구소, 1998년 9월
- On the variations and the balance of volume transports between straits in the South Sea of Korea, 한국남해의 해양수송과 과정연구 워크샵, 한국해양연구소, 1998년 9월
- On the Cheju current, 한국남해의 해양수송과 과정연구워크샵, 한국해양연구소

○ 1999년 투고예정 논문 목록

본 연구는 현장관측과 시료채취 및 실험실 정밀화학분석이 요구되는 매우 긴 공정으로 이루어지는 사업으로 제 2차년도 연구결과가 가용한 3차년도에는 다수의 논문을 작성 국내 및 국외저널에 투고될 예정이다. 논문 목록은 다음과 같다.

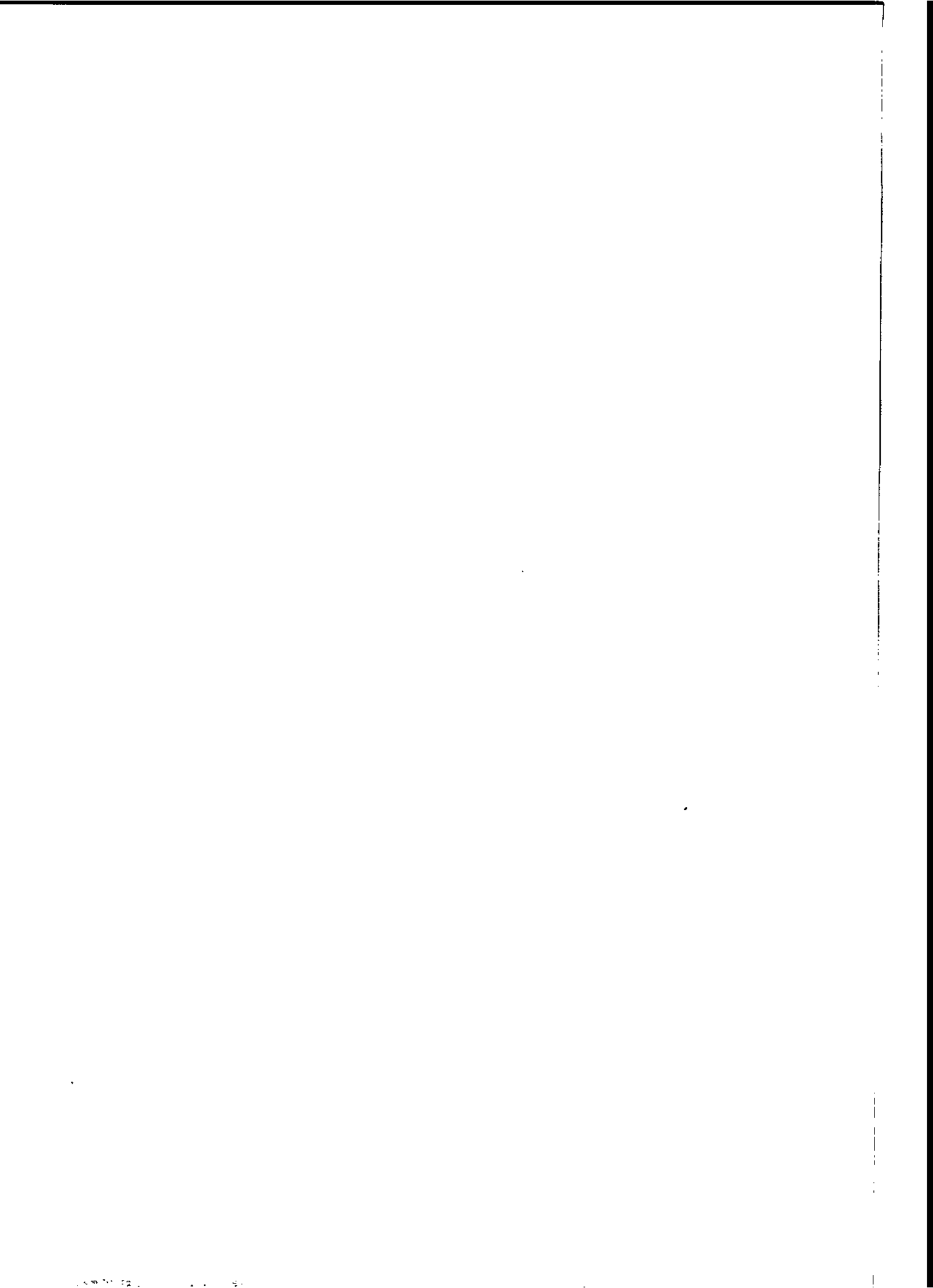
- Transport of nitrate, phosphate, silicate in the Cheju-Korea Straits.
- Primary productivity and its controlling factors in the Cheju-Korea Straits.
- Distribution and transport of particulate C, N in the Cheju-Korea Straits.
- Distribution of particulate biogenic and lithogenic-Si in the Cheju-Korea Straits.
- $^{210}\text{Pb}$ -derived sediment accumulative and mixing in the Cheju-Korea Straits.
- Accumulation and decomposition of sedimentary biogenic matter in the Cheju-Korea Straits.
- $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  ratios in the Cheju-Korea Straits.
- Chemical composition of aerosols in the marine boundary layer of in the Cheju-Korea Straits.
- Distribution and transport of dissolved fatty acids in the Cheju-Korea Straits.
- Accumulation and decomposition of hydrocarbons and fatty acids in the bottom sediment of Cheju-Korea Straits.
- The variability of precipitation at the southern coastal area of Korea.
- Recent sedimentary processes in the South Sea.





## 제 6 장

### 참고 문헌



## 제 6 장 참고 문헌

- 강인식, 이양미, 안순일. 1995. 서태평양 지역에서 태풍활동의 경년변화와 엘니뇨. 한국기상학회지. 31(1). 15-26.
- 국립해양조사원, 1997. 직접측류에 의한 대한해협 서수도의 해수수송량, 한국해양학회 추계학술발표회 요약집, p37.
- 김경환, 1994. 대한해협의 해류예측에 관한 연구. 성균관대학교 토목공학과 석사학위 논문, 113 pp.
- 김복기, 1979. 제주해협의 해류와 조류에 관하여. 국립수산진흥원 연구보고, 제21호, 7-21.
- 김복기, 1980. 남해 제주도와 대마도 사이에서의 해류형 시험 조사. 국립수산진흥원 연구보고, 제25호, 7-16.
- 김상현, 1987. 제주해협내의 해수유동에 관한 연구. 제주대학교 대학원 어업학과 석사학위 논문, 63 pp.
- 김인옥, 노홍길, 1994. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 한국수산학회지, 27(5): 515-528.
- 김충기, 1998. 남해에서 조석과 해류에 의한 해수순환 및 물질이동의 수치모델 연구. 인하대학교 해양학과 이학석사 논문, 66 pp.
- 동형일, 1970. 한국해협에서의 해류형에 의한 해류조사. 교통부 수로국 수로연보, 1101, 85-97.
- 박성은 1997. 바람이 가막만의 조류에 미치는 영향. 부경대학교 해양학과 이학석사학위 논문, 39 pp.
- 박청길, 1975. 진해만 해수의 부영양화와 클로로필 분포. 한국수산학회지, 8: 121-126.
- 윤용훈 1986. 황해저층냉수의 특성규명과 남하증거. 제주대학교 해양학과 이학 석사논문, 55 pp.
- 이창기 1968. 한국 서해에 있어서의 해류형 시험조사. 국립수산진흥원 연구보고, 제3호, 27-41.
- 이창기 1970. 대한해협 서수도의 해류에 관한 연구, 국립수산진흥원 연구보고, 제6호, p175-232.
- 이창기 1974a. 대한해협 서수도의 해류 및 조류에 관한 연구, 국립수산진흥원 연구보고, 제12호, p37-106.
- 이창기 1974b. 한국 남해역에 있어서의 해류형 시험 조사, 국립수산진흥원 연구 보고, 제12호,
- 이창기, 봉종현 1969. 해류형 시험에 의한 한국 남해 해류에 관하여. 국립수산진흥원 연구보고, 제4호, p37-106.
- 조양기 1988. 남해의 저층수와 유량에 관한 연구. 서울대학교 대학원 이학석사 학위논문.

- 조영길, 이창복, 박용안, 김대철, 강효진, 1993. 황해 동부대륙붕과 한반도 서해안 표층퇴적물의 지구화학적 특성. 한국제4기학회지, 7:69-92.
- 정창수, 김석현, 강동진, 박용철, 윤철호, 홍기훈, 1999. 광합성 색소 유도체 분석에 의한 마산만의 부영양화 진행과정 연구, 한국해양학회지 (투고 심사중)
- 최병호, 방인권, 김경환 1994. 대한해협 조류의 3차원 분포. 한국해양·해양공학 회지, 6(4), 421-438.
- 최양호 1996. 아산만의 해수순환 수치 모델링. 충남대학교 해양학과 이학석사 논문, 61 pp.
- 한국기상청. 1996. 태풍 백서. 당진문화사. 261pp
- 한국해양연구소 1987. 한국해역 종합해양자원도 작성 연구-남해 (예비조사), BSPG 00046-163-7.
- 한국해양연구소 1988. 한국해협에서의 해류구조 연구 -1차년도, BSPG00063-201-1.
- 한국해양연구소 1988. 한국해역 종합해양자원도 작성 연구-남해 (2차년도), BSPG 00062-200-7.
- 한국해양연구소 1989. 한국해역 종합해양자원도 작성 연구-남해 (3차년도), BSPG 00091-251-7.
- 한국해양연구소 1989. 한국해협에서의 해류구조 연구 -2차년도, BSPG00090-253-1.
- 한국해양연구소 1990. 한국해협에서의 해류구조 연구 -3차년도, BSPG00115-320-1.
- 한국해양연구소 1993. 해양환경 관리기술: 오염물질 이동·확산 예측기술 개발. BSPN00216-653-1.
- 한국해양연구소, 1993. 한반도 주변해역의 화학물질 수치 및 순환연구 (서남해역) BSPN 00203-614-4, pp321.
- 한국해양연구소 1997. 남해대륙붕 물질순환과 생지화학 환경연구, 442p.
- 한국해양연구소, 1998. 동중국해 중서부해역의 해양순환연구 (1차년도). BSPE97603-00-1042-1, pp278.
- 허창희, 강인식 1988. 한국지역 강수변동성에 관한 연구. 한국기상학회지. 24(1): 38-48.
- Baek, M. H., 1982. The fish-fauna along the coast of Jeju-do. Bull. Cheju Nat'l. Uni. (Nat. Sci.), 14 : 93-108 (in Korean).
- Baek, M. H., 1984. Additional species to the fish-fauna along the coast of Cheju-do. Bull. Cheju Nat'l. Uni. (Nat. Sci.), 18 : 107-117 (in Korean).
- Baek, M. H., 1985. Subtropical fishes along the coast of Cheju-do. Bull. Cheju Nat'l. Uni. (Nat. Sci.), 20 : 101-112 (in Korean).
- Baek, M. H., 1994. Sea fishes of Cheju-do. Sina Munhwasa, Cheju, 61pp. (in Korean).
- Beardsley, R.C., R. Limeburner, K. Kim and J. Candela (1992) Lagrangian flow observation in the East China, Yellow and Japan Seas. La mer, 30: 297-314.
- Brassell S.C. and C. Eglinton, 1985. "Molecular Geochemical indicators in Sediments" in Organic Marine geochemistry (ED by M.L.Sohn), American

- Chemical Society.
- Byun, S.K. and K.I. Chang, 1988. Tsushima current water at the entrance of the Korea Strait in autumn. *Prog. Oceanog.*, 21: 295~306.
- Chang, K.I. and K. Kim (1995) Sub-tidal flow in the Cheju Strait. *The Yellow Sea*, 1: 93-103.
- Chang, K.I., 1984, The structure of currents and its flow dynamics of the Cheju Strait, M.S. Thesis, Seoul National Univ., 62pp.
- Chang, K.I., C.-K. Kim, M.-S. Suk, S.-Y. nam and L.H. Kantha (1997) Barotropic circulation of the South Sea - Preliminary model results. *Ocean Research*, 19(2), 139-152.
- Chang, K.I., K. Kim, S. W. Lee and T. B. Shim (1995) Hydrography and sub-tidal current in the Cheju Strait in Spring. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 30: 203-215.
- Chen, C.T.A., C.T. Liu and S.C. Pai, 1994. Transport of oxygen nutrients and carbonates by the Kuroshio Current. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 12(3):220-227.
- Cho, Y.K. and K. Kim, 1994. Characteristics and origin of the cold water in the South Sea of Korea in summer. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 29(4): 414-421.
- Cho, Y.G., C.B. Lee and M.S. Choi, 1994. Characteristics of heavy metal distribution in surface sediments from the South Sea of Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 29(4): 338-356.
- Cho, Y.K. and K. Kim, 1994. Characteristics and origin of the cold water in the South Sea of Korea in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29: 414-421.
- Chung, C.S., and D.B. Yang, 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26:242-254.
- Chung, C.S., S.H. Kim, D.J. Kang, and G.H. Hong, 1991. Primary productivity and dynamics of nutrients and dissolved oxygen in summer in the Central Yellow Sea. *Yellow Sea Res.*, 4:89-102.
- Chyung, M.K., 1977. The fishes of Korea. Iljisa, Seoul, 727pp (in Korean).
- Civitaresse, G., M. Gacic, A. Vetrano, A. Boldrin, D. Bregant, S. Rabitti and E. Souvermezoglou, 1998. Biogeochemical fluxes through the Strait of Otranto (Eastern Mediterranean). *Continental Shelf Res.*, 18:773-789.
- Christie, W. W. 1982. *Lipid analysis* (2nd ED), pp17-23, Pergamon Press.
- Christie, W. W. 1987. *HPLC and Lipids*, pp71-86, Pergamon Press
- Christie, W. W. 1989. *Gas Chromatography and Lipids*, pp85-128, Oily Press Ltd.
- DeMaster DJ, B.A. McKee, C.A. Nittrouer, Q. Jiangchu, and C. Guodong. 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea. *Continental Shelf Research* 4, 143-185.

- Edmond, J.M., A. Spivack, B.C., Grant, Hu Ming-Hui, C. Zexiam, C. Sung and Z. Xiushau, 1985. Chemical dynamics of the Changjiang estuary. *Cont. Shelf Res.*, 4:17-36.
- Egawa, T., Y. Nagata and S. Sato (1993) Seasonal variation of current in the Tsushima Strait deduced from ADCP data of ship-of-opportunity. *J. Oceanography*, 49, 39-50.
- Falkowski, P.G. and J.A. Raven, 1997. *Aquatic photosynthesis*. Blackwell Science. pp. 375.
- Findlay, R. H. and F. C. Dobbs (1993) "Quantitative Description of Microbial communities Using Lipid Analysis" pp271-284. in *Handbook of methods in Aquatic Microbial Ecology*, (ED. by P. F. Kemp, B. F. Sherr, E. B. Sherr, and J. J. Cole), Lewis.
- Folch, J. M. Lee, and G.H.Stanley (1957) *J. Biol. Chem.* 226, 497-499.
- Garrett, C. and B. Petrie (1981) Dynamical aspects of the flow through the strait of belle Isle. *J. Physical Oceanography*, 11, 376-393.
- Goering, J.J., D.D. Wallen and R.M. Naumann, 1970. Nitrogen uptake by phytoplankton in the discontinuity layer of the eastern subtropical Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 15:789-796.
- Go, Y.B., K.M. Go, and J.M. Kim, 1991, Occurrence of fish larvae at Hamduck coastal area, northern part of Cheju Island. *Korean. J. Ichthyol.* 3(1): 24-35.
- Gurr M. I. and J. L. Harwood (1992) *Lipid Biochemistry* (4th ED), pp23-118, Chapman and Hall.
- Hamilton R.J. and S. Hamilton (1992) *Lipid Analysis, a Practical Approach*, pp113-151, Oxford University Press.
- Hong, G.H., Y.A. Park and K.W. Lee, 1983. Heavy metals in sediments from Jinhae Bay. *Korea. J. Oceanol. Soc. Korea*, 18: 180-184.
- Hong, G.H., 1987. Early diagenesis of organic matter in Masan Bay, Korea. KORDI report, pp51.
- Hong, G.H., D.B. Yang, and K.W. Lee, 1988. Nutrients and trace metals in permanently well-mixed coastal waters of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 23(4): 159-168. - 득량만에서 일차생산력과 관련된 영양염류 및 미량 금속간의 관계
- Hong, G.H., K.T. Kim, S.J. Pae, S.H. Kim and S.H. Lee, 1991. Annual cycles of nutrients and dissolved oxygen in a nutrient-rich temperature coastal bay. Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26(3): 204-222.
- Hong, G.H., S.H. Kim and C.S. Chung, 1997. Contamination in the Yellow Sea Proper: A review. *Ocean Res.* 19(1): 55-62.
- Hsueh, Y., H.J. Lie and H. Ichikawa, 1996. On the branching of the Kuroshio west of Kyushu. *J. Geophys. Res. C. Oceans*, 101(2): 3851~3857.

- Isobe, S. (1995) The influence of the bottom cold water on the seasonal variability of the Tsushima Warm Current. *Cont. Shelf Res.*, 15(7): 763-777.
- Isobe, A., S. Tawara, A. Kaneko and M. Kawano (1994) Seasonal variability in the Tsushima Warm Current, Tsushima-Korea Strait. *Cont. Shelf Res.*, 14(1): 23-35.
- Kaneko, A., S.-K. Byun, S.-D. Chang and M. Takahashi (1991) An observation of sectional velocity structures and transport of the Tsushima Warm Current across the Korea Strait. In: *Oceanography of Asian marginal seas*, K. Takano, ed. Elsevier, Amsterdam, 179-195.
- Key, R.M., R.F. Stallard, W.S. Moore and J. Sarmiento, 1985. Distribution and flux of  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Ra}$  in the Amazon River estuary. *J. Geophys. Res.* 90: 6995-7004.
- Kim, K. (1980) Ocean currents in southwestern sea off Korea. (unpublished technical report, Seoul National University).
- Kim, K., H.K. Rho and S.H. Lee (1991a) Water masses and circulation around Cheju-Do in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26: 262-277.
- Kim, K., K.R. Kim, T.S. Rhee, H.K. Rho, R. Limeburner and R.C. Beardsley (1991b) Identification of water masses in the Yellow Sea and the East China Sea by cluster analysis. *Oceanography of Asian marginal seas*, ed. by K. Takano. Elsevier, 253-267.
- Kim and Lee, 1982. Vertical homogeneous water along the west coast of Jeju Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17:59-68.
- Kim, S.S., W.J. Go, Y.J. Jo, P.Y. Lee and K.A. Jeon, 1998. Low salinity anomaly and nutrient distribution at surface waters of the South Sea of Korea during 1996. Summer. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 3(3): 165-169.
- Kim, I.S. and W.O. Lee, 1994. Fish fauna from Cheju Island, Korea. *Records of Korean Fish Fauna No. 1*. 53pp.
- Kim, I. S. and W. O. Lee, 1993. Taxonomic revision of the scorpionfishes Pisces; Scorpaenidae) with four new records from Korea, *Korean J. Zool.*, 36(4) : 452-475.
- Kim, I. S. and W. O. Lee, 1994a. New records of seven species of the order Perciformes from Cheju Island, Korea. *Korean J. Ichthy.*, 6(1) : 7-20.
- Kim, I. S. and W. O. Lee, 1994b. Fish fauna from Cheju Island, Korea. *Records of Korean Fish Fauna No. 1*. 53pp.
- Kim, Y. U. and K. H. Han, 1993. New record of the gobiid fish, *Parioglossus dotui* (Pices, Gobiidae) from Korea. *Korea J. Syst. Zool.* 9(1) : 51-59.
- Kondo, M., 1985. Oceanic investigations of fishing grounds in the East China Sea and Yellow Sea-I. Characteristics of the mean temperature salinity distributions measured at 50 m and near the bottom. *Bull. Seikai Reg.*

- Fish. Res. Lab., 62: 19~66.
- KORDI, 1989. A study on the fish larvae in adjacent waters of Cheju Island in summer, KORDI Report BSPE 00126-228-3, 95pp.
- KORDI, 1991. The ecological study of fish larvae in the South Sea, Korea. KORDI report BSPE 00190-323-3. 230pp.
- KORDI, 1997. Transport and biogeochemical process in the Cheju Strait. KORDI Report BSPE 97612. 442pp.
- Lee, C.B., Y.A. Park, J.Y. Choi and G.B. Kim, 1989. Surface sediments of the continental shelf and slope off the southeastern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24(1):39-51.
- Lee, H.J., S.K. Chough and S.J. Han, 1990. Recent sedimentation in the South Sea, Korea. *Proceedings of the First International Conference on Asian Marine Geology, Shanghai, September 7-10, 1988. China Ocean Press, Beijing*, 367-386.
- Lee, P.Y., C.K. Kang, J.S. Park and J.S. Park, 1994. Annual change and C:N:P ratio in particulate organic matter in Chinhae Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 29(2): 107-118.
- Lee, K.W., G.H. Hong, D.b. Yang, S.H. Lee, 1981. Seawater quality and red tides in Jinhae Bay: I. Relationships between water quality parameters and red tides. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 16:43-49.
- Lee, S.H. and K.W. Lee, 1983. Heavy metals in sediments from Jinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*. 18:49-54.
- Lee, T.S., and K.H. Kim, 1998. A study on the origin of anomalously low saline Tsushima Current Water using  $^{226}\text{Ra}$ . 3(4): 175-182.
- Lee, J.C. (1983) Characteristics of front near the Cheju Strait in early winter. *Bull. Korean Fish. Soc.* 16(2): 51-58.
- Lee, S.-H. and H.-Y. Choi (1997) A numerical model study of residual tidal currents in the mid-eastern Yellow Sea - initial stratification. *The Yellow Sea*, 3: 58-70.
- Lie, H.J. (1986) Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. *Progress in Oceanography*, 17: 229-242.
- Lie, H.J. and C.H. Cho (1994) On the origin of the Tsushima Warm Current. *J. Geophys. Res.*, 99: 25081-25091.
- Lie, H.J. and C.H. Cho (1997) Surface Current Fields in the Eastern East China Sea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 32: 1-7.
- Lim, D. B. (1971) On the origin of the Tsushima Current Water. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 6: 85-91.
- Lim, D. B. (1976) The movement of the waters off the South Coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 11(2): 77-88.
- Lin, D.B. and S.-D. Chang (1969) On the cold water mass in the Korea Strait.



- J. Oceanogr. Soc. Korea, 4: 71-82.
- Mellor G. L. (1996) Users Guide for A Three-Dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model. Princeton University. Princeton. NJ, 40 pp.
- Meyers, S. D., B. G. Kelly, and J.J. O'Brien, 1993 : An Introduction to Wavelet analysis in Oceanography and Meteorology : With Application to Dispersion of Yanai Waves. Mon. Wea. Rev., 121, 2858-2866
- Mitta, T. and Y. Ogawa (1984) Tsushima currents measured with current meters and drifters, pp. 67-76. In: T. Ichive (ed.), Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas, Elsevier, Amsterdam.
- Moore, H., 1972. Beginning of the Kuroshio. In Kuroshio: Its physical aspects. ed. by H. Stommel and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press, 129-156.
- Nakao, T. (1977) Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. J. Fac. Mar. Sci. Tech., Tokai Univ., Japan, Spec. No., November 1977: 199-367.
- Nitani, H. (1972) Beginning of the Kuroshio. In: Kuroshio, ed. H. Stommel and K. Yoshida, University of Tokyo Press, Tokyo.
- Nozaki, Y. 1989. Mean residence time of the shelf water in the East China and the Yellow Seas determined by  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  measurements. Geophys. Res. Lett. 16(11): 1297-1300.
- Nozaki, Y., H. Tsubota, V. Kasemsupaya, M. Yashima and N. Ikuta, 1991. Residence times of surface water and particle-reactive  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  in the East China and Yellow Sea. Geochim. Cosmochim. Acta. 55:1265-1272.
- Okiyama, M., 1988. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai Univ. Press, 1154 pp.
- Okubo, T., 1980.  $^{228}\text{Ra}$  in the Japan Sea. J. Oceanogr. Soc. Japan, 36: 263-268.
- Park K.S., 1982. Distribution of nutrients in the coastal sea of Jeju Island. Bull. Korean Fish. Soc. 15(4): 255-262.
- Park S.C. and K.W. Lee. 1996. Modern sedimentary environment of Jinhae Bay, SE Korea. J. Korean Oceanogra. Soc. 31:43-54.
- Park, Y.H. (1985) Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. J. Oceanogr. Soc. Korea, 20(1): 12-21.
- Park, Y.H. (1986) Water characteristics and movement of the Yellow Sea Warm Current in summer. Progress in Oceanography, 17: 243-254.
- Parsons, T. R, Takahashi, M., and Hargrave, B. (1979) Biological Oceanographic Process (2nd ed.) Pergamon Press.
- Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. pp. 173.
- Pingree, R.D., P.M. Holligan, G.T. Mardell and R.N. Head, 1976. The influence of physical stability. Mar. Bio. Ass. U.K. 56:845-873.
- Pingree, R.D. and G.T. Mardell, 1981. Slope turbulence internal waves and

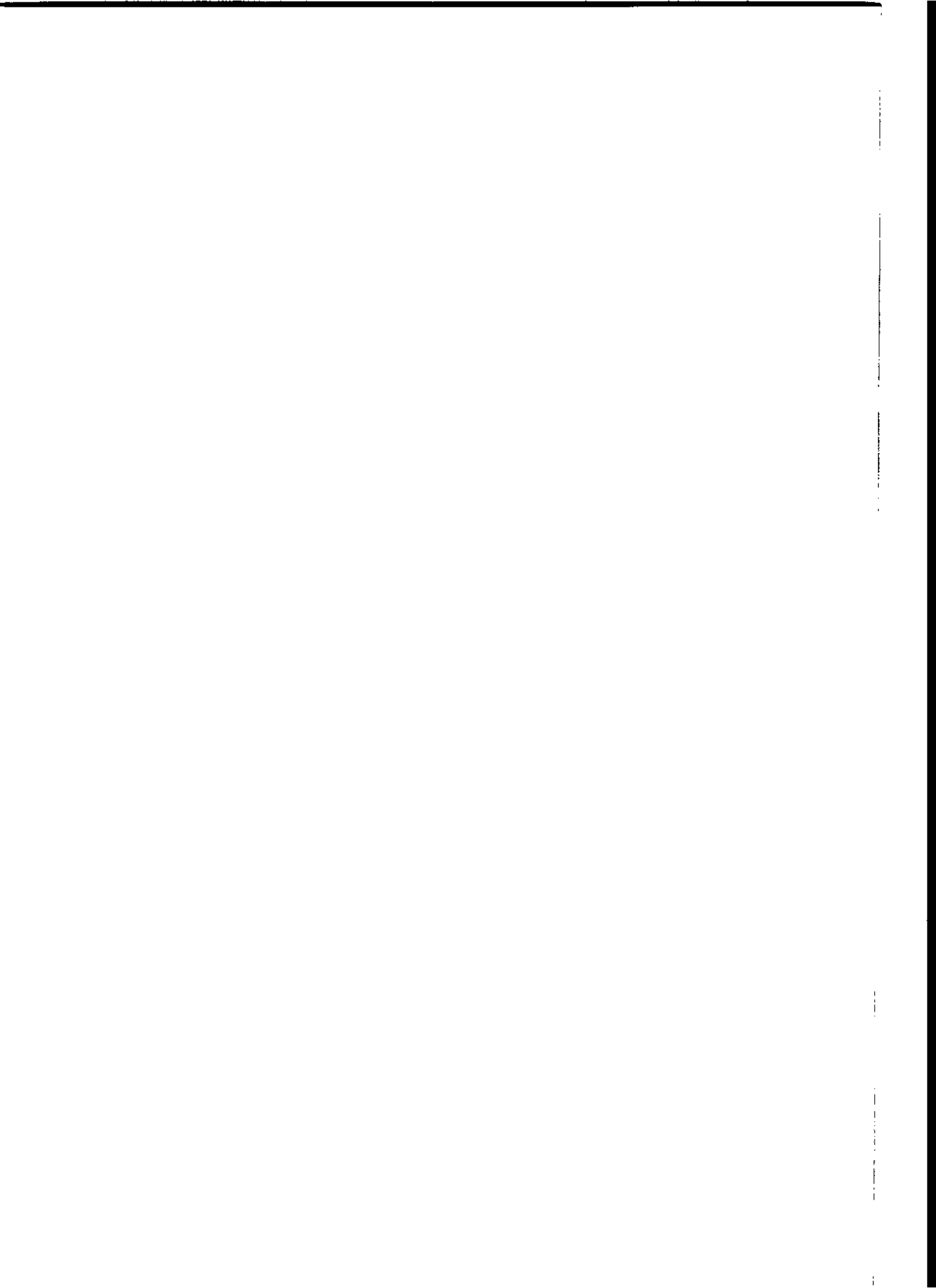
- phytoplankton growth at the Celtic Sea shelf-break. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A*, 302:663-682.
- Rho, H.G., 1985. Studies on marine environment of fishing grounds in the water around Jeju Island, Ph. D. thesis. Tokyo University, pp215.
- Roman, M.R. and K.R. Tenore, 1978. Tidal resuspension in Buzzards Bay, Massachusetts. I. Seasonal changes in the resuspension of organic carbon and chlorophyll a, *Est. Coast. Mar. Sci.*,\* 6:37-46.
- Simpson, J.H., E.G. Michelson-Jacob and A.E. Hill (1990) Flow structure in a channel from an acoustic Doppler current profiler. *Continental Shelf Research*, 10(6), 589-603.
- Smagorinsky, J. (1963) General circulation experiments with the primitive equation, I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, 91: 99-164.
- Suk, M.S., G.H. Hong, C.S. Chung, K.I. Chang and D.J. Kang, 1996. Distribution and transport of suspended particulate matter, dissolved oxygen and major inorganic nutrients in the Cheju Strait. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 31(2):55-63.
- Steeman-Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Perma. Int. Explor. Mer.*, 18, 117.
- Torgensen, T. 1979. Isotopic composition of river runoff on the U.S. east coast: evaluation of stable isotope versus salinity plots for coastal water mass identification. *J. Geophys. Res.*, 84:3773-3775.
- Uda, M. (1934) The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932 (in Japanese). *Japan Imp. Fish. Exp. Stations*, 5: 57-190.
- Wakeham S.G. and J.K. Volkman (1991) "Sampling and analysis of lipids in marine POM", pp181-180, in *Marine Particles: Analysis and Characterization*, (ED. by D.C. Hurd and D.W. Spencer)
- Wells, J.T. and O.K. Huh, 1984. Fall-season patterns of turbidity and sediment transport in the Korea Strait and southern Yellow Sea. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea*. Elsevier Sci. Pub., 387-397.
- Wells, J.T., 1988. Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea: onset of winter monsoons. *Mar. Geol.*, 83:273-284.
- Yamada, M., and Y. Nozaki, 1986. Radium isotopes in coastal and open ocean surface waters of the western North Pacific. *Mar. Chem.* 19: 379-389.
- Yang, D.B., S.H. Kim and K.W. Lee, 1986. Vertical distributions of chemical oceanographic parameters in Jinhae Bay in July, 1983. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 89-93.
- Yang, D.b., and J.S. Hong, 1988. On the biogeochemical characteristic of surface

- sediments in Chinhae Bay in September 1983. *Bull. Korea Fish. Soc.* 21:195-205.
- Yang, D.B., 1992. Distribution of various nitrogenous compounds and respiratory oxygen consumption rate in Masan Bay, Korea during summer 1986. *J. Oceanol. Soc. Korea.* 27(4): 303-310.
- Yang, S.K., Cho, K.D. and C.H. Hong (1984) On the abnormal low temperature phenomenon of the Yellow Sea Bottom Cold Water. *J. Oceanogr. Soc. Korea,* 19(2): 125-132.
- Yi, S.-U. (1966) Seasonal and secular variations of the water volume transport across the Korea Strait. *J. Oceanogr. Soc. Korea,* 12: 7-13.
- Yoo, J.M., S. Kim, E.K. Lee, W.S. Kim, C.S. Myung, 1995. Marine fishes around Cheju Island. Hynamsa, 248pp.
- Yoo, J.M., S. Kim, E.K. Lee and Y.U. Kim, 1998. Studies on the fish larvae community in the sea around Cheju Island in November, 1986. *The Sea,* 3(2): 71-79.
- Zhang, J., R. Letolle, J.M. Martin, C. Jusserand and J.M. Mouchel, 1990. Stable oxygen isotope distribution in the Huanghe (Yellow River) and the Changjiang (Yangtze River) estuarine system. *Cont. Shelf Res.,* 10:369-384.
- Zheng, Q. A. and V. Klemas (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.



## 부 록 1

### 한국남해의 해양수송과 과정연구 워크샷



# 한국 남해의 해양 수송과 과정연구 워크 샵

(Transport and Biogeochemical  
Process in the Cheju  
Strait (TRAB-C))



일시 : 1998. 9. 4

장소 : 한국해양연구소  
(R3동 강당)

주최 : 한국해양연구소  
해양과학대학공동연구소





한국 남해의 해양 수송과  
과정 연구  
위 크 샵

(Transport and Biogeochemical  
Process in the Cheju  
Strait(TEAR-C))



1998. 9. 4

한국해양연구소

경기도 안산시 사동 1270번지

☎ 연락처 :  
전화 (0345) 400-6180, 6181, 6183  
팩스 (0345) 408 4493

모시는 곳

진도와 제주도 사이의 제주해협과 부산과 인천 간 수협 사이의 대한해협을 방대하는 제주도 이북의 남해 대륙붕은 황해와 동중국해수가 제주해협과 대한해협을 거쳐 동해로 연결되는 길목에 위치한 동향해류 시베 해역이다. 동향해류는 최근에야 비로소 그 규모와 면적이 밝혀지기 시작하여 제주해류의 명명되기 시작하고 있다. 또한 이 해역은 한반도와 중국으로부터 막대한 양의 빙수와 육상기원 물질 및 폐기물을 수용하고 있다. 남해 대륙붕에는 냉수와 단수가 남북으로 대치하여 신선율이 부고 있다. 따라서 이 해역에서는 해류지대해역에서 나타나는 해양 특성이 당시 복합적으로 발생하고 있다. 또한 연대해류인 쿠로시오의 일부 분인 데미난류가 북상하므로 냉대성과 아열대생의 생물종이 존재하는 해역으로서 생물화학적 특성이 의 개발가능성이 높은 해역이다.

한편 남해대륙붕은 남해안의 긴 리아스식 해안선과 수많은 도서가 존재하여, 양식어장, 대규모 항만, 대단위 공업단지 등이 밀집되어 우리나라 경제에서 차지하는 비중이 매우 높으며 또한 집중적인 경제활동에 따른 적조 및 해상 독성물질 유출사고 다발 해역이다. 그러나 남해 대륙붕의 지속가능한 경제성장을 위한 기초적인 물질수송과 과정연구는 체계적으로 수행되지 못하였다.

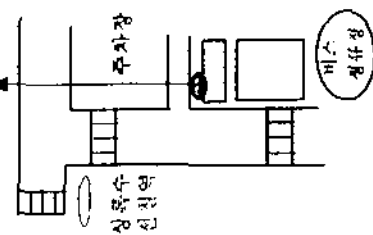
최근 국내 연구계에서 대동되고 있는 연구결과를 종합 정리하고 재정사항을 함께 검토하고 새로운 연구 영역을 개척하고자 관련된 학계의 의지를 함께 모으는 워크숍을 개최하고자 하오니 많은 성원을 주시기 부탁드립니다.

주최간사 :  
홍기훈 (한국해양연구소)  
이동규 (부산대학교)

☎ 연구소 위치와 교통안내

- ° 안산시 사동, 한양대학교 뒤
- ° 김포공항
- ° 공항버스(정류장 I):매30분간격
- ° 안산 도착후 택시 4,000원정도
- ° 전철 - 상록수역 하차
- ° 택시 4,000원정도
- ° 연구소버스
- (아침 8:10, 8:35, 8:40)

연구소버스탐승지



☎ 숙박을 원하시는 분은 사전에 연락 바랍니다  
(☎. 0345-400-6183, 정창수)

한국 남해의 해양수송과 과정연구 워크샵

일시 : 1998년 9월 4일 (금)

장소 : 한국해양연구소 제 3 연구동 1층 강당

번호	시간	성명	소속	논문제목	page
등록	08:30-09:15	홍기춘	해양연		
좌장	이동규	(이재학)	부산대	(해양연)	
1	09:15-09:30	유재명, 김성, 이은경, 김용억*	해양연, 부경대*	제주도 주변해역의 치자어 군집에 관한 연구	5
2	09:30-09:40	양성렬, 박명길*, 심재형*	광주대 서울대*	남해연안역 낙동강하구, 통영, 광양만에서의 자연형광플 이용한 기초생산력 추정	6
3	09:40-09:55	이희준, 추용식	해양연	Recent Sedimentary Processes in the South Sea	7
4	09:55-10:15	전동철	해양연	The variability of precipitation at the southern coastal area of Korea	19
5	10:15-10:30	윤형수	제주대	Magnetic susceptibility and radioactive isotope geochronology of continental shelf sediments around the Cheju Island, Korea	11
휴식	10:30-10:45		해양연		
좌장	이상호	(최진용)	군산대	(군산대)	
6	10:45-10:55	안유환	해양연	양자강 유출 탁수의 남해유입 (NOAA 위성관측)	18
7	10:55-11:10	최진용, 김석운*	군산대, 부경대*	한국남해와 동중국해 니질퇴적물의 기원과 퇴적작용	10
8	11:10-11:30	주기재	부산대	낙동강하류에서의 영양염류 유출의 연간 변동성	24
9	11:30-11:50	이동섭, 손민석, 김현철	부산대	수온, 염분, 용존산소로 분류한 1996년 북서 동중국해 수계와 화학특성	25
10	11:50-12:10	이호진*, 정종률*, 정경태, 소재귀	해양연, 서울대*	A three-dimensional finite-difference Galerkin function model for the oceanic circulation in the Yellow Sea and the East China Sea in the presence of M2 tide	27
중식	12:10-13:20	해양연 식당			
좌장	정경태	(전동철)	해양연	(해양연)	
11	13:20-13:35	양동변, 정경태, 박정길*, 홍기춘	해양연, 부경대*	황해퇴적물중의 중금속 및 유기오염물질 분포특성	28
12	13:35-13:50	이재학, 이상홍*, 이홍재, 안병웅	해양연, 부산대*	1997년 9월 중순 제주도 주변해역 CTD 관측결과	29

13	13:50-14:10	이상호, 승영태, 이재철*, 방익찬**, 이동규***	근산대, 부경대*, 제주대**, 부산대***	남해의 가을철 전선구조와 변동/..	34
14	14:10-14:30	방익찬, 노홍길	제주대	제주해협의 해수분포와 해수수송	36
15	14:30-14:50	이동규	부산대	겨울철 제주도 근해의 해상풍과 해류	
16	14:50-15:05	김종기*, 김경일**, 박경***, 석문식**, 윤용호*	기상연*, 해양연**, 인하대***	조석강제력과 개빙계절을 통한 유출입에 의한 남해의 2 차원 해수순환	39
17	15:05-15:20	남수용, 석문식, 장경일	해양연	On the variations and the balance of volume transports between straits in the South Sea of Korea	45
휴식	15:20-15:35				
좌장	윤 정수	(양 동 회)	제주대	(해양연)	
18	15:35-15:55	김경일, 석문식, 남수용, 진동철, 김도연, 김송기*	해양연, 기상연*	On the Cheju Current	52
19	15:55-16:05	조기용	해양연	남해내륙통 해수와 해저퇴적물의 지방산 및 탄화수소	74
20	16:05-16:20	정철수, 김석희, 이성환, 박선규, 박준권, 홍기호	해양연	The nutrient stream in the Northeast Asian marginal seas: Cheju Current	75
21	16:20-16:30	김석희, 정창수, 김경태, 이상환, 임재희, 양동범, 박선규, 홍기호	해양연	Chemical composition of marine aerosol particles in the Yellow Dust Storm and low dust periods over the Cheju-Korea Straits, the northwest Pacific	78
22	16:30-16:40	이태희, 손재경, 이동섭	부산대	새로운 경량다중 피스톤 코어러의 공극수 추출법	80
휴식	16:40-16:55				
좌장	홍 기훈,	이 동 규			
23	16:55-17:10	최병호, 김이리*, 인성모**	성균관대, 해양연*, 삼성중원건설**	남해해양과정연구, 남해환경모니터링연구, 주변해양 연계성, 남해연구의 쟁점사항 고해상도 한국 남동해역 조석모형	82
24	17:10-17:25	정익교, 고태호	부산대	통영만내 식물플랑크톤군집 및 생태연구-미세식물플랑크톤의 크기별 중요성	83
25	17:25-17:40	이상호, 권효근	부산대	하구인작동으로 인한 금강하구의 물리적 환경변화	84

26	17:40-17:55	양한섭, 김영일	부경대	Ra 동위체를 이용한 남해 및 동중국해의 수괴파악	86
27	17:55-18:20	침가자전원		한국해양연구소장 격려사	
		자유토론		남해해양연구소의 쟁점사항 (기조발표: 이동규, 홍기훈, 장경일)	
석식	18:30-20:00	안산소재 식당		항후연구방향, 외국의 남해연구 동향 (장소추후안내)	

## 제주도 주변해역의 치자어 군집에 관한 연구 -가을철-

유재명\*, 김성\*, 이은경\*, 김용역\*\*

□ : 한국해양연구소 해양생물연구부

\*\* : 부경대 해양생물학과

1986년 11월 제주도 주변해역의 총 44개 정점에서 치자어 자료와 환경자료가 수집되었다. 치자어는 43개 정점에서 출현하였으며 출현량 범위는 3 ~ 25 개체/1,000m<sup>3</sup> (평균 50 개체/1,000m<sup>3</sup>)였다. 우점종은 멸치 (*Engraulis japonicus*), *Champsodon snyderi*, 망둥어과 (Gobiidae), 솜뱅이 (*Sebastiscus marmoratus*), *Synagrops philippinensis*이며 이 종들은 전체 출현량의 56.6 % 였다.

치자어 군집은 분류군별 출현량 자료를 사용한 집괴분석 결과 2개의 군집으로 구분되었다. 치자어 군집 I은 전형적인 대마난류수역에 위치하였으며 분류군의 수와 출현량 등 종 다양성이 군집 II (대마난류수역의 일부와, 한국 연안수역, 중국대륙연안수역)에 비해 매우 높다. 군집 I의 우점종은 멸치 (*Engraulis japonicus*), 망둥어과 (Gobiidae), *Synagrops philippinensis*, *Aulops japonicus*, *Bregmaceros spp.*, *Benthoosema pterotum*, *Lamponctus spp.* 등 대부분 난류수역에 출현하는 종으로 이들의 출현은 대마난류수의 명향이 가장 큰 것으로 판단된다. 치자어 종 조성자료와 출현량 자료를 이용한 집괴분석결과와 환경변수 (수온, 염분, 용존산소)를 이용한 정준판별 분석결과와 11.6 % 정도의 적은 차이를 보였다 따라서 본 조사해역에서 치자어 군집을 이용하여 해양환경의 특성을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

남해 연안역 낙동강 하구, 통영, 광양만에서 자연형광을 이용한 기초생산성 추정  
Estimation of primary productivity using natural fluorescence in the  
southern coastal waters (Nakdong Estuary, Tongyoung, Kwangyang Bay) of  
Korea.

양성렬, 박명길<sup>1</sup>, 심재형<sup>1</sup>  
광주대학교 환경공학과, <sup>1</sup>서울대학교 해양학과

남해연안의 해양환경에서  $^{14}\text{C}$ - $\text{NaHCO}_3$  흡수율 이용한 일차생산과 측정과 병행하여, INF-300 (Biospherical, CA)을 사용하여 수층의 자연형광(natural fluorescence)의 수직분포를 측정하였다. 자연형광으로부터 생산성을 추정하는데 필요한 Ap(particulate absorption; 입자상 물질에 의한 흡광도) 시료는 25 mm GF/F filter에 해수를 여과 후 spectrophotometer(Unicam 4-100)를 이용하여 400 - 750 nm까지 scan하였다. Ap의 blank는 여과된 해수에 적신 GF/F filter를 이용하였다.

방사성 동위원소인  $^{14}\text{C}$ 이나 안정동위원소인  $^{15}\text{N}$ - $\text{KNO}_3$ 와  $^{15}\text{N}$ - $\text{NH}_4\text{Cl}$ 의 흡수율을 이용한 기초생산, 신생산 및 재생산의 측정은 용기에 밀폐하여 일정시간 배양하여야 하기 때문에 배양용기의 표면효과 등 인공적인 요인이 작용하게 된다. 이에 비하여 생체형광 측정은 자연조건하에서 실시간으로 광합성을 측정할 수 있기 때문에 동위원소를 이용한 배양방법의 대체 방안으로서 많은 연구가 되고 있다. 현장에서의 형광측정은 통상적인 active fluorometer, pump and probe 방법을 이용한 double-flash fluorometer, 그리고 자연광 하에서 형광을 측정하는 natural fluorometer 등 세가지 유형으로 대별할 수 있다. 각 방법은 장점과 제한사항을 가지고 있으며, 여기서는 마지막 방법인 natural fluorescence를 이용하였다

연안역인 낙동강 하구, 통영 미륵도 근해, 광양만 부근에서 측정된 기초생산성과 자연형광과의 관계는, 표층의 경우 입자에 의한 산란으로 인하여, 비교적 입자성 물질이 적은 외해역인 동해 독도부근 해역에서 측정된 값과의 비교가 불가능하였다. 연안역에서의 표층 입자상 물질에 의한 자연형광 측정의 간섭문제를 보정하기 위해서는 MERR와 같은 파장별 광량의 수직변화를 측정하는 것이 필요하리라 판단된다.

## Recent Sedimentary Processes in the South Sea

Lee Hee-Jun, Chu Yong-Shik

Korea Ocean Research & Development Institute

The South Sea is a shallow, postglacial strait connecting the East Sea with the Yellow Sea and the northwestern Pacific. Since the onset of Holocene transgression, the South Sea has contained a variety of sedimentary components, i.e., relict sediments (paleo-beach material and incised channel fill), transgressive sediments, and modern muds. The relict sediments are distributed near a deepest channel in the central part of the sea, whereas the modern muds are restricted within the coastal region mostly less than 80 m deep. Between the two deposits, the transgressive sediments prevail over the shelf.

The main terrigenous sources of the fine-grained sediments in the South Sea are known to be the Seomjin and Nakdong rivers. The terrigenous sediments delivered by the Seomjin River have deposited at the mouth and nearby coasts and offshore, forming a large mud patch. On the other hand, most of the muds from the Nakdong River have been transported eastward and northward along the coast, depositing a mud band extending up to Pohang. Seismic profiles indicate that this mud deposit is thickest (>30 m) near the coast and thins out offshore. During the winter season, strong waves resuspend seabottom sediments in the Korean coastal region of the Yellow Sea, and reinforced south-flowing coastal currents transport those resuspended materials into the western coast of the South Sea. Some researchers suggest an offshore origin from the South China Sea laden by the Kuroshio and Tsushima currents.

Studies of a few bays (Gamagyang, Deugryang, and Jinhae) well show Holocene and recent sedimentary processes governing the coastal area. In Gamagyang Bay, the thickness of the Holocene sequence ranges from a few metres to more than 30 m. Thick accumulation occurs in the central part of the bay, involving gases (probably, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S). According to the <sup>14</sup>C age determination using the shell fragments in cores from the bay, the sediments have accumulated at a rate of 134 cm/103 y. Extrapolated at a constant rate, it yields an age of about 4500 y B.P. for the accumulation of 6-m-thick upper sediments above a distinct reflector. This suggests that little or no deposition occurred in the present coastal area until about 4500 y B.P. when rising sea level approached here.

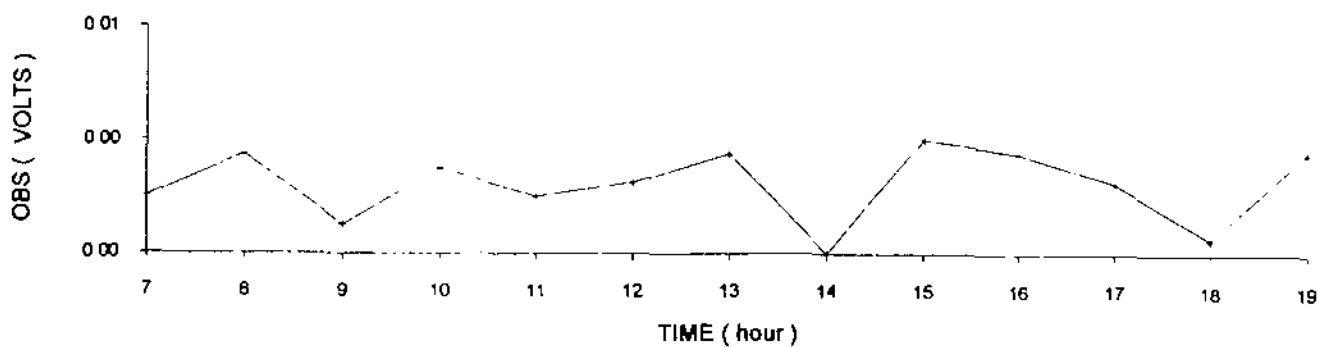
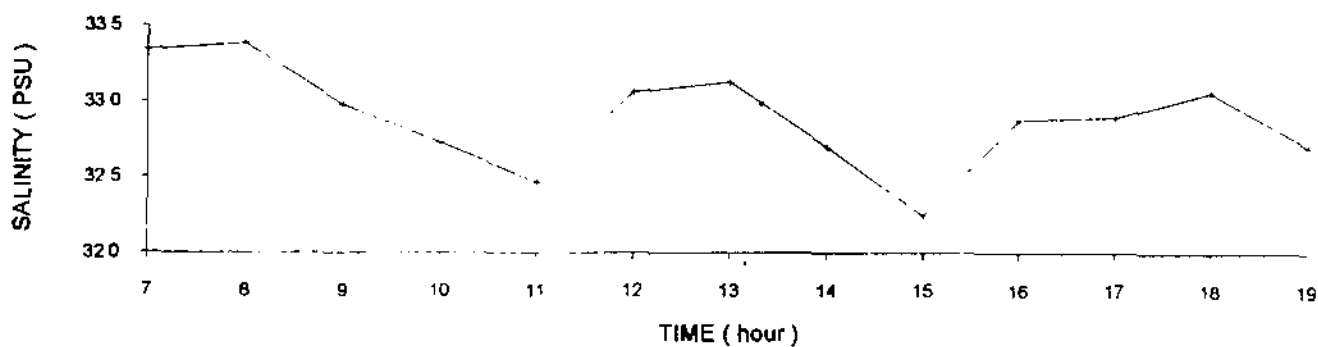
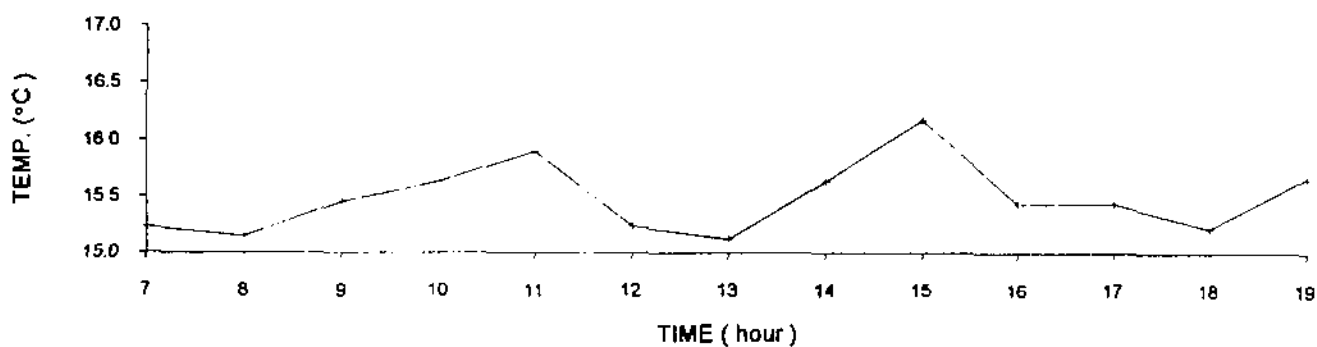
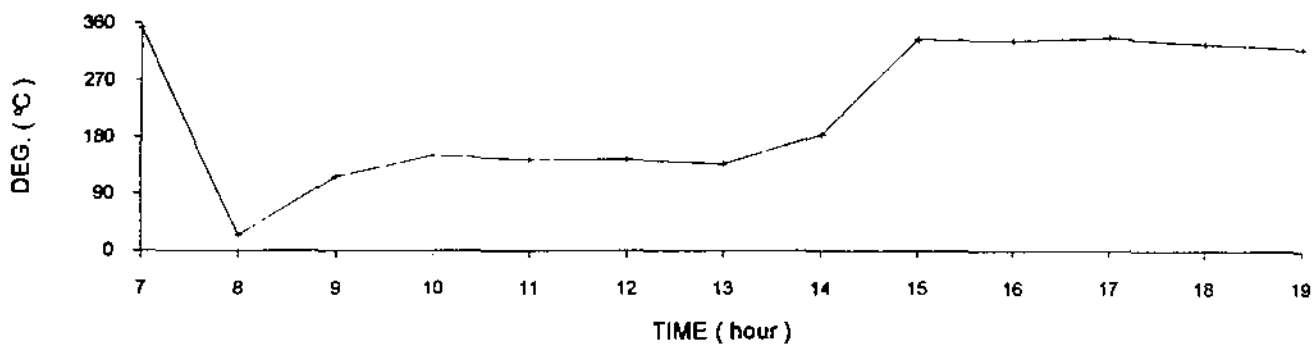
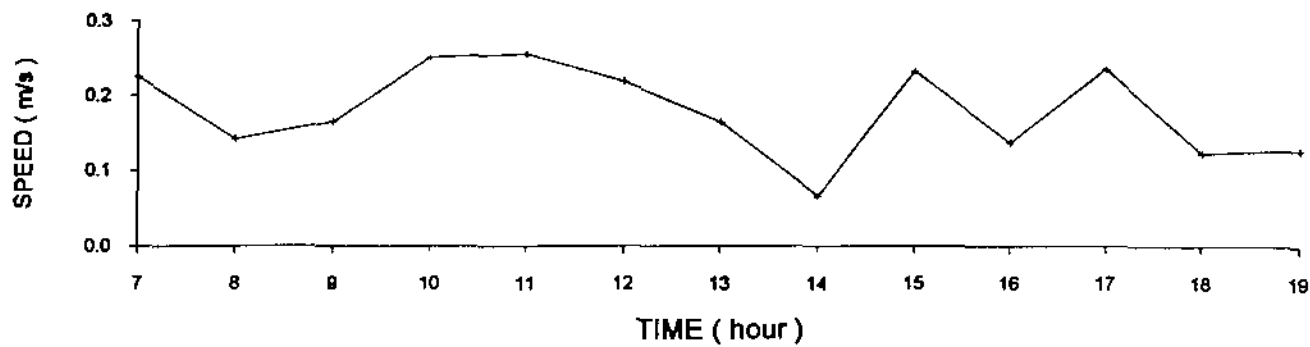
Water content of the modern muds is high (80-200%); it varies along the coast largely depending on grain texture but tends to increase seaward. With burial depth,

water content is generally constant, probably resulting from poor permeability, extensive bioturbation, and low overburden. The shear strength of the mud is relatively high at the surface (3-5 kPa), then gradually increasing with burial depth to over 10 kPa at 2-3m. The substantial shear strength observed near the seafloor reflect the state of apparent overconsolidation, a common trend in normal muddy sediments in subaqueous environments of low accumulations.

The future researches on the sedimentary aspects of the South Sea may strongly need hydrodynamically oriented field surveys with various sophisticated equipments. Only a long-term time series of accurate current and suspended sediment concentrations throughout the water column from a number of hydrographic stations allows for the realistic estimates of the suspension flux in the coastal region. Pressure data automatically taken at an extremely short interval (order of second) are requisite for analyzing composite waves. Informations on salinity and temperature are also needed for delineating variable water masses. All of these data set can be obtained simultaneously by deploying on the seafloor a tripod equipped with a suite of the latest sensors.

The strategy of such measurements should incorporate considerations on seasonality, typhoon climate, tidal phase, and state of riverine discharge. The last item requires systematic probing of riverine sediment and water discharge at the mouth of at least Seomjin and Nakdong rivers. To evaluate the relative contribution of sediments from the Yellow Sea, some bays selected in the western part of the South Sea should be monitored sedimentologically with special emphasis on suspension flux. In conclusion, we are now entering the research phase urgently requiring incorporation of hydrodynamic data to level up the sedimentological knowledge about the South Sea. The following figure shows an example of time series of hydrodynamic data obtained from the surface water of a station near the mouth of Jinhae Bay on 9 May 1998.





## 한반도 남해 대륙붕 니질퇴적물의 운반과 집적작용

최진용 군산대학교 해양학과

김석윤 부경대학교 해양학과

한반도 서남해와 남해 내대륙붕을 따라 대상으로 분포하는 니질퇴적물의 기원을 규명하고, 운반기작과 집적작용을 해석하려는 연구를 실시하고 있다.

한반도 내대륙붕의 니질퇴적체는 최대 두께가 60 m 에 달하며, C-14 연령은 6,000-6,000 년 가량으로 나타나 지역적으로 매우 빠른 퇴적율을 보이고 있다. 이들 니질퇴적체의 세립물질은 집적양상과 운반기작의 계절적 변동이 뚜렷하며, 주로 동계동안 한반도 연안을 따라 동쪽방향으로 운반되는 것으로 여겨진다. 남해 내대륙붕을 따라 동쪽방향으로의 세립물질 운반양상은 퇴적물 입도특성과 점토광물 함량의 방향성 변화에서 뚜렷하게 확인된다. 이같은 방향성 운반과정동안 비교적 조립질의 입자는 남해 서부에 집적되는 반면, 세립한 점토질 입자는 선택적으로 동쪽방향으로 운반되는 것으로 해석된다. 그러나 지역적으로 심진강 (광양만) 외역과 낙동강 하구 외역에서는 각각 하천기원 퇴적물의 집적이 확인되고 있다.

한반도 내대륙붕 니질퇴적물의 공극적인 기원에 관해 다양한 견해가 제기되고 있으며, 현재 구체적인 연구가 진행되고 있다. 이들 퇴적물의 가능한 공극원으로는 1) 한반도 기원, 2) 황하 기원, 3) 양자강 기원, 4) 쿠로시오 기원, 5) 여러 공극원의 물질이 혼합된 것 등이 언급되고 있다. 이들 공극원의 특성, 퇴적물 수지와 내대륙붕 니질퇴적물의 퇴적물을 비교하면, 여러 공극원으로부터의 종합적인 공극이 요구되는 것으로 여겨진다.

# MAGNETIC SUSCEPTIBILITY AND RADIOACTIVE ISOTOPE GEOCHRONOLOGY OF CONTINENTAL SHELF SEDIMENTS AROUND THE CHEJU ISLAND, KOREA

Jeung-Su Youn

Department of Oceanography, Cheju National University  
Cheju-do 690-756. Korea

## ABSTRACT

Measurements of magnetic susceptibility of continental shelf sediments around the Cheju Island revealed two areas of anomalously high values; surrounding the Cheju inshore area, suggesting the influx and reworking of detrital volcanic materials distributed in the Cheju Island, and toward the mouth of Changjiang River, due to the many industrial works are established in the Changjiang estuary in recently.

The use Pb-210 geochronologies to estimate sedimentation rate ranges from 0.20 to 0.54 cm/yr or 0.15~0.42 g/cm<sup>2</sup>/yr. This suggests a maximum accumulation rate in the study region given ignoring the mixing effect. The sedimentation rate in cores J-101 and J-134 near the Changjiang River estuary show 0.45~0.54 cm/yr, and the flux of Pb-210 to this region is 1.48~2.31 dpm/cm<sup>2</sup>/yr, but two core J-138 and J-142 far from the Changjiang estuary show 0.20~0.22 cm/yr and 0.36~0.57 dpm/cm<sup>2</sup>/yr respectively, which is much lower than above two samples. The sedimentation rate in cores J-59 and J-91 around the Cheju Island show 0.21~0.44 cm/yr and the Pb-210 flux of 0.84~1.44 dpm/cm<sup>2</sup>/yr, indicating that the terrigenous materials from the Island were supplied to this environment

The sedimentation rate measured using two peak concentration of Cs-137 in a sediment profiles J-59, J-138 and J-142 ranges from 0.12 to 0.30 cm/yr, which agree well the Pb-210 calculated data 0.20~0.22 cm/yr from that at same samples, but a comparison sedimentation rate in cores J-91, J-101 and J-134 measured by Cs-137 (0.16-0.30 cm/yr) and calculated from Pb-210 (0.44-0.54 cm/yr) show that in the same core profiles, the Cs-137 survey data underestimate the sedimentation rate measured by Pb-210 data.

## I. INTRODUCTION

The study area is the continental shelf located between 32° 00' - 34° 15' N in latitude, and between 126° 30' -128° 00' E longitude around the Cheju Island. The

Cheju Island is the dormant volcanic mountain located at the southern part of the Korea Peninsula and is formed by Pleistocene to Holocene volcanic activity.

Many works have attempt to described the sedimentary facies, sea-level changes history, clay mineralogy and geochemistry, sediment dispersal budget, radiochemical measurement of sedimentation rate and physical characteristics of water mass on the Yellow Sea and East China Sea(Niino and Emery, 1961; Nittrouer et al., 1984; DeMaster et al., 1985; Keller and Ye, 1985; Milliman et al., 1985; Sternberg et al., 1985; Park et al., 1986).

The present paper report the results of an investigation of surface and core sediments around the Cheju Island and adjacent shelf in terms of surfical sediments distribution, sediment accumulation rates and magnetic measurements in coastal pollution monitoring.

## II. MATERIALS AND METHODS

A total of 181 surface sediments and 6 gravity core samples were collected from around the Cheju Island and textural parameters were determined using standard sieve and pipette methods.

Magnetic susceptibility was determined of 181 grab samples. The samples usually weighed from 10 to 50g with splits and multiple measurements made on the lager samples to check the homogeneity of the samples and the reproductivity of the Bartington M.S.2 magnetic susceptibility meter with M.S.2.B and sensor(Nagata, 1961).

For the estimating the flux of Pb-210 into sediments and determine the sedimentation rates six core samples were obtained from the study area. Various methods are available for Pb-210 analysis. The one employed is similar to that described by Nittrouer et al.(1970) and depends upon its secular equilibrium with Pb-210. The alpha particles emitted by Pb-208 and Pb-210 deposited on silver disc were pulse-height analyzed with a surface barrier detector. Using a gammer ray spectrometer with a Ge(Li) detector the activity of Cs-137 was measured in six sediment cores.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

Magnetic susceptibility measures magnetization temporarily induced in a rock by an artificially applied low amplitude magnetic field. The strength of the susceptibility signal depends on the concentration and grain size of magnetic minerals.

A study Scoullous et al.(1979) illustrated the potential value of magnetic measurements in coastal pollution monitoring where major sources are discharging high particulate concentration which include ferromagnetic oxides. Magnetic susceptibility is a highly variable parameters and depends upon the mineral present, their concentration, grain size and shape of mode of dispersion. The magnetic constant was determined by magnetic separation for a subset of 11 samples in the study area.

Although the scatter is too great to permit a reliable prediction to be made, which data trend of increasing susceptibility with increasing magnetite is clearly supported (correlation coefficient of 0.87) by samples from this environment.

The dominant trend in the areal distribution of susceptibility of the surface sediments is a decrease with increased water depth (Fig. 1).

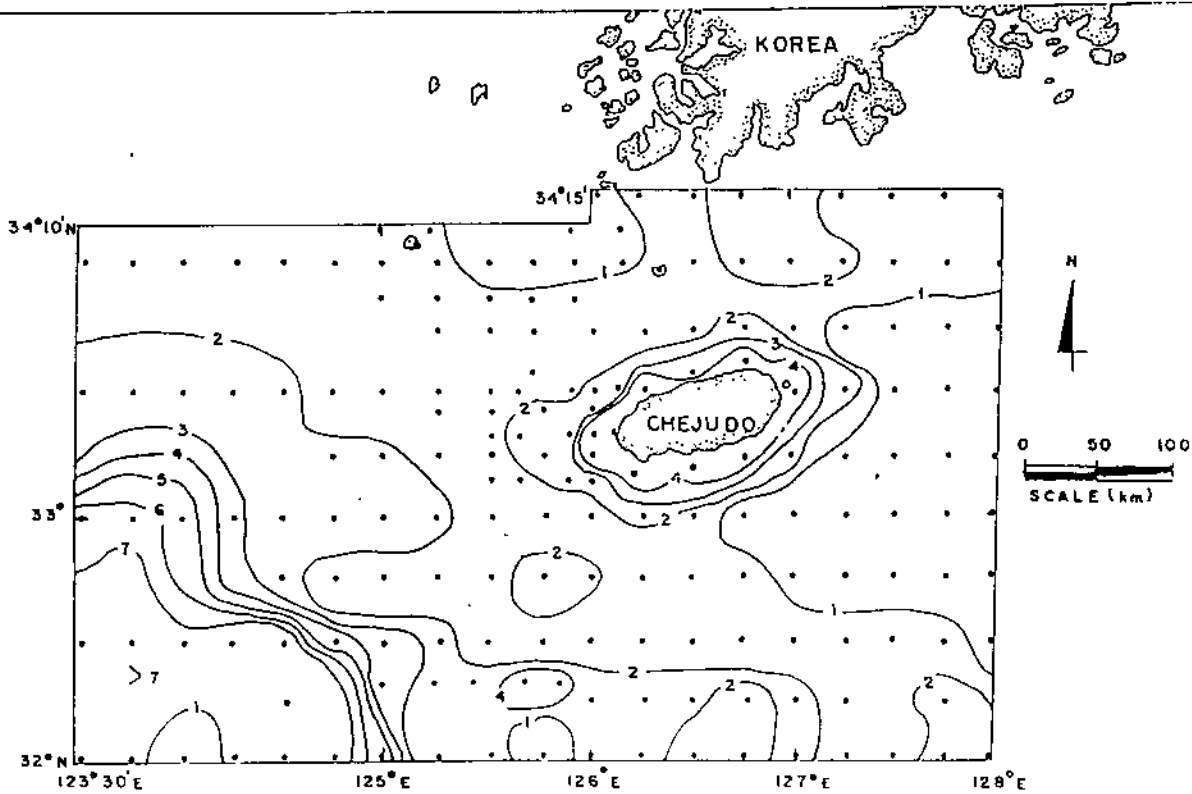


Fig 1 Areal distribution of the magnetic susceptibility for the study area ( $0 - 10^{-6} \text{ emu g}^{-1}$ )

High susceptibilities were found in surrounding Cheju Island inshore area and toward the mouth of Changjiang River. More than  $4 \times 10^{-6} \text{ emu/g}$  high content of susceptibilities were found in surrounding Cheju Island inshore area, due to the influx and reworking of detrital volcanic materials distributed in Cheju Island. Secondary, at the southwest part toward the mouth of Changjiang River, it means that the relatively high proportion of fine-grained sediments are being supplied by Changjiang River and transported to this environment, and that is a good agreement the diluted Changjiang River freshwater flows northward near the Cheju Island (Zheng and Klema, 1982). It was observed that low susceptibility values correspond to a high proportion of coarse sediments, whereas high susceptibility values correspond to a high proportion of coarse sediments, whereas high susceptibility values correspond to silt and clay fractions.

The chemical content of the six core profiles shows increase upward and decrease normally to the bottoms. It can be seen that there is a good correlation between the

maximum and minimum with the magnetic susceptibility and particle-size.

In an attempt to develop a useful marine core chronology the activity of Pb-210 present in the sediments were measured. Limnologist and Oceanographers often use Pb-210 in conjunction with Cs-137 to construct chronologies of sediment cores (Krishnaswamy et al., 1971; Koide et al., 1973). These two unstable isotopes have relatively short half-lives 22.3 and 30.2 years respectively, which makes them ideal to estimate the sedimentation rate of deposited marine sediments over the past 100 years (Nittriner et al., 1979). To determine the sedimentation rate using this method, the excess Pb-210 in the sediments must be determined rather than the total amount. The amount of excess Pb-210 represent in any particular sample is the difference in activities between the sample in question and that of the parent supported sample. The sediment accumulation rate were determined from the slope of the least squares fit to the log excess Pb-210 activity versus total accumulation profile below the surface mixed layer. The Pb-210 supported activity determined in few section core samples using the Rn-222 emanation method (Lucas, 1975; Nittrouer et al., 1979).

Pb-210 activities are plotted versus depth in a sediment cores as shows in Figures 2. The crosses represent the total Pb-210 activity and the close circles represent the excess Pb-210 activity which with the same point after background is subtracted. The accumulation rate obtained using the radioactive decay formular and the half-life of Pb-210 in the study area show ranges from 0.20 to 0.54 cm/yr or 0.15-0.42/cm<sup>2</sup>/yr. Thus, the sedimentation rate calculated from Pb-210 data may be an overestimated because we ignoring the mixing effect (DeMaster et al., 1985). Figure 2 shows the Pb-210 activities with depth for a sediment core from the southwestern part in the area.

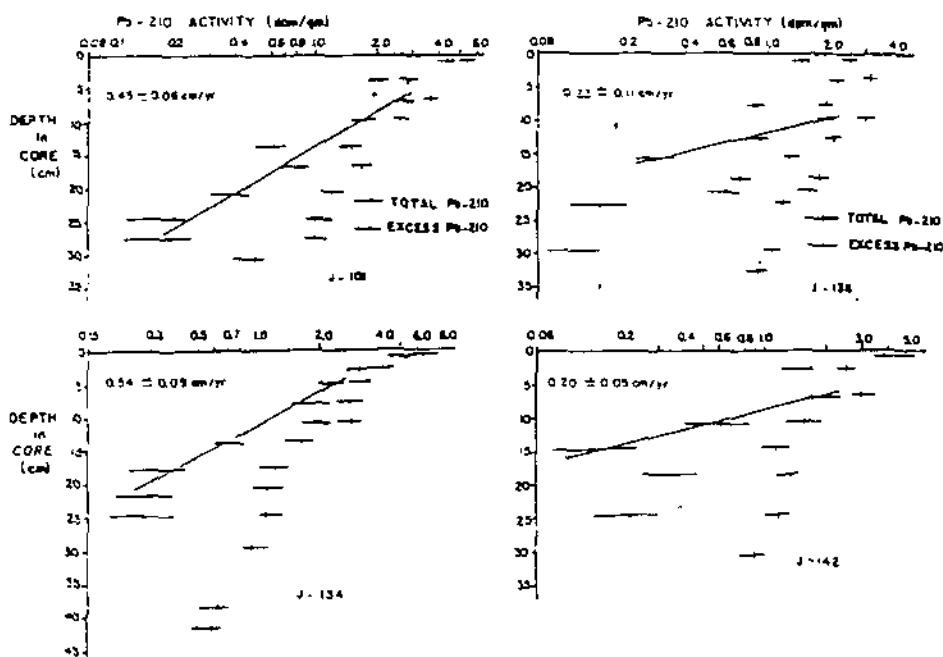


Fig. 2 A profile of Pb-210 activity from cores J-101, J-134, J-138 and J-142 in the study area

The sedimentation rates from the cores J-101 and J-134 northeastern offshore the Chanjiang River estuary ranges from 0.45 to 0.54 cm/yr. It may have been derived from the high input of suspended sediments in river runoff from the China side that receives the ancient sediments of the Huanghe River. During the winter months frequent storms and an intensified southward flowing coastal current may resuspend sediment transport of this material along the dispersal system (Mckee et al., 1983; Sternberg et al., 1985). The sediment cores J-138 and J-142 from the offshore mud deposit in the southwest Cheju Island, the estimated sediment accumulation rates show 0.20-0.22 cm/yr. that is much lower than those of above two samples, its may be result from the weak sediment transported.

The sedimentation rates from the cores J-59 and J-91 in northwestern coast near the Cheju Island show ranges from 0.21 to 0.44 cm/yr, indicating that terrigenous materials from the Cheju Island are supplied to this environment. The surficial Pb-210 activity values range from 1.79 to 4.15 dpm/g. The muddy sediment cores in northwest nearshore of Cheju Island have high surface Pb-210 activities compared to the entire cores in the area, which though to be the more ease to absorption Pb-210 associated rather than the coarser sediments. Pb-210 flux ranges from 0.36 to 2.31 dpm/cm<sup>2</sup>/yr, and mass sedimentation rate values ranges from 0.15 to 0.42 g/cm<sup>2</sup>/yr. The high sedimentation rate (0.42 g/cm<sup>2</sup>/yr) in the sediment core J-134 is related to the high Pb-210 influx with the terrigenous suspended materials from the delta off the northern Jiangsu coast. The low sediment accumulation rate values 0.15-0.17 g/cm<sup>2</sup>/yr measured in the southwest offshore of mud deposit cores J-138 and J-142, that is good agreement the decrease in accumulation rate with increasing water depth may be the result of progressive seaward depletion of influx and reworking of detrital materials (Carpenter et al., 1981).

Cs-137 is a byproduct of atmospheric nuclear weapons testing. It is introduced into the environment only as a result of such testing or by accident involving nuclear plants. In the year 1963 deposition of atmospheric fallout resulting from weapons testing was at maximum (Taylor et al., 1988). A time lag of only 6-12 months has been observed between the atmospheric fallout of Cs-137 and its deposition in sediments (Ritchie et al., 1973). Therefore, a distinctive peak present in plots of Cs-137 activity as a function of sediment depth should mark deposition during the time period of 1963-1964. Limnologists have recognized the presence of this absolute time-line and have used it to construct chronologies of lake and marine sediments (Pennington et al., 1973; Ritchie et al., 1973).

The activity of Cs-137 from the cores is shown as a function of depth in figures.

The maximum Cs-137 activity peaks shows at depth of range from 5 to 6 cm or 6-7 cm respectively, and its assuming that the represents deposition during 1963 or 1964 (Ritchie et al., 1973). This peak concentration of Cs-137 in the sediment profile means that should be associate with peak rate of Cs-137 fallout from the atmosphere. The sedimentation rate measured two peak concentration of Cs-137 in the sediment profiles J-59, J-138 and J-142 ranges from 0.12 to 0.30 cm/yr, which agree well the Pb-210

calculated data 0.20-0.22 cm/yr from that at the same samples, and that is support the effects of bioturbation on radionuclide in these core are minor. In contrast, a comparison sedimentation rate cores J-91, J-101 and J-134 measured by Cs-137 ranges from 0.16 to 0.30 cm/yr and calculated from the Pb-210 show 0.44-0.54 cm/yr at the same sediment core profiles, which shows the Cs-137 calculated data underestimate the sedimentation rate measured by the Pb-210 data, its presumably the result of difference in the behavior Pb-210 and Cs-137 in natural water column.

#### IV. CONCLUSION

High susceptibilities were found in surrounding the Cheju Island inshore area and toward the mouth of Changjiang River. More than  $4 \times 10^6$  emu/g high content of susceptibilities were found in surrounding the Cheju Island inshore area, due to the influx and reworking of detrial volcanic materials distributed in the Cheju Island. Secondary, at the southwest part toward the mouth of Changjiang River, its means that the relatively high proportion of fine-grained sediments are being supplied by Changjiang River and transported to this environment.

The sedimentation rates from the cores J-101 and J-134 northeastern off the Changjiang River estuary ranges from 0.45 to 0.54 cm/yr (0.35-0.42 g/cm<sup>2</sup>/yr.). It may have been derived from the high input of suspended sediments in river runoff from the China side that receives the ancient sediments of Huanghe River. The sediment cores J-138 and J-142 from the offshore mud deposit, the estimated of sediment accumulation rates show 0.20-0.22 cm/yr(0.15-0.17 g/cm<sup>2</sup>/yr.) that in much lower than above two samples, its may be result from the weakened sediment transported. The sedimentation rate from the cores J-59 and J-91 in northwestern coast near the Cheju Island show ranges from 0.21 to 0.44 cm/yr(0.16-0.34 g/cm<sup>2</sup>/yr.), indicating that terrigenous materials from the Cheju Island are supplied to this environment.

The sedimentation rate measured two peak concentration of Cs-137 in the sediment profiles J-59, J-139 and J-142 ranges from 0.12 to 0.30 cm/yr, which agree well the Pb-210 calculated data 0.20-0.22 cm/yr from that at the same samples, but a comparison sedimentation rate cores J-91, J-101 and J-134 measured by Cs-137 ranges from 0.16 to 0.30cm/yr and calculated by the Pb-210 show 0.44-0.54 cm/yr at same sediment core profiles, which shows the Cs-137 calculated data underestimated the sedimentation rate measured by Pb-210 data, its presumably the result of difference in the behavior of Pb-210 and Cs-137 in natural water column.

#### REFERENCES

- Carpenter, R. Bennent, J.J and Peterson, M.L., 1981. Pb-210 activities in and fluxes to sediments of the Washington continental slope and shelf, *Geochim Cosmochim Acta*.



45 : 1155 ~ 1172

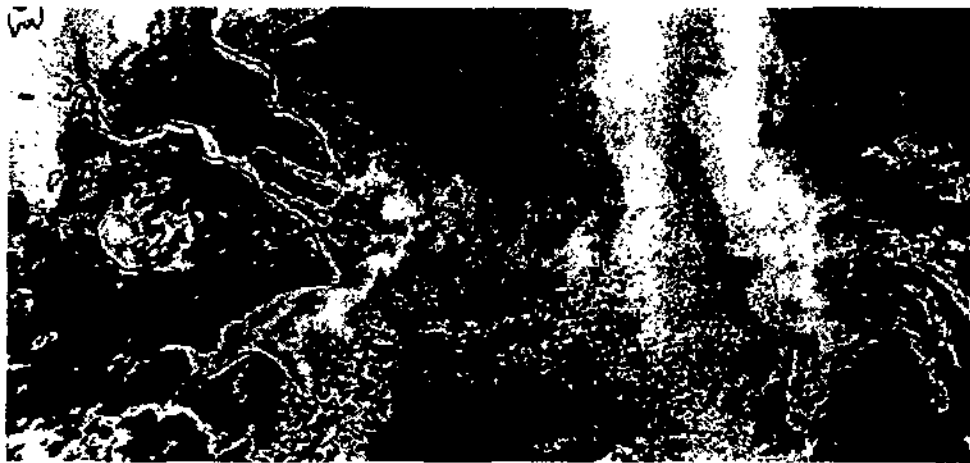
- DeMaster, D.J., Mckee, B.A., Nittrouer, C.A., Qain, J.C. and Chen, G.D., 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, 4 : 143 ~ 158.
- Koide, M., Bruland, K. W. and Goldberg, E.D., 1973. Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37 : 1171 ~ 1187
- Krishnaswamy, S., Lal, D., Martin, J.M., and Meybeck, M. 1971: Geochronology of lake sediments. *Earth Planet. Sic. Lett.*, 11. 407 ~ 414
- Lucas, H.F., 1975. Improved low-level alpha scintillation counter for radon, *Rev. Sic. Instr.*, 28 : 680 ~ 683.
- Molyneus, L. and Thompson, R., 1973, Rapid measurement of the magnetic susceptibility of long cores of sediment, *Geophys. Jour. Astr. Soc.*, 32, 479~481.
- Mckee, B.A., Nittrouer, C.A. and Demaster, D.J., 1983. Conception of dediment deposition and accumulation applied to the continental shelf near the mouth of the Yangtze River. *Geology*, 11: 631~633.
- Milliman, J.D., Beardsley, R.C., Yang, Z.S. and Limeburner, R., 1985. Mordern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: indentification and potential transport mechanisms. *Cont. Shelf Res.*, 4, : 175~188.
- Nagata, T., 1961, Rock magnetism, Maruzen, Tokyo, 320~351.
- Nittrouer, C.A., Sternberg, R.W., Carpenter, R., and Bennett, J.T. 1979. The use of Pb-210 geochronology as a sedimentoligycal tool : application to the Washington Coutinental Shelf, *Mar. Geol.*, 31 : 297~316.
- Pennington, W., Cambray, R.S., Eakins, J.D. and Harkness, D.D., 1973. Radionuclide dating of the recent sediments of Blelham Tarn, *Freshwater Boil*, 6: 317~31.
- Ritchie, J.C., McHenry, J.R. and Gill. A.C. 1973. Dating recent reservoir sedimments. *Limnol. Oceanogr.*, 18: 254~263.
- Taylor, H. W., Svoboda, J., Henry, G. H. R. and Wein, R. W., 1988. Post-chernobyl Cs-134 and Cs-137 levels at some locaties in Northern Canada. *Arctic*, 41: 293~296.
- Tompson, R., Oldfield, F., 1987, Enviromental magnetism ALLEN & UNWIN, London. 124~152.

## 양자강 유출수의 남해 유입(NOAA 위성관측)

안유환

한국해양연구소 해양원격탐사실

최근 3년간 하계(7, 8월)의 NOAA 위성 가시광 영역 band 1과 적외선(IR) 영역 band 4의 영상자료를 활용하여 양자강 유출수의 이동 방향을 분석하였다. Band 1의 경우는 연안 가까운 곳에서 유출수의 뚜렷한 움직임을 보여주었고, IR Band의 경우 유출수의 전반적인 분포양상을 파악하는데 이용 가능하였다. 해수표면의 탁도를 볼 수 있는 Band 1의 결과에 의하면 양자강 부유사는 하구로부터 100 - 150km 이내에서 대부분 침전되는 것으로 추정되었다. 탁도 및 수온의 분포양상으로 보아서 유출수의 방향은 크게 위도와 나란하게 제주 근해(남쪽)로 움직이거나, 대륙 연안을 따라 남북으로 이동하는 것으로 나타났다. 본 기간 동안 양자강 탁수가 제주 근해까지 이른다는 뚜렷한 image는 포착되지 않았다.



1998년 8월 5일의 양자강 유출수에 의한 탁도의 분포(오른쪽 부분은 구름)

# The Variability of Precipitation at the southern coastal area of Korea

Dongchull Jeon

(Physical Oceanography Division, KORDI, Ansan P.O.Box 29, e-mail: dcjeon@sari.kordi.re.kr)

## 1 Introduction

Precipitation is one of the most important parameters not only to investigate atmospheric circulation but also to understand the material flux across the sea surface boundary and oceanic circulation in the South Sea of Korea. Spatial and temporal variability of precipitation is in general very large and greatly subjective to the local orographic effect, relative to the other atmospheric parameters such as surface air pressure or temperature. More than half of annual total precipitation is intensified in summer, especially during the intensive rain periods Changma. Besides Changma, tropical cyclone (or typhoon) may result in heavy rain within the influence region along its track. Spring and fall occupies about 20%, respectively, and winter 10% of annual total precipitation (Ho and Kang, 1988).

Time series of monthly means of precipitation at the southern coastal stations of Korea (Pusan, Yosu, Mokpo, Cheju, and Sogipo) are analyzed to examine their annual, interannual, and longer time-scale variabilities in relation to the monsoon, historical El Niño episodes, and (inter)decadal events.

## 2. Annual Variation

The average amount of annual mean precipitation in the southern coastal region is relatively more (1400-1700mm) than in the rest inland regions of Korea (1000-1400mm) except in some mountain area (>1500mm near Daegu-lyong). Summer rainfall is very intensive, especially during the two Changma periods (one starts from late June to mid-july and another from mid-August to early September). Daily precipitation within a Changma period sometimes reaches up to 100mm at the southern coastal stations and over Cheju-do. Seasonally, it amounts over 700mm in summer, over 300mm in spring, about 300mm in fall, and 100mm or less in winter. The most precipitable regions in the south are near the downstream area of Sumjin River and over the eastern Cheju-do. Ho and Kang (1988) reported that the

peak stage of Changma is earlier in the south and gradually delayed to the north in Korea, but it varies within a month (July) and hence cannot be detected with monthly means used in this study.

Typhoons and extratropical cyclones are also major causes of intensive precipitation primarily in summer. The average number of occurrences of typhoons during the last 45 years (1951-1995) was 27; mostly generated in 5°N-20°N latitude and in 130°E-145°E longitude. Typhoons attacking Korean Peninsula during the last 92 years (1904-1995) were concentrated from July to September, and much less frequently in June and in October (Table 1). Average (or normal) typhoon paths are straight northwards in June and gradually bent northeastwards and pass through the south coasts of Korea in October due to the weakening of the North Pacific high pressure system.

Table 1. Number of typhoons giving damages to Korea during 1904-1995

month path	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	sum	ratio
normal	-	-	-	-	1	14	68	92	68	7	-	-	250	89%
abnormal	-	-	-	-	-	2	13	15	2	-	-	-	32	11%
total	-	-	-	-	1	16	81	107	70	7	-	-	282	100%

Between June and October during the last 10 years (1986~1995), 31 typhoons and 235 extratropical cyclones passed over Korean Peninsula, among which 10 typhoons (1/3 of total), 19 extratropical cyclones (1/12 of total) caused property damage more than 20 billion won. In other words, extratropical cyclones cause disastrous damage by heavy rains and storm surges twice as much as typhoons do.

### 3. Longer time-scale Fluctuation

The most prominent climatic feature in Korea is the annual cycle which shows hot/humid summer and cold/dry winter due to Asian monsoon as mentioned above. But the temperature and humidity themselves could be different year by year. Likewise, precipitation has a clear annual cycle but also very different from year to year; there might be flooding in one year and drought another year.

The time series of monthly precipitation anomaly in Pusan, which are subtracted by the total mean and convoluted by 24-month Hanning's filter, show the interannual variability with the quasi-period of 2 to 7 years between

1904 and 1995 based on the arbitrary flooding and drought limits ( $\pm 200\text{mm}$ ). The period of flooding and drought is longer in Cheju, where interdecadal variability seems to be larger than interannual one (Fig.1). This matches with the distribution of power spectral density in Pusan and in Cheju (Fig.2).

The cross-correlation coefficients of monthly precipitation between Cheju and Pusan, Cheju and Mokpo, Mokpo and Pusan are 0.50, 0.58, and 0.72, respectively, that is, the correlation between the south coasts and Cheju-do is relatively lower. Correlation is not calculated at the other stations (Yosu, Tongyeong, Wando, Sogipo) due to the short length of data. The linear increasing trend of precipitation is about the same in Pusan ( $+7.4\text{mm}/10\text{yrs}$ ) and in Mokpo ( $+6.8\text{mm}/10\text{yrs}$ ), which is approximately doubled in Cheju ( $+16\text{mm}/10\text{yrs}$ ) and even much steeper in Sogipo ( $+78\text{mm}/10\text{yrs}$ ) and in Yosu ( $+39\text{mm}/10\text{yrs}$ ); the last two places belong to the most precipitable region in Korea.

The frequency and strength of typhoons or tropical storms is also greatly linked with the interannual variability of precipitation in Korea. There were only three years (1920, 1947, 1988) when typhoons did not attack Korea Peninsula among 92 years (1904-1995). More than four typhoons attacked her in 1911, 1914, 1922, 1925, 1933, 1940, 1950, 1959, 1961, 1976, 1981, 1985, 1991, 1994. Among these 14 years, El Niño occurred in 1911, 1914, 1925, 1940, 1976, 1991 (43%). In 1925 and 1982, the 'very-strong El Niño years' in this century, there were five- and four-time attacks by typhoons, respectively. But, there was no El Niño event in 1950 and in 1959 while typhoons attacked her seven times (maximum occurrences) during these years (KMA, 1996).

Statistically speaking, El Niño seems to contribute to reduce the occurrences of typhoons by way of contributing Korea Peninsula to a 'warm and dry' summer. Kang et al.(1995) analyzed the distribution of the first EOF mode for the interannual variation of typhoon genesis during summer; the frequency of typhoon genesis is higher in lower latitude ( $\sim 10^\circ\text{N}$ ) during El Niño years and in higher latitude ( $\sim 20^\circ\text{N}$ ) during La Niña years. But, the contribution of El Niño to the precipitation in Korea seems to be unique case by case and is needed further study.

#### 4. Conclusion

The annual cycle of precipitation in the southern coastal region is all intensively precipitable in summer as well as in the other areas of Korea. The seasonal amount of precipitation is more than half of the total annual amount

in summer and less than 10% of it in winter. The time series of monthly mean precipitation shows the interannual variability with quasi-period of 2 to 7 years and a longer time-scale (interdecadal) fluctuation, especially in Cheju. The linear increasing trend of precipitation is about +7mm/10yrs in Pusan and Mokpo, +16mm/10yrs in Cheju, and much steeper in Yosu (+40mm/10yrs) and in Sogipo (+80mm/10yrs) where the total annual precipitation is the largest in Korea.

Typhoons and (extra)tropical storms may also affect the annual and interannual variability of precipitation by way of pouring heavy rains primarily along their paths. The number of typhoons attacking Korea Peninsula seems to be reduced during El Niño years, but not so highly correlated with El Niño.

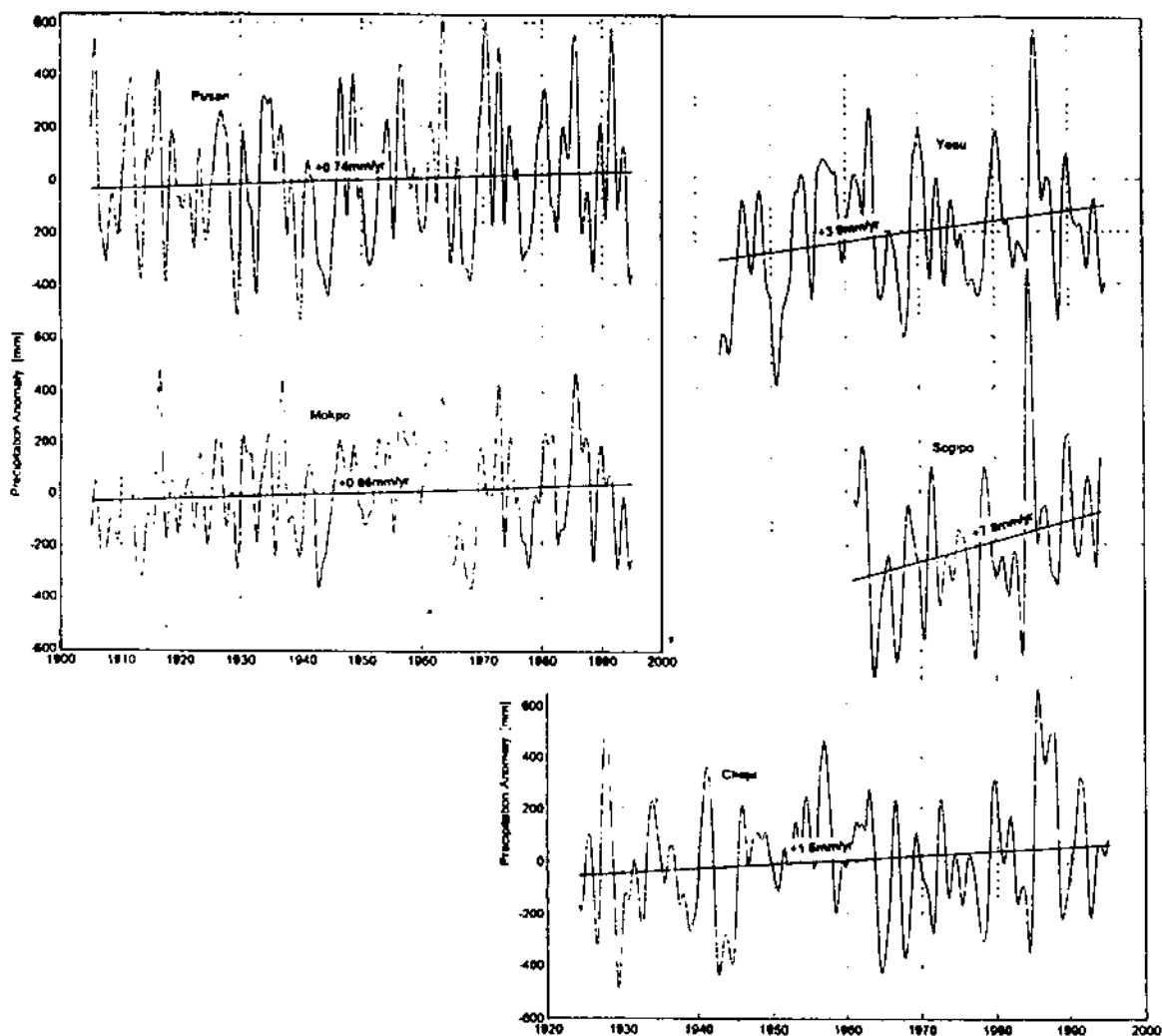


Fig.1. Time series of monthly-mean precipitation in Pusan (1904-1995), Cheju (1923-1995), Mokpo (1904-1995), Yosu (1943-1995), and in Sogipo (1961-1995) convoluted by 24-month Hanning's filter (curves), and long-term linear trend (solid lines)

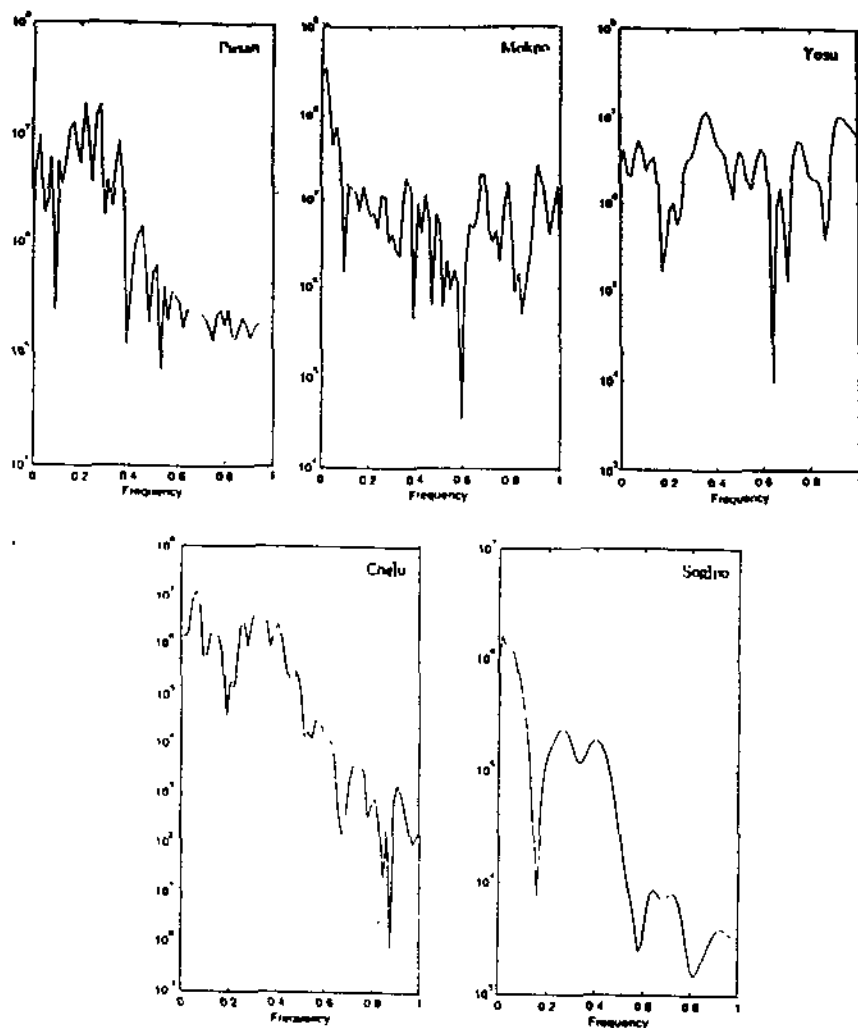


Fig.2. Power spectral density of the precipitations in Pusan, Cheju, Mokpo, Yosu, and in Sogipo. The frequency unit is in [cycle/year].

## References

- Korea Meteorological Administration 1991: Climatic Atlas of Korea. (in Korean) 160pp.
- Korea Meteorological Administration 1995: Changma White Book (in Korean). Tongjin Munhwa Co., 345pp.
- Korea Meteorological Administration 1996: Typhoon White Book (in Korean). Tongjin Munhwa Co., 261pp.
- Ho, Chang-Hoi and In-Sik Kang 1988: The Variability of Precipitation in Korea. (in Korean) *J. Korean Met. Soc.*, 24(1), 38-48.
- Kang, In-Sik, Yang-Mi Lee, and Soon-Il An 1995: Interannual variability of Typhoon activity over the western Pacific and El Niño. (in Korean) *J. Korean Met. Soc.*, 31(1), 15-26.

## 낙동강 하류에서의 영양염류 유출의 연간 변동성

주기재

부산대학교 자연과학대학 생물학과

### ABSTRACT

낙동강 하류역은 유역내의 생활하수 및 농·공업 폐수 등의 유입 및 하구둑 축조로 인한 원수의 체류 시간 증가로 부영양화가 가속되고 있다. 수질 악화에 따른 기초 육수학적인 연구 및 생물상의 변동에 대한 연구는 비교적 빈번히 수행되었으나 하류역(물금)을 통과하는 영양염류 부하량에 관한 정량적인 연구는 미진하였다.

본 조사는 1994년 6월부터 1998년 6월까지 4년에 걸쳐 낙동강 하류부에 위치한 물금에서 주 1회 간격으로 영양염류 및 BOD, Chl.a 농도 측정 및 부하량을 분석하여 방류량(삼랑진)에 따른 유출량을 산정하였다.

영양염류의 연도별 평균 농도 변화를 보면 TN의 경우 94, 95, 96, 97년이 각각 2.8, 4.5, 3.7, 4.3 mg/l로 점차 증가하였으며 TP 또한 0.169, 0.135, 0.203, 0.221mg/l의 값을 보여 유사한 양상을 보였다. BOD와 Chl.a는 95년에 각각 연평균 6.0mg/l과 72.3ug/l로 가장 높았고, Silica의 농도는 2.6mg/l로 95년에 가장 낮은 연평균 농도를 보였다.

영양염류의 연도별 총량은 강우량에 따른 유량의 변화에 영향을 받는 것으로 나타났다. 조사기간 동안의 4년간 연평균 영양염류 부하량은 TN, TP, BOD 및 Silica가 각각 79,252, 4,072, 91,662 및 100,024t/yr 였다. 극심한 가뭄을 보였던 94년과 강우량이 많았던 97년의 영양염류 부하량은 약 3배 이상 차이를 보여 큰 대조를 보였다(94년 : TN 36,182t/yr, TP 2,185, BOD 61,065, silica 45,619 ; 97년 : 115,041, 7,583, 133,599, 193,312). 95년과 96년 각각의 총부하량은 97년의 총부하량에 50~60% 정도였다.

영양염류 부하량의 변이는 계절에 따라 큰 차이를 보였다. 강우가 집중되는 우기(6~8월)의 부하량은 건기(9~5월)에 비해 일일 부하량이 2~3배 높은 것으로 나타났다. 우기의 TN, TP, BOD 및 Silica의 일평균 부하량을 보면 304.23, 17.36, 353.68 및 449.56 t/day 이고, 건기의 일평균 부하량은 각각 159.3, 6.0, 176.4, 112.8 t/day 였다.

앞으로 하류에서의 영양염류 부하 정도 및 낙동강 집수역내에서의 장기적인 물 사용 증기가 낙동강 하구둑 아래의 기수역 및 연안 생태계에 어떠한 영향을 미치고 있는지 정확한 조사가 이루어져야 할 것이다(예 : 염도 변화, 적조 발생 등).



# 수온, 염분, 용존산소로 분류한 1997년 9월 북서 동중국해 수계와 화학 특성

이동섭, 손민석, 김현철† (부산대학교 해양과학과)

수심 100 m 이내의 대륙붕 위에 존재하는 동중국해의 남쪽 외곽에는 강한 서안 해류인 쿠로시오가 흐르고 그 지류가 북상하며 북서부 경계에서는 장강으로부터 세계에서 세 번째로 많은 양의 강물이 공급되고 있다. 동중국해로 유입된 물의 대부분은 중발과 대한해협을 통해 동해로 유입하는 해수의 양과 균형을 이룰 것으로 보이며 반폐쇄성 해역인 황해로 유입되는 양은 상대적으로 미미할 것으로 판단된다. 천해역이고 수온이 높아 겨울철 심해수가 형성되지 않고 많은 양의 물이 들어오고 나감으로 해서 동중국해 해수의 체류시간은 1 내지 2년 규모로 추정된다. 이처럼 동중국해 해수의 특성이 시공간적으로 매우 동적인 변화를 보이기 때문에 동중국해에는 몇 종류의 특징적인 해수 유형이 존재하는지에 대해 아직 뚜렷한 결론을 내리지 못하고 있다.

지금까지 연구된 결과를 종합하면 동중국해 해수의 특성을 결정하는 세 가지 중요한 해수형이는 장강 회석수(CDW), 황해 냉수 (YSCW), 그리고 쿠로시오 지류 (Kuroshio Branch Water?)로 지목된다. 이들은 각기 저염, 저온, 고온고염으로 확연하게 구분되는 특성을 지니고 있으나 매년 특성이 변동하며 이 세 가지 해수형이가 혼합되면 수온과 염분안으로는 구별하기 어렵다 (그림 1 참조).

이 연구에서는 1997년 8월말에서 9월초에 북서 동중국해에서 수집된 수온, 염분, 용존산소 자료의 정성분석을 통해 수계에 대한 가상적인 해수 형성 과정을 설정하였다. 요약하면 조사 시기의 동중국해 수계는 위에 언급한 3개의 단성분의 혼합에 의해 2차로 형성되는 4 종류의 혼합수를 포함한 7가지 해수로 단순화하였다 (그림 2). 혼합수는 세 가지 단성분이 모두 혼합된 제주와류역을 중심으로 제주와류 혼합수와 쿠로시오 지류 (대아난류수)가 혼합된 해수, 장강 회석수와 황해 표층수의 혼합수, 그리고 대마 난류수의 영향권에 속한 남해 연안수로 구분하였다. 여기서 세 종류의 단성분 해수가 혼합되는 과정을 설명하기 위해 중국학자들이 제주 남서 해역에 존재한다고 보고한 반시계 방향의 와류의 개념을 차용하였다. 그림으로 제시한 수계 생성 개념에서 제주와류는 수괴 혼합의 조절자로서 매우 중요하게 다루어졌으나 한가지 짚고 넘어 가야 할 부분은 실제 조사에 참여하였던 물리해양학자들에 의해 와류의 존재가 확인되지는 않았다.

가설로 제시한 수계 형성 과정은 각 수계에서 측정된 화학적 인자의 분포 특성을 대비시켜 검토하였다. 여기에 사용한 인자들은 밀도-질보기 산소 소모량, 염분-영양염, 밀도-영양염, 질보기 산소 소모량-영양염, pH-영양염, 질보기 산소 소모량-pH, 영양염의 N:P 비로써 대부분의 경우 가설로 제시한 7종류의 해수 구분에 대해 긍정적인 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 화학 인자들간의 상관 관계와 해수의 정성적인 구분에 대하여 논의하고자 한다.

†: 수온-염분 분포도 등 Matlab m.file을 제작하였음

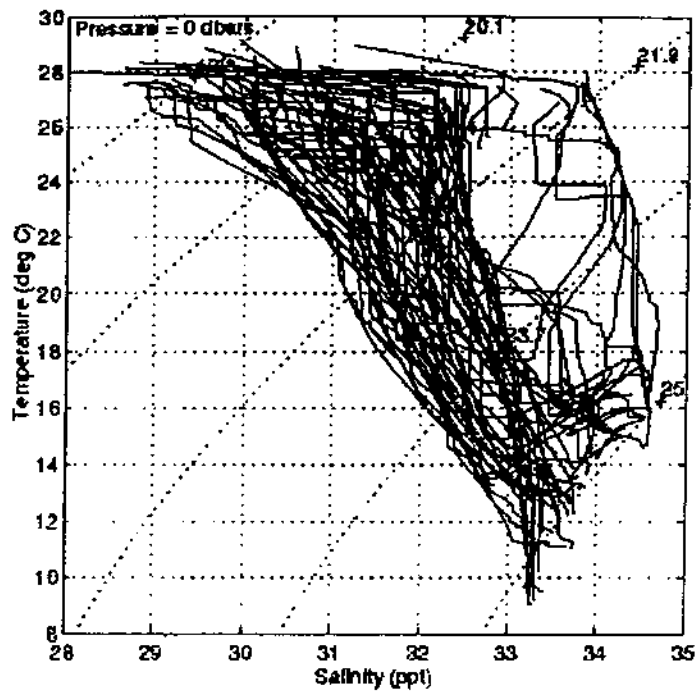


그림 1. 1997년

8-9월 북서 동중국해 수온-염분 분포도

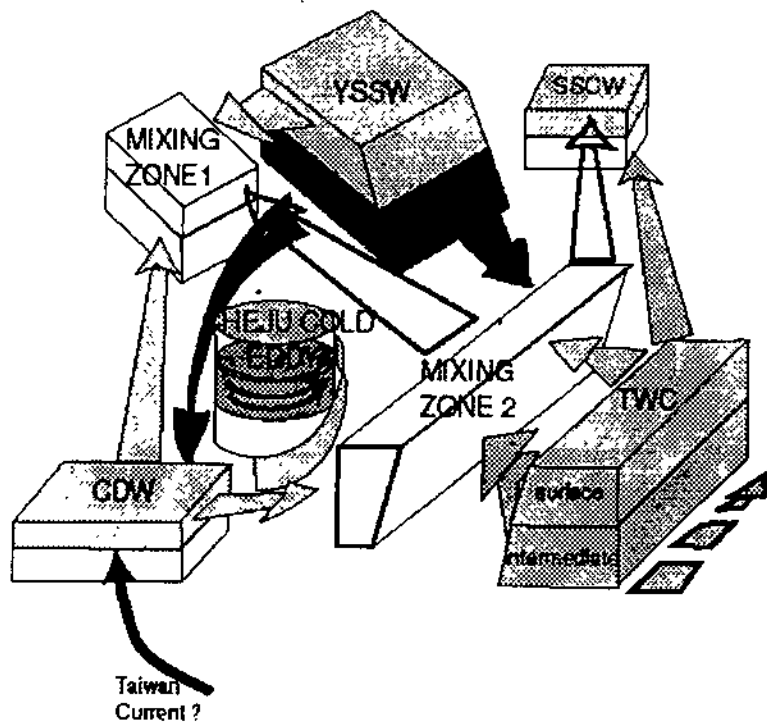


그림 2. 1997년 8-9월 북서 동중국해 수계 생성 모식도: YSSW (황해 표층수), YSCW (황해 냉수), SSCW (남해 연안수), CDW (장강 희석수), TWC (대마 난류)

**A three-dimensional mixed Finite-Difference Galerkin function model  
for the oceanic circulation in the Yellow Sea and the East China Sea  
in the presence of M2 tide**

**이호진 · 정종률 · 정경태<sup>1</sup> · 소제귀<sup>1</sup>**

서울대학교 해양학과, <sup>1</sup>한국해양연구소 연안항만공학연구센터

A three-dimensional mixed type model which uses Finite-Difference approximation in the horizontal and function expansions in the vertical is developed for the simulation of oceanic flows in the Yellow Sea and the East China Sea. The model assumes hydrostatic balance and solves three-dimensional, non-linear free-surface, primitive equations for homogeneous fluids. The vertical eddy viscosity sets to be constant over the vertical plane. The most prominent feature of the model lies in the treatment of vertical structure of horizontal component of oceanic current; a set of linear functions is used over the vertical space domain ranging from the sea surface to the depth of 300m and a similarity function of exponential type is introduced to represent the sharp decrease in oceanic current below the characteristic depth. A radiation condition developed by Flather(1976) is employed along the open boundaries. Discussion is focused on the importance of bottom friction in shelf regions with regard to determination of dynamic behaviour of the Yellow Sea warm current

**참고문헌**

Flather, R.A., 1976. A tidal model of the north-west European continental shelf. *Mem. Soc. R. Sci. Liege, ser 6*, 10: 141-164.

## 황해 해저퇴적물층의 중금속 및 유기오염물질 분포 특성

양동범, 김경태, 박청길(부경대), 홍기훈

황해는 하천 및 대기등으로부터 오염물질의 유입을 받는다고 알려져 있으며 이들 물질의 황해 외해역내 거동에 많은 관심이 모아지고 있다. 이들 물질의 상당부분은 부유사에 흡수되어 퇴적되거나 다른 해역으로 이동된다. 황해의 해저퇴적물중 유기탄소와 유기질소는 흡착능력이 큰 세립질 퇴적물에서 높은 농도를 보이고 C/N 비는 황해 남부해역으로 내려가며 높은 경향을 보이는데 이는 육상기인 유기물질의 영향이라고 생각된다. 해저 퇴적물중 중금속 원소의 농도는 대체로 자연상태의 농도에 가까우나 Pb, As는 자연상태의 농도보다 약간 높았다. 중금속 원소도 황해 중앙부의 세립질 퇴적물에서 높은 경향을 보인다. 해저 퇴적물중 방향족 탄화수소의 함량은 황해 중부해역을 중심으로 100 mg/kg dry wt.의 값이 나타난다. 이러한 물질들의 농도는 발트해같은 지역해 오염이 심한 해역에 비해 낮은 값을 보인다. 주성분분석 (PCA)에 의하면 세립질 퇴적물이 분포하는 중앙부 해역은 다른 해역과 구분되어 이들 물질의 기원이 다를 수 있음을 나타낸다.

3. 수온 및 염분의 수직분포  
 그림 4는 128°E의 관측선상의 수온, 염분 및 밀도 수직분포이다. 수온약층이 50 - 70 m로 역층에 비해 깊어졌으며 저염수의 관입(entainment)이 활발함을 보여준다.

2. 수온 및 염분의 수평 분포  
 표층에서는 제주도 동쪽에서 대마난류수와 연안수 사이에 24.0 - 25.0°C의 전선 이 형성되어 있고, 제주해협과 제주도 서쪽에서는 뚜렷한 수온전선이 없이 22.0 - 24.0°C에서 수평 변화가 작은 분포특성을 나타낸다. 그러나 염분분포(그림 2)에서 31.5 psu 이하의 저염수가 제주도 와 소홀산도 사이에서 제주해협으로 역모양 분포를 보여 저염수가 제주해협을 통과하여 동쪽으로 이동함을 암시해준다. 제주도 남쪽에서 제주도 서단을 우회하여 공급되는 고염수는 제주해협에서 저염수의 세력에 밀려 제주해협을 통과하지 못하고 제주도 북서 연안에 포획되는 형태를 보인다. 이러한 수평분포 구조는 수온약층이 나타나는 20 m 수심까지 유사하게 나타난다. 저층에서는 수직혼합이 활발한 제주도 서단 해역을 제외하고 북서쪽의 저온수와 동쪽의 고온수 분포가 뚜렷한 대비를 보이면서 남해안의 저온수가 황해쪽의 저온수와 연결이 된다. 특히, 해저면상의 수온분포(그림 3)는 소홀산도 부근의 11.0°C 이하의 최저온수가 분포하고 12.0 - 13.5°C의 저온수가 제주해협을 통과하는 역모양 분포를 보여 황해저층 저온수의 일부가 제주해협을 통과하여 동쪽으로 유입되고 있음 을 시사해준다.

1. 서론  
 제주도 주변 해역은 동중국해 대륙붕수, 황해 해수, 양자강회색수 및 한국연안수 등이 만나는 곳으로 전반적인 해황의 파악과 물리적 과정의 이해는 황해로 유입된 대륙과 대기기원 물질이 동해와 동중국해쪽으로 어떻게 이동되는지에 관한 국지해 역간 물질 교환, 남해안 적조 발생과 저염수에 의한 제주도 연안 양식어장의 피해 등과 관련하여 매우 중요한 사항이다. 최근의 여러 관측들은 동중국해로부터의 고 염고염수가 제주도 서쪽을 우회하여 제주해협을 통과하고(Lie et al., 1998) 여름철 양자강회색수가 제주도 주변 해역을 통과하여 대한해협쪽으로 공급되는 것을 보여 주고 있다. 또한 황해의 해수가 제주해협으로 유입될 가능성이 보여주는 관측 결과 들이 보고된 바 있다. 1997년 9월 18 - 23일에 제주도 주변 해역(그림 1)에서 조사 선 탐양호를 이용한 현장 관측을 실시하였는데 본 발표에서는 CTD(SBE 911) 자료로부터 조사해역의 해황을 설명하였다.

1997년 9월 응순 제주도 주변해역 CTD 관측 결과  
 이재학, 이상훈, 이용재, 안병웅  
 한국해양연구소 해양물리연구부, 부산대학교 해양과학과

체주해협에서 해수의 흐름은 전층에 걸쳐 동쪽으로 향하고 있으며 표층과 저층에서 각각 저염수와 저온수가 대한해협쪽으로 공급된다고 할 수 있다. 표층의 저염수는 소호산도와 제주도 사이에 있는 저염수핵 분포를 고려하면 덩어리 형태를 띠는 양자강회색수가 근원일 것으로 보이며, 저층저온수는 황해쪽에서 공급된 것으로 해석하는 것이 타당하다. 체주해협의 수온 및 염분 분포는 1997년 10월의 관측 자료에서도 유사한 양상을 보여 (이 등, 1998) 가을철의 일반적인 현황으로 판단된다. 그러나, 다른 자료에서 1984년 8월에는 유사한 구조가 보이지만 1988년 8월에는 저층저온수가 체주해협에서는 나타나지 않아(한국해양연구소, 1987, 1993) 황해적층염수 세력과 제주도 남쪽으로부터의 고염수 세력의 강약에 따른 결과로서 저층적층염수 세력과의 고염화 원인을 보며 제주도 서단을 우회하여 공급되는 고염수와 체주해협을 통과하는 표층저염수 사이의 혼합정도를 가늠케 해 준다. 수온약층의 음밀도(예,  $\sigma_t = 24.0$ )상의 염분분포에서 저염수의 따라 동서방향으로 체주해협을 통과하는 것으로 나타나 수온약층에서 발견되는 저염수핵들이 음밀도면을 따르는 복합적인 물리적 과정, 즉, 전선을 가로지르는 편입과 전선에 평행한 흐름의 결과일 것으로 사료된다.

5. 토의

체주도 서단 해역에서는 연안에 가까울수록 염분이 수직적으로 균질하고 수온약층이 형성되지 않음을 보이는 데 이는 활발한 수직방향 혼합의 결과일 가능성이 크다. 조류가 상대적으로 약한 제주도 동단 해역에서 강한 성층을 보여주는 점이 이를 뒷받침해주고 있다. 제주도 서단 부근 각 관측점들의 전층 평균염분과 평균수온은 모두 제주도에 가까울수록 높아지는 값을 보였다. 수온의 경우는 Kim and Lee (1982)와 상반된 경향을 보여주는 결과이기 때문에 세심한 해석이 요구된다.

4. 제주도 서단 해역의 특성

다. 수온약층은 황해쪽에서는 20 - 50 m로 남해보다 얇은 수심에 형성되어 있으며 대체로 연안에서 외해 또는 제주도 쪽으로 갈수록 깊어져 이러한 구조를 유지시키는 해수의 운동이 강한 것임을 암시해준다. 저염수의 편입은 전선을 가로지르는 방향으로 수온약층의 등온선들과 일치하며 보다 상층에서는 고온고염수가 남해안쪽 지역으로 해역으로 확장하는 양상이 함께 나타나고 있다. 이러한 분포구조는 제주도 서쪽에서도 나타나 조사해역 전체에서 동일한 물리적 과정이 진행되고 있음을 시사해준다. 밀도구조는 수온약층 윗부분 수심을 경계로 상하층에서 각각 염분과 수온의 영향을 더 받는 특성을 나타낸다.

참고문헌

- 노홍길, 방익찬, 1998. 양자강 연안수의 유입과 제주도 주변해역의 해양순환, 동중국해 중서부해역의 해양순환연구 보고서(이홍재 외). BSPE 97603-00-1042-1, 한국해양연구소, 181-207.
- 석문식 외 7명, 1997. 해류 및 해수순환, 남해 대륙붕 물질순환과 생지화학적 환경 연구 보고서 (홍기훈 외). BSPE 97612, 한국해양연구소, 49-178.
- 이상호, 1998. personal communication.
- 이상호, 신은주, 권효근, 1998. 남해의 1997년 가을철 전선구조와 변동. 한국해양학회 1998년 춘계학술발표회 요약집, 116.
- 한국해양연구소, 1987. Oceanographic Atlas of Korean Waters, Vol 1. Yellow Sea.
- 한국해양연구소, 1993. Oceanographic Atlas of Korean Waters, Vol 2. South Sea.
- Kim, K. and S.H. Lee, 1982. Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju Island. J. Oceanol. Soc. Korea, 17, 59-68.
- Lie, H.-J., C.-H. Cho, J.H. Lee, P.Niiler, and J.-H. Hu, 1998. Separation of the Kuroshio water and its penetration onto the continental shelf west of Kyushu. J. Geophys. Res., 103, 2963-2976.

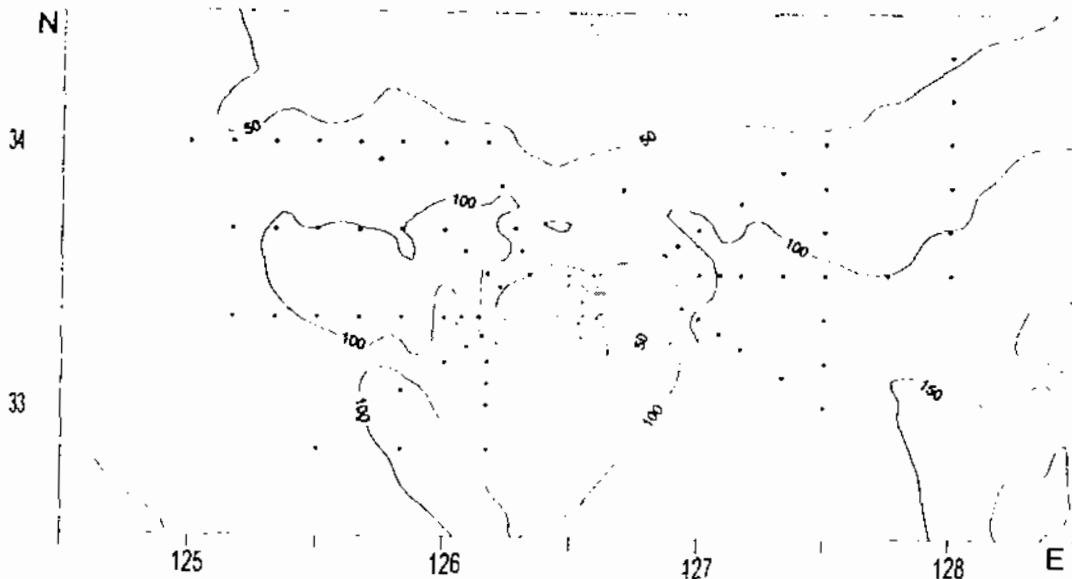


그림 1. 1997년 9월 18 - 23일 CTD 관측점.

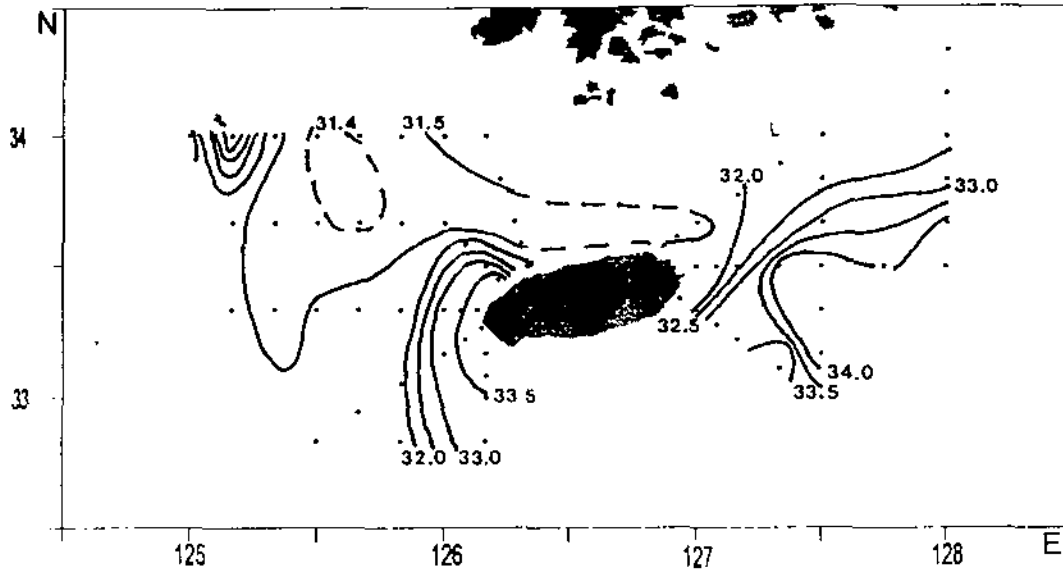


그림 2. 수심 5m 단면상의 열분 수평분포도.

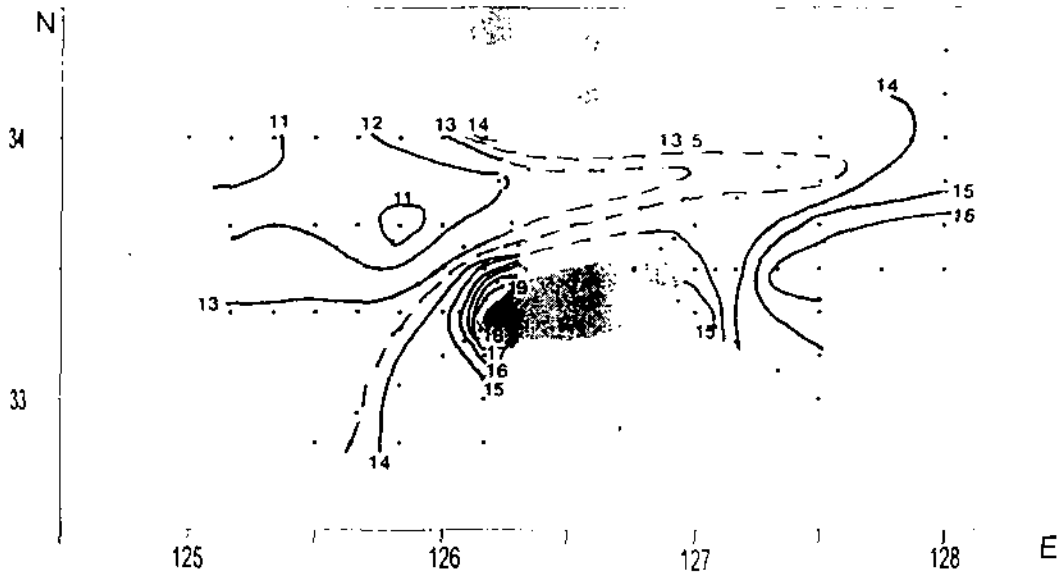


그림 3. 해저면 상의 수온 수평분포도.



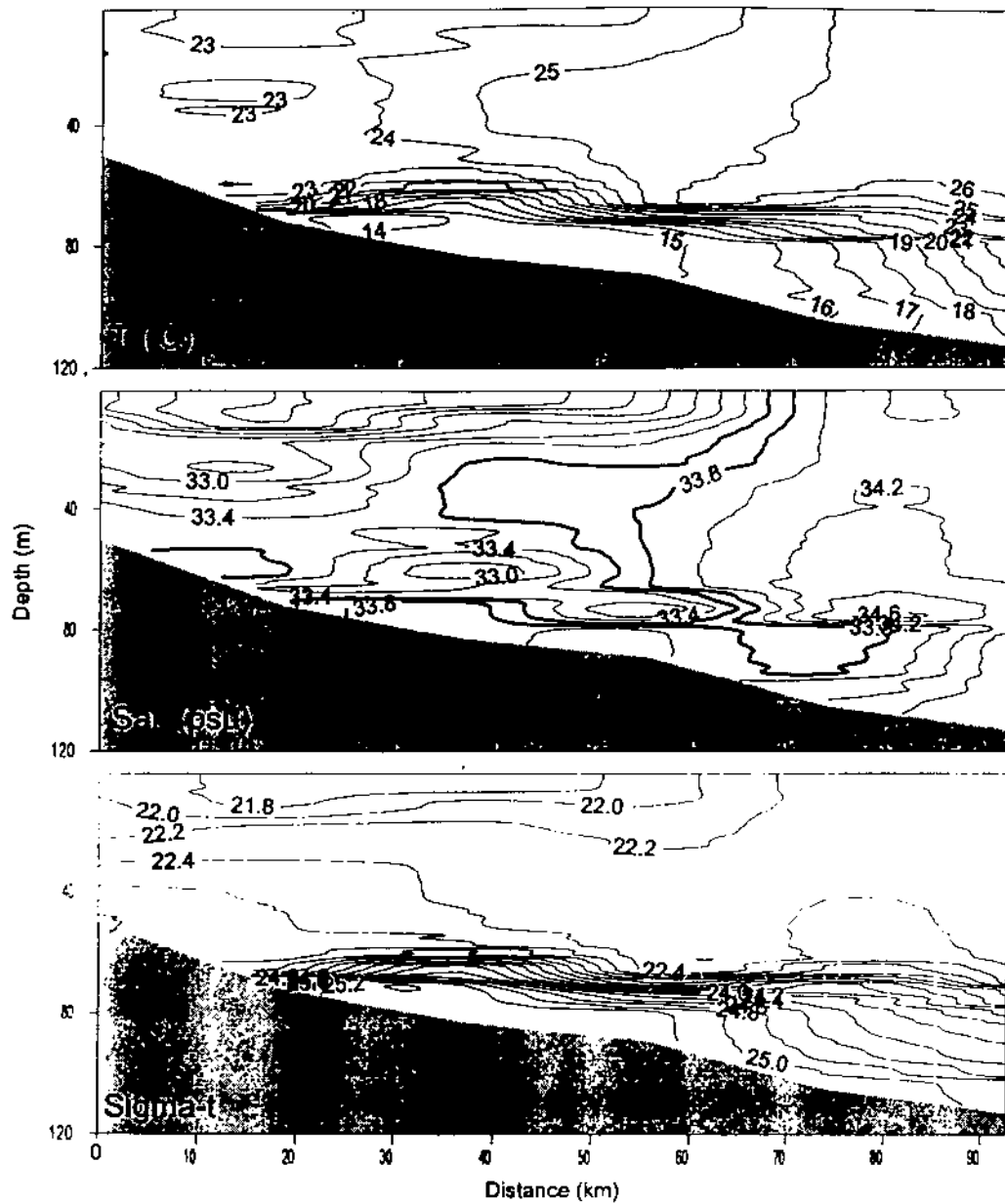


그림 4. 수온, 염분 및 밀도의 128 °E의 관측단면상 수직분포도 염분 분포도의 굵은 선은 33.6, 33.8 psu를 나타낸 것이다. 고온고염수가 40m 깊이를 중심으로 저염분의 해수 쪽으로 확장하고, 저염분의 해수는 수온약층을 따라 관입하는 양상을 보인다.

# 남해의 가을철 전선 구조와 변동

이상호<sup>1</sup>, 손영태<sup>1</sup>, 이재철<sup>2</sup>, 방익환<sup>3</sup>, 이동규<sup>4</sup>  
군산대학교<sup>1</sup>, 부경대학교<sup>2</sup>, 제주대학교<sup>3</sup>, 부산대학교<sup>4</sup>

## 관측

가을철 남해의 전선구조와 변동을 조사하기 위하여 1997년 10월 20일부터 11월 12일까지 3회에 걸쳐 제주해협과 대한해협사이에서 남북방향의 4-5 개 관측선을 설정하여 CTD 관측을 하여 수온, 염분 및 용존산소도를 조사하였다.

## 수계

관측해역의 수계는 전체적으로 12°C - 24°C, 32 - 34.6 %의 특성값을 보이며 상대적 저온-저염수와 고온-고염수로 대별된다. 특징적 현상으로 특성곡선이 두 수계의 영향을 받는 특성을 수직적으로 교대하여 나타내는 관측점이 많았으며, 두 수계사이에서 표층역이 저염화되는 경향이 나타난다. 이러한 특성곡선의 모양에서 두 수계가 등밀도선을 따라 서로 관입하는 현상과 표층에서 저염수가 두 수계를 분리하고 있음을 기대할수 있다.

## 전선의 구조

남해 중앙부인 고흥반도 남쪽의 단면 C에서 3차에 걸쳐 관측된 수직구조의 공통적 특징은 다음과 같다. 1) 남해에서의 계절적 수온약층 및 밀도약층은 50 - 60 m로 깊어져 있고, 연안쪽 수심이 낮은 곳으로 갈수록 약층이 얕아져 해수표면과 만나며 연안쪽 저온수와 외해쪽 고온수가 강한 열전선을 형성한다. 2) 연안쪽 저온수는 저층에서 핵구조를 보이고, 외해쪽 수온약층 아래에는 34 %이상의 고염수가 분포한다. 3) 열전선을 주변에 33 % 미만의 저염수가 표층에서 골을 이루며 골의 깊이는 50 m 이상으로 외해역과 연안역 해수를 분리하고 있다. 저염수 골은 열전선의 밀도구배를 증가시킨다. 4) 전선역 주변에서 강한 수온역전과 염분역전이 나타난다. 5) 이 전선은 남해안과 평행인 방향으로 분포한다.

## 전선의 변화

3회에 걸친 조사에서 단면 C의 전선구조는 변화를 보인다. 1차 조사단면과 2차 조사단면의 구조변화는 전선 남쪽과 북쪽의 표층역 수온이 2°C 정도 낮아졌고 연안쪽 저온수의 핵구조가 없어졌다. 하층에서는 수온약층이 깊어 전선을 따라 수온이 1°C 이상 증가하였다. 표층 골형태의 저염수가 염분이 1 % 정도 높아졌고 대규모의 염분역전이 사라졌다. 2차와 3차의 단면구조 변화는 외해역 표층수온이 1°C 정도 높아졌으며 전선의 연안쪽에 저온수의 핵구조가 다시 나타나 수온이 1°C 이상 낮아졌다. 이로인하여 전선의 밀도구배가 증가하였다. 표층 저염수의 염분은 다소

낮아졌고 전선 하부에서 강한 염분의 역전이 다시 발생하였다.

해면하 5 m에서 수평적으로는 1차 조사시에 완도와 청산도 주변에 연안역 저온수가 발달하여 강한 수평적 전선이 형성되었다. 남해도와 거문도 남쪽에서 전선의 사행이 관측되었으며 이 사행은 등밀도면을 따라 발생하는 것으로 밝혀졌다. 2차 조사시에는 연안역 저온수의 범위가 제주해협에서 남쪽으로 확장하였다. 제주해협 동쪽으로는 전선의 위치는 변화가 거의 없으나 전선의 강도가 변화되었다. 3차 조사시에는 연안역 저온수의 범위가 축소되어 제주해협쪽의 전선이 느슨해지며 2개의 열전선으로 구분되었고 해협내 표층저염수 골이 연안쪽 전선을 따라 나타났다. 이러한 표층 열전선의 변화는 인공위성 관측에서도 확인되었다.

### 표층저염수

표층저염수는 1차 관측시에 수온이 19°C - 21°C 정도이고 남해전선을 따라 동서방향으로 연장된 띠분포를 하고 있다. 저염수 골의 넓이는 제주해협 서쪽 입구에서 약 30 마일 정도이나 제주해협내에서 급속히 줄어들어 해협 동쪽에서는 10 마일 정도된다. 이 저염수 골에 의해 연안쪽과 외해쪽에 두 개의 염분전선이 나타나지만 외해쪽의 염분전선은 외해의 고온 표층수에 의해 밀도구배가 연안쪽보다 약하다. 조사해역의 동쪽에서 나타나는 열전선의 사행은 동염분선의 사행을 수반한다.

2차 관측시에 제주도 서쪽 입구에서 표층저염수는 염분이 다소 낮아지고 수온도 1°C 이상 낮아졌다. 저염수골의 분포와 넓이는 1차 관측시와 유사하나 제주해협내에서 염분이 현저히 증가하여 해협의 동쪽에서 높아진 염분의 띠가 형성되었다. 3차 관측시에는 표층저염수 골이 1, 2차 때보다 연안쪽으로 이동하였으며 넓이가 제주해협 동쪽입구에서 10 마일 정도로 축소되었다. 3차에 걸쳐 조사된 저염수 골은 40 m 깊이에서도 뚜렷한 띠분포를 유지하고 있다.

### 토의

늦은 가을철에 남해에서 형성되는 연안역 전선은 표층 열수지와 혼합, 그리고 저층의 조류혼합에 의한 destratification 과정에서 발생하는 것으로 판단된다. 전선의 수직적 구조 및 수평적 분포의 변화는 전선역을 따라 나타나는 저염수 골의 변화와 밀접한 관계를 보였다. 전선의 변화에 영향을 주는 요인들은 발생기작의 상대적 세기 변화외에도 국지적 풍성해류의 변화, 대마난류수의 이류 및 변동, 제주해협 서쪽에서 유입되는 저염수와 저층냉수의 변동, 동해내 해수운동이 대한해협을 통하여 전파되는 현상등이 고려될수 있다. 앞으로 남해전선을 연구하기 위해서는 이러한 복합적 물리적 환경변화 요인들에 대한 검토가 필요하며, 전선역의 역전현상에 대한 면밀한 분석이 요구된다.

# 제주해협의 해수분포와 해수수송

방익찬 · 노홍길

## 서 론

1995년 9월부터 1997년 8월까지 2년간 관측된 제주해협의 특성자료를 중심으로 제주해협의 해수분포와 해수수송의 계절변화를 살펴보았다. 관측은 2년에 걸쳐 이루어졌으나 기상악화와 기기작동불량으로 자료가 매월 연결되지 않는다. 따라서 2년의 자료중에서 각 월에 해당하는 자료를 연도에 관계없이 연결시켜 분석하였다. 특성자료 외에 5회에 걸쳐 추적한 부이자료가 있으며 해류를 분석하는데 사용하였다. 이 외에 제주도 주변해역의 분석을 위해 1965-1989간의 CSK자료와 1960-1991간의 해수연자료도 사용되었다.

## 해수분포

제주해협에서 5월부터 시작된 성층은 10월까지 계속되며 나머지 기간에는 전 층이 균질한 분포를 보인다. 성층이하의 년중 저온을 유지하는데 2월에 11-14°C의 최저수온을 보이고 약간씩 높아지다가 8월에 다시 11°C까지 수온이 낮아져 두 번의 최저수온을 보인다. 이 두 최저수온수는 수온은 비슷하지만 염분을 보면 겨울의 최저수온수는 고염(34psu 이상)으로 난류수인데 비해 여름의 최저수온수는 저염(34psu 이하)으로 황해냉수임을 알 수 있다. 예를들어 2월에 나타나는 11°C해수의 염분은 34.4psu 정도인데 비해 8월에 나타나는 11°C해수의 염분은 33.4psu 정도로 두 해수는 기원이 다른 해수이다. 이런 현상은 어떻게 발생하는 것일까?

제주해협의 해류는 세기의 차이는 있으나 년중 서에서 동으로 흐르기 때문에 겨울철에 고염의 난류수가 제주해협에 분포하기 위해서는 난류수가 제주도 북서쪽해역까지 확장되고 그 확장된 난류수가 제주도를 시계방향으로 우회하여 제주해협으로 유입되어야 한다. 이것은 제주해협의 수온분포가 겨울철에 서쪽이 높으며 염분분포도 수온분포만큼 뚜렷하지는 않으나 역시 서쪽이 높은 것으로 확인할 수 있다. 그러므로 겨울철에 제주해협에 난류수가 나타나는 것은 난류수가 겨울철에 황해 방면으로 확장하는 것을 보여주는 예로 볼 수 있다.

겨울철이 지나며 점차 높아지던 수온이 여름철에 겨울철만큼 낮아지는 것은 냉수의 유입이 없이는 불가능하다. 그러므로 여름철에 냉수가 제주해협의 저층에 분포하고 있는 것은 황해저층냉수가 제주해협으로 확장하기 때문이다. 제주해협에서 30m 이하 층의 수온과 염분분포가 겨울철에는 서쪽이 높던 것이 여름철에 동쪽이 높아지는 것도 냉수의 확장을 확인해 주는 결과다. 여름철 표층의 수온은 저층과는 다른 분포를 보인다. 표층에서는 여름철에 제주해협의 서쪽에서 오히려 높은 분포를 보인다. 표층고온의 분포는 표층저염의 분포와 일치하여 이 해수가 양자강연안수라는 것을 알 수 있다. 표층에는 양자강연안수가 유입되고 저층에는 황해저층냉수가 유입되는 것은 겨울철에 제주도 서부해역은 우회전하며 제주해협

으로 유출되던 난류수가 여름철에는 제주도 동쪽해역을 통해 대한해협으로 유출되고 있다는 것을 확인해 준다.

### 해수수송

제주해협을 가로지르는 관측선을 따라 구한 지형류는 불규칙한 결과를 보여준다. 이것은 이 해역의 해수분포가 복잡한데 비해 수심이 얕아 지형류 계산으로 이들을 충분히 반영하지 못하기 때문일 것이다. 그러나 전체적인 함에는 기본적인 변화가 나타나는데 관측선 1-4의 각 관측선을 통과하는 수송량의 평균을 보면 겨울철에 약 0.15Sv에서 여름철에 약 0.4Sv으로 증가한다.

이러한 지형류가 과연 실제의 해류를 어느 정도 나타내는지 살펴보기 위하여 부이자료와 지형류를 비교해 보았다. 그 결과 지형류는 부이자료의 대략 반 정도의 크기를 갖는다. 그러나 지형류도 수심이 얕고 해수분포 변화가 큰 제주해협에서 어느 정도 신뢰성이 있는지 판단하기 어렵지만 부이자료(표층자료)도 역시 바람과 조류나 파의 영향을 받기 때문에 어느 정도 실제해류를 보여 주는지 판단하기 쉽지 않다. 1960-1991년간 제주와 목포의 해수면자료를 분석한 결과로는 제주해협의 수송량의 계절변화는 약 0.3Sv이다 (Pang and Oh, 1994). 이에 비해 제주해협의 수송량의 계절변화는 지형류로 계산한 결과는 약 0.25Sv이며 부이자료를 지형류와 비교하여 구한 결과는 약 0.5Sv으로 볼 수 있다. 이렇게 차이가 나는 이유로는 부이자료가 해류 이외의 영향으로 크게 나타난 반면 지형류는 순압류를 포함하지 못해 실제 해류보다 약간 적게 나타난 것이 아닌가 생각된다. 그럼에도 불구하고 이 결과들로부터 제주해협을 통과하는 수송량의 계절변화 폭이 0.25-0.5Sv 사이라는 것은 알 수 있다.

### 해수순환

해수분포와 수송량을 비교할 때 궁금한 점은 황해저층냉수와 양자강수가 유입되는 여름철에 어떻게 수송량이 증가할 수 있는가이다. 왜냐하면 황해저층냉수의 유입량이 난류수의 유입량보다 크다고 생각하기 어려우며 양자강연안수의 유입량 역시 크다고 보기 어렵기 때문이다. 열의 확산이 없다고 가정하고 여름철 저층의 냉수분포의 시간변화와 공간변화로부터( $\partial T/\partial t + u\partial T/\partial x = 0$ , T: 수온, u: 유속) 구한 저층 냉수의 유속은 약 4cm/sec 이하로 제주해협의 전 층이 이 속도로 흐를 때 수송량은 약 0.2Sv이다. 양자강수의 유출량은  $9 \times 10^{11} \text{m}^3/\text{year}$ 로 여름철에 대략 0.05Sv이다. 그러므로 양자강연안수가 모두 제주해협으로 유입된다 하더라도 수송량에는 별로 도움이 되지 못한다. 그렇다면 여름철의 수송량의 증가는 황해저층냉수와 양자강연안수 이외에 다른 해수의 공급이 있어야 할 것이다.

동중국해의 해수분포를 보면 제주도 서쪽보다 동쪽에서 난류수의 세력이 크기 때문에 일반적으로 제주도 동쪽이 서쪽보다 수온이 높다. 그러나 제주해협의 겨울철 분포는 이미 언급한 바와같이 서쪽이 동쪽보다 높다. 또한 제주해협의 저층수온은 제주해협의 수송량이 급격히 떨어지는 11월부터 상승하기 시작한다. 이러한 현상들은 겨울철에 난류수가 황해로 확장하는 것을 뒷받침해 준다. 난류수가 황해로 확장되기 때문에 제주해협의 수송량이 급격히

떨어지며 확장으로 인해 제주도 북서해역에 분포하게 되는 난류수의 영향으로 제주해협 수온이 상승하고 따라서 서쪽이 높은 수온을 유지할 수 있다. 반대로 여름에는 황해로 확장되었던 해수가 동중국해로 축소되며 그 해수의 일부는 제주해협으로 유입될 것이다. 따라서 겨울철에 황해방면으로 확장되었던 난류수가 여름철에 동중국해로 축소되는 과정에서 제주해협으로 유입되는 해수의 공급으로 여름철 제주해협의 수송량이 증가하는 것으로 보인다.

## 결 론

제주해협의 저층수온은 2월과 8월에 두 번의 최저수온을 보이는데 겨울의 최저수온수는 난류수인데 비해 여름의 최저수온수는 황해냉수다. 이것은 겨울철에는 난류수가 황해방면으로 확장하는데 비해 여름철에는 황해냉수가 동중국해로 확장하는 것을 확인해 준다. 지형류로 계산한 제주해협의 수송량은 겨울철에 약 0.15Sv에서 여름철에 약 0.4Sv으로 증가한다. 또한 지형류 외에 부이자료와 해수면자료를 종합해 보면 제주해협을 통과하는 수송량의 계절변화 폭이 0.25-0.5Sv 사이라는 것은 알 수 있다. 여름철 수송량의 증가는 황해저층냉수와 양자강연안수 외에 겨울철에 황해방면으로 확장되었던 난류수가 여름철에 동중국해로 축소되는 과정에서 제주해협으로 유입되는 해수의 공급으로 설명될 수 있다.

## 제주도 근해의 해상풍과 해류

이 동 규

부산대학교 해양과학과

1991년부터 유럽위성센터의 인공위성 (ERS-I 과 ERS-II)에 의해 관측된 월 평균 해상풍을 제주도 근해를 중심으로 분석하였다. 겨울철에는 황해와 남해 전반에 걸쳐 북서풍이 거의 균일하게 평균 5 - 8 m/s로 불었다. 3월에는 동해나 황해는 북서풍이 아주 약해졌으나 제주도 근해와 동지나해에서는 4 - 5 m/s로 강하게 불었다. 여름철에는 남풍이 우세했으나 7월에 가장 강한 남풍이 불었다. 9월부터 북풍이 불기 시작하였고 다른 한국 근해와는 달리 제주도 근해와 동지나해에서만은 북풍이 강하게 불 것이 특이하였다.

겨울철 강한 북서풍에 의해 한반도 남단에 해수면 상승이 일어나 고온 고염의 동지나해 해수가 황해로 유입되는 해류가 형성된다. 이것은 1986년 초에 해류계로 관측한 자료와 1998년 2월에 투하된 위성추적 뜰개에 의해서 잘 나타났다. 해류계 자료에 의하면 3-4일 주기의 북풍과 6-7일 주기의 북풍이 북향성분의 해류와 상관관계가 크게 나타났다. 북풍이 강하게 불다가 약해지면서 북향류가 형성되는데, 황해 중부에서 먼저 형성이 되고 남쪽과 북쪽으로 북향류가 형성되었다. 바람에 의한 해수면 상승과 이에 의한 해류변동은 황해의 수치모델에 의해서도 잘 확인되었다.

5월부터 8월까지 부는 남풍에 의해 양자강수에 의해 형성된 저염수가 제주도 근해에서 동쪽으로 이동하여 대한해협을 통과하여 동해로 유입된다. 이 동향류는 위성추적 뜰개에 의해 확인되었으며 평균 해류 속도는 10 - 20 cm/s로 관측되었다.

## 조석강제력과 개방경계를 통한 유출입에 의한 남해의 2차원 해수순환

김충기<sup>1</sup>, 장정일<sup>2</sup>, 박 경<sup>3</sup>, 석문식<sup>2</sup>, 윤용훈<sup>1</sup>

1. 기상연구소 해양기상연구실; 2. 한국해양연구소 물리연구부, 3. 인하대학교 해양학과

남해는 서쪽으로는 제주해협, 동쪽으로는 대한해협에 이르는 해역이며 남쪽경계는 대략 제주도 동쪽으로부터 일본 오도열도를 잇는 선까지이다. 남해의 지형적 특징은 한국연안을 따라서는 50 m 이하의 수심으로 완만한 경사를 가지며 제주도 연안과 대마도 연안에서는 100 m 까지 다소 급한 수심변화를 보인다. 제주해협과 대한해협에는 200 m 이상의 깊은 골(trough)이 해협과 평행하게 발달되어 있고 골을 중심으로 한국 연안측은 경사가 완만하며 대마도 쪽으로는 경사가 비교적 급하다. 남해는 서쪽으로 황해와 동중국해, 동쪽으로는 동해와 연결되어 있어 인접한 서로 다른 수괴들의 상호 교환이 있으며, 해수유동은 조류, 대마난류를 포함한 개방경계를 따른 해수의 유출입, 밀도류, 취송류 등의 복합적 작용에 의해 결정된다. 남해의 해수순환 및 물질순환을 재현하고 예측하기 위해서는 제반 외력이 모두 고려되어야 하며, 특히 기존의 연구결과에 의하면 대마난류를 포함하여 개방경계를 따른 해수의 유출입이 반드시 고려되어야 함을 시사한다. 그러나 남해를 포함한 해역에 대한 기존의 많은 모델들은 조석 강제력만을 고려하여 외해와 연결된 개방경계를 통한 해수의 유출입은 고려하지 않았다. 일부 모델에서는 강제 유속을 부여하여 해류를 고려하였지만 조석과 해류를 개별적으로 고려하여 조석과 해류가 동시에 고려된 경우의 해수순환을 재현할 수는 없었다 (김, 1994). Chang et al (1997)은 수심이 얕고 지형이 복잡한 내만에서 조석 잔차류나 바람의 효과가 중요하지만 외해역 개방경계를 따른 유출입 효과도 중요한 역할을 할 수 있음을 제시하함으로써 조석 강제력과 유출입이 동시에 고려되어야 함을 강조하였다. 이 연구에서는 남해에서 장기간 물질 이동을 모의하기 위한 기초단계로서 조석과 유출입에 의한 해수순환을 남해 전 영역에 걸쳐서 모의하는 2차원 수치모델을 구성하였다.

사용된 모델은 수평방향의 2차원 POM(Princeton Ocean Model)을 사용하였고 외력으로는 조석과 함께 개방경계를 따른 유출입을 동시에 고려하였으며 바람은 고려되지 않았다. 격자구성은 x, y 방향으로 동일하게 3 km를 사용하여 46 × 111개의 격자로 구성하였다. 조석에 대한 경계조건으로 해양 조사원의 조석관측 자료(한국해양연구소, 1996a)와 Odamaki(1989)의 조석도를 사용하여 주요 4개 분조(M2, S2, K1, O1)에 대한 조화상수(조위와 위상)를 구하여 개방경계를 따라 모델직분 시간간격마다 조위를 부과하였다. 조위를 부과함으로써 개방 경계를 따라 계산되는 조류에 1997년 3월과 4월에 제주해협, 제주도동부, 대한해협에서 관측된 ADCP자료(한국해양연구소, 1997)로부터 계산한 해류(유출입 조건)를 부과하여 줌으로써 조석과 해류를 동시에 고려하는 순환모델(Circulation model)을 새로이 구성하였다. 모델에서 가장 불확실성(uncertainty)이 높은 것이 마찰계수이다 연구해역에



적합한 마찰계수를 결정하기 위해 37개의 연안 조석 관측점에서 관측된 조석자료와 모델 결과를 비교하는 모델 보정을 수행하였다. 이때 마찰계수의 결정은 연안조석자료를 평균적으로 가장 잘 재현하는 값( $C_D=0.0025$ )을 선택하였다. 마찰계수가 결정된 모델의 신뢰도를 확인하기 위하여 모델 보정에 사용되지 않은 5개 정점(T1~T5 in Fig. 1a)에서 관측된 조위 시계열 자료와 외해역에 위치한 거문도(C1)와 내만에 위치한 삼천포(C2)에서 관측된 조류 시계열 자료를 이용하여 조석 및 조류에 대한 검증 실시하였다. 조위에 대한 검증결과는 관측값과 모델 결과가 모두 잘 일치하였다. 조류에 대한 검증결과는 외해에 위치한 거문도의 경우 동향류는 모델결과가 관측값보다 조금 큰 값을 가지며 서향류는 작은 값을 나타내었고 위상은 관측값을 잘 재현하였다. 남북방향의 유속성분은 크기와 방향 모두 관측치와 모델결과가 잘 일치한다. 내만에 위치한 삼천포에서 동서 성분은 다소 작은 값을 가지지만 남북 성분은 관측치 보다 최고 60 cm/s 까지 작게 계산되고 있다. 조류는 조석보다 지형의 영향을 많이 받기 때문에 연안으로 가까워질수록 오차가 커지는 경향을 보인다. 순간 유속 분포는 조류성분이 크기 때문에 조석만이 외력으로 고려된 결과와 큰 차이를 보이지 않지만, 해류성분 때문에 전반적으로 동향류의 유속이 강해짐을 볼 수 있다. 대한해협에서 북동향의 해류 때문에 남서방향으로 흐르는 창조류의 유속이 감소하였고(한국해양연구소, 1985) 북동향의 낙조류는 유속이 증가하는 경향을 보인다. 특히 조석만이 고려된 모델(Tide model) 결과와는 달리 대마도 서쪽연안을 따라서는 항상 북동향의 흐름을 보이고 있다. 이는 이 지역에서 나타나는 25 cm/s 이상의 강한 북동향의 해류 때문인 것으로 사료된다.

조류를 제거한 평균적인 해류성분은 5 cm/s 이하의 조석간차류(Fig. 1a)와 비교해 훨씬 큰 값을 가지며 등수심선을 따라 동쪽으로 흐르는 뚜렷한 방향성을 보여 준다(Fig. 1b). 제주해협을 통해 12 cm/s, 제주도과 대마도를 잇는 남쪽경계를 통해 15 cm/s의 유속으로 남해로 해수의 유입이 있고 대한해협을 통해 최고 50 cm/s의 유속으로 동해로 빠져나가고 있어 기존의 관측자료에 의한 결과(Mittra and Ogawa, 1984; Chang and Kim, 1995; Lie and Cho, 1997)와 비슷한 결과를 보인다. 수심이 얕고 지형이 복잡한 연안역에서는 두 외력에 의한 해수유동은 유출입 만을 고려한 유동과 비교해 최대 5 ~ 10 cm/s 에 이르는 차이를 보인다(Fig. 1c). 이는 남해의 해수 순환을 적절히 재현하기 위해서는 조석과 해류를 동시에 고려하여 조석과 해류의 상호작용으로 발생할 수 있는 흐름도 고려되어야 함을 시사한다. 거문도와 삼천포에서 관측된 시계열 자료를 사용하여 순환모델에 대한 검증을 수행하였다. 순환 모델의 경우 조류성분을 제외하고는 시간에 따라 변하지 않는 해류가 외력으로 부여되었기 때문에 관측기간 동안의 평균적인 흐름을 순환 모델이 잘 재현하는 지를 비교하였다. 거문도(C1)의 경우는 조석모델의 경우 유속은 75.6 % 의 큰 절대 상대 오차를 보였지만 유출입 조건이 고려된 순환모델에서는 6.7 % 의 작은 오차를 보였고 방향 또한 관측치를 더 잘 재현하였다(Fig. 2). 그러나 내만에 위치한 삼천포(C2)에서는 두 경우 모두 큰 오차를 보여 3 km 격자로는 내만의 해수유동을 적절히 재현 할 수 없으며 이를 해결하기 위해서는 더 세밀한 격자로 구성된 nested sub-grid model이 필요함을 시사한다.

이상의 결과로부터 평균적인 연안조석 자료를 가장 잘 재현하는 마찰계수 0.0025를

사용하여 구성된 모델이 임의의 기간동안 관측된 조석 및 조류 시계열 자료를 잘 재현하고 있음을 보여 준다. 즉 이 연구에서 구성된 모델이 조석강제력에 의한 남해의 해수유동을 잘 재현하고 있음을 의미한다. 또한 순환 모델 결과로부터 남해에서 조석주기 이상의 평균적인 해수 순환 및 장기적인 물질의 이동·확산을 재현하기 위해서는 반드시 개방경계를 따른 해수의 유출입 조건이 고려되어야 하며 수심이 얕고 지형변화가 심한 연안역은 조석과 해류에 의한 상호작용으로 추정되는 흐름이 나타나고 있어 이들 두 외력이 동시에 고려되어야 한다. 본 연구에서는 3월과 4월에 관측된 자료를 사용하여 대마난류 성분을 고려하였다. 이는 1997년 9월 관측된 수송량과 비교해 작은 때의 수송량을 유출입 조건으로 사용한 것으로 추후 계절적으로 변하는 수송량이 고려되면 더 현실적인 해류 분포를 얻을 수 있을 것이다. 또한 남해는 저온 저염의 연안수와 고온고염의 대마난류수 및 제주난류수와의 상호작용 때문에 경압류에 의한 효과도 해수 순환에 영향을 미치고 있어 남해의 해수 순환에 대한 정확한 이해를 위해서는 앞으로 경압효과가 고려된 3차원 모델로의 개발이 필요할 것이다.

#### 참고 문헌

- 김경환 (1994) 대한해협 해류예측에 관한 연구. 성균관대학교 토목공학과 석사학위 논문, 113 pp.
- 한국해양연구소 (1985) 한국해협에서 하계 해수특성과 조석운동. 한국해양연구소, 66 pp.
- 한국해양연구소 (1996a) 한반도 주변 조석 조화상수 자료집. 한국해양연구소, 282 pp.
- 한국해양연구소 (1997) 남해대륙붕 물질순환과 생지화학 환경연구. BSPE97612, 49-177.
- Chang, K.I. and K. Kim (1995) Sub-tidal flow in the Cheju Strait. *The Yellow Sea*, 1: 93-103.
- Chang, K.I., C.K. Kim, M.S. Suk, S.Y. Nam and L.H. Kantha (1997) Barotropic Circulation of the South Sea -Preliminary Model Results. *Ocean Research*, 19(2): 139-152.
- Lie, H.J. and C.H. Cho (1997) Surface Current Fields in the Eastern East China Sea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 32: 1-7.
- Mitta, T. and Y. Ogawa (1984) Tsushima currents measured with current meters and drifters, pp. 67-76. In: T. Ichive (ed.), *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, Elsevier, Amsterdam.
- Odamaki, M. (1989) Tides and Tidal Currents in the Tusima Strait. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 45: 65-82.

Fig.1. Time series of monthly-mean precipitation in Pusan (1904-1995), Cheju (1923-1995), Mokpo (1904-1995), Yosu (1943-1995), and in Sogipo (1961-1995) convoluted by 24-month Hanning's filter (curves), and long-term linear trend (solid lines).

Fig.2. Power spectral density of the precipitations in Pusan, Cheju, Mokpo, Yosu, and in Sogipo. The frequency unit is in [cycle/year].

#### References

- Korea Meteorological Administration 1991: *Climatic Atlas of Korea*.  
(in Korean) 160pp.
- Korea Meteorological Administration 1995: *Changma White Book* (in Korean).  
Tongjin Munhwa Co., 345pp.
- Korea Meteorological Administration 1996: *Typhoon White Book* (in Korean).  
Tongjin Munhwa Co., 261pp.
- Ho, Chang-Hoi and In-Sik Kang 1988: The Variability of Precipitation in Korea. (in Korean) *J. Korean Met. Soc.*, 24(1), 38-48.
- Kang, In-Sik, Yang-Mi Lee, and Soon-Il An 1995: Interannual variability of Typhoon activity over the western Pacific and El Niño. (in Korean) *J. Korean Met. Soc.*, 31(1), 15-26.

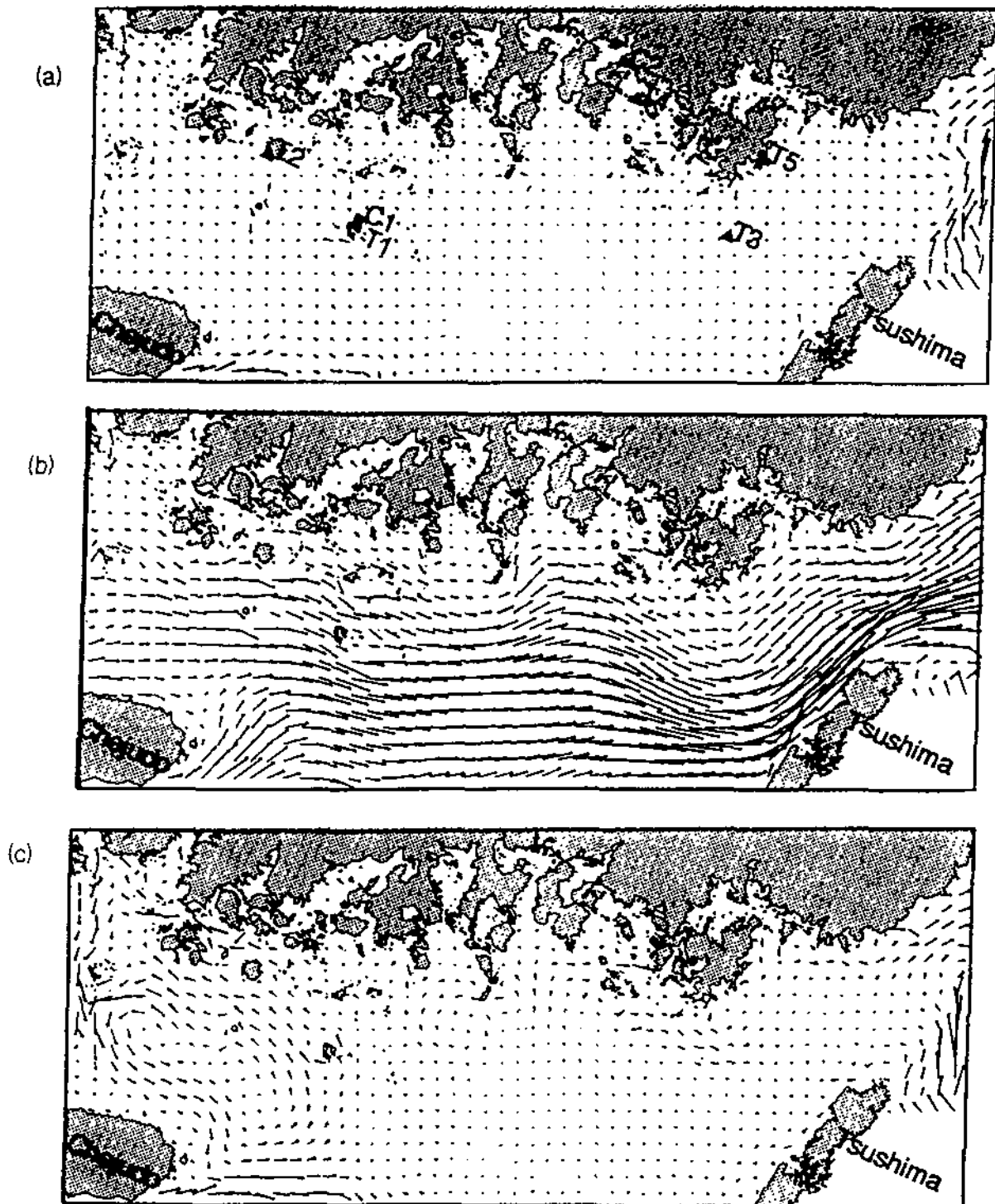


Fig. 1. Calculated circulation of the South Sea driven by (a) tide and (b) tide and inflow-outflow forcings. A difference in circulation driven by tide and inflow-outflow forcings, and inflow-outflow forcing only.

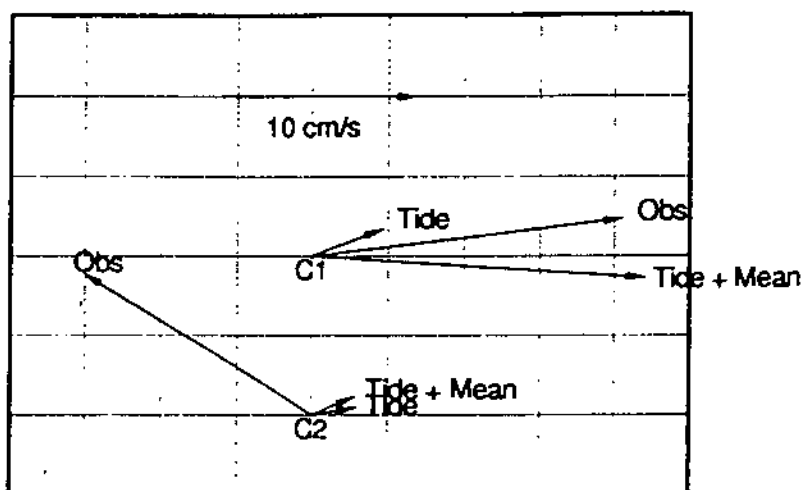


Fig. 2. Observed mean velocity at station C1 and C2 in Fig. 1 during July 20 - August 23, 1986 and during September 27 - October 18, 1989 respectively (marked as Obs) together with model results at the same locations driven by tide (marked as Tide), and by tide and inflow-outflow forcings (marked as Tide + Mean).

# On the Variations and the Balance of Volume Transports between Straits in the South Sea of Korea

남수용, 석문식, 장경일  
한국해양연구소 해양물리연구부

남해는 제주해협을 통해 황해와 그리고 제주도와 일본 오도열도 사이를 통해 동중국해와 연결되어 있어 인접해역과 활발한 해수교환이 일어나고 있다. 제주해협과 제주-오도열도 사이를 통해서도 연중 황해 및 동중국해의 서로 성질이 다른 해수가 남해를 통해 동해로 유입된다 (Fig. 1). 천해인 남해는 겨울철에는 전층에 걸쳐 수층이 균질해지며 여름철에는 강한 성층화가 일어나는 등, 시·공간적으로 복잡한 해황변동을 보인다. 특히 여름철에는 양자강 유출수에 의해 희석된 해수가 제주도 주변해역을 포함한 남해에까지 그 영향을 미치며 유출수의 양적변동에 의한 남해의 저염화 정도는 주변 어장환경에 큰 영향을 미친다. 남해의 전반적인 해류는 동향류가 우세함이 일부 보고되었으나 장기간에 걸친 해류 관측자료의 결핍으로 해류의 시·공간적인 변동 및 순환역학은 파악되지 못하였다. 남해의 해수순환을 지배하는 요인은 조석, 바람, 면안역으로부터의 담수유입 및 인접해역과의 경계면을 통한 해수 유·출입이며, 특히 해수의 유·출입은 남해의 순환을 지배하는 일차적인 요인이다. 남해에서 빈번하게 발생하는 적조 및 유류 유출사고에 대비하고 남해의 효율적인 이용과 보존을 위해서는 남해의 해류 및 해수순환이 정량적으로 파악되고 그 변동성이 규명되어야 하며, 해수순환 및 경계면을 통한 유·출입을 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템이 구축되어야 한다.

본 연구에서는 남해의 해황과 해협을 통한 인접해역간의 해수교환의 변동성을 파악하기 위해 1997년 3월-4월과 9월-10월에 제주해협, 제주도-대마도, 남해도 남쪽, 대한해협 서수도의 기준선을 설정하여 CTD를 이용한 남해해황 관측을 실시하였고, 제주해협 및 대한해협 그리고 제주 동부역에서 ADCP 광복관측을 통해 효과적으로 조류성분을 제거한 해류를 측정하여 해수수송량 변동을 살펴보았다.

1997년 3월 제주해협은 해저수심 약 40m를 경계로 남해연안역에는 저온·저염수가 분포하며 외해는 고온·고염수가 나타나지만, 제주해협의 염분은 34.0 psu 미만을 갖는다. 34.0 psu 이상을 갖는 대마난류수는 제주도 동부단면을 통해 남해로 유입되는 것으로 나타난다. 제주해협의 깊은골 왼쪽사면에 저온·저염수가 나타나는데 그 밀도는 연안의 저온·저염수와 같지만 연안역에 위치한 수온-염분 전선역에 의해 차단되어 있어 그 기원은 황해 저온·저염수의 유입으로 사료된다. 남해도 남쪽 단면은 연안에 저온·저염수와 외해에 고온·고염수가 분포하지만 외해의 저층에는 34.0 psu 이하의 저염수가 나타난다. 이러한 저염수는 연안수의 확장에 의한 것으로 사료된다. 제주해협의 해류는 진도연안을 제외하고는 동향류가 우세하게 나타나며 최대유속은 20cm/sec 이상을 보인다 (Fig. 2). 해수수송량은 0.37 Sv로 1995년 4월 관측결과 (0.3 Sv)와 비슷한 값을 보인다 지형류 계산에 의한 수송량은

0.15 Sv으로 관측된 수송량의 약 40%정도를 보인다. 국립해양조사원에서는 1997년 4월에 대한해협에서 관측된 결과에 의하면 해류의 방향은 전 층에서 동향 또는 북동향을 보이고, 최대유속은 대한해협 중앙부 표층에서 약 50 cm/sec로 관측되었다 (Fig. 3). 지형류 분포도 이러한 유속분포와 크기에 있어서 차이를 보이지만 유사한 분포를 보인다. 하계에 대한해협 깊은 골에서 나타나는 남향류는 관측된 해류분포에서는 나타나지 않는다. 대한해협 서수도를 통해 동해로 유입되는 수송량은 1.22 Sv 이며, 지형류에 의해 계산된 수송량은 0.28 Sv 으로 총 수송량의 23%에 불과하다.

1997년 9월의 남해 수괴특성은 표층에는 양자강수, 황해 저염수등의 영향을 받은 고온저염수가 분포하며, 저층에만 고염가 나타난다. 제주해협의 염분분포는 3월과 같이 34.0 psu 이하를 보이고 있으며, 제주도-대마도 단면에서도 저층에만 34.0 psu 이상의 고염수가 나타난다. 제주해협의 해류는 대부분 북동향을 보이며, 면안역에서는 남동향류를 보이고 있다. 해류의 최대속도는 약 40cm/sec 정도로 3월보다는 강한 해류분포를 보이며, 해수수송량도 0.67 Sv으로 3월에 비해 2배정도 증가되었다 (Fig.4). 또한 지형류에 의한 수송량도 3월에 비해 약 4배 정도 증가하여, 관측된 수송량의 대부분이 경압성분을 보인다. 대한해협의 해류구조는 대부분 북동향류를 보이며, 최대유속은 약 60 cm/sec를 갖는다 (Fig. 5). 그러나 대한해협 깊은 골의 수심 120m 이심에서는 유속이 수 cm/sec정도로 남해로 유입되는 방향을 보이며, 이러한 남향류는 동해로부터 남해. 저층을 통해 저온저염수의 유입을 뒷받침하고 있다.

1997년 3-4월에 남해로부터 대한해협 서수도를 통해 동해로 유입되는 해수수송량의 약 30%는 제주해협에서 기원된 것이며 나머지 70%는 제주도-대마도 사이를 통해 대한해협으로 유입되는 것으로 나타난다. 1997년 9-10월에는 대한해협에서 제주해협에 기원을 둔 수송량 비율이 3-4월 보다 다소 높은 38%를 보인다. 이러한 남해 해협간 해수수송량의 균형은 지형류에 의한 수송량의 균형과 다소 차이를 보이는데 대한해협의 경압성분 수송량중에 3-4월에는 약 50%, 9-10월에는 약 80%가 제주해협의 경압성분 수송량에 기원되었다. 대한해협의 순압성분의 수송량은 제주해협 기원이 3-4월에는 23%, 9-10월에는 3%에 불과하다. 이는 대한해협의 순압성분 수송량의 약 80% 이상이 쿠로시오에 기원을 둔 대마난류의 순압성분이 제주-대마도 사이를 통해 대한해협으로 유입되었음을 의미한다.

#### List of Figures

Fig. 1. 연구해역의 해저수심도

Fig. 2. 1997년 봄철 제주해협에서 ADCP로 관측된 일평균 해류분포 및 지형류 분포

Fig. 3. 1997년 봄철 대한해협에서 ADCP로 관측된 일평균 해류분포 및 지형류 분포

Fig. 4. 1997년 가을철 제주해협에서 ADCP로 관측된 일평균 해류분포 및 지형류 분포

Fig. 5. 1997년 가을철 대한해협에서 ADCP로 관측된 일평균 해류분포 및 지형류 분포

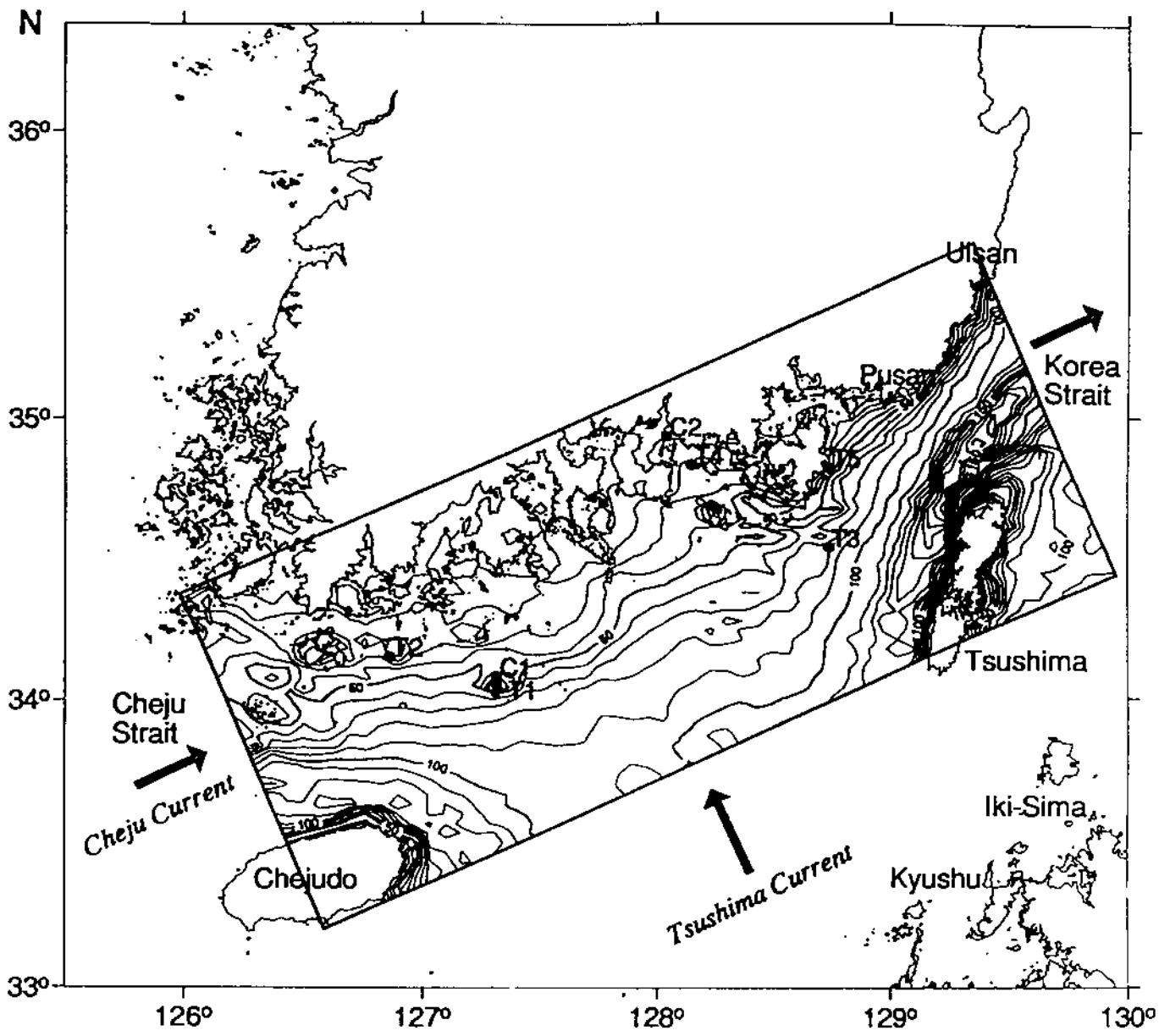


Fig 1



Sectional distribution of oceanic current  
Observed by ADCP & Geostrophic current

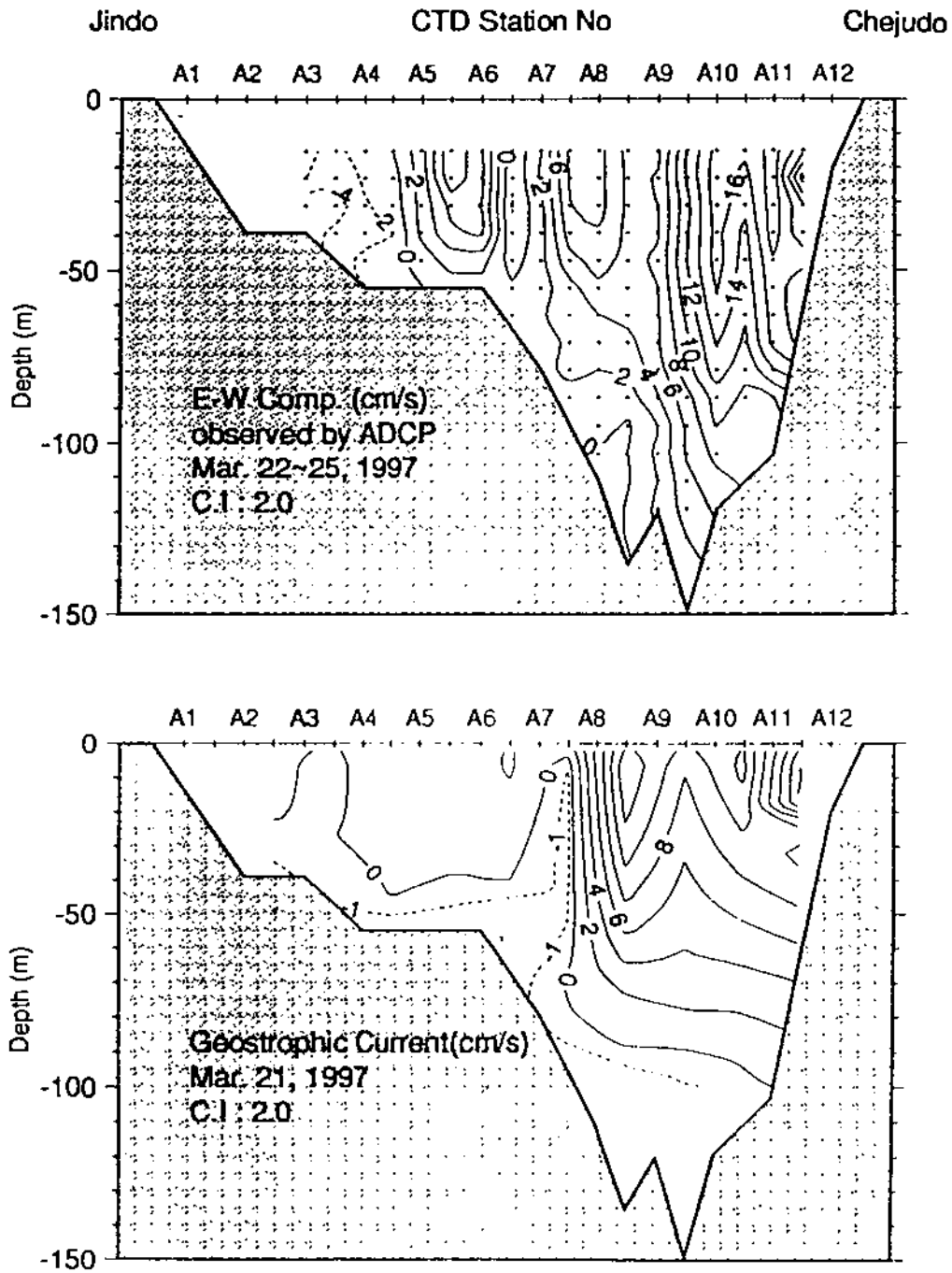


Fig 2

Sectional distributions of oceanic current  
 Observed by ADCP and Geostrophic current

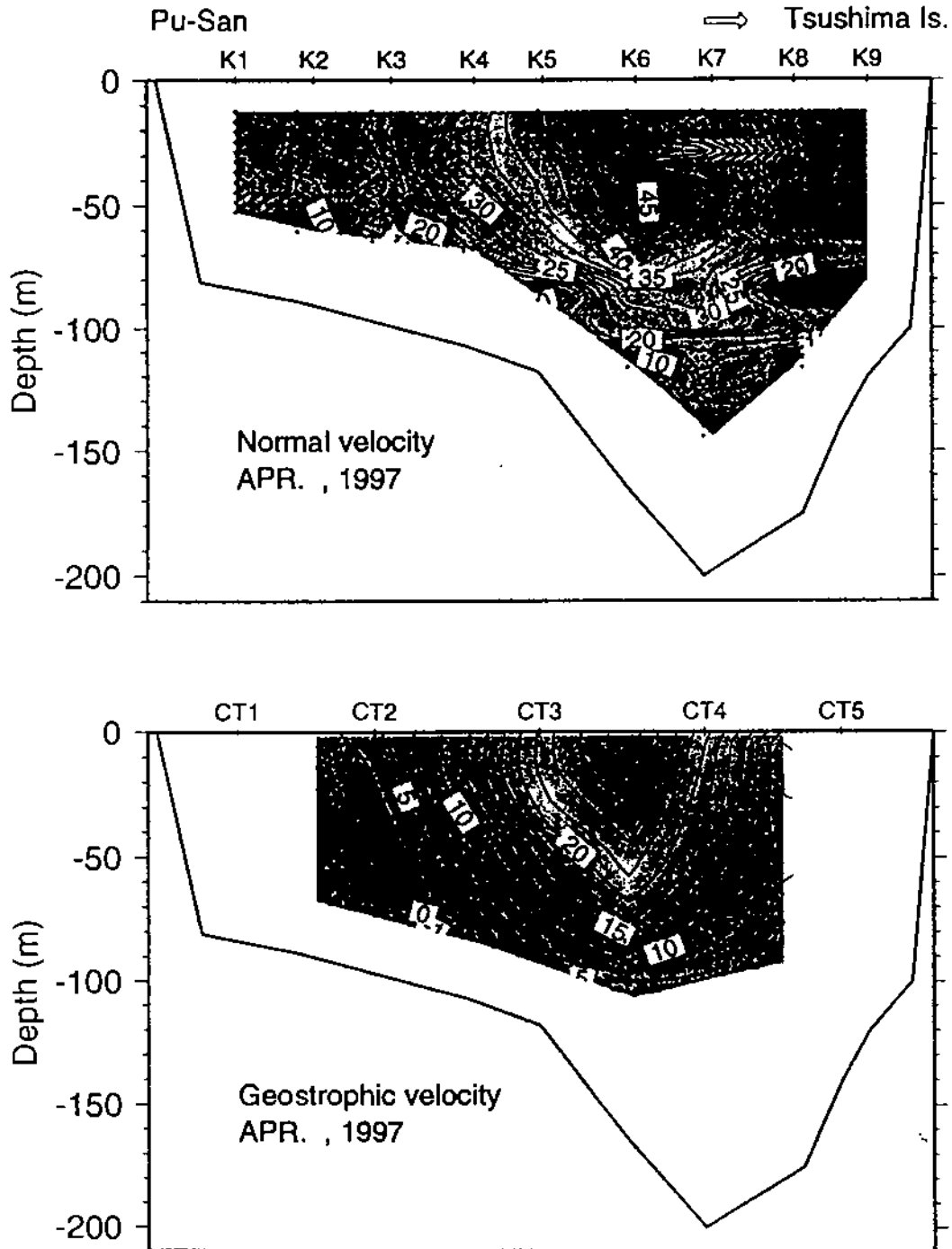


Fig 3

Sectional distribution of oceanic current  
observed by ADCP

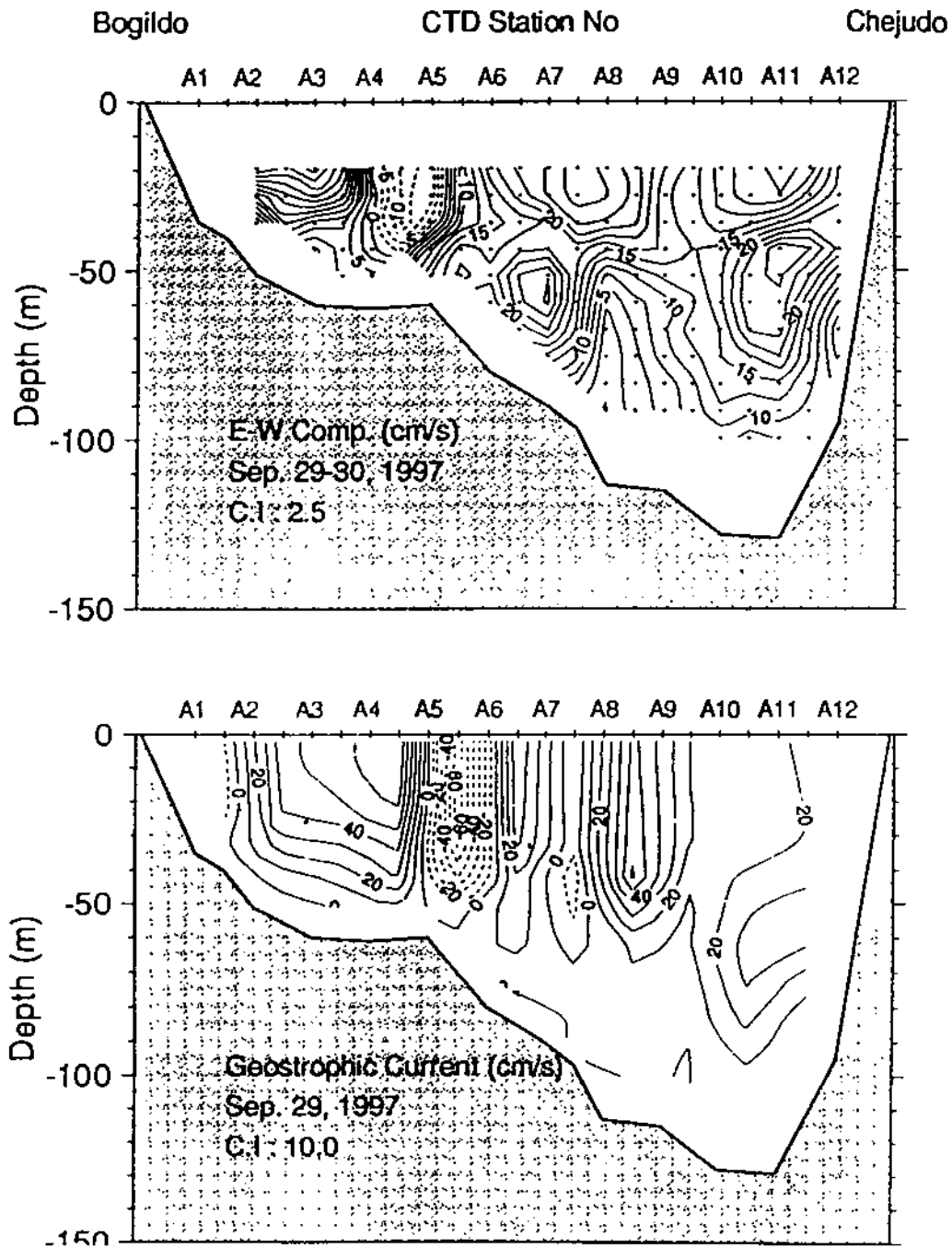


Fig 4

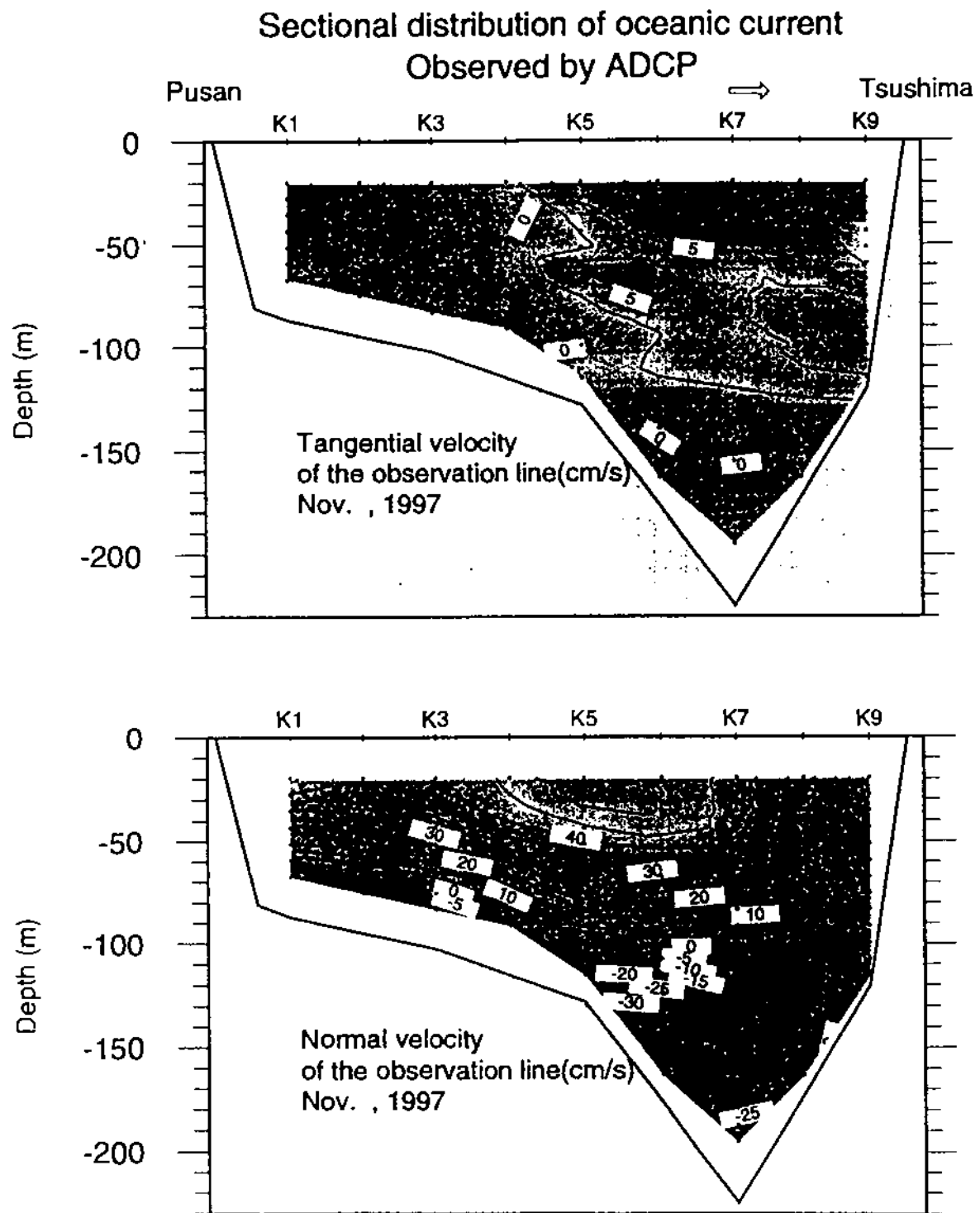


Fig 5

## On the Cheju Current

Kyung-Il Chang\*, Moon-Sik Suk\*, Soo-Yong Nam\*, Dongchull Jeon\*, Do-Youn Kim\*, Chung-Ki Kim\*\*

\*Physical Oceanography Division, KORDI

\*\*Marine Meteorological Research Laboratory, Meteorological Research Institute

### 1. Introduction

Uda (1934) firstly proposed a general circulation pattern in the Yellow, East China, and East Seas analyzing the synoptic temperature and salinity data obtained in June, 1932. Since then the circulation on the Yellow Sea continental shelf has long been believed to consist of the northward-flowing Yellow Sea Warm Current (YSWC) along the western coast of Korea, the southward-flowing China Coastal Current along the Chinese coast, and cyclonic gyres in between them. The YSWC originating from the Kuroshio reaches the Pohai Sea according to Uda (1934).

Based upon the hydrographic and dissolved oxygen data gathered in the southwestern sea off Korea in summer, Kim (1980, 1982) casts a doubt about the deep penetration of the YSWC into the Yellow Sea. Instead, Kim suggested that a branch of the Kuroshio enters the Cheju Strait and flows eastward in the strait after turning around the western end of Cheju-Do. Kim's suggestion was further supported by other summertime hydrographic data (Lie, 1986; Park, 1986b). Drifter trajectories launched in the area west of Cheju-Do also questioned the existence of the YSWC in summer (Beardsley et al., 1992).

Kim et al. (1991) reanalyzed the hydrographic data obtained around Cheju-Do in summer together with the hydrographic data simultaneously obtained in the Yangtze bank by the U.S.-China co-operative study. They showed that a low salinity water originating from the river plume over the Yangtze Bank extends northeastward toward Cheju-Do, separates warm and saline water of the oceanic origin around Cheju-Do from the

surface water of the Yellow Sea. Below the seasonal thermocline the oceanic water encounters the Yellow Sea Cold Water forming a thermal front. Kim et al.'s results are suggestive of little possibility of the existence of northward flowing YSWC at least in summer. A naturally arising question is that how the salt balance could be maintained in the Yellow Sea, where a vast amount of fresh water discharges into the area mainly in summer, if no advection of saline water takes place. Lee (1989) and Lee and Kim (1989) argued that the eddy diffusion process may play an important role for the salt balance in the Yellow Sea.

Based upon hydrographic and current data, Chang et al (1995) firstly proposed to call the warm and saline water the Cheju Warm Current (CWC), which originates from the Kuroshio and enters the Cheju Strait after turning around the western coast of Cheju-Do. Water masses in the Cheju Strait consist of not only the warm and saline water carried by the Cheju Warm Current but also relatively fresh waters of various origin from the Yellow Sea (Kim et al., 1991; Cho and Kim, 1994) and from the Yangtze Bank in China (Kim et al., 1991; Kim and Rho, 1994). Historical current data in the Cheju Strait indicate that all these water masses generally flow eastwards (for example, see Chang and Kim, 1995). Suk et al. (1996) further confirmed the eastward flow across a whole section in the Cheju Strait using the data obtained through repeated ADCP measurements, called this whole eastward flow the Cheju Current (CC).

This paper summarizes our knowledge about the Cheju Current using some available data sets (Fig. 1).

## 2. Hydrography

### 2-1. Winter

Shelf waters in the East China and Yellow Seas are destratified due to surface cooling and strong winds in winter. Horizontal thermohaline fronts, however, are formed in areas where the cold and fresh shelf waters meet the warm and saline waters of oceanic origin.

The influence of the Kuroshio, therefore, can be easily traced from the SST (sea surface temperature) and/or salinity distribution. Mean temperature and salinity distributions at surface and 50 m depth based on hydrographic data taken during 1967–1987 by National Fisheries Research and Development Agency (NFRDA) east of 124 °E indicate the vertical homogeneity of water column and horizontal thermohaline fronts between 34 °N and 35 °N (Fig. 2). Warm ( $T > 14.0$  °C) and saline ( $S > 34.2$ ) water of Kuroshio origin is obvious around the Cheju-Do from this climatology. Lie (1985) also noted the presence of horizontal fronts west of Cheju-Do and pointed out no northward flow east of 124 °E. As the area routinely covered by NFRDA is confined to the southeastern part of the Yellow Sea, it is hard to justify with this data only whether the YSWC penetrates into the Yellow Sea in winter or not.

Zheng and Klemas (1982) reported winter SST pattern in the whole Yellow Sea derived from satellite images, which shows a warm tongue in the southwest of the Yellow Sea. Main axis of the warm tongue first points to the northeast toward Shangdong Peninsula and then turn north at around 35°, and it lies slightly to the west of the Yellow Sea trough where the water depth exceeds 70 m. Zheng and Klemas (1982) observed the warm tongue for two consecutive years 1979 and 1980, and mentioned that the life-time of the warm tongue is about 4.5 months from the end of November to the beginning of April. Other studies based on hydrographic data obtained in a wide area of the Yellow Sea also showed the warm tongue in winter (e.g., Asaoka and Moriyasu, 1966). Biological indication of the YSWC in winter is also suggested by Asaoka and Moriyasu (1966), who noted that an oceanic and warm species, *Rhizosolenia stolterfthii*, which is distributed ubiquitously in the Kuroshio and the Tsushima Current regions, was found in the south of Shangdong Peninsula (35°N, 121°E).

Hydrographic and satellite data taken in winter suggest that the warm and saline Kuroshio water west of Cheju-Do splits into two, and one tribute enters the Cheju Strait after turning around the western coast of Cheju-Do as the CWC and the other enters the Yellow Sea as the YSWC. Warm waters carried by the CWC occupy nearly the whole

Cheju Strait between Cheju-Do and a line connecting Chuja-Do and Chongsan-Do, and cold coastal waters appear near the southern coast of Korea with a thermal front in between them (Rho and Kim, 1983).

## 2-2. Summer

Water column becomes vertically stratified exhibiting predominantly a two-layer structure in summer. Fresh water plume from the Yangtze Bank (Changjiang River Diluted Water, CRDW) reaches around Cheju-Do (Kim et al., 1991; Kim and Rho, 1994), and surface salinity distribution around Cheju-Do becomes complicated due to the presence of coastal waters of different origin. Three water masses can be identified at surface in August (Fig. 2); high temperature and high salinity waters southeast of Cheju-Do, low salinity waters southwest of Cheju-Do, and low temperature and high salinity waters northwest of Cheju-Do. The low salinity water southwest of Cheju-Do is due to the influence of the CRDW, which is fresher and warmer than the Korean Coastal Waters. Below the seasonal thermocline, the horizontal distribution of water properties is similar to that in winter. Both the temperature and salinity increase from the southwest to the northeast, and a salinity front is obvious at 50 m depth between 33.5 °N and 34 °N though the salinity difference is much reduced compared with that in winter. Due to the spreading of the Yellow Sea Cold Water (YSCW) in summer (Nakao, 1977; Youn, 1986), isotherms at 50 m depth west of Cheju-Do run north-south.

The CC in the Cheju Strait in summer mainly consists of three water masses; the warm and saline Cheju Warm Current Water (CWCW) and the cold and less saline water below the seasonal thermocline, and the CRDW at surface (Fig. 3). The CRDW extends to the northeast after formed at the mouth of the Yangtze River, and appears around Cheju-Do in summer. There seems to be little indication of the deep penetration of the CWCW into the Yellow Sea in summer. Instead, a high salinity core west of Cheju-Do is carried into the Cheju Strait hugging the north coast of Cheju-Do. Kim (1980) was the first to clearly mention the existence of warm current turning around west of Cheju-Do and entering



the Cheju Strait based on carefully-designed hydrographic measurements around Cheju-Do in June, 1980. The existence of the turning current was also inferred from hydrographic data taken in August, 1981 (Kim, 1982), which was further supported by other summertime hydrographic surveys (Lie, 1986; Park, 1986). The cold water in the Cheju Strait and the South Sea below the seasonal thermocline in summer is thought to originate from the west of the Cheju Strait (Cho and Kim, 1994). Cho and Kim (1994) pointed out that the South Sea bottom cold water is not a stagnant water mass formed in winter (Gong, 1971; Lim, 1976) but a moving one brought into the area from the west of the Cheju Strait. Kim et al., (1991) showed that a cold-water tongue extends southeastwards into the north of the Cheju Strait from the Yellow Sea, suggesting that an intrusion of a part of the YSCW into the Cheju Strait occurs.

### 3. Low-frequency Currents

Qualitative nature of currents around Cheju-Do had been described utilizing results of drift bottle experiments by Lee (1968), Lee and Bong (1969), Dong (1970), Lee (1974), and Kim<sup>b</sup> (1980), who reported northward currents west of Cheju-Do and eastward currents in the Cheju Strait every year. Daily mean currents observed in the Cheju Strait are generally northeastward across the strait (eg. Kim, 1979; Kim, 1987), the speed of which ranges 5 - 20 cm/s. Combining simultaneously obtained currents and hydrographic data, Chang et al. (1995) demonstrated more clearly the existence of turning currents around the western half of Cheju-Do. They focused on the warm and saline water mass entering the Cheju Strait from the west of Cheju-Do and firstly named it the Cheju Warm Current (CWC). They noted a downstream strengthening of the CWC, and attributed it to a reduction in the width of currents as it enters into the narrow strait from the west of Cheju-Do. Vector mean currents derived from a moored current measurement for 20 days in the Cheju Strait in spring 1983 are 12.5 cm/s at 61 ° (measured clockwise from north) and 9.5 cm/s at 51 ° for 30 m and 60 m depths respectively (Chang and Kim, 1995). Observed currents, however, show low-frequency fluctuations of several days which occur predominantly in the along-strait direction.

### 3-1. Temporal variability

Long-term current measurements in the Cheju Strait are scarce. Chang and Kim (1995) reported low-frequency current fluctuations at 30 m and 60 m depths in the Cheju Strait for the first time using current data obtained in the strait for 20 days from April 13 to May 2, 1983 (Fig. 4). Low-frequency current fluctuations are remarkable, especially in the along-strait direction, and six-hourly along-strait velocity at 30 m depth ranges from 0.34 cm/s to 19.70 cm/s. The along-strait current fluctuations are in phase at two depths and coherent each other indicating the fluctuations in the along-strait direction are largely barotropic in spring.

At present, there are no available data of directly measured currents to investigate seasonal or longer scale variability of the Cheju Current. An alternative way is to look at the sea level difference across the Cheju Strait, which can be served as a predictor of mean surface currents through the Cheju Strait providing the flow in the Cheju Strait is in geostrophic balance. Chang and Kim (1995) found a significant correlation between the 7-day moving averaged currents at 30 m depth and sea level difference between Cheju-Do and Chuja-Do. Furthermore, observed current shears between 30 m and 60 m depths are shown to correspond to calculated geostrophic shears using hydrographic data. They utilized data at a permanent tide gauge station in Cheju and at a temporary station in Chuja-Do. Since October 1983, the National Ocean Research Institute has been operating a permanent tide gauge station in Chuja-Do. To monitor the flow and volume transport through the Cheju Strait precisely, the sea level difference between Cheju and Chuja must be converted to flow or transport, and obviously this requires an elaborate calibration procedure using long-term current data. We analyzed monthly mean sea level data obtained from the tide gauge stations in Cheju and Chuja for 8 years between 1988 and 1995. Mean monthly sea level difference between Cheju and Chuja averaged over 8 years is shown in Fig. 5. The difference is high between July and November and lowest in January, suggestive of stronger surface flow in the Cheju Strait during

summer and fall, and weaker flow in winter. The seasonal cycle of the cross-strait sea level difference in the Cheju Strait has the same tendency as that in the Korea Strait (Yi, 1966). Apart from the seasonal variation, an interannual and longer scale variabilities are also evident (Fig. 6). Daily mean volume transports through the Cheju Strait estimated from repeated ADCP measurements across the strait also show an increase in the transport in September compared with those in March and April (KORDI, 1997).

### 3-2. Spatial structure

Spatial structure of daily mean along-strait flow across the Cheju Strait was first examined by occupying an ADCP transect between Cheju-Do and Pogil-Do eight times for 25 hours in April, 1995 (Suk et al., 1996). Observed currents between Cheju-Do and Pogil-Do are eastward throughout the whole section except for a weak westward bottom flow in the deep trough (Fig. 7), which led them to name the eastward flow the Cheju Current. Double-core structure in the upper 50 m depth can be seen near Cheju-Do and the northern slope of the trough (Fig. 7). The former is due to thermohaline fronts associated with the CWC, while the latter appears in the cold water region. The maximum speed is about 17 cm/s near Cheju-Do. Similar measurements were followed in March and September, 1997 (KORDI, 1997) along meridional transects in the Cheju Strait. Despite of a two-year long gap between two measurements, the distribution of water properties and currents in March, 1997 is similar to that observed in April, 1995 (Fig. 8), suggesting that observed features may be quite robust in winter when the water column is vertically homogeneous. Strong eastward flows ( $> 10$  cm/s) associated with a strong zonal gradient of density appear close to Cheju-Do. Both temperature and salinity decrease rapidly above a shallow and flat area north of the trough the same as in April, 1995. Weak southward flows, however, were observed north of the thermohaline front in March, 1997, while the cold and fresh waters north of the front flow eastward in April, 1997. Seasonal thermocline is formed between 20 m and 40 m depth in September (Fig. 9), which is about 10 to 20 meters deeper than that in August (eg. Kim et al., 1991). Salinity is decreased

over the whole section compared with that in winter. A high salinity core, however, is also found below the thermocline in the southern half of the section due to the CWC. Along-strait flows are intensified compared with those in winter, and high speed cores stronger than 20 cm/s are found in the CWC region, north of the trough where isopycnals slope downward to the north, and near Pogil-Do. The flow is southeastward near Pogil-Do and the along-strait speed reaches up to 30 cm/s.

### 3-3. Volume transports

Volume transports through the Cheju Strait was first estimated by Kim (1987) utilizing observed daily mean currents at five locations across the mouth of the Cheju Strait in August, 1986, followed by estimates based upon repeated ADCP measurements (Suk et al., 1995; KORDI, 1997). Table 1 summarizes the estimated transports using directly measured current data as well as geostrophic transports using temperature and salinity data simultaneously obtained during the periods of current measurements.

Table 1. Observed and calculated volume transports through the Cheju Strait.

Periods	Observed transports	Calculated transports	Observational methods
August, 1986*	0.384 Sv	0.11 Sv	current meters
April, 1994**	0.30 Sv		ADCP
March, 1997***	0.37 Sv	0.15 Sv	ADCP
September, 1997***	0.66 Sv	0.64 Sv	ADCP

\* Kim (1987), \*\* Suk et al. (1995), \*\*\* KORDI (1997)

Daily mean observed transports based upon repeated ADCP measurements tend to increase in September almost twice as much as those in March and April. The tendency seems to be consistent with the seasonal variation of sea level difference between Cheju and Chuja in Fig. 5, which shows a large sea level difference during summer and fall. Calculated transports are about the half of the observed transports in March and April, while they are about the same in September, which

suggests that the barotropic transport contributes significantly to the total transport in winter, while the total transport mainly consists of baroclinic component in summer. The observed transport, however, in August, 1986 is only about half of that in September, 1997, which may indicate a short- or long-term variability. The calculated transport in August, 1986 is less than a half of the observed one, which is also different from the result in September, 1997.

#### 4. Conclusion and discussion

Hydrographic data indicate that the Cheju Warm Current, which supplies warm and saline water to the South Sea, exists all the year round. The Cheju Warm Current Water occupies a broad area (~60 km) in the Cheju Strait from Cheju-Do to Chuja-Do or Pogil-Do in winter. It, however, appears in a relatively narrow region close to Cheju-Do below the seasonal thermocline in summer. The Cheju Current, which can be defined as a persistent eastward flow in the Cheju Strait, carries various types of water mass of different origins from the Yellow and East China Seas. The water mass carried by the Cheju Current can be called the Cheju Current Water, which is composed of the Cheju Warm Current Water and relatively cold and fresh costal waters originating mainly from the Yellow Sea in winter. The Chanjiang River Diluted Water originating from the Yangtze Bank becomes one of the upper-layer composition of the Cheju Current Water in summer. The maximum zonal speed of the Cheju Current is about 15 cm/s in winter and larger than 20 cm/s in summer. The current section across the Cheju Strait exhibits multiple-core structure associated with the zonal gradient of water density, and the dynamically calculated current structure corresponds well to the observed one especially in summer. The daily mean observed transport of the Cheju Current is about 0.3 Sv and doubled in fall, which is similar to the trend in the annual variation of the monthly mean sea level difference between Cheju-Do and Chuja-Do. The baroclinic transport calculated by dynamic method accounts only for less than a half of the observed transport in winter, while it has the nearly same value as the observed one in summer. Low-frequency current fluctuations with the period of several days were noted from the 20-day moored observation in

April. The low-frequency fluctuations are principally barotropic and occurs mainly in the along-strait direction.

The driving mechanism of the Cheju Current could be the non-linear rectification of tidal currents, the along-strait pressure gradient force, and the local winds. Chang and Kim (1995) cautiously excluded the influence of the possible local-wind forcing by comparing the observed currents with the zonal winds measured at a meteorological station at Cheju-Do in spring. Chang et al. (1997) showed that the tidally-induced residual circulation cannot account for the observed circulation of the South Sea. Hence, the Cheju Current is likely driven by the pressure difference between somewhere in the southeastern Yellow Sea and in the southwestern East Sea. It needs to be further explored which part of the pressure difference is responsible for the driving the Cheju Current, and what causes the pressure difference.

It appears that the geostrophy holds for the Cheju Current as a first order approximation, although available data is not enough to prove it statistically. The results of Chang and Kim (1995) in spring and the consistency of calculated velocity and transport with those observed ones in summer (KORDI, 1977) partly support the cross-strait geostrophic balance of the Cheju Current. This implies that sea level data observed at the permanent tide stations in Cheju and Chuja-Do can be exploited to monitor the transport of the Cheju Current. To accomplish this, long-term current measurements are indispensable for the accurate calibration between the sea level difference and the flow field, which is one of main objectives of the South Sea Project of KORDI. Once the calibration procedure is accomplished, the next step would be to model the whole South Sea circulation using the calibration results. Since the circulation of the South Sea is likely affected by the transport of the Cheju Current, an assimilation of the real-time sea level data into any numerical model as a boundary flux would greatly improve the predictability of the water and material transports in the South Sea. The similar procedure can be applied in the Korea Strait, an outflow boundary of the South Sea and an inflow boundary of the East Sea. The long-term current data can be also used for exploring the driving mechanism of the Cheju Current.

## References

- Asaoka, O. and S. Moriyasu, 1966. On the circulation in the East China Sea and the Yellow Sea in winter (Preliminary report). *Oceanogr. Mag.*, 18: 73-81.
- Beardsley, R.C., R. Limeburner, K. Kim, and J. Candela, Lagrangian flow observations in the East China, Yellow and Japan Seas. *La mer*, 30: 297-314.
- Chang, K.-I., and K. Kim, 1995. Sub-tidal flow in the Cheju Strait. *The Yellow Sea*, 1: 93-103.
- Chang, K.-I., K. Kim, S.W. Lee, and T.B. Shim, 1995. Hydrography and sub-tidal current in the Cheju Strait. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 30: 203-215.
- Cho, Y.-K, and K. Kim, 1994. Characteristics and origin of the cold water in the south sea of Korea in summer (in Korean with English abstract). *J. Korean Soc. Oceanogr.* 29: 414-421.
- Dong, H.I., 1970. The drift bottle experiment in Korea Strait during 1966-1969 (in Korean). Technical Report, Hydrographic Office. Pub. No. 1101, 85-97.
- Kim, B.K., 1979. A study on the currents in the Jeju Strait (in Korean with English abstract). *Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 21: 7-21.
- Kim<sup>b</sup>, B.K., 1980. The drift bottle experiments in the Southern Sea between Jeju-Do. and Tsu-shima (in Korean with English abstract). *Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 25: 7-16.
- Kim, I.-O., and H.-K. Rho, 1994. A study on China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island (in Korean with English abstract). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27, 515-528.
- Kim, K., 1980. Ocean currents in southwestern sea off Korea (in Korean with English abstract). Unpublished technical report, Seoul National University.
- Kim, K., 1982. Ocean currents in southwestern sea off Korea (in Korean with English abstract). Unpublished technical report, Seoul National University.
- Kim, K., H. K. Rho, and S. H. Lee, 1991. Water masses and circulation around Cheju-Do in summer (in Korean with English abstract). *J.*

- Oceanolo. Soc. Korea, 26: 262-277.
- Kim, S.-H., 1987. A study on the current in the Cheju Strait (in Korean with English abstract). M.S. Thesis, Cheju National University, 63 pp.
- KORDI, 1997. Transport and Biogeochemical Processes in the Cheju Strait (in Korean with English abstract). KORDI Report BSPE 97612, 51-177.
- Lee, C.K., 1968. The drift bottle experiment in the east of the Yellow Sea (the west coast of Korea) during the year of the 1962-1966 (in Korean with English abstract). Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 3: 27-41.
- Lee, C.K., 1974. The drift bottle experiment in the southern sea of Korea (in Korean with English abstract). Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 12: 7-26.
- Lee, C.K., and J.H. Bong 1969. A study on the surface current of the Korean southern sea by drift bottle experiments (in Korean with English abstract). Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 4: 45-58.
- Lee, G. T. and K. Kim, 1989. A study on the eddy diffusion of salinity in the lower layer of the Yellow Sea (in Korean with English abstract). Yellow Sea Res., 2: 21-29.
- Lie, H. -J., 1985. Wintertime temperature-salinity characteristics in the southeastern Hwanghae (Yellow Sea). J. Oceanogr. Soc. Japan, 41: 291-298.
- Lie, H. -J., 1986. Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. J. Oceanolo. Soc. Korea, 17: 229-242.
- Nakao, T., 1997. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. Doctor of Fisheries Thesis, Tokai Univ., Japan, 367 pp.
- Park, Y. H., 1986. Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in summer. Prog. Oceanog., 17: 243-254.
- Rho, H. K. and K. Kim, 1983. Variations of sea surface temperature between Jeju and Mogpo and between Jeju and Wando (in Korean with English abstract). J. Oceanol. Soc. Korea, 18, 55-63.
- Suk, M.-S., G.H. Hong, C.S. Chung, K.-I. Chang, and D.J. Kang, 1996. Distribution and transport of suspended particulate matter, dissolved oxygen and major inorganic nutrients in the Cheju Strait.



- J. Korean Soc. Oceanogr., 31, 55-63.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932 (in Japanese). Japan Imp. Fish. Exp. Stations, 5: 57-190.
- Youn, Y.H., 1986. The identification of water characteristics of the Yellow Sea Bottom Cold Water and the evidence of its southward extension. M.S. Thesis, Cheju National University, 55 pp.
- Yi, S.U., 1966. Seasonal and secular variations of the water volume transport across the Korea Strait. J. Oceanogr. Soc. Korea, 1: 7-13.
- Zheng, Q. A. and V. Klemas, 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.

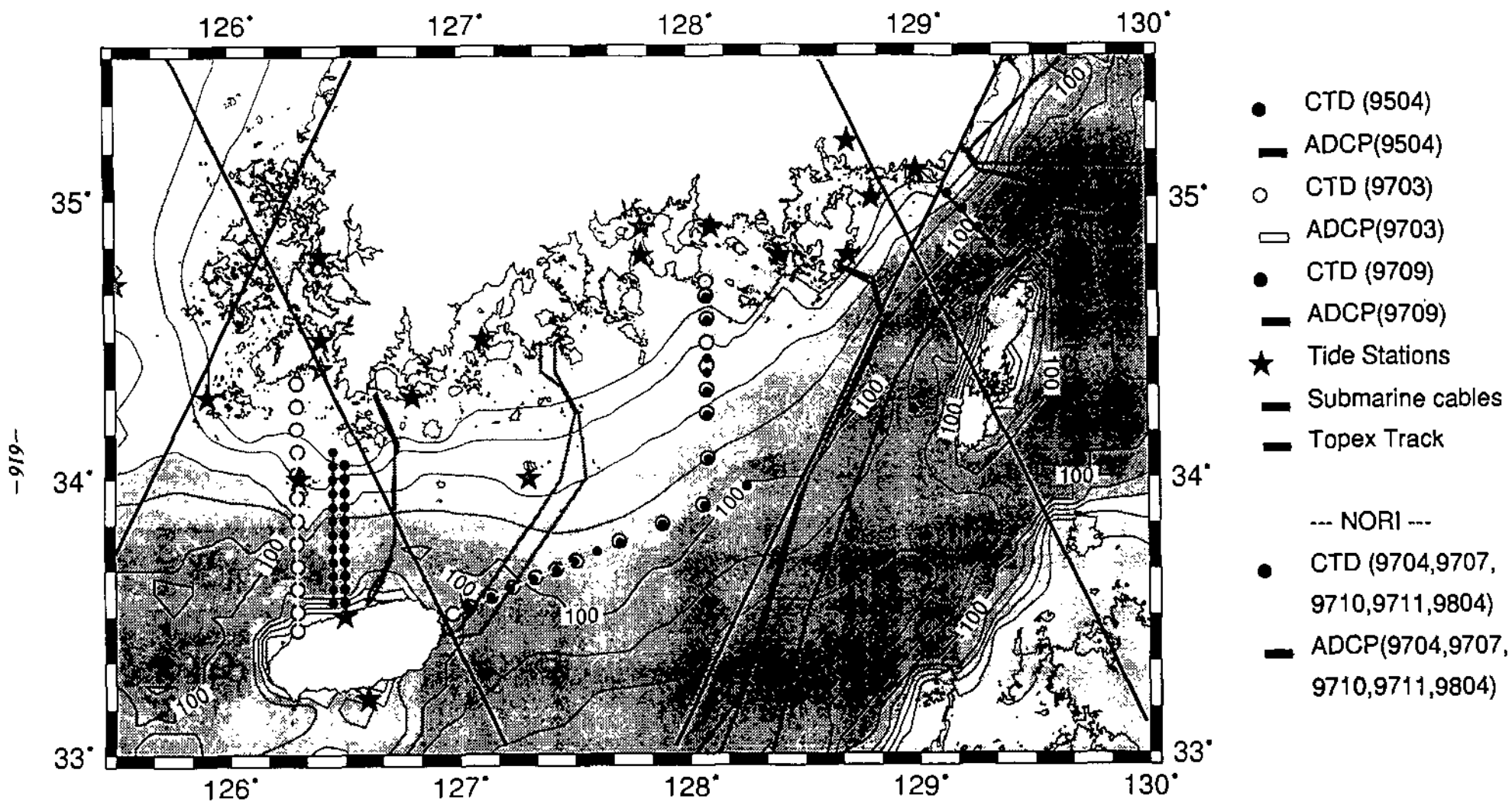


Fig 1 A composite map showing CTD stations and ADCP transects occupied by KORDI-NORI during its South Sea program. Permanent tide-gauge stations run by The National Ocean Research Institute, routes of submarine cables, and Topex-Poseidon tracks are also shown.

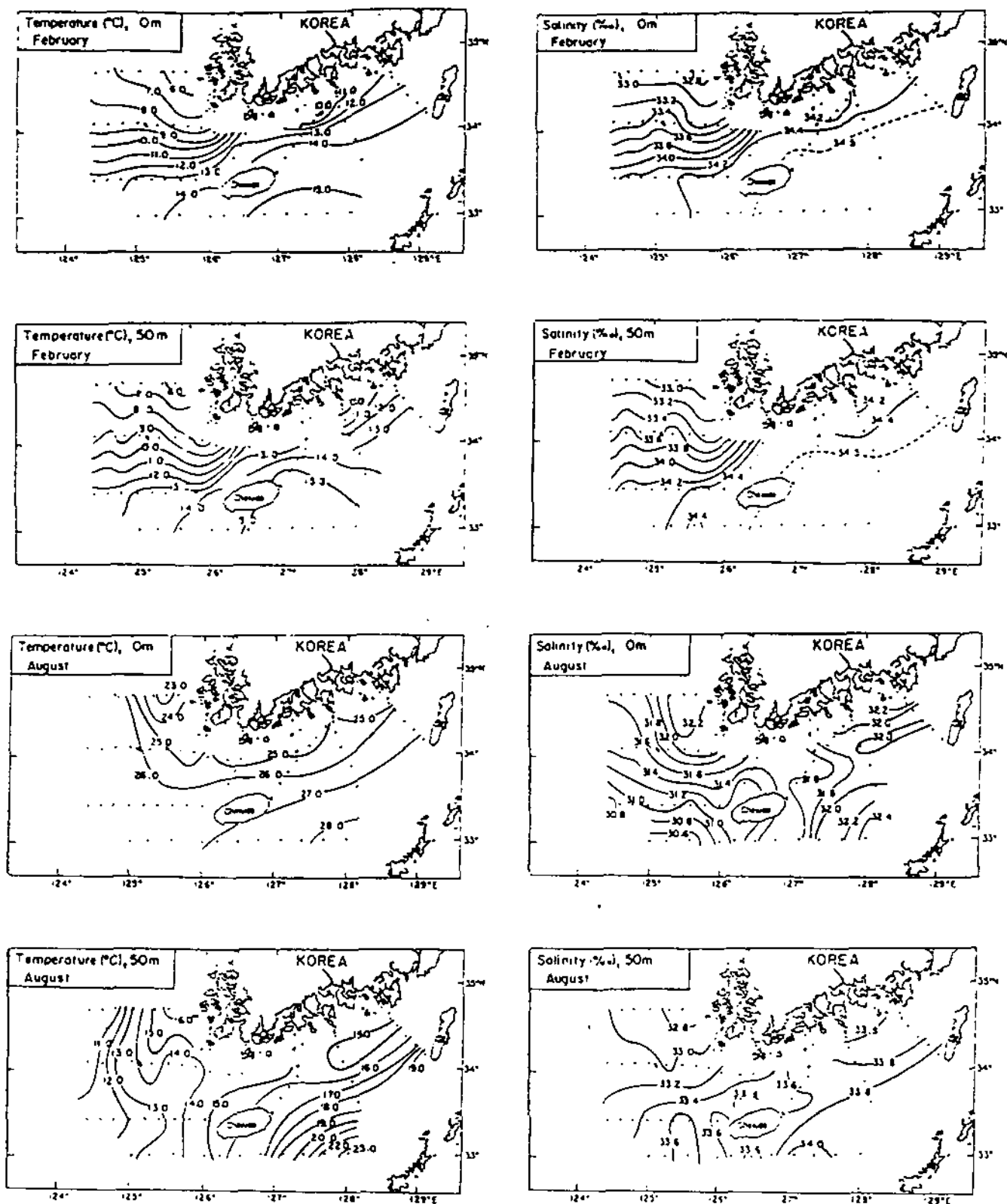


Fig. 2. Mean temperature and salinity distribution at surface and 50 m depth in the South Sea based upon bimonthly data obtained by the National Fisheries Research and Development Agency during 1967-1987.

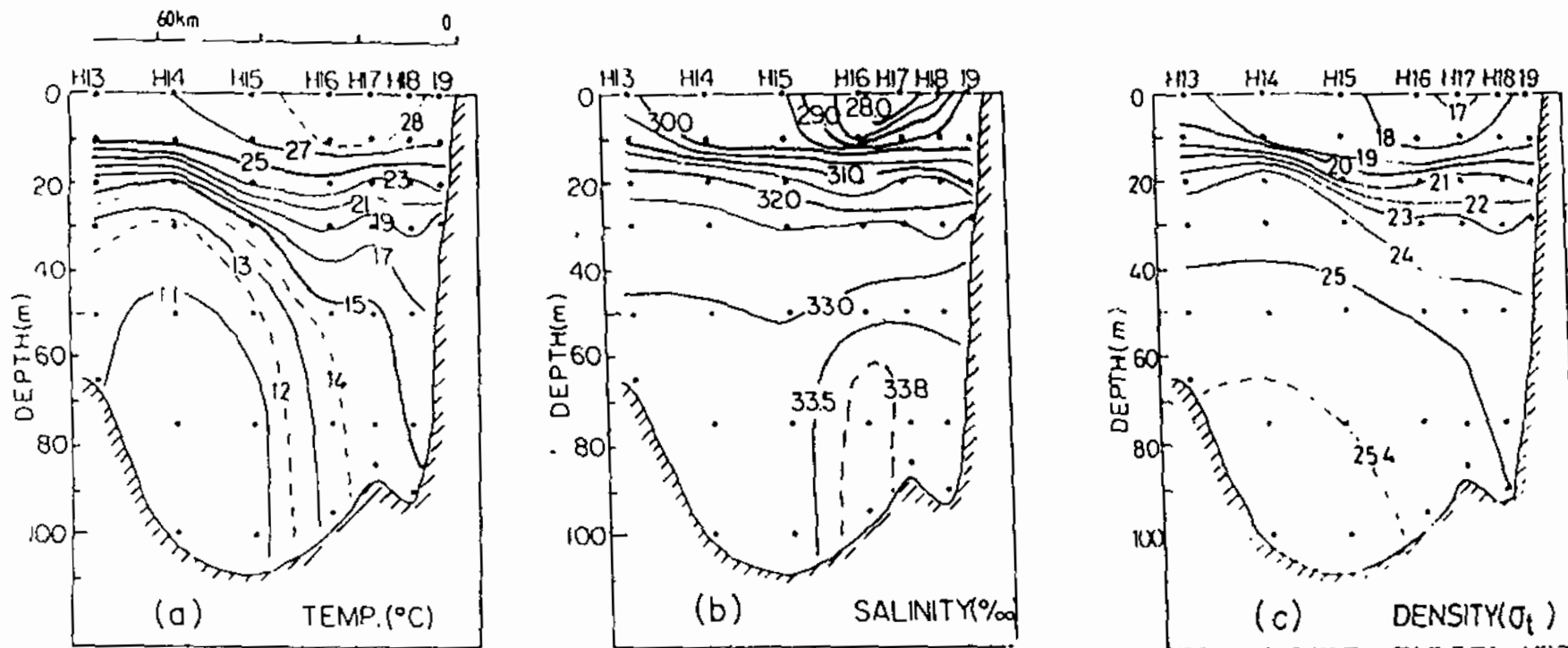


Fig. 3. Vertical distribution of (a) temperature, (b) salinity and (c) sigma-t on a section in the Cheju Strait in summer 1981 (from Kim et al., 1991). Cheju-Do is located at the right of each figure.

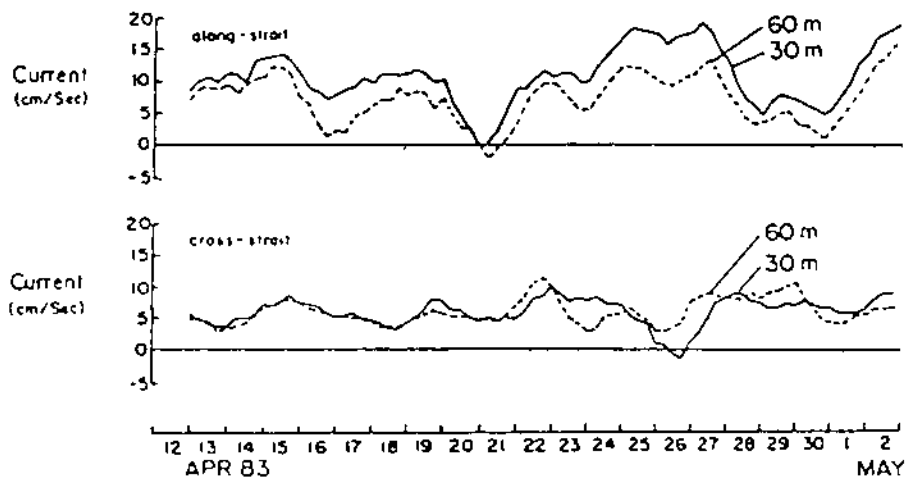
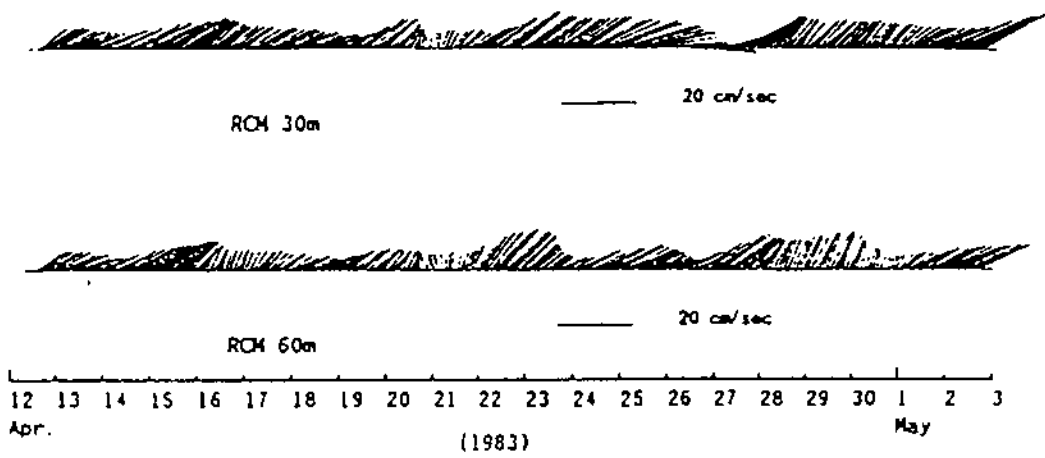


Fig. 4. Vector plots of low-pass filtered currents at 30 m and 60 m depths, and along-strait and cross-strait components of currents measured at a location in the southern part of the Cheju Strait in spring, 1983.

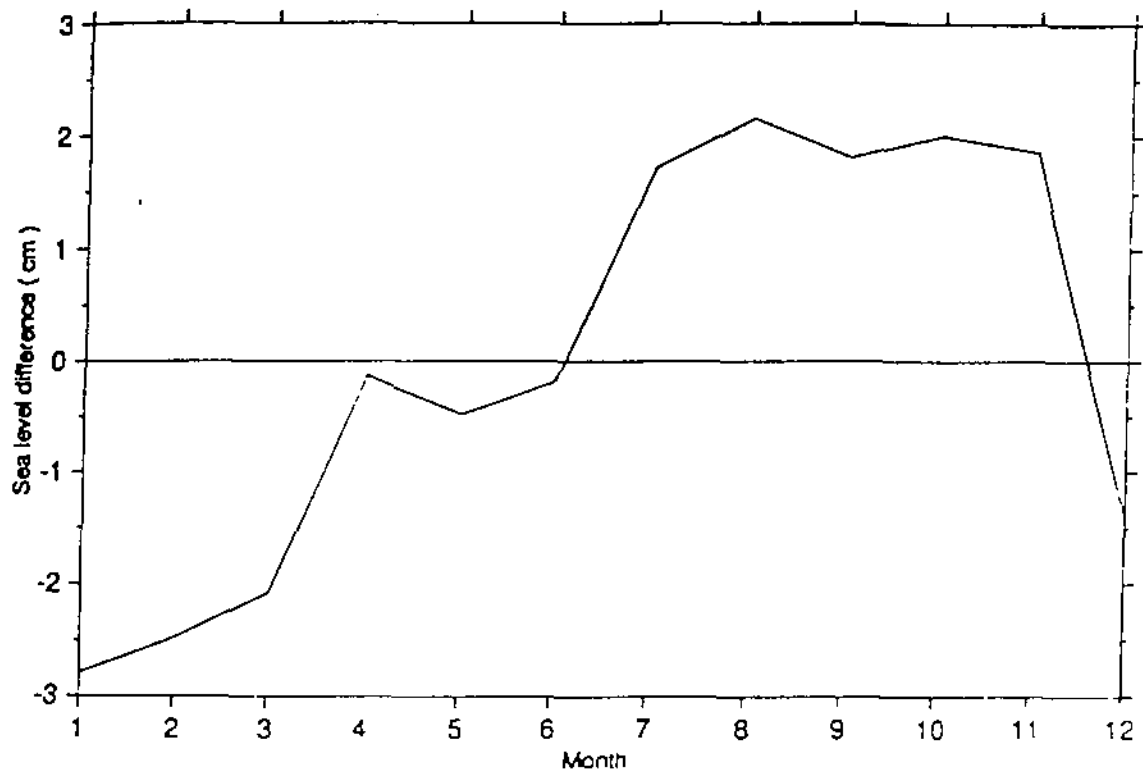


Fig. 5. Mean monthly sea level difference between Cheju-Do and Chuja-Do calculated from the observed daily mean sea level at each permanent tide gauge station from August 1987 to June, 1995.

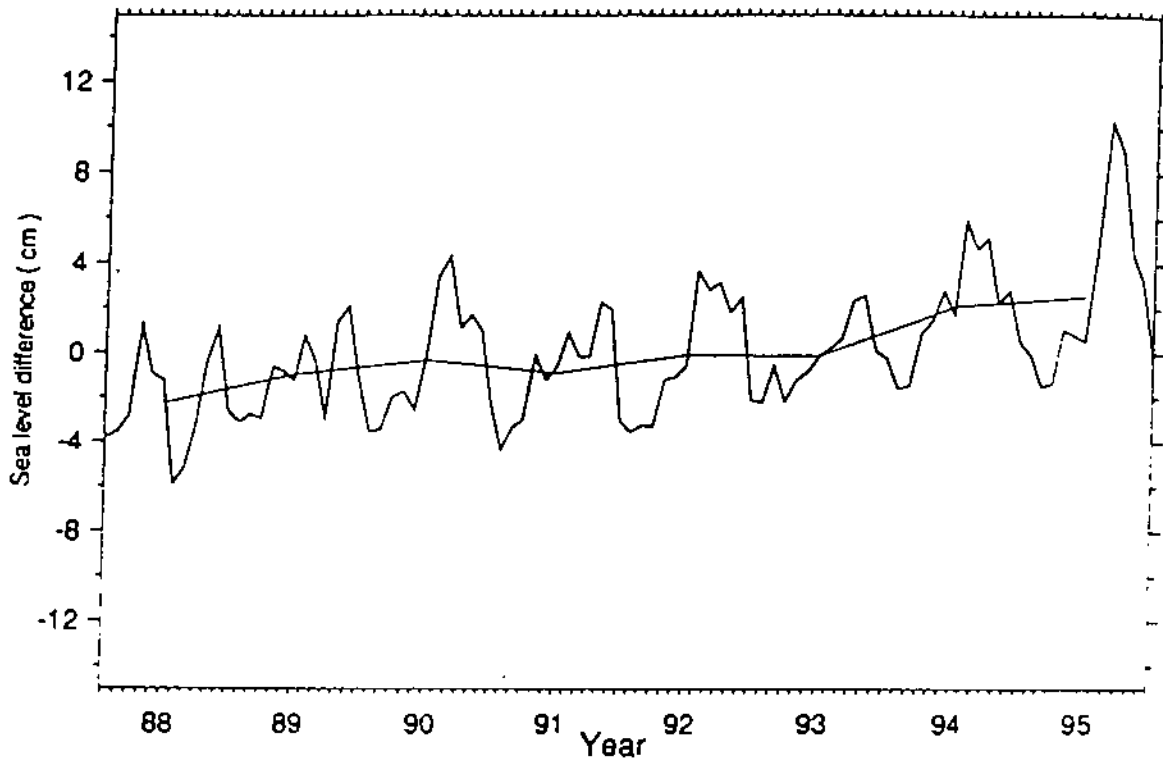


Fig. 6. Monthly mean sea level difference between Cheju-Do and Chuja-Do observed during August 1987 to June, 1995.

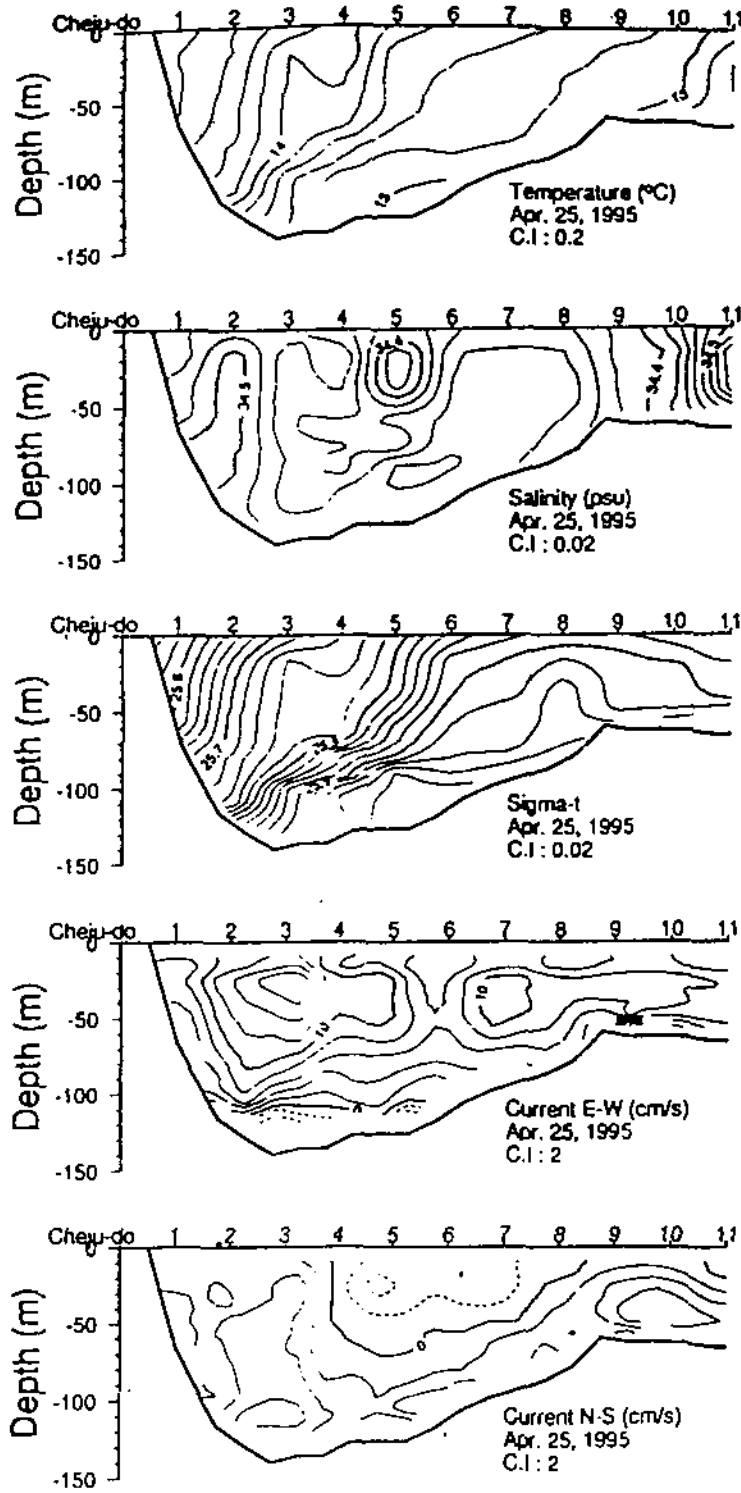


Fig. 7. Vertical profiles of temperature, salinity, density ( $\sigma_t$ ), along-strait and cross strait daily-mean current components from the top along a line between Cheju-Do and Pokil-Do in Fig. 1 based on CTD and ADCP measurements in April, 1995. Positive values in the current profiles represent eastward and northward flows for the along- and cross-strait currents respectively. Cheju-Do is located at the left of each figure.



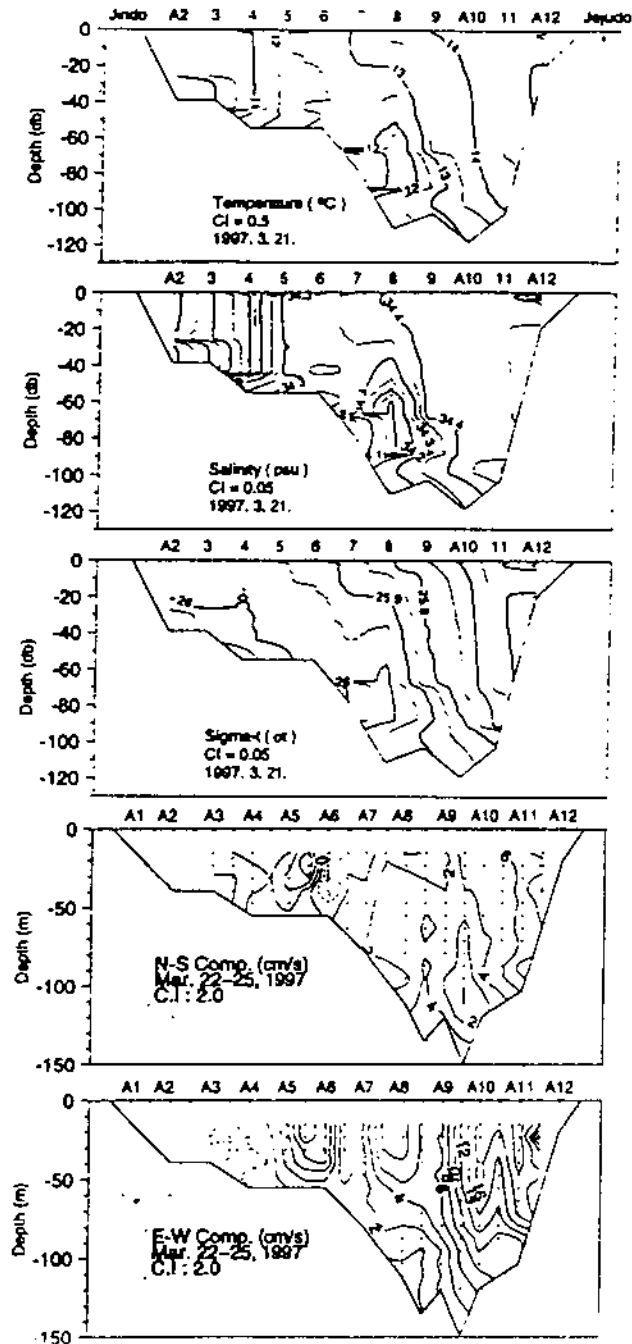


Fig. 8. Vertical profiles of temperature, salinity, density ( $\sigma_t$ ), along-strait and cross strait daily-mean current components from the top along a line between Cheju-Do and Jin-Do in Fig. 1 based on CTD and ADCP measurements in March, 1997. Positive values in the current profiles represent eastward and northward flows for the along- and cross-strait currents respectively. Cheju-Do is located at the right of each figure.

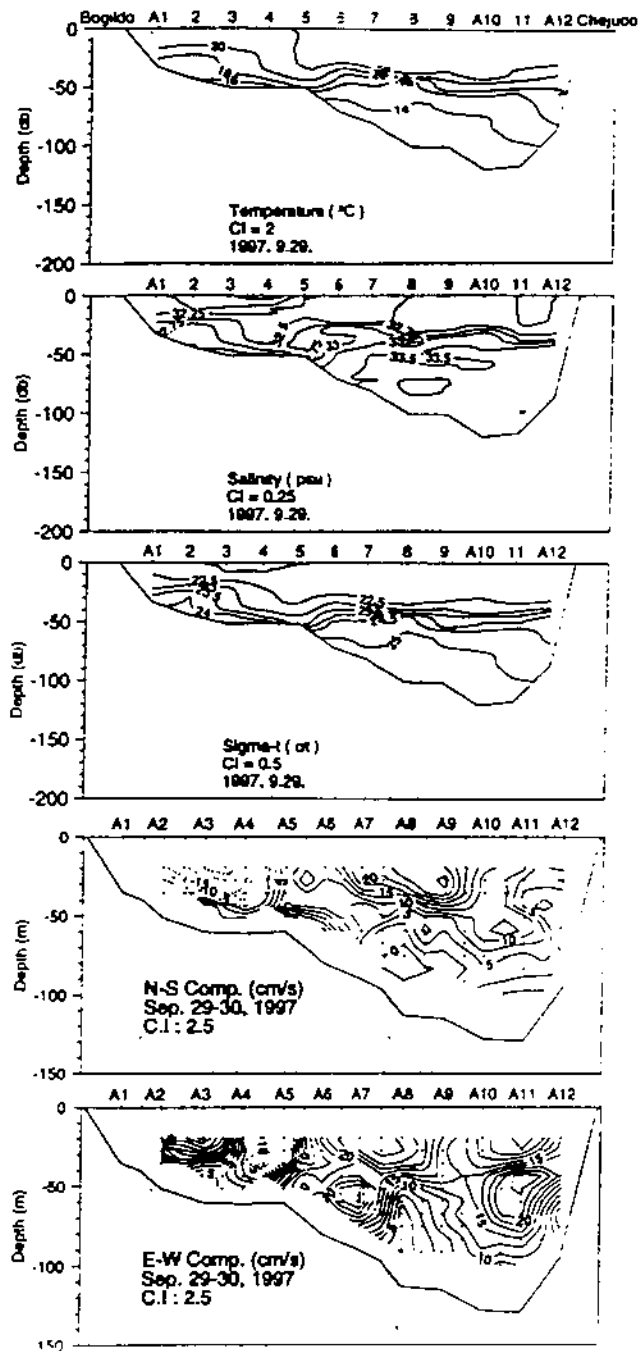


Fig. 9. Vertical profiles of temperature, salinity, density ( $\sigma_t$ ), along-strait and cross strait daily-mean current components from the top along a line between Cheju-Do and Pogil-Do in Fig. 1 based on CTD and ADCP measurements in September, 1997. Positive values in the current profiles represent eastward and northward flows for the along- and cross-strait currents respectively. Cheju-Do is located at the right of each figure.

## 지방산과 탄화수소의 종류와 조성 조기용

대륙붕은 대양과 육지의 경계면에 해당되는 해역으로 양쪽 모두의 특성을 고루 가지고 있는 매우 특이한 해역이다. 대륙붕을 둘러싼 육지로 볼 수도 있는 반면 일부 육지를 뚫려진 대륙붕으로 보아도 된다는 견해도 있다. 복잡한 해안선을 갖고 있는 남해안은 대륙붕이 잘 발달되어 있고 여기에는 많은 하천들이 연결되어 있어 육지로부터의 육수 유출에 따른 육상 물질의 유입, 그리고 공간적으로 육지에 인접하고 있어 바람 등의 영향에 의한 육상 물질의 유입이 지속적으로 이루어지고 있는 곳이다. 또 육지에 인접한 대륙붕의 경우 육상에서의 공업화가 진행됨에 따라 항만, 임해 공단의 조성에 의한 여러 가지 산업 부산물들과 폐수들의 유입 또한 심각한 수준에 달하고 있다. 또한 육지 지역의 경우에 의한 담수 유입의 영향도 가장 직접적으로 나타나는 해역이기도하다. 본 연구에서는 남해 대륙붕의 물질 순환에 관한 생지화학적 연구의 일환으로 생물 유래 물질로서 소위 Biomarker의 가치를 갖는 지방 성분의 물질들 중 특히 일반 탄화수소의 지방산의 종류 및 조성용 해수와 저서 퇴적물을 대상으로 각 해역 별, 깊이 별로 조사하여 이들의 유래에 기인한 고찰을 통하여 남해 대륙붕 해역의 물질의 유입과 순환과정을 해석하는 단서를 얻고자 하였다.

# The nutrient stream in the Northeast Asia marginal seas : Cheju Current

Chang Soo Chung, Suk Hyun Kim, Sang Han Lee, Sun Kyu Park, Jun Kun Park, and  
Gi Hoon Hong

(Korea Ocean Research & Development Institute)

## 1. The origin of water in the South Sea of Korea

The northeast Asian marginal seas are characterized by a huge freshwater input from the large rivers from adjacent lands and direct precipitation over the sea surface in wet summer monsoon. The sole source of sea salt supplier in the region is the northward flowing a branch of Kuroshio Current. Therefore the quantitative evaluation of the mixing of freshwater and saltwater is pre-requisite for understanding biogeochemical processes occurring in the region. The oxygen isotope ratios and radium isotope ratios of water has been proposed to delineate the sources of water and to estimate the proportion and the residence time of shelf water in the region, respectively. We have determined the stable oxygen isotope composition ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) and the activities of  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Ra}$  in the South Sea and the East China Sea in October 1996 and March 1997. The oxygen isotope values ( $-0.13\sim-0.77\text{‰}$ ) in the East China Sea and South Sea of Korea suggests that sea waters in the area are a mixture of Kuroshio water ( $-0.07\text{‰}$ ) and river discharge such as the Huanghe and Changjiang ( $-8.8\sim-7.1\text{‰}$ ).

The activities of  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Ra}$  were in the range of  $0.06\sim 0.19$  dpm/l and  $0.08\sim 0.35$  dpm/l respectively. The activities of  $^{228}\text{Ra}$  were generally higher in the coastal waters adjacent to Korean Peninsula and Chinese Continent ( $>0.3$  dpm/l) than those in the shelf break of East China Sea and in the eastern part of the Korea Strait ( $<0.2$  dpm/l). The distribution patterns of  $^{226}\text{Ra}$  activities were similar to those of  $^{228}\text{Ra}$ . There was an inverse relationship between the  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  activity and salinity. The  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  activity was about twice higher in the coastal waters adjacent to Korean and Chinese land (1.61-2.12) than those in the shelf break of East China Sea. Assuming that the decay of  $^{228}\text{Ra}$  is negligible during mixing and transport, about 10 - 40% of the South Sea water of Korea was originated from the combined Yellow and the East China Seas.

Despite the relatively small portion of the Shelf water, the shelf water is enriched with suspended particulate matter and nutrients and other terrestrial materials, hence, plays a significant role in the biogeochemical processes in the region. The average concentration of nitrate, phosphate, silicic acid and suspended particulate matter in the Cheju Current (CC) is at least a factor of two higher than that of the Tsushima Warm Current (TWC).

## 2. The fluxes of chemical materials across the Cheju Strait

Utilizing measurements of concentrations of suspended particulate matter (SS), dissolved oxygen (DO) and major inorganic nutrients, and concurrent measured water transport rate, the fluxes of chemical materials were estimated. On March 1997, SS, DO and dissolved inorganic nutrients concentrations were high in the cold northern region and low in the warm southern region and vertically homogeneous. On October 1997, these distributions were similar to those on March. However, nutrients concentrations increased with depth due to the development of stratification.

The flux of SS, DO and nutrients were calculated by multiplying current speed by concentration of materials. The eastward water volume transports across the Cheju Strait are about 0.37 Sv in March and 0.67 Sv in September respectively. For each cruise, the total along-strait material transports are as follows; March 1997,  $0.32 \times 10^9$  mg  $s^{-1}$ (SS),  $0.17 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $NH_4^+$ ),  $1.29 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $NO_3^-$ ),  $0.11 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $PO_4^{3-}$ ),  $1.46 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $Si(OH)_4$ ); September 1997,  $0.42 \times 10^9$  mg  $s^{-1}$ (SS),  $0.28 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $NH_4^+$ ),  $2.44 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $NO_3^-$ ),  $0.16 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $PO_4^{3-}$ ),  $3.54 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $Si(OH)_4$ ).

## 3. Currents as the transporting medium of chemical materials in the South Sea of Korea

There are two major inflowing current, Cheju Current in the Cheju Strait and TWC along the Cheju-Kyushu line, and one outflowing current of TWC in the Korea Strait to the East Sea. The estimated total material transports are as follows; In the Cheju Strait (Cheju Current);  $0.4 \times 10^9$  mg  $s^{-1}$ (SS),  $2.6 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $NO_3^-$ ),  $0.16 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $PO_4^{3-}$ ),  $4.9 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $Si(OH)_4$ ), In the Cheju-Kyushu Strait (Tsushima Current);  $0.9 \times 10^9$  mg  $s^{-1}$ (SS),  $8.0 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $NO_3^-$ ),  $0.59 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $PO_4^{3-}$ ),  $17.4 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $Si(OH)_4$ ), In the Korean Strait (Cheju Current);  $1.5 \times 10^9$  mg  $s^{-1}$ (SS),  $10.7 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $NO_3^-$ ),  $1.0 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $PO_4^{3-}$ ),  $24.2 \times 10^9 \mu mol s^{-1}$ ( $Si(OH)_4$ ). The total fluxes of these materials by the Tsushima Current are about 3~4 times larger than those by the Cheju Current. These three currents are responsible to transport material in the region. Preliminary mass balance of materials (Table 1), nitrate is nearly in balance, phosphate and silicate are exported more than imported fluxes. These initial findings should be examined more carefully. In order to estimate the relative contribution of each current to the transport of chemical material, we normalized the total fluxes by the water volume transport in order to account for the difference of the water volume transport between the Tsushima Current (avg. 2.97 Sv) and the Cheju Current (avg. 0.52 Sv). The weighted fluxes of chemical materials by the Cheju Current are 2~3 times larger than those by the Tsushima Current. This chemically rich Cheju Current will play a significant role in the biogeochemical processes in the South Sea where the huge land-based wastes are introduced and fisheries activities including aquaculture are very intense.

표 1. 남해로 유입되는 주요 해류에 따른 물질 수송량 비교

해류 지역	제주해류 제주해협	대마난류 제주-큐슈	제주+대마난류 대한해협	쿠로시오해류 대만동부 쿠로시오
관측선 폭 (km)	100	200	166.2	300
수심 (m)	100	150	101	1000
물 수송량 (Sv)	0.52	2.97	3.49	29.5
질산이온 평균농도 (uM)	4.91	2.68	3.08	5.88
인산이온 평균농도 (uM)	0.31	0.2	0.29	0.40
규산 평균농도 (uM)	9.41	5.88	6.94	13.43
입자성부유물질 평균농도 (mg/l)	0.75	0.3	0.44	-

총 물질 플럭스				
질산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	2.55	7.96	10.75	173.5
인산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	0.16	0.59	1.01	11.8
규산 ( $\times 10^9$ umol/s)	4.89	17.46	24.22	396.3
입자성부유물질 ( $\times 10^9$ mg/s)	0.39	0.89	1.54	-

normalized with width and depth				
질산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	2.55	3.70	6.40	5.78
인산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	0.16	0.28	0.60	0.39
규산 ( $\times 10^9$ umol/s)	4.89	8.12	14.43	13.21
입자성부유물질 ( $\times 10^9$ mg/s)	0.39	0.41	0.91	-

normalized with water transport				
질산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	2.55	1.39	1.60	3.06
인산이온 ( $\times 10^9$ umol/s)	0.16	0.10	0.15	0.21
규산 ( $\times 10^9$ umol/s)	4.89	3.06	3.61	6.99
입자성부유물질 ( $\times 10^9$ mg/s)	0.39	0.16	0.23	-

## Chemical composition of marine aerosol particles in the Yellow Dust Storm and low dust periods over the Cheju-Korea Straits, the northwest Pacific

Suk-Hyun Kim, Gi-Hoon Hong, Chang-Soo Chang, Kyung-Tae Kim, Dong-Beom Yang, Sun-Kyu Park, Sang-Han Lee, Jae-bee Lim (TBA)

Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea

Basic research on the fluxes of pollutants and other substances across the sea/air interface has been hindered by the paucity of data on the chemical composition of marine aerosol particles *in situ*. The data for background concentrations of chemical elements in aerosol particles from remote marine regions are especially limited, and these data are needed to identify sources for trace elements in the atmosphere and to refine global mass balance models. Now it is well known that atmospheric transport of mineral aerosols, and the components contained in, Fe and nitrate, Pb has shifted the distributions of these elements in the ocean away from steady state and significant enhancement of the biological productivity, and the chemistry of the aerosol can affect its light scattering of the atmosphere and cloud formation, hence affect the climate.

The regional seas of the Northeast Asian Marginal seas are one the dustiest area in the world (GESAMP, 1989) due to the presence of constant westerlies and a large desert in China. Among the most outstanding geological events in the region are the dust storms, locally known as Yellow Dust Storms, that occur each spring. As shown through the images of the aerosols by NASA's TOMS instrument in March 28-April 13, 1998, the Chinese dust storm reaches the eastern Pacific Ocean. Despite the growing interests of the geochemical importance of aerosols impact on the sea, many aspects of the dust flux are as yet unstudied including the chemical composition of the Yellow Dust over the sea. We present here some results of our analyses of aerosol particles from the marine boundary layer over the Cheju-Korea Straits during dust storm and low dust periods for the first time. This study was a part of the long-term Atmospheric Input of Asian Marginal Seas (AIMS) Program of the Korea Ocean Research and Development Institute, which was established to study the fluxes of natural and pollutants across the sea/air interface in the northeast Asian Marginal Seas. The specific objectives of this work are to (1) to measure the concentrations of selected chemical elements and compounds in marine aerosol particles during high dust and low dust periods, (2) to identify the sources for these elements in the marine atmosphere, (3) to describe the temporal variability in the trace element composition of the aerosol particles, and (4) to estimate total deposition and fluxes of atmospheric dust and chemical elements to the regional sea.

Sampling was carried out in November 1997, low dust period of April 1998, and high dust period of April 1998 in the Cheju-Korea Straits. Sampling of high dust events were confirmed later by TOMS images (Larko et al. 1998). All samples were collected on the ship windward and forward of the stack and only when the ship was underway between hydrographic stations. The sampling equipment used in

this study was a high-volume bulk aerosol sampler (flow rate  $\sim 1.6 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ , Kimoto Inc., Tokyo, Japan) located on the upper deck of the research vessels 5–8 m above the sea surface. An inlet discriminates against the very coarse particle larger than  $100 \mu\text{m}$ . Whatman 41(R) filters ( $20 \times 25 \text{ cm}$ ) were used as the sampling medium.

Chemical analysis were performed using a portion of each sample filter. The filter was cut using an acid clean ceramic scissors for the trace metals analysis. A filter aliquot was subject to acid digestion. Analysis for major and trace elements were done using an ICP-AES (Perkin Elmer Optima 3300DV) and ICP-MS (VG Elemental PQII+), respectively. For chloride, nitrate, sulfate and ammonia analysis, a portion of each sample filter were extracted with 50 mL of double deionized water. The analyses of all filters were done by routine ion chromatography (Dionex DX-100). Gamma-ray spectrometric analysis was performed on the ashed sample filters to obtain  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  activity.

The following major findings are drawn from this work.

1. In the aerosols over the Cheju-Korea Straits, the elements can be classified according to the enrichment factors using the average earth crust and seawater. Na, Mg, K, and Ca are largely derived from the seawater, and the elements of Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Zr, La, Ce, and Nd are originated from earth crustal, and the elements of Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, and Pb are derived from industrial emissions and fossil fuel combustion are significantly greater than those from natural sources. However, Ca and Sr are largely derived from the Chinese Loess during the Yellow Dust storm period.

2. In the Yellow Dust Storm period, aerosols Al and metal concentrations are significantly higher than those in the low dust period, therefore, a depositional flux due to the Yellow Dust Storm is significant (39% in 1998) despite the only 10 days of duration in the year of 1998. There was a significant difference in major elemental composition of the marine aerosol particles between the Yellow Dust and the low dust periods. The enrichment of anthropogenic elements and compounds were rich in the aerosol of the low dust period than that of the Yellow Dust Storm.

3. The aerosol particles in the marine boundary layer during the low dust period is more aged than those in the Yellow Dust Storm period based on the S/Ca and Al/ $^{210}\text{Pb}$ .

4. The relationship of aerosol  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  concentration with nss sulfate, nitrate and other trace metal concentration suggested that these particles are emitted from the continent, pass through the higher altitude (free troposphere), then descend to the marine boundary layer in the region, despite the close proximity to the Chinese continent.

5. The annual dust fluxes can be partitioned as 41, 39, and 20% of wet, dust-storm, and low-dust period. Due to the strong annual variability of the dust storm occurrence in the region, contribution of dust storm will undergo a corresponding annual variability.

We are grateful to the captain and crew of R/V Eardo and R/V of Onnun. This work was supported by the Ministry of Marine Affairs and Fisheries and Ministry of Science and Technology.



## 새로운 경량 다중 피스톤 코아러와 공극수 추출법

이태희\* · 손재정<sup>†</sup> · 이동섭 (부산대학교 해양과학과)

연안 퇴적물이 육지로부터 유입되는 물질에 대해 어떠한 역할을 하고 있는가하는 것은 최근에 활발하게 연구되고 있는 분야의 하나이다. 우리나라의 경우 서해와 남해에는 잘 발달된 천해 퇴적층이 존재하나 이에 대한 생지화학적 순환과정에 대한 연구가 미흡한 편이다. 연구자들은 이것이 쉽게 퇴적물 시료를 획득하기 어려웠기 때문이라 판단하여 권양기 등 특별한 해양조사 장비가 없는 소형 선박에서 사용할 수 있는 경량 코아러를 개발하였다.

이 기기는 퇴적물 표층의 교란을 최소화하면서 퇴적물 시료를 채집하되 퇴적물 경계면의 해수를 함께 채취할 수 있도록 피스톤 방식을 채택하였으며 퇴적물 시료를 이용하여 다양한 연구를 수행할 수 있도록 최대 6개의 시료를 동시에 획득하도록 설계하였다. 우선 작동시 퇴적물의 교란을 최소화시키기 위해 압축된 스프링이 유압에 의해 제어되도록 하여 아크릴 채집관이 천천히 박히도록 하였다. 그리고 회수시 관의 하부를 밀폐하는 장치를 달아 퇴적물이 안전하게 보호하도록 조치하였다. 또한, 저층수와 퇴적물 시료를 동시에 얻기 위해 아크릴 관의 높이를 조절 가능하도록 하였다.

새로 개발한 퇴적물 채집기의 중량은 약 30Kg 정도로 2명이 특별한 장비 없이 손으로 작동시킬 수 있다. 또한 쉽게 분해되도록 제작하여 승용차의 트렁크에 넣어 운반하도록 하였다. 가벼운 대신 유속이 빠르거나 거친 바다에서는 사용이 어려운 단점이 있으나 기존 채집기에 비해 아주 취약한 편은 아니다. 개발된 채집기는 외경 90 mm 길이 40 cm의 채집관을 장착하고 있어 최대 30 cm 까지 퇴적물 시료를 얻을 수 있다.

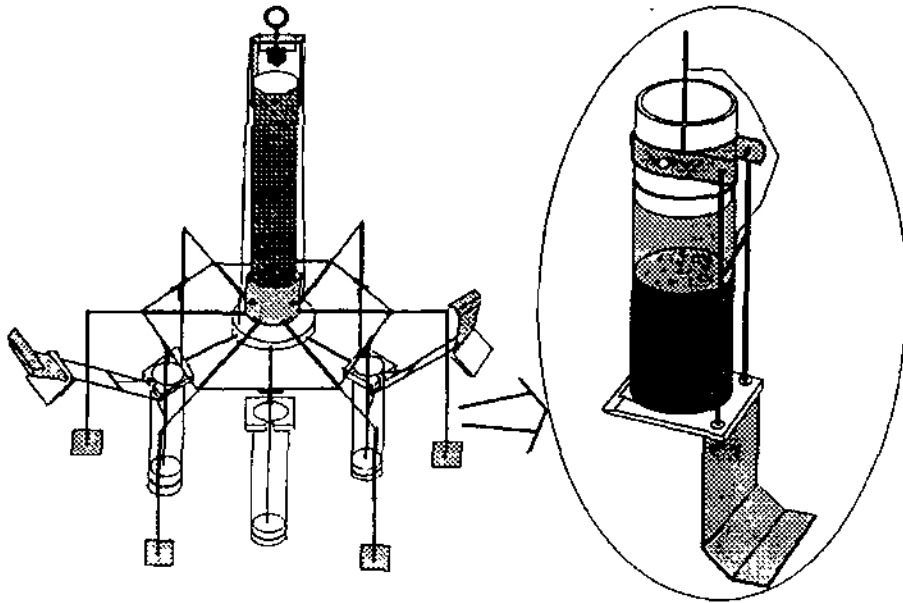
현장에서 퇴적물 주상 시료의 추출 및 절개는 이미 핀란드 국립해양연구소에서 개발한 Gemini-Twin Corer의 퇴적물 추출기로써 간편하게 수행될 수 있다. 퇴적물 분석에서 공극수가 차지하는 비중은 매우 높다. 현재 공극수 추출법으로 널리 사용되고 있는 질소 압착식 ( $N_2$  squeezing method)이나 원심분리법 ( $N_2$  purge centrifuging method)의 경우 퇴적물 주상시료를 절단하여 추출하는 과정은 매우 복잡하여 장비와 전원 그리고 깨끗한 실험실 공간이 필수적이다. 따라서 이러한 요구 조건이 만족되지 못한 상황에서 상기 방법에 필적한 공극수 추출 방법을 새로이 고안하였다.

새 공극수 추출 방법은 모세관 현상을 응용하여 개발하였다. 가는 심유를 압착한 팁 (tip)이 달린 가는 관을 퇴적물에 삽입시키고 한쪽 끝에는 진공 밀폐 채혈병 (7 또는 10 ml)을 연결시키면 공극수가 음압에 의해 채혈병으로 이동한다. 한가지 단점은 채수 속도로서 약 5 ml를 회수하는데 약 1시간이 필요하다. 이 방법은 매 5 mm 간격으로 공극수의 채집이 가능하다. 예비 실험에서는 매 1 cm 마다 위에서부터 추출하였는데, 공극수를 추출한 퇴적물은 절단하고 다시 모세관을 삽입하여 공극수를 추출하는 방식을 되풀이하였다. 추출한 공극수의 양은 7 ml 내외로 영양염 자동분석기와 원자흡광분석기로써 영양염, 용존 망간과 철 이온을 분석하기에 충분하였다.

새로이 개발한 퇴적물 채집기와 공극수 추출법은 조사선의 활용이 어려운 연안, 호수 또는 시설물 근처 등에서 상자형 시추기에 대한 좋은 보완 기능을 갖추고 있다고 판단된다.

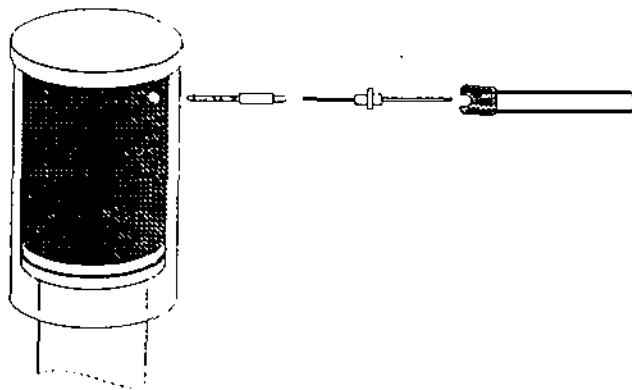
\* 코아러 개발 책임자

† 공극수 추출기 개발 책임자



경량 다중 피스톤 코아러 시제품을 조립한 모습

시료 채집관



퇴적물 시료와 새로 개발한 공극수 추출기

## 고해상도 한국 남동해역 조석모형

최병호\*, 김아리\*\*, 안성모\*\*\*

\* 성균관대학교 토목공학과

\*\* 한국해양연구소

\*\*\*삼성종합건설

동경 127도 20분에서 129도 20분 사이의 180 km 거리의 한국 남동해역을 250 m 격자 간격으로 구성하는 고해상도 조석모형을 수립하기 위한 첫 단계로서 주태음 반일주조의 조석체계를 수립하였다. 모형해역은 서측으로부터 여자만, 광양만, 진주만, 진해만, 가덕수도 그리고 부산앞바다를 포함하고 있으며 동측 경계는 경남 고리해역에서부터 대한해협을 가로질러 쓰시마 섬에 이르고 있다. 직각 좌표계의 본 모형은 총격자수 381,409개 (가로 721개, 세로 529개)로 구성되는데 해양조사원 해도 229의 해역을 포함하며 내역 해도의 수심을 참조하여 격자수심을 형성하였다. 계산간격은 1초로 하여 1조석 주기당 총 timestep은 43,200 step로 하였다. 모형의 산정은 초기 정수면 상태로부터 출발하여 초기 교란효과가 제거된 5번째 조석주기에서 산정된 결과를 분석하였다. 등조시, 등진폭, 조류타원 및 유향분포도를 1차적으로 제시하였다. 또한 주요 연안관측지에서의 결과와도 비교하였다. 모형은 전반적으로 관측치와 잘 일치하였다. 대해역의 상세 격자체계의 조석모형의 결과는 표출방법이 문제가 된다. 우선 일차적으로 해역별, 수로별로 제시를 하였다. 수치해도가 한국해양조사원에서 1998년 후반기에 제공될 예정으로 있으며 NIMA의 수치해도, 민간사업에서 작성된 수치해도 (SDS)도 현재 작성되어 있는데 선박의 안전운항을 위한 목적에 부가해서 이들 동적인 해황정보를 제공하는 tidal overlay 방법에 대한 관심과 적용이 시작되는 단계에 있으므로 이를 시도하였다. 이 경우 역시 하드카피로서 정보를 제공할 때에는 해역별 분할 도는 산정된 전체 해역의 정보를 활용하기 어려운 점이 있다. 큰 규격의 하드카피로서 출력시키는 방안을 시도하였으며 동시에 주요 해역별 표출방법을 시도하고 있다. 디스플레이 역시 동일한 문제를 가지고 있는데, 다수의 그래픽카드를 장착하여 화면 분할방법에 의해 전역을 투사시키며 또한 국지정보를 표출시키는 접근방법에 대한 개념확인을 수행중이다. 따라서 본 연구 접근은 상세 조석정보를 누락없이 대형 디스플레이 (채해대용센터) 또는 대형 하드카피로서 제공하는 방법을 모색하고 있으며 또한 웹서버에서 상세자료와 그래픽 처리 소프트웨어를 설치하여 원격 사용자가 방대한 자료를 다운로드하여 개개의 컴퓨터에서 그래픽처리를 하는 것보다는 원격 체계에서 인터랙티브 디스플레이 방법으로 사용자가 원하는 해역을 선택하며 사용자의 선택사항으로 그래픽을 서버컴퓨터에서 작성하여 디스플레이와 출력을 확보하는 방법을 모색하는데 있다.

통영만내 식물플랑크톤의 군집동태 및 생태 연구  
- 미세식물플랑크톤의 크기별 중요성

The study on the dynamics and ecology of phytoplankton  
in the Tongyoung Bay - The importance of nano- and  
pico-phytoplankton

정익교 · 고태훈  
부산대학교 해양과학과

1997년 7월부터 1998년 7월까지 통영 내만해역에서 식물플랑크톤의 군집동태와 생태를 조사하였다. 조사 기간 중 총 114종이 확인되었고, 이들은 Bacillariophyceae 93종, Dinophyceae 18종, Chrysophyceae 3종이었다. 그 외 Prasinophyceae, Haptophyceae와 Cyanobacteria로 보이는 미확인종이 17종이었다. 종조성은 8월말에 발생한 *Cochlodinium* 적조 때를 제외하고는 돌말류가 우점하였고 *Chaetoceros decipiens*, *Nitzschia seriata*, *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus danicus*, *Eucampia zodiacus*, *Thalassiosira rotula*, *Stephanopyxis turris* 등이 우점종이었다. *Alexandrium tamarense*, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gymnodinium sanguineum*, *Prorocentrum micans*, *Dinophysis* sp. 등 적조 원인종도 자주 출현하였다.

조사 기간 중 여름철에 다양한 종과 많은 개체수의 출현이 확인되었다. 8월과 3월에 개체수가 많았고 범위는  $7.2 \times 10^2 \sim 2.3 \times 10^7$  cells·l<sup>-1</sup>였다. 출현종을 바탕으로 분석한 유사도는 정점 2와 3은 서로 유사한 양상을 보여 주었고, 도시하수와 항만 오염이 심한 정점 4는 2와 3과 달랐고, 먼바다 쪽인 정점 1은 2, 3, 4와 모두 다른 양상을 보여 주었다. 전반적인 종조성은 인근 마산만, 진해만, 고성, 고흥 해역과 비슷하였다.

엽록소 *a* 함량은  $0.37 \sim 157.95 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 였으며, 여름철에 많았던 개체수와는 달리 10월에 최고를 보였다. 크기별 엽록소 *a* 함량은 소형플랑크톤의 경우  $0.01 \sim 40.77 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ , 미소플랑크톤은  $0.06 \sim 8.08 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ , 초미세플랑크톤은  $\sim 11.88 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 였다. 총엽록소 함량에 대하여 소형플랑크톤은 41.3 ~ 53.0 %, 미소플랑크톤은 25.7 ~ 36.1%, 초미세플랑크톤은 21.4 ~ 28.5%의 범위를 보여주었다.

# 하구인 수문작동으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화

이 상호, 권 효근

군산대학교 해양학과

## I. 평균해수면과 조석

금강 하구역의 해수면 변화에 미치는 하구인 수문 작동의 영향을 알아보기 위하여 군산 내항과 외항의 조석자료를 분석하여 비조석 해수면, 평균해수면 및 주요분조의 조화상수를 조사하였다. 비조석 및 평균해수면은 하구인 수문 작동이후 내항과 외항에서 낮아졌고, 특히 내항에서 급격한 비조석 해수면의 하강을 보여 연평균 해수면이 약 9 cm 정도 낮아졌다. 이러한 비조석 해수면의 감소로 내항과 외항사이의 평균해수면 구배가 변화되었으며, 이는 주로 하구인으로부터 담수유출량이 감소하여 발생한 것으로 해석되었다.

$M_2$ 와  $S_2$  분조의 진폭은 내항에서 수문작동후 계단식으로 급격히 증가하였으며, 진폭 증가량은 16 cm와 11 cm에 달하고, 위상은 다소 빨라졌다.  $O_1$ 과  $K_1$  분조의 위상과 진폭은 변화가 미약하였다. 이러한 반일주조 진폭의 변화는 입사파와 하구인에서 반사된 파의 중첩에 의한 것으로 해석된다. 평균해수면의 하강과 반일주조 진폭의 증가는 대조시 고조위를 약 17 cm 이상 상승시키는 역할을 한다.

## II. 물성구조와 하구유형

금강하구인 수문작동이후 물성구조와 하구유형을 조사하기 위하여 1997년 6월, 7월 및 10월, 1998년 5월과 7월에 CTD와 조류관측을 하였다. 조석과 관측된 조류의 관계는 고조전에 조류가 전류되어 낙조가 창조보다 1.5시간 정도 길다.

홍수기에는(5월부터 7월) 낙조시에 하구인에서 담수를 간헐적으로 대량 방류하여 하구 상류쪽의 수직적 염분차이와 염분의 시간변화가 커지고 하계 홍수시 2 % 미만의

# Ra 동위체를 이용한 남해 및 동중국해의 수괴파악

양한섭, 김영일 (부경대학교 해양학과)

우리 나라 남해와 동중국해는 서로 연결되어 있는 해역으로 전세계에서도 보기 드문 거대한 대륙붕 위에 자리잡고 있다. 이 해역은 위로는 황해, 동해와 같은 반폐쇄성 지역해에 연결되어 있고, 아래로는 북서 태평양과 연결되어 있어 대양과 지역해를 연결하는 해양학적으로 흥미있는 해역이다. 따라서 이 해역은 한반도와 중국대륙으로부터 육상기원물질과 인류기원 물질 등이 유입되어 일차적으로 저장되는 곳으로 이 해역에서 물질의 거동은 해양으로 유입된 물질의 대양으로의 이동 및 지구환경에 미치는 영향을 평가하는데 있어서 중요한 자료를 제공할 수 있다. 그리고 최근 관심의 대상이 되고 있는 기후변동과 미래 지구환경의 예측에 있어서 중요한 대륙과 해양간의 상호작용을 연구하기에도 최적의 장소를 제공한다.

해양에 있어서 물질의 거동을 파악하기 위해서는 우선, 그 해역으로 물질의 유입과 이동 및 제거 등과 같은 물질의 생물지구화학적인 순환의 관점에서 이해되어야 한다. 그러나 현재까지 남해 및 동중국해에 대해서 물리·화학적 특성에 관한 다양한 연구가 국내 및 국외에서도 수행되었지만 (김 등, 1991; 이와 김, 1998; 조와 김, 1994; Elsinger and Moore, 1984; Nozaki *et al.*, 1991), 이 해역에 단성분 (end member)의 수괴가 몇 가지 있는지, 이들 수괴가 어떤 비율로 혼합되어 있는지에 대해서는 아직 알려진 것이 적다. 일반적으로 수괴의 기원을 파악하기 위한 고전적인 추적자로는 수은, 염분, 용존산소 등이 있지만, 이 해역과 같이 다양한 수괴가 혼합되어 있을 소지가 있는 곳에서는 이들 추적자만으로는 기원을 파악하기가 어렵다.

Ra은 그 화학적 성질이 해수중에서 용존상태로 안정하게 존재하기 때문에 해수의 움직임과 함께 이동한다. Ra의 방사성 동위체 중에서  $^{226}\text{Ra}$  (반감기 1622년)과  $^{228}\text{Ra}$  (반감기 5.75년)은 해양으로의 공급원이 각각 대양저 퇴적물과 대륙주변부 퇴적물로서,  $^{226}\text{Ra}$ 은 대륙기원의 수괴에서 농도가 높고,  $^{228}\text{Ra}$ 은 연안수에서 농도가 높고, 표층 해수중의 분포특성은 연안으로부터 거리가 증가할수록 감소하기 때문에 표층수의 확산연구에 효율적으로 사용할 수 있다 (Kaufman *et al.*, 1973; Reid *et al.*, 1979; Elsinger and Moore, 1984; Lee and Kim, 1997). 따라서 이들 동위체의 이러한 공급특성의 차이 때문에 수괴의 혼합현상을 연구하는데 효과적으로 사용될 수 있다 (Moore *et al.*, 1986; Nozaki *et al.*, 1991).

이상으로부터 본 연구는 남해 및 동중국해에서 Ra 동위원소의 분포로부터 수괴의 기원과 그 혼합정도를 대해 고찰하였다.

## 재료 및 방법

해수시료는 1997년은 8월 25일부터 9월 1일까지 해양공동조사선 탐양호를 이용하여 남해와 동중국해의 24개 정점에서 채취되었다.

수은 및 염분은 탐양호의 CTD를 이용하여 수심별로 측정했다. Ra 분석을 위한 채수는 선상에 설치된 해수펌프로 표층해수를 채취하였다. Po를 분석하기 위한 시료는 Rosette Sampler를 사용하여 수심별로 채수하였다.

Ra 동위체는  $\text{MnO}_2$  fiber를 이용하여 추출하였다 (Yamada and Nozaki, 1986). 즉 선상에서 해수를 대량여과장치를 이용하여 입자태물질을 제거한 후  $\text{MnO}_2$ 에 용존 Ra를 추출한 후 염산과 염화암모늄의 혼합용액으로  $\text{MnO}_2$  fiber로부터 Ra 동위체를 용리한 후 Pb carrier를 첨가하여 황산으로  $\text{Pb}(\text{Ra})\text{SO}_4$  형태로 공침한 후 침전물을 여과하여 그 여과지를 회화시켜 화학적 회수율을 계

산하였다. 그리고 20일 이상 방치하여 Ra 동위원소의 딸핵종인 Ac 동위체와 방사평형이 된 침전물을 고감도 Ge(Li) 감마선 계측기를 이용하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1) 표층수중의 염분 및 Ra 동위원소의 분포

남해 및 동중국해 표층수의 염분은 27.00~33.84 psu로 비교적 저염분수로 되어있었다. 양자강에서 가장 가까운 정점에서 27.00 psu로 가장 낮은 값을 보이고, 양자강에서 멀어질수록 증가하여 가장 먼 정점에서 쿠로시오 (end member 34.668 : Nozaki *et al.*, 1991)의 영향을 받아 33.84 psu를 나타내었다.

표층수중  $^{226}\text{Ra}$ 의 농도는 70.4~287.2 dpm/1000 l의 범위로 평균 173.2 dpm/1000 l였다. 가장 낮은 염분값을 나타낸 정점에서 최고의 287.2 dpm/1000 l를 나타내었고, 양자강에서 멀어질수록 농도가 감소하여 염분이 최고치를 나타낸 정점에서 가장 낮은 70.4 dpm/1000 l의 농도를 나타내었다. 그리고 염분에 대해  $^{226}\text{Ra}$ 의 농도를 plot하면 역의 상관관계를 보였다.

표층수중  $^{228}\text{Ra}$ 의 농도분포는 107.1~710.7 dpm/1000 l 범위로 평균 약 498 dpm/1000 l였다.  $^{226}\text{Ra}$ 과 같이 양자강 가까운 정점에서 최고치를 나타내고 멀어질수록 점차로 낮아져 양자강에서 가장 먼 정점에서 최소치를 나타내고, 역시 염분에 대해 역의 상관관계를 나타내었다.

$^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 의 농도비는 1.10~3.45로 비교적 좁은 범위에도 변동하고 있고, 대체로 연안역에서 높고, 외양정점으로 갈수록 낮은 값을 보였다. 이것은  $^{228}\text{Ra}$ 이 주로 연안역에서 유입된 해수에 의해 많은 양의  $^{228}\text{Ra}$ 이 유입되었거나 저층퇴적물로부터  $^{228}\text{Ra}$ 이 많이 공급되었기 때문으로 생각된다. 특히 대부분이 양자강 대륙붕수의 end member에 가까운 것에서 이 해역은 양자강 대륙붕수 수괴가 큰 비율을 차지하고 있는 것으로 생각된다. 그리고 대부분의 정점들에서 양자강 담수의 영향이 거의 나타나지 않고 양자강 대륙붕수 퇴적물의 용출에 의해 공급된 것으로 생각된다.

### 2) 각 수괴의 end member를 이용한 표층수괴의 파악

남해 및 동중국해의 표층해수를 구성하는 수괴로는 크게 쿠로시오해수와 양자강 유출수로 생각할 수 있다 (이와 김, 1998).

Nozaki *et al.*, (1991)은 황해 및 동중국해, 큐슈 남서쪽 해역에서 측정한 자료를 기초로 쿠로시오 해수의  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 의 농도비는 0.25 (염분 43.668 psu)라고 발표했다. 그리고 같은 해역에서 동중국해 대륙붕수의  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 의 농도비를 5.3라고 했다. 또한 이와 김 (1998)은 황해-동중국해 경계역의 표층해수를 하나의 end-member로 가정하여 이 수괴의  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  농도비를  $3.7 \pm 0.2$ 로 추정하고, 이 값을 양자강-황해 혼합수의 end-member로 설정하였다.

본 연구해역의 각 정점에서의  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 의 농도비로부터 본 해역은 쿠로시오 해수와 양자강 대륙붕수가 적절히 혼합되고 여기에 양자강-황해 혼합수가 다소 혼합되었다고 생각된다. 특히 황해에 가까운 정점에서 농도비가 3.25~3.45로 이와 김 (1998)이 발표한 양자강-황해 혼합수의 end-member에 가깝고, 외해 정점에서 1.10~1.52로 쿠로시오 해수의 비율이 높았다. 그리고 양자강에 가까운 정점에서 2.47~3.06으로 양자강 대륙붕수가 비교적 높은 비율로 혼합되어 있다고 생각된다.

보다 구체적으로 본 해역에 존재하는 수괴들 사이의 혼합비율을 알기 위하여 Ra 동위체 농도비로부터 수괴의 혼합율을 계산했다. 그 결과 모든 정점에서 양자강 대륙붕수의 비율은 16~98%로 넓은 분포를 보였으나 평균값은 69%로 비교적 양자강 대륙붕수의 비율이 높음을 알 수 있다. 좀 더 상세하게 살펴보면 제주도 남동쪽 해역에서는 쿠로시오의 영향이 크기 때문에 양자강 대륙붕수의 혼합율은 16~25%이었고, 양자강에 가까운 정점에서는 86~98%로 나타났다.

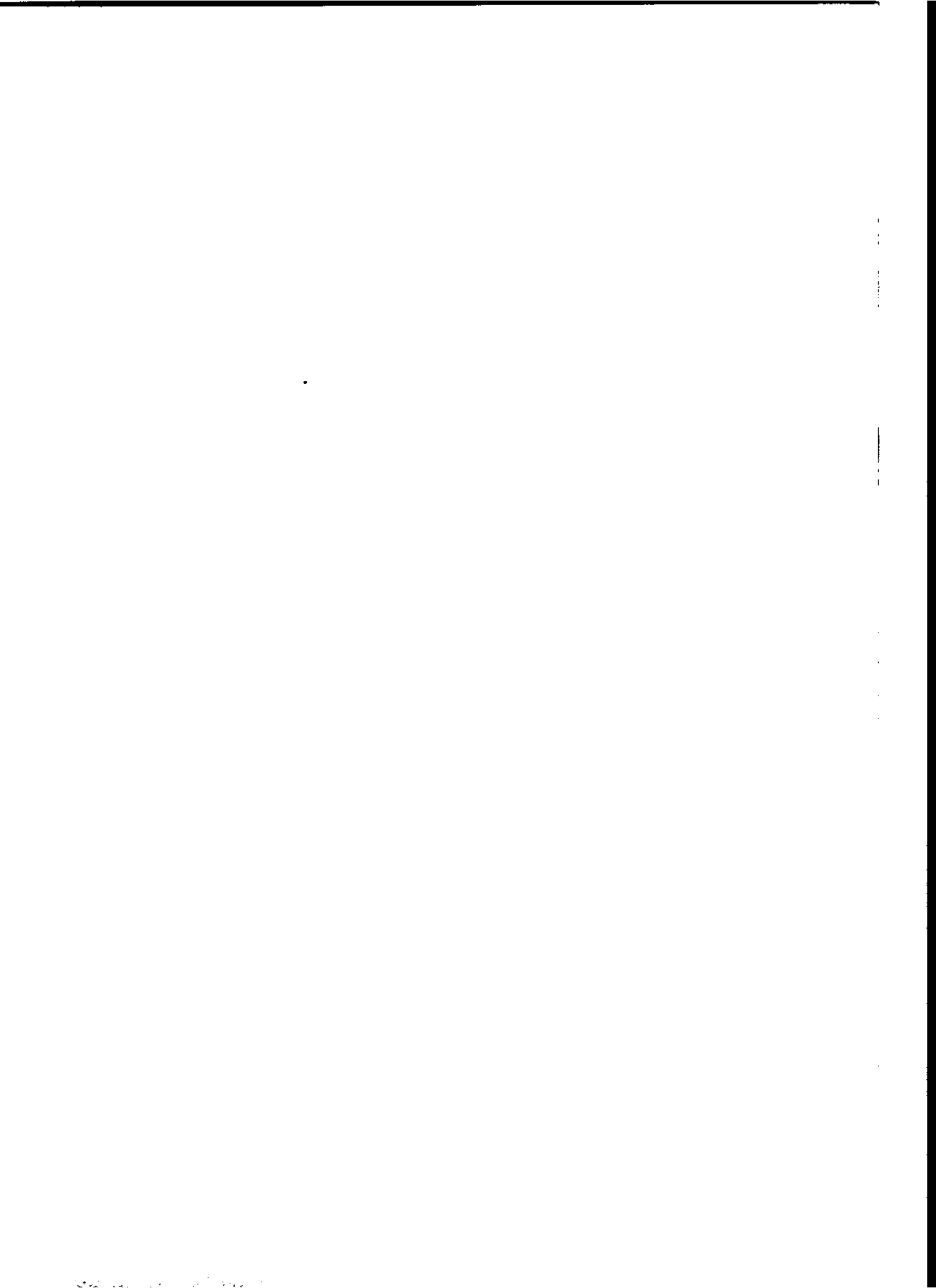
염분이 나타난다. 수직성층은 주로 염분약층에 의해 결정되며, 약층의 세기와 깊이는 저조시에 증가한다. 조위와 염분변화의 관계는 하구 상류쪽에서 약 2.5 시간의 위상차이를 보이나 하구 하류쪽에서는 정상과 관계를 보인다. 이러한 위상차이는 낙조시 3시간 정도의 담수방류에 의해 생성된 저염수 Patch가 조류에 의해 이동된 것을 의미하며, 하구인 수문작동으로 인하여 발생한다. 갈수기에는 수직적 염분차이가 현저히 줄어든다.

관측된 표층유속과 염분구조 및 담수방류량을 사용하여 성층, 순환계수를 산출하였다. 금강하구는 부분혼합형 하구이고 풍수기와 갈수기에 따라 성층계수가 달라진다. 관측된 조류의 평균적 흐름은 상층에서 바다쪽으로, 저층에서 육지쪽으로 향하여 부분혼합형 하구의 순환과 일치하였고, 하구역의 평균해수면 구배의 변화가 이러한 2층 순환체계의 형성에 기여할수 있다. 금강하구인 수문작동이후 하구의 형태와 순환은 금강하구역에서 부유사가 육지쪽으로 이동하며 퇴적되는 환경임을 제시한다.



**부 록 2~4**

**1998년 4월, 9월, 11월 해양조사 일지**



# 해양조사일지

VOY. NO. 98-07-1

1998년 7월 5일 일요일 (음 )

연구과제명		남해 불꽃 순환			연구수행부서			화학 연구부				
조사내역												
조사해역		남해			고조		저조					
승선자 (현장책임자: 홍기훈) 박선주, 이상환, 박권진, 임재희, 정지범, 장영석, 과주태, 3명 (순환구리 2)												
사용기기 CTD, Box-Corer 조기용, 노정래, 잠수함: 박정기, 김정건, 이동현, 정상우												
출항지		시간			입항지		입항시간					
기항지		기항시간			항정		당일		계			
ST. NO.	위 치 N E	시 작 시간	종료 시간	천후 윤량	풍향	풍속 m/s	파고 m	기 압 hPa	기 온 (도)	수온	수심	기 타
E1	35-00.°N 129-00.°E	1314	1542	Y	SE	3	1.0	1026	15		44	원형 고광수리
Z	34-55.11~129-00.04°E	1622	1659	X	SSE	10	1.5	1021	15		13	Box CORE CTD
3	34-50.07°N 129-00.07°E	1754	1811	Y	SSE	10	1.5	1021	15		83	CTD
1/6 D1	34-35.02°N 128-00.64°E	0811	0837	C	NE	9	1.5	1020	14		27	34-38.00~128-00.00 Box CORE
Z	34-30.05°N 127-59.05°E	0912	2f-2	C	NE	7	1.5	1020	14		31	
3	34-25.02°N 127-59.05°E	0958	1037	C	NE	6	1.0	1021	14		43	34-27.00~127-59.00 Box CORE
4	34-20.01°N 127-59.04°E	1112	1121	C	NE	6	2.0	1021	15		59	
5	34-15.0°N 128-00.°E	1158	1320	C	NE	10	2.5	1020	15		69	
4/11 C1	34-10.04°N 127-00.01°E	1916	1946	C	NNE	3	0.5	1017	17		32	
Z	34-01.01°N 126-59.05°E	2023	2031	C	NNE	2	0.5	1017	13		46	
3	33-50.00°N 126-59.05°E	2111	2134	C	NNE	4	0.5	1017	13		60	
4	33-55.07°N 127-00.00°E	2210	2218	C	NNE	4	0.5	1017	13		75	
5	33-49.00°N 127-00.06°E	2256	2324	C	SE	5	0.5	1017	14		87	
1/8 6	33-45.0°N 126-59.06°E	0034	0014	C	SE	5	0.5	1017	15		103	
7	33-39.99°N 127-00.05°E	0049	0120	Y	SW	1	0.5	1018	15		117	
8	33-34.98°N 127-00.09°E	0157	0208	Y	E	5	1.0	1018	15		129	
9	33-29.97°N 126-59.06°E	0240	0310	Y	SE	4	1.0	1018	14		130	
10	33-24.96°N 126-59.05°E	0324	0350	C	SE	6	1.0	1018	14		133	Box CORE
11	34-19.95°N 126-59.05°E	1127	1140	C	NE	8	1.5	1015	13		75	

특기사항

- 1/5 18:15 귀항차 여수항으로 출발
- 1/6 01:45 여수항 백서에서 대기
- 02:11 조사작업 재개
- 13:30 귀항차 거문도 2 출발
- 18:00 거문도 입항
- 1/7 08:00 거문도 출발
- 09:00 대삼부도 도착 잠수작업 시작

VOY. NO. 98-01-Z

ST. NO.	위 N	차 E	시작 위치	종료 시간	권 후	풍 향	풍 속	파 고	기압 HPa	대기 온도	수 심	기 타
B5	34-10.10N	125-53.04E	1332	1354	bc	E	10	2	1014	14	51	34-10.25N Box (125-52.44E) CORE
4	34-14.70N	125-53.02E	1329	1351	C	E	10	2	1014	14	39	34-14.31N Box (125-52.97E) CORE
3	34-20.00N	125-53.13E	1438	1456	C	E	6	1.5	1014	13	42	
2	34-25.04N	125-53.04E	1539	1556	C	E	6	1.0	1014	13	31	
1	34-30.82N	125-52.78E	1646	1700	F	SE	2	0.5	1015	13	21	
A1	34-10.10N	124-59.12E	2153	2223	F	NE	6	1.0	1015	10	91	
2	34-05.02N	125-00.01E	2306	2317	F	NE	5	1.0	1015	10	96	
3	34-20.80N	125-00.25E	2353	0016	F	SW	2	1.0	1016	11	85	34-00.91N Box (125-00.20E) CORE
4	33-54.94N	125-00.01E	0058	0107	F	SW	3	1.0	1016	11	102	
5	33-50.96N	125-00.06E	0136	0202	F	SW	4	1.0	1016	10	94	33-50.91N Box (125-00.19E) CORE
6	33-44.94N	125-00.02E	0242	0252	F	SW	5	1.0	1016	10	86	
7	33-39.96N	124-59.99E	0322	0344	F	SW	4	1.0	1015	11	90	33-39.67N Box (125-00.29E) CORE
8	33-34.99N	124-59.91E	0415	0424	F	SW	7	1.0	1015	11	84	
9	33-29.97N	125-00.01E	0455	0512	F	SW	4	1.0	1014	11	74	
B7	34-00.01N	125-52.98E	2100	2138	F	SW	1	1.0	1019	12	83	
8	33-52.49N	125-52.96E	2243	2251	F	SW	1	1.0	1019	12	62	
9	33-44.91N	125-52.94E	2348	0016	F	SW	3	1.0	1019	12	78	33-45.02N Box (125-52.85E) CORE
10	33-39.46N	125-52.96E	0106	0122	C	NE	3	1.0	1020	12	83	
11	33-29.99N	125-52.98E	0212	0240	C	NE	3	1.0	1020	12	95	33-29.96N Box (125-52.94E) CORE
D11	33-30.00N	127-59.93E	1909	1942	bc	SW	2	0.5	1021	12	114	
10	33-39.45N	128-00.05E	2027	2041	bc	W	2	0.5	1022	08	117	
09	33-45.02N	127-59.94E	2134	2154	bc	W	5	0.5	1022	08	104	
08	33-52.51N	128-00.11E	2240	2248	bc	W	5	0.5	1022	08	97	
07	34-00.00N	128-00.14E	2337	0000	bc	W	5	0.5	1022	08	86	34-00.00N Box (128-00.14E) CORE
06	34-07.53N	128-00.03E	0050	0058	bc	SW	6	0.5	1022	14	80	
05	34-15.14N	128-00.04E	0149	0211	bc	SW	6	0.5	1022	14	69	34-15.20N Box (128-00.50E) CORE
E8	34-24.80N	129-00.02E	1705	1716	bc	SW	3	0.5	1020	22	135	
7	34-29.89N	128-59.97E	1756	1806	bc	S	1	0.5	1020	22	114	
6	34-35.01N	129-00.01E	1845	1806	bc	S	1	0.5	1020	21	109	
5	34-40.00N	129-00.01E	1944	2008	bc	S	1	0.5	1020	21	102	
4	34-45.02N	128-59.98E	2044	2104	bc	S	1	0.5	1022	21	87	
3	34-50.07N	128-59.99E	2141	2154	bc	NE	6	1.0	1020	19	86	

# 연구선 운항 결과 보고서

선 명 : 이 어 도	함 차: 98-07	보고일자 : 98년 4월 12일
연구 과제명 : 남해 물질 순환		
수행 부서 : 해양화학연구부	연구 책임자(현 장) : 홍 기 훈	
기 간 : '98년 4월 05일 11시 - '98년 4월 12일 06시 30분 ( 8 일 )		
조사 해역 : 남 해	총운항거리 : 757 해리( Km)	
연료 관 량 :	톤	침수 관 량 :
승 선 자 ( 연구소 직원 ) 홍기훈, 박선규, 이상환, 박준건, 임계희, 정지영, 장영석, 조기용, 노정래.		
외부직원 : 광주대학교(송환석, 김도엽, 이희관) 잠수팀(박정기, 김정건, 이동현, 정상우)		
주 요 일 정		
4월 05일	1100 장목 기지 출항	
	1315 현장도착(35 - 00.0N 129-00.0E) 해양조사 시작	
	1815 기상악화로 피항차 여수항항	
4월 06일	0144 여수 앞 뱃서에서 피항 대기	
	0811 현장도착 해양조사 재개함	
	1330 기상악화로 피항 겸 잠수팀 승선차 거문도항	
	1800 거문도 입항, 연구원(조기용, 노정래)과 잠수팀 4명 승선	
4월 07일	0800 거문도 출항	
	0900 현장도착 해양조사 재개함	
4월 10일	1105 거문도 입항 연구원 임계희 하선	
	1115 거문도 출항	
	1255 현장도착 해양조사 재개	
4월 11일	2155 해양조사완료 현장출발 장목기지항	
4월 12일	0630 장목기지 도착 연구원 하선	
연구(현장)책임자 : 홍 기 훈		
선 장 : 이 병 희		

# 해양조사일지

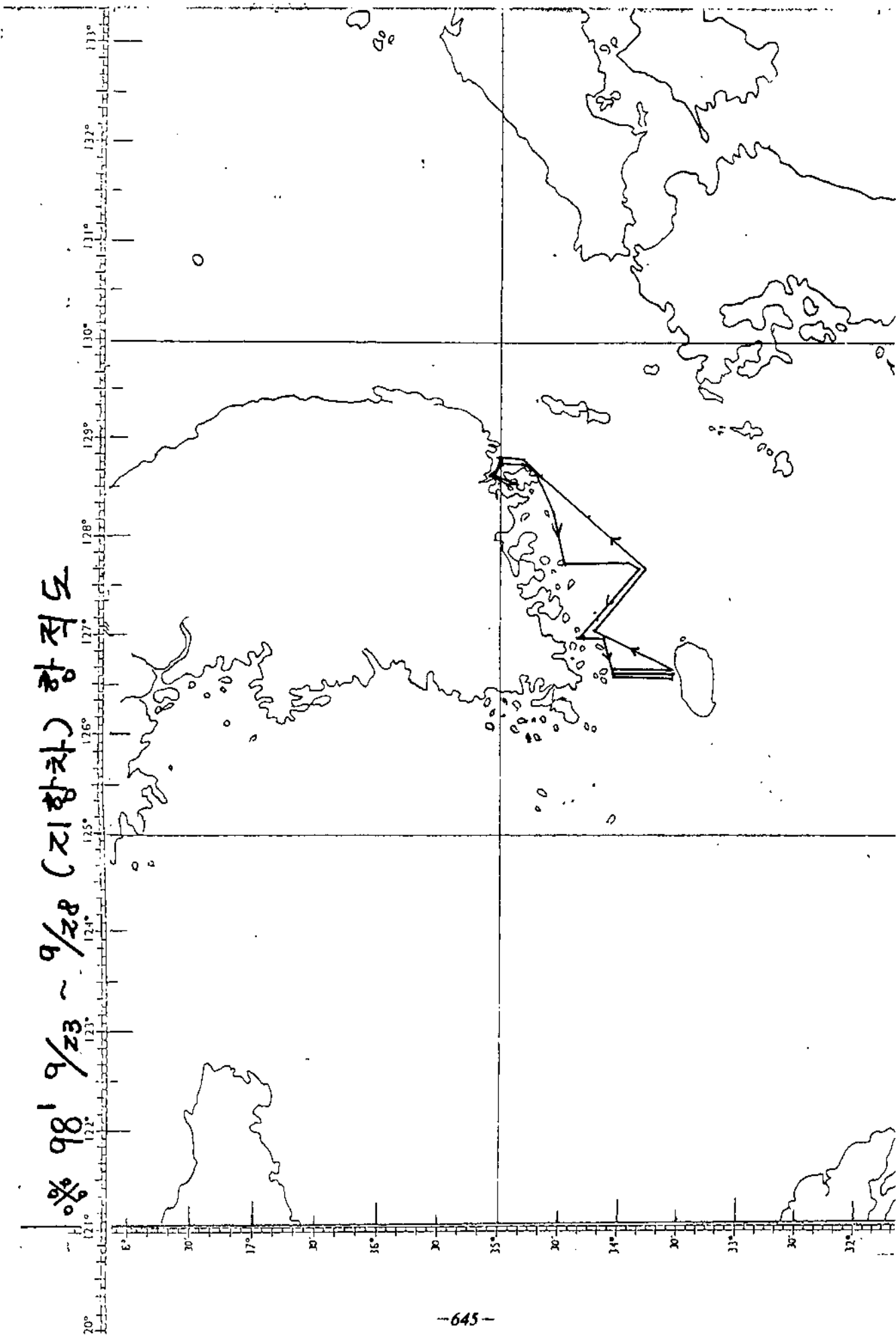
VOY. NO. 98-21

1998년 9월 23일

연구 과제명	남해 순환	현장 책임자	김성현
조사 해역	남해	수행 부서	해양화학연구부
승선자	김성현, 박승, 박승건, 정려원, 이형미, 유은선, 문정연, 장영철, 김지호, 김종기, 임학재, 김승주, 정영희, 최도성		
사용기기	조유기		
출항위치			
입항위치			

ST. NO.	위도 N	경도 E	시작 시간	종료 시간	천 후	풍 향	풍 속	파 고	기압 HPa	대기 온도	수심	기 타
S1	35-05.55N	128-39.04E	1246	1430	bc	NE	4	0.5	1021	29	10	
S2	35-03.08N	128-41.10E	1500	1515	C	NE	6	1.0	1021	27	33	
S3	35-00.10N	128-46.33E	1539	1551	C	NE	7	1.0	1021	25	22	
S4	34-55.67N	128-48.16E	1629	1636	bc	NE	12	2.5	1020	24	27	
S5	34-47.44N	128-47.80E	1736	1745	bc	NE	13	2.5	1020	23	62	
9/24 C1	34-38.51N	127-42.52E	0009	2025	bc	NE	7	1.5	1021	23	20	
C2	34-20.86N	127-41.50E	0118	0130	C	NE	8	1.5	1021	33	32	
C3	34-10.70N	127-41.67E	0235	0318	C	NE	9	2.0	1021	23	42	
C4	33-55.91N	127-41.57E	0452	0527	C	NE	11	2.5	1021	23	85	
BA	33-44.81N	127-39.92E	0640	0700	C	NE	10	2.5	1019	22	96	CABLE 관련 장비는
P/25 Tact	34-18.30N	126-47.41E	1048	1055	C	W	3	1.0	1020	27	10	
A1	34-04.88N	126-32.94E	1330	1343	bc	NE	2	0.5	1021	27	41	
A2	33-59.15N	126-33.12E	1426	1542	C	E	4	1.0	1021	27	59	
A3	33-50.19N	126-33.19E	1644	1702	C	E	6	1.0	1021	27	80	
A4	33-41.27N	126-33.20E	1804	2045	C	E	6	0.5	1020	25	113	
A5	33-33.98N	126-32.99E	2141	2223	C	E	6	0.5	1020	24	99	
1	33-33.97N	126-32.33E	2224	0132	C	E	6	0.5	1020	24	101	ADCP 시작
2	33-58.00N	126-33.10E	0136	0437								SOUTHWARD
3	33-34.33N	126-33.10E	0442	0745								NORTHWARD
4	33-57.09N	126-33.22E	0756	1049								
5	33-33.97N	126-33.11E	1053	1351								
6	33-57.96N	126-32.98E	1359	1700								
7	33-34.07N	126-32.73E	1707	2008								
8	33-57.97N	126-33.06E	2013	2315								

98' 9/23 ~ 9/28 (지항차) 항적도



# 해양조사일지

VOY. NO. 98-26-1

1998년 11월 24일

연구 과제명	남해 물질 순환	현장 책임자	전 등철
조사 지역	남해	수행 부서	해양조사원
승선자	전등철, 정창수, 김지호, 서승모, 송관석, 조문규, 해상조사원 (정우진)		
사용 기기	ADCP, CTD		
출항 관계			
입항 관계			

ST. NO.	위 치		시작 시간	종료 시간	천 후	풍 향	풍 속	파 고	기 압 HPa	대 기 온도	수 심	기 타
A8	33-33.07'N	126-33.06'E	0658	0706	C	W	5	0.5	1023	15	67	
7	33-37.59'N	126-33.05'E	0741	0757	C	W	11	1.5	1023	15	130	
6	33-42.89'N	126-32.97'E	0836	0844	bc	SW	12	1.5	1024	18	119	
5	33-48.08'N	126-33.11'E	0925	0940	bc	SW	13	1.5	1024	18	98	
4	33-53.23'N	126-32.97'E	1019	1024	0	SW	15	2.0	1023	17	48	
3	33-58.49'N	126-32.84'E	1103	1111	0	NW	16	2.5	1023	17	58	
2	34-03.59'N	126-32.85'E	1150	1155	0	NW	10	2.5	1023	18	44	
1	34-05.48'N	126-32.84'E	1212	1230	0	NW	8	2.0	1023	18	39	
ADCP	34-00.00'N	126-33.00'E	1259	1556								START
"	A8 → A1		1602	1909								
"	A1 → A8		1915	1928								안드로 W150
"	A1 → A8		1348	1648								제 반죽
"	A8 → A1		1653	1951								
"	A1 → A8		1953	2250								
"	A8 → A1		2304	2303								
"	A1 → A8		0214	0516								
"	A8 → A1		0526	0823								
"	A1 → A8		0829	1129								
"	A8 → A1		1138	1137								관측 종료
"	B1 → B8		2058	2359								관측 시작
"	B8 → B1		0005	0305								
"	B1 → B8		0312	0615								
"	B8 → B1		0621	0917								
"	B1 → B8		0926	1226								
"	B8 → B1		1234	1533								
"	B1 → B8		1540	1840								
"	B8 → B1		1848	2145								관측 종료

1/2t

1/4t

1/2t



VOY. NO. 98-26-2

11/27

ST. NO.	위 N	치 E	시작 시간	종료 시간	천 후	풍 향	풍 속	파 고	기압 HPa	대기 온도	수 심	기 타
B2	34-25.8 <sup>3</sup> N	127-41.5 <sup>1</sup> E	2207	2213	bc	N	11	2.0	1022	12	23	CTD, 채수
B3	34-20.8 <sup>2</sup> N	127-42.8 <sup>4</sup> E	2247	2252	bc	N	11	2.0	1022	12	30	"
B4	34-15.7 <sup>2</sup> N	127-41.3 <sup>9</sup> E	2325	2333	bc	N	12	2.0	1022	12	32	"
B5	34-10.7 <sup>2</sup> N	127-41.5 <sup>5</sup> E	0011	0016	bc	N	10	2.0	1022	12	42	"
B6	34-05.9 <sup>6</sup> N	127-41.5 <sup>6</sup> E	0047	0057	bc	N	12	2.5	1023	12	62	"
B7	34-01.0 <sup>4</sup> N	127-41.4 <sup>9</sup> E	0129	0136	bc	N	12	2.5	1023	12	83	"
B8	33-55.9 <sup>3</sup> N	127-41.4 <sup>6</sup> E	0209	0219	bc	N	13	2.5	1023	12	88	"
ADCP	C1 → C8		0753	>171	고장	후/노						광학시각
ADCP	C1 → C8		1225	1523								레이저
"	C8 → C1		1530	1830								
"	C1 → C8		1837	2137								
"	C8 → C1		2144	0045								
"	C1 → C8		0052	0350								
"	C8 → C1		0358	0659								
"	C1 → C8		0706	1005								
"	C8 → C1		1012	1310								관측 종료

