

제 3 차 년도  
최종 보고서

BSPN 00203-614-4

한반도 주변 해역의 화학물질 수지 및 순환연구  
(서남해역)

Coastal Ocean Flux Study in the Mouth of the Yellow Sea

1993. 8

연구 기관  
한국해양연구소

과학기술처

# 제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 “한반도 주변 해역의 화학물질 수지 및 순환 연구”의 최종년도 보고서로 제출합니다.

1993. 8.

연구기관: 한국해양연구소

연구책임자: 김 석현

연구원: 홍 기훈, 정 창수, 강 동진

신 종헌, 서 영완, 정 지형

한 상준, 유 홍룡, 이 희준

박 필성, 최 승민, 최 중기

심 문보(인하대), 이 상한

국 강웅, 박 경민, 전 윤정

김 경아

연구조원: 김 보연

# 요 약 문

## I. 제목

한반도 주변해역의 화학물질 수지 및 순환연구(서남해역)

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 본 연구는 황해 입구를 통과하는 기후관련 친생물 원소의 물질교환량을 추정하고 1,2차년도 연구에서 밝혀진 조석전선기원 혼탁해역과 대기중의 이산화탄소량을 조절하는 해양의 기초생산력(탄소고정)의 율 및 그 계절에 따른 변이형태를 파악하고, 대륙-해양, 해저-해양간 친생물원소의 이동량을 추정한다. 그리고 이를 바탕으로 황해 입구 및 황해전체의 구성부분(해수, 해저퇴적물, 생물)간의 탄소, 영양소와 미량중금속의 생지화학적 사이클(Biogeochemical cycle)을 밝혀서 대륙주변부 해역이 전세계 해양중에서 이들 원소들의 근원(Source) 이나 저장고(sink)로서의 역할을 정량화 하는데 기초자료를 제공함.

2. 자연적인 과정을 이해함으로써 자연과정의 한 교란형태(Perturbation)인 기후변동, 해양오염의 발생 및 그 이동 경로를 규명하는 기초자료를 제공하여 해양환경 보전에도 크게 기여하고자 한다.

3. 현재 대기중의 CO<sub>2</sub>를 비롯한 온실화기체들의 농도증가에 따른 기후변동은 전지구적인 문제로서 정부간 기상변동채널(IPCC)등의 국제기구에서의 온실효과기체 방출량을 규제하려는 협약제정 움직임은 우루과이라운드보다 더 큰 영향을 국내 제반 산업계에 미치게 된다. 그런데 IPCC 등의 국제기구의 정책결정은 지구 과학적 조사연구결과에 그 근거를 두고 있다. 본 연구는

국제과학 연맹이사회(ICSU)의 해양학 연구위원회(SCOR)가 주관하고 10여개 이상의 전세계 해양학 연구 선진국들이 주도하고 있는 국제해양물질 플럭스연구(Joint Global Ocean Flux Study, JGOFS)의 한국의 1개 프로그램으로 인정된 것이다. 따라서 지구기후변동과 관련한 국제 정치무대에서 한국의 입장을 개선하기 위한 정책적대응에 필요한 과학적 근거자료로서 이용이 될 것이다. 뿐만아니라 JGOFS에 능동적으로 참여함으로써 해양 생지구화학연구의 선진기술을 용이하게 전수받는데 그 목적이 있다.

### III. 연구개발의 내용

#### 1) 연구조사 항해

제 1차년도 : 해양의 생지구화학적 연구를 위한 기반기술 확립

KF9104 : 목포 - 흑산도 해역

제 2차년도 : YS9204 : 황해입구, 황해 중앙부 해역

제 3차년도 : YS9209 : 황해 전해역(인하대 공동조사)

YS9302 : 황해 남부해역

CSEX9211: 동중국해 대륙사면 해역

#### 2) 현장조사 항목

수온, 염분,  $\delta^{18}O$  등 해수물리 특성

PAR, 광소산계수, 생체 형광량(in-vivo fluorescence)등 광특성

용존산소, 입자성 부유물, 입자 침강 플럭스, 식물색소(Chlorophyll a)

식물 주요 무기영양소(암모니아, 질산이온, 인산이온, 규산)

식물 기초생산력

식물플랑크톤 종조성과 생물량

동물플랑크톤 종조성

해저퇴적물 유기탄소, 질소, 공극수 화학조성

해수중의 용존 중금속, 해저퇴적물 중금속

해수 퇴적물 희토류 원소분포

### 3) 연구내용

황해해역의 해수화학 특성의 계절변동

춘계식물플랑크톤 대번식과 동계영양염 저장

황해식물 무기영양소의 기원

황해해저 유기물의 분포특성과 초기속성과정

혼탁해역에서의 기초생산력의 결정인자 규명

전선역 통과 플럭스 평가 이류-확산 모델 개발

황해 수괴 성인과 분포

황해 기초생산력

황해 식물주요 무기영양소 수치

황해 중금속 수치

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 관한 건의

제 1차년도 : 해양생지화학적 조사 연구를 위한 기반기술 확립

KF9104 조사 항해(목포 - 소흑산도 해역) 실시

조석전선 기원 혼탁해역에서의 기초생산력 조절요인 조사

식물 플랑크톤 생산력과 박테리아 생산력의 uncoupling

전선역 통과 물질 플럭스 평가 위한 이류-확산 모델 제시

제 2차년도 : YS9204 조사항해(황해입구, 중앙부 해역) 실시

황해해수 광특성 조사

식물플랑크톤 춘계대번식 관측

고농도 입자성 부유물의 천해역과 저농도 입자성 부유물의

중앙부해역의 생지화학적 특성규명

이류-확산 모델의 황해입구 전역 적용

성층발달기간동안의 유광대 저층에서의 영양염류 축적과정 규명

$\delta^{18}O$  - 염분과의 관계에 의한 해수기원 규명시도

해저퇴적물의 유기물 함량분포와 초기숙성과정

제 3차년도 : YS9209 조사항해(황해 전해역) 실시

황해 광역조사

YS9302 조사항해(황해 중남부 해역) 실시

동계 해양생지화학적 해양특성 규명

CSEX9211 조사항해(대륙사면해역) 실시

동중국해-쿠로시오-대륙사면 심층수-대양수 상호관계조사

대기로부터 황해로의 식물 주요 무기 영양소 유입영향조사

## 종합토의

### 1. 황해의 수괴 성인과 분포

황해는 그 부피에 비하여 담수 유입량이 많고 또 천해로서 해수수온이 보존적이지 못하고, 북부 발해만의 계절적인 결빙과 해빙으로 염분역시 변화 될 수 있으므로 이러한 영향을 거의 받지 않는 해수 보존성 추적자  $\delta^{18}O$ 를 도입하여 황해의 수괴분포와 그 기원을 규명하였다. 이러한 조사는 황해해역에서는 최초로

시도된 것이다. 황해의 수괴를 수온, 염분,  $\delta^{18}O$  을 기준으로 구분하면 황해의 동남부에 존재하는 황해난류수(YSWC)는 수온 11-15°C, 염분 34 - 35‰,  $\delta^{18}O$  -0.2 - 0.2, 황해중부에 존재하는 황해냉수는 수온 10°C, 염분 32.5 - 33‰,  $\delta^{18}O$  -0.5 - 0.0, 중국연안을 따라 분포하는 중국대륙 연안수는 수온 8 -10°C, 염분 32 - 32.5‰,  $\delta^{18}O$  -0.5 - 1.0 으로 분류 할 수있다.

이들 수괴는 쿠루시오로 부터 분기된 고온, 고염, 고 $\delta^{18}O$ 의 황해 난류수와 황해로 유입되는 여러강들의 영향을 받은 저염, 저 $\delta^{18}O$  의 수괴와 그 end-member 혼합에 의하여 형성된다. 그러나 동계 결빙과 해빙에 의하여 염분이 상승되고 하강된 해수의 남하에 의하여 황해해수가 영향을 받기도 한다.

## 2. 황해의 기초생산력

황해해역의 기초생산력 자료는 본연구기간에 수행된 것 이외에 입수가능한 중국측 자료를 정리 하였다. 황해의 연간 평균 기초생산력은 연  $165 \text{ g C/m}^2/\text{yr}^{-1}$  이고 전세계 해양의 총 기초 생산중 0.26% 를 차지하여 면적에 비하여 기여도가 높다. 황해해역의 기초생산력의 조절요인은 아래와 같다. 해안인접 천해역에서는 강한 조석작용으로 인한 높은 부유물 농도에 의하여 기초생산력은 빛조건에 의하여 주로 지배 된다. 그러나 중앙부 해역에서는 수직혼합이 잘 이루어지는 동계를 제외하고는 수온약층이 영양소공급을 제한하여 영양염 조건에 의하여 주로 지배된다. 유광대 저층으로 부터의 영양소 확산과 대기로부터 해표면 침적에 의한 신생산은 각각 12%와 8%에 이른다. 따라서 총 신생산은 약 20%이다. 다른 대륙붕해역에서 보다 신생산이 약간 높은 것은 대기로부터의 영양소 공급이 높기 때문이다.

### 3. 황해식물 주요무기 영양소 수지

영양소의 계절변동 : 영양소류는 동계를 제외하고는 수심 0 - 30m 층(유광대)에서는 완전히 고갈되어 있으며 그이하 수층에서는 수심의 증가에 따라 영양소 함량도 증가 한다. 황해 중부해역에서 식물플랑크톤의 광합성이 표층혼합층의 두께보다는 유광대의 깊이에 주로 의존한다. 저층으로부터의 유광대로의 영양염류 공급은 시간에 따른 저층의 영양염류 축적율과 표층에서 하강하는 유기물을 레드필드 분자로 가정하여 추정하였다. 그양은 총 기초생산의 12% 내외로 차지하고 있다. 또한 동계기간의 영양소 농도 분포가 최초로 조사되어서 표층해양의 계절변동의 초기조건이 관측 되었다. 동계에 물기둥에 저장된 영양염의 총량은 모두 춘계 식물플랑크톤 대번식에 이용되는 것으로 판단되며 이는 물기둥에서의 영양소류 분포의 계절변화와 일치한다.

황해영양염류의 공급원 : 공급원은 인근 육지로 부터 하천수에 의한 유입, 대기로 부터의 유입, 해저퇴적물로부터의 재생, 수중에서 유기물 입자로 부터의 재생과 외해로 부터의 유입이다. 각각의 유입원에 대하여 현재까지의 입수가능한 자료를 총망라 하였다. 기초생산력이 정상상태를 유지한다고 가정하고 질소계 영양소에 대하여 각 유입원별 공급량은 다음과 같다. 하천 : 15.1, 대기 45.5, 해저퇴적물 재생 : 55.8, 수중입자분해 : 201.3 그리고 외해로 부터 유입은 79.9이다. 단위는  $\times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$ 이다.

### 4. 황해의 용존성 중금속 수지

조사해역에서의 니켈을 비롯한 6개 용존성 중금속의 표층수에서의 농도는 니켈과 코발트의 경우에는 대양의 표층수와 비슷한 값을, 그 외의 원소들은 대양에 비해 약간 높은 값을 나타내었다.

분포의 특징은 구리는 주로 하천수로부터 공급이 되며 황해의 동쪽 연안은 한



반도로부터 유입되는 하천수의 영향을 받는다. 그리고 황해동남쪽의 한반도 남서 해안은 코발트의 높은 농도가 나타나는데 이것은 소혹산도 근처의 고염수에 의해 빠르게 희석되거나 조류에 의해 형성된 퇴적물의 재부유에 의하여 제거되어진다. 카드뮴과 니켈도 구리의 농도분포와 다소 비슷한 특징을 보이나 상대적으로 하천수의 영향을 적게 받는다. 납과 아연은 뚜렷한 분포 특징을 보이지는 않았으며 이들 원소는 대기를 통하여 많은 양이 공급될 것으로 생각된다. 니켈은 3차례의 조사에서 모든 정점에 걸쳐서 가장 변화폭이 적었다. 해수중에 있는 입자와의 관계에서는 아연이 특히 일반적인 해양에서의 생지구화학적인 거동과는 달리 황해에서 높은 분배계수를 보여 빠른 제거기작이 있는 것으로 생각된다.

황해에서 중금속의 농도 분포 경향과 그 수지 관계를 정확하게 파악하기 위해서는 좀 더 상세한 조사연구가 요구되어진다.

## SUMMARY

### 1. Title

Coastal Ocean Flux Study in the Mouth of the Yellow Sea

### II. Objectives and Significance

1. This study is aimed to estimate the fluxes of climate related chemical elements at the mouth of the Yellow Sea, and to measure the primary productivity (C-fixation) and its seasonal variation, which controls the partial pressure of the atmospheric CO<sub>2</sub> in the region, and to quantify inorganic nutrient fluxes between ocean and continent, sea bottom and ocean. These boundary fluxes constitute the biogeochemical cycling of carbon, nutrients, and trace metals through the compartments of sea water, sediments and biota in the Yellow Sea.

2. Understanding the natural processes helps us to assess some perturbations, e.g. climate change and possible consequences of marine pollution, and leads us to find better ways to conserve marine environments.

3. In response to the climate change due to increasing CO<sub>2</sub> and other greenhouse gases, now recognized as global problem, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and other international authorities are pushing for

treaty for the reduction of greenhouse gas release, which will exert for significant impacts on industries than the outcome of Uruguay Rounds. The policy makers decisions in the international organizations are based on the scientific assessments. The study is under the flags of JGOFS, a program guided by SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research) under the ICSU (International Council of Scientific Unions), in which more than 10 of leading countries in the ocean sciences are steering it. Therefore, results of the study will contribute as scientific basis for Korean policy in the international conferences. Furthermore, by going JGOFS, it will facilitate the transfer of advanced techniques in the marine biogeochemistry.

## II. Contents and Scope

### 1. Oceanographic expeditions

The 1st year: KF9104: Mokpo-SoHuksando

The 2nd year: YS9204: Mouth and central part of the Yellow Sea

The 3rd year: YS9209: the Yellow Sea (in cooperation with Inha University)

YS9302: the Southern part of the Yellow Sea

CSEX9211: continental slope off the East China Sea

## 2. Items analyzed

Temperature, salinity,  $\delta^{18}\text{O}$ , PAR, light attenuation coefficient, in-vivo fluorescence, dissolved oxygen, suspended particulate matter, settling flux of particulate matter, plant pigments, plant major inorganic nutrients (ammonium ion, nitrate ion, phosphate ion, silicic acid), primary production, phytoplankton species composition and biomass, zooplankton species composition and biomass, sedimentary organic matter and its decomposition in the sediment column, trace metals in the surface waters and bottom sediments, REE distribution in the bottom sediments

## 3. Items investigated

Seasonal variation of seawater composition in the Yellow Sea

Winter nutrient reserve and spring phytoplankton bloom

Origin of plant major inorganic nutrients

Accumulation of organic matter in the sediments

Controlling factors of primary productivity in the turbidity frontal zone

Develop an advection-diffusion model for cross-frontal material exchange

Origin and distribution of water masses in the Yellow Sea

Seasonal and annual primary productivity in the Yellow Sea

Origin and budget of plant major inorganic nutrients

Origin and budget of heavy metals in the Yellow Sea

#### 4. Yearly progress report

##### 4.1. The 1st Year:

Establishing basic techniques in marine biogeochemical  
investigation

KF9104 Expedition (Mopko-Sohuksando)

Phytoplankton production in the tide-induced turbid frontal zone

Developing an advection-diffusion model for cross-frontal material  
exchange

##### 4.2. The 2nd Year:

YS9204 Expedition (mouth and central part of the Yellow Sea)

Optical properties in the Yellow Sea

Biogeochemical province of turbid shallow coastal water and clean  
central part of the Yellow Sea

Applying an advection-diffusion model for cross-frontal material  
exchange at the mouth of the Yellow Sea

Nutrient accumulation in the bottom waters below euphotic zone  
during thermally stratified period

Identification of water masses using  $\delta^{18}\text{O}$  as an auxiliary tracer

Sedimentary organic matter accumulation and decomposition

##### 4.3. The 3rd Year:

YS9209 Expedition (the Yellow Sea)

YS9302 Expedition (south of the Yellow Sea)

Property distributions in the entire Yellow Sea

Property distributions during winter

CSEX9211 Expedition

Property distribution of cross-sections of East China Sea-

Kuroshio-the Pacific

Atmospheric input of plant major inorganic nutrients in the Yellow  
Sea

## 5. Synthesis

### 5.1 Origin and distribution of water masses in the Yellow Sea

Since the Yellow Sea is shallow and receives a large amount of freshwaters from the adjacent land for its volume, temperature of seawater does not behave conservatively, and freezing and melting of sea ice in the Bohai Bay, salinity of seawater may not be strictly conservative, therefore a more stable tracer of  $\delta^{18}\text{O}$  of seawater was newly adopted in identification of water masses in the Yellow Sea. Based on seawater temperature, salinity and  $\delta^{18}\text{O}$ , major water masses in the Yellow Sea are identified: Yellow Sea Warm Current (YSWC:  $11 < T < 15^\circ\text{C}$ ,  $34 < S < 35\text{o}/\text{oo}$ ,  $-0.2 < \delta^{18}\text{O} < 0.2$ ), Yellow Sea Cold Water (YSCW:  $T < 10^\circ\text{C}$ ,  $32.5 < S < 33\text{o}/\text{oo}$ ,  $-0.5 < \delta^{18}\text{O} < 0.0$ ), Chinese Coastal Water (CCW:  $8 < T < 10^\circ\text{C}$ ,  $32 < S < 32.5\text{o}/\text{oo}$ ,  $-1.0 < \delta^{18}\text{O} < -0.5$ ). These water masses are formed by the 2 end-members: a warm, saline,  $\delta^{18}\text{O}$  enriched Kuroshio

originated water and a fresh,  $\delta^{18}\text{O}$  depleted freshwaters originated from the various adjacent rivers. However, freezing and melting of sea ice in the Bohai Sea may affect the characteristics of the Yellow Sea.

## 5.2. Seasonal and annual primary productivity in the Yellow Sea

Spring blooms occur in the central part of the Yellow Sea during April. Annual primary productivity is  $165 \text{ mg C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  and it accounts 0.26% of the world marine primary production. In the coastal shallow region of tide induced turbidity frontal region, primary productivity is mainly controlled by light, while, in the clear central part, nutrient limits primary productivity for the year except during winter. During the thermally stratified period, new production is about 20 % (12% by the upward diffusion from the nutrient-rich bottom water and 8 % by the atmospheric input). Atmospheric input is significant contributor to primary production during summer.

## 5.3. Seasonal variation, origin and budget of plant major inorganic nutrients

Seasonal variation: Except winter, nutrients are generally depleted in the euphotic zone (0-30m depth), and enriched in the depth below the euphotic zone rather than pycnoline. Time series distribution of standing stocks of nutrients and dissolved oxygen in the depth below euphotic zone is utilized to estimate an upward fluxes of nutrients from the lower layer to the upper euphotic zone, assuming settling particulates consists of Redfield molecule. N

upward flux accounts for 12% of N requirements of phytoplankton in the euphotic zone, and is consistent with independent estimation based on the depth distributions of nutrients and density in the water column. Winter reserve of nutrients appears to be entirely utilized in the coming spring bloom.

Sources of nutrients: Sources of nutrients are river, atmosphere, benthic flux, water column regeneration. Assuming steady state of primary productivity, amount of N-nutrients input from the East China Sea is estimated. Individual input terms are (all units are  $\times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$ ): river (15.1), atmosphere (45.5), benthic regeneration (55.8), water column regeneration (201.3), and the East China Sea (79.9).

#### 5.4. Heavy metals in the Yellow Sea

Ni and Co concentrations are comparable to the oceanic waters, and other metal concentrations are a little higher than in the oceanic waters. Cu appears to be introduced by rivers in the Eastern side of the Yellow Sea. High concentration of Co around Sohuksan Island seems to be rapidly removed or dispersed by high suspended particulate matters or by strong tidal currents in this region. Pb and Zn appear to be affected by the atmospheric input. Distribution coefficient between dissolved and particulates are high for Zn.



# 목 차

그림목차 .....	26
표 목차 .....	31
제 1 장 서 론 .....	35
1.1. 황해 생지화학적 해황 특성 .....	37
1.2. 연구개요 .....	39
1.3. 현장조사 개요 .....	46
1.4. 보고서의 구성 .....	41
제 2 장 재료 및 방법 .....	43
2.1. 조사해역 및 시기 .....	45
2.2. 시료채취 및 보존 방법 .....	45
2.2.1. 해수 시료 .....	45
2.2.2. 퇴적물 시료 .....	50
2.3. 분석방법 .....	50
2.3.1. 수온 및 염분 .....	50
2.3.2. 용존산소량 .....	50
2.3.3. 입자성 부유물 .....	51
2.3.4. 식물플랑크톤 무기영양소 .....	51

2.3.5. $\delta^{18}O$ .....	52
2.3.6. 해수중 용존성 중금속 .....	52
2.3.7. 퇴적물중 중금속 .....	52
2.3.8. 식물플랑크톤 .....	52
2.3.9. 일차생산력 .....	53
2.3.10. 동물플랑크톤 .....	53
<b>제 3 장 현장조사 결과</b> .....	<b>55</b>
<b>3.1. YS9209 관측결과 및 토의</b> .....	<b>57</b>
3.1.1. 일반 해황 (수온, 염분, 밀도) .....	57
3.1.2. 해수의 $\delta^{18}O$ .....	64
3.1.3. 용존산소 .....	75
3.1.4. pH .....	75
3.1.5. 식물플랑크톤 무기영양소 .....	78
3.1.5.1. 암모니아 이온 .....	78
3.1.5.2. 질산 이온 .....	78
3.1.5.3. 아질산 이온 .....	80
3.1.5.4. 인산 이온 .....	80
3.1.5.5. 규산 .....	89
3.1.6. 해수 물리 특성 .....	96
3.1.7. YS9209 용존산소 .....	99
3.1.8. YS9209 영양염 역학 .....	101

3.1.9. YS9209 해수 안정성 동위원소 $\delta^{18}\text{O}$ 을 이용한 황해 수괴 분포 .....	102
<b>3.2. YS9302 관측결과 및 토의 .....</b>	<b>107</b>
3.2.1 관측선 D .....	107
3.2.1.1. 일반 해황 (수온, 염분, 밀도) .....	107
3.2.1.2. 용존산소 .....	113
3.2.1.3. 입자성 부유물과 엽록소량 .....	113
3.2.1.4. pH .....	116
3.2.1.5. 식물플랑크톤 주요 무기영양소 .....	116
3.2.1.5.1. 암모니아 이온 .....	116
3.2.1.5.2. 질산 이온 .....	116
3.2.1.5.3. 인산 이온 .....	119
3.2.1.5.4. 규산 .....	119
3.2.2. 관측선 C .....	119
3.2.2.1. 용존산소 .....	120
3.2.2.2. 입자성 부유물 .....	120
3.2.2.3. 식물플랑크톤 주요 무기 영양소 .....	120
3.2.2.3.1. 암모니아 이온 .....	126
3.2.2.3.2. 질산 이온 .....	126
3.2.2.3.3. 인산 이온 .....	126
3.2.2.3.4. 규산 .....	126
3.2.3. 관측선 B4-D6 .....	127
3.2.4. 해황 인자의 수평 분포 .....	131
3.2.5. 식물플랑크톤 분포와 일차생산력 .....	140



3.2.5.1. 식물플랑크톤의 분포	140
3.2.5.2. 식물엽록소	155
3.2.5.3. 일차생산력	155
3.2.6. 동물플랑크톤 현존량	159
3.3. YS204 해저퇴적물의 유기물 분포 특성	167
3.3.1. 해저퇴적물의 유기물 수직 분포	167
3.4. CSEX 9211 조사 결과 및 토의	173
3.4.1. 해수 물리 특성	173
3.4.2. 해수 산소 동위원소 조성 ( $\delta^{18}O$ )	178
3.4.3. 용존산소	178
3.4.4. 식물 주요 무기영양소 분포	178
3.4.5. 수괴의 분포	181
제 4 장 대기로부터의 식물 주요 무기영양소 유입	187
제 5 장 종합 토의	197
5.1. 황해 수괴 성인과 분포	199
5.2. 황해 기초 생산력	229
5.3. 황해 식물 주요 무기영양소의 수지	252
5.4. 황해 중금속 수지	270
제 6 장 결    론	301
참 고 문 헌	309

## List of Contents

List of Figures .....	26
List of Tables .....	31
Chapter 1. Introduction .....	35
1.1 Biogeochemical characteristics of the Yellow Sea .....	37
1.2 Objectives .....	39
1.3 Cruises summary .....	40
1.4 Organization of report .....	41
Chapter 2. Materials and Methods .....	43
2.1 Study areas and oceanographic expedition periods .....	45
2.2 Sampling and preservation methods .....	45
2.2.1 Seawater sampling .....	45
2.2.2 Sediment sampling .....	50
2.3. Analytical methods .....	50
2.3.1 Temperature and salinity .....	50
2.3.2 Dissolved oxygen .....	50
2.3.3 Suspended particulate matter .....	51
2.3.4 Plant major inorganic nutrients .....	51
2.3.5 $\delta^{18}\text{O}$ of seawater .....	52
2.3.6 Dissolved heavy metals in seawater .....	52
2.3.7 Heavy metals in sediments .....	52
2.3.8 Phytoplankton .....	52
2.3.9 Primary production .....	53
2.3.10 Zooplankton .....	53
Chapter 3. Cruise Reports and Results .....	55
3.1 Cruise report of YS9209 .....	57
3.1.1 Hydrographical features .....	57
3.1.2 $\delta^{18}\text{O}$ of seawater .....	64
3.1.3 Dissolved oxygen .....	75
3.1.4 pH .....	75
3.1.5 Plant major inorganic nutrients .....	78
3.1.5.1 Ammonium ion .....	78
3.1.5.2 Nitrate ion .....	78

3.1.5.3 Nitrite ion .....	80
3.1.5.4 Phosphate ion .....	80
3.1.5.5 Silicic acid .....	89
3.1.6 YS9209 Hydrographical features .....	96
3.1.7 YS9209 Nutrient dynamics .....	99
3.1.8 YS9209 Water masses based on a new tracer of $\delta^{18}\text{O}$ of seawater .....	101
3.2 Cruise report of YS9302 .....	107
3.2.1 Line D .....	107
3.2.1.1 Hydrographical features .....	107
3.2.1.2. Dissolved oxygen .....	113
3.2.1.3 Suspended particulate matter and chlororophyll a .....	113
3.2.1.4 pH .....	116
3.2.1.5 Plant major inorganic nutrients .....	116
3.2.1.5.1 Ammonium ion .....	116
3.2.1.5.2 Nitrate ion .....	116
3.2.1.5.3 Phosphate ion .....	119
3.2.1.5.4 Silicic acid .....	119
3.2.2. Line C .....	119
3.2.2.1 Dissolved oxygen .....	120
3.2.2.2 Suspended particulate matter .....	120
3.2.2.3 Plant major inorganic nutrients .....	120
3.2.2.3.1 Ammonium ion .....	126
3.2.2.3.2 Nitrate ion. ....	126
3.2.2.3.3 Phosphate ion .....	126
3.2.2.3.4 Silicic acid .....	126
3.2.3. Line B24-D6 .....	127
3.2.3. Spatial distribution of oceanographical parameters .....	131
3.2.5. Phytoplanktons and primary productivity .....	140
3.2.5.1 Distribution of phytoplankton .....	140
3.2.5.2. Plant pigments .....	155
3.2.5.3. Primary productivity .....	155
3.2.6. Zooplanktons .....	159
3.3. Sedimentary organic matters (YS9204) .....	167
3.3.1. Depth distribution of organic matter .....	167
3.4 Cruise report of CSEX9211 .....	173
3.4.1 Hydrographical features .....	173
3.4.2 $\delta^{18}\text{O}$ of seawater .....	178
3.4.3 Dissolved oxygen .....	178
3.4.4. Plant major inorganic nutrients .....	178
3.4.5 Distribution of water masses .....	181

Chapter 4. Atmospheric input of plant major inorganic nutrients	187
Chapter 5. Synthesis	197
5.1. Origin and distribution of water masses in the Yellow Sea	199
5.2. Primary productivity and its controlling factors in the Yellow Sea	229
5.3. Sources and budget of plant major inorganic nutrients in the Yellow Sea	252
5.4. Sources and budget of heavy metals in the Yellow Sea	270
Chapter 6. Conclusion	301
References	309

# List of figures

Fig. 2.1. Oceanographic stations.....	46
Fig. 2.2. Oceanographic stations of CSEX9211 (Nov., 1992).....	47
Fig. 3.1. Horizontal distribution of temperature(°C) at surface water in the Yellow Sea (YS9209).....	65
Fig. 3.2. Horizontal distribution of salinity(‰) at surface water in the Yellow Sea (YS9209).....	66
Fig. 3.3. Horizontal distribution of temperature(°C) at 50m depth in the Yellow Sea (YS9209).....	67
Fig. 3.4. Horizontal distribution of salinity(‰) at 50m depth in the Yellow Sea (YS9209).....	68
Fig. 3.5. Vertical distribution of temperature(°C) in each line (YS9209).....	69
Fig. 3.6. Vertical distribution of salinity(‰) in each line (YS9209) .....	71
Fig. 3.7. Horizontal distribution of $\delta^{18}\text{O}$ (‰) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209).....	73
Fig. 3.8. Horizontal distribution of dissolved oxygen(ml/l) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)..	76
Fig. 3.9. Horizontal distribution of ammonium ion( $\text{NH}_4^+$ , $\mu\text{M}$ ) at the surface water in the Yellow Sea (YS9209).....	79
Fig. 3.10. Horizontal distribution of nitrate ion( $\text{NO}_3^-$ , $\mu\text{M}$ ) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)..	81
Fig. 3.11. Vertical distribution of nitrate ion( $\text{NO}_3^-$ , $\mu\text{M}$ ) in each line (YS9209).....	83
Fig. 3.12. Horizontal distribution of nitrite ion( $\text{NO}_2^-$ , $\mu\text{M}$ ) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)..	85
Fig. 3.13. Vertical distribution of nitrite ion( $\text{NO}_2^-$ , $\mu\text{M}$ ) in each line	



(YS9209).....	87
Fig. 3.14. Horizontal distribution of phosphate ion( $\text{PO}_4^{3-}$ , $\mu\text{M}$ ) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209) .....	90
Fig. 3.15. Vertical distribution of phosphate ion( $\text{PO}_4^{3-}$ , $\mu\text{M}$ ) in each line (YS9209).....	92
Fig. 3.16. Horizontal distribution of silicic acid ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ , $\mu\text{M}$ ) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209) .....	94
Fig. 3.17. Vertical distribution of silicic acid ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ , $\mu\text{M}$ ) in each line (YS9209).....	97
Fig. 3.18. T-S diagram of YS9209.....	100
Fig. 3.19. Schematics of regional circulation in the Yellow Sea....	104
Fig. 3.20. Salinity versus $\delta^{18}\text{O}$ in YS9209.....	105
Fig. 3.21. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity and (c) sigma-t in the line-D of YS9302.....	112
Fig. 3.22. Vertical distributions of dissolved oxygen concentration (a) in ml/l, (b) in $\mu\text{M}$ and (c) saturation % in the line-D of YS9302 .....	114
Fig. 3.23. Vertical distributions of (a) BAC, (b) SS and (c) fluorescence in the line-D of YS9302.....	115
Fig. 3.24. Vertical distributions of (a) ammonium ion, (b) nitrite ion, (c) nitrate ion, (d) phosphate ion, (e) silicic acid and (f) pH in the line-D of YS9302.....	117
Fig. 3.25. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity and (c) sigma-t in the line-C of YS9302.....	121
Fig. 3.26. Vertical distributions of dissolved oxygen concentration (a) in ml/l, (b) in $\mu\text{M}$ and (c) saturation % in the line-C of YS9302 .....	122
Fig. 3.27. Vertical distributions of (a) BAC, (b) SS and (c) fluorescence in the line-C of YS9302.....	123

Fig. 3.28. Vertical distributions of (a) ammonium ion, (b) nitrite ion, (c) nitrate ion, (d) phosphate ion, (e) silicic acid and (f) pH in the line-C of YS9302.....	124
Fig. 3.29. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity and (c) sigma-t in the line B4-D6 of YS9302.....	128
Fig. 3.30. Vertical distributions of dissolved oxygen concentration (a) in ml/l, (b) in $\mu$ M and (c) saturation % in the line B4-D6 of YS9302.....	129
Fig. 3.31. Vertical distributions of (a) BAC, (b) SS and (c) fluorescence in the line B4-D6 of YS9302.....	130
Fig. 3.32. Vertical distributions of (a) ammonium ion, (b) nitrite ion, (c) nitrate ion, (d) phosphate ion, (e) silicic acid and (f) pH in the line B4-D6 of YS9302.....	132
Fig. 3.33. Horizontal distribution of (a) temperature, (b) salinity, (c) sigma-t, (d) pH, (e) DO, (f) fluorescence, (g) SS, (h) BAC, (i) ammonium ion, (j) nitrate ion, (k) phosphate ion and (l) silicic acid at the surface water in the Yellow Sea (YS9302) .....	134
Fig. 3.34. Zooplankton distribution of YS9302: (a) Individual numbers and (b) dry weight.....	163
Fig. 3.35. Vertical profiles of organic carbon content and C/N ratio of each stations in YS9204.....	168
Fig. 3.36. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity and (c) sigma-t (d) $\delta^{18}O$ of CSEX9211.....	174
Fig. 3.37. Vertical distributions of dissolved oxygen concentration (a) in ml/l, (b) in $\mu$ M and (c) saturation % of CSEX9211.....	175
Fig. 3.38. Vertical distributions of (a) nitrite ion, (b) nitrate ion, (c) preformed nitrate, (d) phosphate ion, (e) preformed phosphate and (f) silicic acid of CSEX9211.....	179
Fig. 3.39. T-S diagram of CSEX9211.....	182
Fig. 3.40. Sigma-t versus (a) $\delta^{18}O$ , (b) DO, (c) nitrate ion, (d) phosphate	

ion and (d) silicic acid diagrams of CSEX9211.....	182
Fig. 4.1. Annual concentration variation of (a) ammonium ion, (b) nitrate ion, (c) phosphate ion and (d) silicic acid of the precipitation in 1992 and 1993.....	191
Fig. 4.2. Annual wet deposition variation of (a) ammonium ion, (b) nitrate ion, (c) phosphate ion and (d) silicic acid of the precipitation in 1992.....	193
Fig. 5.1 Temperature-Salinity diagrams. a)KF9104 b)CYS9107 c)CYS9111 d)YS9204 e)YS9209 f)YS9302 g)CSEX9211.....	203
Fig. 5.2 Salinity- $\delta^{18}\text{O}$ daigrams. a)KF9104 b)CYS9107 c)CYS9111 d)YS9204 e)YS9209 f)YS9302 g)CSEX9211.....	210
Fig. 5.3 Salinity- $\delta^{18}\text{O}$ daigrams of all data in this study.....	218
Fig. 5.4 Surface sampling stations in the East China Sea (ONR9202).	219
Fig. 5.5 Schematic circulation patterns in the East China Sea. a) Nitani's suggestion (1972) and b) the suggestion of Beardsley et al. (1985).....	220
Fig. 5.6 Schematic diagram of the processes which can modify the salinity and $\delta^{18}\text{O}$ values.....	223
Fig. 5.7 Ice and dissolved oxygen (ml/l) distribution in the Gulf of Bohai. (after Gu, 1991).....	226
Fig. 5.8 Schematic diagram of the seawater mixing in the Yellow Sea. (YSWCW: Yellow Sea Warm Current Water).....	228
Fig. 5.9. Primary Production ( $\text{gC}/\text{m}^2/\text{d}$ ), April-May (Onset of stratification).....	234
Fig. 5.10. Primary production ( $\text{gC}/\text{m}^2/\text{d}$ ), July-August (Well-stratified thermocline).....	235
Fig. 5.11. Primary production ( $\text{gC}/\text{m}^2/\text{d}$ ), October-November (Deeping thermocline).....	236
Fig. 5.12. Primary production ( $\text{gC}/\text{m}^2/\text{d}$ ), December-February (Well-mixed water column).....	237
Fig. 5.13. Variations of P/I curve in the mouth of the Yellow Sea (8-18	

April 1991).....	238
Fig. 5.14. Relationships between the light extinction coefficient at 1% of the surface light level and the average concentrations of the inorganic nutrients, chlorophyll a, optimum light intensity for phytoplankton growth in the entire euphotic zone of which light is larger than 1% of the surface light level in the southeastern part of the Yellow Sea (KF9104).....	244
Fig. 5.15. Relationships between the light extinction coefficient at 1% of the surface light level and the average concentrations of the inorganic nutrients, chlorophyll a, optimum light intensity for phytoplankton growth in the entire euphotic zone of which light is larger than 1% of the surface light level in the southeastern part of the Yellow Sea (YS9204).....	245
Fig. 5.16. Variations of P/I curve at the station B5 ( 21-26 July 1991).....	247
Fig 5.17. Time series distribution of temperature, salinity, DO, NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , Si(OH) <sub>4</sub> in station B11 of the central Yellow Sea during 1991-1993. ....	253
Fig. 5.18. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water from the Changjiang Estuary to the Chindo Island, April 1992 .....	281
Fig. 5.19. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water from the southeastern Yellow Sea to the central Yellow Sea, April 1992. ....	285
Fig. 5.20. Station D9 normalized dissolved heavy metal distribution in the Yellow Sea. ....	292
Fig. 5.21. Distribution coefficients of the heavy metal concentrations between water and particle in the surface water of the Yellow Sea. Dotted line show distribution coefficients in coastal ocean(Brewers and Yeats, 1989). ....	297

# List of Tables

Table 1.1. Oceanographic Cruises during 1990-1993. ....	41
Table 2.1. Log book of YS9302. ....	48
Table 2.2. Log book of CSEX. ....	49
Table 3.1. Biogeochemical characteristics of the Yellow Sea during September - 2 October 1992(YS 9209) .....	58
Table 3.2. Biogeochemical data in the mouth of the Yellow Sea(Feb. 1993) .....	108
Table 3.3. The distribution of phytoplankton standing crops in the study area (Feb. 1993) .....	141
Table 3.4. The distribution of dominant species in the phytoplankton communities of the study area. ....	145
Table 3.5. The distribution of phytoplankton carbon content in the study area (Feb. 1993) .....	152
Table 3.6. The distribution of Chlorophyll-a in the study area (Feb. 1993) .....	156
Table 3.7. The distribution of Primary productivities and assimilation number in the study area .....	160
Table 3.8. Individual Number of Zooplankton(per cubic meter) at each station (YE Feb. 4-11, 1993). ....	162
Table 3.9. % Number of Zooplankton at each station (YE Feb. 4-11, 1993). ....	164
Table 3.10. Dry weight of Zooplankton (per cubic meter) at each station (YE Feb. 4-11, 1993). ....	166
Table 3.11. Dry weight(%) of Dominant Zooplankton at each station (YE Feb. 4-11, 1993). ....	166
Table 3.12. Sedimentary organic carbon and nitrogen in the Yellow Sea .....	170

Table 3.13. Biogeochemical data in CSEX station (CSEX 9211) .....	176
Table 3.14. Water property extrema in CSEX regions and associated water mass. ....	186
Table 4.1. Inorganic Nutrients in Wet Precipitation at the Western Coast of Korea(KORDI Campus 37 17'04.4"N 126 50'00.8"E) ...	190
Table 4.2. Monthly average flux of atmospheric inorganic nutrients .....	194
Table 5.1. Water masses in the Yellow Sea. ....	200
Table 5.2. Characteristics of water masses in the Yellow Sea .....	217
Table 5.3. Estimated Seasonal distribution of primary productivities in the Yellow Sea .....	239
Table 5.4. Annual rate of primary productivity in the different region of the world sea. ....	241
Table 5.5. Area and annual rate of primary production in all ocean (according to Koblentz-Mishke, 1970) .....	242
Table 5.6. Primary production and upward diffusion to nitrogen requirement by phytoplankton (NRP) at each station (July, 1991) .....	249
Table 5.7. Depth integrated dissolved oxygen and inorganic nutrients bellow euphotic zone during the thermally stratified period in the central part of the Yellow Sea. (unit : $10^{-3}$ mol $m^{-2}$ ) .	255
Table 5.8 Time variation of standing crop of dissolved oxygen and inorganic nutrients bellow euphotic zone during the thermally stratified period in the central part of the Yellow Sea.....	255
Table 5.9. Annual river discharge of water, sediments and nutrients to the Yellow Sea. ....	259
Table 5.10. Atmospheric input of inorganic nutrients (wet precipitation only) .....	263
Table 5.11. Benthic flux of nutrients estimated from the pore water gradients (unit $\mu\text{mol } m^{-2}d^{-1}$ ) .....	265
Table 5.12. Total benthic flux of N nutrients from the seabed ...	266

Table 5.13. N-nutrient budget in the Yellow Sea (unit : $10^9$ mol N yr <sup>-1</sup> ) .....	268
Table 5.14. Comparison in the analysis of Canadian CASS-2. ....	271
Table 5.15. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water of the central Yellow Sea, July 1991. ....	273
Table 5.16. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water of the central Yellow Sea, November 1991. ....	276
Table 5.17. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water of the Yellow Sea, April 1992. ....	278
Table 5.18. Particulated heavy metal concentrations in the surface water of the Yellow Sea, April 1992. ....	279
Table 5.19. Comparison of dissolved heavy metal in the surface water of the Yellow Sea and other regions. ....	289
Table 5.20. Heavy metal concentrations in the sources which affect on the dissolved heavy metal in the Yellow Sea. ....	290
Table 5.21. Distribution coefficients of the heavy metal concentrations between water and particle in the surface water of the Yellow Sea. ....	295





# 제 1 장

## 서 론



### 1.1. 황해 생지화학적 해황 특성

해양 생지화학적 사이클과 기후의 물리적인 측면과의 연관성과 연안 해양의 전지구 생지화학 과정에서의 중요성은 제 1 차년도에 해양 탄소 순환에서 대륙붕 해역의 중요성과 서남 해역의 국익 차원의 중요성은 제 2 차년도 보고서에서 지적하였다. 제 3 차년도에는 황해의 생지화학적 해황 특성을 정리한다.

황해는 약 500km<sup>2</sup>의 넓은 대륙붕 해역으로서 최대 수심이 105m, 평균수심이 40m 정도로 수심이 얇고, 남으로는 동지나해 대륙붕으로 연결이 되어 있는 커다란 만으로서 주변에 중국과 한반도로 에워싸여져 있다. 해류는 고온고염의 쿠로시오 해류중 일부가 갈라져서 황해로 유입되는 황해난류수, 동쪽에서는 한반도 서해안을 끼고서 남쪽으로 흐르는 한국서부연안수, 중국대륙을 따라 남하하는 중국대륙연안수 및 저층의 황해저층냉수등 서로 성질이 다른 여러 수괴들로 복잡한 양상을 띠고 있다. 황해의 조석은 반일주조가 우세하며, 조석간만의 차는 대부분의 해안에서 4m 이상으로서 상당히 크고, 조류는 40~100 cm/sec로서 퇴적물의 재부유와 해저면을 따라서 이동하는데 주된 에너지원으로서 작용한다. 황해는 계절적으로도 영향을 크게 받아 겨울철에는 평균적으로 8~9 m/sec의 대륙의 차고 건조한 북서계절풍이 표층수를 크게 냉각시켜 대류에 의하여 전층이 혼합되는 현상이 황해전역에 걸쳐 일어난다. 여름철에는 약 400 ly/day 정도의 태양복사열이 해표면을 가열시켜 수온약층이 발달하면서 저층과의 수직적 교환을 차단시켜 황해 중부해역에서는 표층의 영양염 고갈의 원인이 된다. 여름철에 수온약층이 발달하면서 수온 약층 이하의 저층은 겨울철의 해수성질을 거의 그대로 간직하고 있어 저온고염인 저층냉수의 구분이 뚜렷해진다. 계절에 따른 기온의 연교차는 25℃를 넘어 황해의 해황에 큰 영향을 준다 (Seung, 1990). 기후요소와 더불어 황해의 생지화학적 특성을 좌우하는 요소로서 한반도 및

중국대륙으로 부터 담수와 함께 유입되는 입자성 부유물이다. 황해에 가장 큰 영향을 주는 황하강과 양자강은 황해에 연간  $1.0 \times 10^9$ 톤,  $478 \times 10^6$ 톤의 하천퇴적물을 유입시키고 있고 (Milliman & Meade, 1983), 뿐만아니라 황해 표면적의 약 절반이 0~50m 이하의 천해로서 강한 조석에 의하여 해저퇴적물의 재부유현상 또한 심하여 황해의 연안 천해부는 입자성 부유물의 농도가 매우 높아서 해수 색깔이 황토색이다. 이는 수심 50m 이상의 중앙부 해역의 청색의 바닷물 색깔과는 크게 다른 것이다. 이러한 입자성 부유물은 황해의 식물플랑크톤의 성장을 결정하는 주요 인자인 것이다. 따라서 해수기원, 조석, 입자성 부유물이 식물플랑크톤을 매개로 하는 생지화학 특성을 결정해주게 된다. 황해는 전세계 대륙붕해역중에서도 매우 높은 입자성 부유물을 가지고 있다. 또한 황해에 접한 국가들이 최근 급속히 공업화되고 황해 주변 해안은 인구와 산업의 밀집지역으로 인위적인 해양환경 변화가 예상됨에 따라 황해에서의 일반 수질 및 환경변화가 관심의 초점이 되고 있다. 그러나 현재까지 황해에 대한 국부적인 해양조사는 국내 여러 연구소와 대학 등에 의해 많이 행해져 왔지만 체계적이고 지역적으로도 황해 전체를 망라하는 해양 생지화학적 조사는 행해지지 않아 기존의 자료로서 황해 전역의 해황을 이해하기에는 역부족이었다. 특히 황해는 수심이 얕고 큰 대륙에 인접해 있어 주변 대륙과 대기에 의해 수온이 쉽게 변화되고 발해만에 해수가 결빙되어 염분 또한 변화되므로 고전적인 수온과 염분만을 이용한 수괴분석은 근본적인 결점을 포함하고 있다. 이와 같이 복잡한 양상을 보이는 황해에 대한 전반적이고 체계적인 친생물원소 분포 조사와 해수의 산소안정동위원소비 ( $\delta^{18}O$ )를 이용한 수괴분석은 이곳의 풍부한 생물자원 이용과 주변국의 산업 및 도시하수 배출로 야기되는 해양오염에 따라 심각하게 부각되고 있는 환경보전과 해양환경 관리 및 이용을 위한 기초자료 및 수괴분석 자료로 활용되어 동북아 해양환경문제 대두시 한국의 입장강화를 위한 과학적 근거

자료가 될수가 있다.

## 1.2. 연구개요

본 연구는 황해의 기후 및 환경관련 생지화학적 해황 특성을 규명하기 위한 일차적인 시도로서 최종 목표는 다음과 같다.

- 최종 목표 : 1. 황해 입구를 통과하는 친생물 원소의 교환량 추정  
2. 업록소 전선의 형성 과정과 기초 생산력의 계절성 파악  
3. 육지와 해수, 해저 - 해수간의 영양염류 이동량 추정  
4. 해양학적 연구를 통한 황해의 해양 환경 변화 연구  
5. 국제 연구 기구 (JGOFS, IGBP)과의 협력.

그리고 년도별 개발 목표 및 연구내용은 다음과 같다.

- 1 차년도: 용존산 해수 추적자의 선상자동관측 기술 정립  
침강퇴적물 연속 채취 기술 확립  
입자성 부유물의 연속 관측 기술 개발  
JGOFS 가입 및 국제협력
- 2 차년도: 해수 산소 안정성 동위원소 측정 기술  
중금속 청결시료 채취 및 분석기술 개발  
친생물원소들의 초기 속성과정 규명

### 3 차년도: 이산화탄소 고정력의 계절별 변동 연구

영양염 순환 및 수지 연구

중금속 수지연구

황해 해수의 기원 연구

황해 고 해양 환경 변화 연구

이중 1 차년도 목표중 해양조사 전용 선박 이어도호의 건조지연으로 용존성 해수 추적자의 선상 자동 관측기술과 입자성 부유물 연속관측 기술개발은 2 차년도에 가서 가능하게 되었고, 3 차년도 목표중 황해 고 해양 환경 변화연구는 현재 퇴적물의 연대 결정 작업이 진행되고 있다. 그외의 연구목표는 대체로 달성되었다. 제 1차 및 2 차년도 연구 결과는 기 출판된 연구보고서에 수록되어있다.

#### 년차보고서

제 1 차년도. 1991. 한반도 주변 해역의 화학물질 수지 및 순환 연구

(서남해역) 143p. BSPG 00132-391-4

제 2 차년도. 1992. 한반도 주변 해역의 화학물질 수지 및 순환연구

(서남해역) 231p BSPG 00149-489-4

제 3 차년도. 1993. 본 보고서

### 1.3. 현장조사 개요

본 연구는 황해중남부 해역의 화학물질 수지 및 순환연구를 위하여 1990년 7월에 시작하여 1993년 8월에 종료되는 과제이다. 그러나 조선소 사정으로

해양조사 선박 건조가 지연되어 제 2 차년도에 가서야 초보적인 해양조사가 실시되었다. 최종 연도인 제 3 차년도에서도 상당부분의 노력이 해양조사 및 시료 채취에 할애될 수 밖에 없었다. 황해의 생지화학적 해양조사는 본 과제 수행이전의 1991년 까지는 해양조사 전용선박의 미비로 체계적으로 이루어지지 못하였으므로 현장조사 및 시료채취는 본 과제의 매우 주요한 사항이나 예산의 부족으로 본격적이고 총체적인 황해 전반에 걸친 조사는 거의 불가능하여 황해입구를 망리하는 관측선은 본 과제에서 수행하고 그외 광대한 해역은 타기관 및 타사업의 적극적인 협조로 계절별 해역조사가 가능하게 되었다 (Table 1.1).

Table 1.1. Oceanographic Cruises during 1990-1993.

Year	Date	Leg	Area	Vessel	Remark
1st	1991. 4. 8-4. 18	KF9104	Mokpo-Sohuksan	Ban Wol	R/V
2nd	1992. 4. 20-4. 27	YS9204	Mokpo-Yangtt Bank	Eardo	R/V
3rd	1992. 11. 21-11. 30	CSEX9211	Shelf-Slope(Okinawa)	Onnuri	R/V
	1993. 2. 4-2. 10	YS9302	Mokpo-Yangtt Bank	Eardo	R/V
other	1992. 9. 17-10. 2	YS9209	Yellow Sea	Busan 851	M/V(Inha)
project	1991. 7. 21-7. 26	CYS9107	Central Yellow Sea	Jinil	M/V
	1991. 11. 1-11. 6	CYS9111	Central Yellow Sea	Jinil	M/V

#### 1.4. 보고서의 구성

본 보고서는 최종보고서이나 현장조사가 1 차년도에 조사선박의 건조지연으로

2 차년도로 넘겨져서 최종년도인 3 차년도에서도 상당한 노력이 현장조상에 소요되었다. 따라서 본 보고서는 92년 9월의 인하대와의 공동 현장조사와 93년 2월의 황해입구 해역 조사 그리고 황해 해수의 근원을 추적하기 위한 동중국해 오키나와 부근 대륙붕-대륙사면-태평양을 횡단하는 관측선 (CSEX9211) 현장조사 및 시료 분석결과를 수록하고 토의 부분에서 본 연구의 최종 목표인 이산화탄소 고정력의 계절별 변동연구, 영양염 순환 및 수지연구, 중금속 수지연구, 황해 해수 기원 연구 결과를 요약하는 순서로 구성하였다.



## 제 2 장

### 재료 및 방법



## 2.1. 조사해역 및 시기

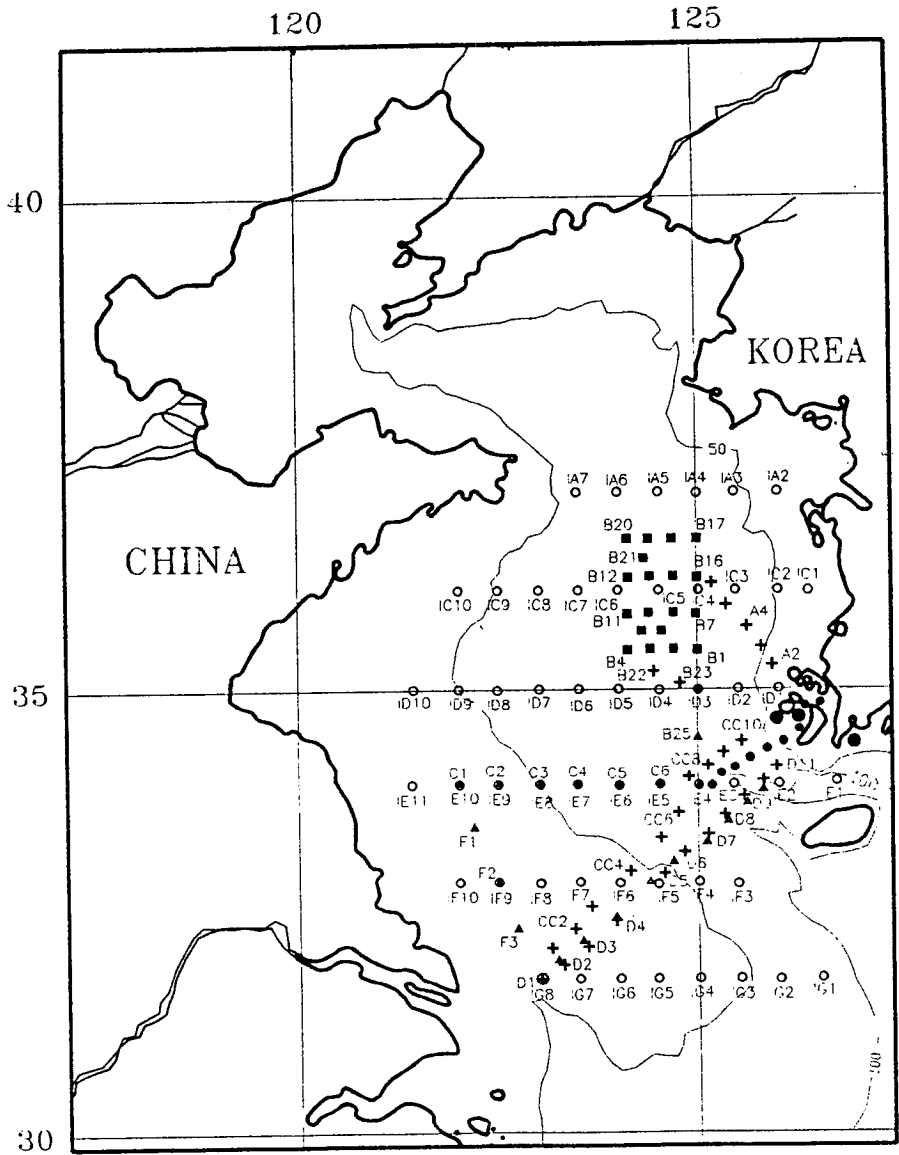
제 1 차 현장 (1991년 4월 8~18일, 관측선 KF9104)에 이어 제 2 차 현장조사 (관측선 YS9204)가 1992년 4월 20~27일 기간동안 수행되었다. 3차 현장조사는 1992년 9월 17일~10월 2일 기간 동안 인하대학교의 해양 조사에 편승하여 황해 전체를 망라하는 광역조사 (YS9209)가 행하여 졌고, 황 동중국해의 1992년 11월 21일에서 11월 30일 까지는 오키나와 부근에서 대륙붕-대륙사면-태평양 횡단면 (CSEX9211) 조사가 실시되었다. 그리고, 동계의 황해 해황을 규명하기 위하여 1993년 2월 4~18일 기간동안 해수의 물리·화학·생물학적 특성과 해저퇴적물 시료가 채취 조사되었다. 조사위치는 Fig. 2.1와 Fig. 2.2 에 나타내었고, YS9302, CSEX9211의 위치와 정점별 수심은 Table 2.1과 Table 2.2에 각각 나타내었다.

## 2.2. 시료 채취별 보존 방법

### 2.2.1. 해수 시료

해수는 Rosette에 부착된 10 l 들이 Niskin 채수기를 사용하였고, 해수의 중금속 함량 분석용 시료는 미리 산으로 세척한 1000 ml 들이 폴리에틸렌병을 타이콘 관을 사용하여 PVC 막대에 매달아 선수에서 배가 정지하기전 서서히 운행할 때 채취하여 폴리에틸렌 필름으로 포장하여 조사선의 실험실로 옮겨 Clean bench (class100)속에서 구경 0.40  $\mu\text{m}$  Nuclepore막 여과지를 사용하여 여과하였다. 여과액을 증류한 고순도의 염산으로 pH 2 정도되게하여 보존한 후 분석하였다.

영양소 측정을 위한 시료는 현장에서 구경 0.45  $\mu\text{m}$  Millipore막 여과지로 여과한 후 암모니아는 현장에서 phenol 용액으로 고정하였으며 그외 영양소 시료는 18 ml 들이 폴리에틸렌 병에 담아 드라이아이스로 냉동 보관하여



- KF9104 (Apr. 1991)
- CYS9107 (Jul. 1991), CYS9111 (Nov. 1991)
- + YS9204 (Apr. 1992)
- YS9209 (Sep. 1992)
- ▲ YS9302 (Feb. 1993)

Fig. 2.1. Oceanographic stations.

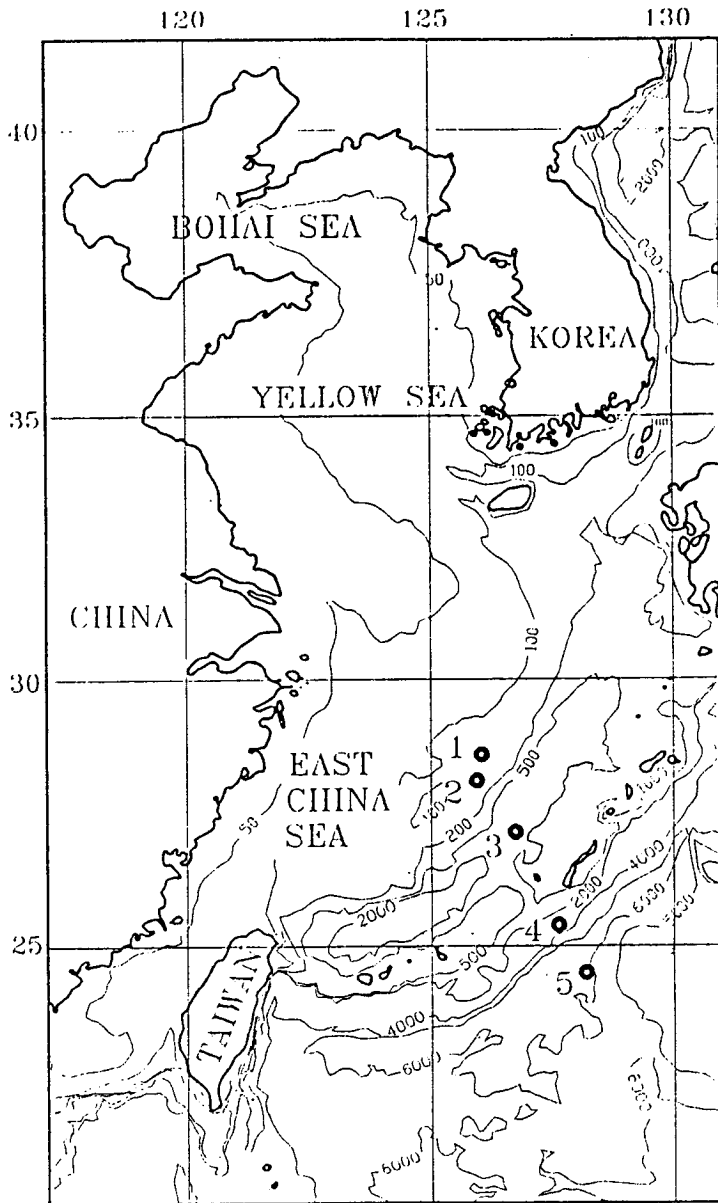


Fig. 2.2. Oceanographic stations of CSEX9211 (Nov., 1992)

Table 2.1. Log Book of YS9302

STN#	LAT. (N)	LONG. (E)	Depth(m)	Date	Arrival	Departure	
B24	34°59.96	124°29.94	89	1993/2/11	04:20	04:47	CTD, H
B25	33°30.07	124°29.92	79	1993/2/11	01:33	01:49	CTD, H
C1	34°00.27	122°00.01	14	1993/2/10	08:26	08:44	CTD, H, B
C2	34°00.00	122°30.05	37	1993/2/10	11:05	11:22	CTD, H, C
C3	34°00.00	122°59.89	36	1993/2/10	13:46	14:18	CTD, H, B
C4	34°00.05	123°29.96	67	1993/2/10	16:35	17:00	CTD, H
C5	33°59.99	123°59.95	76	1993/2/10	19:07	19:49	CTD, H
C6	33°59.99	124°29.91	78	1993/2/10	21:55	22:37	CTD, H, B, C
C7	34°00.17	125°00.00	90	1993/2/11	10:20	10:56	CTD, H, C
D1	31°59.88	122°59.89	33	1993/2/09	19:45	20:10	CTD, H, B, R
D2	32°14.12	123°17.07	35	1993/2/09	17:10	17:50	CTD, H
D3	32°27.10	123°34.15	38	1993/2/09	14:36	14:59	CTD, H, B, R
D4	32°41.03	123°51.78	38	1993/2/09	12:15	12:29	CTD, H
D5	32°57.90	124°14.87	54	1993/2/09	09:40	10:07	CTD, H, B, R
D6	33°16.38	124°38.38	73	1993/2/09	06:40	07:25	CTD, H, P
D7	33°35.00	125°01.91	79	1993/2/09	03:26	04:04	CTD, H, B, R
D8	33°44.08	125°11.65	90	1993/2/09	01:16	02:02	CTD, H, P
D9	33°53.04	125°25.82	101	1993/2/08	23:20	23:51	CTD, H, R
D10	34°02.91	125°38.00	72	1993/2/08	20:54	22:10	CTD, H, B, P, R
D11	34°09.32	125°47.93	61	1993/2/05	15:41	23:10	CTD, H, R
E1	34°02.28	126°14.76	48	1993/2/11	16:47	17:05	CTD, H
E3	34°11.65	126°15.31	29	1993/2/11	18:18	18:28	H
E5	34°17.76	126°15.61	19	1993/2/11	19:22	19:27	H
F1	32°28.00	122°44.96	31	1993/2/09	23:21	23:27	CTD, H
F2	32°57.21	122°29.87	31	1993/2/10	02:10	02:16	CTD, H
F3	33°27.07	122°17.93	27	1993/2/10	04:50	05:00	CTD, H

H : Hydrocasting      C : Haps Core      P : Pistone Core      R : Radio Isotope  
 B : Bongo Net

Table 2.2. Log Book of CSEX

STN#	LAT. (N)	LONG. (E)	Depth(m)	Date	Arrival	Departure	
CSEX-1	28°20.07	126°00.10	115	1992/11/23	07:30	08:55	CTD, H, B
CSEX-2	28°00.53	125°59.53	119	1992/11/23	11:10	11:30	CTD, H
CSEX-3	27°00.80	126°39.90	1850	1992/11/23	17:39	23:29	CTD, H, B
CSEX-4	25°14.86	127°51.98	3257	1992/11/24	15:30	18:05	CTD, H
CSEX-5	24°23.33	128°18.51	6057	1992/11/25	03:45	07:00	CTD, H

H : Hydrocasting      B : Box Core

실험실로 옮긴 후 측정하였다.

### 2.2.2. 퇴적물 시료

주상퇴적물 시료는 Pledger corer 또는 Haps corer 로 채취하여 비닐봉지에 담아 냉동 보관하였으며 퇴적물 공극수는 Pledger corer 또는 Haps corer로 주상퇴적물을 채취하여 현장에서 질소가스를 채운 Glove Bag내에서 잘라 압축 질소가스를 사용하여 개선된 Reeburgh형 공극수 추출기 (Cho and Hong, 1991)를 이용하여 공극수를 취하였으며 나머지 고체상 시료는 역시 냉동보관하였다. 또한 piston corer로 6개 정점 (KF9104 정점 12, 10, 8, YS9302 정점 D6, D8, D10)에서 주상퇴적물을 채취하였다.

## 2.3. 분석방법

### 2.3.1. 수온, 염분

SBE-CTD model 25를 이용하여 연직관측을 수행하였고, 심층수에서 채취한 해수시료의 염분을 inductive salinometer로 측정하여 SBE-CTD model 25를 검정하였다.

### 2.3.2. 용존산소량

평량병에 시료를 담은 후 곧바로 Winkler 법에 의해 용존산소를 고정시킨 다음 선상에서 녹말지시약을 사용하여 적정한 후 계산하였다.

그러나, CSEX9211에서는 용존산소 적정시의 종말점 결정을 녹말지시약뿐 아니라 두전류법을 이용하는 두가지 방법을 병행하여 동시에 측정하였다.



### 2.3.3. 입자성 부유물

Furnace를 이용하여 GF/F Glass fiber 여과지를 550 °C 에서 3시간정도 태운 후 무게를 측정한 여과지로 해수시료를 여과한 다음 증류수로 5-6회 세척하여 염분을 제거한 후 냉동보관하여 105 °C oven 속에서 2시간 건조하고 다시 건조기 속에서 식힌 후 무게를 측정하여 여과하기 전의 여과지 무게를 감하여 입자성 부유물의 무게를 얻었다.

### 2.3.4. 식물플랑크톤 무기영양소

암모늄 이온( $\text{NH}_4^+$ ) : Strickland and Parson (1972)에 의거 여과된 시료를 현장에서 발색시킨 뒤 spectrophotometer (Spectronic 3000)로 측정하였다.

용존성 아질산이온, 질산이온, 인산이온 및 규산은 Grasshoff등(1983)에 의거 Technicon AA II 자동 분석기를 사용하여 측정하였으며 그 분석방법은 다음과 같다.

- i) 아질산이온( $\text{NO}_2^-$ ) : 시료에 sulfanilamide 용액과 N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride를 가하여 발색시켰다.
- ii) 질산이온( $\text{NO}_3^-$ ) : 시료를 Cu-Cd column에 통과시켜서 아질산염으로 환원시킨 후 아질산염 분석방법과 같은 방법으로 발색시켰다.
- iii) 인산이온( $\text{PO}_4^{3-}$ ) : 시료에 ammonium molybdate, potassium antimonyl-tartrate와 황산의 혼합시약을 가하고 ascorbic acid 로 환원시켜 발색하였다.
- iv) 규산( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) : 시료에 ammonium molybdate 를 가하여 silico-molybdate complex를 만든 후 oxalic acid 와 ascorbic acid를 가하여 발색시켰다.

### 2.3.5. 해수의 $\delta^{18}O$

해수시료를 Isoprep-18을 이용하여 6시간 동안  $CO_2$ 와 동위원소 평형을 이룬뒤, 질량분석기(SIRA II)를 이용하여 측정하였다. 각 시료에 대하여 6회 반복 측정하여 이의 평균값을 취하였다.

### 2.3.6. 해수중 용존성 중금속

여과된 시료 200 ml 를 DDTC-APDC-Freon 용매 추출법으로 100배 농축한 후(Bruland *et al.*, 1979) 아르곤 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 사용하여 분석 하였다.

### 2.3.7. 퇴적물 중금속

전처리된 분말시료 0.5 g 을 100 ml FEP 테프론 비커에 담아 HF 6 ml,  $HNO_3$  3ml,  $HClO_4$  2ml를 각각 넣고 테프론 뚜껑을 덮은 후 하루밤 동안 가열한 다음 뚜껑을 열고 증발 건조시켰다. 만약 퇴적물이 완전히 용해되지 않았으면 위의 과정을 반복하여 시료가 깨끗하게 용해되도록 하였는데, 보통 2회 정도 반복하였다. 용해된 시료는 증발 건조시킨 후 최종적으로 1% 질산 농도가 되게 희석한 후 아르곤 플라즈마 질량분석기를 사용하여 측정하였다.

### 2.3.8. 식물플랑크톤

식물플랑크톤의 정량 분석을 위한 시료는 Niskin 채수기로 선상에서 채수한후 1l 폴리에틸렌 병에 옮겨 Lugol 액으로 1% 되게 고정한 다음 알루미늄 호일로 햇빛을 차단 보관하였다. 이렇게 고정된 시료를 실험실로 옮겨와 침전법에 의해 100-300ml로 농축시킨 다음 상등액을 제거 한후 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 Niskin 광현미경하에서 계수하였다. 이때 우점종 동정을 위해

Hustedt(1927-1966), Hendy(1964,1967), Cupp(1943), Clever-Euler(1951- 1955)의 문헌을 참고 동정하였다.

### 2.3.9. 일차생산력

수심 1m 내에서 해수를 채수하여 100cc 해수에  $2\mu\text{Ci/ml}$ 의  $^{14}\text{C}$  sodium-bicarbonate를 첨가하여 선상에서 여러 광조건 (0, 5, 13, 25, 50, 100%)하에서 2-3시간 정도 배양시켰다. 배양이 끝난후 GF/F Glass fiber filter를 이용하여 여과시키고 염산 용액으로 산을 증발시킨후 Scintillation cocktail(Instagel)을 넣어 Liquid scintillation counter (Packard)를 이용하여 측정하였다. 이산화탄소량은 현장에서 산적정법으로 측정하였다. 유광대깊이는 Secchi disc로 부터 추정하였다. 일일 기초생산력은 PI (Photosynthesis irradiation) curve와 Incident light를 이용하여 측정하였다 (Parson et al., 1984).

### 2.3.10. 동물플랑크톤

각 정점에서 동물플랑크톤 채집은 Bongo net(망구 60cm, 망목  $200\mu\text{m}$ )을 이용하여 가능한 전수층에 걸쳐 경사채집하였다. 채집한 동물플랑크톤은 중성 포름알데히드 수용액(원액)으로 시료내 포름알데히드 농도가 4% 되도록 고정하였다(UNESCO, 1976). 여과수량은 Bongo net 망구(반지름 : r)의 2/3되는 위치에 유량계(flow meter)을 설치하여 측정한 유량계의 회전수(FR)에 유량계의 진행거리로 환산하기 위한 계수(0.027)를 곱하여 Net로 여과한 수량 ( $r \times r \times 3.14 \times FR \times .027$ )을 계산하였다.

동정 및 계수를 위해 채집된 시료들의 총량을 메스실린더로 계량한 후 잘 혼합하여 우점종이 100개체 이상되도록 적당량(UNESCO, 1979)을 분할하여 사례로 옮겼다. 소수의 대형 플랑크톤(예, *Mysida*, *Coelenterata*, fish larva등)은 육안으로 구별하여 계수하였고, 그외 동물플랑크톤은 해부 현미경(Baush & Lomb)하에서 외형별로 구분하면서 계수하여, 4% 중성 포르말린 수용액이 들어있는 작은 병에 보관 하였다. 필요한 경우 동물플랑크톤을 해부 하였으며 해부는 슬라이드 위에 젓산을 떨어뜨린 후 각 개체를 methylene blue로 염색하여 올려 놓은후, 해부침을 이용하여 행하였다. 해부한 시료는 광학 현미경(Nikon)하에서 동정하였다. 모악류의 동정은 Park (1970), 정(1989), 요각류는 Mori(1964), Chen, Q. C. & S. Z. Zhang(1965), Cheng et al.(1974), 김(1985)등에 의하였다. 동정된 각 그룹은 단위 체적 (1㎤)당 개체수로 환산하였다.

건조중량 측정은 선상에서 해부현미경으로 직접 선별하여 건조후 냉동 보관하였다가 실험실로 운반하여 처리하였다.

## 제 3 장

# 현장조사 결과



현장조사는 3회 시행되었다. 1992년 9월 인하대학교 해양조사선에 편승하여 황해의 광역조사 (YS9209)가 행하여졌고 1992년 11월 21일 부터 11월 30일 까지 황·동중국해 대륙붕단에서의 현장조사가 황해로 유입되는 대양수의 궁극적 end-member 특성을 규명하기 위하여 행하여졌다 (CSEX9211). 또한 동계의 해황을 규명하기 위하여 93년 2월 4~10일간 서남해역 조사가 실시되었다 (YS9302).

### 3.1. YS 9209 관측결과 및 토의

황해전반에 걸쳐서 1992년 9월 9일부터 10월 17일까지 인하대와의 공동연구 형태로써 추계 해황이 조사되었다. 본 조사는 황해전반에 걸친 광역조사로서 해방 이후 최초의 광역조사일 것으로 사료된다.

조사해역의 수괴 일반해황 (수온, 염분, 용존산소, pH)과 무기영양소 (질소, 인, 규소계) 및 산소안정동위원소  $\delta^{18}O$  에대한 조사자료는 Table 3.1에 수록하였다.

#### 3.1.1. 일반 해황 (수온, 염분, 밀도)

1992년 9월 17일에서 10월 2일 기간동안에 걸친 해수의 물리특성 조사결과를 보면 다음과 같다.

수온 및 염분의 수평분포 양상을 보면 표층은 19.76~25.53°C, 24.71~33.20‰ 범위를 보이고있다. 수온은 황해 남부해역이 북부해역보다 약 4~5°C 정도가 높다. 그러나 염분은 정점 IC10을 제외하고는 한반도 주변해역에서 32‰ 이상으로 높고 중국쪽으로 갈수록 점차 감소하는 양상을 보인다. 남서부해역은 수온의

Table 3.1. Biogeochemical characteristics of the Yellow Sea during 17 September  
- 2 October 1992 (YS 9209)

... St..	Dep (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	sigma -t	pH	DO ml/l	COD mgO <sub>2</sub> /l	NH <sub>4</sub> (μM)	NO <sub>3</sub> (μM)	NO <sub>2</sub> (μM)	PO <sub>4</sub> (μM)	Si(OH) <sub>4</sub> (μM)	δ <sup>18</sup> O (‰)
IA-1	0	21.35	32.26	22.34	8.20	7.77	0.96	1.82	1.41	0.94	0.39	4.48	-1.2955
	10	21.33	32.26	22.35	8.23	6.40	-	-	1.36	0.93	0.47	4.12	-
	20	21.33	32.26	22.35	8.23	5.45	-	1.47	0.26	0.39	2.66	-	-
	35	21.34	32.26	22.35	8.24	5.00	1.79	1.96	1.89	0.92	0.44	3.57	-
IA-2	0	21.25	32.12	22.26	8.23	7.09	5.63	9.71	2.02	0.64	1.14	5.57	-0.9280
	10	20.95	32.20	22.41	8.25	7.18	-	-	1.95	0.66	0.90	5.76	-
	20	20.87	32.21	22.43	8.24	7.23	-	-	1.61	0.58	0.59	4.85	-
IA-3	30	20.84	32.21	22.44	8.24	7.26	2.34	4.87	1.80	0.60	0.64	5.57	-0.7820
	0	20.65	32.41	22.64	8.24	7.27	0.74	6.74	0.67	0.53	0.57	4.66	-1.3165
	10	20.37	32.43	22.73	8.31	7.32	-	-	0.05	0.53	0.34	4.12	-
	20	19.83	32.50	22.93	8.27	7.49	-	-	0.23	0.61	0.44	5.03	-
IA-4	45	19.48	32.60	23.09	8.22	5.54	2.82	3.97	1.57	0.52	0.64	4.12	-
	0	20.85	32.42	22.60	8.23	7.14	1.02	5.07	0.08	0.09	0.22	2.48	-0.8390
	20	20.28	32.48	22.80	8.32	7.31	-	-	1.18	0.08	0.17	1.93	-
IA-5	50	14.91	33.08	24.55	8.11	6.09	1.86	1.78	4.23	0.20	0.92	13.40	-0.7450
	0	20.63	32.02	22.35	8.27	7.21	1.47	3.77	0.40	0.13	0.14	1.93	-0.7565
	20	20.47	32.09	22.45	8.33	7.32	-	-	0.77	0.07	0.27	1.02	-
IA-6	50	9.78	32.99	25.46	8.02	5.32	-	-	6.74	0.24	1.14	8.30	-
	70	9.72	32.95	25.44	8.01	5.04	1.50	1.02	9.24	0.08	1.12	7.03	-
	0	20.51	32.01	22.38	8.30	7.39	1.41	2.76	0.13	0.09	0.14	1.93	-
	10	20.51	32.01	22.38	8.34	7.41	-	-	0.08	0.09	0.14	1.02	-
IA-7	20	20.35	32.07	22.47	8.34	7.48	-	-	0.18	0.40	0.14	1.39	-
	50	8.89	32.59	25.29	8.02	11.04	-	-	5.88	0.11	1.09	6.12	-
	70	8.62	32.59	25.33	8.01	6.81	1.34	4.07	5.60	0.18	1.09	8.12	-
	0	20.20	31.94	22.41	8.29	7.20	1.34	4.28	0.35	0.08	0.19	1.02	-0.7370
IC-1	10	20.21	31.94	22.40	8.32	7.25	-	-	0.16	0.11	0.22	1.21	-
	20	20.46	32.17	22.51	8.31	7.22	-	-	0.03	0.19	0.19	1.39	-
	50	8.21	32.13	25.04	8.05	9.87	-	-	3.17	0.06	0.54	3.57	-0.7280
	65	8.21	32.11	25.02	8.03	7.47	1.70	5.34	1.96	0.08	0.52	3.39	-0.6800
	0	20.83	32.34	22.54	8.19	4.67	1.34	4.06	2.31	0.21	0.54	3.00	-0.6195
IC-2	10	20.84	32.34	22.54	8.24	4.63	-	-	1.27	0.28	0.59	4.32	-
	20	20.85	32.34	22.54	8.22	4.63	1.09	2.56	4.76	0.37	0.62	5.46	-
	0	20.14	24.71	16.94	8.19	7.61	0.99	1.66	1.64	0.34	0.57	6.34	-0.6150
IC-3	10	20.15	32.67	22.97	8.25	7.64	-	-	-	0.19	0.59	2.73	-
	20	20.16	32.67	22.97	8.24	7.66	-	-	1.90	0.29	0.59	4.85	-
	35	20.10	32.68	22.99	8.24	6.27	1.06	2.20	1.74	0.35	0.57	6.96	-0.5480
	0	20.51	32.40	22.67	8.30	7.27	0.99	1.32	0.04	0.09	0.22	3.97	-0.6325
IC-4	10	20.52	32.41	22.68	8.32	7.30	-	-	0.19	0.04	0.24	1.41	-
	20	20.52	32.41	22.68	8.35	7.34	-	-	0.17	0.07	0.22	2.03	-
	50	16.45	33.21	24.30	8.18	5.22	2.21	2.44	5.88	0.12	0.94	9.86	-
	0	21.04	32.13	22.33	8.29	7.06	1.15	0.97	0.03	0.21	0.22	4.23	-
IC-4	10	21.05	32.15	22.34	8.35	7.09	-	-	0.08	0.16	0.19	3.97	-
	20	20.91	32.17	22.39	8.35	7.14	-	-	0.08	0.15	0.19	4.05	-
	60	10.34	33.10	25.45	8.03	7.61	0.86	3.37	6.39	0.16	1.02	9.33	-



Table 3.1. (Continued)

... St...	Dep (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	sigma -t	pH	DO ml/l	COD mgO <sub>2</sub> /l	NH <sub>4</sub> (µM)	NO <sub>3</sub> (µM)	NO <sub>2</sub> (µM)	PO <sub>4</sub> (µM)	Si(OH) <sub>4</sub> (µM)	δ <sup>18</sup> O (‰)
IC-5	0	20.84	31.65	22.02	8.30	7.20	1.15	2.72	0.15	0.09	0.14	1.33	-0.8230
	10	20.86	31.67	22.03	8.35	7.22	-	-	0.26	0.09	0.14	1.68	-
	20	20.85	31.67	22.03	8.35	7.25	-	-	1.05	0.06	0.19	1.41	-
	50	8.52	32.84	25.54	8.01	5.69	-	-	6.03	0.08	1.04	6.25	-0.4210
	80	8.04	32.81	25.59	7.98	4.57	1.92	2.40	6.39	0.05	1.19	6.69	-0.4900
IC-6	0	20.28	31.56	22.10	8.29	7.20	1.47	0.36	0.25	0.10	0.12	0.71	-0.8575
	10	20.22	31.59	22.14	8.32	7.25	-	-	0.42	0.04	0.12	0.18	-
	20	20.20	31.59	22.14	8.32	7.32	-	-	1.93	0.04	0.44	0.18	-
IC-6	50	7.56	32.46	25.39	8.07	6.66	-	-	2.94	0.24	0.77	6.78	-
	60	7.64	32.55	25.45	8.03	5.66	0.83	0.90	2.90	0.05	0.74	8.28	-
IC-7	0	20.36	31.54	22.06	8.26	6.65	1.47	4.52	0.59	0.19	0.14	0.36	-
	10	20.24	31.54	22.09	8.31	6.72	-	-	0.28	0.06	0.12	0.27	-
	20	20.20	31.54	22.10	8.32	6.81	-	-	0.34	0.12	0.12	0.53	-
	50	7.64	32.43	25.35	8.09	7.45	-	-	2.42	0.10	0.67	2.38	-
	70	7.59	32.28	25.24	8.06	6.32	0.93	1.89	3.43	0.07	0.92	7.31	-
IC-8	0	20.70	31.41	21.87	8.26	6.56	1.34	2.68	0.29	0.06	0.14	0.53	-0.4960
	10	20.49	31.42	21.94	8.30	6.74	-	-	0.40	0.05	0.14	0.27	-
	20	20.41	31.41	21.95	8.31	6.83	-	-	0.52	0.05	0.09	0.18	-
	50	7.78	32.35	25.27	8.12	10.48	-	-	1.32	0.22	0.49	1.94	-0.2591
	60	7.68	32.34	25.28	8.03	10.72	0.96	1.49	4.05	0.10	0.92	3.70	-0.2156
IC-9	0	20.84	31.38	21.81	8.26	7.27	1.38	2.66	0.14	0.53	0.12	1.24	-0.8755
	10	20.85	31.39	21.82	8.31	7.28	-	-	1.07	0.90	0.17	1.68	-
	20	20.55	31.41	21.91	8.30	7.38	-	-	2.51	0.12	0.27	0.53	-
	50	7.91	32.26	25.18	8.04	11.10	1.98	4.18	4.63	0.07	0.92	5.29	-
	10	20.52	9.75	20.66	8.23	5.26	1.38	1.83	0.29	0.16	0.24	2.65	-1.0310
IC-10	0	20.52	1.24	21.79	8.25	5.12	-	-	0.92	0.08	0.24	1.68	-
	20	20.29	1.27	21.87	8.26	4.89	-	-	0.26	0.52	0.27	2.56	-
	40	20.23	1.27	21.89	8.25	4.77	1.38	3.40	0.83	0.17	0.29	1.85	-0.5107
	0	20.32	31.93	22.37	8.21	7.45	0.48	3.71	3.18	0.13	0.51	4.67	-0.3880
	10	19.72	32.02	22.59	8.26	5.49	-	-	5.60	0.15	0.76	8.10	-
ID-2	20	19.69	32.01	22.59	8.25	4.88	3.65	1.23	3.64	0.16	0.63	10.74	-0.7438
	0	20.20	32.10	22.53	8.22	7.45	0.42	1.10	3.06	0.42	0.60	9.16	-0.6335
	10	19.95	32.10	22.59	8.24	7.54	-	-	3.12	0.41	0.60	7.93	-
	20	18.90	32.24	22.97	8.19	7.82	-	-	3.21	0.38	0.60	4.67	-
	45	16.75	32.80	23.92	-	5.34	0.45	-	4.21	0.24	0.54	9.60	-
ID-3	0	20.22	31.89	22.36	8.28	7.57	0.45	0.37	0.80	0.19	0.26	4.14	-0.9950
	10	20.20	31.89	22.37	8.33	7.59	-	-	1.06	0.31	0.20	3.26	-
	20	20.18	31.89	22.37	8.33	7.09	-	-	1.54	0.21	0.42	3.97	-
	50	11.49	33.59	25.63	8.26	5.57	-	-	1.50	0.41	0.24	5.11	-
	75	11.20	33.44	25.57	8.08	4.80	0.58	-	7.28	0.14	0.88	10.04	-
ID-4	0	21.30	31.58	21.84	8.29	7.42	-	1.96	0.36	0.15	0.20	1.41	-0.6950
	10	21.32	31.59	21.84	8.35	6.57	-	-	0.45	0.17	0.15	1.06	-
	20	21.31	31.62	21.87	8.36	5.76	-	-	1.28	0.15	0.13	0.97	-
	50	9.69	33.26	25.69	8.29	5.19	-	-	5.86	0.16	0.85	1.24	-0.5029
	80	9.51	33.18	25.65	8.03	4.83	0.70	-	10.06	0.44	0.60	11.09	-0.3475

Table 3.1. (Continued)

... St..	Dep (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	sigma -t	pH	DO ml/l	COD mgO2/l	NH4 (µM)	NO3 (µM)	NO2 (µM)	PO4 (µM)	Si(OH)4 (µM)	δ <sup>18</sup> O (‰)
ID-5	0	20.48	31.62	22.09	8.28	7.16	1.41	1.55	0.28	0.12	0.13	0.36	-0.8105
	10	20.48	31.62	22.09	8.33	7.14	-	-	0.19	0.48	0.13	0.53	-
	20	20.49	31.62	22.09	8.33	7.16	-	-	0.48	0.19	0.11	1.15	-
	50	8.61	32.79	25.49	8.16	6.15	-	2.36	1.30	0.34	0.33	2.03	-
	65	8.61	32.76	25.47	8.02	5.31	0.51	-	2.87	0.12	0.50	7.75	-
ID-6	0	20.98	31.64	21.97	8.30	7.08	0.86	1.91	1.34	0.19	0.17	0.71	-1.1260
	10	20.95	31.67	22.00	8.35	5.82	-	-	0.50	0.17	0.08	0.18	-
	20	20.95	31.67	22.00	8.35	5.35	-	-	0.20	0.36	0.12	0.71	-
	50	9.42	32.89	25.44	8.07	4.86	-	-	3.87	0.15	0.31	10.48	-
ID-7	60	9.41	32.87	25.43	8.01	4.81	0.45	1.37	3.72	0.19	0.56	11.36	-
	0	20.13	31.11	21.80	8.26	7.38	1.02	3.03	0.32	0.35	0.15	0.18	-0.7980
	10	20.14	31.12	21.80	8.30	7.40	-	-	0.64	0.52	0.11	0.53	-
	20	20.15	31.12	21.80	8.30	7.06	-	-	0.60	0.46	0.11	0.71	-
ID-8	50	8.60	32.59	25.34	8.03	5.24	-	-	1.91	0.06	0.29	9.69	-0.3961
	65	8.66	32.60	25.34	8.00	5.04	0.48	2.15	2.74	0.09	0.65	10.13	-0.7746
	0	19.76	31.18	21.94	8.22	5.30	1.63	2.60	1.60	0.31	0.29	1.59	-1.3310
	10	19.77	31.18	21.94	8.29	5.22	-	-	0.50	0.12	0.08	0.18	-
ID-9	20	19.69	31.22	21.99	8.29	5.23	-	-	0.43	0.19	0.13	0.18	-
	50	8.41	32.06	24.95	8.04	5.46	0.80	1.12	1.96	0.38	0.54	4.23	-
	0	20.34	31.15	21.77	8.24	7.57	0.80	2.05	1.13	0.09	0.08	1.24	-0.9835
	10	20.35	31.17	21.78	8.27	6.54	-	-	0.50	1.55	0.20	1.77	-
ID-10	20	20.14	31.16	21.83	8.27	5.82	-	-	0.30	0.16	0.15	1.15	-
	45	13.18	31.63	23.79	8.08	5.18	0.80	2.29	0.93	0.98	0.42	4.23	-
	0	21.18	31.15	21.55	8.24	4.92	0.74	1.16	1.56	0.25	0.17	1.94	-0.8510
	10	21.21	31.22	21.59	8.28	4.92	-	-	1.64	0.28	0.26	1.41	-
IE-1	20	21.11	31.22	21.62	8.28	5.23	-	-	0.35	0.27	0.20	2.21	-
	35	20.43	31.25	21.82	8.24	4.92	0.70	2.29	0.79	0.31	0.20	2.91	-1.2247
	0	22.62	32.09	21.86	8.41	4.68	0.96	2.58	0.50	0.16	0.20	3.75	-0.4610
	10	22.59	32.16	21.93	8.44	4.64	-	-	0.50	0.18	0.15	2.30	-
IE-2	20	20.88	32.38	22.56	8.41	4.59	-	-	1.35	0.26	0.38	4.12	-
	40	15.90	33.39	24.56	8.30	3.99	2.91	3.13	5.22	0.26	0.72	6.67	-0.5118
	0	20.41	32.36	22.67	8.38	4.89	0.80	1.54	1.36	0.16	0.36	3.94	-0.5405
	10	20.41	32.36	22.67	8.41	4.81	-	-	1.14	0.19	0.20	4.85	-
IE-3	20	20.41	32.36	22.67	8.42	4.79	-	-	1.47	0.38	0.38	4.30	-
	50	14.15	33.80	25.26	8.28	4.23	-	-	6.10	0.10	0.84	10.49	-
	75	14.09	33.80	25.28	8.27	4.25	0.70	1.44	5.95	0.10	0.85	11.03	-
	0	21.43	32.22	22.29	8.41	5.13	1.18	2.95	0.65	0.39	0.20	1.93	-0.3495
IE-4	10	21.45	32.22	22.29	8.42	4.89	-	-	0.53	0.18	0.17	3.21	-
	20	21.47	32.23	22.29	8.41	4.86	-	-	0.55	0.21	0.24	4.12	-
	50	13.00	33.53	25.29	8.20	4.38	-	-	6.34	0.33	0.99	7.21	-
	95	12.64	33.60	25.42	8.15	4.31	1.38	3.55	8.21	0.32	1.08	10.31	-
IE-4	0	21.09	31.56	21.88	8.36	5.60	1.66	2.38	2.04	0.20	0.24	3.94	-0.7210
	10	21.10	31.56	21.88	8.41	5.25	-	-	0.68	0.18	0.29	5.76	-
	20	21.08	31.58	21.90	8.42	5.18	-	-	1.74	0.16	0.29	5.03	-
	50	12.24	33.53	25.44	8.18	5.10	-	-	6.75	0.26	0.51	9.21	-0.6519
	85	11.06	33.50	25.64	8.11	4.47	0.99	3.18	6.93	0.22	0.92	10.67	-0.4855

Table 3.1. (Continued)

... St..	Dep (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	sigma -t	pH	DO ml/l	COD mgO <sub>2</sub> /l	NH <sub>4</sub> (μM)	NO <sub>3</sub> (μM)	NO <sub>2</sub> (μM)	PO <sub>4</sub> (μM)	Si(OH) <sub>4</sub> (μM)	δ <sup>18</sup> O (‰)
IE-5	0	21.46	30.95	21.32	8.31	6.34	0.80	1.32	2.14	0.19	0.33	3.94	-0.8005
	10	21.47	30.96	21.33	8.34	5.03	-	-	0.17	0.11	0.15	4.85	-
	20	21.47	30.96	21.33	8.32	4.27	-	-	0.30	0.17	0.17	2.30	-
	50	10.67	33.44	25.66	8.21	5.17	-	-	2.53	0.23	0.42	2.48	-
	80	10.40	33.42	25.69	8.03	4.80	0.58	1.17	8.11	0.14	0.99	11.58	-
IE-6	0	22.37	31.19	21.25	8.08	6.82	0.86	0.68	0.24	0.09	0.11	1.75	-1.1380
	10	22.37	31.19	21.25	8.10	6.41	-	-	0.38	0.09	0.20	1.02	-
	20	22.30	31.24	21.31	8.10	5.47	-	-	0.44	0.13	0.13	2.12	-
	50	10.10	33.25	25.61	8.10	5.51	-	-	0.04	0.15	0.15	1.02	-0.9090
	80	10.00	33.25	25.63	7.87	4.79	0.74	1.65	6.30	0.09	0.97	12.47	-0.7370
IE-7	0	22.28	31.19	21.28	8.40	6.88	0.90	2.26	1.28	0.38	0.08	1.75	-0.8855
	10	22.28	31.20	21.29	8.41	6.89	-	-	0.12	0.21	0.15	1.02	-
	20	22.28	31.20	21.29	8.41	6.28	-	-	-	0.07	0.11	1.39	-
	50	9.78	32.96	25.44	8.20	5.47	-	-	-	0.13	0.56	5.76	-
	55	9.77	32.94	25.43	8.10	5.25	0.45	2.48	4.85	0.14	0.81	7.58	-
IE-8	0	21.76	30.76	21.10	8.38	6.74	0.99	1.77	0.39	0.07	0.11	1.93	-0.6790
	10	21.78	30.76	21.09	8.42	5.98	-	-	0.56	0.17	0.11	1.93	-
	20	21.77	30.76	21.09	8.43	5.54	-	-	0.35	0.22	0.13	1.75	-
	50	9.30	31.81	24.62	8.15	6.11	-	-	1.28	0.53	0.56	4.30	-0.8130
	55	9.30	31.79	24.60	8.13	6.06	0.90	2.43	0.88	0.60	0.56	3.94	-0.7700
IE-9	0	20.50	31.18	21.75	8.25	7.31	0.74	1.42	2.83	0.43	0.26	0.84	-0.9715
	10	20.32	31.19	21.81	8.28	6.14	-	-	0.29	0.11	0.11	0.30	-
	20	20.33	31.19	21.80	8.29	5.54	-	-	0.80	0.25	0.06	0.39	-
	35	20.24	31.19	21.83	8.29	5.30	0.77	1.13	0.20	0.26	0.11	0.48	-
IE-10	0	21.33	31.13	21.49	8.19	7.41	0.61	0.59	0.67	0.71	0.29	3.75	-0.9675
	10	21.27	31.13	21.51	8.26	5.17	-	-	0.35	0.54	0.22	1.39	-
IE-11	20	21.31	31.12	21.49	8.27	4.98	1.47	3.09	0.93	0.55	0.26	1.39	-
	0	22.07	28.45	19.27	8.20	5.92	0.99	5.49	2.08	0.22	0.40	6.48	-1.1260
	10	22.25	30.75	20.95	8.26	4.80	-	-	3.76	0.21	0.51	5.76	-
IF-3	15	22.34	30.69	20.88	8.28	4.75	2.72	7.97	3.44	0.21	0.56	6.30	-1.0070
	0	24.53	30.80	20.35	8.42	4.62	1.25	1.49	0.40	0.05	0.22	4.03	-1.0490
	10	24.48	30.87	20.41	8.44	4.62	-	-	0.19	0.05	0.32	5.85	-
	20	17.09	32.32	23.47	8.08	3.16	-	-	8.27	0.12	0.87	8.12	-
IF-4	50	14.17	33.68	25.17	8.14	3.87	-	-	10.84	0.06	1.29	8.94	-0.3540
	80	14.25	33.75	25.20	8.17	3.98	2.11	3.81	7.15	0.05	0.89	9.21	-0.2320
	0	23.74	30.89	20.64	8.33	4.76	1.18	0.56	0.11	0.24	0.17	3.66	-0.9130
	10	23.71	30.89	20.65	8.35	4.76	-	-	0.30	0.05	0.24	4.48	-
	20	16.16	32.54	23.85	8.20	4.94	-	-	2.36	0.38	0.39	3.57	-
IF-5	50	13.72	33.39	25.04	8.12	3.76	-	-	10.92	0.09	1.29	12.13	-0.6170
	70	13.72	33.38	25.03	8.11	3.79	1.34	7.91	10.80	0.10	1.29	12.95	-0.4040
	0	23.42	30.73	20.61	8.36	5.06	1.34	0.35	0.02	0.43	0.22	2.12	-0.9290
	10	23.43	30.74	20.62	8.38	4.81	-	-	1.14	0.51	0.17	1.57	-
	20	15.56	32.28	23.79	8.38	5.68	-	-	2.73	0.12	0.27	0.48	-
IF-5	50	13.29	33.09	24.89	8.19	4.59	-	-	1.98	0.10	0.37	5.12	-
	55	13.25	33.16	24.96	8.17	4.50	3.20	-	6.59	0.06	0.99	9.58	-

Table 3.1. (Continued)

... St..	Dep (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	sigma -t	pH	DO ml/l	COD mgO <sub>2</sub> /l	NH <sub>4</sub> ( $\mu$ M)	NO <sub>3</sub> ( $\mu$ M)	NO <sub>2</sub> ( $\mu$ M)	PO <sub>4</sub> ( $\mu$ M)	Si(OH) <sub>4</sub> ( $\mu$ M)	$\delta^{18}$ O (‰)
IF-6	0	23.48	30.91	20.73	8.31	5.02	1.06	4.38	0.52	0.26	0.19	0.48	-0.8980
	10	23.48	30.91	20.73	8.36	4.82	-	-	0.57	0.21	0.19	0.30	-
	20	16.60	32.13	23.44	8.37	5.57	-	-	1.10	0.11	0.19	0.21	-
	30	14.76	32.20	23.90	8.19	4.95	2.14	2.98	1.86	0.23	0.37	4.94	-0.3070
IF-7	0	23.43	30.89	20.73	8.37	4.99	1.60	1.12	0.26	0.08	0.09	0.84	-0.9480
	10	23.44	30.89	20.73	8.38	5.07	-	-	0.70	0.08	0.14	1.12	-
	20	19.26	31.72	22.48	8.20	4.19	-	-	3.92	0.34	0.47	6.94	-
	25	18.25	24.30	17.09	8.20	4.36	1.18	1.00	3.19	0.31	0.47	4.66	-
IF-8	0	23.53	31.02	20.80	8.21	4.18	1.22	4.05	5.17	0.61	0.59	9.40	-0.6540
	10	23.55	31.01	20.79	8.23	4.18	-	-	9.83	0.53	0.84	7.03	-
	20	23.31	31.06	20.89	8.22	4.18	-	-	4.49	0.64	0.52	9.03	-
	25	23.07	31.09	20.98	8.21	4.02	3.55	1.75	4.05	0.53	0.47	7.49	-
IF-9	0	23.73	31.06	20.77	8.24	4.90	1.18	4.01	3.11	0.39	0.44	5.94	-0.9960
	10	23.74	31.07	20.78	8.25	4.69	-	-	4.99	0.36	0.49	4.30	-
	20	23.57	31.09	20.84	8.27	4.55	-	-	4.46	0.46	0.57	4.48	-
	25	23.56	31.09	20.84	8.26	4.53	2.27	4.63	3.22	0.39	0.49	5.21	-
IF-10	0	23.70	30.82	20.60	8.20	5.12	0.74	2.43	7.36	0.38	0.00	11.31	-1.3440
	10	23.64	30.83	20.63	8.26	4.81	-	-	4.23	0.25	0.52	5.21	-
	15	23.58	30.85	20.66	8.26	4.71	1.70	3.32	3.72	0.33	0.52	5.39	-1.2258
IG-1	0	24.56	30.67	5.26	8.36	4.33	1.18	2.44	0.11	0.31	0.17	3.26	-0.8160
	10	25.03	31.82	20.97	8.38	4.28	-	-	0.17	0.20	0.17	2.98	-
	20	22.95	31.74	21.51	8.21	4.40	-	-	2.63	0.39	0.29	6.39	-
	50	16.49	32.48	23.73	8.15	3.57	-	-	5.05	0.47	0.72	10.36	-0.6814
	85	16.81	34.40	25.13	8.21	3.02	1.31	2.73	4.07	0.51	0.72	10.08	-0.8830
IG-2	0	24.31	31.01	20.57	8.40	4.61	0.93	2.12	0.23	0.04	0.24	5.94	-0.8460
	10	24.19	31.07	20.65	8.31	4.72	-	-	0.81	0.14	0.39	7.03	-
	20	24.15	31.08	20.67	8.31	4.66	-	-	1.53	0.14	0.42	8.49	-
	50	14.97	32.74	24.27	8.20	4.02	-	-	6.14	0.11	0.82	12.13	-0.6560
	65	15.28	33.22	24.57	8.17	3.72	0.45	1.11	7.60	0.11	1.04	12.67	-0.4960
IG-3	0	24.41	30.91	20.46	8.35	5.05	1.86	1.86	0.34	0.08	0.34	5.03	-0.8390
	10	24.41	31.08	20.59	8.38	4.96	-	-	0.18	0.09	0.32	6.76	-
	20	24.47	31.37	20.79	8.41	4.81	-	-	0.10	0.32	0.14	4.48	-
	50	15.59	32.25	23.76	8.19	3.39	1.38	25.56	8.14	0.19	0.94	12.67	-
IG-4	0	23.88	30.94	20.64	8.35	5.05	1.86	1.68	0.54	0.09	0.39	7.76	-0.7470
	10	23.89	30.95	20.64	8.41	4.78	-	-	0.20	0.17	0.24	6.12	-
	20	20.40	31.64	22.13	8.41	4.14	-	-	0.54	0.15	0.34	5.39	-
	35	20.30	31.59	22.12	8.17	2.38	0.70	4.64	8.90	0.21	0.89	14.13	-0.4218
IG-5	0	23.70	30.93	20.68	8.31	5.00	1.98	5.49	0.92	0.08	0.32	5.03	-0.7340
	10	23.71	31.23	20.91	8.39	4.91	-	-	0.71	0.07	0.32	4.66	-
	20	24.76	32.53	21.58	8.34	4.23	-	-	1.45	0.42	0.29	2.84	-
	30	24.77	32.57	21.61	8.31	3.92	1.89	3.39	3.28	0.76	0.49	4.66	-
IG-6	0	25.48	33.20	21.87	8.31	4.42	0.93	2.24	0.99	0.44	0.29	1.57	-0.3700
	10	25.50	33.20	21.86	8.33	4.23	-	-	1.12	0.42	0.24	1.75	-
	20	25.50	33.21	21.87	8.34	4.18	-	-	1.29	0.58	0.19	2.48	-
	35	25.51	33.21	21.87	8.35	4.19	2.37	2.40	0.78	0.55	0.24	2.30	-

Table 3.1. (Continued)

... St...	Dep (m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	sigma -t	pH	DO ml/l	COD mgO <sub>2</sub> /l	NH <sub>4</sub> (µM)	NO <sub>3</sub> (µM)	NO <sub>2</sub> (µM)	PO <sub>4</sub> (µM)	Si(OH) <sub>4</sub> (µM)	δ <sup>18</sup> O (‰)
IG-7	0	25.53	30.63	19.92	8.31	3.84	0.93	2.95	2.72	1.00	1.17	7.03	-0.4620
	10	25.55	33.24	21.88	8.32	3.85	-	-	2.36	0.92	0.52	6.30	-
	20	25.56	33.24	21.88	8.33	3.83	-	-	2.80	0.81	0.54	5.76	-
	35	25.60	33.26	21.88	8.32	3.83	2.56	5.39	2.46	1.04	0.52	6.30	-0.3304
IG-8	0	24.79	32.78	21.76	8.27	3.34	-	-	2.62	0.99	0.47	6.30	-0.3730
	10	24.84	32.79	21.75	8.26	3.32	-	-	1.86	0.77	0.37	7.21	-
	25	24.92	32.83	21.76	8.27	3.34	2.14	3.42	4.43	0.92	0.54	8.30	-0.4440

분포양상과 유사하여 32.5% 이상의 높은 염분을 보이고 있다 (Fig. 3.1; Fig. 3.2). 50m 수층은 7.56~16.49℃, 31.81~33.68%의 범위로서 표층보다는 수온 및 염분의 차이가 적으며, 정점 IA4-IA5, IC3-IC4 사이에서 수온전선이 남북으로 형성되어 있다. 염분은 표층과 유사하여 한반도 주변에서 외해로 갈수록 감소하는 양상을 보이고 있다 (Fig. 3.3; Fig. 3.4).

관측선별 수직분포 양상을 살펴보면 IA, IC, ID 라인의 경우 한반도 주변 정점들에서는 낮은 수심과 활발한 조석운동으로 인하여 표, 저층이 수온 및 염분이 균일하여 수직적으로 혼합이 잘되어 있는 것을 볼 수 있지만, 외해로 나갈수록 수심 30~50m 부근에 계절적인 수온약층과 밀도약층이 형성되어 있고, 50m 이상의 수심에는 10℃ 이하의 수온과 32.0~32.5%의 염분을 가진 수괴가 존재하고 있음을 볼 수 있다. 반면에 IE, IF, IG 라인의 경우에는 중국대륙 연안 정점들에서 표, 저층간에 수직혼합이 잘되어 있고, 외해쪽으로 갈수록 성층화되어 수심 20~50m 에 밀도약층이 존재하고 있다. 저층에는 IA, IC, ID 라인과는 달리 10℃ 이상의 수온과 33.0% 이상의 염분을 가진 수괴가 존재함을 보이고 있다 (Fig. 3.5; Fig. 3.6).

### 3.1.2. 해수의 $\delta^{18}O$

해수의  $\delta^{18}O$ 분포는 염분의 분포와 유사하며, 분포 범위는 -1.8 ‰에서 0.2 ‰이다 (Fig. 3.7). 조사 지역 남쪽의 고염분의 해수가 분포하는 지역의  $\delta^{18}O$ 이 높은 값을 가지며, 산둥반도의 남쪽과 중국 연안쪽에 낮은  $\delta^{18}O$ 값을 갖는 수괴가 존재한다. 특히 주변에 비해 낮은  $\delta^{18}O$ 를 갖는 물은 산둥반도의 남쪽에서 남동 방향으로 대상의 분포를 보이며, 이는 염분의 수평적인 분포와 유사하다.

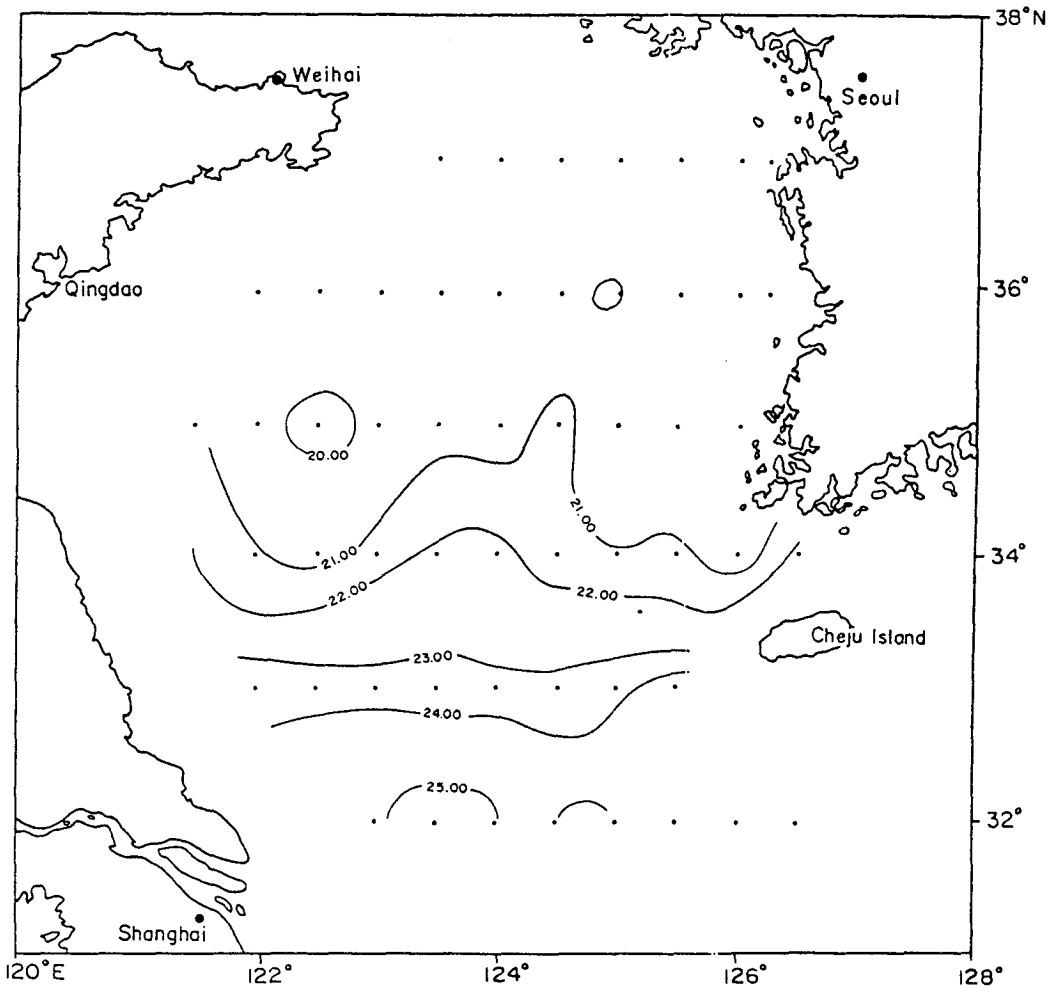


Fig. 3.1. Horizontal distribution of temperature(°C) at surface water in the Yellow Sea (YS9209)

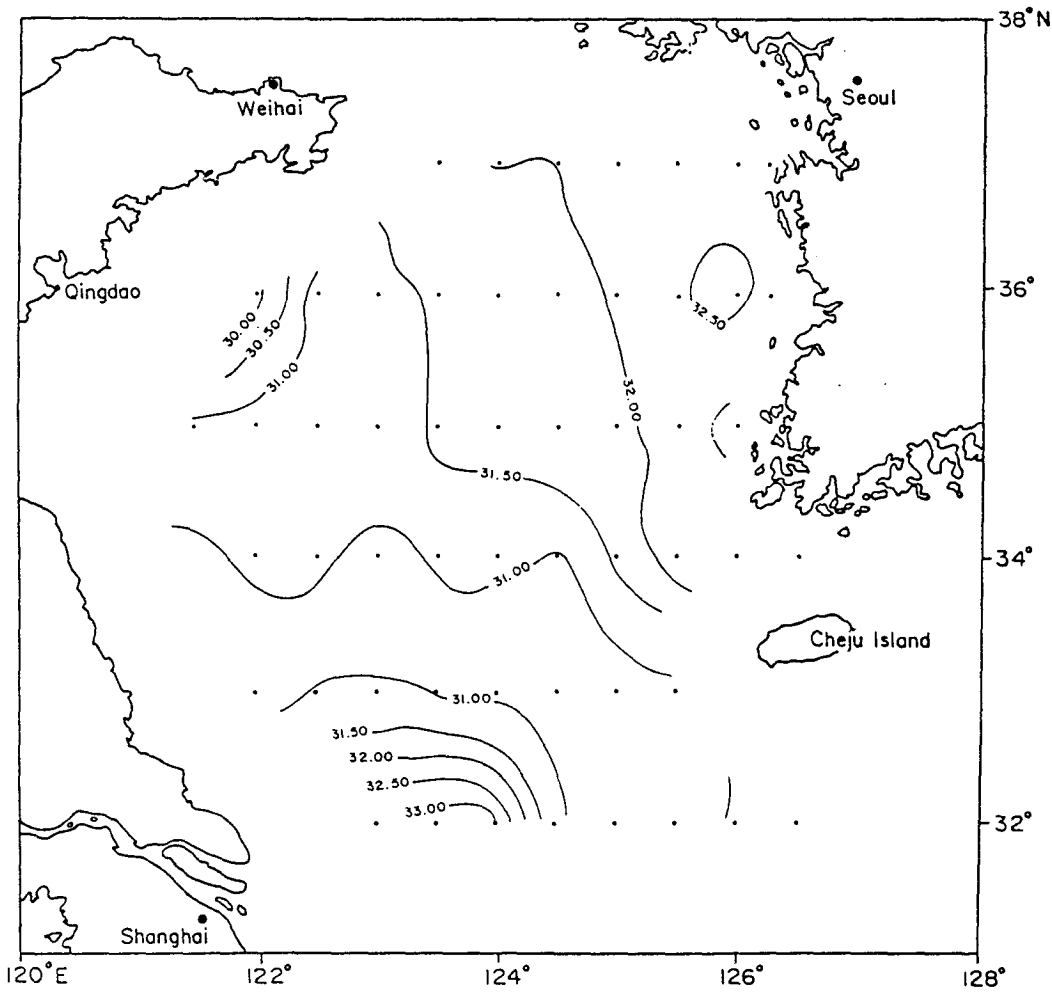


Fig. 3.2. Horizontal distribution of salinity(‰) at surface water in the Yellow Sea (YS9209)



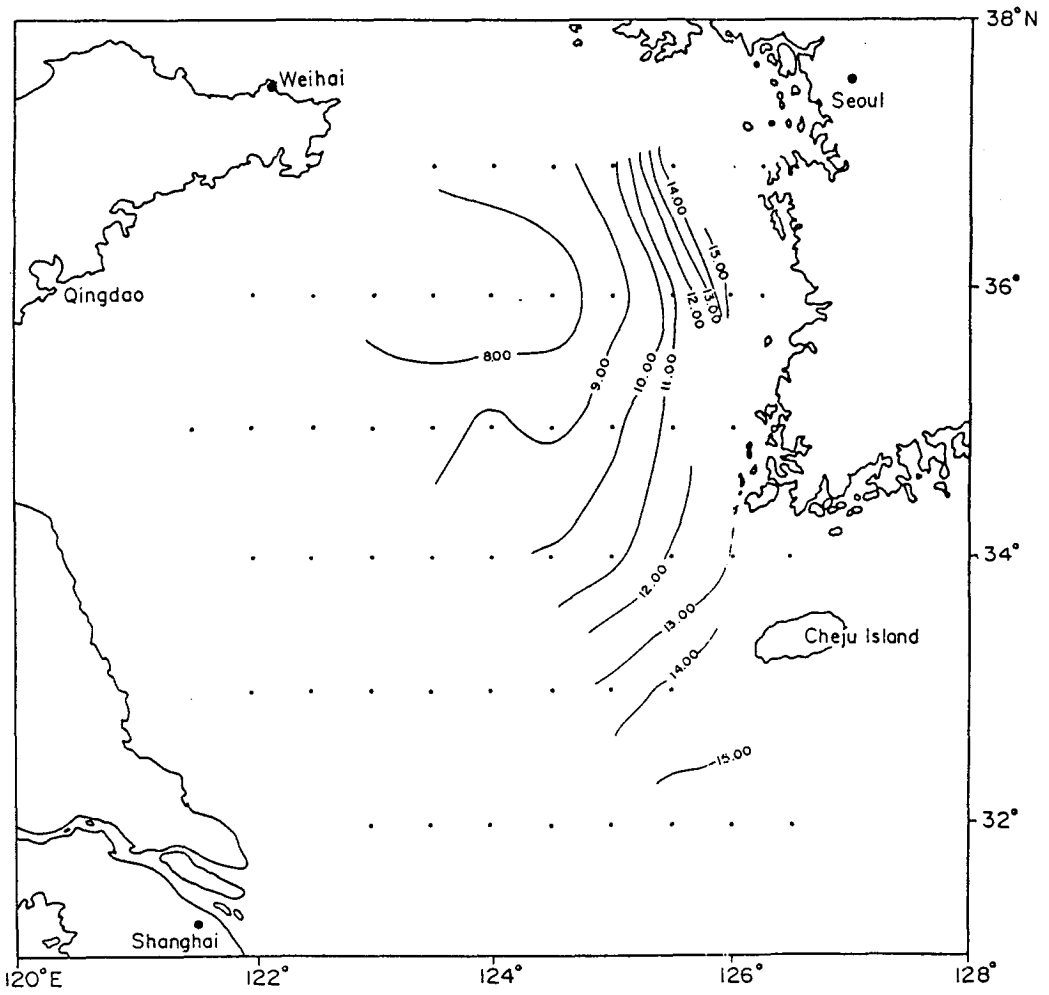


Fig. 3.3. Horizontal distribution of temperature(°C) at 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)

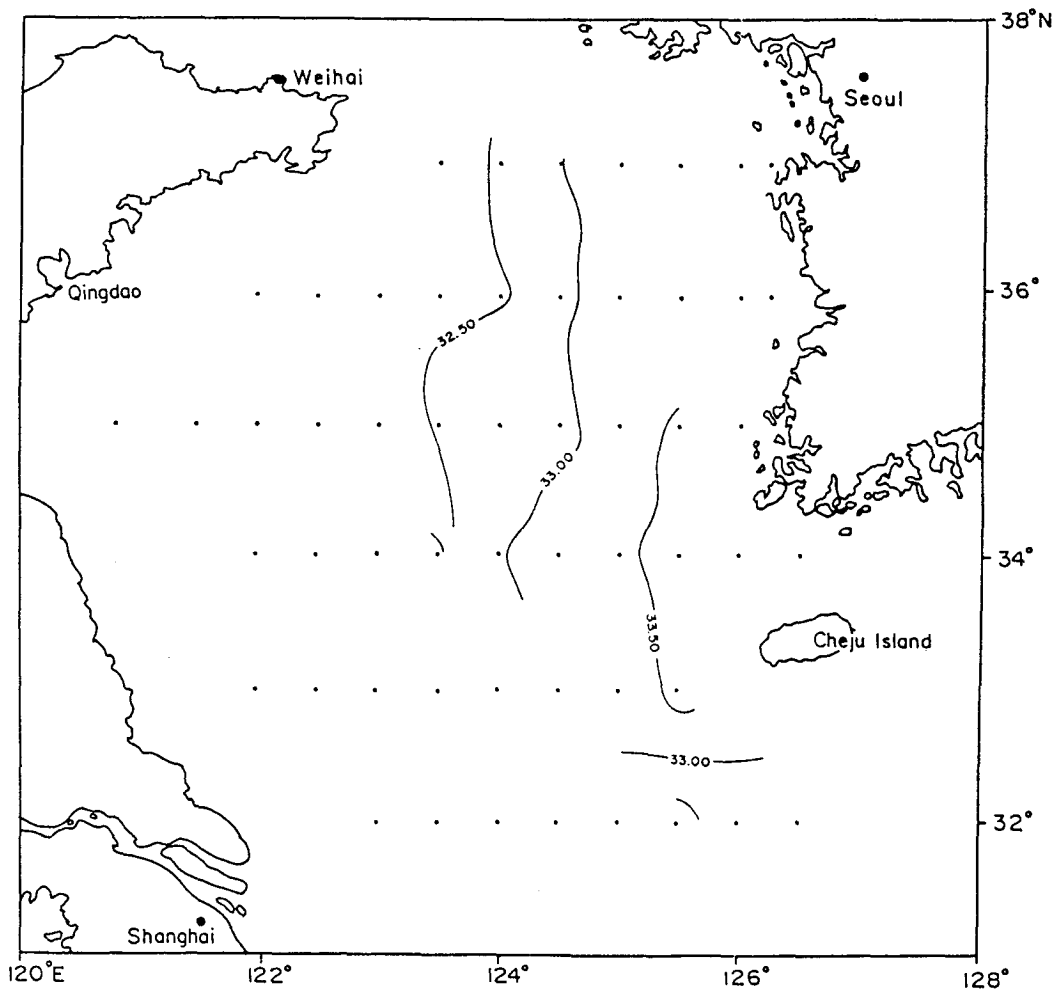


Fig. 3.4. Horizontal distribution of salinity(‰) at 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)

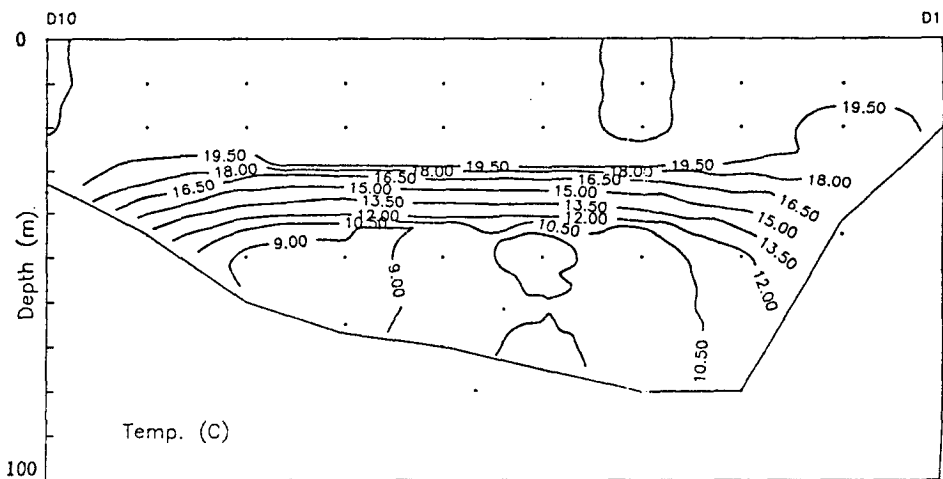
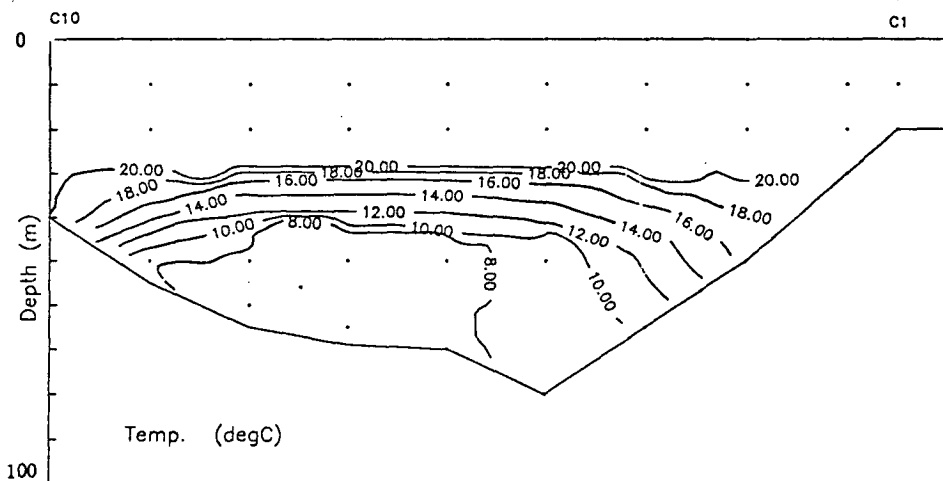
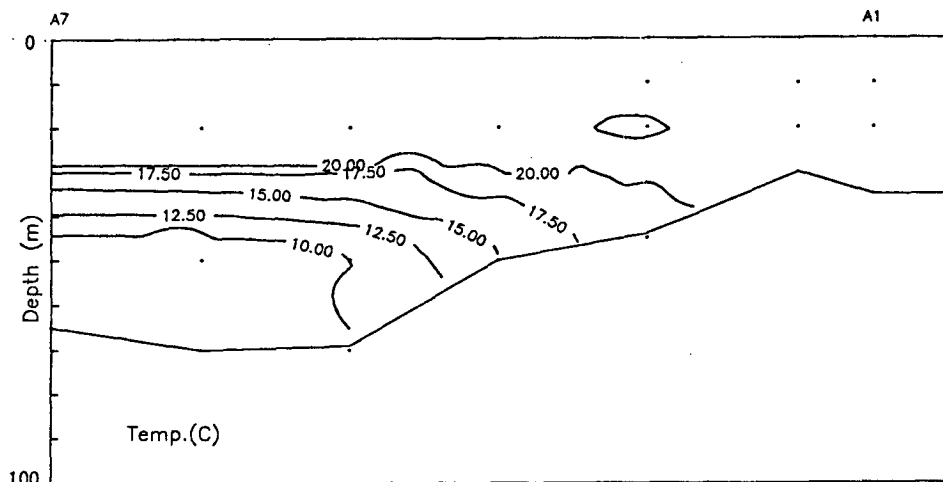


Fig. 3.5. Vertical distribution of temperature(°C) in each line (YS9209)

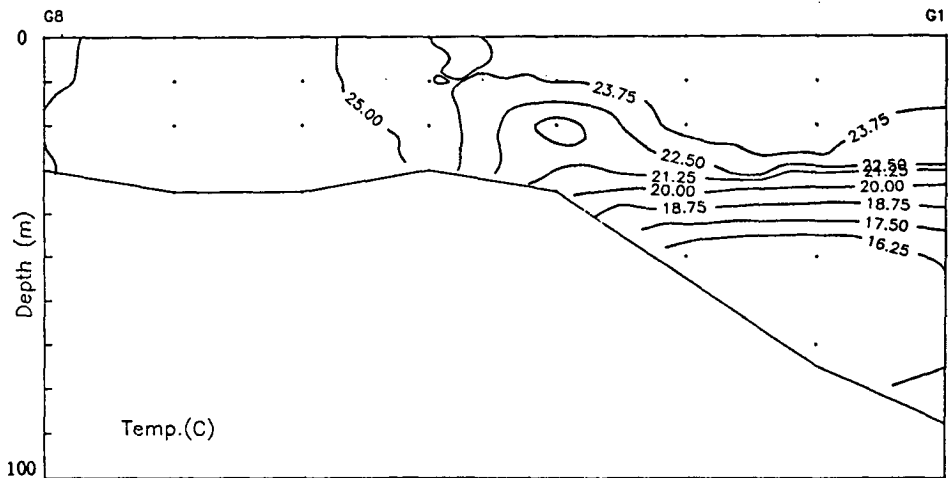
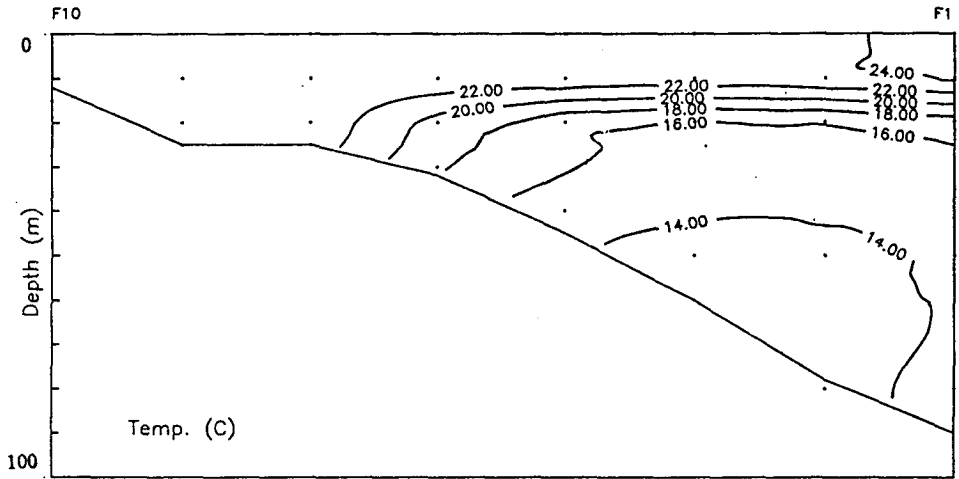
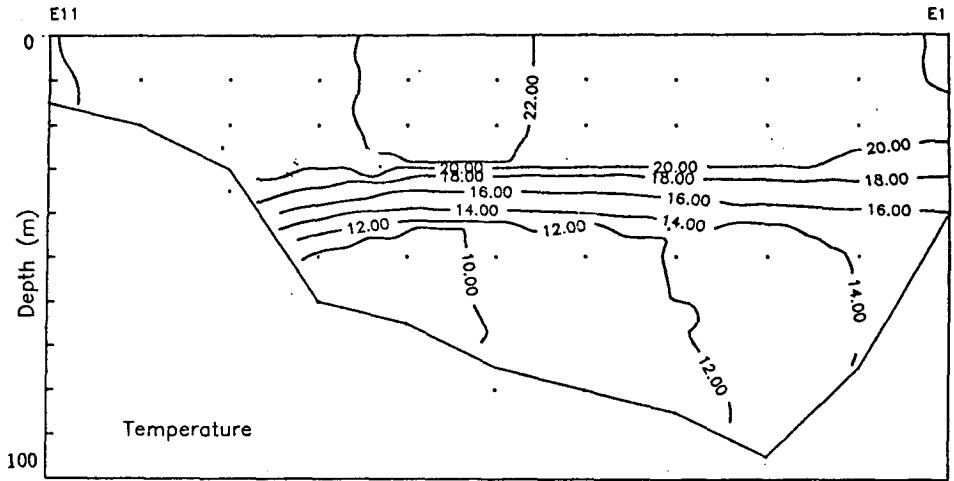


Fig. 3.5. Continued

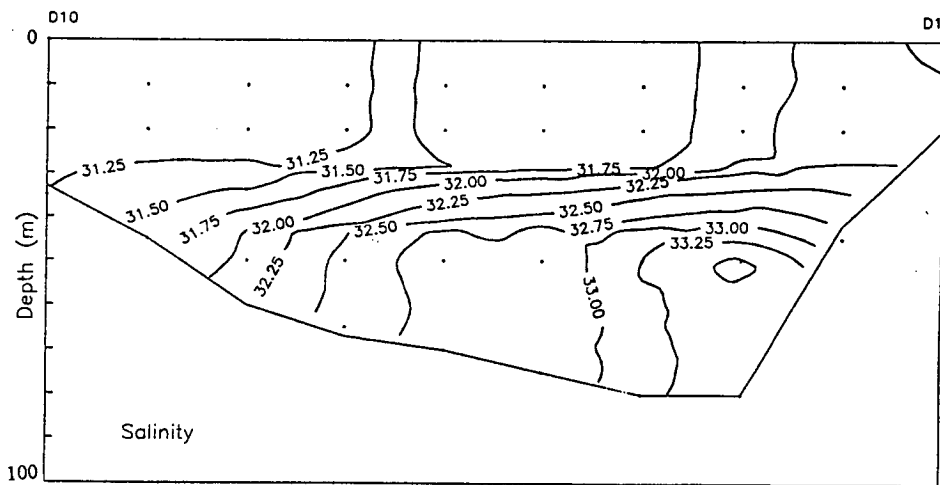
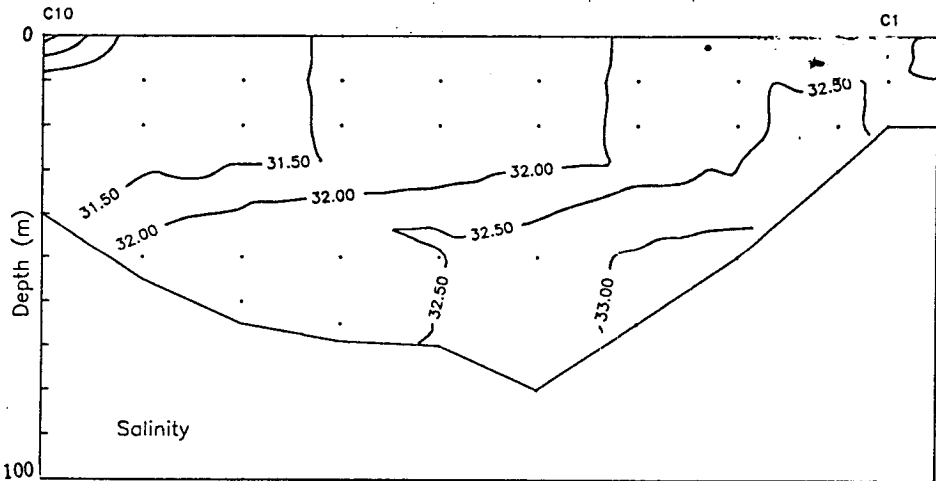
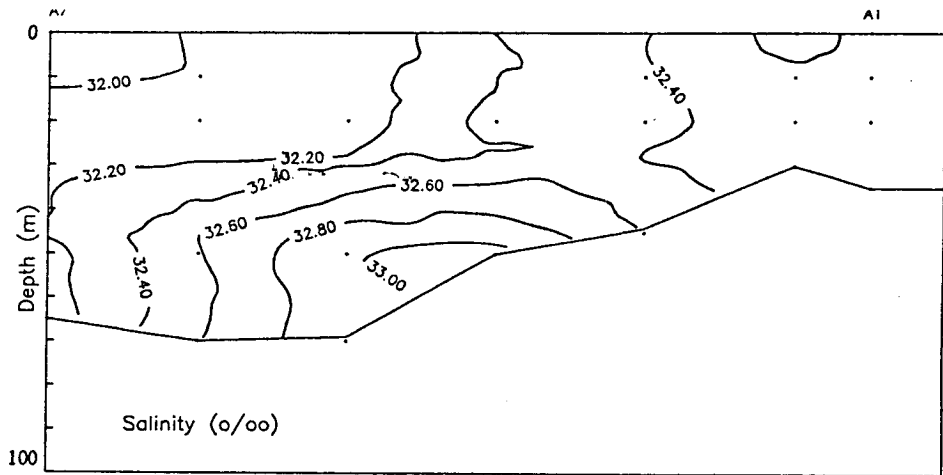


Fig. 3.6. Vertical distribution of salinity(‰) in each line (YS9209)

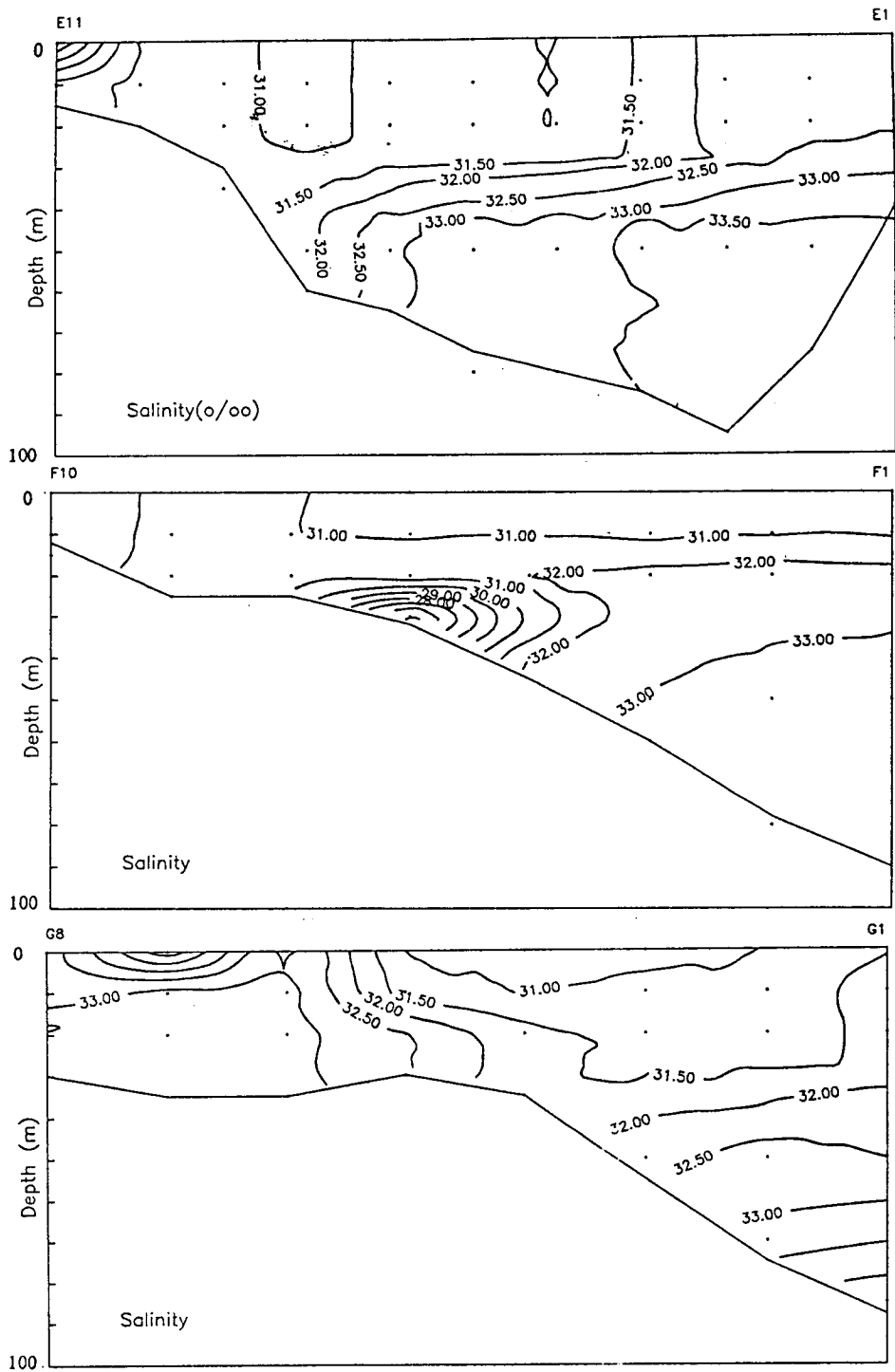


Fig. 3.6. Continued

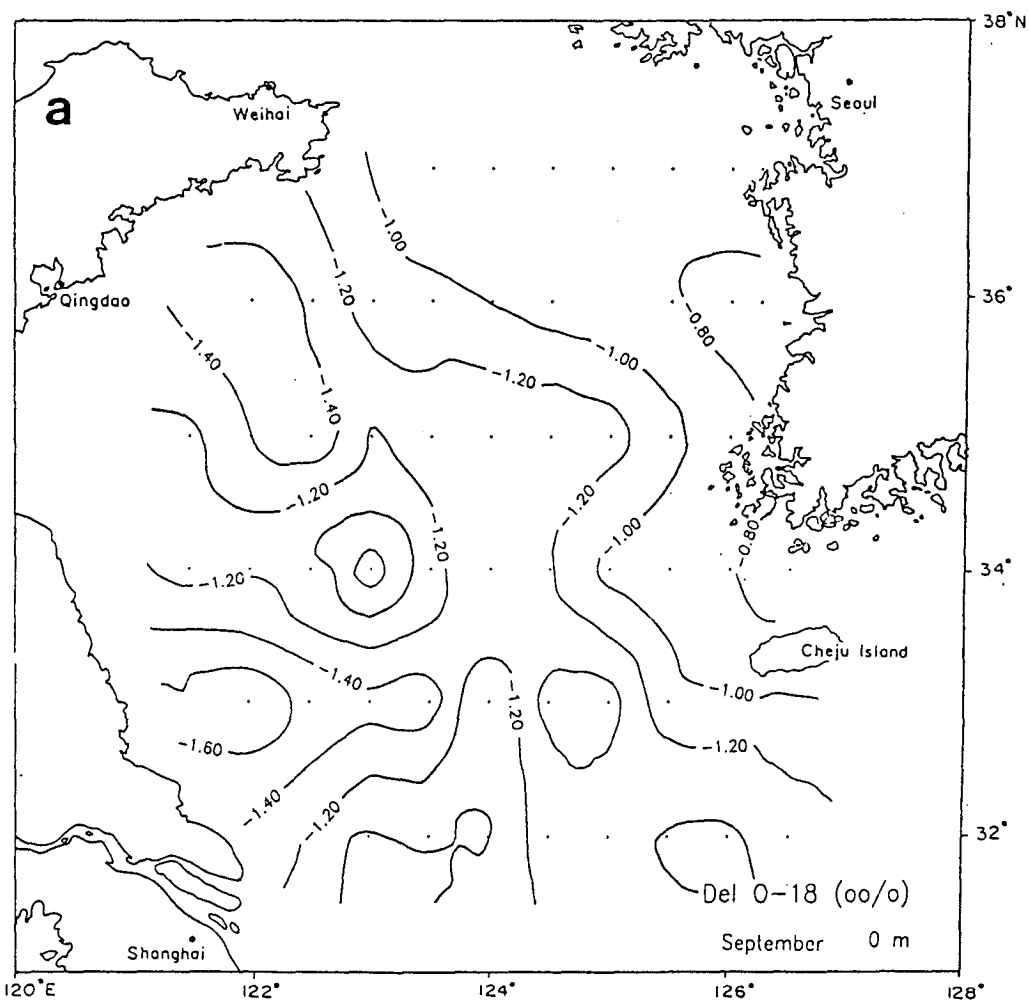


Fig. 3.7. Horizontal distribution of  $\delta^{18}\text{O}$ (‰) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)

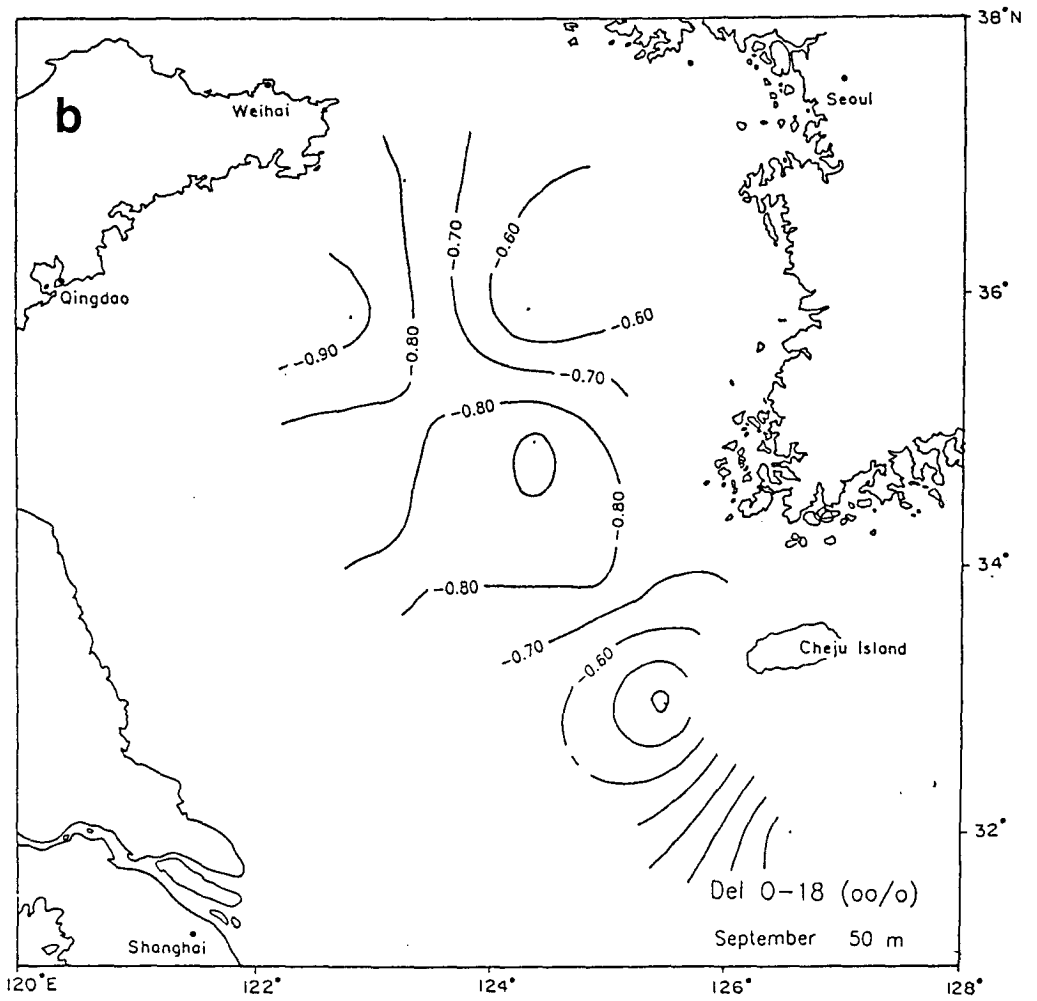


Fig. 3.7. Continued



### 3.1.3. 용존산소

용존산소량은 표층에서 3.34~7.77 ml/l (평균 6.09ml/l)의 범위로서 일반적으로 수온이 낮은 북부해역이 남부해역보다 높은 용존산소량을 보이고 있으며, 특히 수온 24℃이상, 염분이 32%이상인 고온, 고염의 서남부해역에서는 4.5ml/l 이하의 상당히 낮은 용존산소량을 보였다 (Fig. 3.8a). 수온약층 아래인 50m 수층에서는 3.39~11.10 ml/l (평균 5.88ml/l)의 범위로서 수온 9℃의 등온선을 경계로 하여 남북간에 상당한 용존산소량의 차이를 보여주고 있다 (Fig. 3.8b). 용존산소량의 연직분포는 중층에서 최대치를 보인 북서부해역 몇몇 정점들을 제외하고는 수심이 증가할수록 점차 감소하는 양상을 보이고 있고, 33% 이상의 고염을 가진 남부해역 저층에서는 4.0ml/l 정도의 상당히 낮은 용존산소량을 보이고 있다.

### 3.1.4. pH

pH는 표층에서 8.08~8.41 (평균 8.28), 수온약층 아래인 50m 수층에서는 8.02~8.29 (평균 8.13)의 범위로서 연안부근 정점들에서 외해쪽으로 갈수록 pH는 높아지는 정상적인 해양환경을 보여주고 있다. 일반적으로 본 황해에서의 pH는 탄산염을 많이 함유하고 pH가 높은 외양해수와 pH가 낮은 육상수의 혼합정도와 해수내에서 일어나는 광합성 경로에 의해 주로 결정된다. 그러나 해수는 일반적으로 강한 완충작용을 가지고 있어 pH에 있어서 차이는 크지 않다. 연직분포 양상은 수심이 낮은 연안해역 정점들에서는 표, 저층간에 차이가 없지만 표, 저층이 밀도약층으로 구분된 중앙부해역에서는 수심이 증가함에 따라 pH는 감소한다. 저층에서의 유기물질의 활발한 산화는 pH를 낮추는 원인이 되기도

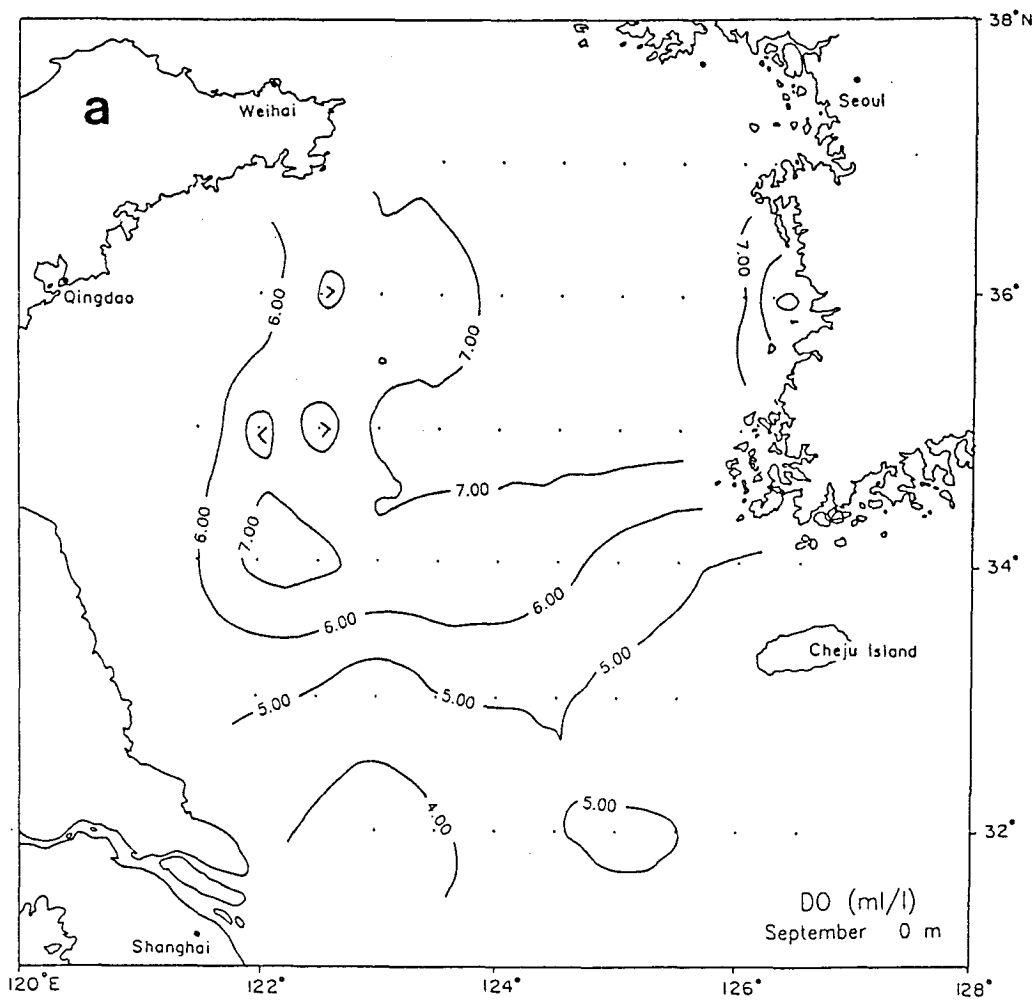


Fig. 3.8. Horizontal distribution of dissolved oxygen(ml/l) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)

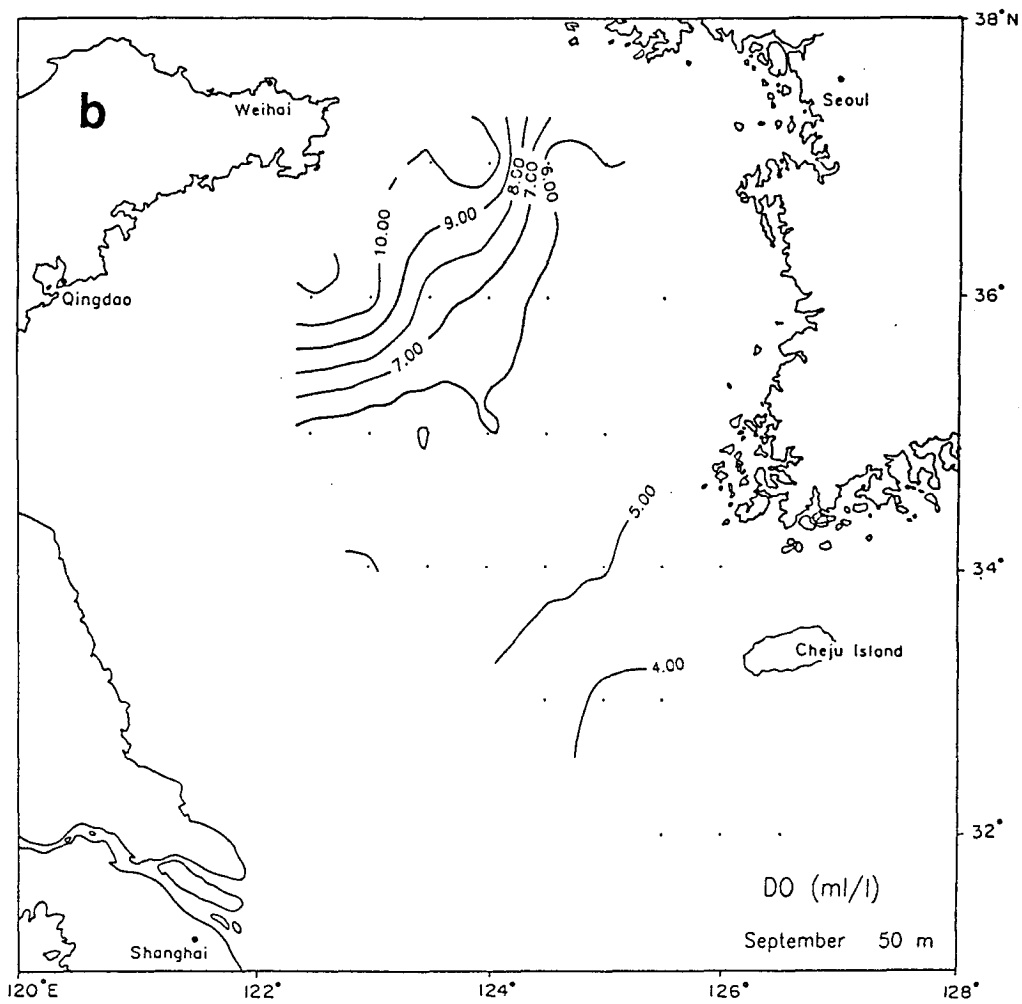


Fig. 3.8. Continued

한다.

### 3.1.5. 식물플랑크톤 주요 무기영양소

#### 3.1.5.1. 암모니아이온( $\text{NH}_4^+$ )

암모니아 이온의 황해전체적인 표층 수평 농도분포는  $0.36\sim 6.74\mu\text{M}$  (평균  $2.53\mu\text{M}$ )의 범위로서 화학적 산소요구량이 가장 높았던 경기만 부근의 정점 IA2를 기점으로해서 한반도내륙에서 외해역으로 나갈수록 감소하고, 또한 중국대륙의 양쯔강 부근을 기점으로해서 외해역으로 나갈수록 감소하는 양상을 보여 황해 중앙부해역은  $2.0\mu\text{M}$  이하의 암모니아 이온 농도값을 보이고 있다 (Fig. 3.9). 해저 기저층의 경우는 정점 IG3의  $25.56\mu\text{M}$ 의 높은 암모니아 이온 농도값을 제외하고는  $1.02\sim 5.39\mu\text{M}$ 의 범위이고, 일반적으로 한반도 부근보다는 중국대륙 연안부근에서 약간 높은 농도값을 보였다.

#### 3.1.5.2. 질산이온( $\text{NO}_3^-$ )

질산이온의 분포는 황해 전체적으로 표층이  $0.04\sim 7.36\mu\text{M}$  (평균  $1.19\mu\text{M}$ )의 범위로서 암모니아와 유사하게 한반도와 중국대륙 연안부근에서는 활발한 수직혼합으로 높은 농도를 보인 반면에 외해역으로 나갈수록 감소하여 성층이 잘된 황해 중앙부해역에서는  $0.8\mu\text{M}$  이하의 낮은 농도값을 보이고 있다 (Fig. 3.10a). 또한 중국대륙 주변해역이 한반도 주변보다 약간 높은 농도값을 보이고 있다. 수온약층 아래인 50m 수층은  $0.93\sim 10.92\mu\text{M}$  (평균  $4.34\mu\text{M}$ )의 범위로서 표층의 약 4배 정도의 농도를 보였다 (Fig. 3.10b). 라인별 연직분포양상을 보면,

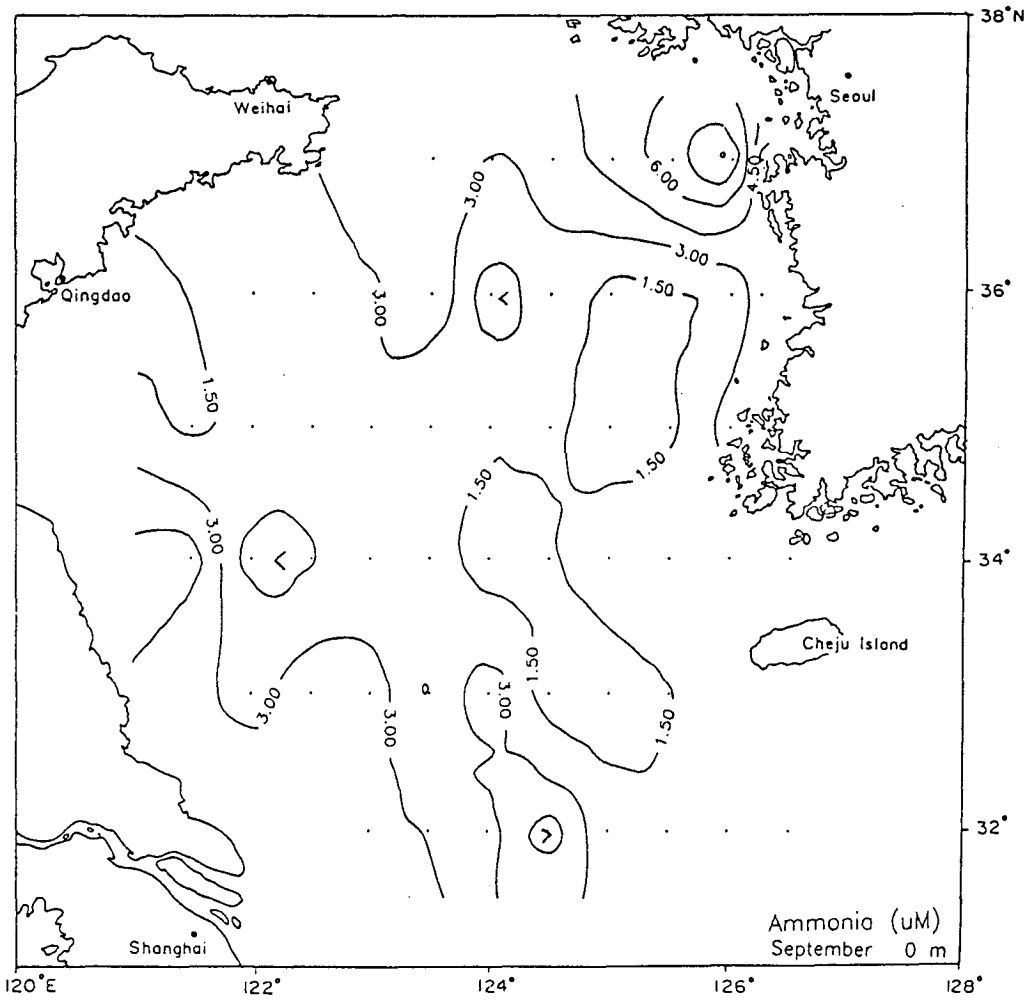


Fig. 3.9. Horizontal distribution of ammonium ion( $\text{NH}_4^+$ ,  $\mu\text{M}$ ) at the surface water in the Yellow Sea (YS9209)

IA, IC, ID 라인의 경우 한반도 주변 정점에서는 낮은 수심으로 인한 표, 저층의 활발한 수직 수괴혼합으로 인해 표, 저층간에 균일한 농도값을 보이고 있으나 황해중앙부로 나갈수록 수심이 증가하면서 저층에서 질산이온 농도도 증가함을 보여준다. 이와는 반대로 IE, IF, IG 라인에서는 중국대륙 연안 부근에서 균일한 농도값을 보이는 반면에 황해골(trough)인 제주도 남방쪽으로 갈수록 수심증가에 따라 저층에서 질산이온 농도도 증가하여 정점 IF1의 저층에서는  $10.0 \mu\text{M}$  이상의 높은 질산염 이온 농도값을 보였다. 질산이온의 수직분포는 일반적으로 용존산소가 감소할수록 질산이온은 증가하는 양상을 보이고, 수온약층 상부층에서는  $1 \mu\text{M}$  이하의 낮은 질산염이온 농도값을 보이지만 하부층에서부터 급격히 증가하는 수직적 농도의 경사구배현상이 뚜렷하게 보이고 있다 (Fig. 3.11).

#### 3.1.5.3. 아질산이온( $\text{NO}_2^-$ )

아질산이온은 표층이 황해 전체적으로  $0.06 \sim 1 \mu\text{M}$  (평균  $0.28 \mu\text{M}$ )이고, 수온약층 아래인 50m 수층은  $0.06 \sim 0.98 \mu\text{M}$  (평균  $0.20 \mu\text{M}$ )의 범위로서 표층과 비슷한 농도값을 보였다 (Fig. 3.12). 라인별 연직분포 양상은 표층에서는 수심이 낮은 연안해역부근이 중앙부해역보다 아질산이온 농도가 높고, 일반적으로 질산이온 농도가 높은 정점에서 아질산이온 농도 또한 높은 양상을 보이고 있다 (Fig. 3.13).

#### 3.1.5.4. 인산이온( $\text{PO}_4^{3-}$ )

인산이온은 황해전체적으로  $0.08 \sim 1.17 \mu\text{M}$  (평균  $0.29 \mu\text{M}$ )이고 (Fig. 3.14a),

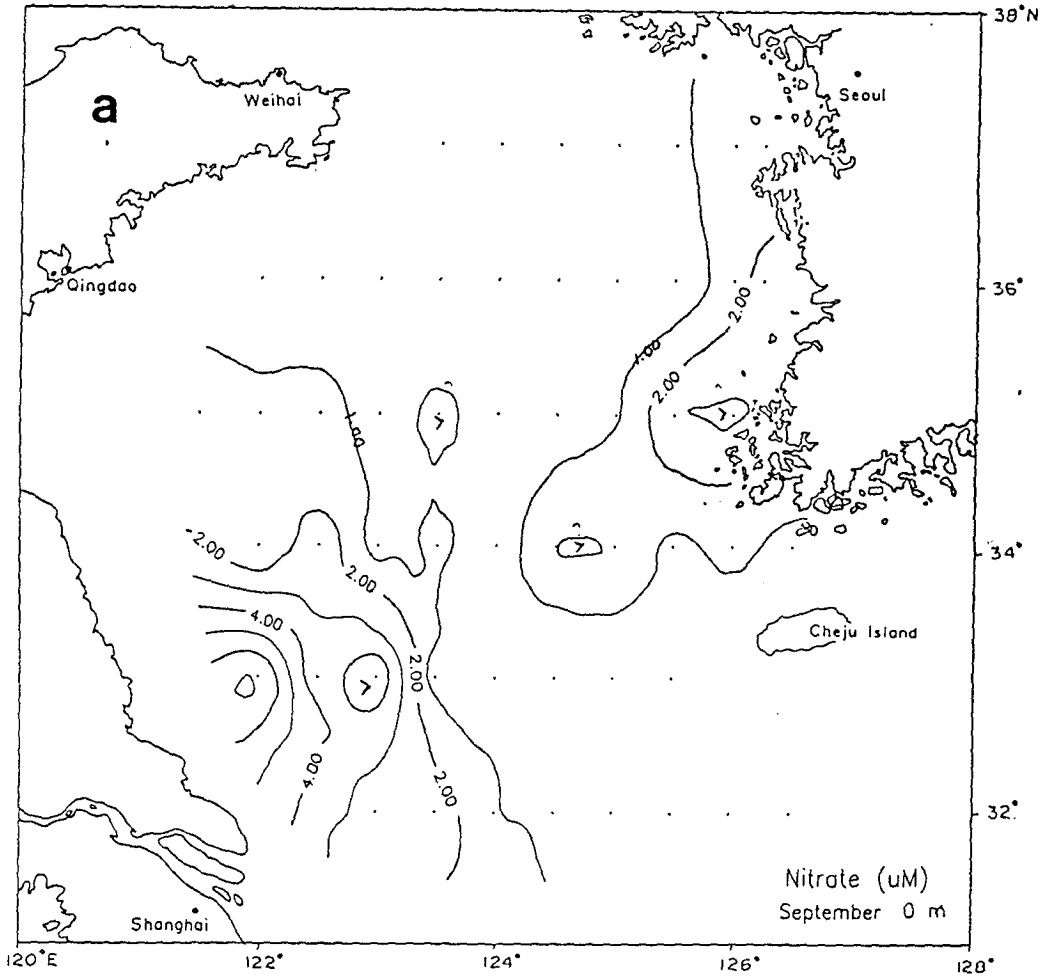


Fig. 3.10. Horizontal distribution of nitrate ion( $\text{NO}_3^-$ ,  $\mu\text{M}$ ) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)

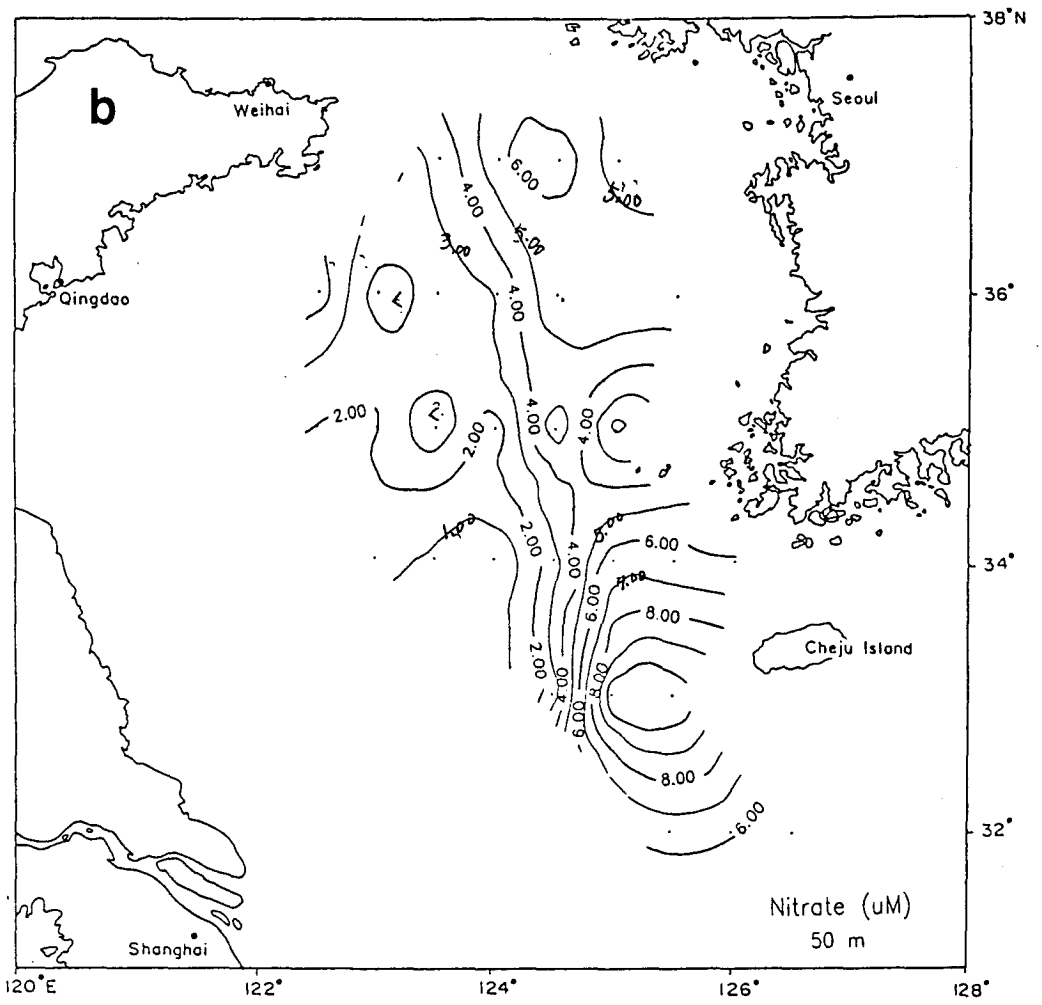


Fig. 3.10. Continued



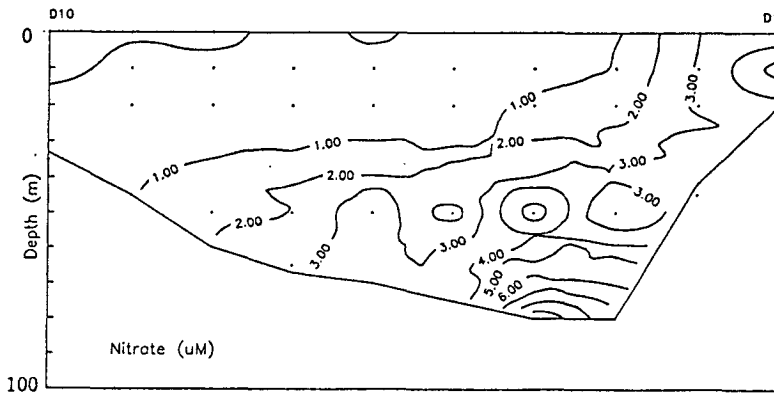
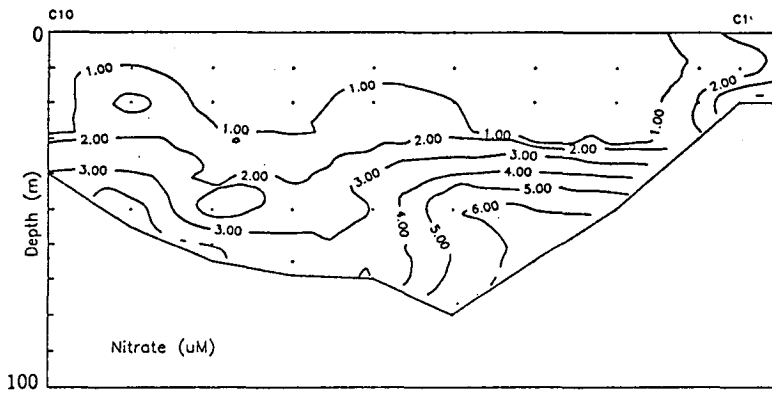
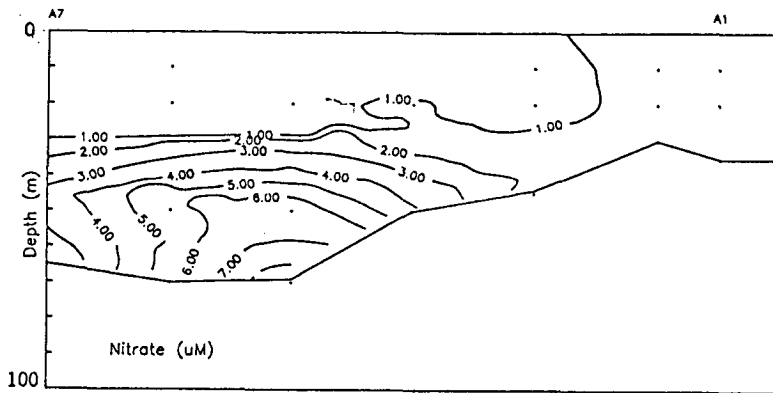


Fig. 3.11. Vertical distribution of nitrate ion( $\text{NO}_3$ ,  $\mu\text{M}$ ) in each line (YS9209)

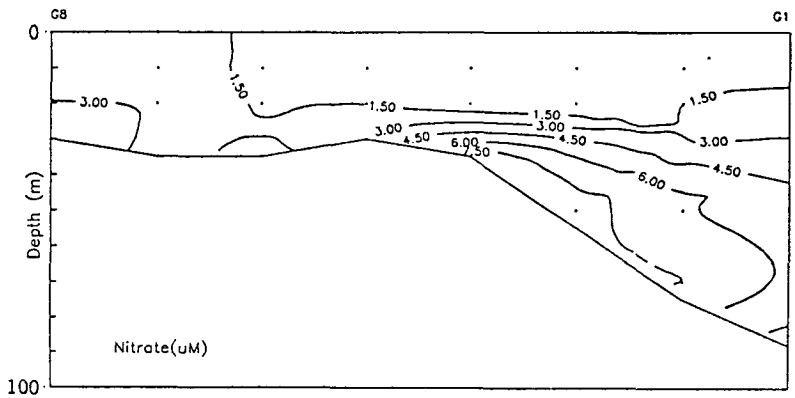
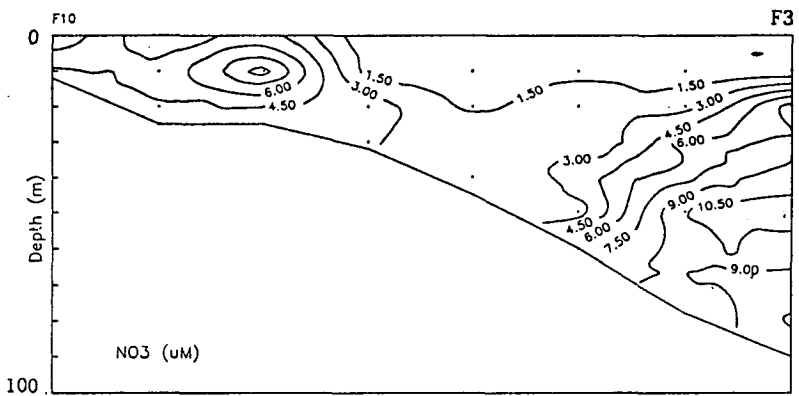
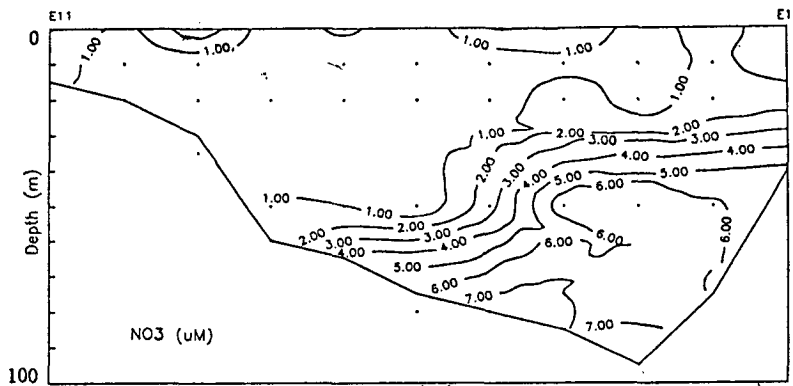


Fig. 3.11. Continued

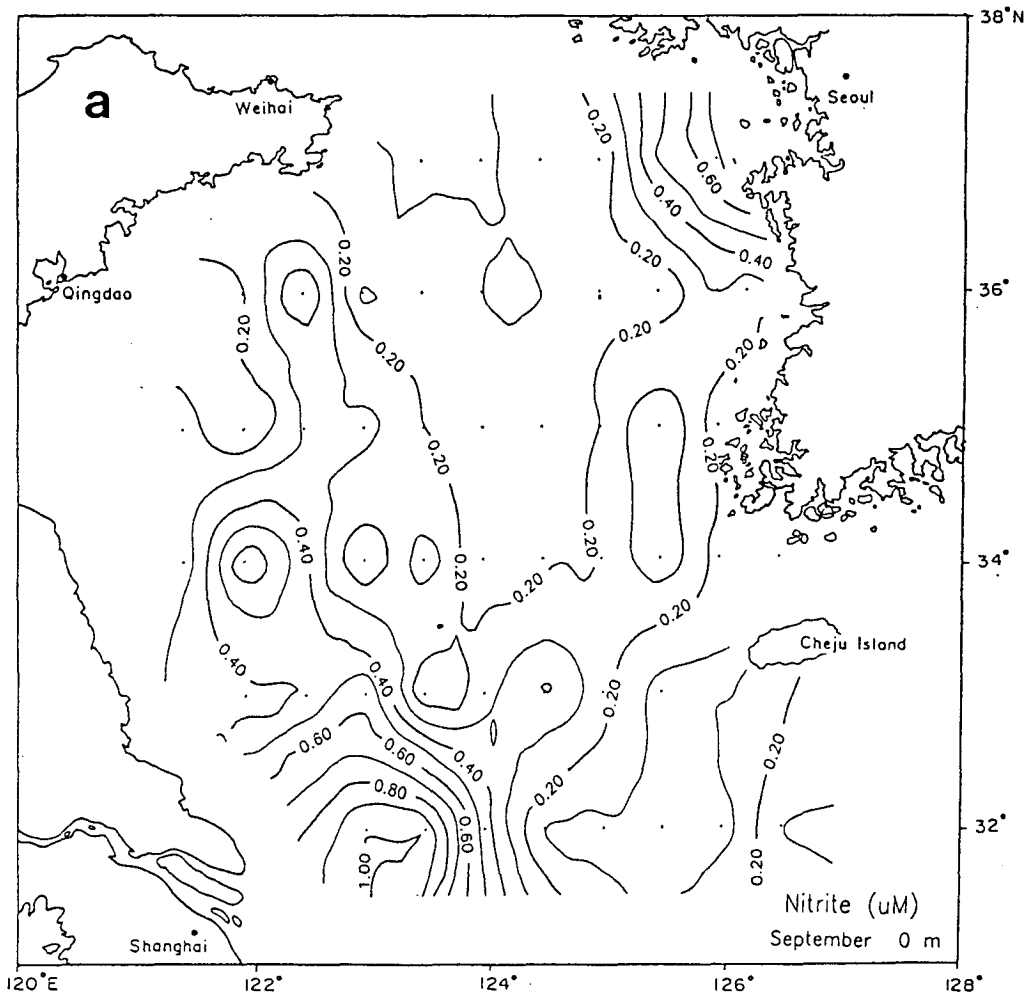


Fig. 3.12. Horizontal distribution of nitrite ion( $\text{NO}_2^-$ ,  $\mu\text{M}$ ) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)

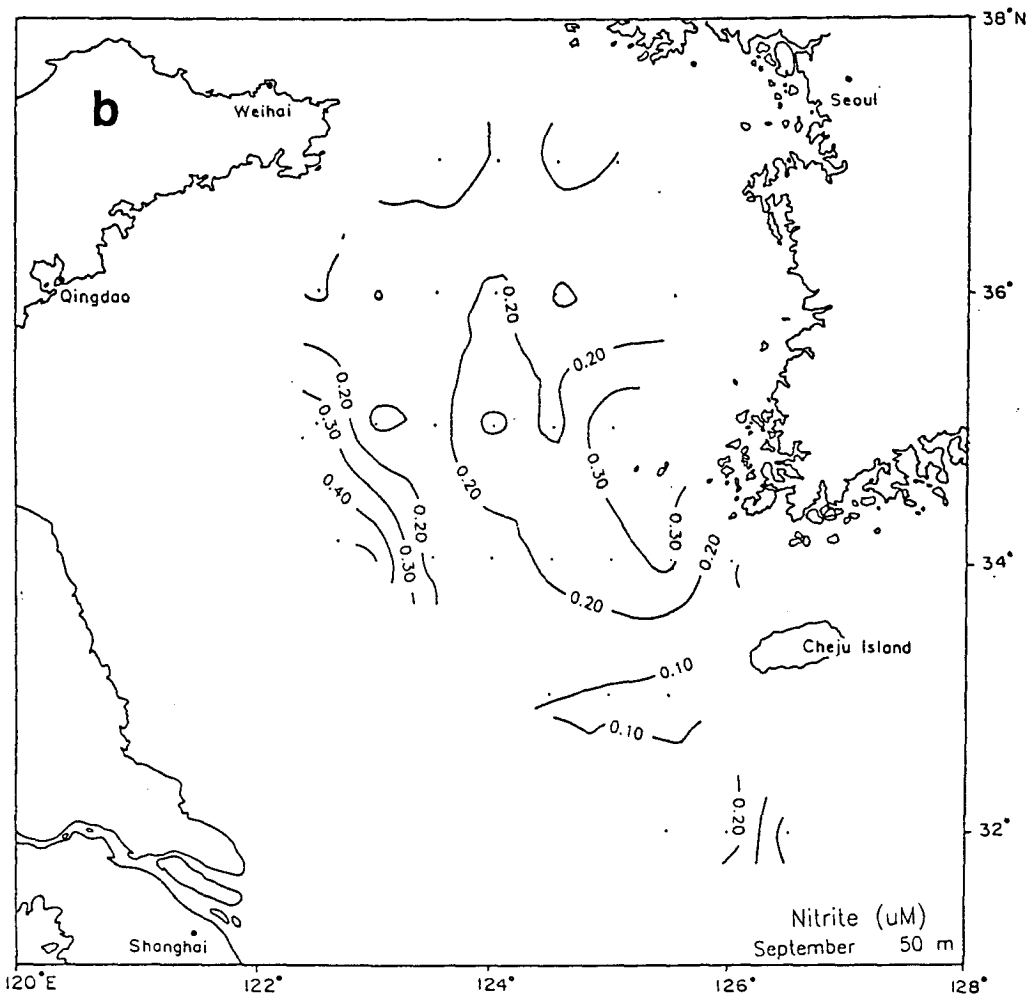


Fig. 3.12. Continued

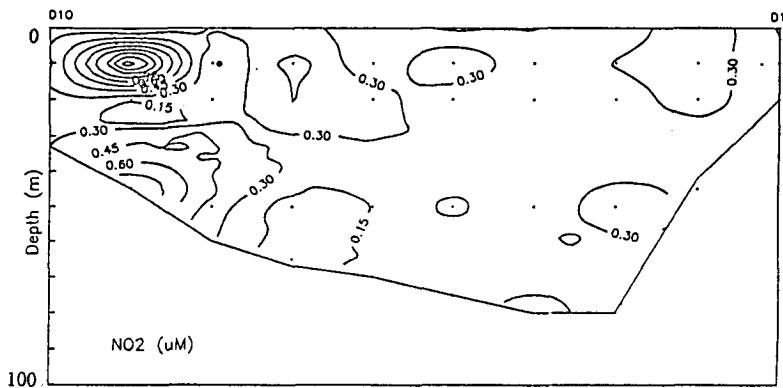
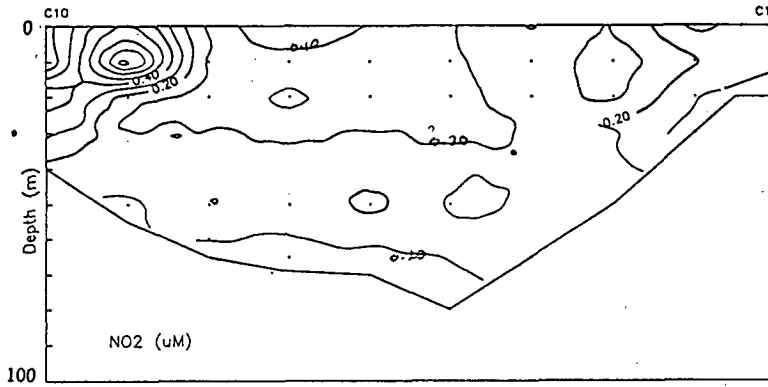
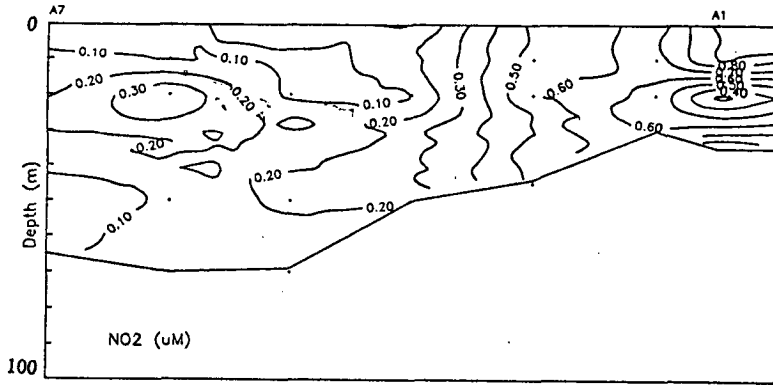


Fig. 3.13. Vertical distribution of nitrite ion( $\text{NO}_2$ ,  $\mu\text{M}$ ) in each line (YS9209)

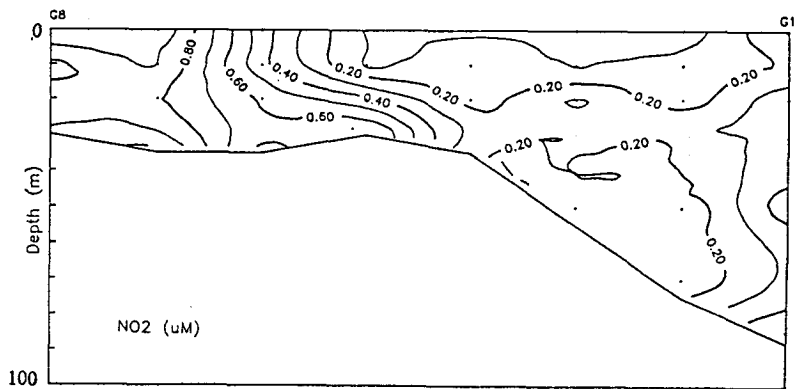
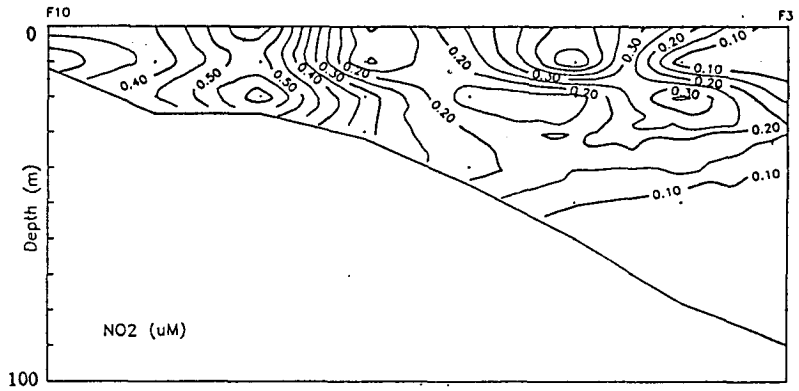
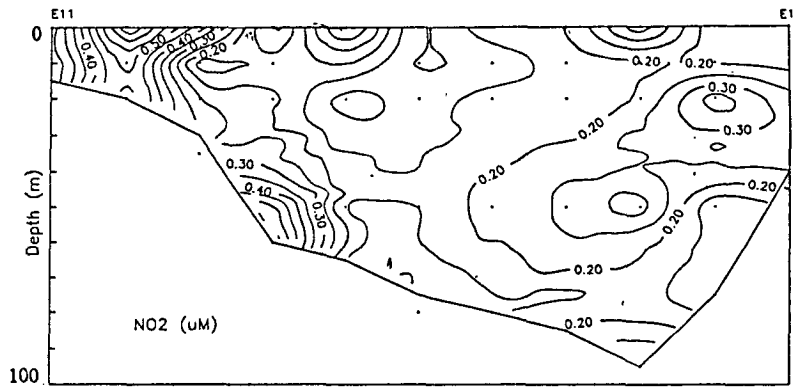


Fig. 3.13. Continued

수온약층 아래인 50m 수층에서는  $0.24\sim 1.29\mu\text{M}$  (평균  $0.71\mu\text{M}$ )의 범위로서 (Fig. 3.14b) 표층의 약 2.5배 정도의 크기를 보였다. 일반적으로 표층은 질산염 이온의 분포와 유사하게 한반도 연안부근에서 높고 황해중앙부로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 중국대륙부근에서는 표층 염분이 가장 높은 정점인 IG7에서  $1.17\mu\text{M}$ 의 높은 값을 보이면서 부근의 정점들에서  $0.4\mu\text{M}$  이상의 농도값을 보이고 있다. 수심 50m에서의 인산이온 농도분포 역시 한반도 주변과 중국대륙 주변 정점들에서 높은 농도값을 보이는 반면에 황해 중앙부해역에서는 낮은 농도값을 보이고 있다. 라인별 분포양상을 보면 질산이온의 양상과 유사하여 IA, IC, ID 라인에서는 한반도 주변에서는 활발한 수직수괴혼합으로 인하여 인산이온 농도값이 수직적으로 균일한 반면에 IE, IF, IG 라인에서는 중국대륙연안부근에서 수직적으로 균일한 농도값을 보이고 황해골(trough)인 제주도 남방쪽으로 나갈수록 수심증가에 따라 인산염이온 농도값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 질산염이온과 마찬가지로 인산염이온 또한 수온약층 상부층에서는  $0.2\mu\text{M}$  이하의 농도값을 보이지만 하부층에서는 용존산소 감소에 따라 급격히 증가하는 양상을 보인다 (Fig. 3.15).

#### 3.1.5.5. 규산( $\text{Si(OH)}_4$ )

규산 농도분포는 황해 전체적으로 표층에서  $0.18\sim 11.31\mu\text{M}$  (평균  $3.44\mu\text{M}$ )이고, 수온약층 아래인 50m 수층에서  $1.02\sim 13.4\mu\text{M}$  (평균  $6.84\mu\text{M}$ )의 범위로서 표층의 약 2배 정도의 크기를 보였다 (Fig. 3.16). 수평분포는 암모니아이온과 유사한 분포로서 한반도와 중국대륙 다른 영양염들의 농도분포와 비슷하여 한반도 주변과 중국대륙 주변 정점들에서 육수의 영향으로 높은 농도값을 보이는 반면에 황해 중앙부 해역에서는 일반적으로  $2\mu\text{M}$  이하의

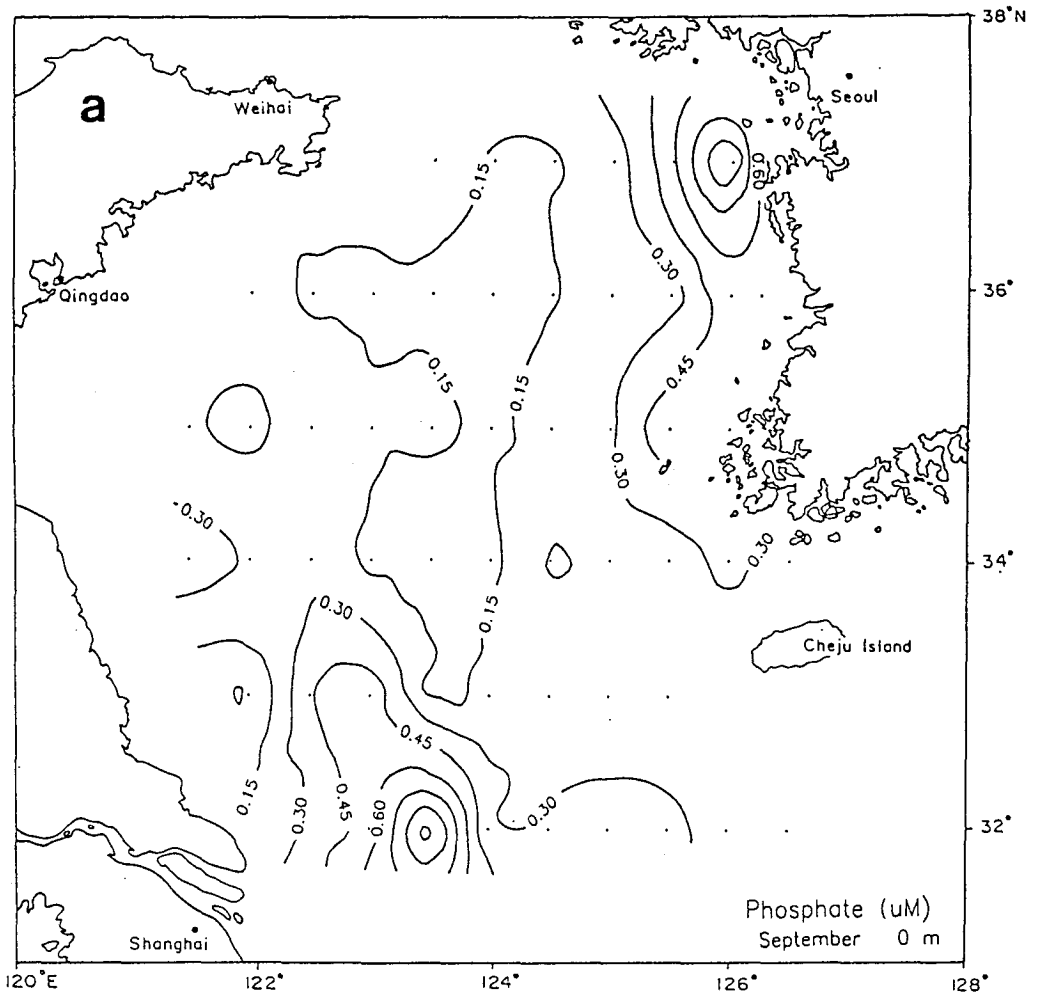


Fig. 3.14. Horizontal distribution of phosphate ion ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\mu\text{M}$ ) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)



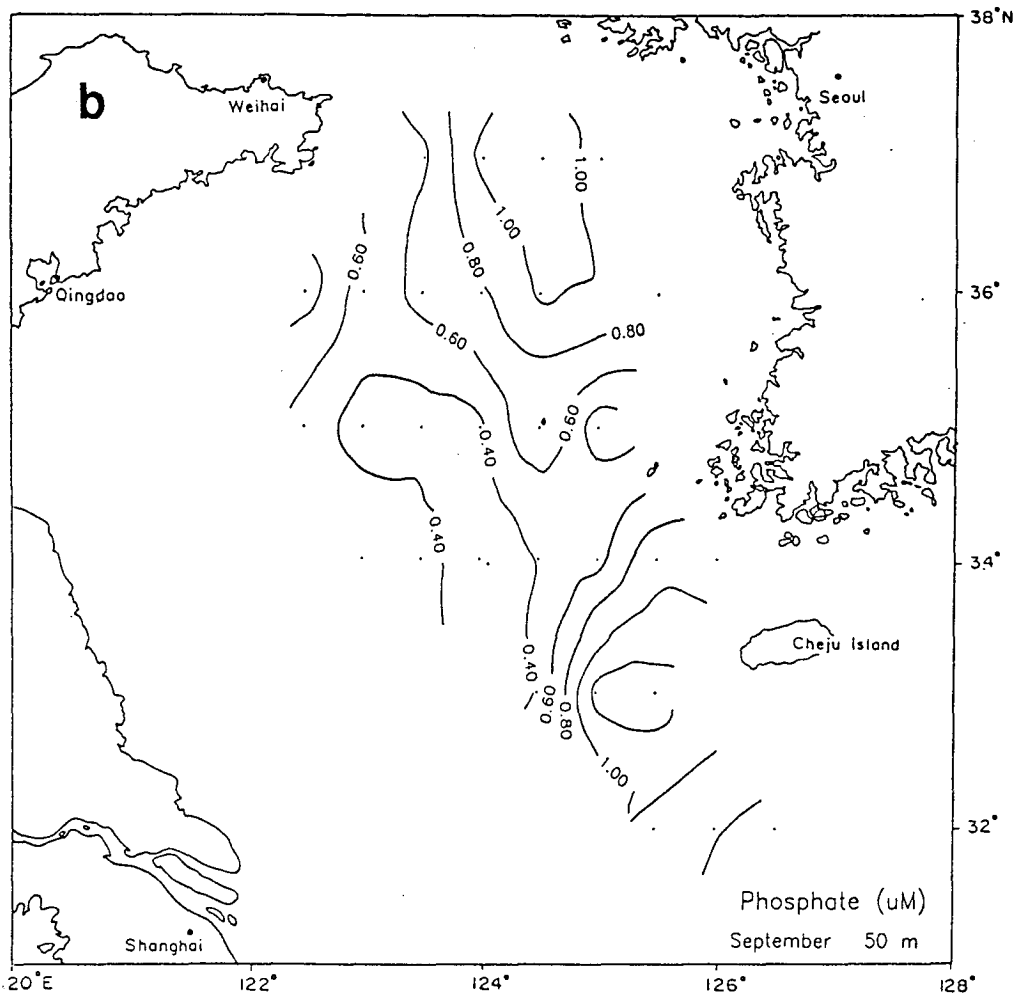


Fig. 3.14. Continued

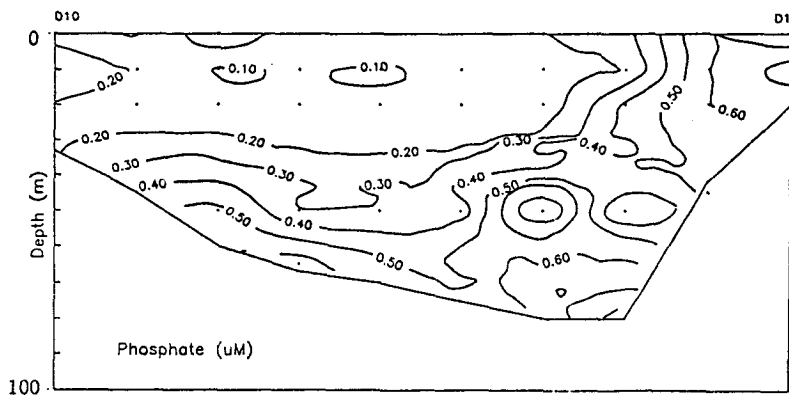
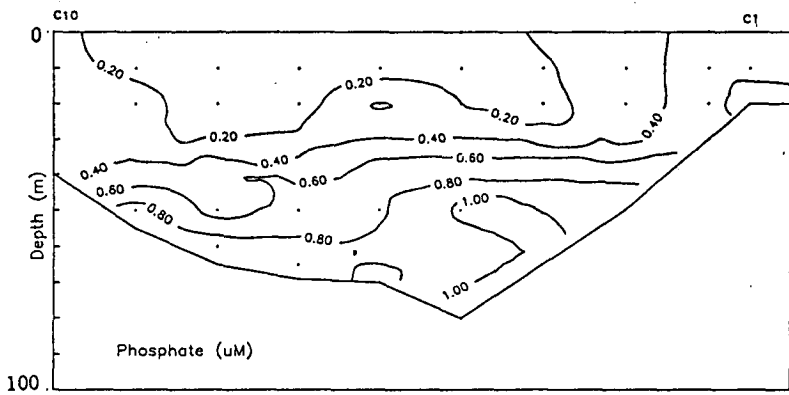
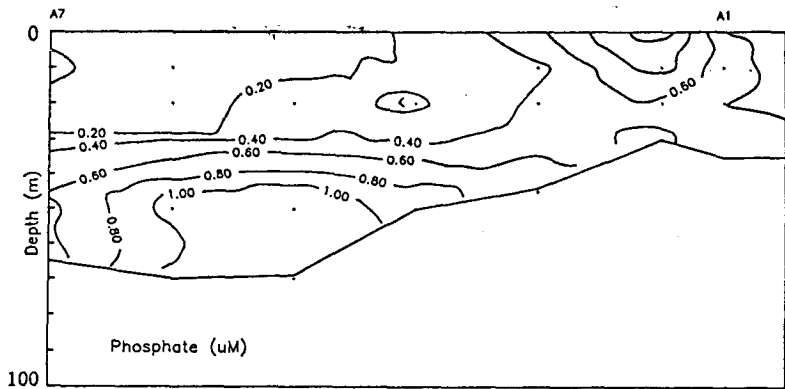


Fig. 3.15. Vertical distribution of phosphate ion ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\mu\text{M}$ ) in each line (YS9209)

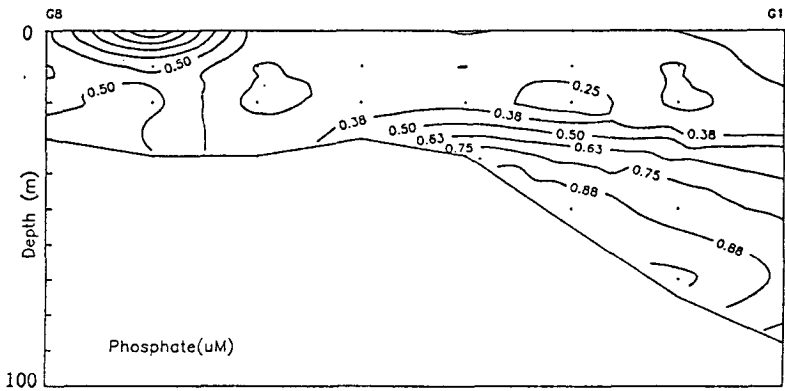
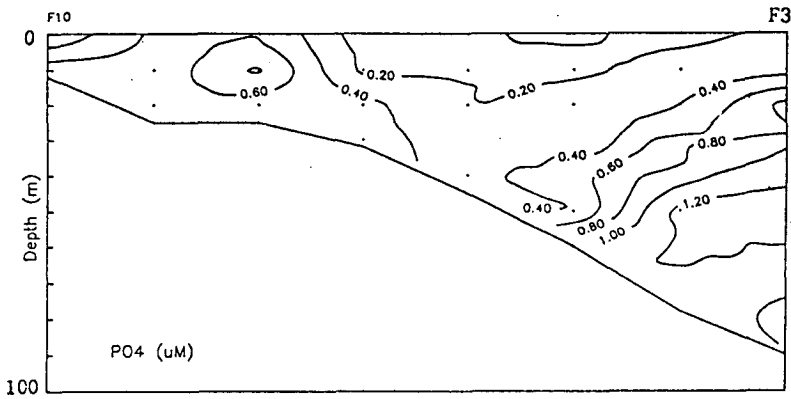
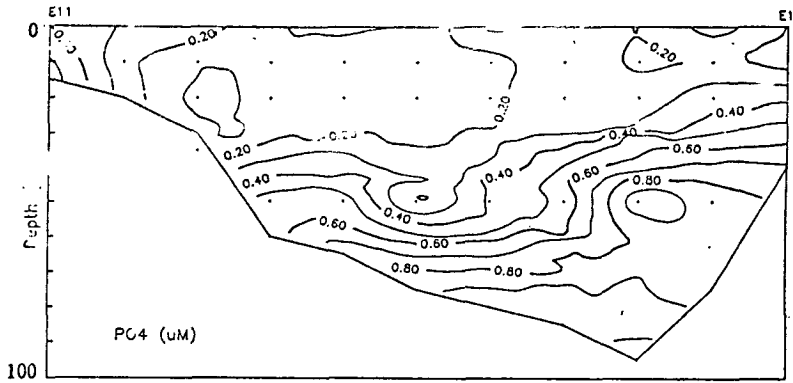


Fig. 3.15. Continued

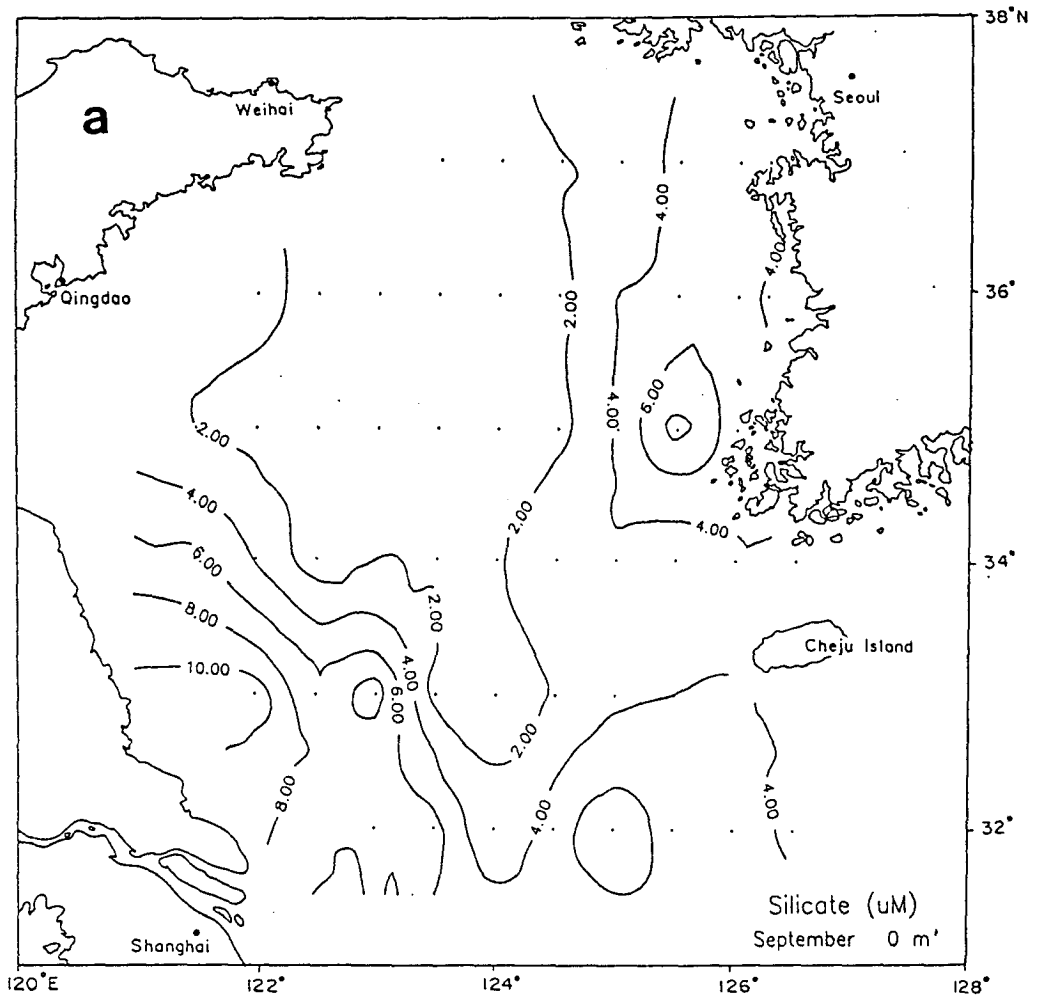


Fig. 3.16. Horizontal distribution of silicic acid ( $\text{Si(OH)}_4$ ,  $\mu\text{M}$ ) (a) at the surface water and (b) 50m depth in the Yellow Sea (YS9209)

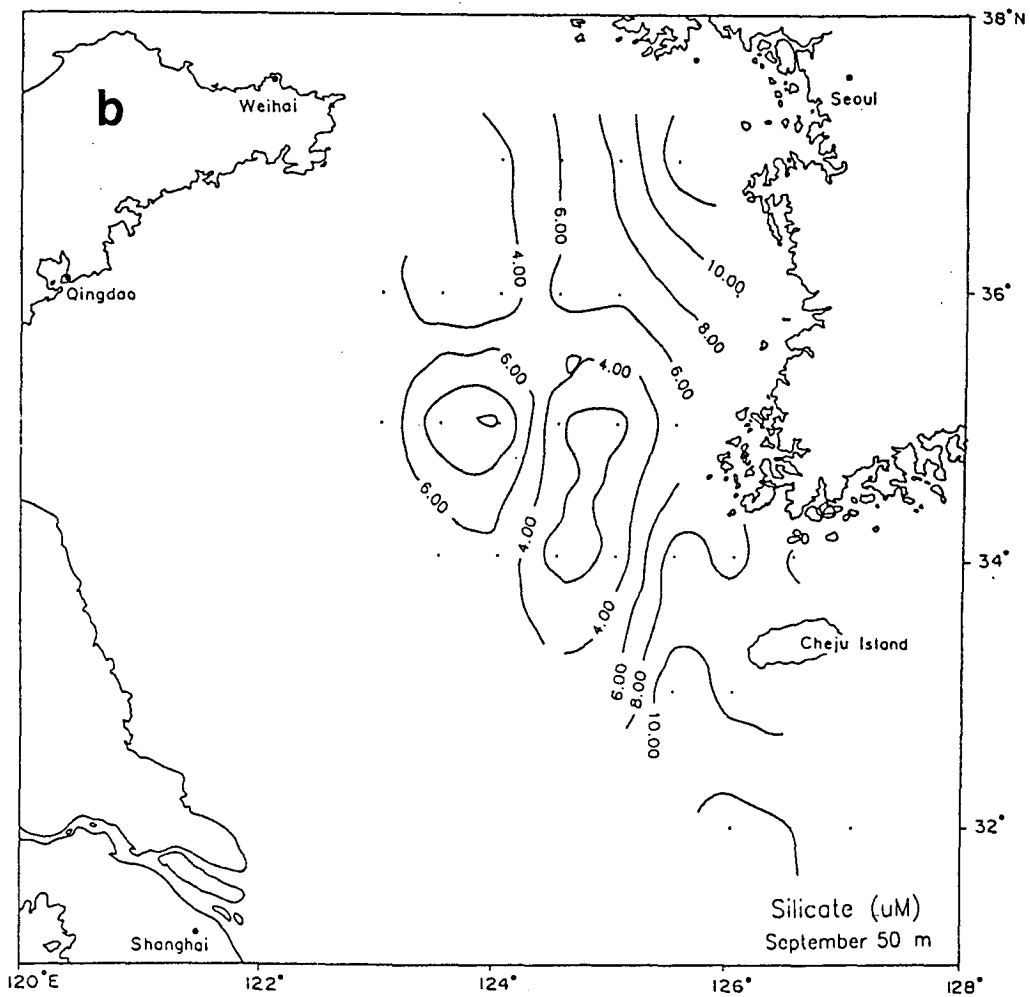


Fig. 3.16. Continued

농도값을 보이고 있다. 표층 규산염의 경우는 한반도 주변과 중국대륙 주변과는 현격한 농도차이를 보이고 있어, 한반도의 경우는  $4.5\sim 6\mu\text{M}$ 의 농도값을 보이는 반면에 중국대륙주변은  $6\mu\text{M}$  이상의 높은 농도값을 보이고 있다. 그러나 수심증가에 따라 한반도와 중국대륙 주변간의 차이는 점차 감소되는 경향을 보인다. 라인별 연직분포양상을 보면 질산이온의 양상과 유사하여 IA, IC, ID 라인에서는 한반도 주변에서는 활발한 수직수괴혼합으로 인하여 규산 농도값이 균일한 반면에 IE, IF, IG 라인에서는 중국대륙 연안부근에서 균일한 농도값을 보이고 제주남방쪽으로 나갈수록 수심증가에 따라 규산의 농도값이 증가하여 저층에서 최대값을 보인다 (Fig. 3.17).

### 3.1.6. YS 9209 해수물리특성

본 조사시기인 9월에서 10월은 여름철에 담수유입 및 해표면 가열이 심화되어 성층이 수직적으로 최고조에 달한 상태가 서서히 대륙기단으로 인한 북서계절풍의 영향으로 천해의 수온은 냉각되어 대륙적 풍성수직혼합작용이 일어나는 시기이다. 그러나 가을의 황해의 물리적 특성은 여름의 특성과 매우 가깝다. 황해는 중국대륙을 따라 남하하는 저염의 중국대륙연안수 (Chinese Coastal Water), 저층의 황해저층냉수 (Yellow Sea Bottom Cold Water), 한국서해안의 저염의 서한연안수 (West Korean Coastal Water) 및 고온 고염의 황해난류수 (Yellow Sea Warm Current Water)가 영향을 미친다. 황해저층냉수는 대륙혼합이 활발한 겨울철에 황해난류와 중국대륙연안수의 혼합에 의하여 만들어져 여름철에 변질되지 않은 상태로 수온약층아래에서 남으며, 황해난류는 북상하는 동안 저층의 황해냉수와 혼합되어 그 성격이 변한다(Lie, 1984). 서한연안수는 일반적으로 대만난류수보다는 염분이 낮지만 중국대륙연안수보다는 높다. 황해의

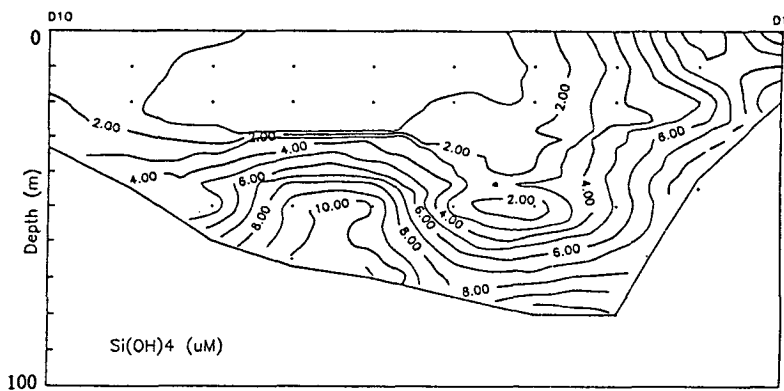
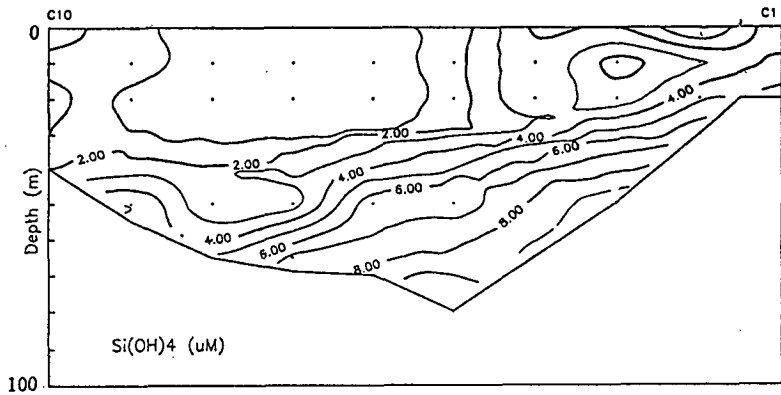
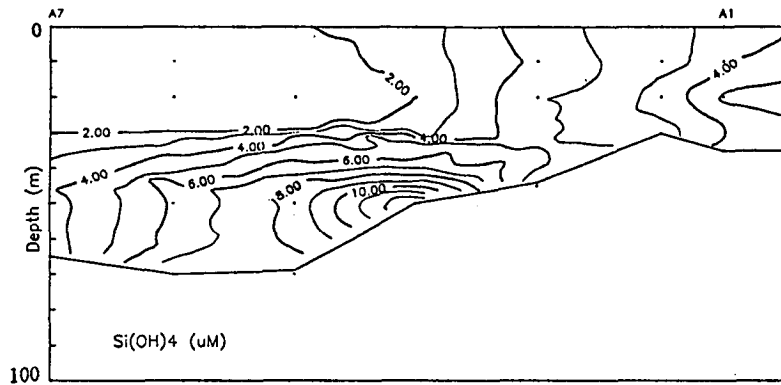


Fig. 3.17. Vertical distribution of silicic acid ( $\text{Si(OH)}_4$ ,  $\mu\text{M}$ ) in each line (YS9209)

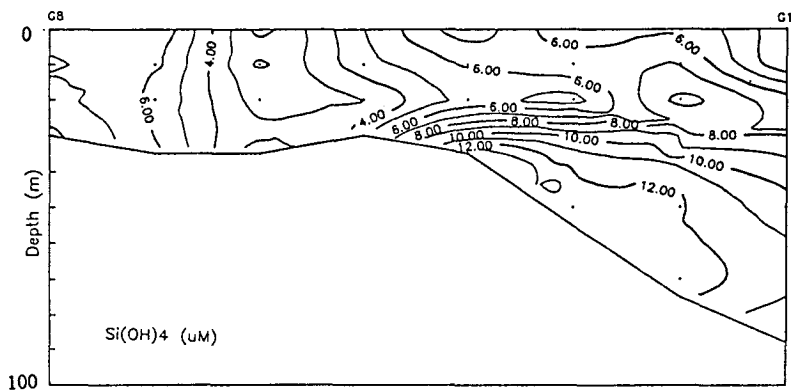
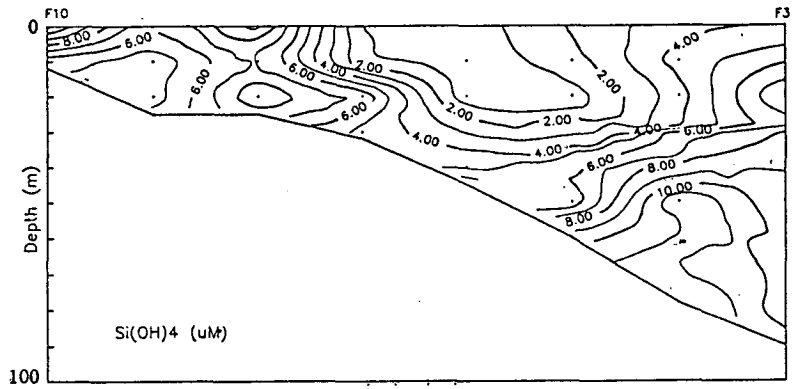
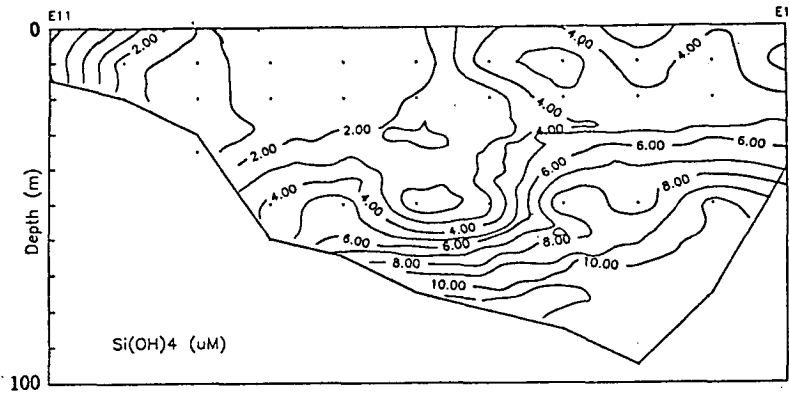


Fig. 3.17. Continued



수괴를 구성하는 주요성분을 표1에 나타내었다. 황해의 표층순환은 계절풍계, 쿠로시오 및 황해의 복잡한 지형에 상당히 좌우되고 있음이 인공위성 사진을 통해 밝혀진바 있다(Huh, 1982).

T-S Diagram의 분포에서 보면 수괴는 표층의 고온저염수와 저층의 저온고염수로 뚜렷하게 구분할 수 있다 (Fig. 3.18). 이를 근거로 보면 황해북부해역 및 중앙해역의 저층수는 겨울철의 표층의 해수성질을 그대로 간직하여 저온고염인 황해저층냉수로 볼 수 있고, 남부해역은 고온고염의 황해난류로서 추정된다. 본 조사기간 동안에는 염분의 분포가 한반도 연안에서 중국연안쪽으로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 한국의 연안에서는 낮은 수심과 활발한 조류운동으로 수직혼합이 활발하여 저층 고염의 해수가 한반도 연안에 영향을 주고있고, 중국 연안에는 발해만에서 저염화된 해수 및 연안의 담수가 중국연안을 따라 남하하기 때문이라 추정된다. 이러한 흐름은 이미 여러 학자들에 의해 밝혀진 바 있다(Milliman et al., 1986).

### 3.1.7. YS 9209 용존산소

해수내에서 용존산소의 분포는 해양에서 일어나고 있는 생화학적 구조특성을 나타내어 생화학적 구조를 분석하고, 해양환경의 질(quality)을 분석하는데 있어서 중요한 지표의 하나로서 이용할 수 있다.

본 조사기간중 황해의 표층 용존산소 포화도의 분포양상은 북부해역의 A라인에서 130% 이상의 과포화를 보인 반면에 남쪽으로 내려올수록 점차 감소하는 경향을 보여 IF, IG 라인인 100% 이하로 용존산소가 불포화되어 있다. 표층과 마찬가지로 저층의 분포양상도 IA, IC 라인에서 100% 내외의 포화도를 보이다가 남쪽으로 내려올수록 감소하여 G라인은 낮은 수심으로 표, 저층의 수직혼합이

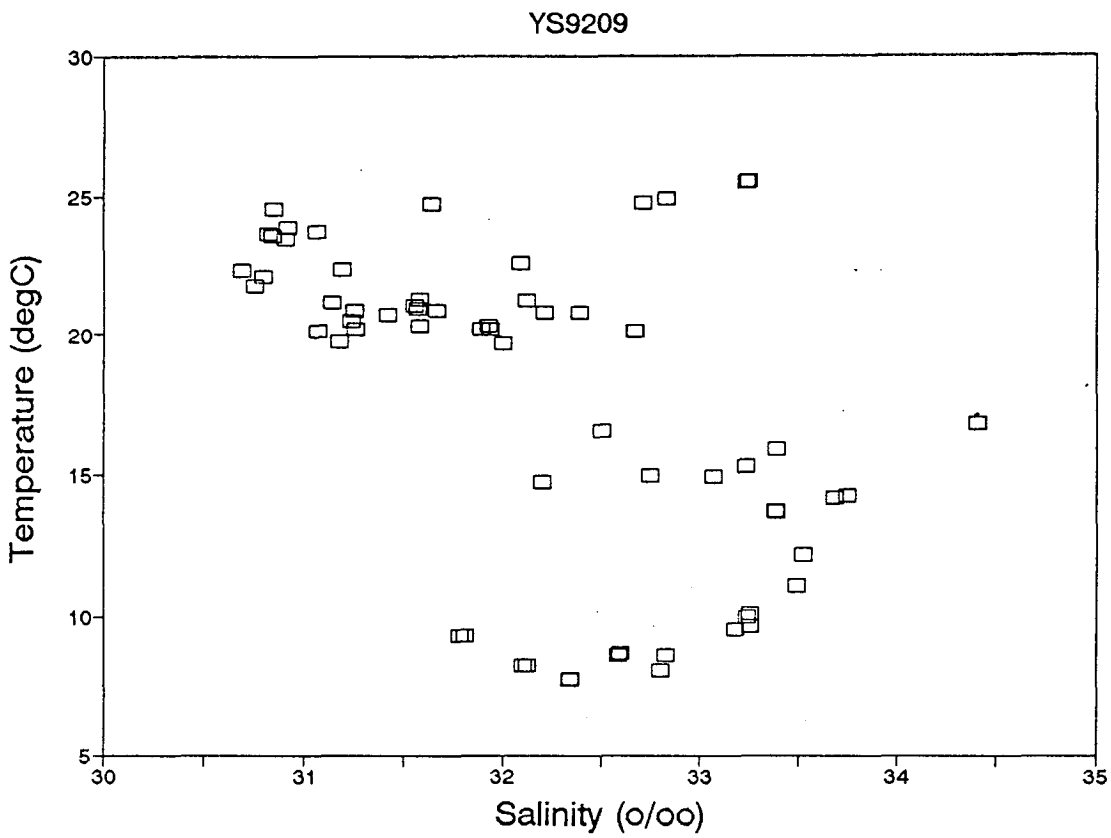


Fig. 3.18. T-S diagram of YS9209

활발한 중국연안해역을 제외하고는 대부분의 정점들이 약 60% 내외로 상당히 불포화 되어있다.

일반적으로 표면혼합층에서의 용존산소 포화도는 파도에 의한 공기의 포집(entrainment)으로 인해 약 10% 정도의 과포화 상태를 보인다. 또한 표면혼합층에서의 용존산소 함량은 바람의 세기, 바람부는 기간, 그리고 기초생산력등에 의하여 공급되는 산소플럭스와 해수중이나 해저면에서의 유기물의 산화시에 소모되는 플럭스간의 차이로서 결정이 된다(Peng and Broecker, 1984; Chung et al., 1991). 자연적인 조건에서는 용존산소와 pH는 유기물의 생성과 분해와도 연관되어 있으나 수온과 염분의 해수 물리특성에 의하여 주로 지배된다. 본조사해역에서도 수온과 용존산소간의 관계가 양호한 음의 상관관계( $r=-0.70$ )를 보임으로서 수온과 밀접한 관계를 가지고 있음을 알수있다.

### 3.1.8. YS 9209 영양염 역학

해양에서 영양염류는 그 분포가 해류의 혼합과 운반에 의하여 영향을 받을 뿐만 아니라 생물과정에 의해서도 영향을 받기 때문에 이값을 보정한 기존영양염값 (preformed nutrients)을 이용하여 최근 많은 연구자들이 여러 수괴를 추적하기 위하여 관심의 대상이 되고 있다(Broecker, 1974; Carder et al., 1977; Naqvi and Sen Gupta, 1985). 그러므로 이러한 영양염류를 이용하여 한국연안수, 황해난류수 및 중국대륙연안수등 여러가지 수괴가 섞여 복잡한 양상을 보이는 황해환경에서의 수괴특성파악과 해수순환을 밝히는 추적자로서 매우 유용하게 이용될 수 있다.

황해의 영양염유입은 3가지 주요 공급원으로서 강의 유출, 저층에서의 재생 및 대양수(쿠로시오)의 유입으로 나눌 수 있다. 황해로의 대양수 영양염 유입은 이미

밝혀진 바와 같이(Chung et al., 1991; KORDI, 1992) 본 조사기간동안에도 저층에서는 남쪽에서 북쪽으로 수평적 농도경사 구배양상을 보여 일부의 영양염이 대양수에서 공급받고 있음을 보여주고 있다. 인근 육지로 부터 담수공급에 의한 영양염 유입은 중국대륙과 한반도가 미치는 영향이 거의 대등한 수준일 것이라고 추정된바 있다(KORDI, 1992). 황해로 유입되는 영양염류에 대한 연구도 차후 세밀한 분석을 통해 세련화 되어질 것이다.

### 3.1.9. YS 9209 안정성 동위원소 $\delta^{18}O$ 을 이용한 황해수괴 분포

일반적으로 여름철에 담수 또는 강우 등의 영향으로 황해의 염분은 다른 계절에 비해 다소 낮아지며, 본 연구에서도 황해 전반에 걸쳐 33 ‰ 이하의 낮은 염분분포를 보였다.

황해에는 4 ~ 5개의 수괴가 존재하는 것으로 알려져 있으며, 이들 수괴중에서 황해 냉수는 황해의 중앙부의 저층에, 황해 난류수는 황해 남쪽에, 중국 대륙 연안수와 한반도 연안수는 중국 대륙과 한반도의 연안을 따라 분포하는 것으로 알려져있다. 양자강 희석수는 여름철에 국한하여 황해의 남부, 제주도 서쪽에 나타나지만 본 연구에서는 발견되지 않았다.

고전적인 수괴 분석 방법인, 수온, 염분을 이용하여 본 연구에서 관측된 수괴를 살펴보면, 황해 중앙부 수심 50m 이하에 존재하는 황해 냉수와, 황해 남쪽에 일부 분포하는 황해난류수, 한반도 연안을 따라 분포하는 한반도 연안수, 및 중국대륙 연안수이다. 본 연구에서 관측한 정점의 수온-염분 특성을 그림 3.18에 도시하였다.

표층 해수의 염분의 수평적인 분포를 살펴보면, 산동반도의 남쪽에서부터 황해의 동남부를 향하여 저염이 대상으로 분포하며, 정점 IG6, IG7, IG8부근과

정점 IF3부근에서 가장 고염이 분포한다 (Fig. 3.2). 이러한 분포는 Beardsley et al.(1985)에 의해 제안된 황해의 해류분포 (Fig. 3.19)와 잘 일치한다. 그러나, 본 연구의 결과로는 정점 IG1, IF3에 나타나는 고염의 해수와 정점 IG6, IG7, IG8에 나타나는 고염의 해수는 수온, 염분의 특성상 동일한 수괴로 보기에 다소의 어려움이 있다.

이들 수괴의  $\delta^{18}\text{O}$  자료를 살펴보면, 수평적인 분포는 대체로 염분의 수평적 분포와 일치하며 (Fig. 3.7), 염분과의 상관 관계도 대체로 직선적인 관계를 보인다 (Fig. 3.20). 이로 미루어 황해의 해수는 고염의 end-member와 저염의 end-member의 혼합으로 볼 수 있으며, 염분이 가장높은 해수는 정점 IG1과 IF3 저층에서 발견되었으며  $\delta^{18}\text{O}$  값은 각각 -0.7, 0 ‰ 이었다. 정점 IG1의 경우에는 본 연구에서 보이는 혼합 양상과는 동떨어진 관계를 보이지만, 정점 IF3의 경우에는 본 연구에서 관측된 혼합 양상의 최고염역에 위치한다. 저염의 end-member는 정점 IE11, IF10등 중국 대륙 연안에 가까운 지역에서 나타났으며, 이들의 염분,  $\delta^{18}\text{O}$  값은 각각 31 ‰ 이하와, -1 ‰ 이하로 나타났다.

염분,  $\delta^{18}\text{O}$ 의 관계에서 보면, 전반적으로 고염, 고 $\delta^{18}\text{O}$ 의 수괴와 저염, 저 $\delta^{18}\text{O}$ 의 수괴의 혼합으로 볼 수 있다. 고염의 수괴는 분포하는 지역과 수온, 염분의 자료로 미루어 황해난류수로 생각되며, 저염의 수괴는 중국대륙연안수로 생각된다.

황해의 저염의 기원은 황해로 유입되는 하천수 유입에 의한 것이라는 것은 의심의 여지가 없다. 따라서, 본 연구에서 얻어진 결과와 황해로 유입되는 하천수  $\delta^{18}\text{O}$ 자료와 비교하여 보았다. 황해로 유입되는 비교적 큰 강은 양자강, 황하, 압록강, 한강으로 볼 수 있다. 황하와 양자강 하구의  $\delta^{18}\text{O}$ 자료는 Zhang(1990)에 의해 알려져 있으나 한반도로부터 황해로 유입하는 하천수의  $\delta^{18}\text{O}$  end member값이 알려져 있지 않다.

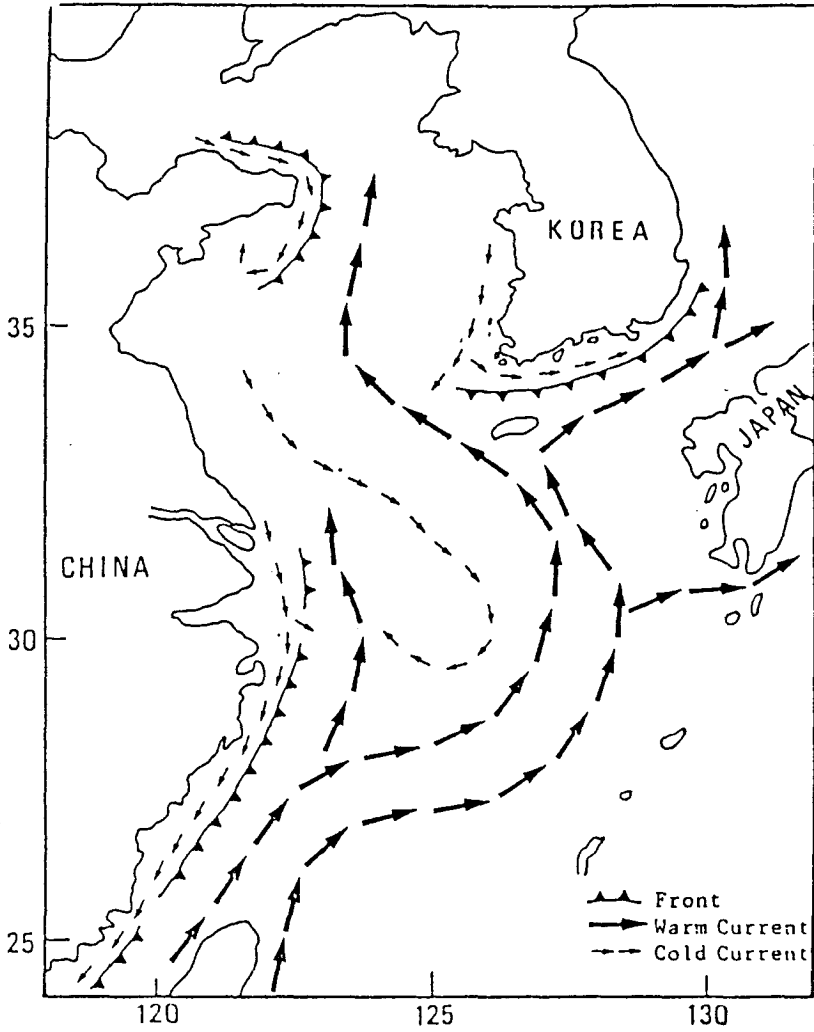


Fig. 3.19. Schematics of regional circulation in the Yellow Sea.

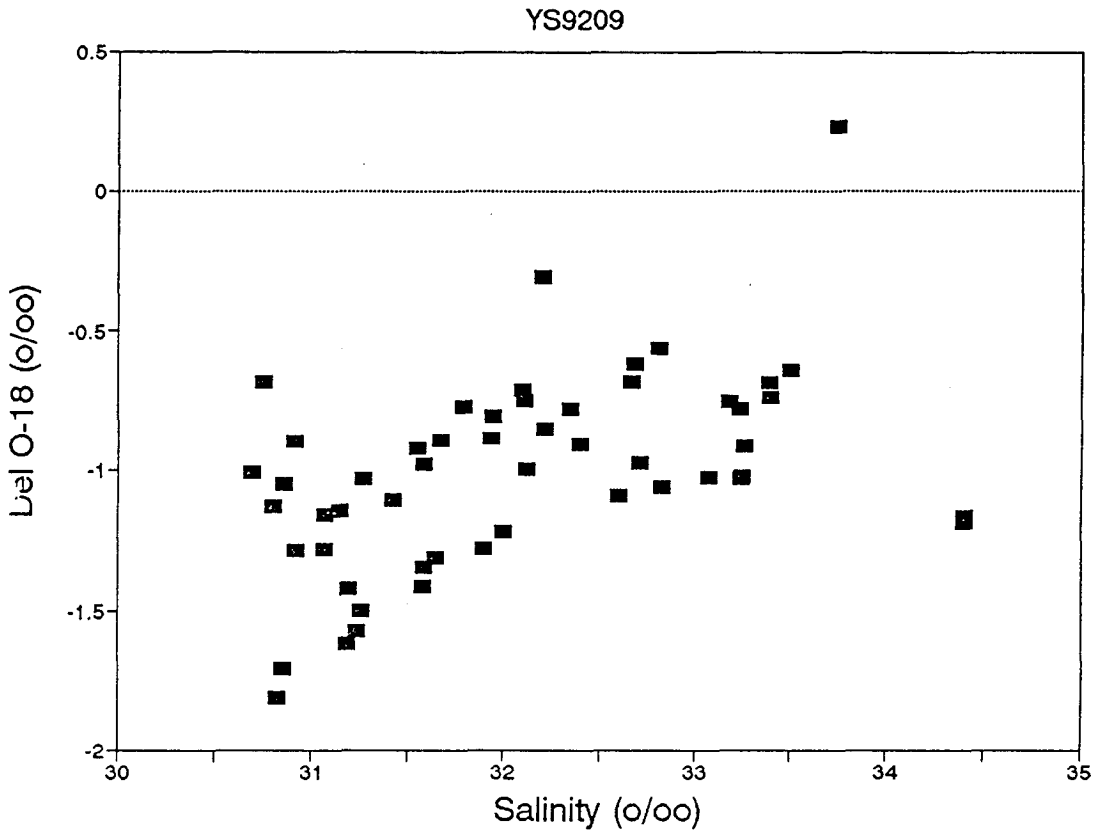


Fig. 3.20. Salinity versus  $\delta^{18}\text{O}$  in YS9209

1992년 9월 황해조사 관측시에 관측된 저염의 해수는 대체로 중국대륙쪽에 치우쳐 분포하고, 양자강에 가장 가까운 정점에서 조차도 양자강의 영향을 받았으리라고 예상되는 저염의 해수가 전혀 발견되지않아, 황하의 자료만을 본 연구의 자료와 비교하였다.

염분과  $\delta^{18}O$ 의 상관관계에서 본 연구의 자료는 황하의 mixing line(Zhang, 1990)의 범위내에 존재하며, 정점 IA1을 비롯한 몇개의 정점은 이러한 mixing-line에서 벗어난다.



### 3.2. YS 9302 관측결과 및 토의

황해 해역의 동계 해황을 파악하기 위하여 93년 2월 4일 에서 10일 동안에 걸친 해수의 물리, 화학, 생물학적 특성조사 결과는 다음과 같다. 자료는 Table 3.2에 수록하였다.

#### 3.2.1. 관측선 D

양자강 입구 (정점 D1, 32°00'N, 123°00'E)에서 한반도 서남단 해역 (정점 D11, 34°10'N, 125°54'E)를 연결하는 관측선으로 황해입구를 망라한다.

##### 3.2.1.1. 일반 해황 (수온, 염분)

관측선 D의 수온, 염분의 분포는 Fig 3.21과 같다.

수온 : 황해 중앙부 (정점 D7 부근)에서 12.5°C로 가장 높고 양쪽 해안으로 갈수록 감소하나 한반도쪽 (D11)에서는 8°C 이하이고 중국측 (D1)에서는 9°C 이다. 황해의 동계해황의 특성으로서 전수층이 수온에 관하여 수직적으로 균일하다.

염분 : 염분은 수온의 분포 형태와 같이 전해역에 걸쳐서 수직적으로 균일하다. 황해 중앙부 (정점 D7-D6)부근에서 34.20%의 고염 해수가 존재하고 양쪽 해안으로 접근할수록 염분이 감소한다. 한반도쪽 (D11)에서는 33.20%이나 중국측 (D1)에서는 32.00%이다.

밀도 : 염분의 분포와 마찬가지로 중앙부 (St. D7-D8)에서 25.95 이상으로 가장 높고 양해안 으로 향하여 낮아진다. 중국측 천해부에서 25.05이하로 가장

Table 3.2 . Biogeochemical data in the mouth of the Yellow Sea(Feb. 1993)

STN#	DEPTH(m)	Temp. (C)	salinity (‰)	Sigma-t	% light	BAC (1/m)	fluoresc arbitrary	DO (ml/l)	DO (uM)	DO (%)	pH	NH4 (uM)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	PO4 S(OH)4 (uM)	SS (mg/l)	
B4	0	8.02	32.83	25.61	86.95	2.80	0.46	8.44	376.79	126.06	7.942	1.20	0.15	4.11	0.76	10.88	1.80
	10	8.04	32.82	25.60	86.85	2.82	0.88	8.49	378.84	126.78	7.977	1.52	0.15	4.17	0.60	5.61	1.50
	20	8.04	32.82	25.60	86.72	2.85	0.84	8.42	376.07	125.86	7.978	1.95	0.14	3.86	0.69	7.96	1.40
	30	8.04	32.82	25.60	86.59	2.88	0.86	8.45	377.15	126.22	7.975	1.82	0.13	3.62	0.74	7.88	1.80
	50	8.05	32.82	25.60	85.59	3.11	0.93	8.46	377.76	126.45	7.972	2.15	0.10	2.80	0.10	6.02	2.70
	75	8.05	32.82	25.60	84.41	3.39	0.95	8.47	378.27	126.63	7.973	2.43	0.14	3.92	0.63	6.02	5.70
B5	0	8.35	32.76	25.50	86.69	2.86	0.43	8.63	385.28	129.80	7.977	1.46	0.12	3.26	0.38	6.58	1.50
	10	8.44	32.81	25.53	86.15	2.98	0.94	8.46	377.77	127.58	7.986	1.07	0.12	3.26	0.81	6.02	1.80
	20	8.48	32.83	25.54	85.76	3.07	0.98	8.48	378.50	127.94	7.988	1.10	0.14	3.86	2.95	6.16	2.30
	30	8.48	32.83	25.55	85.37	3.16	0.98	8.40	375.00	126.76	7.985	1.52	0.10	2.65	3.12	7.55	2.20
	50	8.48	32.84	25.55	81.61	4.06	0.91	8.44	376.76	127.36	7.983	1.83	0.13	3.56	0.10	6.30	6.30
	75	8.48	32.85	25.55	68.57	7.55	1.24	8.35	372.61	125.96		1.11	0.11	3.10	1.70	5.05	10.40
C1	0	7.01	32.09	25.17	75.59	5.60	2.97	6.21	277.07	90.11	8.175	0.03	0.03	0.83	0.99	0.34	19.10
C2	0	9.59	33.08	25.56	84.88	3.28	0.62	8.31	370.91	128.76	8.054	0.01	0.00	0.22	0.99	7.69	3.40
	10	9.58	33.09	25.58	84.08	3.47	0.96	8.33	371.81	129.06	8.071	0.01	0.06	1.80	0.99	5.89	8.40
	20	9.67	33.13	25.59	81.00	4.21	1.11	8.43	376.48	130.96	8.073	0.01	0.12	3.26	0.10	6.77	13.90
	30	9.67	33.13	25.59	79.40	4.61	1.17	8.79	392.38	136.49	8.073	0.02	0.18	4.77	0.63	6.99	28.70
C3	0	10.46	33.50	25.75	82.61	3.82	0.65	8.29	369.90	131.23	8.061	2.86	0.14	3.71	0.78	10.93	2.30
	10	10.30	33.51	25.78	81.90	3.99	0.95	8.25	368.50	130.29	8.071	1.37	0.13	3.50	0.54	8.38	5.80
	20	10.33	33.52	25.78	79.34	4.63	0.90	8.39	374.72	132.58	8.073	2.39	0.14	3.80	0.78	7.83	6.30
	30	10.34	33.52	25.78	75.97	5.50	0.96	8.28	368.97	130.59	8.075	1.52	0.15	4.23	0.81	7.69	6.90
	50	10.33	33.52	25.78	71.34	6.75	1.11	8.48	378.69	134.01	8.069	2.47	0.13	3.62	0.10	6.99	9.90
	75	10.32	33.51	25.78	70.69	6.94	1.13	8.32	371.37	131.38		1.75	0.12	3.26	0.81	7.83	8.90
C4	0	11.22	33.86	25.89	80.72	4.28	0.71	8.23	367.26	132.77	8.082	0.88	0.16	4.47	0.79	10.85	4.50
	10	11.01	33.84	25.91	80.97	4.22	0.84	8.21	366.72	131.97	8.094	2.54	0.16	4.41	0.79	8.94	4.20
	20	10.97	33.85	25.92	80.13	4.43	0.67	8.14	363.47	130.68	8.099	3.74	0.09	2.50	0.85	7.96	10.90
	40	11.05	33.87	25.93	78.07	4.95	0.68	8.13	363.15	130.80		2.23	0.08	2.35	0.70	8.10	16.20
	55	11.29	33.97	25.96	63.75	9.00	0.78	8.15	363.81	131.83		1.67	0.14	3.92	0.10	9.35	27.50
	66	11.30	33.98	25.96	57.81	10.96	0.94										

STN#	DEPTH(m)	Temp. (C)	salinity (o/oo)	Sigma-t	% light	BAC (1/m)	fluores (arbitrary)	DO (ml/l)	DO (uM)	DO (%)	pH	NH4 (uM)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	SS (mg/l)
C5	0	11.15	33.95	25.89	81.44	4.11	0.75	8.15	364.04	131.41	8.070	1.88	0.12	3.20	0.97	10.18	3.30
	10	11.29	33.91	25.91	79.95	4.48	0.78	8.03	358.48	129.84	8.097	1.96	0.11	3.10	0.83	7.69	13.80
	20	11.25	33.91	25.92	77.26	5.16	0.64	8.07	360.16	130.32	8.100	1.55	0.09	2.41	0.63	6.02	7.90
	30	11.24	33.91	25.92	71.99	6.57	0.70	8.03	358.66	129.77	8.105	2.33	0.07	1.98	0.81	6.44	8.60
	50	11.24	33.91	25.92	67.59	7.83	0.76	8.08	360.67	130.49	8.105	1.45	0.11	2.92	0.10	8.10	12.00
	70	11.23	33.90	25.92	58.67	10.66	0.91	8.08	360.83	130.52	8.100	2.48	0.14	3.80	0.72	8.38	
C6	0	9.61	33.28	25.72	84.35	3.40	0.93	8.49	379.11	131.82	8.057	2.39	0.14	3.86	0.63	8.52	2.80
	10	9.77	33.34	25.74	83.01	3.72	0.86	8.51	379.90	132.62	8.057	2.60	0.17	4.62	0.54	8.66	2.40
	20	9.87	33.38	25.75	81.98	3.97	0.69	8.36	373.06	130.54	8.066	2.47	0.10	2.65	0.67	6.16	2.90
	30	9.99	33.42	25.76	81.92	3.99	0.67	8.00	357.31	125.40	8.066	1.09	0.15	4.02	0.90	7.96	3.00
	50	10.12	33.46	25.77	74.67	5.84	0.71	8.24	368.04	129.59	8.069	1.50	0.11	3.10	0.10	7.83	5.50
	75	10.13	33.46	25.77	50.42	13.70	1.10	8.24	367.86	129.53	8.068	1.47	0.14	3.86	0.78	8.66	14.20
C7	0	8.75	32.95	25.60	82.74	3.79	0.26	8.35	372.85	126.90	8.013	1.10	0.14	3.80	0.63	9.21	2.70
	10	8.75	32.97	25.61	82.93	3.74	0.65	8.40	374.78	127.58	8.021	0.57	0.13	3.56	0.72	8.80	3.30
	20	8.74	32.98	25.62	82.87	3.76	0.63	8.42	376.05	127.99	8.021	2.04	0.11	3.10	0.65	9.07	3.60
	30	8.71	32.99	25.64	83.13	3.70	0.62	8.43	376.15	127.96	8.025	2.25	0.14	3.86	0.76	9.49	3.10
	50	8.90	33.18	25.75	83.94	3.50	0.58	8.40	375.13	128.31	8.021	1.30	0.09	2.41	0.10	7.27	3.30
	75	10.01	33.49	25.81	51.20	13.39	0.90	8.23	367.26	129.01	8.059	1.13	0.13	3.56	0.81	8.24	19.20
D1	0	8.72	32.11	24.95	39.79	18.43	0.78	8.25	368.11	124.54	8.092	0.16	0.24	6.44	0.63	12.59	39.31
	10	8.76	32.13	24.95	32.02	22.78	1.52	8.02	358.09	121.28	8.117	0.69	0.12	3.32	0.34	11.15	76.78
	20	8.76	32.13	24.95	30.08	24.03	1.63	7.78	347.15	118.30	8.117	0.01	0.20	5.38	0.56	11.85	86.98
	30	8.79	32.14	24.96	27.12	25.99	1.76	7.97	355.79	120.58	8.121	0.01	0.20	5.38	0.52	8.94	55.04
D2	0	9.02	32.13	24.92	45.83	15.60	0.82	7.01	313.06	106.66	8.102	0.26	0.19	5.08	2.95	11.57	30.84
	10	9.03	32.13	24.91	38.00	19.35	1.31	8.20	365.85	124.66	8.107	0.63	0.10	2.65	1.52	10.88	43.09
	20	9.03	32.13	24.91	28.37	25.20	1.48	7.78	347.15	118.30	8.117	0.01	0.14	3.86	2.59	13.37	42.84
	30	9.04	32.13	24.91	27.12	26.10	1.69	7.54	336.50	114.67	8.114	1.52	0.11	3.10	2.41	10.65	52.21
D3	0	8.54	31.68	24.63	26.38	26.65	0.85	9.02	402.73	135.32	8.100	0.90	0.20	5.53	0.81	15.37	55.80
	10	8.47	31.72	24.68	22.84	29.53	1.70	8.90	397.44	133.38	8.103	0.35	0.16	4.47	0.63	13.93	96.33
	20	8.46	31.72	24.68	16.84	35.63	1.70	9.07	405.08	135.91	8.103	0.94	0.17	4.62	0.81	9.21	91.04
	30	8.46	31.72	24.68	16.16	36.45	1.83	8.70	388.44	130.31	8.102	0.86	0.10	2.71	0.67	10.88	73.84

STN#	DEPTH(m)	Temp. (C)	salinity (g/100)	Sigma-t	% light	BAC (1/m)	fluores (arbitrary)	DO (ml/l)	DO (uM)	DO (%)	pH	NH4 (uM)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	SS (mg/l)
D4	0	9.00	32.59	25.27	46.03	15.52	1.06	7.50	334.91	114.37	8.119	0.01	0.07	1.98	0.95	6.66	30.60
	10	8.99	32.59	25.27	38.18	19.26	1.20	6.78	302.90	103.42	8.117	0.01	0.08	2.19	0.81	5.89	46.54
	20	8.99	32.58	25.27	37.27	19.74	1.46	8.60	383.95	131.08	8.118	0.02	0.05	1.44	0.81	5.89	60.13
	30	8.97	32.57	25.27	25.41	27.40	1.72	8.44	376.83	128.58	8.122	0.02	0.09	2.50	0.63	5.66	75.00
D5	0	11.45	34.02	25.97	63.35	9.13	0.72	8.56	382.33	139.05	8.180	0.02	0.11	2.95	0.63	10.71	14.19
	10	11.46	33.99	25.94	58.18	10.83	0.95	8.65	386.21	140.46	8.162	0.24	0.08	2.35	0.67	6.61	22.82
	20	11.47	33.99	25.94	55.32	11.84	0.89	8.58	383.05	139.32	8.162	0.01	0.07	2.04	0.54	6.16	22.75
	30	11.47	33.99	25.94	54.05	12.31	1.01	8.63	385.37	140.17	8.168	0.01	0.11	2.95	0.81	8.10	29.50
50	11.46	33.98	25.94	48.90	14.31	1.05	1.05			8.166	0.73	0.06	1.74	0.10	6.99	29.30	
D6	0	13.10	34.35	25.90	70.63	6.95	0.73	7.65	341.57	128.89	8.095	1.89	0.11	2.95	0.81	9.77	8.80
	10	13.11	34.36	25.91	70.76	6.92	0.71	7.68	342.82	129.40	8.115	0.96	0.12	3.41	0.65	7.83	10.00
	20	13.12	34.36	25.91	68.52	7.56	0.70	7.68	343.06	129.50	8.116	0.51	0.11	3.10	0.81	6.30	11.40
	30	13.12	34.36	25.91	68.53	7.56	0.72	7.69	343.27	129.59	8.116	0.13	0.14	3.88	0.65	9.63	14.60
50	13.11	34.36	25.91	70.95	6.86	0.72	7.68	342.66	129.33	8.115	0.02	0.12	3.28	0.10	6.22	19.30	
75	13.19	34.37	25.90	40.62	18.02	1.13	7.69	343.19	129.76	8.116	0.41	0.11	2.95	0.90	10.60	36.20	
D7	0	12.51	34.25	25.95	76.63	5.32	0.76	7.95	354.93	132.22	8.083	1.33	0.14	3.71	0.90	8.88	5.60
	10	12.51	34.32	26.00	74.85	5.79	0.67	7.76	346.63	129.18	8.088	0.70	0.10	2.65	0.99	8.94	8.50
	20	12.52	34.32	26.00	72.41	6.46	0.68	7.77	346.96	129.33	8.068	0.29	0.19	5.08	0.81	6.30	9.10
	30	12.51	34.32	26.00	70.89	6.88	0.78	7.74	345.41	128.71	8.088	0.10	0.06	1.74	0.72	7.83	10.90
50	12.51	34.32	26.00	73.40	6.18	0.72	7.81	348.59	129.90	8.088	0.37	0.11	2.95	0.10	7.55	11.10	
75	12.49	34.31	26.00	66.60	8.13	0.78	7.77	346.89	129.20	8.087	0.25	0.13	3.56	0.99	8.66	11.40	
D8	0	11.63	34.07	25.98	76.32	4.83	0.74	7.95	355.05	129.66	8.071	1.80	0.16	4.47	0.90	13.37	5.50
	10	11.69	34.09	25.98	76.76	4.78	0.61	7.66	341.91	125.03	8.079	1.43	0.19	5.23	0.67	9.55	6.70
	20	11.72	34.09	25.97	77.21	5.17	0.65	8.23	367.61	134.52	8.077	0.34	0.14	3.80	0.79	8.66	6.90
	30	11.70	34.08	25.97	76.72	5.30	0.68	7.95	354.94	129.83	8.076	0.01	0.13	3.62	0.78	8.52	6.80
50	11.72	34.09	25.97	76.39	5.39	0.65	7.96	355.14	129.97	8.074	0.01	0.12	3.41	0.10	7.55	5.20	
75	11.74	34.09	25.97	71.44	6.73	0.69	7.97	355.76	130.24	8.072	0.58	0.13	3.62	0.81	7.69	8.10	
90	11.74	34.08	25.97	74.03	6.01	0.70	8.72	389.35	142.52		0.57	0.14	3.92	0.81	8.80	8.50	
D9	0							8.33	372.10	81.59	8.041	0.55	0.16	4.41	0.72	12.96	4.40
	10	10.27	33.66	25.92	77.15	5.19	0.48	8.27	369.14	130.57	8.052	0.56	0.22	5.84	0.72	8.94	6.30
	20	10.26	33.68	25.92	77.21	5.17	0.58	8.31	371.04	131.20	8.050	0.47	0.19	5.14	0.67	11.29	6.10
	30	10.33	33.70	25.92	76.80	5.28	0.60	8.45	377.37	133.67	8.052	0.23	0.13	3.62	0.81	10.88	6.50
50	10.94	33.89	25.96	75.43	5.64	0.59	8.42	375.92	135.10	8.052	0.49	0.10	2.89	0.10	7.60	10.45	

STN#	DEPTH(m)	Temp. (C)	salinity (o/oo)	Sigma-t	% light (%)	BAC (1/m)	fluores (arbitrary)	DO (ml/l)	DO (uM)	DO (%)	pH	NH4 (uM)	NO2 (uM)	NO3 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	SS (mg/l)	
D9	75	11.55	34.01	25.94	68.29	7.69	0.74	7.98	356.22	129.82	8.069	0.31	0.10	2.71	0.99	7.88	12.60	
	100	11.87	34.08	25.94	45.63	15.69	1.01	8.10	361.69	132.77	8.077	0.08	0.08	2.35	0.99	5.75	36.50	
D10	0	7.70	33.15	25.91	59.69	10.32	0.78	8.38	374.10	124.49	7.998	0.58	0.18	4.83	0.85	28.90	15.80	
	10	7.71	33.15	25.91	57.54	11.05	0.88	8.50	379.55	126.32	8.016	0.64	0.15	4.17	0.67	9.77	17.40	
	20	7.72	33.15	25.91	57.33	11.13	0.81	8.80	392.68	130.72	8.009	1.97	0.18	4.93	0.72	8.38	18.50	
	30	7.65	33.15	25.91	42.48	17.12	0.92	9.25	412.80	137.20	8.003	0.67	0.13	3.56	0.81	8.52	28.30	
	50	7.63	33.15	25.92	38.01	19.35	1.18	8.91	397.67	132.12	8.003	3.66	0.11	3.01	0.10	7.86	50.60	
	65	7.48	33.14	25.93	14.98	37.97	1.81	8.82	393.61	130.32	8.000	2.46	0.16	4.47	0.83	8.52	53.37	
D11	0	8.53	33.20	25.82	57.99	10.90	0.70	9.30	415.30	140.89	7.978	2.27	0.18	4.83	0.99	8.66	6.60	
	10	8.53	33.20	25.82	58.06	10.87	0.76	9.29	414.90	140.74	7.892	3.25	0.22	6.05	0.81	11.65	21.70	
	20	8.57	33.24	25.85	48.62	14.42	0.90	8.78	391.75	133.06	7.929	2.05	0.20	5.32	0.69	10.93	25.50	
	30	8.64	33.26	25.85	43.36	16.71	1.01	9.01	402.43	136.89	7.928	1.74	0.23	6.35	1.13	11.43	34.00	
	50	8.67	33.27	25.85	42.98	16.89	1.03	8.76	391.07	133.14	7.950	0.46	0.18	4.93	0.10	7.83		
E1	0	11.17	34.09	26.08	67.54	7.85	0.71	8.16	364.38	131.77	8.094	1.33	0.15	4.17	0.59	9.63	14.40	
	10	11.17	34.09	26.08	63.60	9.05	0.83	8.18	365.08	132.01	8.114	1.07	0.14	3.86	0.57	7.27	20.10	
	20	11.16	34.09	26.08	63.39	9.12	0.86	8.08	360.79	130.46	8.113	2.14	0.15	4.02	0.59	9.77	19.30	
	30	11.16	34.09	26.08	63.30	9.15	0.89	8.12	362.28	130.98	8.116	2.06	0.14	3.80	0.57	8.66	18.10	
	43	11.16	34.09	26.07	61.93	9.58	0.85	8.12	362.60	131.11	8.113	1.88	0.16	4.32	0.59	9.21	18.70	
E3	0																	
	0																	
	0	8.13	32.57	25.39	75.44	5.64	0.93											
	10	8.30	32.61	25.40	71.45	6.72	0.86											
	20	8.47	32.66	25.41	62.72	9.33	1.32											
	30	8.50	32.67	25.42	48.31	14.55	1.84											
F2	0	7.19	31.99	25.07	54.24	12.24	0.80											
	10	7.19	31.97	25.05	34.88	21.07	1.37											
	20	7.14	31.97	25.05	19.22	32.98	1.95											
	30	7.09	31.96	25.05	7.72	51.23	2.66											
F3	0	6.97	31.58	24.78	37.84	19.44	1.22											
	10	6.98	31.58	24.77	21.36	30.87	1.33											
	20	6.84	31.58	24.79	7.38	52.13	1.91											
	30	6.80	31.58	24.79	3.41	67.57	2.62											

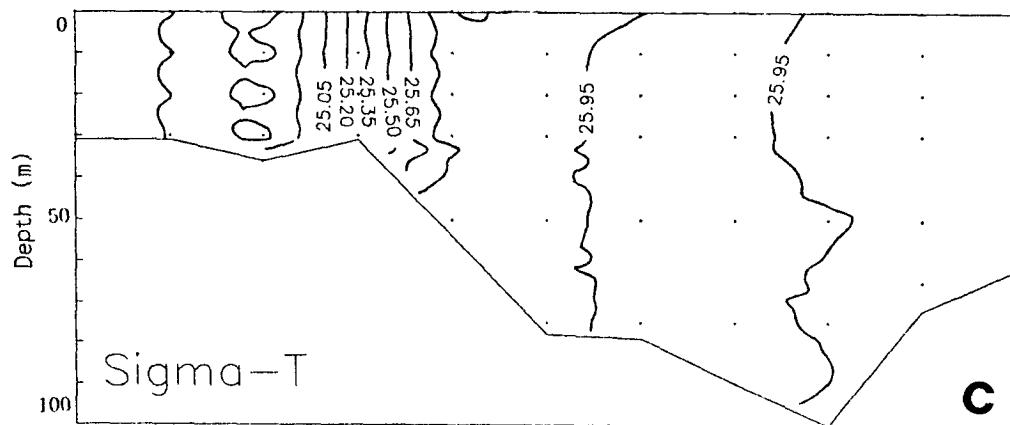
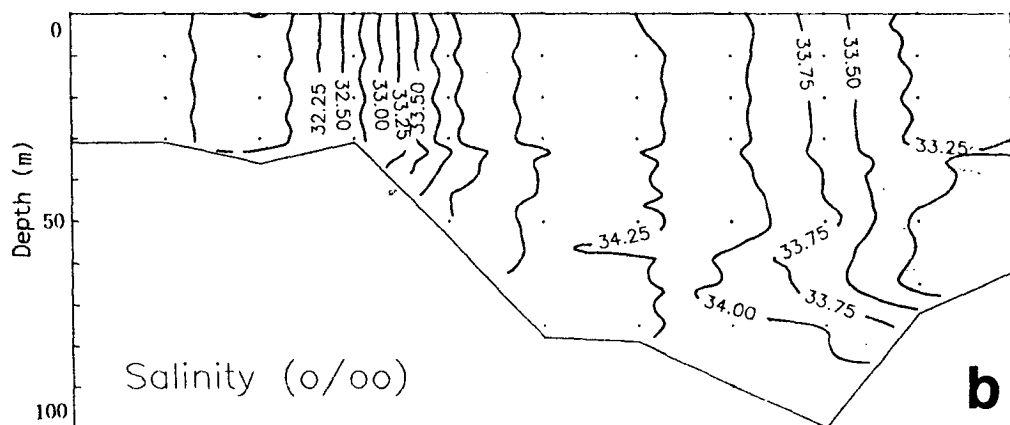
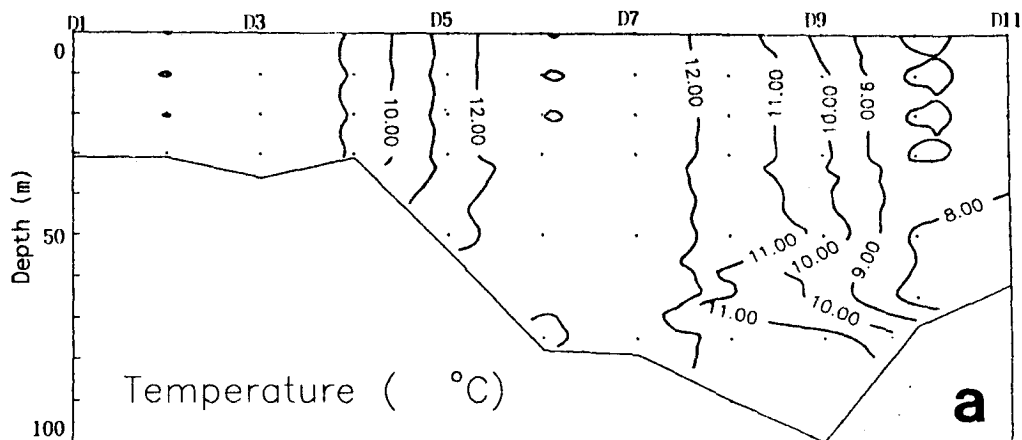


Fig. 3.21. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity and (c) sigma-t in the line-D of YS9302

낮다.

### 3.2.1.2. 용존산소

전해역에 걸쳐서 수직적으로 균일하며 해저 인접 수층에서도 중국 대륙쪽의 천해 (30m 이하)에서만 약간의 감소를 보일 뿐이다 (Fig. 3.22). 황해 중앙부는 고온고염이므로  $7.80 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$  로 비교적 낮고 양쪽 해안으로 접근할수록 증가하여 한국쪽 (D11)에서  $9.0 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$ , 중국측 (D1)에서  $8.10 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$  이다. 전수층에 걸쳐서 대기에 대하여 120-130%로 과포화되어 있다.

### 3.2.1.3. 입자성 부유물과 엽록소량

수심 40m 보다 천해 (주로 중국쪽 D1에서 D5까지) 에서는 입자성 부유물(suspended particulate matter, spm)이  $30 \text{ mg l}^{-1}$  이상으로 매우 혼탁하다. 비교적 수심이 깊은 황해 중앙부에서는 이  $10 \text{ mg l}^{-1}$  이하로서 비교적 맑다 (Fig. 3.23). SPM의 재부유 현상이 극심한 해역 에서는 해저로 접근할 수록 SPM 농도가 높아진다. 광소산계수의 분포는 중앙부 해역의 맑은 부분이  $5 \text{ m}^{-1}$  이하이고 SPM의 농도가  $40 \text{ mg l}^{-1}$  이상인 곳에서는  $20 \text{ m}^{-1}$  이상이 된다. 해수의 형광의 세기는 중국쪽 천해부에서 높고 중앙부 해역에서 낮고 한반도 쪽 천해부에서 다시 높아지는 분포형태를 보여준다. 즉 SPM의 공간적 분포와 비슷하다. 따라서 해수중의 입자성 부유물에는 살아있는 식물플랑크톤이 상당수 포함된 것으로 사료된다.

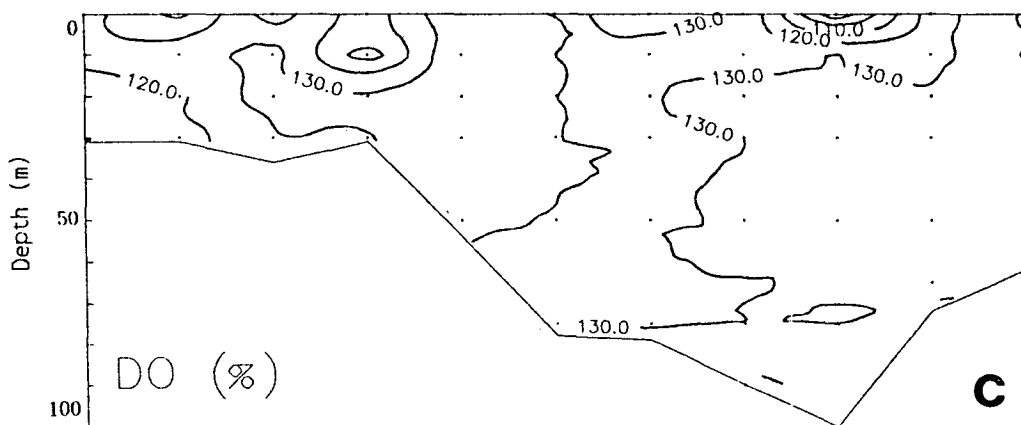
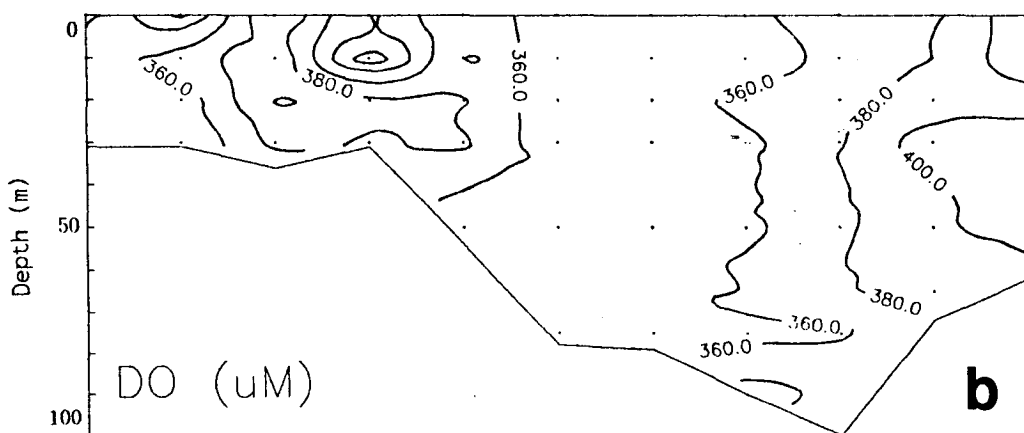
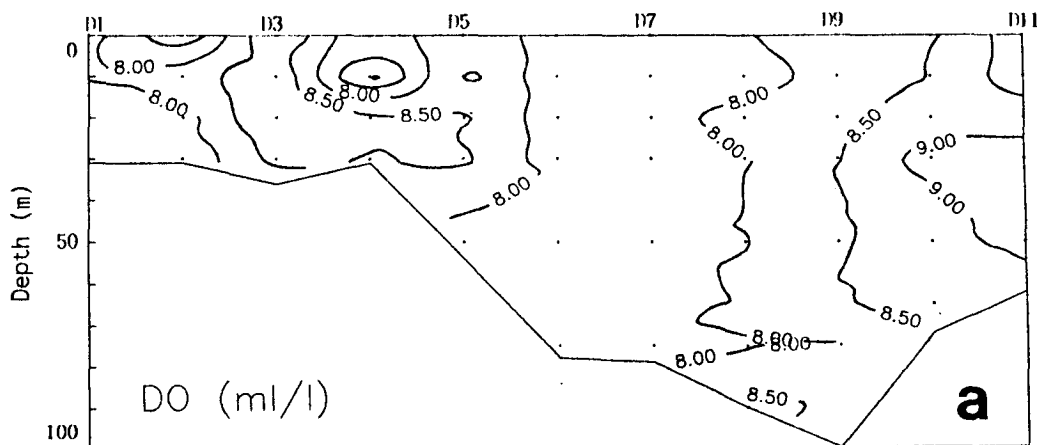


Fig. 3.22. Vertical distributions of dissolved oxygen concentration (a) in ml/l, (b) in  $\mu\text{M}$  and (c) saturation % in the line-D of YS9302



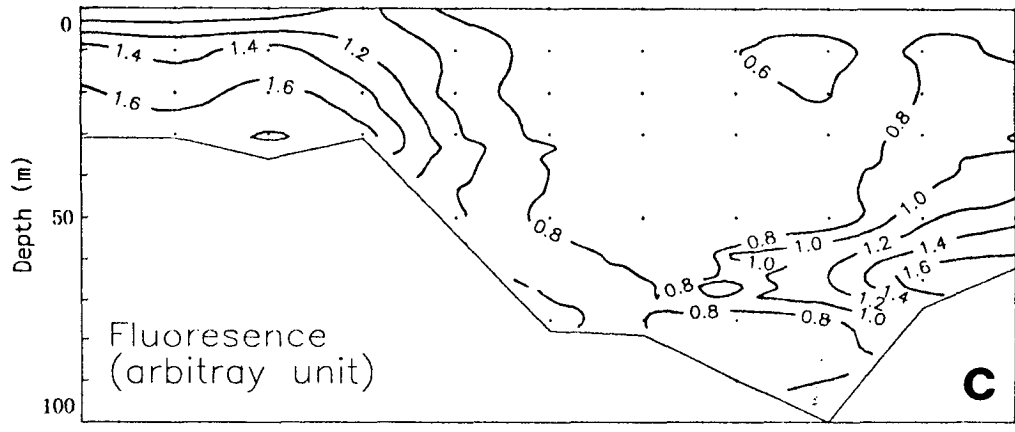
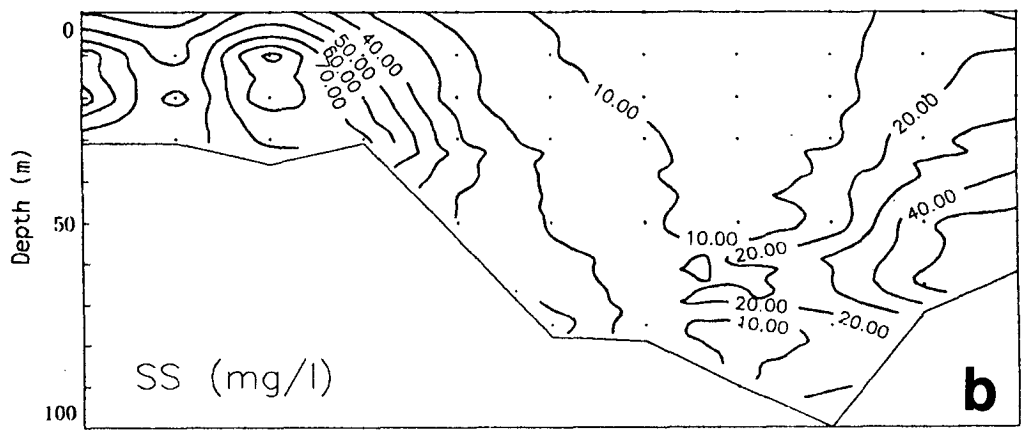
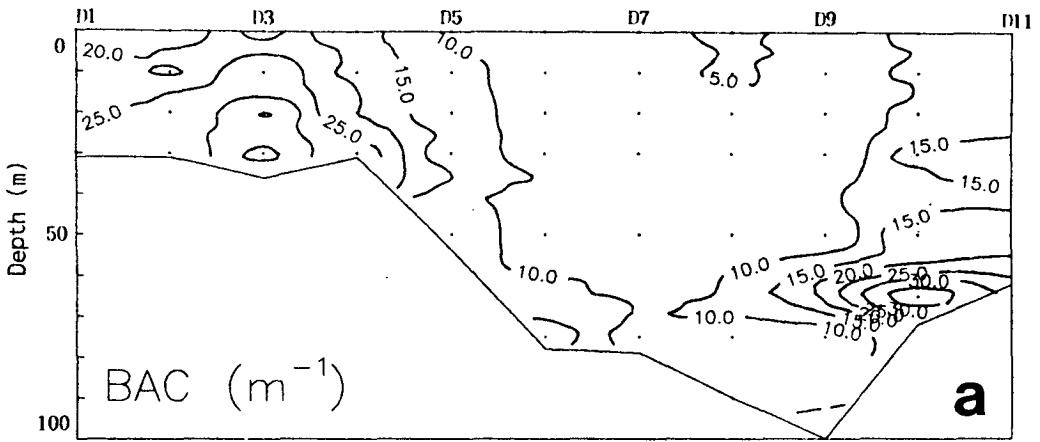


Fig. 3.23. Vertical distributions of (a) BAC, (b) SS and (c) fluorescence in the line-D of YS9302

#### 3.2.1.4. pH

pH는 수직적으로 균일하여 표층과 저층간의 차이가 없다. 고온고염인 황해 중앙부에서 높고 양안으로 갈수록 낮아서 중앙부에서 8.15 이고 한국쪽 (D11)에서 7.8, 중국쪽(D1)에서 8.0 이다 (Fig. 3.24f).

#### 3.2.1.5. 식물플랑크톤 주요 무기영양소

식물플랑크톤의 주요 무기영양소인 암모니아 이온, 질산 이온, 인산 이온 및 규산의 공간적 분포는 Fig. 3.24에 나타내었다.

##### 3.2.1.5.1. 암모니아 ( $\text{NH}_4^+$ ) 이온

황해 중앙부 (D6, D7, D8) 에서는 표층 0-10 m 수심에서  $1 \mu \text{mol l}^{-1}$  이상으로 높게 나타나고 한국쪽 정점인 D10 에서는 해저 인접 수층에서 증가하여  $4 \mu \text{mol l}^{-1}$ 에 육박한다. D11 에서는 표층 0-30 m 수심에서  $2-3 \mu \text{mol l}^{-1}$ 로서 높다. 그리고 그외 해역에서는  $0.5 \mu \text{mol l}^{-1}$  이하이다. 일반적으로 대륙붕 해역에서 암모니아 이온의 기원은 주로 동물플랑크톤의 배설물로서 고온고염 황해 중앙부에 동물플랑크톤이 동계에 집적된 것으로 사료된다.

##### 3.2.1.5.2. 질산 이온 ( $\text{NO}_3^-$ )

일반적으로 질산이온 농도는 수직적으로는 균일하며 황해 중앙부에서 낮고 양쪽 해안으로 갈수록 약간 높아진다. 중국측 수심 30 m 이내의 천해인 정점

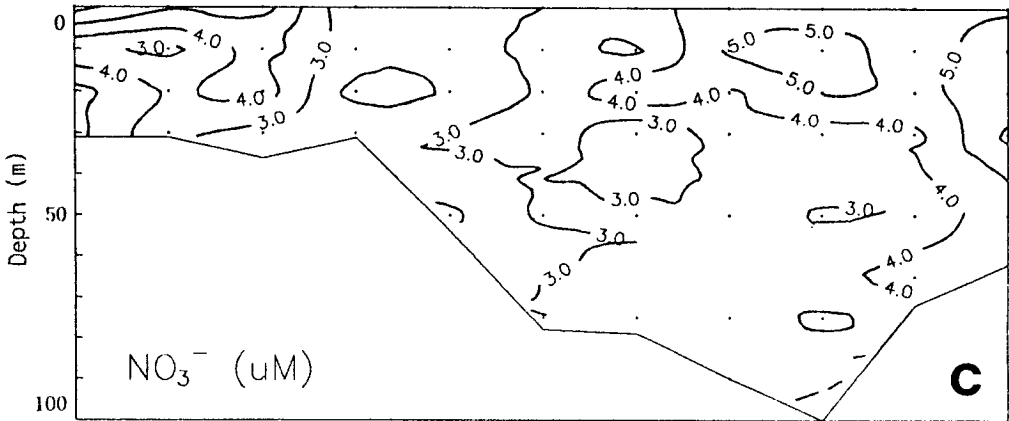
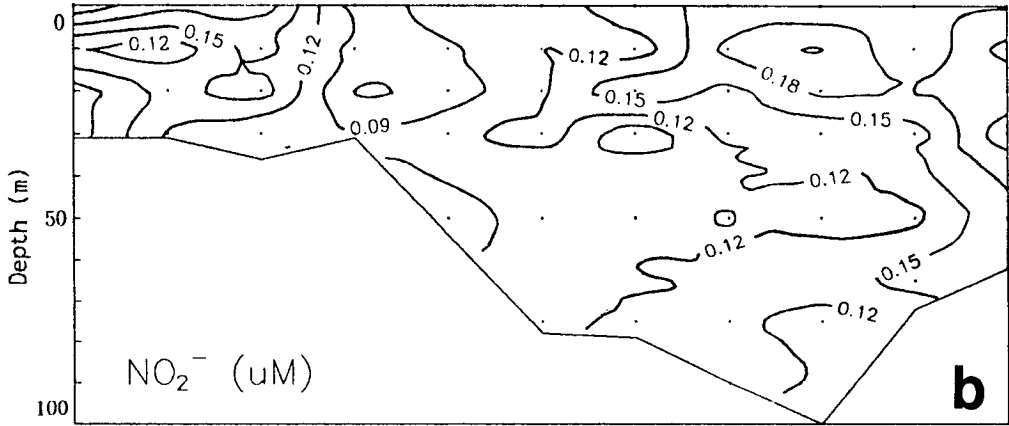
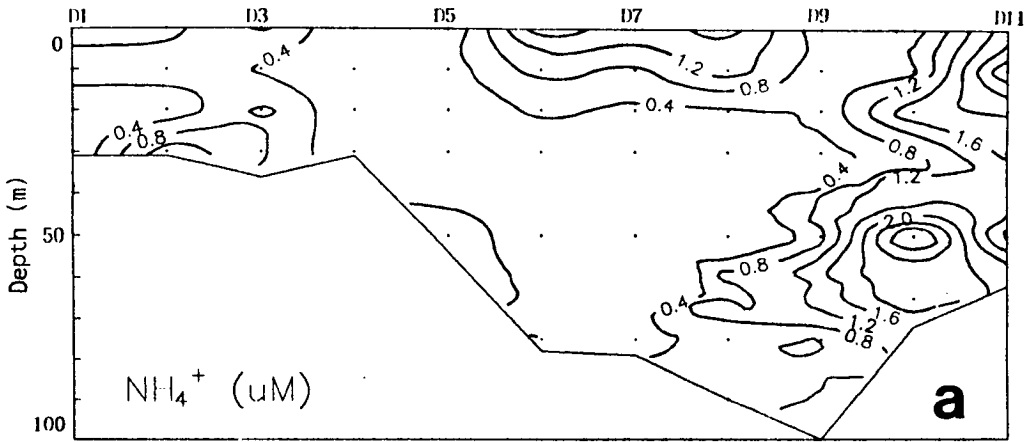


Fig. 3.24. Vertical distributions of (a) ammonium ion, (b) nitrite ion, (c) nitrate ion, (d) phosphate ion, (e) silicic acid and (f) pH in the line-D of YS9302

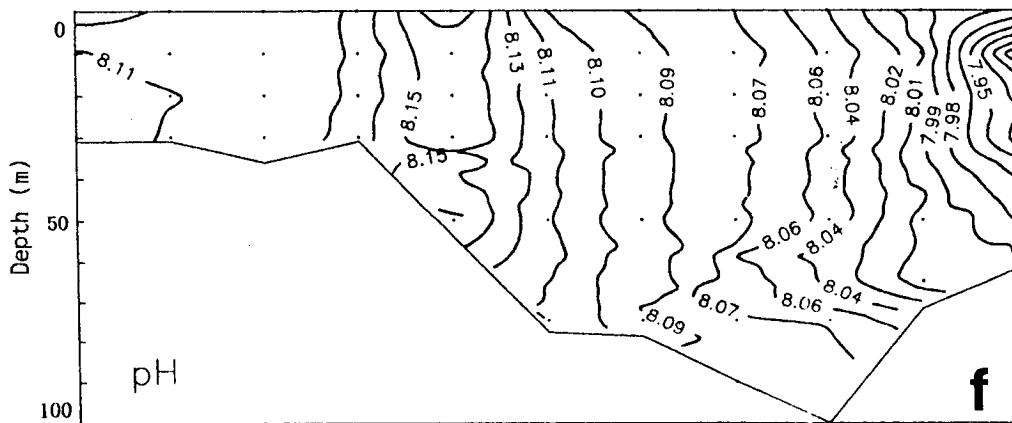
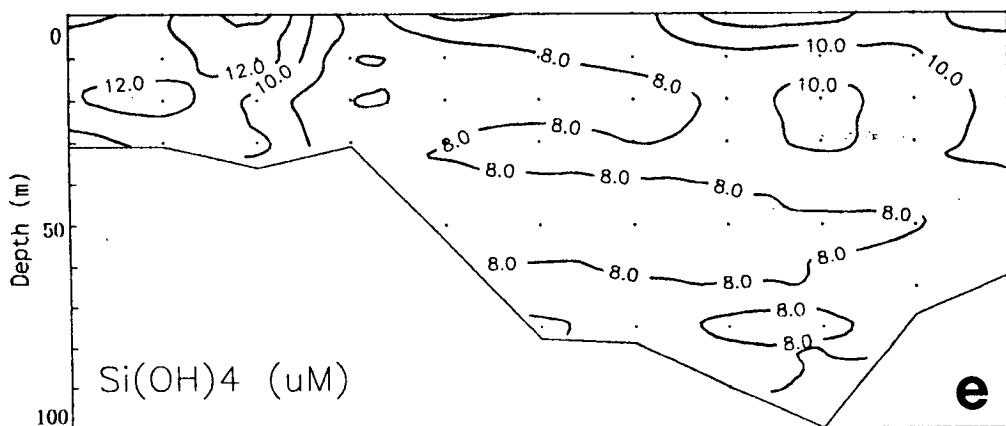
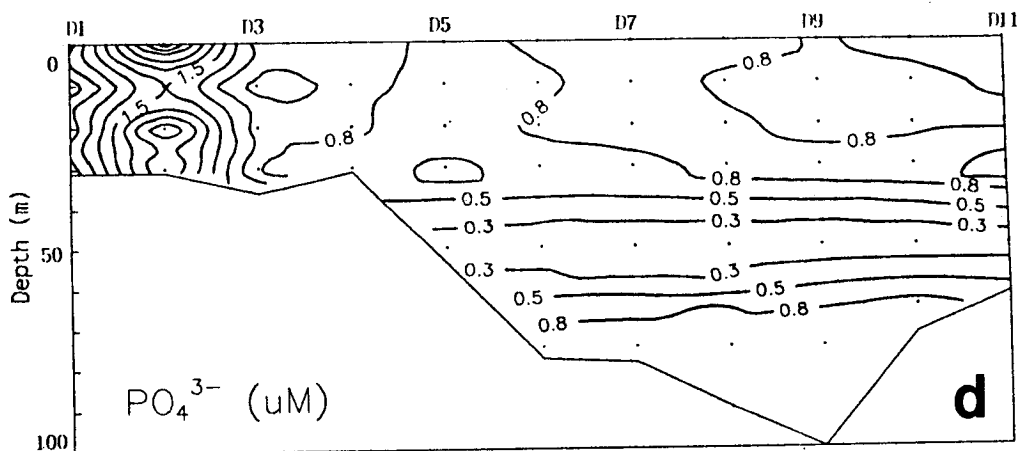


Fig. 3.24. Continued

D1-D3 해역에서는 전반적으로 표층 (0m 수심)에서 5-6  $\mu\text{mol l}^{-1}$ 로서 높고 해저로 향하면서 감소한다. 이는 중국 대륙 (양자강)에서 질산이온이 유입되기 때문이다. 수심이 30 m 깊이에서 80 m로 깊어지는 경사부분의 해역 D5-D6 에서는 질산이온의 농도가 2-3  $\mu\text{M}$  로서 가장 낮다. 고온고염인 D7-D8은 대체로 4  $\mu\text{mol l}^{-1}$  내외이다. 그러나 한국쪽으로 수심이 얕아지고 질산이온의 농도 또한 증가하여 약 4-5  $\mu\text{M}$  내외이다.

### 3.2.1.5.3. 인산이온 ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

일반적으로 중국측 천해역에서 약간 높고 (D2 정점에서 2  $\mu\text{mol l}^{-1}$  내외) 그외 해역에서는 0.9  $\mu\text{mol l}^{-1}$  내외로서 균일하다.

### 3.2.1.5.4. 규산 ( $\text{Si(OH)}_4$ )

규산 농도는 대체로 중앙부에서 낮고 양안으로 향하면서 약간씩 증가하는 경향을 보인다. 그리고 수직적으로는 대체로 균일하다. 중국측 천해역 (D1-D3) 에서는 9-15  $\mu\text{mol l}^{-1}$ 로서 가장 높고 중앙부에서는 10  $\mu\text{mol l}^{-1}$  이하이고 특히 정점 D4에서는 6  $\mu\text{mol l}^{-1}$  내외로서 가장 낮다.

## 3.2.2. 관측선 C

관측선 C는 북위 34°의 횡단면으로서 중국측(서쪽) 122°E (정점 C1)에서 동으로는 황해 중부 해역인 125°E (정점 C7)을 잇는 관측선이다. 이 관측선은 양자강의 영향으로 부터는 거의 독립적인 황해의 고유 해황 특성을 지니는

해역이다.

관측선 D 에서와 마찬가지로 해수 물리 특성에서 수온과 염분은 수직적으로 균일하며 전 수층이 수직적으로 잘 혼합되어 있다 (Fig. 3.25).

### 3.2.2.1. 용존산소

용존산소는 고온·고염인 중앙부 해역에서 조금 낮고 저온·저염인 중국측 천해에서 높게 나타난다. 분포범위는  $8.3 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$  내외이다 (Fig. 3.26). 용존산소의 대기와의 포화도는 중앙부 해역에서 130%, 중국측 천해부에서 110% 로서 전 수층이 과포화 되어있다.

### 3.2.2.2. 입자성 부유물

부유물 (SPM) 농도는 황해 중앙부에서 천해쪽으로 갈수록 높으며 또한 해저로 접근할 수록 높다. 특히 해저면 경사가 급한 부분에서 부유물 농도가 높다 (Fig. 3.27). 농도 범위는 황해 중앙부 (C7) 에서  $4 \text{ mg l}^{-1}$  이하이고 천해부 쪽 (중국)으로 저층에서 크게 증가하여 최고  $30 \text{ mg l}^{-1}$  에 이른다. 형광 세기는 수심 20 m 이하의 천해부(중국측)에서는 비교적 높으나 중앙부 해역에서는 매우 낮다.

### 3.2.2.3. 식물플랑크톤 주요 무기 영양소

동계의 황해 해역에서의 식물플랑크톤 주요 무기 영양소의 분포 특성은 중앙부에서 높고 양안의 천해부에서 낮은 사실이다 (Fig. 3.28).

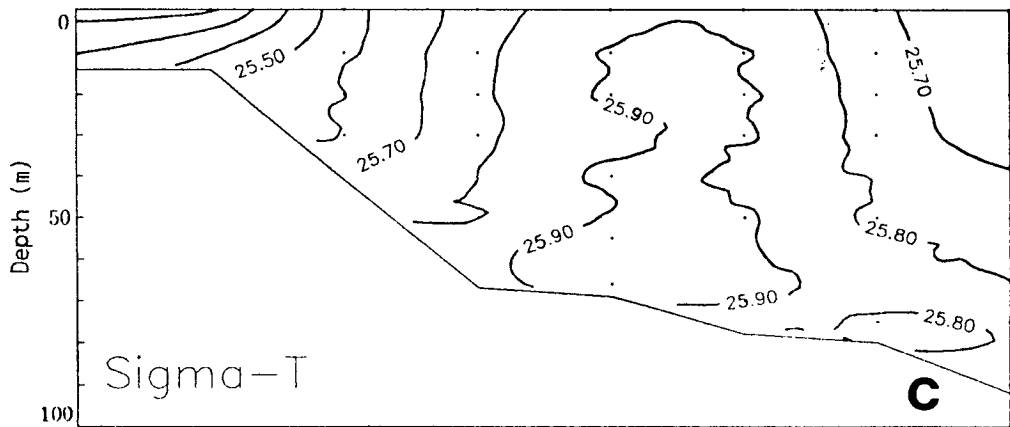
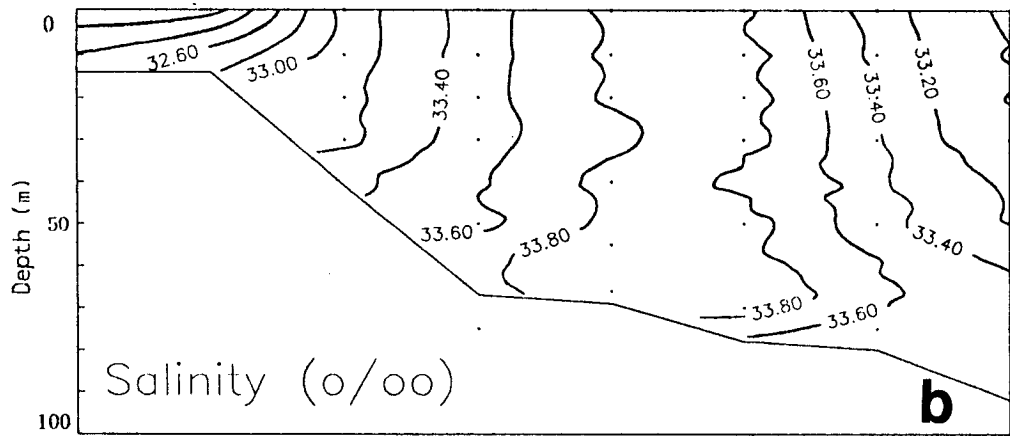
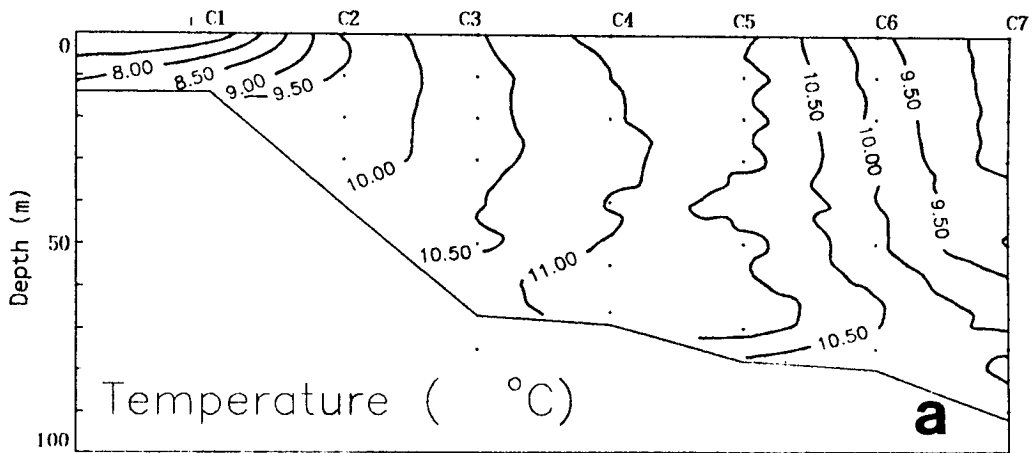


Fig. 3.25. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity and (c) sigma-t in the line-C of YS9302

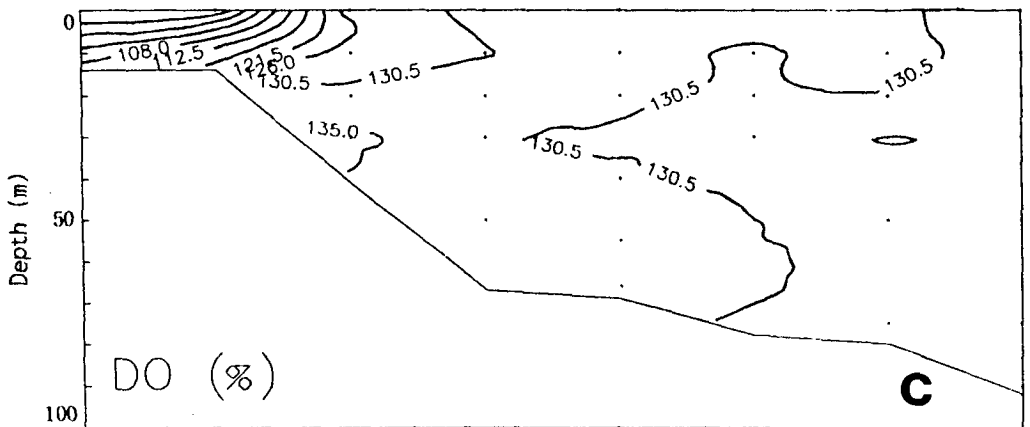
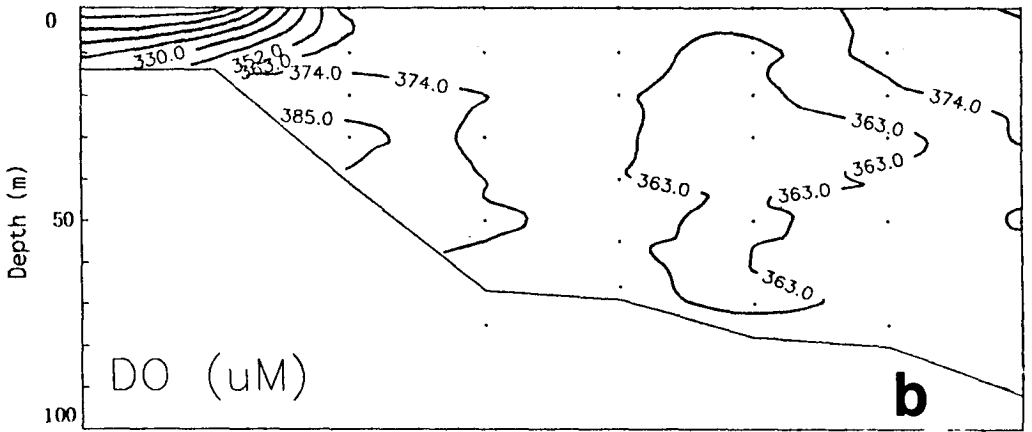
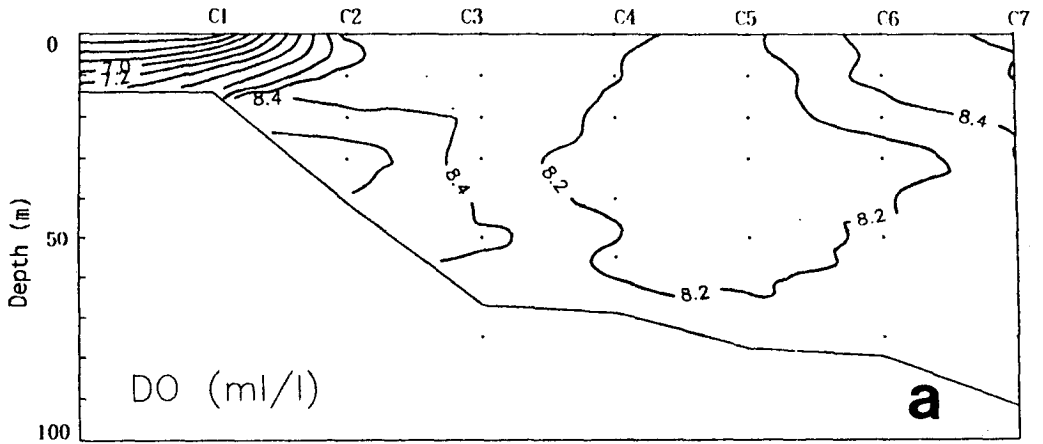


Fig. 3.26. Vertical distributions of dissolved oxygen concentration (a) in ml/l, (b) in  $\mu\text{M}$  and (c) saturation % in the line-C of YS9302



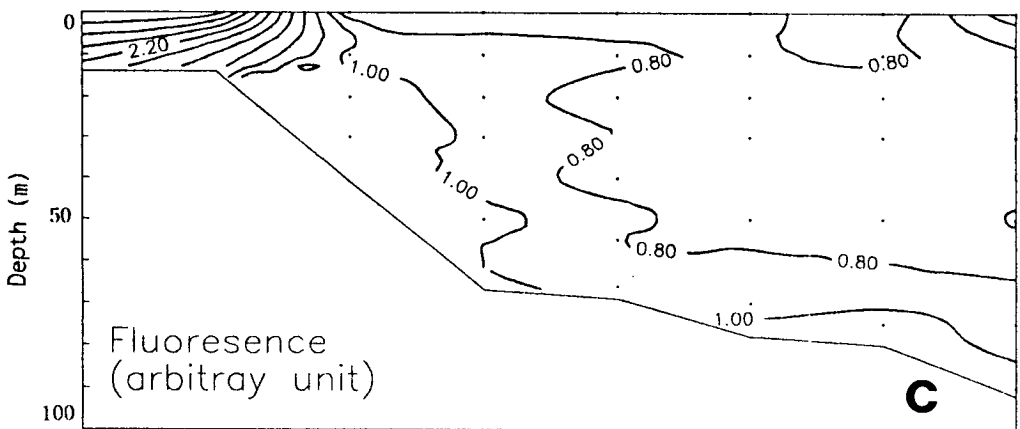
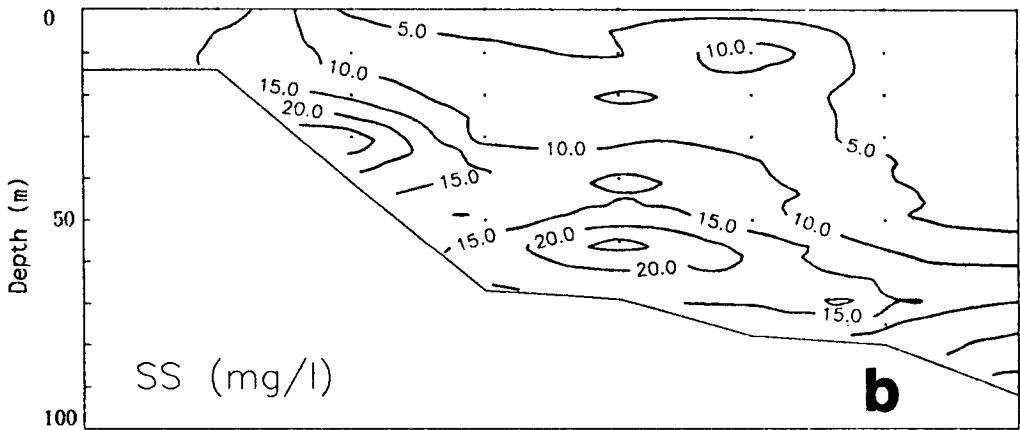
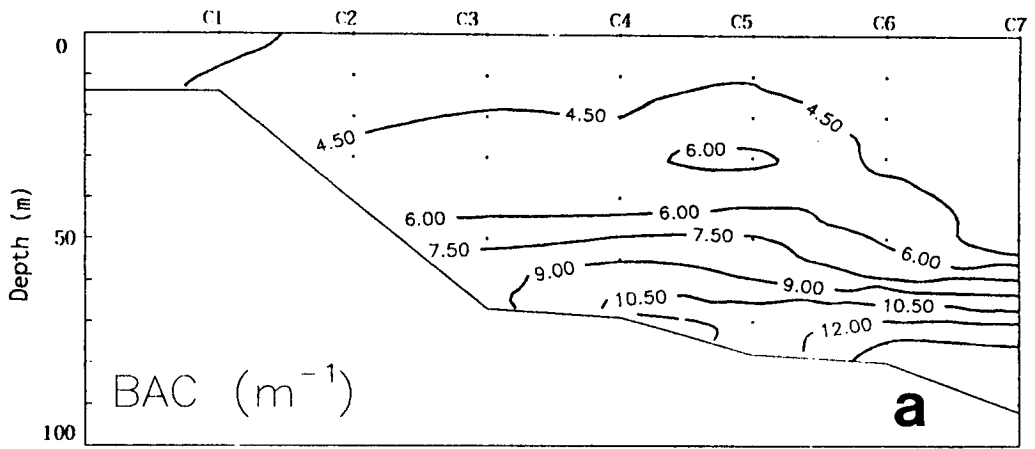


Fig. 3.27. Vertical distributions of (a) BAC, (b) SS and (c) fluorescence in the line-C of YS9302

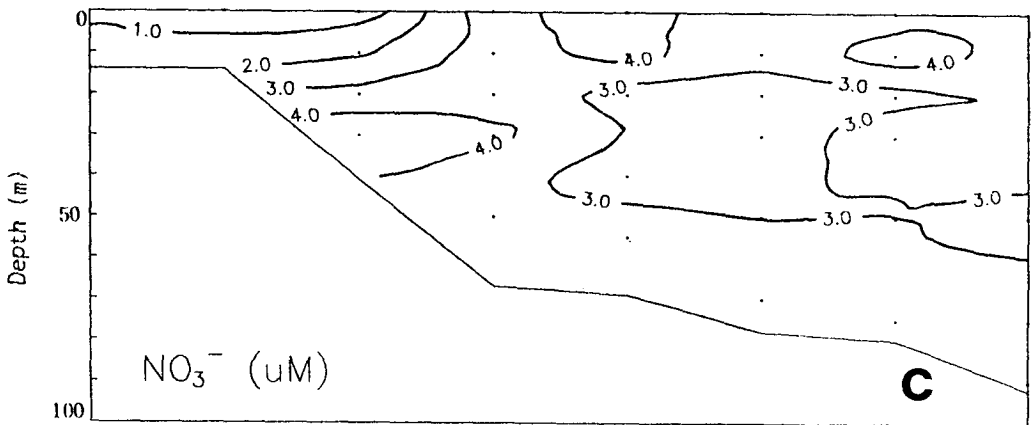
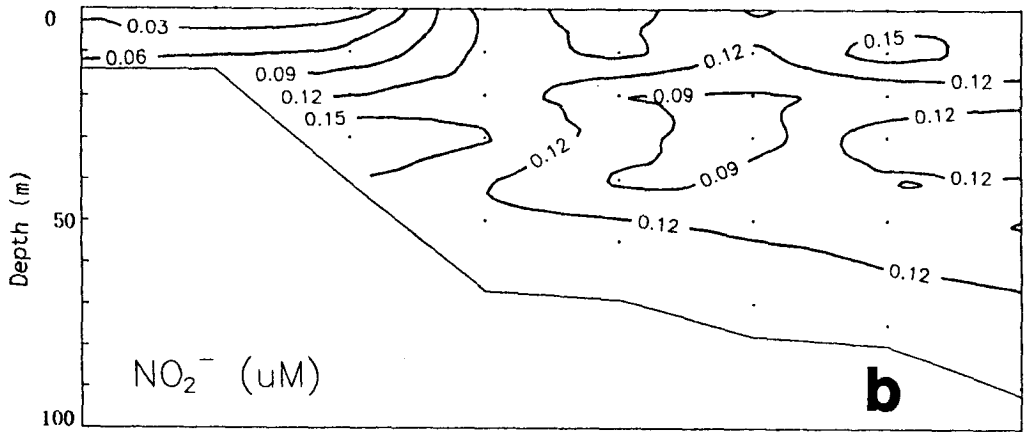
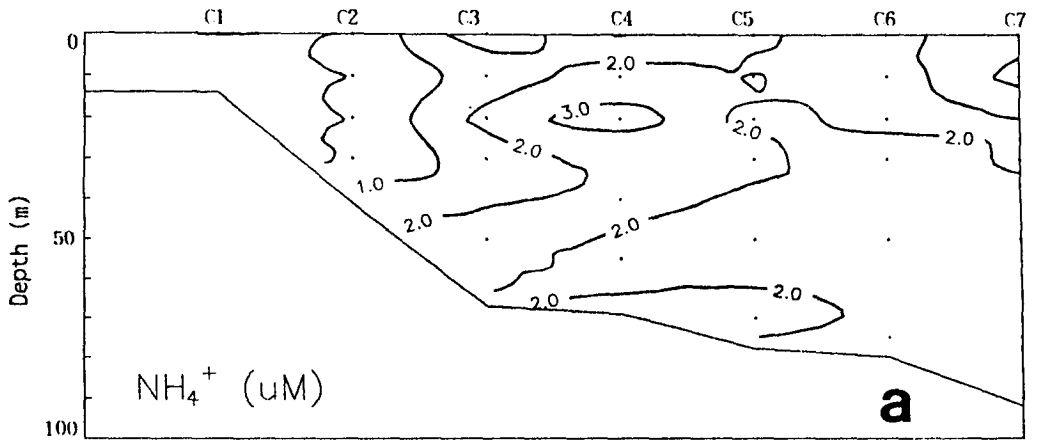


Fig. 3.28. Vertical distributions of (a) ammonium ion, (b) nitrite ion, (c) nitrate ion, (d) phosphate ion, (e) silicic acid and (f) pH in the line-C of YS9302

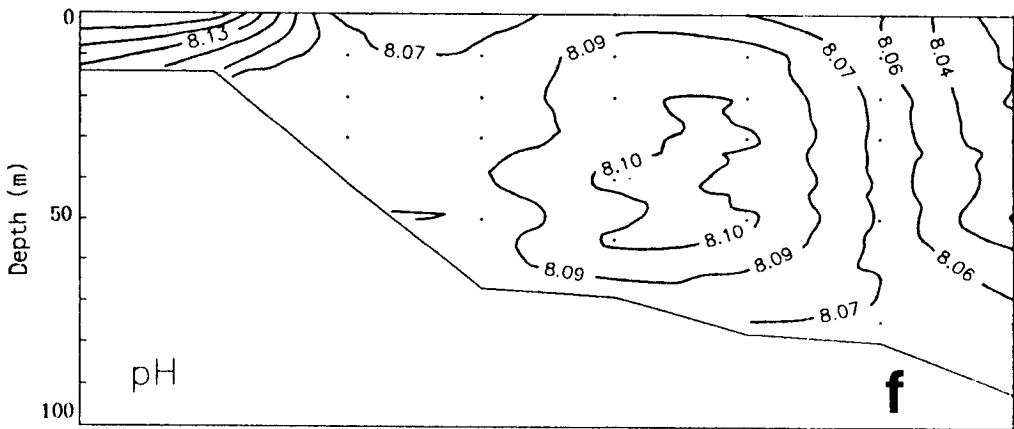
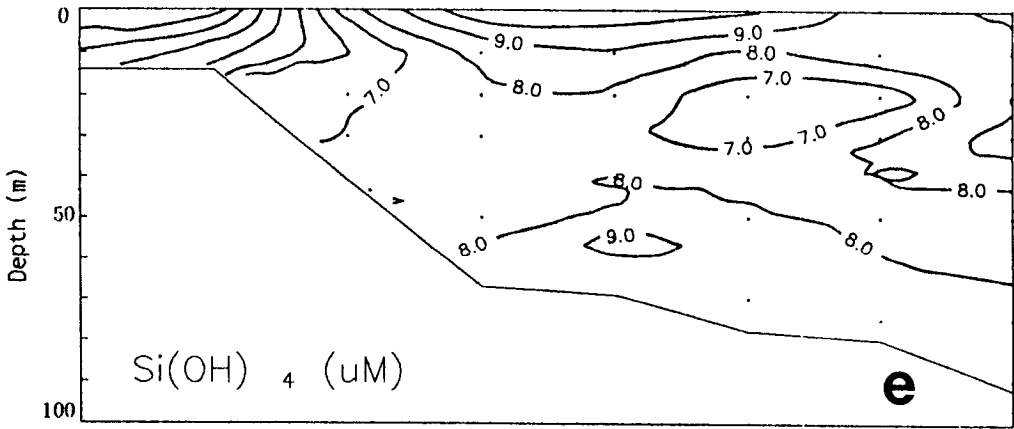
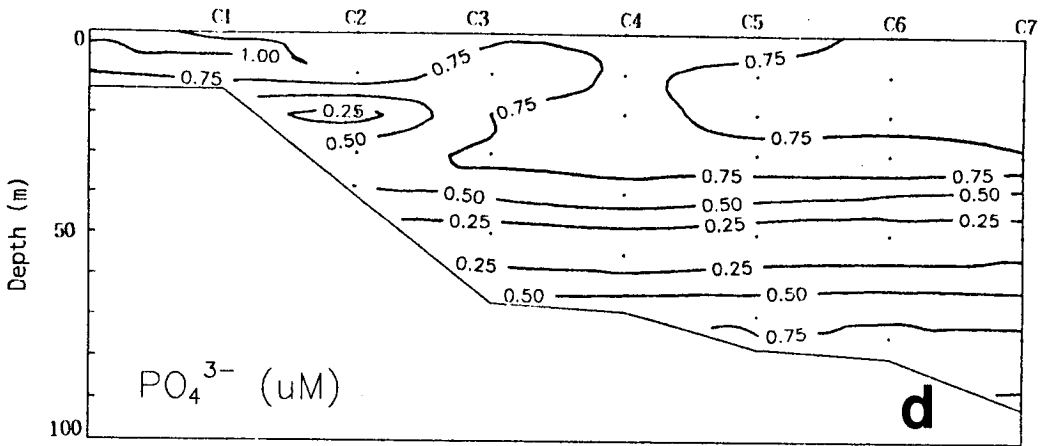


Fig. 3.28. Continued

#### 3.2.2.3.1. 암모니아 이온 ( $\text{NH}_4^+$ )

중국쪽 천해부 (수심 <30 m) 에서는  $1 \mu \text{mol l}^{-1}$  이하로서 낮고 중앙부 C4-C6 해역에서는  $2 \mu \text{mol l}^{-1}$  내외로서 높다. 이는 동계기간 동안 중앙부의 고온 고염 해역에서의 동물플랑크톤의 집적때문인 것으로 사료된다.

#### 3.2.2.3.2. 질산 이온 ( $\text{NO}_3^-$ )

중국쪽 천해부 (정점 C1-C2) 에서는  $1 \mu \text{mol l}^{-1}$  이하이고 중앙부 해역에서는  $4 \mu \text{mol l}^{-1}$  내외이다. 즉 질산이온의 농도는 중앙부 해역이 주변부 해역보다 더 높다.

#### 3.2.2.3.3. 인산 이온 ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

인산 이온은 전 수층에서 대략  $0.6-0.9 \mu \text{mol l}^{-1}$  이다 특이한 점은 중앙부 해역에서는 표층에서 높고 50 m 층에서 낮고 해저 인접 수층에서 높은 미약한 3층 구조를 보인다.

#### 3.2.2.3.4. 규산 ( $\text{Si(OH)}_4$ )

천해부 (중국측) 에서  $8 \mu \text{mol l}^{-1}$  이하로 낮고 그외 전해역에서  $8-10 \mu \text{mol l}^{-1}$ 로 거의 균일하게 분포하고 있다.

### 3.2.3. 관측선 B4-D6

정점 B4-B5-C6-D6를 연결하는 관측선은 35°N 에서 34°30'N까지의 남북횡단면의 해황을 파악하기 위하여 조사되었다.

해수 물리 특성: 수온은 북쪽 (35°N) 에서 8°C 이고 남쪽 (34°30'N) 에서 13°C 로서 북쪽에서 남쪽으로 향하여 높아진다. 수직적으로 수온은 균일하다 (Fig. 3.29). 염분은 수온과 마찬가지로 북쪽 (35°N)에서 낮고 (32.9‰) 남쪽으로 향하여 증가한다 (34.6‰). 수직적으로 염분은 균일하다. 밀도는 수온과 염분의 분포 특성에 따라서 수직적으로 균일하며 북쪽에서 낮고 남쪽에서 높다. 용존산소는 북쪽에서 375  $\mu\text{mol l}^{-1}$  이상으로 높고 남쪽으로 가면서 낮아져서 정점 D6에서 345  $\mu\text{mol l}^{-1}$ 이다 (Fig. 3.30).

입자성 부유물: 입자성 부유물의 농도는 북쪽의 표층 해수에서 3  $\text{mg l}^{-1}$  이 하로서 대단히 맑고 해저 인접 수층에서 증가하여 최고 9  $\text{mg l}^{-1}$ 에 이른다 (Fig. 3.31). 그리고 남쪽으로 향하면서 고향하 수로에서 벗어나게 되어 입자성 부유물의 농도는 높아져서 표층 해수에서도 12  $\text{mg l}^{-1}$ 로 증가하고 저층에서는 25  $\text{mg l}^{-1}$  이상으로 크게 증가하였다. 이러한 SPM 분포특성은 광소산계수 (beam attenuation coefficient) 분포에 잘 나타나 있다. 식물플랑크톤 현존량의 척도로도 쓰일 수 있는 현장 형광세기는 (임의단위) 남북방향의 전 수층에서 뚜렷한 변화를 보이지 않는다.

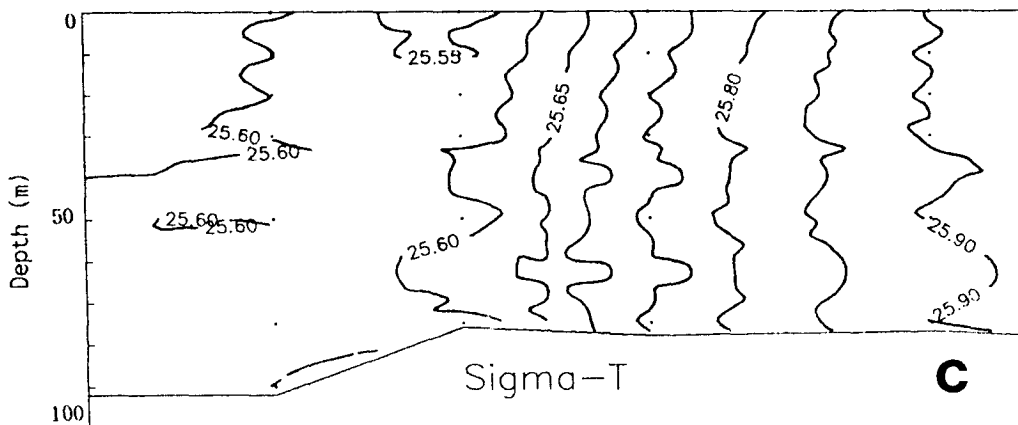
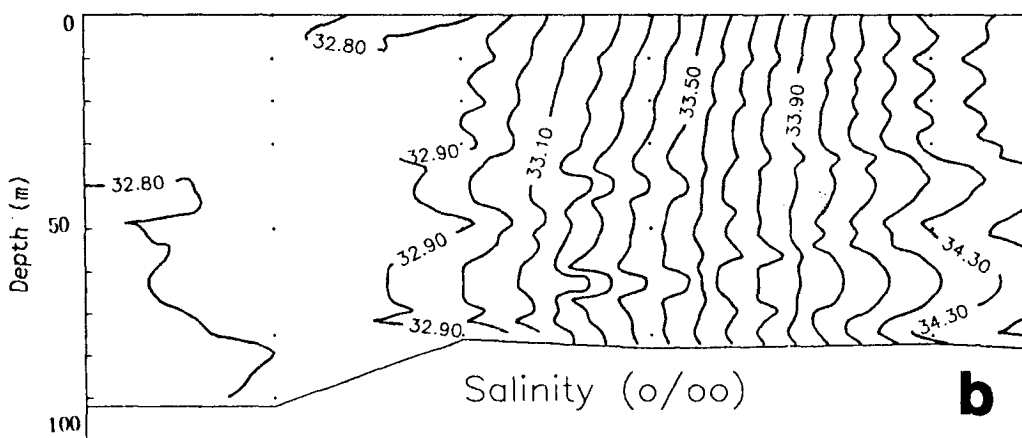
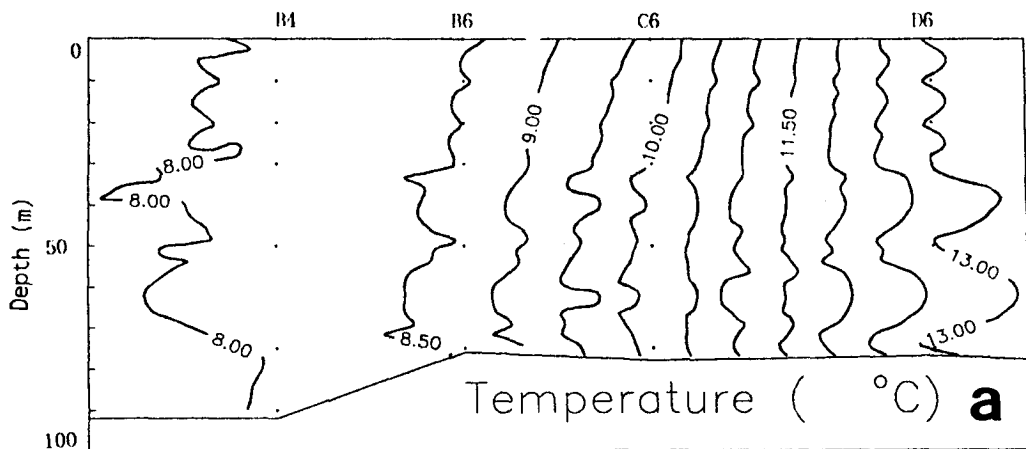


Fig. 3.29. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity and (c) sigma-t in the line B4-D6 of YS9302

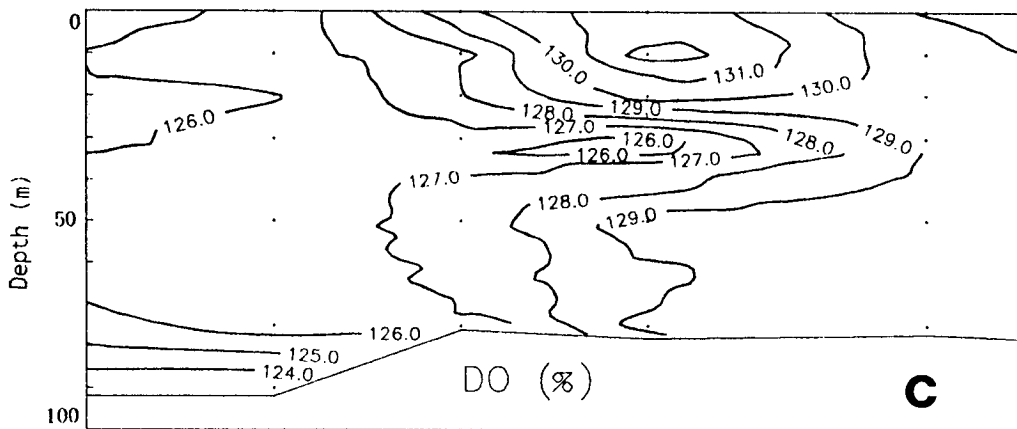
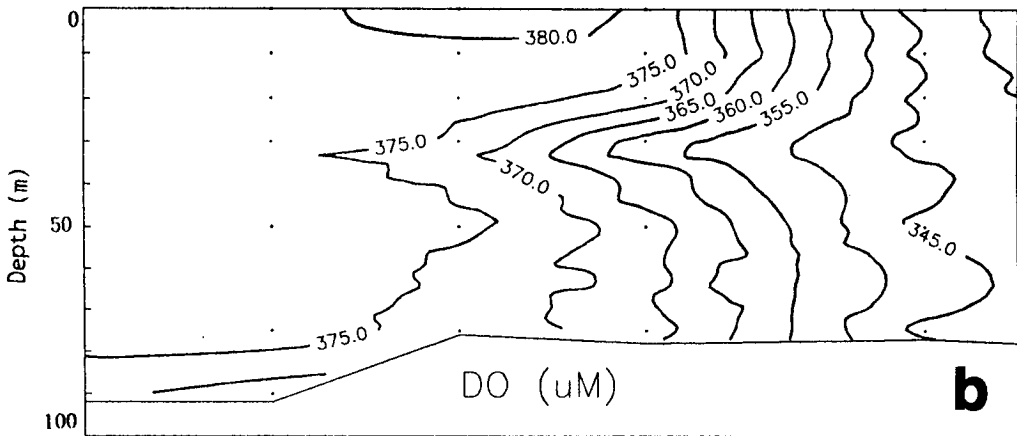
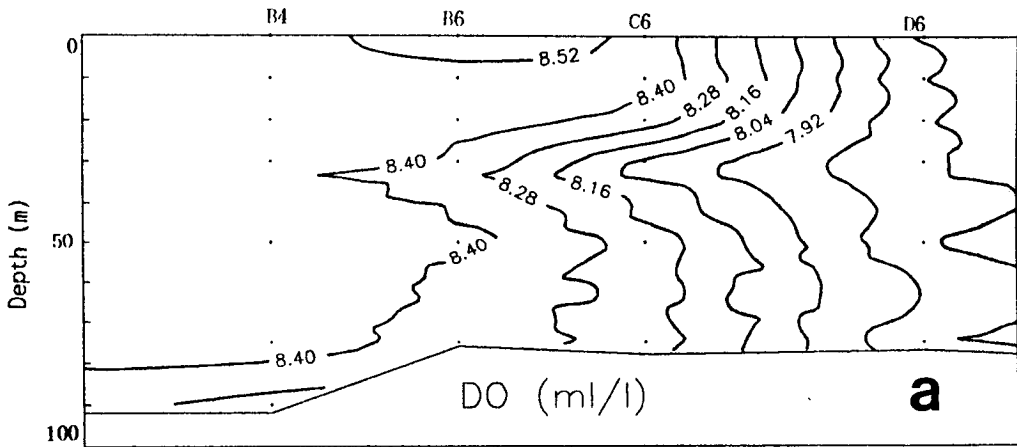


Fig. 3.30. Vertical distributions of dissolved oxygen concentration (a) in ml/l, (b) in  $\mu\text{M}$  and (c) saturation % in the line B4-D6 of YS9302

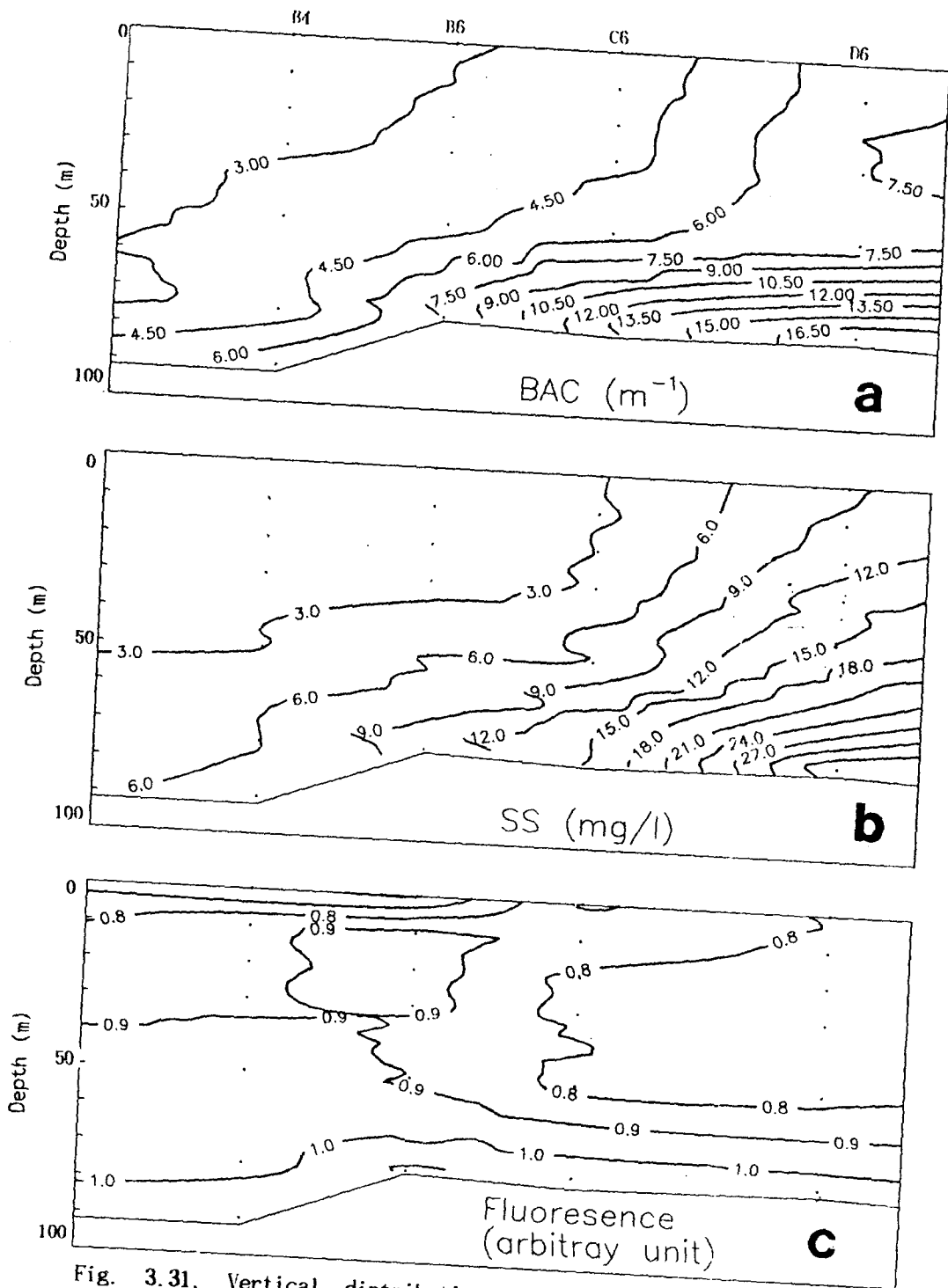


Fig. 3.31. Vertical distributions of (a) BAC, (b) SS and (c) fluorescence in the line B4-D6 of YS9302



식물플랑크톤 주요 무기 영양소: 황해 중앙부 해역에서의 식물플랑크톤 주요 무기 영양소의 남북방향의 분포특성은 암모니아 농도는 북쪽이 남쪽보다 약간 높으며, 규산 농도는 북쪽보다는 남쪽에서, 해저 인접 수층에서 더 높다. pH는 북쪽에서는 8 이하이고 남쪽에서는 8.1 내외이다 (Fig. 3.32).

#### 3.2.4. 해황인자의 수평분포

YS 9302 동계의 황해입구의 표층해수의 수평적 특성은 Fig. 3.33에 나타내었다. 수온은 남동쪽에서 높고 북서쪽에서 낮다. 그리고 황해중앙부에서 양 해안으로 향하여 감소한다. 염분은 수온과 마찬가지로 남동쪽에서 높고 북서쪽으로 감소하고 중앙부에서 양 해안으로 향하여 감소한다 (Fig. 3.33b). 밀도는 염분과 같은 분포 양상이다. pH는 남동쪽에서 높고 북서쪽으로 감소하고 또한 중앙부에서 양 해안으로 향하여 감소한다. 그러나 중국쪽 천해부인 33.5~34.5°N, 122°E 해역에서는 pH 가 약간 높게 나타난다. 현장 형광세기 (Fig. 3.33f)가 이 지역에서 비교적 높은 것으로 보아서 이는 광합성 과정에 따른 CO<sub>2</sub> 소모로 인한 pH의 증가인 것으로 사료된다. 용존산소 함량은 대체로 한국 반도쪽에 치우친 깊은 수심의 황해골에서 비교적 높다 (Fig. 3.33g). 입자성 부유물(SPM) 함량은 황해 중앙부에서는 매우 낮고 양 해안의 천해부에서 증가하며 특히 수심 30m 이하인 중국 천해부에서 매우 높다. 이는 광소산계수 (beam attenuation coefficient) 분포에서도 잘 나타난다 (Fig. 3.33j). 식물무기영양소인 암모니아 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)이온은 황해 중앙부에서 높고 양 해안으로 향하면서 낮아진다. 질산이온 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)은 양자강의 영향을 받는 중국쪽 해역에서는 높고 그 외 해역에서는 중앙부 고 황하 수로에서 높다 (Fig. 3.33i). 인산이온

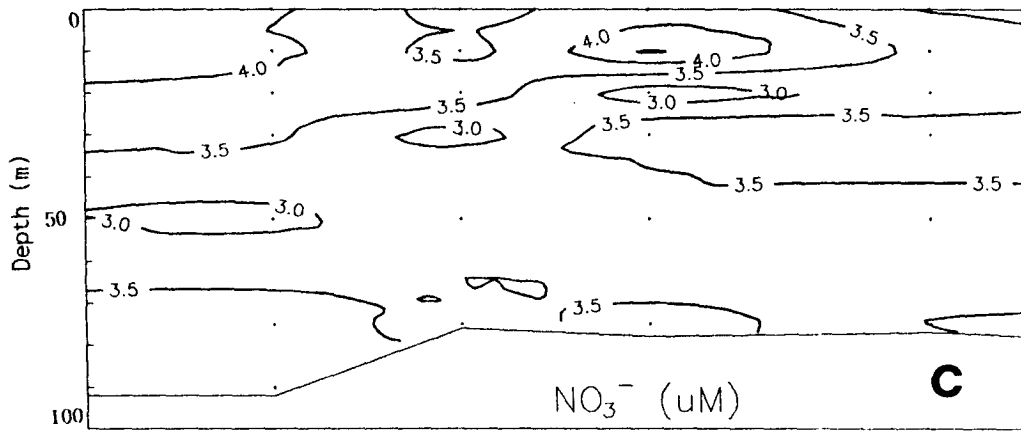
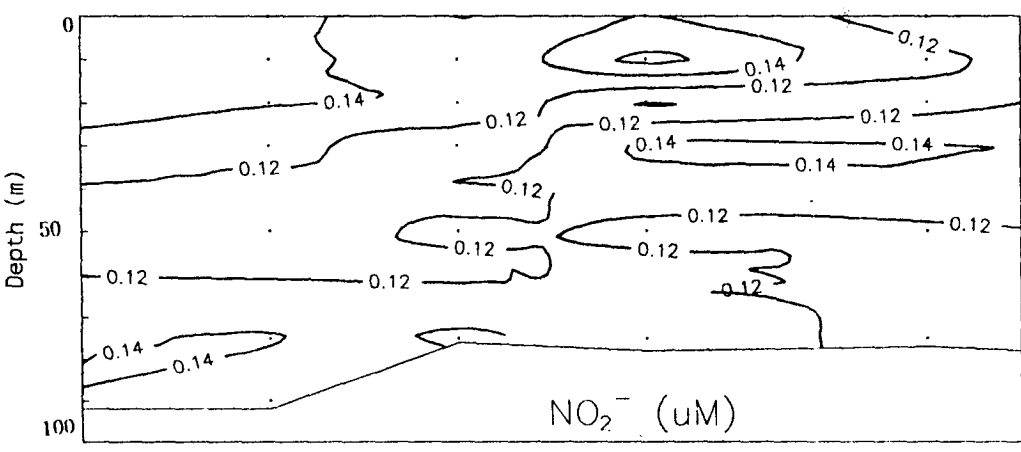
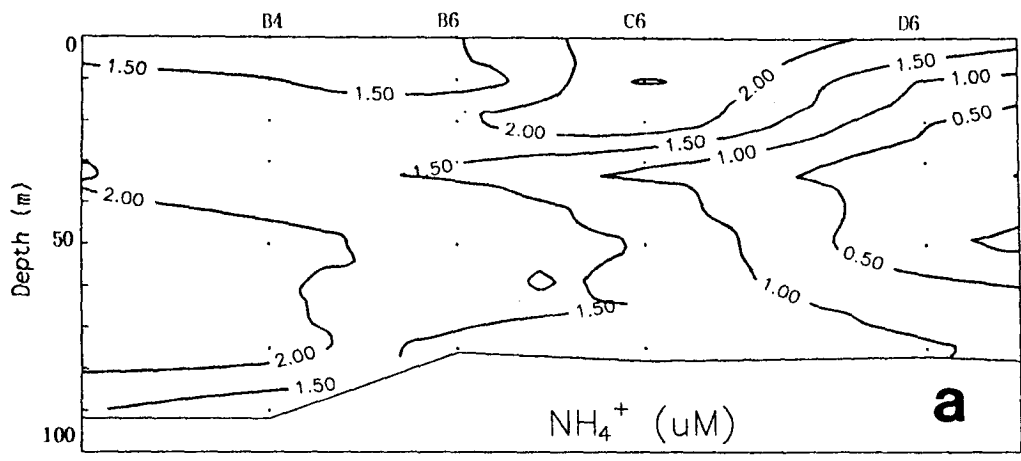


Fig. 3.32. Vertical distributions of (a) ammonium ion, (b) nitrite ion, (c) nitrate ion, (d) phosphate ion, (e) silicic acid and (f) pH in the line B4-D6 of YS9302

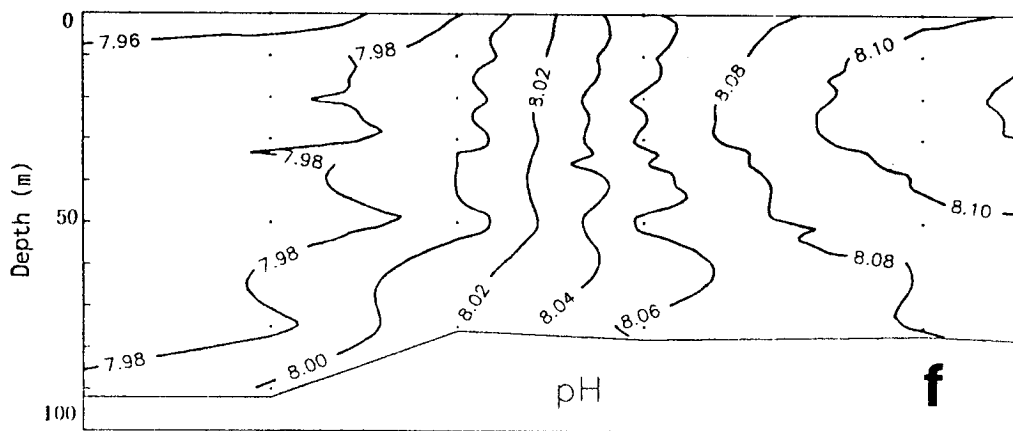
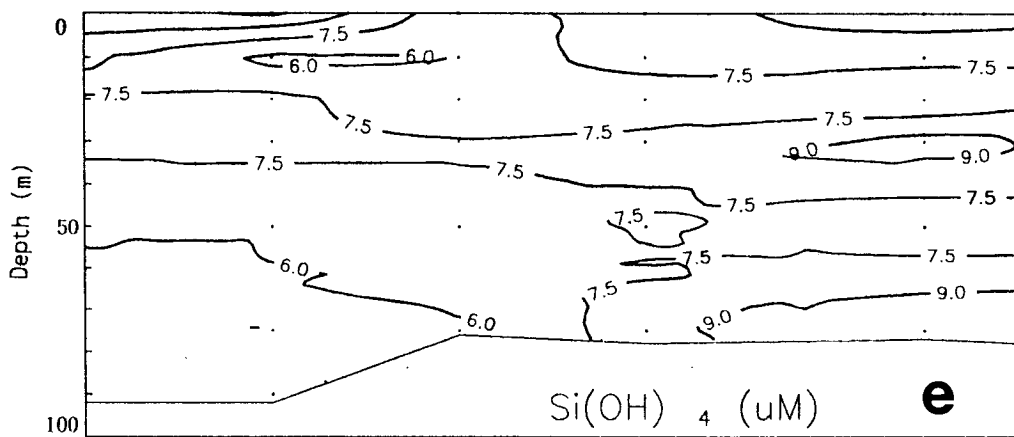
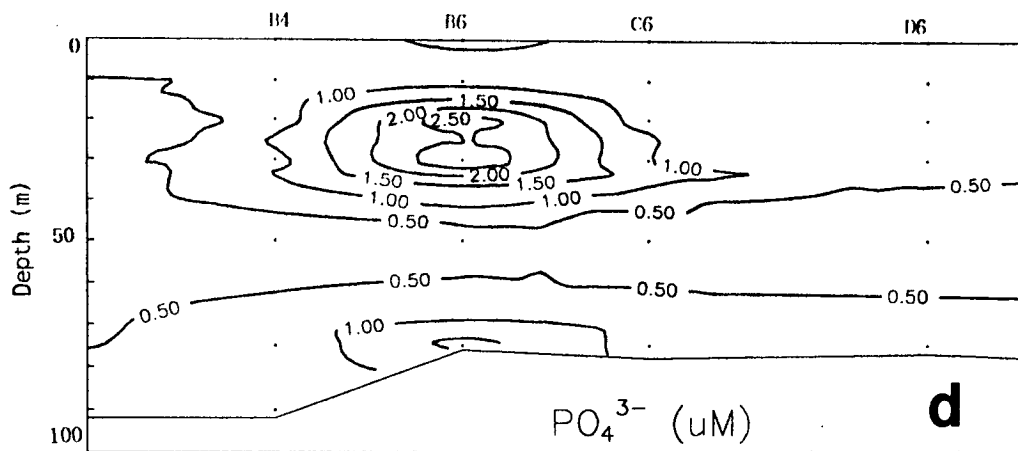


Fig. 3.32. Continued

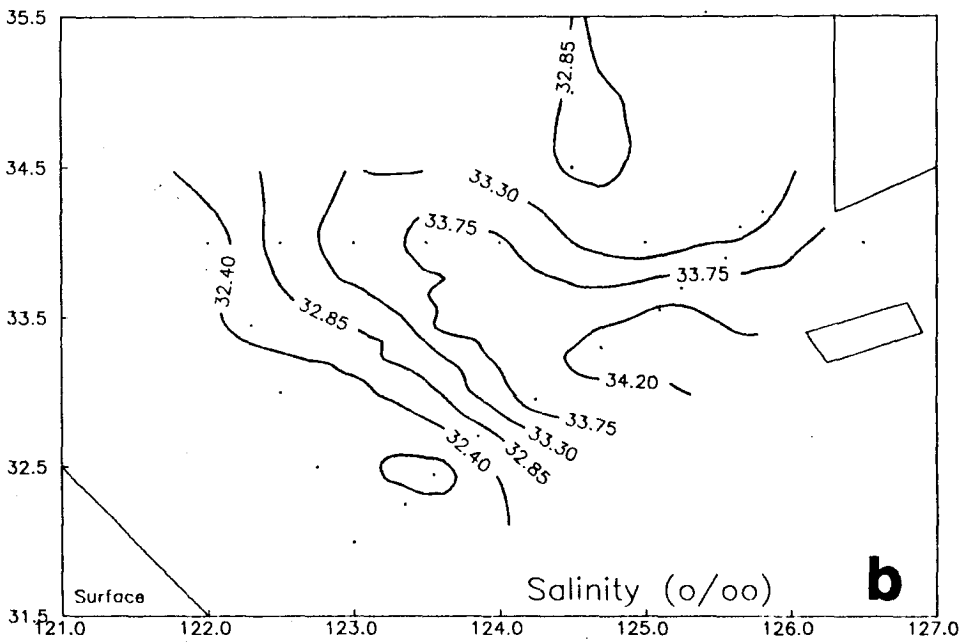
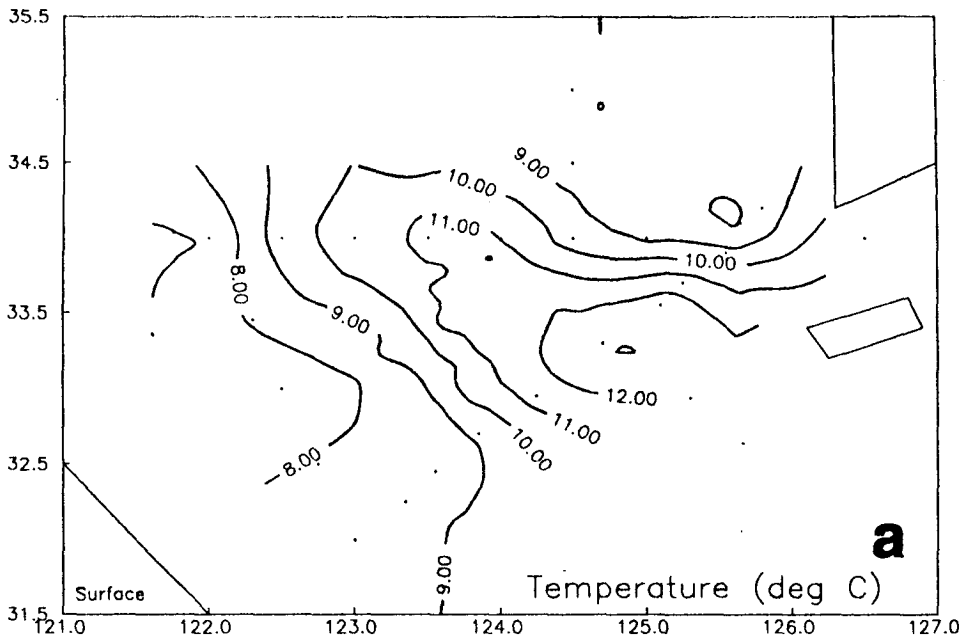


Fig. 3.33. Horizontal distribution of (a) temperature, (b) salinity, (c)  $\sigma$ -t, (d) pH, (e) DO, (f) fluorescence, (g) SS, (h) BAC, (i) ammonium ion, (j) nitrate ion, (k) phosphate ion and (l) silicic acid at the surface water in the Yellow Sea (YS9302)

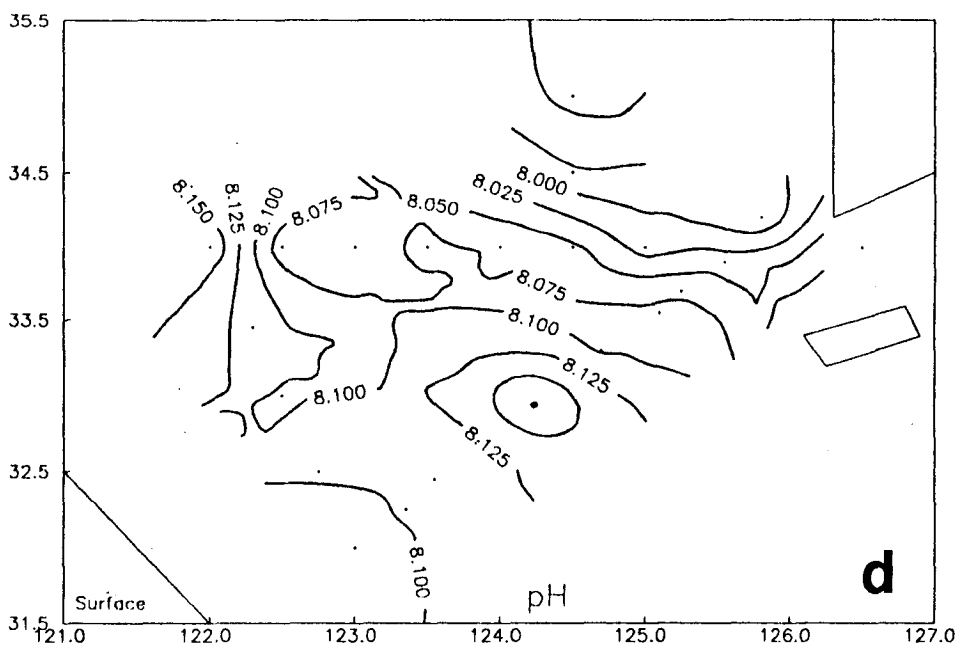
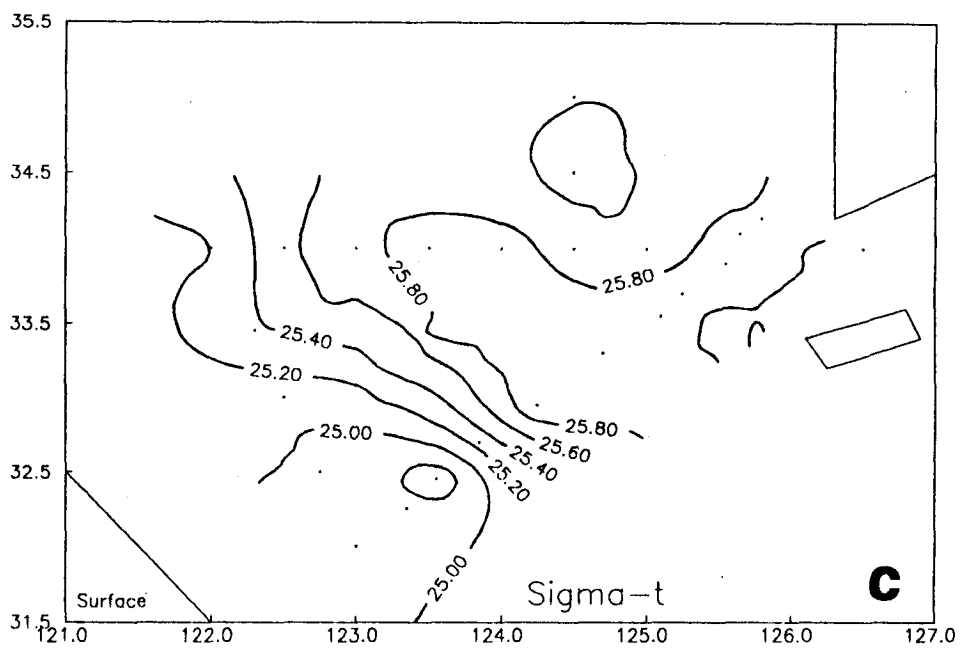


Fig. 3.33. Continued

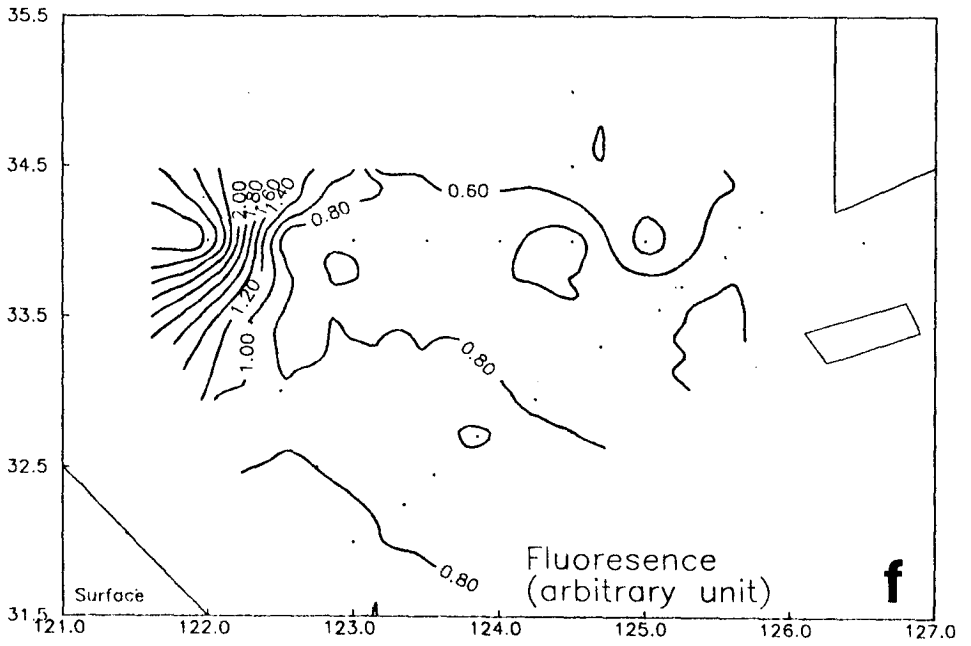
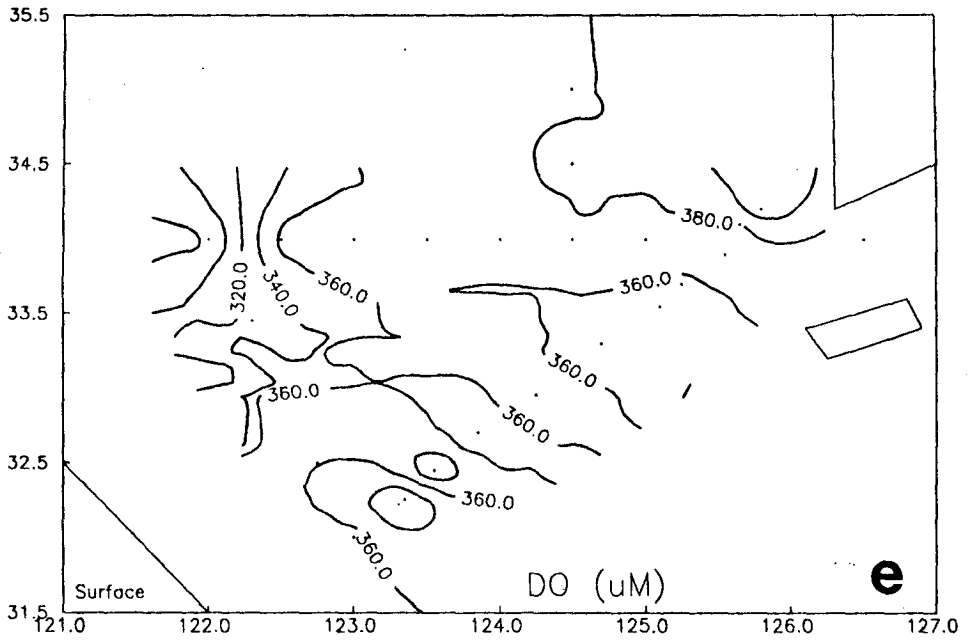


Fig. 3.33. Continued

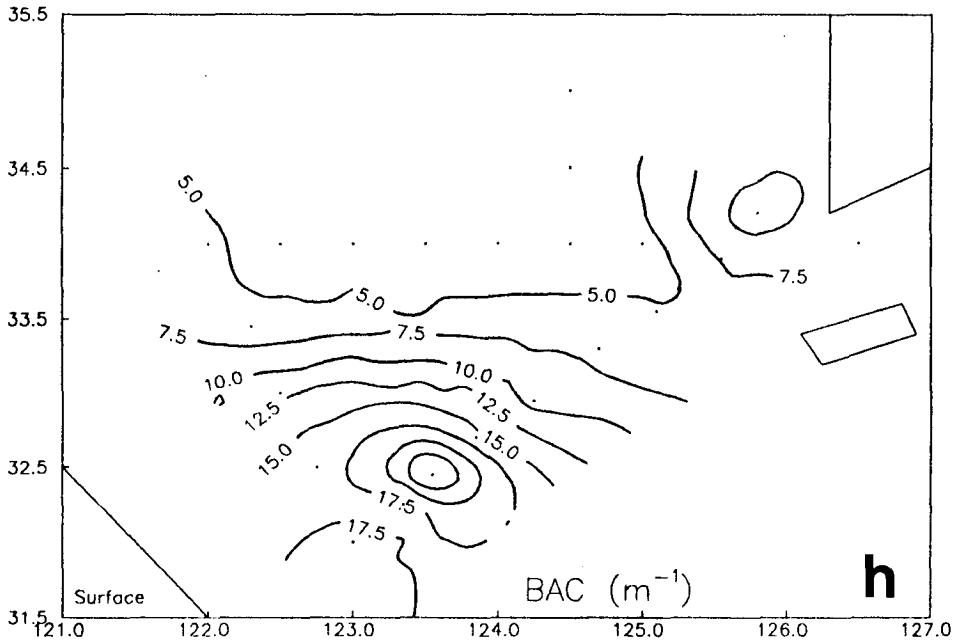
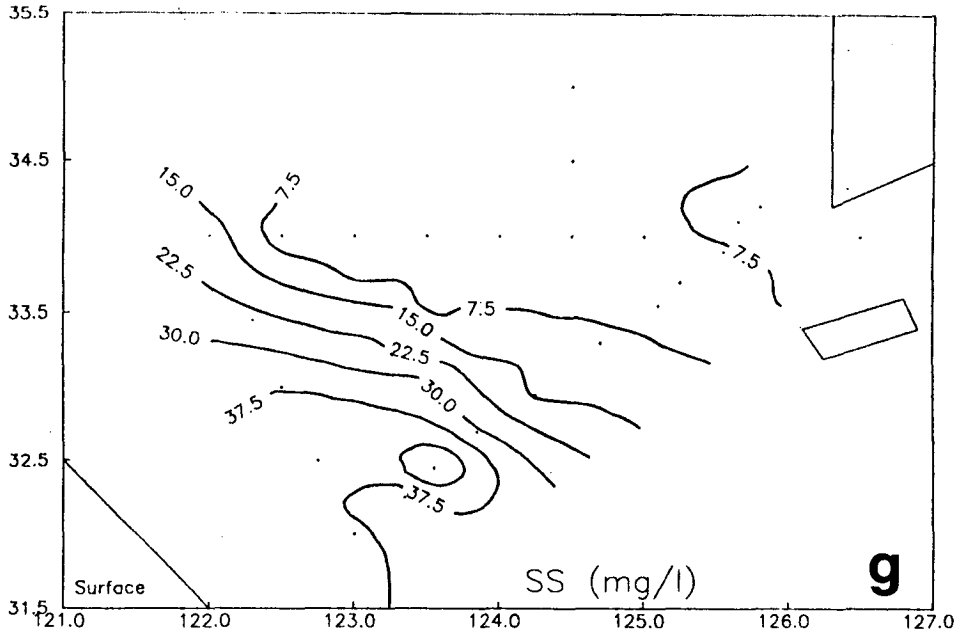


Fig. 3.33. Continued

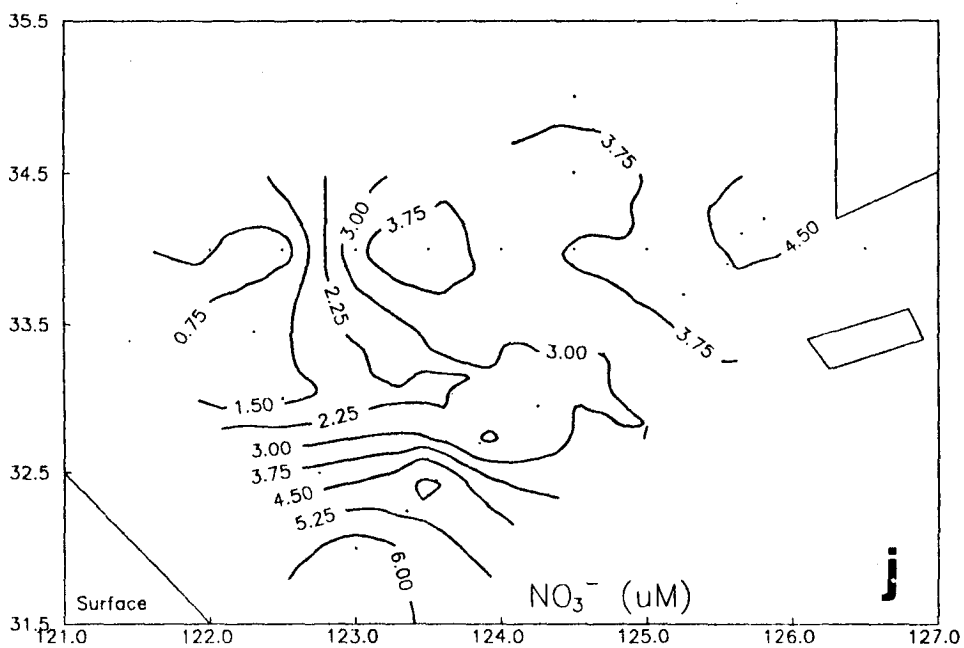
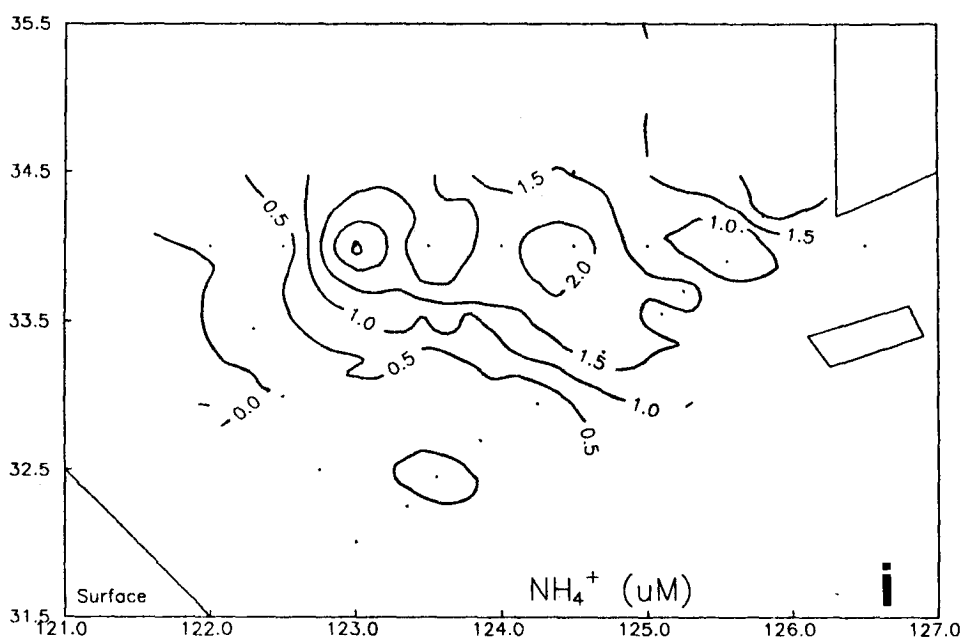


Fig. 3.33. Continued



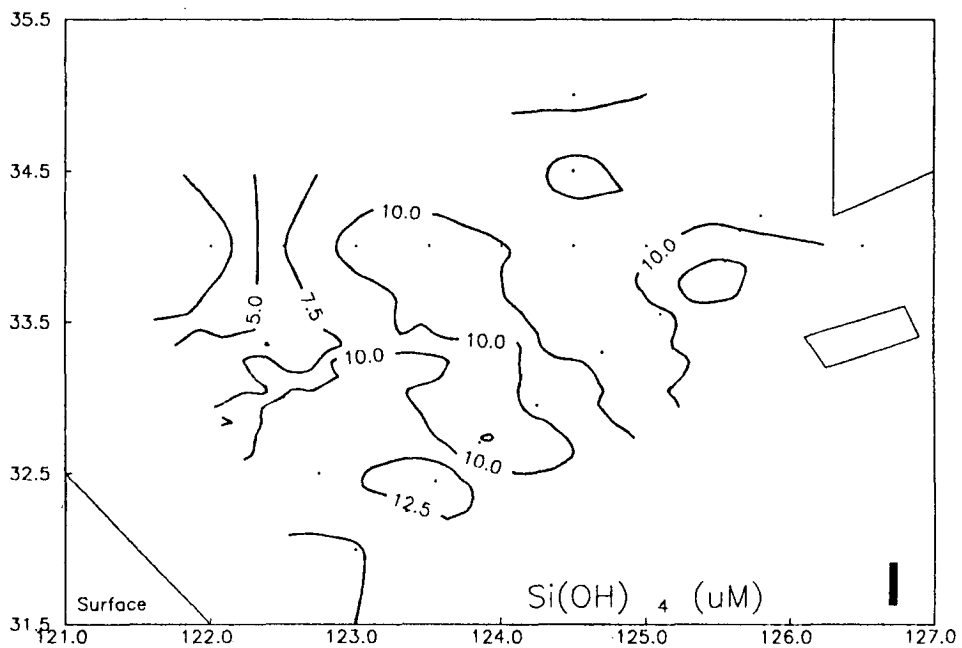
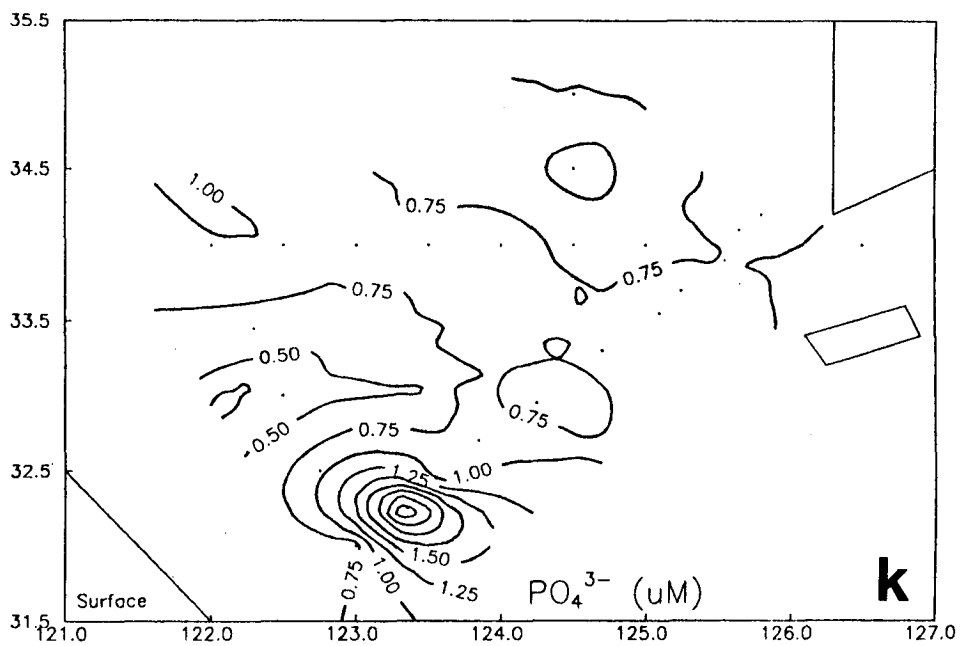


Fig. 3.33. Continued

( $PO_4^{3-}$ )은 양자강의 영향을 받는 중국쪽 해역에서 높고 그 외 해역에서는 대체로 균일하다. 규산은 남동 중앙부 해역에서 높고 양 해안 쪽으로 향하면서 낮아진다.

동계 황해 입구의 표층에서의 해황을 요약하면 다음과 같다. 고온고염의 외양수가 남동방향 (126°E, 33°N)에서 북서방향 (123.5°E, 34.5°N)으로 관입되고 있다. 고온고염의 외수는 질산이온과 규산을 또한 황해수보다 더 높게 함유하고 있다. 양자강 기원 영양소는 124°E, 32.5°N 까지의 해역에서만 공급되는 것으로 판단된다.

### 3.2.5. 식물플랑크톤 분포와 일차생산력

#### 3.2.5.1. 식물플랑크톤의 분포

1993년 2월중 조사해역의 식물플랑크톤의 개체수 분포는 총 60,900 - 1,040,900 cells/l 의 분포로 평균 525,000 cells/l 의 높은 개체수 분포를 부여하고 있다 (Table 3.3). 이는 출현한 총 개체수중 92% 에 해당하는 484,000 cells/l 가 20  $\mu$ m 미만의 미소플랑크톤(Nanoplankton)으로 다량 출현하였기 때문이다.

미소플랑크톤의 높은 출현으로 본 조사시에 출현한 총개체수는 1992년 춘계에 출현한 평균 총 개체수 388,000 cells/l 보다 높게 나타나고 있다. 그러나 유기탄소 함유나 탄소 고정에 큰 역할을 하는 20  $\mu$ m 이상의 소형 식물플랑크톤 (Netplankton)은 평균 41,000 cells/l 출현으로 1992년 춘계에 출현한 평균 330,000 cells/l 보다 훨씬 적게 출현하여 춘계보다 식물플랑크톤의 유기탄소 함유량이나 탄소 고정능력이 전체적으로 동계에 감소되었음을 알수있다. 그러나 1992년 춘계 조사시에도 전선수역인 정점 D6을 제외한 소형식물플랑크톤의 분포는

Table 3.3. The distribution of phytoplankton standing crops in the study area (Feb. 1993)

Unit : Cells/l

Station	Depth	Size-fractionated cell number		Total
		Netplankton	Nanoplankton	
St. C1	0 m	87,500	576,100	663,600
St. C2	0 m	60,900	214,200	275,100
	10 m	169,900	253,100	425,500
St. C3	0 m	16,686	44,234	60,900
	10 m	48,480	48,600	97,100
	20 m	29,300	688,400	717,800
	30 m	83,600	519,400	603,100
St. C4	0 m	13,600	772,700	786,400
	10 m	26,300	606,800	633,200
St. C5	0 m	10,000	498,300	508,400
	10 m	20,300	481,300	502,000
	20 m	19,900	499,500	519,400
	30 m	26,500	454,900	481,400
	50 m	33,200	525,100	558,300
	70 m	26,700	252,500	278,600
St. C6	0 m	15,500	620,800	636,300
	10 m	18,000	582,400	600,400
	20 m	34,800	410,400	445,200
	30 m	28,400	432,600	461,000
	50 m	63,600	346,500	410,100
	75 m	33,700	338,700	372,400
St. C7	0 m	34,100	369,500	403,600
	10 m	38,300	254,200	292,600
	20 m	21,700	381,100	402,700
	30 m	84,200	320,500	404,700
	50 m	24,700	445,900	470,600
	75 m	58,500	402,900	461,500
	85 m	39,800	603,900	643,700

## Continued

Station	Depth	Size-fractionated cell number		Total
		Netplankton	Nanoplankton	
St. D1	0 m	36,300	635,400	671,700
	10 m	76,400	752,900	829,400
	20 m	38,300	745,000	783,300
	30 m	89,500	676,300	765,900
St. D2	0 m	43,900	404,700	448,700
	10 m	25,700	585,886	610,900
	20 m	57,700	868,800	926,500
	30 m	53,000	382,200	435,200
St. D3	0 m	43,900	404,700	448,700
	10 m	25,600	585,886	610,900
	20 m	88,800	437,400	526,200
	35 m	113,700	927,200	1,040,900
St. D4	0 m	65,000	777,400	842,000
	10 m	36,100	893,300	929,500
	20 m	44,300	897,800	942,100
	30 m	57,700	458,700	516,300
St. D5	0 m	18,600	448,000	466,500
	10 m	28,100	534,486	562,500
	20 m	33,500	471,200	504,700
	30 m	31,800	539,100	570,900
St. D6	0 m	33,800	276,000	309,900
	10 m	13,900	507,400	521,200
	20 m	18,800	519,100	537,800
	30 m	34,500	471,800	506,300
	50 m	20,500	576,500	596,900
St. D7	0 m	58,300	302,300	360,700
	10 m	25,700	617,700	643,400
	20 m	13,200	580,100	593,300
	30 m	18,000	457,700	475,700
	50 m	32,300	380,000	412,000
	75 m	26,100	349,600	375,700

Continued

Station	Depth	Size-fractionated cell number		Total
		Netplankton	Nanoplankton	
St. D8	0 m	69,100	165,000	229,400
	10 m	33,400	242,900	276,300
	20 m	40,800	328,000	368,800
	30 m	42,200	279,700	321,900
	50 m	23,800	396,400	420,100
	75 m	16,700	501,200	517,900
St. D9	0 m	40,300	251,200	291,400
	10 m	24,700	393,500	418,200
	20 m	20,400	507,000	527,400
	30 m	52,600	316,800	367,900
St. D10	0 m	50,500	560,000	610,500
	10 m	13,900	512,600	526,500
	20 m	29,200	714,500	743,700
	30 m	28,100	617,100	645,200
	50 m	46,600	592,100	638,700
St. D11	0 m	61,100	434,200	495,300
	10 m	43,200	550,900	594,100
	20 m	41,100	496,200	537,300
	30 m	44,100	570,000	610,500
	55 m	77,200	405,400	482,500

평균 47,000 cells/l로 본 조사시와 큰 차이를 보이지 않고 있어, 본 조사수역이 전반적으로 소형식물플랑크톤이 빈약하게 출현하고 있음을 보여주고 있다. 이는 최등(1992)의 황해 중앙부 소형식물플랑크톤 출현이 대체로 10만 cells/l 이하의 낮은 출현을 보이고 있는 보고와 일치된다.

1992년 춘계자료와 본 조사시의 미소식물플랑크톤 출현 개체수를 비교해보면 소형식물플랑크톤에 비해 미소식물플랑크톤은 계절적으로 출현 상태가 크게 변하고 있음을 알수 있다. 1992년 춘계에 미소식물플랑크톤은 평균 63,000 cells/l 로 본 조사시보다 극히 적은 양이 출현하여 계절적으로 큰 차이를 보여주었다.

미소식물플랑크톤은 계절적으로 큰 변화를 보이고 있으나 조사수역간에는 정점 C3를 제외하고는 165,000 - 927,200 cells/l 분포변화로 계절 변화보다는 적은 변화를 보이고 있다. 수역별로는 중국측과 한국측 연안수역에서 다소 적은 개체수가 출현하고 있고, 정점 C4, C5, D3, D4등 중앙수역에서 많은 개체수가 출현하고 있어 미소식물플랑크톤 분포가 외양수의 분포와 연관이 있는 것으로 보인다.

소형식물플랑크톤 분포는 1992년 춘계에는 전선수역, 중앙수역에 따라 출현량에 큰 차이를 보였으나 본 조사시에는 10,000 - 169,900 cells/l 분포로 수역별로 큰 차이를 보이지 않았다. 대체로 연안수역에서 다소 증가된 출현량을 보이고, 중앙수역부근에서 다소 감소된 상태이나 수역별로 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

식물플랑크톤의 우점종 분포는 Table 3.4 에서 보는 바와 같이 C line 수역과 D line 수역이 다른 분포 패턴을 보여주고 있다. C line에서는 정점 C1에서 C4까지 주로 *Skeletonema costatum* 과 *Thalassiosira* 종류가 우점하고 C5 에서 한국연안측으로 오면서 *Paralia sulcata*와 *Nitzschia* 종류가 *Skeletonema*

Table 3.4. The distribution of dominant species in the phytoplankton communities of the study area.

Feb., 1993

Station	Depth	Dominant species	Cell number	Degree of dominance (%)
C1	0 m	<i>Skeletonema costatum</i>	39,970	45.66
		<i>Chaetoceros danicus</i>	9,820	11.22
C2	0 m	<i>Skeletonema costatum</i>	27,280	40.47
		<i>Thalassiosira</i> spp	15,780	23.41
	10 m	<i>Skeletonema costatum</i>	118,340	66.67
	20 m	<i>Skeletonema costatum</i>	146,640	59.63
<i>Thalassiosira</i> spp		76,920	31.28	
C3	0 m	<i>Skeletonema costatum</i>	10,800	49.09
		<i>Thalassiosira</i> spp	4,000	18.18
	10 m	<i>Skeletonema costatum</i>	38,130	56.38
		<i>Thalassiosira</i> spp	19,480	28.80
	20 m	<i>Skeletonema costatum</i>	11,890	40.54
		<i>Thalassiosira</i> spp.	10,890	37.16
	30 m	<i>Skeletonema costatum</i>	40,350	48.25
		<i>Thalassiosira</i> spp.	27,480	32.85
C4	0 m	<i>Skeletonema costatum</i>	1,360	10.00
		<i>Thalassiosira</i> spp.	7,270	53.33
	10 m	<i>Skeletonema costatum</i>	10,490	39.80
		<i>Thalassiosira</i> spp.	6,680	25.37
C5	0 m	<i>Paralia sulcata</i>	2,167	19.80
		<i>Thalassiosira</i> spp.	5,420	54.05
	10 m	<i>Nitzschia longissima</i>	3,120	15.38
		<i>Skeletonema costatum</i>	5,300	26.15
		<i>Thalassiosira</i> spp.	6,230	30.76
	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	11,500	57.85
	30 m	<i>Paralia sulcata</i>	15,500	58.24
	50 m	<i>Paralia sulcata</i>	4,600	13.99
		<i>Skeletonema costatum</i>	3,700	11.91
		<i>Thalassiosira</i> spp.	9,290	27.97
70 m	<i>Paralia sulcata</i>	15,100	56.76	
	<i>Skeletonema costatum</i>	4,800	18.02	

Continued

Station	Depth	Dominant species	Cell number	Degree of dominance (%)
C6	0 m	<i>Nitzschia</i> spp.	2,800	18.07
		<i>Skeletonema costatum</i>	7,000	45.18
	10 m	<i>Nitzschia</i> sp.	3,600	21.43
		<i>Skeletonema costatum</i>	7,900	44.29
	20 m	<i>Nitzschia longissima</i>	6,300	18.12
		<i>Paralia sulcata</i>	14,400	41.31
		<i>Skeletonema costatum</i>	4,300	12.32
	30 m	<i>Paralia sulcata</i>	13,500	47.41
		<i>Skeletonema costatum</i>	11,300	39.66
	50 m	<i>Paralia sulcata</i>	12,400	19.46
		<i>Skeletonema costatum</i>	45,800	71.98
	75 m	<i>Paralia sulcata</i>	12,400	36.99
<i>Skeletonema costatum</i>		13,300	39.64	
C7	0 m	<i>Paralia sulcata</i>	9,400	27.50
		<i>Skeletonema costatum</i>	11,400	33.33
	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	13,800	35.95
		<i>Skeletonema costatum</i>	15,000	39.22
	20 m	<i>Nitzschia longissima</i>	2,500	11.76
		<i>Skeletonema costatum</i>	11,900	55.29
		<i>Thalassiosira</i> spp.	5,100	23.52
	30 m	<i>Skeletonema costatum</i>	61,900	73.53
	50 m	<i>Paralia sulcata</i>	5,500	22.11
		<i>Skeletonema costatum</i>	9,600	38.95
	75 m	<i>Paralia sulcata</i>	9,100	15.58
		<i>Skeletonema costatum</i>	29,400	50.25
<i>Thalassiosira</i> spp.		7,400	12.56	
87 m	<i>Paralia sulcata</i>	20,900	52.40	
	<i>Skeletonema costatum</i>	4,700	11.72	
	<i>Thalassiosira</i> spp.	5,500	13.79	
D1	0 m	<i>Paralia sulcata</i>	23,800	65.68
	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	23,800	31.16
		<i>Skeletonema costatum</i>	21,500	28.29
<i>Thalassiosira</i> spp.		14,700	19.29	



Continued

Station	Depth	Dominant species	Cell number	Degree of dominance (%)
D1	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	18,500	48.39
		<i>Thalassiosira</i> spp.	7,400	19.35
	30 m	<i>Asterionella kariana</i>	12,300	13.72
		<i>Paralia sulcata</i>	58,600	65.55
D2	0 m	<i>Paralia sulcata</i>	22,300	50.75
	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	9,100	34.12
		<i>Thalassiosira</i> spp.	7,000	26.32
	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	51,900	90.00
D3	30 m	<i>Paralia sulcata</i>	49,400	93.14
	0 m	<i>Paralia sulcata</i>	21,600	50.75
	10 m	<i>Nitzschia commutata</i>	8,100	36.59
		<i>Paralia sulcata</i>	6,700	30.49
	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	55,800	62.82
<i>Thalassiosira</i> spp.		13,600	13.38	
D4	30 m	<i>Paralia sulcata</i>	82,600	73.39
		<i>Thalassiosira</i> spp.	19,700	17.51
	0 m	<i>Paralia sulcata</i>	37,500	57.63
		<i>Skeletonema costatum</i>	7,900	12.15
	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	12,100	33.56
		<i>Thalassiosira</i> spp.	12,100	33.56
	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	13,700	30.84
		<i>Skeletonema costatum</i>	9,600	22.03
<i>Thalassiosira</i> spp.		6,800	15.42	
30 m	<i>Paralia sulcata</i>	26,000	45.00	
	<i>Skeletonema costatum</i>	18,700	32.50	
	<i>Thalassiosira</i> spp.	8,700	15.00	
D5	0 m	<i>Navicula</i> spp.	5,000	17.47
		<i>Thalassiosira</i> spp.	6,100	32.97
	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	9,300	33.15
	<i>Skeletonema costatum</i>	3,100	11.05	
	<i>Thalassiosira</i> spp.	9,300	33.15	

Continued

Station	Depth	Dominant species	Cell number	Degree of dominance (%)
D5	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	20,700	61.73
		<i>Thalassiosira</i> spp.	6,200	18.52
	30 m	<i>Paralia sulcata</i>	18,400	57.82
		<i>Thalassiosira</i> spp.	5,400	17.01
D6	0 m	<i>Asterionella kariana</i>	6,900	20.58
		<i>Paralia sulcata</i>	5,600	16.46
		<i>Skeletonema costatum</i>	4,900	14.40
		<i>Thalassiosira</i> spp.	7,600	22.63
	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	2,500	25.97
		<i>Thalassiosira</i> spp.	3,200	23.52
	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	4,900	25.97
		<i>Thalassiosira</i> spp.	6,100	32.47
	30 m	<i>Paralia sulcata</i>	6,100	17.83
		<i>Skeletonema costatum</i>	12,000	34.88
		<i>Thalassiosira</i> spp.	6,600	19.30
	50 m	<i>Paralia sulcata</i>	8,900	43.68
		<i>Thalassiosira</i> spp.	4,700	22.99
D7	0 m	<i>Paralia sulcata</i>	14,800	25.64
		<i>Skeletonema costatum</i>	17,200	29.49
	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	6,200	24.00
		<i>Skeletonema costatum</i>	4,100	16.00
		<i>Thalassiosira</i> spp.	7,100	20.00
	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	7,300	54.94
		<i>Skeletonema costatum</i>	2,900	21.98
	30 m	<i>Navicula</i> spp.	4,100	22.94
		<i>Paralia sulcata</i>	4,950	27.52
		<i>Thalassiosira</i> spp.	3,300	18.53
	50 m	<i>Nitzschia longissima</i>	6,100	19.05
		<i>Paralia sulcata</i>	5,230	16.19
		<i>Thalassiosira</i> spp.	7,600	23.81
	75 m	<i>Navicula</i> spp.	5,400	20.83
		<i>Skeletonema costatum</i>	6,500	25.00
		<i>Thalassiosira</i> spp.	4,400	16.67

Continued

Station	Depth	Dominant species	Cell number	Degree of dominance (%)	
D8	0 m	<i>Navicula</i> spp.	10,800	15.68	
		<i>Paralia sulcata</i>	35,800	51.87	
		<i>Thalassiosira</i> spp.	8,300	12.06	
	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	8,700	23.53	
		<i>Skeletonema costatum</i>	6,500	17.16	
		<i>Thalassiosira</i> spp.	8,700	23.53	
	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	30,700	69.23	
		<i>Thalassiosira</i> spp.	5,700	12.82	
	30 m	<i>Navicula</i> spp.	8,800	20.00	
		<i>Paralia sulcata</i>	26,400	60.00	
	50 m	<i>Navicula</i> spp.	4,800	20.41	
		<i>Skeletonema costatum</i>	7,300	30.16	
<i>Thalassiosira</i> spp.		6,000	15.51		
70 m	<i>Navicula</i> spp.	3,600	21.39		
	<i>Paralia sulcata</i>	6,700	40.11		
D9	0 m	<i>Navicula</i> spp.	10,300	25.64	
		<i>Paralia sulcata</i>	10,300	25.64	
		<i>Thalassiosira</i> spp.	8,600	21.37	
	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	5,700	23.36	
		<i>Skeletonema costatum</i>	12,700	51.40	
	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	6,800	33.33	
		<i>Skeletonema costatum</i>	2,700	13.33	
		<i>Thalassiosira</i> spp.	4,100	20.00	
	30 m	<i>Paralia sulcata</i>	30,000	57.53	
		<i>Thalassiosira</i> spp.	10,800	20.55	
	D10	0 m	<i>Paralia sulcata</i>	31,500	62.50
			<i>Thalassiosira</i> spp.	8,000	15.24
10 m		<i>Asterionella kariana</i>	3,200	22.73	
		<i>Nitzschia longissima</i>	4,200	30.30	
20 m		<i>Paralia sulcata</i>	18,300	62.50	
		<i>Skeletonema costatum</i>	7,500	25.74	
30 m		<i>Paralia sulcata</i>	17,300	61.54	
		<i>Thalassiosira</i> spp.	4,300	15.38	

Continued

Station	Depth	Dominant species	Cell number	Degree of dominance (%)
D11	50 m	<i>Paralia sulcata</i>	29,600	63.54
		<i>Thalassiosira</i> spp.	6,400	13.81
D11	0 m	<i>Navicula</i> spp.	8,400	13.76
		<i>Paralia sulcata</i>	32,500	53.21
		<i>Thalassiosira</i> spp.	7,900	12.84
10 m	10 m	<i>Paralia sulcata</i>	23,800	55.07
		<i>Skeletonema costatum</i>	8,600	19.82
		<i>Thalassiosira</i> spp.	5,700	13.22
20 m	20 m	<i>Paralia sulcata</i>	20,600	50.93
		<i>Skeletonema costatum</i>	11,400	27.78
30 m	30 m	<i>Paralia sulcata</i>	36,000	81.63
50 m	50 m	<i>Paralia sulcata</i>	50,700	63.27
		<i>Thalassiosira</i> spp.	14,700	18.37

*costatum* 과 함께 우점하고 있다. 정점 C5, C6, C7 의 수심이 다른 정점에 비해 깊지만 저서성 규조류인 *Paralia sulcata*가 우점종으로 나타난것은 이 정점들이 한국연안수의 영향을 받고 있음을 의미한다. Choi(1985)에 의하면 *Paralia sulcata*는 황해 수괴의 혼합정도를 가리키는 지표종으로 동계에 한국연안수에 우점한다고 하였다.

C line 수역에서는 *Paralia sulcata*의 우점 여부에 따라 동서 두 수역으로 구분되고 있으나 D line 수역에서는 *Paralia sulcata* 가 전 정점에서 모두 우점하고 있어 C line 과는 다른 양상을 보여주고 있다. D line 에서는 *Paralia sulcata* 외에도 *Skeletonema costatum*, *Thalassilsira*, *Asterionella kariana*, *Nitzschia*, *Navicula* 등이 혼합되어 나타나고 있어 전반적으로 수괴가 잘 혼합되어 있음을 보여주고 있다. 1992년 춘계에 D line에서 출현한 식물플랑크톤 우점종은 정점 D1~D5 까지는 *Paralia sulcata*와 *Skeletonema costatum* 이 우점하였고, D6~D9 까지는 *Chateceros debilis* 와 *Protoperidinium* 이 우점하였으며 D10~D11 에서는 다시 *Skeletonema costatum*과 *Paralia sulcata*가 우점하여 연안수역과 외양수역의 구분이 뚜렷이 나타났었으나 동계조사시에는 전반적으로 우점종이 유사하게 분포하여 수괴의 분포에 따른 우점종 구분이 뚜렷하지 않았다.

본 조사시에 출현한 식물플랑크톤 정량 자료를 이용하여 식물플랑크톤의 유기탄소 함유량의 분포를 구한 결과 (Table 3.5) 정점 C1을 제외한 전정점이 14.18 - 45.59 ugC/l 의 분포로 정점간에 큰 차이를 보이지 않고 있다. 대체로 미소식물플랑크톤이 많이 출현하였던 정점 D3, D4에서는 다소 높은 유기탄소량을 보이고 있으나 다른 정점에서는 고른 분포를 보이고 있다. 정점 C1에서는 크기가 큰 *Thalassiosira*, *Cosinodiscus*, *Ditylum brightwellii* 등이 다량 출현하여 다른 수역에 비해 월등히 높은 100.75  $\mu\text{g C/l}$  의 탄소 함유량을 보여주고 있다.

Table 3.5. The distribution of phytoplankton carbon content in the study area (Feb. 1993)

Unit:  $\mu\text{g-C/l}$

Station	Depth	Size-fractionated carbon content		Total
		Netplankton	Nanoplankton	
St. C1	0 m	85.31	15.43	100.75
St. C2	0 m	18.38	4.88	23.26
	10 m	32.79	5.77	38.57
	20 m	31.68	4.14	35.85
St. C3	0 m	5.65	10.08	15.73
	10 m	10.40	11.23	21.63
	20 m	3.56	18.45	22.01
	30 m	10.26	13.92	24.18
St. C4	0 m	2.30	20.70	23.00
	10 m	3.55	16.29	19.81
St. C5	0 m	2.30	13.36	15.66
	10 m	5.91	12.91	18.82
	20 m	3.64	13.39	17.03
	30 m	6.46	12.19	18.64
	50 m	4.96	14.07	19.03
	70 m	27.64	5.74	23.01
St. C6	0 m	2.59	16.63	19.23
	10 m	2.83	15.61	18.43
	20 m	4.23	10.99	15.23
	30 m	3.61	11.59	15.20
	50 m	7.49	9.29	16.79
	75 m	13.81	9.07	22.89
St. C7	0 m	5.08	9.90	14.98
	10 m	7.36	6.81	14.18
	20 m	4.76	10.21	14.97
	30 m	7.10	8.59	15.69
	50 m	2.76	11.95	14.75
	75 m	14.01	10.79	24.81
	87 m	9.12	16.19	25.30

Continued

Station	Depth	Size-fractionated carbon content		Total
		Netplankton	Nanoplankton	
St. D1	0 m	6.82	14.48	21.34
	10 m	13.74	17.23	30.98
	20 m	14.75	16.98	31.74
	30 m	14.39	15.42	29.82
St. D2	0 m	24.92	9.23	34.15
	10 m	12.61	13.34	25.96
	20 m	9.07	19.81	28.88
	30 m	24.69	8.71	33.41
St. D3	0 m	24.20	8.63	32.83
	10 m	6.74	24.47	40.30
	20 m	35.62	9.97	45.59
	30 m	13.84	24.85	38.69
St. D4	0 m	11.89	17.73	29.63
	10 m	9.04	23.94	32.98
	20 m	13.96	24.06	38.03
	30 m	28.77	10.45	39.23
St. D5	0 m	7.29	12.00	19.30
	10 m	14.19	12.18	26.38
	20 m	9.72	12.63	22.36
	30 m	13.58	12.29	25.87
St. D6	0 m	14.41	6.29	20.70
	10 m	10.81	13.59	24.41
	20 m	9.48	13.91	23.40
	30 m	12.37	10.76	23.12
	50 m	13.41	15.44	28.86
St. D7	0 m	12.73	8.10	16.56
	10 m	9.57	16.56	26.13
	20 m	6.35	15.55	21.89
	30 m	7.76	12.27	20.03
	50 m	24.57	8.66	33.23
	75 m	10.36	9.37	19.73

Continued

Station	Depth	Size-fractionated carbon content		Total
		Netplankton	Nanoplankton	
St. D8	0 m	16.19	3.76	17.90
	10 m	30.59	6.51	15.73
	20 m	6.83	8.79	15.62
	30 m	10.34	6.83	16.72
	50 m	10.45	9.03	19.48
	70 m	2.87	13.43	16.31
St. D9	0 m	10.40	6.73	17.13
	10 m	4.66	10.54	15.21
	20 m	2.23	13.59	15.82
	30 m	18.47	7.22	23.50
St. D10	0 m	8.66	15.00	23.66
	10 m	1.88	13.74	15.62
	20 m	3.81	16.84	20.66
	30 m	5.73	16.54	22.26
	50 m	11.74	15.86	27.61
St. D11	0 m	11.58	11.63	23.21
	10 m	7.93	14.76	22.69
	20 m	9.96	13.29	23.26
	30 m	17.89	12.99	25.59
	55 m	16.82	9.24	26.05



### 3.2.5.2. 식물염록소

Chlorophyll-a 의 농도 분포 (Table 3.6)는 이와 유사한 분포로 정점 C1를 제외한 다른 정점은 0.40~2.35  $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 분포로 수역간에 큰 차이를 보이지 않고 있다. 미소플랑크톤이 많이 출현하였던 정점 D1~D5 에서 대체로 높은 Chlorophyll-a 농도를 보이고 다른 정점에서는 1  $\mu\text{g}/\text{l}$  이하의 낮은 농도를 보이고 있다.

### 3.2.5.3. 일차생산력

조사수역의 동계에 조사한 일일 일차생산력 분포는 4.75~76.32  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 로 평균 25.12  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 의 낮은 생산력을 보이고 있다. 이는 최등(1992)의 황해이 겨울철 일차 생산력 분포인 41- 280  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$  보다 낮은 분포를 보이고 있다. 황해의 경우 동계의 식물플랑크톤 일차생산능력은 낮은 수온과 수괴 혼합에 의한 높은 탁도로 다른 계절에 비해 특히 낮게 나타나는 것이 특징이다. 본 조사수역에는 기존에 조사된 동계의 일차생산력보다 더 낮게 나타났다. 이는 기존의 조사수역이 연안쪽에 가까운 황해 중동부수역인데 반해 본 조사가 소형식물플랑크톤의 현존량이 적은 황해 남부수역에서 행하여졌기 때문에 이의 영향을 받은것으로 보인다. 본 조사수역에서 1992년 춘계에 측정된 일차생산력은 232.9 - 10767  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 로 전선수역에서는 극히 높은 일차생산력을 보였고, 중앙수역에서는 춘계로서는 비교적 낮은 일차생산력을 보였었다. 본 조사에서는 뚜렷한 전선수역이 나타나지 않았기 때문에 뚜렷하게 높은 일차생산력을 보이는 수역은 없었다. 그러나 정점 C6 과 정점 D11에서 50  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$  이상으로 다소 높은 일차생산력을 보였고, 정점 D6 과 D10에서 10  $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$  미만의 극히 낮은

Table 3.6. The distribution of Chlorophyll-a in the study area  
(Feb. 1993)

Unit :  $\mu\text{g/l}$

Station	Depth	Total	Nano	Pico
St. C1	0 m	5.45	1.64	1.03
St. C2	0 m	0.88	0.62	0.24
	10 m	1.60	1.00	0.42
	20 m	1.30	0.88	
	30 m	1.54	0.94	
St. C3	0 m	0.48	0.36	0.30
	10 m	0.80	0.68	
	20 m	0.94	0.80	
	30 m	1.14	0.92	0.22
	50 m	1.42	1.08	
	65 m	1.52	1.16	
St. C4	0 m	1.08	0.81	0.15
	10 m	0.86	0.73	0.32
	20 m	0.78	0.66	0.28
	40 m	1.05	0.73	
	55 m	1.01	0.98	
St. C5	0 m	0.60	0.24	0.08
	10 m	0.80	0.70	0.22
	20 m	0.71	0.63	
	30 m	0.75	0.66	
	50 m	0.80	0.71	
	70 m	0.87	0.75	
St. C6	0 m	0.95	0.26	0.22
	10 m	0.87	0.65	0.16
	20 m	0.66	0.46	
	30 m	0.63	0.46	
	50 m	0.68	0.54	
	75 m	0.87	0.75	

Continued

Station	Depth	Total	Nano	Pico
St. C7	0 m	0.58	0.37	0.11
	10 m	0.60	0.51	0.21
	20 m	0.58	0.39	
	30 m	0.60	0.44	
	50 m	0.58	0.54	
	75 m	0.87	0.71	
	87 m	0.95	0.77	
St. D1	0 m	1.68	1.40	0.32
	10 m	1.90	1.70	0.38
	20 m	1.97	1.70	
	30 m	1.78	1.54	
St. D2	0 m	1.96	1.14	0.22
	10 m	1.20	1.12	
	20 m	1.84	1.54	
	30 m	2.03	1.62	
St. D3	0 m	1.90	1.38	0.38
	10 m	2.28	1.84	
	20 m	2.35	1.84	
	35 m	2.47	1.81	
St. D4	0 m	1.73	1.53	0.28
	10 m	1.95	1.55	
	20 m	2.18	1.90	0.18
	30 m	2.61	2.05	
St. D5	0 m	1.03	0.85	0.19
	10 m	1.30	1.13	0.28
	20 m	1.28	1.10	
	30 m	1.35	1.10	
	50 m	1.38	1.18	
St. D6	0 m	0.85	0.65	0.10
	10 m	1.03	0.78	0.13
	20 m	1.05	0.90	
	30 m	1.05	0.85	
	50 m	1.15	1.05	
	75 m	1.90	1.25	

Continued

Station	Depth	Total	Nano	Pico
St. D7	0 m	0.85	0.44	0.31
	10 m	1.43	1.23	0.15
	20 m	1.00	0.88	0.15
	30 m	0.99	0.85	
	50 m	1.48	1.18	0.15
	75 m	0.98	0.88	
St. D8	0 m	0.42	0.26	0.10
	10 m	0.74	0.68	0.19
	20 m	0.68	0.62	0.15
	30 m	0.74	0.66	0.18
	50 m	0.69	0.62	
	70 m	0.70	0.66	
	80 m	0.66	0.64	0.10
St. D9	0 m	0.51	0.38	0.04
	10 m	0.40	0.35	0.09
	20 m	0.47	0.43	0.14
	30 m	0.44	0.44	0.14
	50 m	0.42	0.35	
	75 m	0.44	0.38	
	100 m	0.73	0.64	
St. D10	0 m	0.87	0.51	0.16
	10 m	0.56	0.43	
	20 m	0.62	0.51	0.13
	30 m	0.78	0.62	0.14
	50 m	1.03	0.81	
	75 m	0.40	1.13	0.12
St. D11	0 m	0.82	0.61	0.09
	10 m	0.74	0.56	
	20 m	0.87	0.69	
	30 m	0.87	0.72	
	55 m	0.95	0.77	

생산력을 보였다. 이 두지점의 경우는 측정시 빛 조건이 극히 좋지 않아 예외적으로 낮게 나타난것으로 보인다.

동계 조사시 일일 일차 생산력 분포만으로는 조사수역간에 뚜렷한 특징이 나타나지 않고 있으나 수역별 동화계수의 분포를 보면 (Table 3.7) C line에서 조사된 동화계수는 평균 3.98 로 높게 나타나고 D line에서 조사된 동화계수는 평균 1.25로 낮게 나타났다. 이는 C line과 D line에서 출현한 우점종의 분포와 연관이 있는 것으로 보인다. C line에서는 주로 광합성 능력이 높은 *Skeletonema costatum* 이 우점하였고, D line 에서는 광합성 능력이 비교적 낮은 *Paralia sulcata*가 우점하였기 때문인 것으로 보인다.

이상으로 본 조사수역의 동계 식물플랑크톤의 개체수 분포나 Chlorophyll 분포는 동계의 수괴의 활발한 혼합으로 수층간에 뚜렷한 구분없이 비교적 균일하게 나타나고, 수역간에도 현존량 및 일차생산력 분포가 큰 차이 없이 나타나고 있으나, 우점종의 분포와 동화계수의 분포는 C line 수역과 D line 수역이 다소 다른 특징을 가진 수역으로 구분됨을 보여 주었다.

### 3.2.6. 동물플랑크톤 현존량

1993년 2월에 목포연안수역에서 남서쪽으로 중국연안수역사이에 위치한 8개 조사정점에서 34개 종 및 그룹의 동물플랑크톤을 조사하였으며, 이 중 요각류는 20개 무리로써 동정된 종은 10속 12종이었다 (Table 3.8; Fig 3.34). 이는 황해 중동부역의 봄철에 보고된 8속 12종(박, 1980)이나 봄과 가을철에 조사된 심등(1988)의 9속 12종과 유사한 수준이었으나, 연중조사된 황등(1993)의 18종보다는 현저히 적은 경우이다.

최우점종은 평균 55개체/m<sup>3</sup> 로써 전체 동물플랑크톤의 50%를 차지한 *Paracalanus parvus* 이었으며, 평균 14개체/m<sup>3</sup> 로써 전체의 13%를 차지한

Table 3.7. The distribution of Primary productivities and assimilation number in the study area

Feb., 1993

STATION		P. P. (mgC/m <sup>2</sup> /day)	A. N. (mgC/mgChl/hr)
C2	Total	23.12	3.74
C3	Total	11.45	3.56
C6	Total	76.32	6.28
	Nano	62.35	2.63
C7	Total	39.22	2.32
	Nano	33.40	1.54
D1	Total	21.83	1.02
	Nano	8.95	0.86
D2	Total	28.35	1.55
	Nano	14.09	1.46
	Pico	0.99	0.57
D3	Total	21.88	1.04
	Nano	11.66	0.89
D4	Total	24.55	1.08
	Nano	12.21	0.67
	Pico	0.87	0.28
D5	Total	15.23	1.14
	Nano	7.98	0.55

Continued

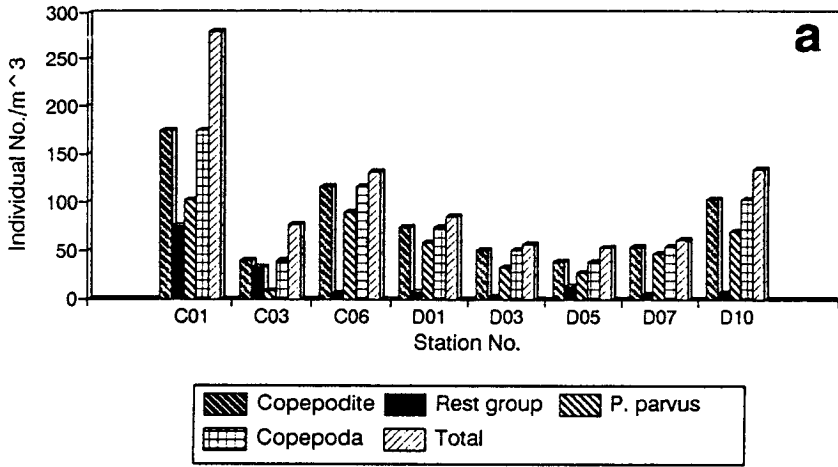
STATION		P. P. (mgC/m <sup>2</sup> /day)	A. N. (mgC/mgChl/hr)
D6	Total	4.75	0.43
	Nano	2.73	0.30
D7	Total	11.91	0.56
	Nano	6.40	0.50
D8	Total	22.49	1.84
	Nano	12.28	1.60
D9	Total	12.26	0.89
	Nano	11.69	0.69
D10	Total	7.74	1.08
	Nano	7.30	0.74
D11	Total	55.79	3.11
	Nano	29.98	2.02

Table 3.8. Individual Number of Zooplankton(per cubic meter)  
at each station (YE Feb. 4-11, 1993).

SPECIES \ STATION	C01	C03	C06	D01	D03	D05	D07	D10	Mean
Foraminifera						1			0
<i>Sagitta crassa</i>	6	0	1	2		1	1	3	2
<i>Calanus sinicus</i>	1		3	4	1		1	1	1
<i>Eucalanus subtenuis</i>							0		0
<i>Scolecithricella longispinosa</i>						2	3		1
<i>Labidocera euchaeta</i>				3	1	0			1
<i>Paracalanus crassirostris</i>	1			4			1		1
<i>P. parvus</i>	102	8	90	59	33	28	47	71	55
<i>P. aculeatus</i>				1	5	2			1
<i>P. sp.</i>								0	0
<i>Acartia clausi</i>	1	1			1			1	0
<i>Corycaeus affinis</i>	51	25	7	2	7	4	0	15	14
<i>Oithona similis</i>	12	1	5	2	3	1	1	9	4
<i>O. sp.</i>	7	5	10			1	0	5	3
<i>Oncea sp.</i>					0		0	1	0
Harpacticoida	1	0	1		0	1	0	0	1
Ostracoda			0			1	1		0
Amphipoda								0	0
Cuma						0			0
Appendicularia		16							2
Ceolenterata								0	0
Egg		0							0
Larvae : Annelida	1	0		1		3			1
Mollusca	22	1	3	5	2	2	1	0	5
Echinodermata	1	0					0	0	0
Nauplius	47	14	1			4		1	8
Zoea						0		0	0
Mysis		0	0	1	1	1	2	0	0
Cirripedia			0						0
Copepodite : <i>Acartia</i>		0	0	2	0			5	1
<i>Calanus</i>	27	5	8	1	3	1	2	15	8
<i>Labidocera</i>					0				0
<i>Centropages</i>	3		0			0		4	1
<i>Euchaeta</i>						0	1	0	0
Total	280	77	132	85	57	54	62	135	110
Subtotal : Copepoda	175	40	117	75	51	39	54	103	82
Copepodite	30	5	9	2	3	2	3	24	10
Rest group	76	33	6	8	3	13	5	7	19



## ZOOPLANKTON DISTRIBUTION (YE Feb. 4 - 11, 1993)



## ZOOPLANKTON DISTRIBUTION (YE Feb. 4 - 11, 1993)

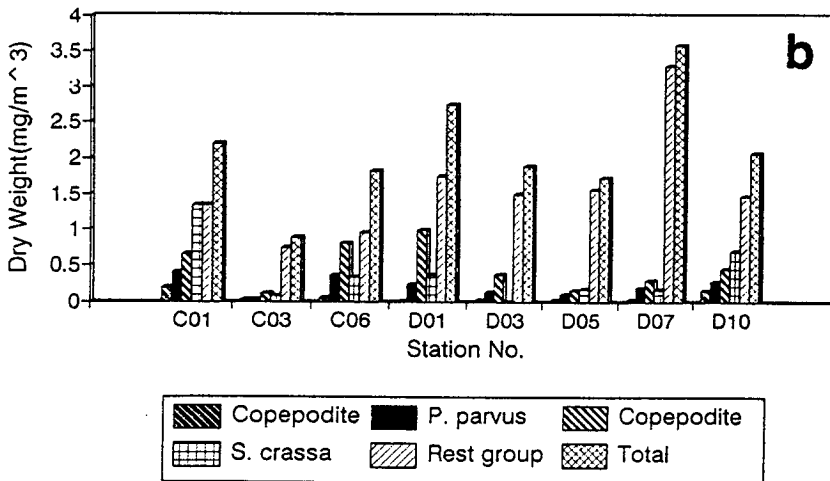


Fig. 3.34. Zooplankton distribution of YS9302: (a) Individual numbers and (b) dry weight

Table 3.9. % Number of Zooplankton at each station (YE Feb. 4-11, 1993).

SPECIES \ STATION	C01	C03	C06	D01	D03	D05	D07	D10	Mean
Foraminifera						1			0
<i>Sagitta crassa</i>	2	0	1	2		1	1	2	2
<i>Calanus sinicus</i>	0		2	5	1		1	1	1
<i>Eucalanus subtenuis</i>							1		0
<i>Scolecithricella longispinosa</i>						4	5		1
<i>Labidocera euchaeta</i>				4	2	1			1
<i>Paracalanus crassirostris</i>	0			5			2		1
<i>P. parvus</i>	37	10	68	69	58	51	75	52	50
<i>P. aculeatus</i>				1	8	3			1
<i>P. sp.</i>								0	0
<i>Acartia clausi</i>	0	1			1			1	0
<i>Corycaeus affinis</i>	18	32	6	3	12	8	1	11	13
<i>Oithona similis</i>	4	2	4	2	4	2	1	7	4
<i>O. sp.</i>	2	6	7			1	1	4	3
<i>Oncea sp.</i>					1		1	1	0
Harpacticoida	0	0	1		1	2	1	0	0
Ostracoda			0			1	1		0
Amphipoda								0	0
Cuma						1			0
Appendicularia		21							2
Ceolenterata								0	0
Egg		0							0
Larvae : Annelida	0	0		1		5			0
Mollusca	8	2	2	6	3	4	2	0	4
Echinodermata	0	0					1	0	0
Nauplius	17	18	1			7		1	8
Zoea						1		0	0
Mysis		0	0	1	1	1	3	0	1
Cirripedia			0						0
Copepodite : <i>Acartia</i>		0	0	2	1			4	1
<i>Calanus</i>	10	6	6	1	4	2	3	11	7
<i>Labidocera</i>					1				0
<i>Centropages</i>	1		0			1		3	1
<i>Euchaeta</i>						1	1	0	0
Subtotal : Copepoda	62	52	89	88	89	72	88	76	74
Copepodite	11	6	7	3	6	4	5	18	9
Rest group	27	42	5	9	4	23	7	5	17

*Corycaeus affinis* 가 차우점종이었다 (Table 3.9). *P. parvus* 는 황해역에서 동계에 우점하는 종이다.

조사정점별 개체수 분포는 정점 C01 의 최대 280개체/ $m^3$  에서 정점 D05 의 최소 54개체/ $m^3$  로써 평균 110개체/ $m^3$  에 불과하였다. 이는 봄철에 *Noctiluca scintillans* 가 일부 정점에서 우점하였던 1992년 4월 (8-18일)의 최대 26,914개체/ $m^3$  에서 최소 325개체/ $m^3$  보다는 현저히 낮은 출현개체수으로써 동계의 감소된 1차 생산량의 영향으로 보인다.

한편, 주요 동물플랑크톤의 건조중량에 있어서는 *Mysis*(유생) 이 전체의 56% 를 차지하는 최우점종이었고, *Sagitta crassa* 가 19%로써 차우점종이었다 (Table 3.10; Table 3.11). 이들의 요각류를 중심으로한 동물플랑크톤 군집에 대한 포식압력이 군집의 천이에 주요요인으로 생각된다.

본 조사기간중 동물플랑크톤은 전반적으로 낮은 출현개체수를 나타내었으며, 조사해역의 중국측 북부연안역(C01)에서 최대이었고, 한국측 연안역(D10, C06)의 순으로 나타난 반면, 주요 동물플랑크톤의 건조중량에 있어서는, 한국측 남부연안역(D07)에서 최대값을 나타내었으며, 조사수역의 중앙부(C03, C06, D03, D05)에서 비교적 낮은 값을 나타내었다.

결과적으로, 본 조사시기의 황해 남부역에서 동물플랑크톤 군집의 상대적인 출현개체수는 중국측 북부연안역에서 우세하였으나 전반적으로 빈약하였고, 건조중량은 조사수역의 중앙부에서 낮은 반면 한국측 연안역이 보다 더 높은 것으로 나타났다. *P. parvus* 는 전체 동물플랑크톤 개체수의 50% 이상을 차지한 우점종이었으나 건조중량은 10%에 불과하였고, 전체 개체수의 1% 및 2%를 차지하였던 *Mysis*(유생) 와 *S. crassa* 는 건조중량에 있어서는 56% 및 19% 를 차지하여 동물플랑크톤군집의 천이는 이들의 포식압력에 의한 영향이 클 것으로 예상된다.

Table 3.10. Dry weight of Zooplankton (per cubic meter) at each station  
(YE Feb. 4-11, 1993).

SPECIES \ STATION	C01	C03	C06	D01	D03	D05	D07	D10	Mean
<i>Sagitta crassa</i>	1.342	0.085	0.339	0.361	0.000	0.179	0.162	0.701	0.396
<i>Calanus sinicus</i>	0.085	0.000	0.424	0.513	0.110	0.000	0.092	0.114	0.167
<i>Labidocera euchaeta</i>	0.000	0.000	0.000	0.210	0.084	0.026	0.000	0.000	0.040
<i>Paracalanus crassirostris</i>	0.005	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.004	0.000	0.003
<i>P. parvus</i>	0.410	0.032	0.361	0.236	0.131	0.110	0.187	0.282	0.219
<i>P. aculeatus</i>	0.000	0.000	0.000	0.003	0.019	0.006	0.000	0.000	0.004
<i>Acartia clausi</i>	0.005	0.007	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.009	0.003
<i>Corycaeus affinis</i>	0.152	0.074	0.022	0.007	0.020	0.013	0.001	0.044	0.042
Larvae : Mysis	0.000	0.658	0.618	1.394	1.492	1.380	3.126	0.772	1.180
Copepodite : <i>Acartia</i>	0.000	0.001	0.001	0.005	0.001	0.000	0.000	0.015	0.003
<i>Calanus</i>	0.189	0.032	0.057	0.006	0.018	0.008	0.015	0.102	0.053
<i>Labidocera</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Centropages</i>	0.018	0.000	0.002	0.000	0.000	0.003	0.000	0.031	0.007
<i>Euchaeta</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.005	0.003	0.001
Total	2.206	0.889	1.825	2.751	1.885	1.728	3.592	2.072	2.118
Subtotal : Copepoda	0.656	0.113	0.808	0.985	0.371	0.156	0.285	0.449	0.478
Copepodite	0.207	0.032	0.060	0.010	0.022	0.014	0.020	0.150	0.064
Rest group	1.342	0.744	0.957	1.755	1.492	1.559	3.288	1.473	1.576

Table 3.11. Dry weight(%) of Dominant Zooplankton at each station  
(YE Feb. 4-11, 1993).

SPECIES \ STATION	C01	C03	C06	D01	D03	D05	D07	D10	Mean
<i>Sagitta crassa</i>	61	10	19	13		10	5	34	19
<i>Calanus sinicus</i>	4		23	19	6		3	5	8
<i>Labidocera euchaeta</i>				8	4	2			2
<i>Paracalanus crassirostris</i>	0			1			0		0
<i>P. parvus</i>	19	4	20	9	7	6	5	14	10
<i>P. aculeatus</i>				0	1	0			0
<i>Acartia clausi</i>	0	1			0			0	0
<i>Corycaeus affinis</i>	7	8	1	0	1	1	0	2	2
Larvae : Mysis		74	34	51	79	80	87	37	56
Copepodite : <i>Acartia</i>		0	0	0	0			1	0
<i>Calanus</i>	9	4	3	0	1	0	0	5	3
<i>Labidocera</i>					0				0
<i>Centropages</i>	1		0			0		1	0
<i>Euchaeta</i>						0	0	0	0
Subtotal : Copepoda	30	13	44	36	20	9	8	22	23
Copepodite	9	4	3	0	1	1	1	7	3
Rest group	61	84	52	64	79	90	92	71	74

### 3.3. 해저퇴적물의 유기물 분포현황

#### 3.3.1. 해저퇴적물의 유기물의 수직분포

YS 9204 해양조사에서 채취한 주상 퇴적물에서의 유기물 수직분포를 조사하였다. 유기탄소, 질소, 황의 함량과 탄소와 질소간의 원자비는 Fig. 3.35와 Table 3.12에 나타내었다.

황해 중앙부 해역 (정점 B4)과 한국쪽 해안 인접 해역 (정점 A2)은 해저유기물 수직 분포형태가 뚜렷이 구분된다 (Fig. 3.35). 황해 중앙부 해역인 정점 B4에서는 C/N 비가 대체로 7.8~8.7의 범위로서 깊이에 따른 변화가 거의 없다. 반면에 한국쪽 해안 인접 해역 해저퇴적물에서는 7.5~11.8로서 황해 중앙부 해역에서 보다 일반적으로 높아서 육지로부터의 육성기원 유기물의 영향을 받는 것으로 사료된다. 일반적으로 해양기원 유기물은 해저퇴적물에서 C/N 비 (원자)가 8정도이고 육성기원 유기물은 이 보다 훨씬 크다. 각 정점별 수직분포를 자세히 살펴보면 다음과 같다.

황해 중부 해역 (정점B4): 표층에서 유기탄소 함량은 1.1%이며 해저표면에서 7cm 깊이까지는 지수함수적으로 감소하여 0.7%에 이른다. 그리고 그 이하의 깊이에서는 약간의 변화 (outlier)가 있으나 0.6%로서 점근선 값 (asymptotic value)을 이루는 것으로 보인다.

한국 해안 인접 천해부 (정점 A2): C/N 비와 유기탄소의 깊이 구배에 따라서 수직적으로 3개의 구역으로 대별될 수 있다. 표층에서 6cm 까지, 6~17 cm 구간, 그리고 17cm 이하 (시료 채취 깊이인 21cm 까지)로 나누어진다. 즉 0-6 cm 깊이 구간에서는 유기물 함량과 C/N 비의 깊이에 따른 변화가 서로 반대되는 거울 형상 (mirror image) 분포를

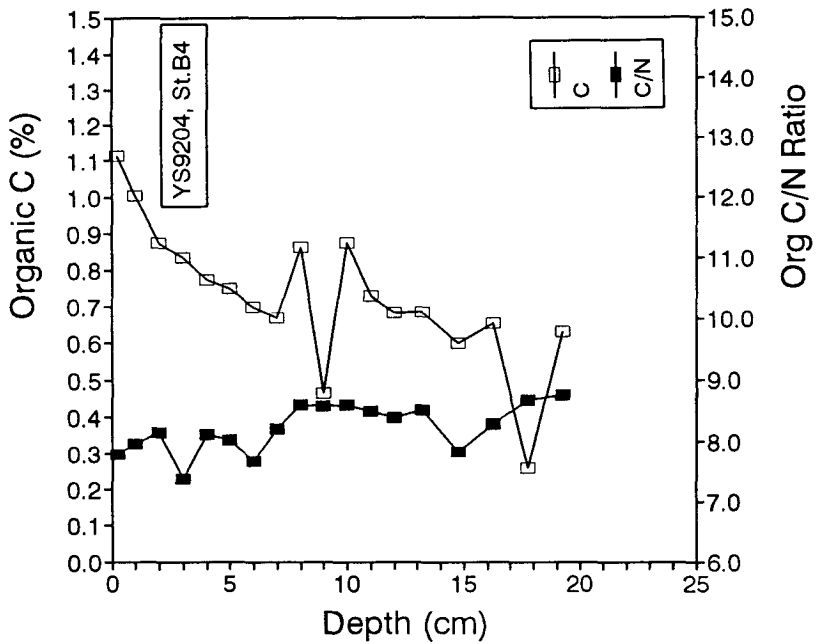
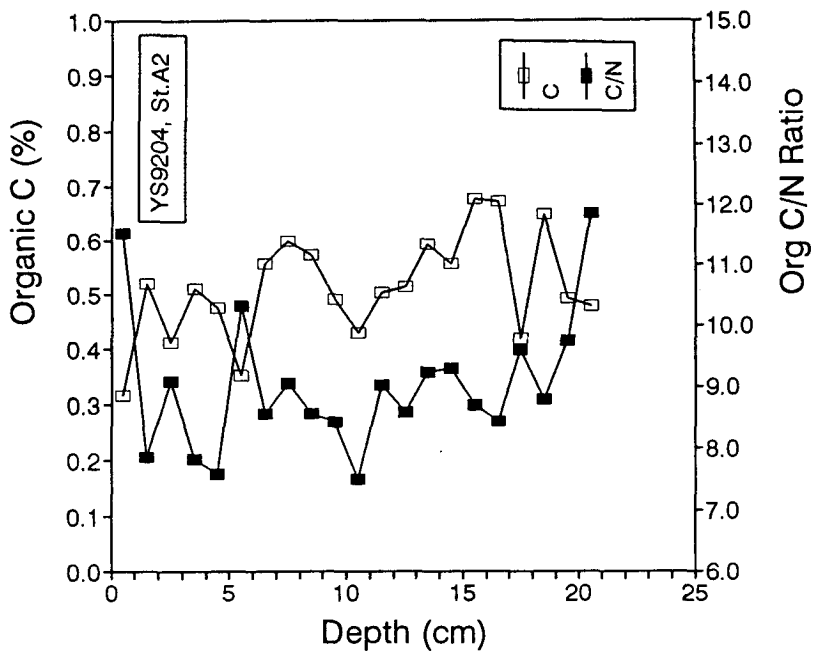


Fig. 3.35. Vertical profiles of organic carbon content and C/N ratio of each stations in YS9204

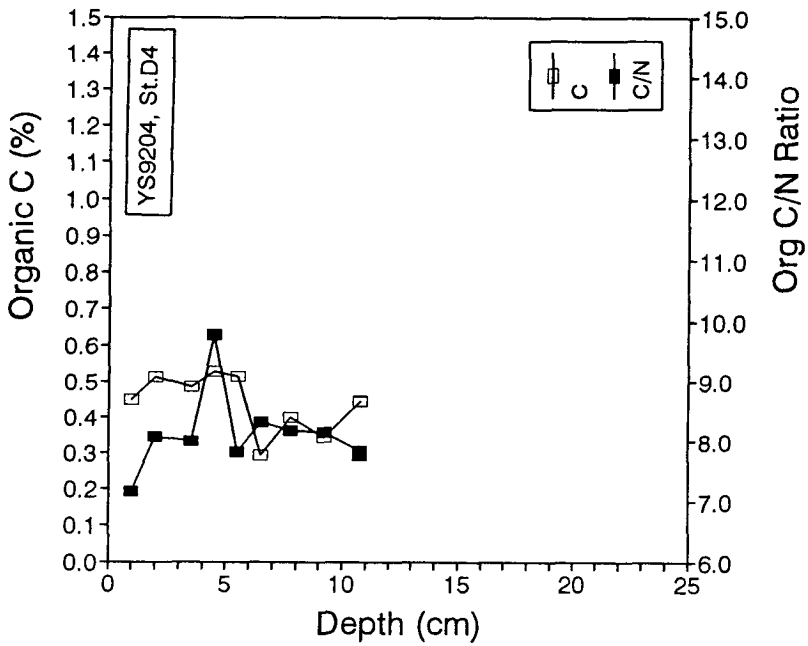
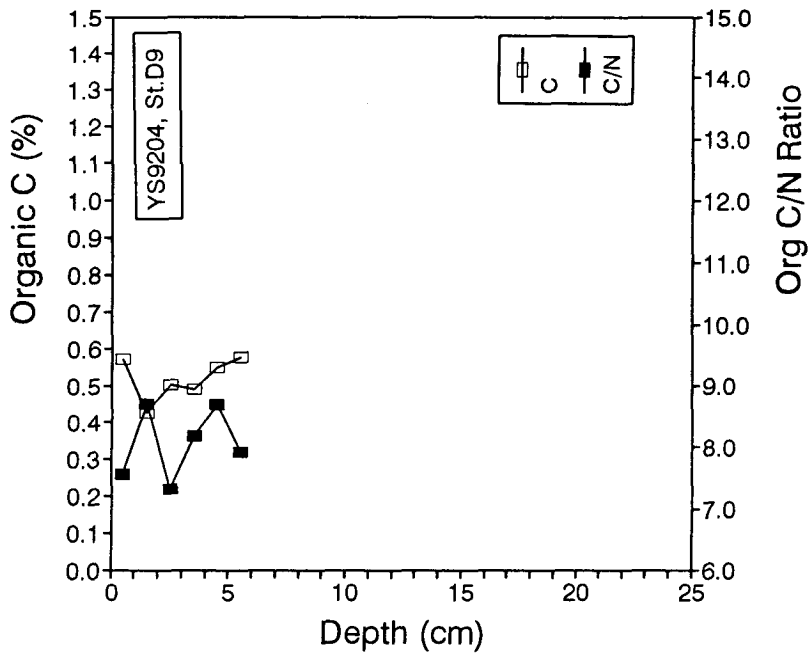


Fig. 3.35. Continued

Table 3.12. Sedimentary organic carbon and nitrogen in the Yellow Sea

Cruise	Station	Depth Interval (cm)		N (%)	C (%)	S (%)	C/N (atomic)
ys9204	A2	0	1	0.032	0.316	ND	11.5
ys9204	A2	1	2	0.077	0.518	ND	7.8
ys9204	A2	2	3	0.053	0.412	ND	9.1
ys9204	A2	3	4	0.076	0.509	0.109	7.8
ys9204	A2	4	5	0.073	0.474	ND	7.6
ys9204	A2	5	6	0.040	0.353	ND	10.3
ys9204	A2	6	7	0.076	0.557	ND	8.6
ys9204	A2	7	8	0.077	0.597	ND	9.0
ys9204	A2	8	9	0.078	0.572	ND	8.6
ys9204	A2	9	10	0.068	0.490	ND	8.4
ys9204	A2	10	11	0.067	0.430	ND	7.5
ys9204	A2	11	12	0.065	0.502	ND	9.0
ys9204	A2	12	13	0.070	0.514	ND	8.6
ys9204	A2	13	14	0.075	0.593	ND	9.2
ys9204	A2	14	15	0.070	0.557	ND	9.3
ys9204	A2	15	16	0.091	0.677	ND	8.7
ys9204	A2	16	17	0.093	0.672	ND	8.4
ys9204	A2	17	18	0.051	0.419	ND	9.6
ys9204	A2	18	19	0.086	0.647	ND	8.8
ys9204	A2	19	20	0.059	0.492	ND	9.7
ys9204	A2	20	21	0.047	0.477	ND	11.8

Cruise	Station	Depth Interval (cm)		N (%)	C (%)	S (%)	C/N (atomic)
ys9204	B4	0	0.5	0.167	1.113	ND	7.8
ys9204	B4	0.5	1.5	0.147	1.003	ND	8.0
ys9204	B4	1.5	2.5	0.125	0.874	ND	8.2
ys9204	B4	2.5	3.5	0.132	0.834	ND	7.4
ys9204	B4	3.5	4.5	0.111	0.773	ND	8.1
ys9204	B4	4.5	5.5	0.109	0.750	0.128	8.0
ys9204	B4	5.5	6.5	0.106	0.697	ND	7.7
ys9204	B4	6.5	7.5	0.095	0.668	0.148	8.2
ys9204	B4	7.5	8.5	0.117	0.862	ND	8.6
ys9204	B4	8.5	9.5	0.063	0.463	ND	8.6
ys9204	B4	9.5	10.5	0.119	0.876	ND	8.6
ys9204	B4	10.5	11.5	0.100	0.728	ND	8.5
ys9204	B4	11.5	12.5	0.095	0.682	0.164	8.4
ys9204	B4	12.5	14	0.094	0.685	ND	8.5
ys9204	B4	14	15.5	0.089	0.597	0.145	7.8
ys9204	B4	15.5	17	0.092	0.653	ND	8.3
ys9204	B4	17	18.5	0.035	0.260	ND	8.7
ys9204	B4	18.5	20	0.084	0.630	0.010	8.8

Cruise	Station	Depth Interval (cm)		N (%)	C (%)	S (%)	C/N (atomic)
ys9204	B4	0	0.5	0.073	0.448	ND	7.2
ys9204	D4	0.5	1.5	0.074	0.512	ND	8.1
ys9204	D4	1.5	2.5	0.071	0.486	ND	8.0
ys9204	D4	3	4	0.063	0.528	0.116	9.8
ys9204	D4	4	5	0.077	0.516	ND	7.8
ys9204	D4	5	6	0.041	0.292	ND	8.3
ys9204	D4	6	7	0.057	0.399	ND	8.2
ys9204	D4	7	8.5	0.049	0.342	ND	8.1
ys9204	D4	8.5	10	0.066	0.443	ND	7.8
ys9204	D4	10	11.5	0.067	0.445	ND	7.7

Cruise	Station	Depth Interval (cm)		N (%)	C (%)	S (%)	C/N (atomic)
ys9204	D9	0	1	0.088	0.570	ND	7.6
ys9204	D9	1	2	0.057	0.425	0.199	8.7
ys9204	D9	2	3	0.080	0.502	ND	7.3
ys9204	D9	3	4	0.070	0.490	ND	8.2
ys9204	D9	4	5	0.074	0.551	ND	8.7
ys9204	D9	5	6	0.085	0.576	ND	7.9



보인다. 6-17 cm 깊이 구간에서는 유기탄소와 C/N 비의 깊이에 따른 구배가 서로 동일하다. 그리고 17cm 이하에서는 시료 채취 깊이인 20 cm 까지는 다시 유기탄소와 C/N 비의 깊이에 따른 구배가 서로 반대된다. 0-6 cm 구간과 17cm 이하 구간에서는 해양기원 유기물의 퇴적이 큰 때에는 총 유기탄소 함량이 늘어나고 그 중간의 6-17 cm 구간에서는 C/N 비가 줄어들면 즉 해양기원 유기물의 공급원이 육성기원 유기물의 공급보다 더 우세해지면 유기탄소 함량이 감소한다. 만약 정점 A2의 퇴적물의 퇴적작용이 입자입자퇴적 (particle by particle sedimentation) 이라면 정점 A2 해역에서는 퇴적물의 근원이 해양성과 육성기원 퇴적물이 교호된 것으로 판단된다. 일반적으로 황해 해역의 퇴적속도는  $0.3\sim 2.7 \text{ mm yr}^{-1}$  이므로 (Alexander et al., 1991) 25~230년 전과 60~570년 전에는 육성기원 유기물이 상당량 공급되었으며 이 기간에는 총 유기물 축적이 적었고, 그 사이 기간에는 해양성 유기물 공급이 주이고 또한 총 유기물 축적이 높았다. 추후 이 지점에 대한 퇴적율이 측정되면 지질 사건별 (육성기원 퇴적물 교호 시기) 연대가 결정될 것이다.

#### 정점 D9

황하수로에 해당하는 황해에서 가장 깊은 부분이다. 제 1차년도 관측선 KF 9104 정점 13과 마찬가지로 유기탄소 함량이 표층에서 높고 표층 바로 아래에 극소대를 가지며 다시 깊이에 따라 증가하는 형태를 보인다.

#### 정점 D4

중국측의 천해 (수심 38m)부에 위치한 해역으로서 유기탄소 함량이 표층에서 6cm 깊이 까지는 거의 균일하여 퇴적물이 수직적으로 혼합된 것으로 보

인다. 그리고 6cm 이하에서는 깊이의 증가에 따라 유기물의 함량이 대체로 감소한다. 표층퇴적물의 혼합은 본 해역이 조석전선에 의한 탁도전선이 상존하는 곳이므로 주로 조석에 의한 해저퇴적물의 재부유에 의한 것으로 판단된다.

### 3.4. CSEX 9211 조사결과 및 토의

황해 해수의 궁극적 기원의 하나인 쿠로시오 해류수괴와 북서태평양의 해수화학 조성과 해황 특성을 파악하기 위하여 1992년 11월 21일 부터 11월 30일 까지 오키나와 부근 동중국해 대륙붕단에서 시작하여 대륙사면을 통과하여 북서태평양 심해에 이르게 되는 위도 28°N 에서 24°N 에 이르는 5개 조사 정점을 선정하여 화학적 해황 특성조사를 실시하였다. 조사정점은 대륙붕단 연장 관측선 (Continental shelf edge extension, CSEX)로 명하였다. 이 관측선은 대륙붕 해역과 대양간의 물질 교환 과정을 연구하기 위하여 향후 기회가 주어지면 계속 조사 연구할 예정이다. 조사된 해황 특성 자료는 Fig. 3.36, 37 과 Table 3.13에 나타내었다.

#### 3.4.1. 해수 물리 특성

수평분포 특성으로는 표층수온은 조사정점 CSEX1 (28°20'N)에서 CSEX5 (24°23'N)으로 북쪽에서 남쪽으로 향하여 24.43°C에서 25.16°C 이상으로 높아진다. 표층 염분은 정점 CSEX1 에서 CSEX5로 북쪽에서 남쪽으로 향하여 증가하여 34.46‰ 에서 34.69‰로 증가한다. 표층 밀도는 북에서 남쪽으로 향하여 감소하여 북쪽에서  $\sigma_t$ 가 23.49 이고 남쪽에서 23.18 이다.

수직적 분포 특성으로는 대륙붕 해역인 CSEX1과 2에서는 표층 혼합층이 30~50m 이고 대륙사면 해역인 CSEX3 과 4, 그리고 대양역인 CSEX5에서 100m 이다. 표층 혼합층 아래의 수층에서는 깊이의 증가에 따라 수온은 감소하고 염분은 증가한다. 수심 2000m 보다 깊은 곳에서는 수온은 2°C 이하이고 염분은 34.6‰ 이다.

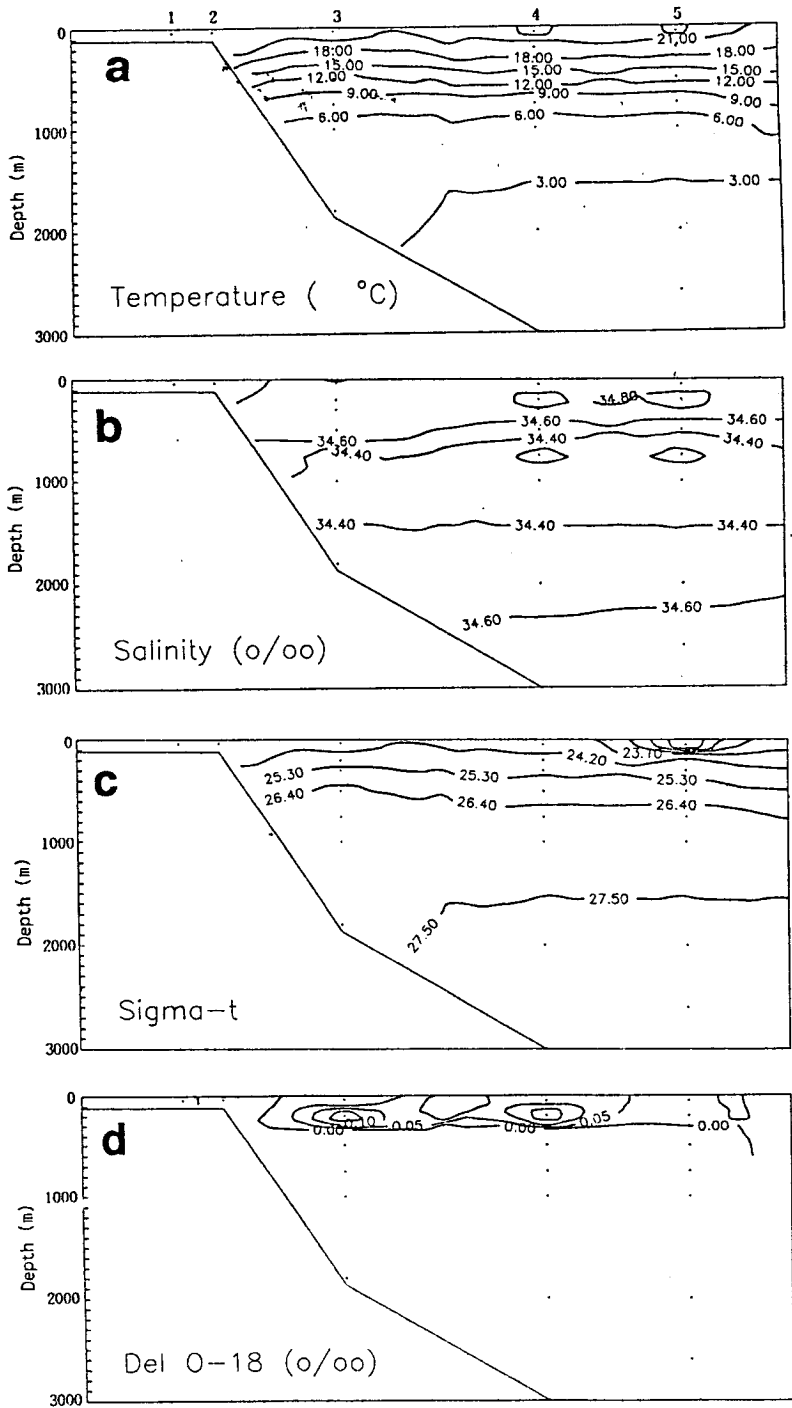


Fig. 3.36. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity and (c) sigma-t (d)  $\delta^{18}\text{O}$  of CSEX9211

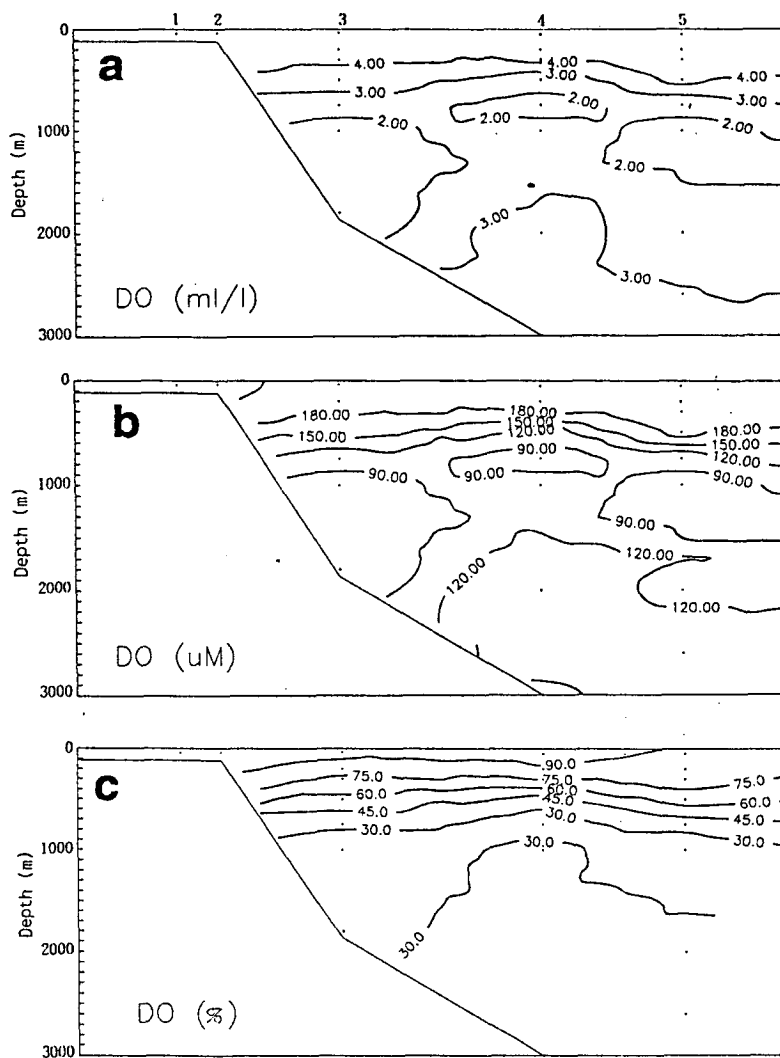


Fig. 3.37. Vertical distributions of dissolved oxygen concentration (a) in ml/l, (b) in  $\mu\text{M}$  and (c) saturation % of CSEX9211

Table 3.13. Biogeochemical data in CSEX (CSEX 9211)

STN#	DEPT (m)	Temp (deg C)	Sal. (o/oo)	sigma-t (o/oo)	Del O-18 (o/oo)	DO (ml/l)	DO (uM)	DO (%)	AOU (uM)	DO-Sa (uM)	NO3 (uM)	Ox-NO3 (uM)	Pre-NO (uM)	PO4 (uM)	Ox-PO4 (uM)	Pre-PO (uM)	NO2 (uM)	Si(OH)4 (uM)	210-Po (dpm/l)	
CSEX-1	0	23.43	34.55	23.49	0.194	4.85	216.5	99.63	0.8	217.4	0.29	0.09	0.19	0.30	0.01	0.29	0.26	3.18	0.143	
	10	23.43	34.55	23.49	-0.064	5.31	237.1	109.10		217.3	0.36			0.32			0.30	3.58	0.131	
	20	23.42	34.55	23.49	0.129	4.79	214.1	98.48	3.3	217.4	0.24			0.27	0.02	0.25	0.26	6.89	0.167	
	30	23.41	34.54	23.49	4.83	23.41	214.8	98.28	1.6	217.4	0.29	0.18	0.11		0.25	0.01	0.24	0.30	3.25	0.102
	50	23.40	34.55	23.50	-0.037	4.80	214.4	98.58	3.1	217.5	0.35			0.24	0.02	0.21	0.28	2.98	0.131	
	75	21.60	34.52	23.98	4.67	208.7	92.93	92.93	15.9	224.5	4.02	1.84	2.18		0.62	0.11	0.50	0.38	8.14	0.181
100	19.96	34.59	24.48	-0.026	3.95	176.5	76.31	54.8	231.3	1.26				0.53	0.40	0.22	0.52	11.05	0.193	
CSEX-2	0	24.63	34.51	23.12	-0.052	5.60	249.8	117.32		212.9	0.29			0.21			0.14	3.12	0.258	
	10	24.63	34.51	23.11	-0.013	4.84	216.3	101.58		212.9	0.29			0.25	0.01	0.24	0.16	4.84	0.137	
	20	24.64	34.52	23.11	-0.183	5.02	224.1	105.29		212.9	0.48			0.24			0.13	2.98	0.13	
	30	24.60	34.51	23.13	4.74	211.7	99.37	1.3	213.0	0.34	0.15	0.33		0.19	0.01	0.23	0.14	1.93	0.133	
	50	23.61	34.49	23.40	-0.083	5.11	228.1	105.24		216.7	0.2			0.16			0.21	1.93	0.119	
	100	20.02	34.62	24.49	-0.032	4.28	191.0	82.68	40.0	231.0	2.57			0.60	0.29	0.31	0.61	11.71	0.189	
CSEX-3	0	24.57	34.58	23.18	-0.045	4.70	209.7	98.46	3.3	213.0	0.24			0.25	0.02	0.22	0.26	4.57	0.079	
	10	24.58	34.57	23.18	-0.016	4.60	205.4	96.43	7.6	213.0	0.18			0.23	0.06	0.17	0.21	3.91	0.084	
	20	24.58	34.58	23.18	0.012	4.73	211.2	99.15	1.8	213.0	0.20			0.25	0.01	0.24	0.23	3.25	0.08	
	30	24.58	34.58	23.18	4.72	210.8	98.96	2.2	213.0	0.24				0.25	0.02	0.24	0.12	4.04	0.063	
	50	24.59	34.58	23.18	0.010	4.69	209.4	98.34	3.5	213.0	0.24			0.24	0.03	0.21	0.21	2.85	0.09	
	100	24.43	34.62	23.25	0.031	4.54	202.6	94.91	10.9	213.5	0.00			0.17	0.08	0.09	0.29	3.12	0.073	
	200	18.87	34.65	24.96	0.189	4.17	186.1	78.94	49.6	235.7	0.00			0.30			0.35	3.78	0.126	
	300	15.43	34.63	25.62	4.14	184.8	73.24	67.5	252.3	5.46				0.83	0.49	0.34	0.21	11.71	0.094	
	500	10.71	34.81	26.72	-0.202	3.50	156.4	56.27	121.6	278.0	18.03	14.10	3.93		1.49	0.88	0.61	0.16	28.25	0.055
	750	6.26	34.32	27.02	2.25	100.3	32.51	208.1	308.4	27.46	24.13	24.13	3.33		1.51	1.01	0.16	81.16	0.083	
1000	4.37	34.38	27.29	-0.369	1.46	65.0	20.16	257.5	322.6	36.11	29.86	6.25		1.87	1.27	0.26	110.26	0.055		
1800	3.75	34.43	27.40	1.58	70.6	21.55	256.9	327.5	47.90	29.78	18.12			1.86	1.38	0.26	136.71	0.056		
CSEX-4	0	25.16	34.67	23.07	0.070	4.57	203.8	96.70	7.0	210.8	0.09			0.19	0.05	0.14	0.09	2.46	0.177	
	20	25.17	34.67	23.07	-0.076	4.67	208.3	98.85	2.4	210.8	0.82	0.28	0.54		0.02	16.13	0.07	4.37	0.147	
	50	25.18	34.67	23.07	0.353	4.68	208.9	99.11	1.9	210.7	0.14			0.15	0.01	0.13	0.09	1.79	0.136	
	75	25.18	34.67	23.07	-0.042	4.54	202.9	96.28	7.8	210.7	0.14			0.19	0.06	0.13	0.08	1.40	0.135	
	100	25.18	34.68	23.07	0.094	4.63	206.7	98.07	4.1	210.7	0.22			0.27	0.03	0.24	0.20	2.06	0.147	
	200	19.96	34.88	24.71	0.212	4.57	204.0	88.34	26.9	230.9	0.74			0.30	0.20	0.11	0.14	3.12	0.144	
300	17.52	34.78	25.25	0.091	4.19	187.1	77.33	54.8	241.9	5.46			1.00	0.40	0.60	0.16	13.43	0.097		

STN#	*DEPT (m)	Temp (deg C)	Sal (o/oo)	sigma-t	Del O-18 (o/oo)	DO (ml/l)	DO (uM)	DO (%)	AOU (uM)	DO-Sa (uM)	NO3 (uM)	Ox-NO3 (uM)	Pre-NO (uM)	PO4 (uM)	Ox-PO4 (uM)	Pre-PO (uM)	NO2 (uM)	Si(OH)4 (uM)	210-Po (dpm/l)
CSEX-4	500	13.10	34.46	25.99	-0.563	2.19	97.6	36.87	167.2	264.8	21.96	19.38	2.58	2.12	1.21	0.91	0.19	54.70	0.129
	750	6.46	34.15	26.87	-0.314	1.38	61.7	20.08	245.6	307.3	17.25			2.25	1.78	0.47	0.16	63.30	0.111
	1000	4.33	34.30	27.23	-0.338	2.62	116.8	36.15	206.3	323.0	22.49			2.32	1.49	0.82	0.23	96.37	0.198
	2000	2.01	34.59	27.68	-0.275	3.33	148.8	43.55	192.9	341.7	35.06	22.36	12.70	3.08	1.40	1.68	0.14	147.30	0.147
	3000	1.59	34.64	27.75	-0.260	3.38	151.1	43.75	194.2	345.3	30.35	22.52	7.83	2.94	1.41	1.54	0.09	140.42	0.168
CSEX-5	0				0.051	4.67	208.5				0.26			0.21			0.16	4.24	0.193
	20	24.85	34.69	23.18	0.045	4.74	211.4	99.77	0.5	211.9	0.73	0.06	0.67	0.21	0.00	0.21	0.14	4.11	0.211
	50	24.84	34.69	23.19	-0.039	4.80	214.1	101.04		211.9	0.10			0.17			0.16	1.93	0.154
	70	24.84	34.69	23.19	0.016	4.57	203.9	96.24	8.0	211.9	0.13			0.12	0.06	0.06	0.14	2.08	0.162
	100	24.83	34.70	23.19	0.140	4.72	210.8	99.46	1.1	212.0	0.00			0.07	0.01	0.06	0.12	1.79	0.143
	200	19.94	34.89	24.72	0.320	4.36	194.8	84.36	36.1	230.9	0.00			0.14			0.14	2.46	0.127
	300	17.56	34.79	25.25	-0.006	4.40	196.3	81.22	45.4	241.7	0.48			0.27			0.14	6.42	0.147
	500	12.26	34.39	26.10	-0.148	4.16	185.8	68.92	83.8	269.7	4.67			0.70	0.61	0.09	0.12	12.38	0.101
	750	6.96	34.16	26.80	2.43	108.3	35.67	195.4	303.7	12.79				1.36			0.12	36.19	0.141
	1000	4.33	34.29	27.22	1.35	60.3	18.66	262.8	323.1	36.11	30.47		5.64	2.75	1.90	0.84	0.21	107.61	0.178
	2000	2.04	34.59	27.67	2.53	112.9	33.07	228.5	341.4	36.11	26.49		9.62	3.04	1.66	1.39	0.14	143.33	0.196
	2600	1.75	34.63	27.72	3.01	134.4	39.07	209.5	343.9	35.85	24.29		11.55	3.04	1.52	1.52	0.19	142.01	0.171

PORE WATER

STN #	DEPT (cm)	NO3 (uM)	PO4 (uM)	NO2 (uM)	Si(OH)4 (uM)	STN #	DEPTH (cm)	NO3 (uM)	PO4 (uM)	NO2 (uM)	Si(OH)4 (uM)
CSEX-1	0-1	1.50	2.06	0.77	266.39	CSEX-3	0-1	20.17	4.12	0.69	558.20
	1-2	0.17	1.75	0.77	305.74		1-2	9.50	3.17	3.39	430.33
	2-3	1.50	2.70	0.65	322.13		2-3	24.84	4.44	5.36	682.79
	3-4	0.04	4.12	0.77	309.02		3-4	6.84	5.23	6.65	745.08
	4-5	0.04	3.33	0.56	338.52		4-5	2.17	5.55	5.32	650.00
	5-6	0.04	4.92	0.60	299.18		5-6	1.50	6.18	4.35	853.28
	8-10	0.04	4.60	0.52	266.39		6-8	0.17	6.98	1.59	853.28
	10-12	0.04	3.49	2.10	613.93		8-10	0.04	8.88	1.81	866.39
	12-14	0.04	4.12	2.46	718.85		15-16	0.04	13.47	0.44	1046.72
							21-23	0.04	13.95	0.52	800.82
							25.5-27.5	0.04	20.77	0.36	371.31

### 3.4.2. 해수 산소 동위원소 조성 ( $\delta^{18}O$ )

표층 해수의 산소 동위원소 조성비는 CSEX1 에서 0.194%로 동위원소적으로 가장 무겁고 CSEX 2 와 3에서 -0.045% 내외로서 가장 가볍다. 표층수에서는  $\delta^{18}O$  값으로서는 정점 CSEX 1, 2와 3, 그리고 4와 5 해역이 서로 다른 기원의 해수인 것으로 일차적으로 사료된다.

### 3.4.3. 용존산소

대륙붕 해역의 표층 (0~30m)에서는 100~110%의 대기와의 포화도를 보이고 대륙사면과 대양 해역에서는 100%의 포화도를 보인다. 수평분포를 보면 대륙붕 해역에서 220~240  $\mu\text{mol l}^{-1}$  범위이고 대륙사면 해역 (CSEX3 과 4)에서 203~210  $\mu\text{mol l}^{-1}$ , 대양해역 (CSEX 5)에서 210  $\mu\text{mol}$  내외이다. 수직분포 특성은 대륙붕 해역에서는 해저 인접 수층에서 감소한다. 그러나 대륙사면의 하부에 위치한 CSEX4 에서는 500~750m, 대양해역인 CSEX5 에서는 750~1000 m 부근에 대기와의 포화도 20%에 미치지 못하는 산소 극소대가 출현하고 있다.

### 3.4.4. 식물 주요 무기영양소 분포

표층해양에서의 수평분포 특성은 대륙붕 해역에서 대륙사면과 대양해역보다 무기영양소가 약간 높은 것을 제외하고는 거의 균일하게 식물플랑크톤 성장에는 결핍되어 있다.

- 질산 이온: 표층혼합층에서는 0.5 $\mu\text{M}$  이하로서 극심하게 결핍되어 있으며



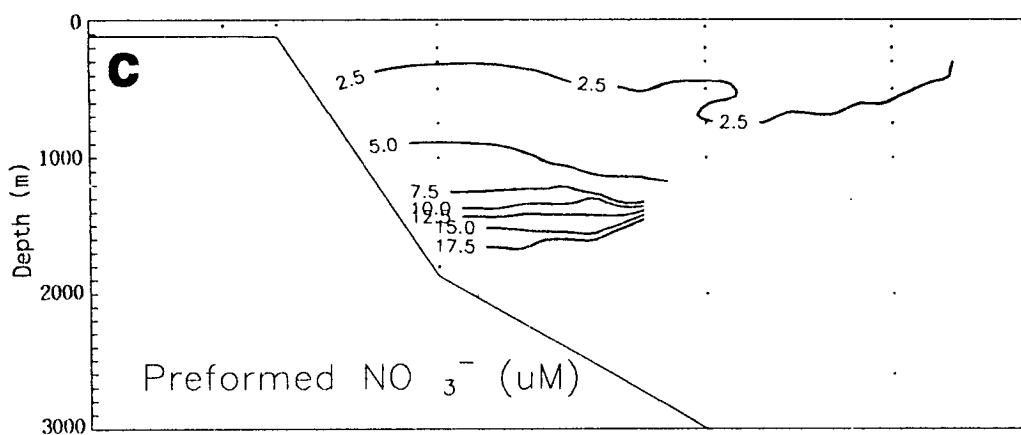
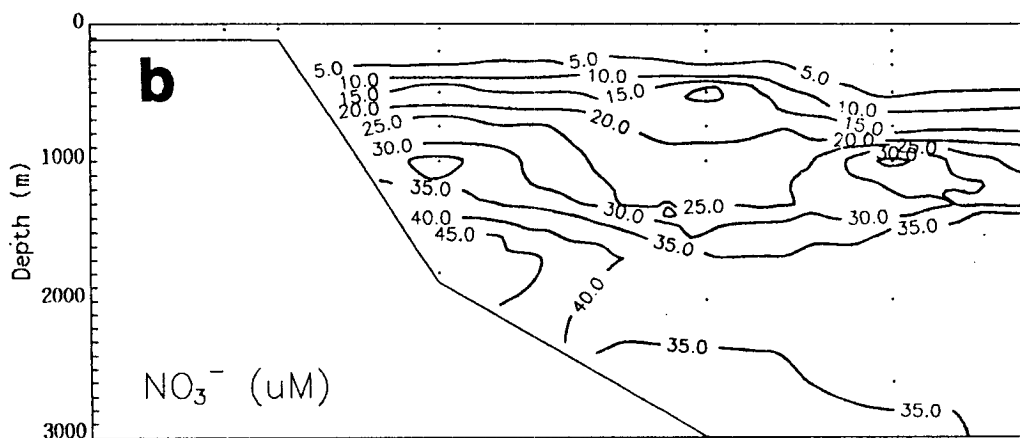
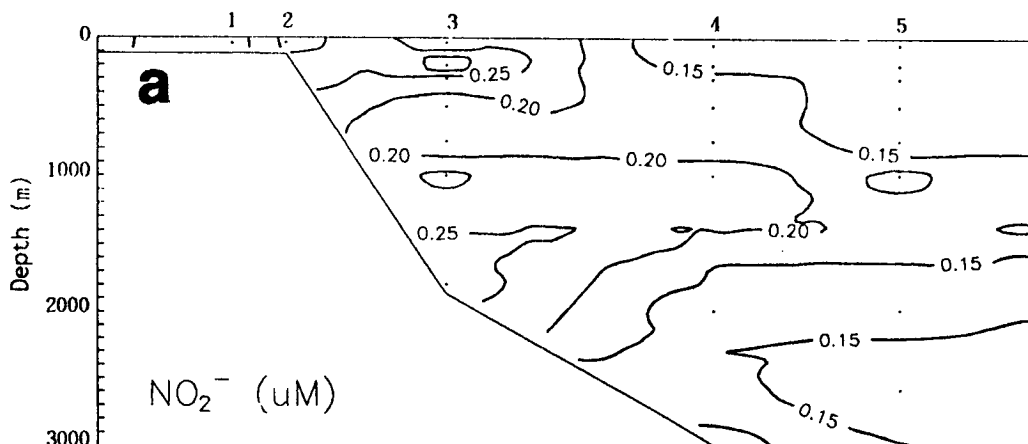


Fig. 3.38. Vertical distributions of (a) nitrite ion, (b) nitrate ion, (c) preformed nitrate, (d) phosphate ion, (e) preformed phosphate and (f) silicic acid of CSEX9211

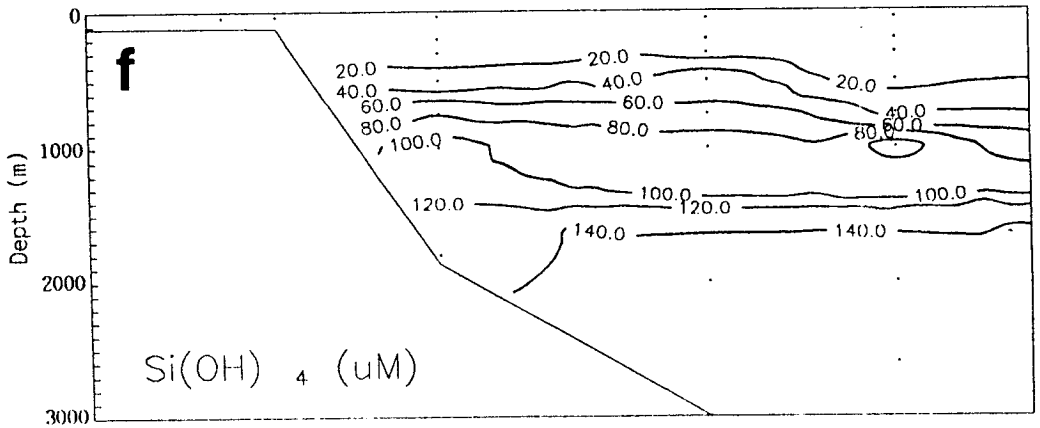
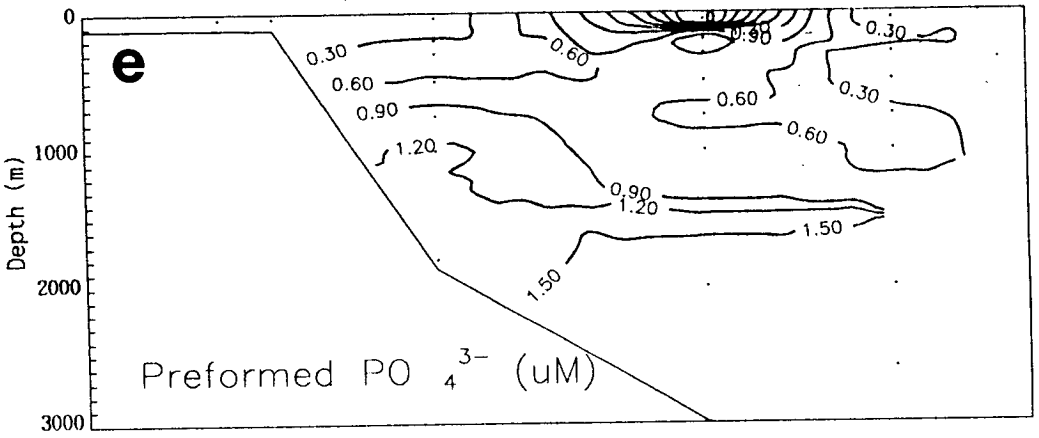
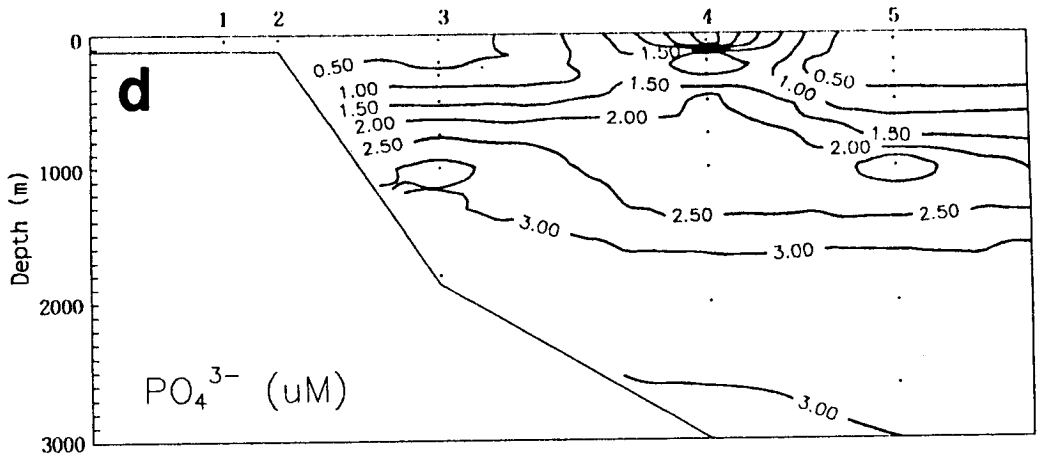


Fig. 3.38. Continued

이는 전형적인 아열대나 열대해역에서의 영양소 분포양상이다. 대륙붕 해저 인접 수층 (75~100m) 에서는 3~4  $\mu\text{M}$ 로 증가한다. 대륙사면 해역과 대양역에서는 표층혼합층 아래에서는 수심의 증가에 따라 질산이온의 농도는 서서히 증가하여 수심 2000 m 이하에서는 30~40  $\mu\text{M}$ 에 이른다. 그러나 대륙사면 정점 CSEX4에서는 용존산소 극소대에서 질산이온의 극소대를 또한 형성하는데 이는 저산소 농도하에서 유기물 분해시 질산이온이 전자수용체로 소모되어 탈질화가 일어나기 때문이다.

○ 인산 이온: 표층혼합층에서는 0.3  $\mu\text{M}$  이하로서 극심하게 결핍되어 있다. 대륙사면 해역과 대양해역에서는 표층혼합층 보다 깊은 수심에서는 수심의 증가에 따라 인산이온 농도도 증가하여 수심 2000m 보다 깊은 곳에서는 약 3  $\mu\text{M}$ 에 이른다.

○ 규 산: 표층수 규산 농도는 대륙붕해역에서 대륙사면 해역이나 대양해역 보다 약간 높다. 표층 혼합층에서 규산 농도는 CSEX1 에서 3~7  $\mu\text{M}$ , CSEX2에서 2~5  $\mu\text{M}$ , CSEX3 에서 3~5  $\mu\text{M}$ , CSEX4에서 1.5~4  $\mu\text{M}$ , CSEX5 에서 2~4 $\mu\text{M}$  이다. 그러나 규산은 표면혼합층 내에서 균일하지 않고 상부에서 높고 하부 (대륙붕 해역은 30~50 m, 대륙사면 해역 50~75 m) 에서 낮다. 규산 함량은 표층혼합층 아래에서는 깊이의 증가에 따라 증가하며 대륙붕 해역에서는 해저 인접 수층에서 18  $\mu\text{M}$  이다. 대륙사면 해역과 대양역에서는 수심 2000 m 이하에서는 140  $\mu\text{M}$  이상이다.

#### 3.4.5. 수괴의 분포

92년 11월에 조사된 CSEX 9211 해역에서는 5개의 수괴가 존재한다. 수온 20~25 $^{\circ}\text{C}$ , 염분 34.5~34.7% 위의 표층수로서 대기와의 에너지와 염 교환 때문에

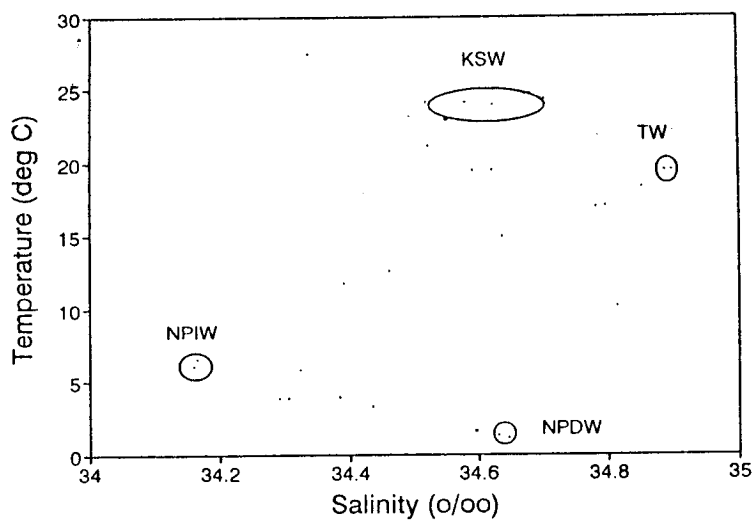


Fig. 3.39. T-S diagram of CSEX9211

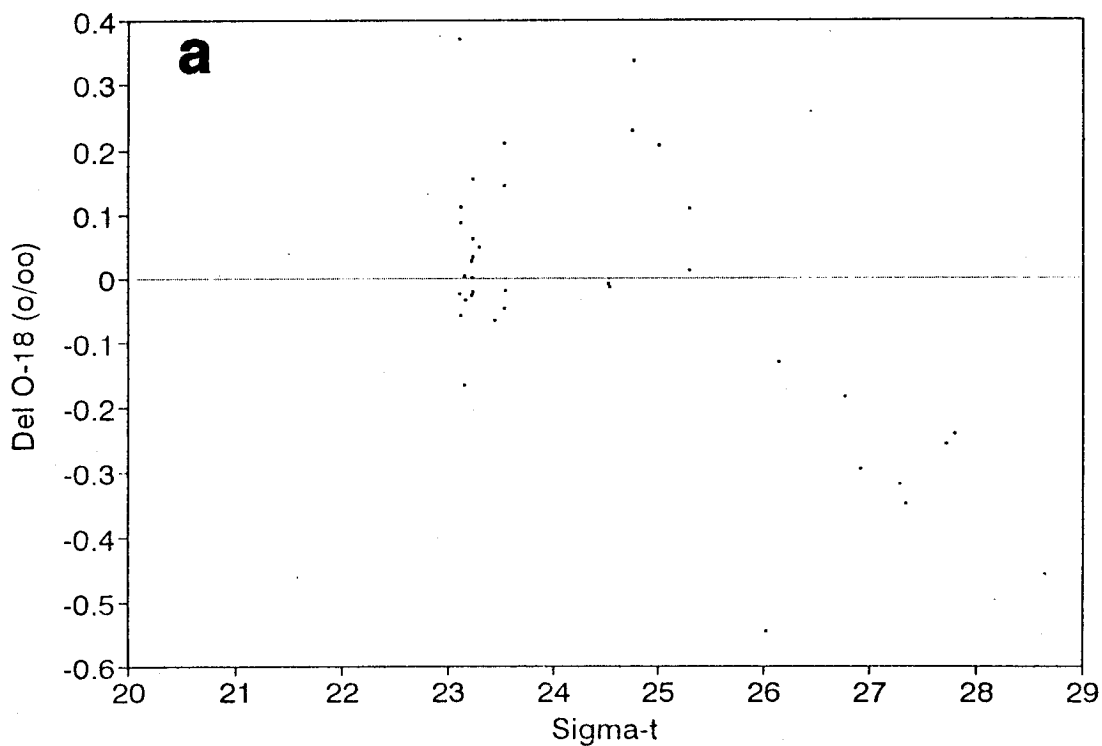


Fig. 3.40. Sigma-t versus (a)  $\delta^{18}O$ , (b) DO, (c) nitrate ion, (d) phosphate ion and (e) silicic acid diagrams of CSEX9211

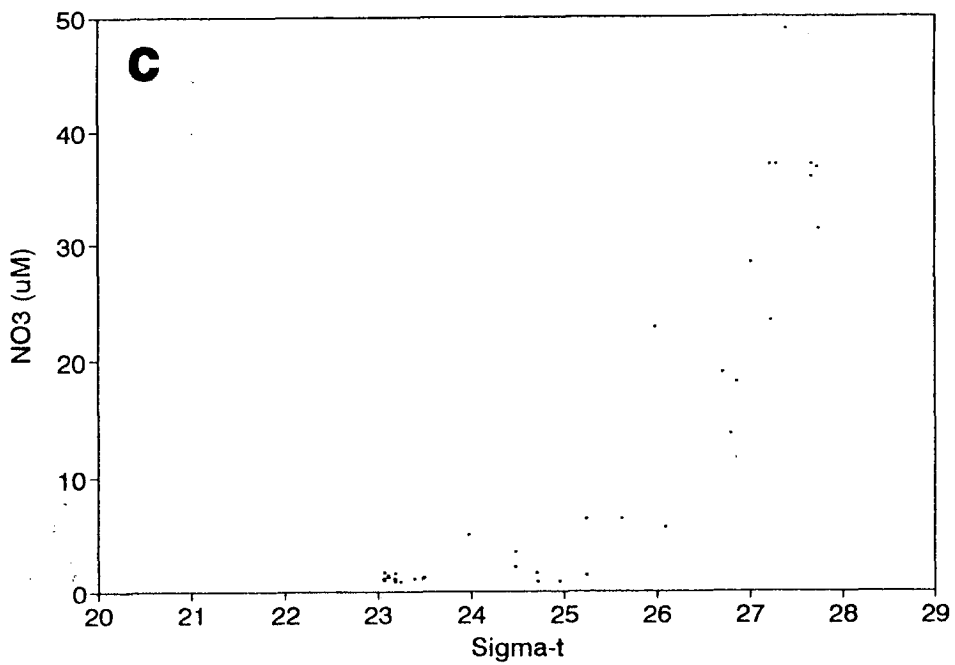
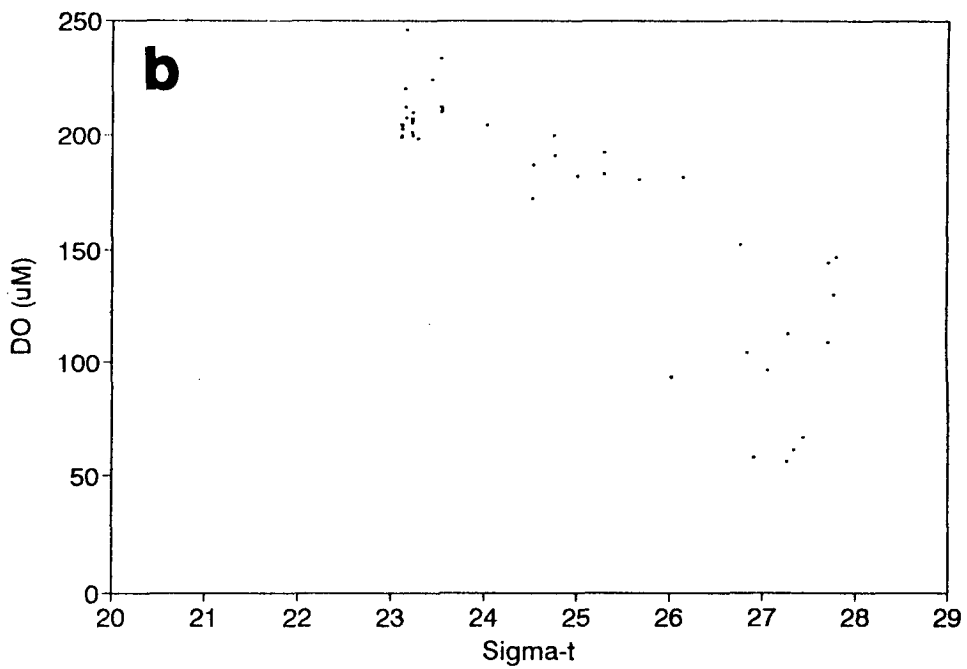


Fig. 3.40. Continued

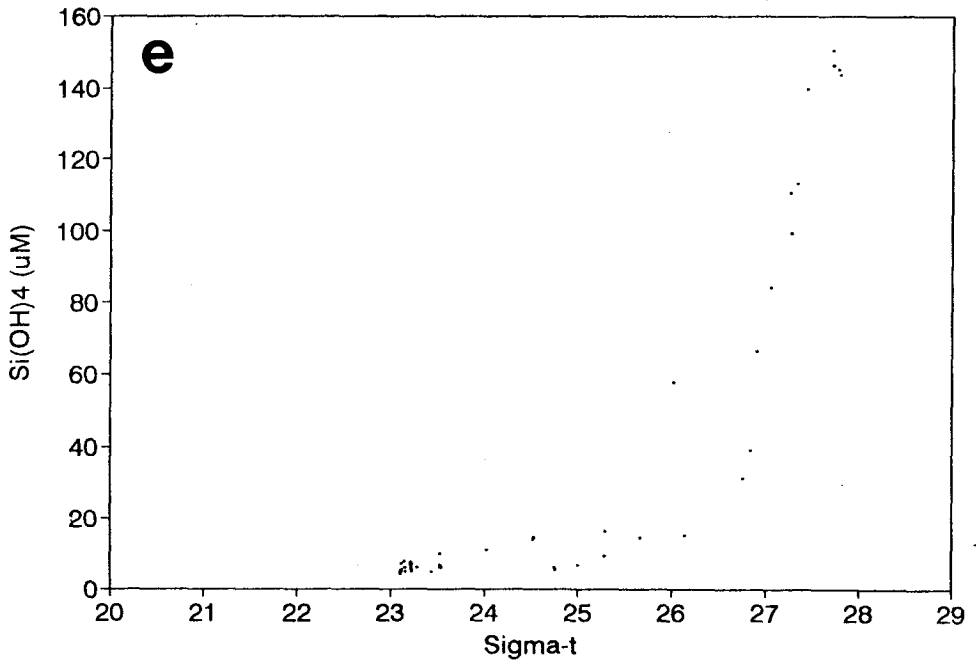
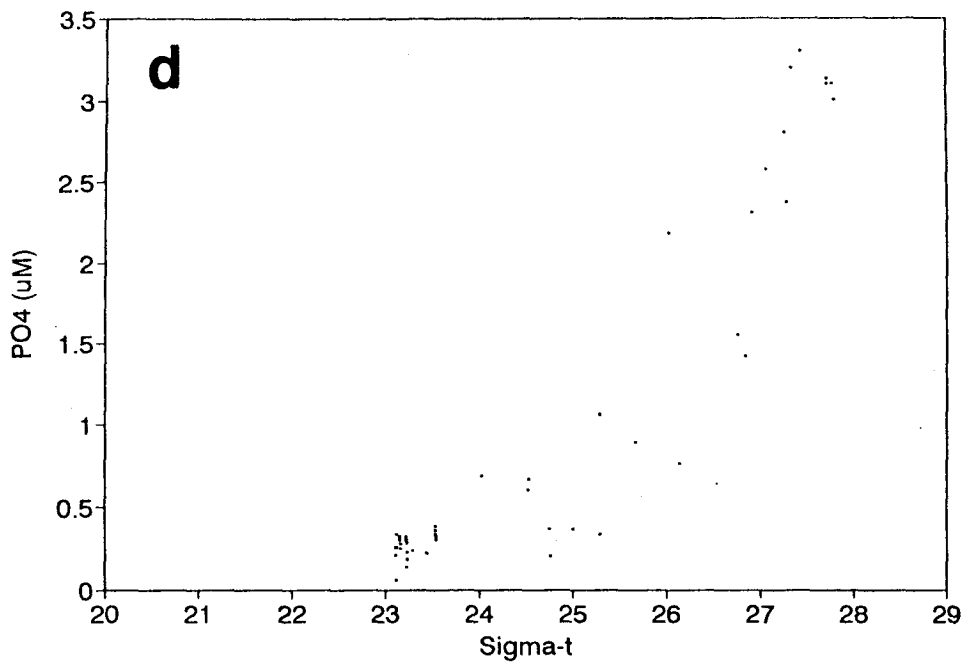


Fig. 3.40. Continued

T-S 도표에서 다소 넓게 산재하는 쿠로시오 표층수 (Kuroshio Surface Water, KSW), 열대해역에서 생성된 34.8% 이상의 고염과 수온 18~21°C 의 범위를 가지는 열대수 (Tropical Water, TW)는 수심 200~300 m에 위치한다. 이는 수온약층에 해당되어 수온약층수라 불리기도 한다. 그리고 염분 34.4~34.8% 이고 수온 10~18°C인 T-S 도표에서 일직선상에 놓이는 북태평양 중심수 (North Pacific Central Water, NPCW)가 300~750 m 수심에 위치한다. 그리고 아 북극권 해역 (subarctic)에서 유래한 북태평양 중층수 (North Pacific Intermediate Water, NPIW)가 수온 6°C, 염분 34.1% 로서 가장 저염인 수괴이다. 그리고 수심 1000 m 이하에서는 수온 2°C 이하, 염분 34.65% 부근으로 북태평양 심층수 (North Pacific Deep Water, NPDW)가 자리하고 있다. 일반적으로 수괴의 명칭은 그 수괴의 기원지를 밝히는 것이나 NPDW는 수괴가 존재하는 위치를 나타내고 있을 뿐이다. 밀도( $\sigma_t$ )에 대한 각 성분 ( $\delta^{18}O$ , 용존산소, 질산이온, 인산이온, 규산)의 산포도 (scatter diagram)가 그려졌다 (Fig. 3.39,40). 왜냐하면 수괴 (water mass)는 등밀도면 (potential density surface, 포텐셜 밀도는 현재 계산 중이다)을 따라서 퍼져나가므로 이 산포도는 오키나와 부근 대륙사면 횡단면에서의 주된 수괴를 파악하는데 사용되어질 수 있다. 조사해역의 해수화학조성 각 성분별 극대(소)치를 정리하면 다음과 같다 (Table 3.14).

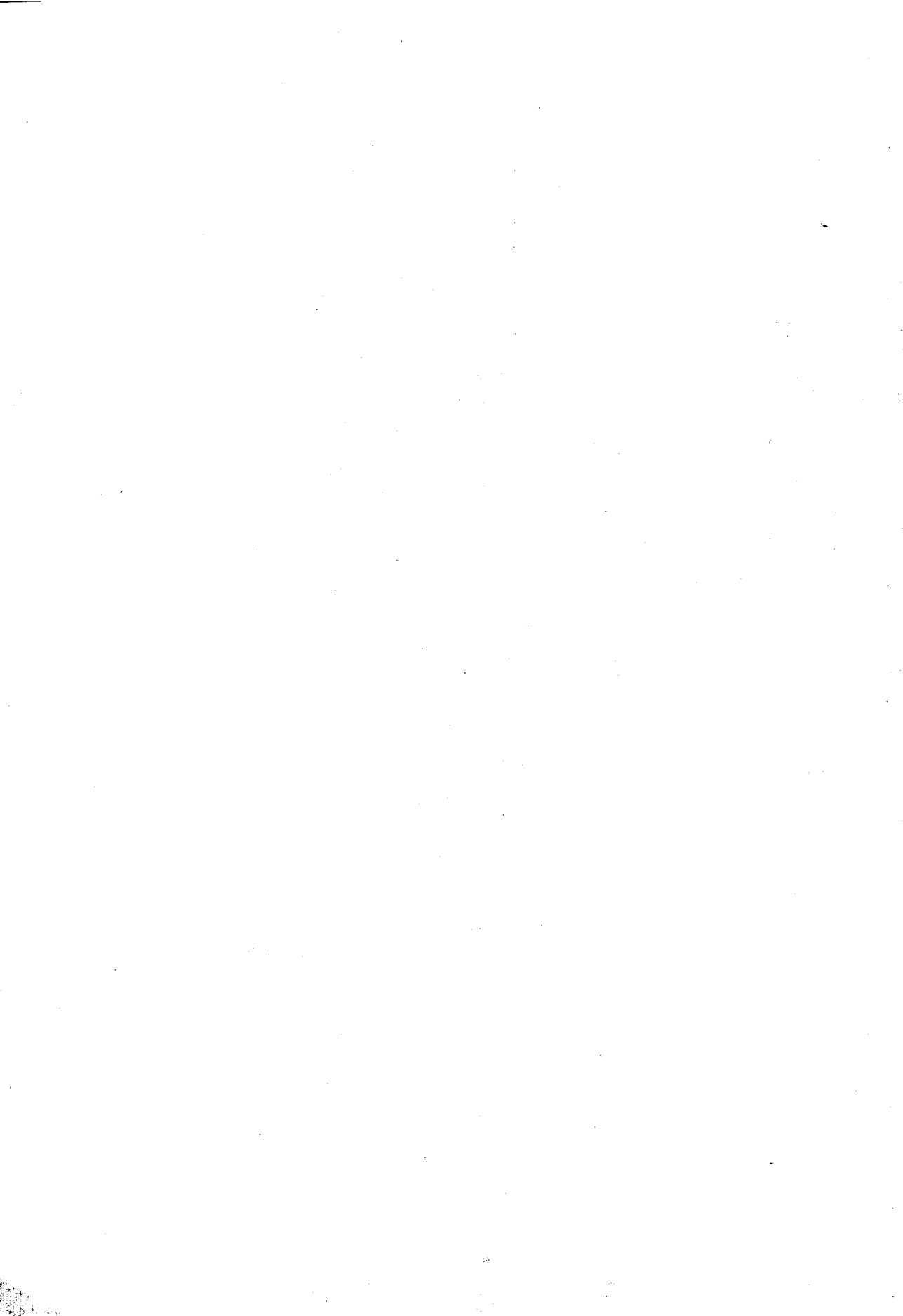
Table 3.14. Water property extrema in CSEX regions and associated water mass.

Extremum	Concentration	$\sigma_t$	Depth	Water Mass
Temperature				
maximum	25.16°C	23.07	0-100 m	KSW
minimum	1.59°C	27.75	3000 m	NPDW
Salinity				
minimum	34.16-34.15‰	26.80	750 m	NPI
maximum	34.85-34.88‰	24.71	150-200 m	TW
Oxygen				
minimum	60 $\mu$ mol l <sup>-1</sup>	26.87-27.22	750-2000 m	NPI
$\delta^{18}O$				
minimum	-0.369	27.21	1000 m	NPDW
Nitrate				
maximum	47.90	27.40	1800 m	NPDW
Phosphate				
maximum	3.24	27.40	1800 m	NPDW
Silicate				
maximum	147.30	27.68	2000 m	NPDW



## 제 4 장

# 대기로부터의 영양염류 유입



서해 중부 해안에 위치한 한국해양연구소에서 (37°17'04"N, 126°50'00.8"E) 강우시에 산으로 세척한 버킷을 공터에 위치하여 강우를 채집하였다. 일정기간 동안 집적한 시료를 채취하는 것이 일반적인 강우 채취 방법이나 본 연구에서는 강우 사건별로 시료를 채취함으로써 시료 채취시의 장기간 보관등에 따른 오염을 최소화 하도록 노력하였다.

각 식물 주요 무기 영양소별 일별 및 월별 변화는 Table 4.1과 Fig. 4.1에 각각 나타내었다. 강우중  $\text{NH}_4^+$  농도는 최저  $1.62 \mu\text{mol l}^{-1}$  (92년 3월 5일)에서 최고  $348 \mu\text{mol l}^{-1}$  (92년 7월 18일)를 기록하였다. 강우중  $\text{NO}_3^-$  농도는  $1.06 \mu\text{mol l}^{-1}$  (92년 8월 27일)에서  $47.92 \mu\text{mol l}^{-1}$  (92년 7월 20일)의 범위를 보였다. 강우중  $\text{PO}_4^{3-}$  농도는  $0.03 \mu\text{mol l}^{-1}$  (92년 7월 12일)에서  $12.33 \mu\text{mol l}^{-1}$  (92년 4월)의 범위를 보였다. 강우중  $\text{Si}(\text{OH})_4$  농도는  $0.70 \mu\text{mol l}^{-1}$  (92년 7월 20, 5월 13일)에서  $5.20 \mu\text{mol l}^{-1}$  (92년 2월 18일)의 범위였다. 일반적으로 질소계 영양소는 강우 현상이 집중되어 있는 장마기 7, 8월에 그 농도가 높고 인계 영양소는 황사가 집중되어 있는 4월에 높게 나타난다. 그리고 모래 성분인 규산은 겨울에 높게 나타난다. 강우중 용존 무기 영양소 농도는 실제 대기중의 농도와 씻김효과 (Washout effect)와의 상호 관련되어 나타나는 결과치로서 향후 자세한 연구가 수행될 것이다.

월별 강우로 인한 무기영양소의 해표면 침적율을 보면 질소계와 규소계 화합물은 주로 강우가 많은 시기에 많이 침적되며 인계만 4월에 가장 많이 해표면에 침적된다. 연간 총 해표면 (해안) 침적율은  $\text{NH}_4^+$ 는  $0.084 \text{ mol m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^-$ 는  $0.016 \text{ mol m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ 는  $0.0012 \text{ mol m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ 는  $0.0014 \text{ mol m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이다. 황해 표면적이 약  $455 \times 10^3 \text{ km}^2$  이므로 황해에 연간 대기로부터 습상으로 공급되는 무기영양소는  $\text{NH}_4^+$ 가 38.22,  $\text{NO}_3^-$ 가 7.28,  $\text{PO}_4^{3-}$ 가 0.55,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ 가  $0.64 \times 10^9 \text{ mol yr}^{-1}$ 이다 (Fig. 4.2). 이는 황해로 유입되는 모든

Table 4.1. Inorganic Nutrients in Wet Precipitation at the Western Coast of Korea(KORDI Campus 37 17'04.4"N 126 50'00.8"E)

Year	Concentration in precipitation (umol/l)				Remark	Precipitation (mm/d)	Daily flux (umol/m <sup>2</sup> /d)				
	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Si(OH) <sub>4</sub>			NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Si(OH) <sub>4</sub>	
1992	16-Jan				snow	3.7					
	18-Feb		33.30	2.00	5.20	snow	2.2		73.26	4.40	11.44
	21-Feb		22.24	0.80	nd						
	05-Mar	1.62	8.60	1.60	nd		4.0	6.48	34.40	6.40	
	23-Mar	20.60	-	-	nd		3.5	72.10			
	09-Apr	22.90	4.53	nd	nd		5.0	114.50	22.65		
	10-Apr	37.25	7.34	1.67	1.20	duplicate	11.7	435.83	85.88	19.54	14.04
	11-Apr						5.6				
	15-Apr					dirty	1.9				
	18-Apr						19.0				
	21-Apr	203.80	18.27	9.00	1.80						
	28-Apr	244.00	25.44	12.33	nd		11.4	2781.60	290.02	140.56	
	06-May						22.7				
	07-May	11.50	8.03	0.11	nd		63.2	726.80	507.50	6.95	
	13-May	158.30	19.40	0.89	0.70		16.2	2564.46	314.28	14.42	11.34
	16-May	113.50	22.60	0.44	nd		3.1	351.85	70.06	1.36	
	25-May						3.3				
	26-May						6.6				
	04-Jun						27.1				
	05-Jun						0.2				
	17-Jun						0.5				
	03-Jul	16.99	40.25	1.11	4.64	quadruplicate	2.3	39.08	92.58	2.54	10.66
	10-Jul	59.66	10.87	0.07	0.92	duplicate	57.3	3418.52	622.85	4.01	52.72
	12-Jul	54.92	12.62	0.03	0.71						
	15-Jul	11.55	13.42	0.43							
	17-Jul	62.83	7.51	0.13	0.95		36.3	2280.73	272.61	4.72	34.48
	18-Jul	348.01	41.20	-	0.79						
	20-Jul	230.38	47.92	-	0.70						
	22-Jul						6.5				
	27-Jul						9.9				
	30-Jul	210.65	27.76	0.17	0.87		22.0	4634.30	610.72	3.74	19.14
	07-Aug					duplicate	34.7				
	11-Aug						3.0				
	14-Aug						24.3				
	17-Aug	27.21	9.48	-	0.83		17.2	468.01	163.06		14.28
	27-Aug	6.05	1.06	0.04	0.63		169.0	1022.45	179.14	6.76	106.47
01-Sep						4.4					
07-Sep						13.2					
24-Sep						74.8					
29-Sep						22.4					
23-Oct						1.1					
03-Nov						5.6					
09-Nov	70.20	6.92	0.14	1.48		20.0	1404.00	138.40	2.80	29.60	
13-Nov						8.6					
19-Nov	60.20	16.37	0.05	0.74		19.3	1161.86	315.94	0.97	14.28	
07-Dec	142.40	11.71	0.41	2.54		7.2	1025.28	84.31	2.95	18.29	
10-Dec	186.30	39.38	0.61	-		4.8	894.24	189.02	2.93		
23-Dec					snow	0.4					
27-Dec						1.2					
29-Dec					snow	7.7					

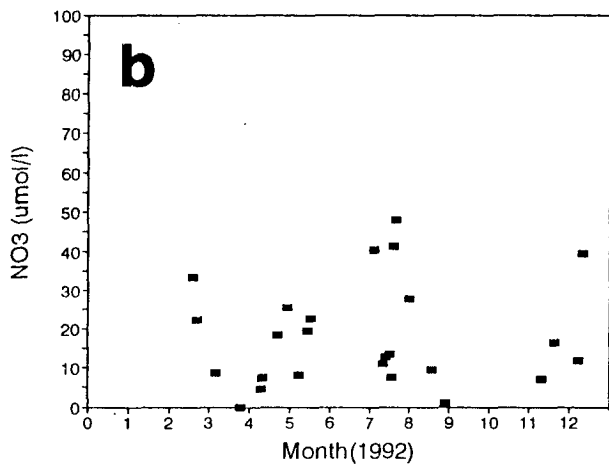
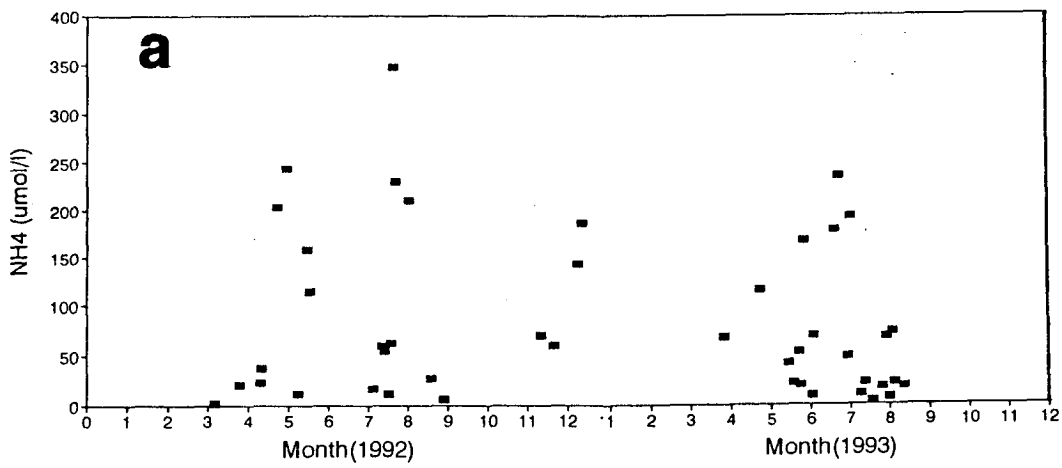


Fig. 4.1. Annual concentration variation of (a) ammonium ion, (b) nitrate ion, (c) phosphate ion and (d) silicic acid of the precipitation in 1992 and 1993

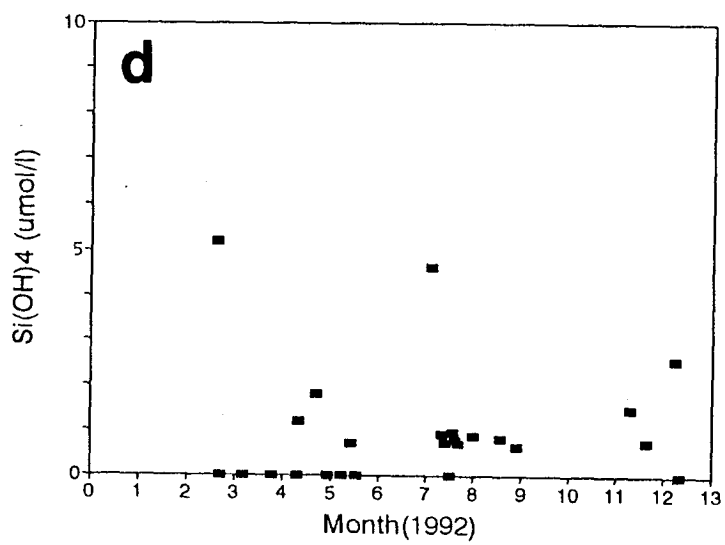
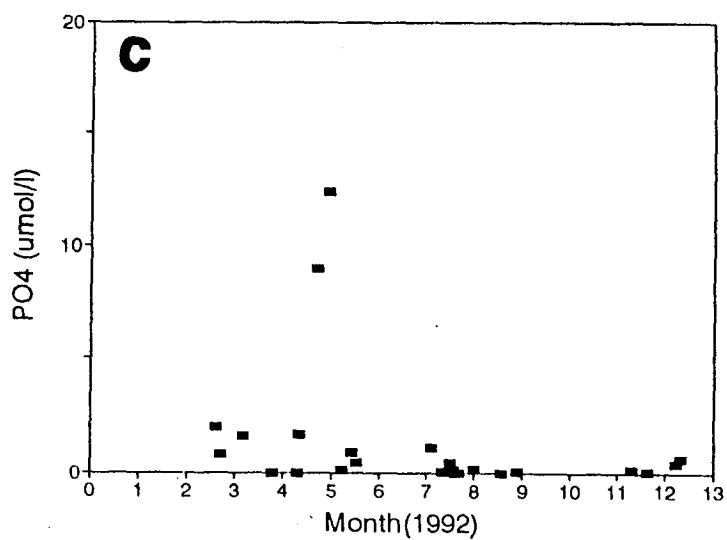


Fig. 4.1. Continued

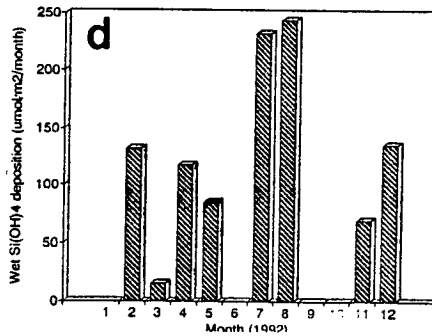
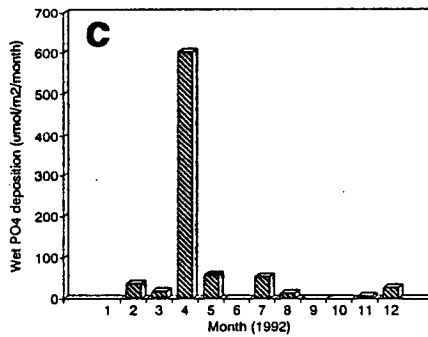
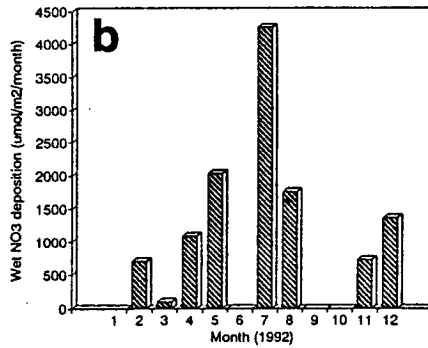
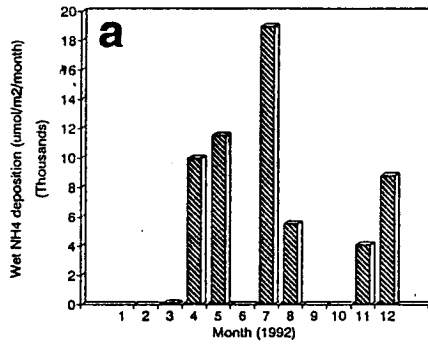


Fig. 4.2. Annual wet deposition variation of (a) ammonium ion, (b) nitrate ion, (c) phosphate ion and (d) silicic acid of the precipitation in 1992

Table 4.2. Monthly average flux of atmospheric inorganic nutrients

month	ppt (mm)	NH4 ( $\mu\text{mol/l}$ )	NO3	PO4	Si(OH)4	NH4 ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{month}$ )	NO3	PO4	Si(OH)4
1	14.2	84.39 *	15.26 *	1.53 *	1.33 *	1198.34	216.69	21.73	18.89
2	25.5	84.39 *	27.77	1.44	5.20	2151.95	708.14	36.72	132.60
3	11.6	11.11	8.60	1.60 *	1.33 *	128.88	99.76	18.56	15.43
4	78.6	126.99	13.90	7.67	1.50	9981.41	1092.54	602.86	117.90
5	122	94.43	16.68	0.48	0.70	11520.46	2034.96	58.56	85.40
6	51.3	84.39 *	15.26 *	1.53 *	1.33 *	4329.21	782.84	78.49	68.23
7	169.2	112.05	25.19	0.32	1.37	18958.86	4262.15	54.14	231.80
8	334.4	16.63	5.27	0.04	0.73	5561.07	1762.29	13.38	244.11
9	168.6	84.39 *	15.26 *	1.53 *	1.33 *	14228.15	2572.84	257.96	224.24
10	37.3	84.39 *	15.26 *	1.53 *	1.33 *	3147.75	569.20	57.07	49.61
11	62.8	65.20	11.64	0.10	1.11	4094.56	730.99	6.28	69.71
12	53.5	164.35	25.55	0.51	2.54	8792.73	1366.93	27.29	135.89
Annual sum	1129					84093.36	16199.31	1233.03	1393.80

Note: Values with \* are the average concentrations directly measured for the rest of the year.



하천으로 부터 유입되는 영양소 보다 질소계의 경우 6배 이상 큰 량이다. 물론 본 시료 채취 지점의 인근에 공업지대가 밀집하고 있으나 강우의 산소안정동위원소비가 해양성 강우임을 나타내 주고 또한 강우중 Pb-210 방사능 계절분포가 해양성 강우임을 뚜렷이 증거하는 7, 8월에 NH<sub>4</sub>가 가장 높게 나타나는 것으로 보아서 서해안 1개 정점에서 채취한 자료이나 황해 전체로 외삽하는데 큰 무리는 없을 것으로 사료된다.



# 제 5 장

## 종 합 토 의



## 5.1. 황해 해수의 기원: $\delta^{18}\text{O}$ 추적자 연구

### 5.1.1. 서론

황해는 평균수심이 약 40m인 천해로 넓은 대륙붕이 발달되어 있고, 조석이 큰 특징을 가지고 있으며, 중국과 한반도로 삼면이 둘러 쌓여 있고, 남쪽만이 대양과 접해있는 특이한 해역이다. 또한, 중국과 한반도를 통하여 흐르는 강들로부터 연간 120km<sup>3</sup> 이상의 담수가 유입되는 커다란 하구와 같다고 할 수 있다. 그러나 이들 강의 하천배수량은 계절에 따라 그 차이가 매우 크며, 여름철이 겨울철에 비하여 거의 2배 이상의 하천 배수량을 보인다 (Qin and Li, 1983).

일반적으로 해양의 수괴를 분류하는 추적자로서 수온과 염분을 이용한다. 그러나, 황해와 같이 하천 유입량이 많은 천해의 경우에는 계절적인 담수 유입의 차이와 대양에 비하여 상대적으로 작은 해수 부피로 인한 수온의 변화로 인하여 수온을 보존성 추적자로 보기에 힘들다 (Torgensen, 1979). 또한, 황해의 북부 발해만 내에는 겨울에 상당한 양의 얼음이 얼고 이에 따라 염분 역시 변화할 수 있다(Östlund and Hut, 1984). 따라서, 이러한 요인에 영향을 받지 않거나 혹은 거의 영향이 없는 보존성 추적자를 도입하는 것은 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 이러한 보존성 추적자로는 안정성 동위원소 (Stable Isotope)를 들 수 있다. 안정성 동위원소 중 수괴의 추적자로 이용하는 것은 산소 동위원소인  $^{18}\text{O}$ 와 수소 동위원소인  $^2\text{H}(\text{D})$ 를 들 수 있다. 이들은 염분과 같이 물에 용해되어 있는 용질을 측정하는 것이 아니고 물 분자 자체의 동위원소비를 측정하므로 열, 결빙이나 해빙에 대한 영향을 거의 받지 않는다. 따라서, 황해의 수괴

분포와 그 기원을 규명하는데에 안정성 동위원소를 추적자로 도입하는 것은 지금까지 해결하지 못했던 제문제를 해결하는데에 도움을 줄 것으로 생각된다.

황해에는 4~5개의 수괴가 존재하는 것으로 알려져 있다. 이는 황해냉수 (Yellow Sea Cold Water) 또는 황해저층냉수 (Yellow Sea Cold Bottom Water), 황해난류수 (Yellow Sea Warm Current Water), 양자강희석수 (Changjiang River Diluted Water), 연안수 (Coastal Water)이며 (Nakao, 1977; Lie, 1984; Kondo, 1985; 윤 등, 1991), 이들 수괴의 수온, 염분 범위를 Table 5.1 에 나타내었다.

Table 5.1. Water masses in the Yellow Sea

Water Masses	Temperature (°C)	Salinity(‰)
Yellow Sea Cold Water(YSCW)	< 10	32~32.5(33)
Yellow Sea Warm Current Water(YSWCW)	11 ~ 15	34 ~ 35
Changjiang River Diluted Water(CRDW)		< 30
Coastal Water of the China Continent(CWCC)	low	low
Korean Coastal Water(KCW)	low	low

이들 수괴 중 양자강희석수는 여름철에 한하여 황해로 유입되어 제주도 서쪽에서 발견되는데, 이는 양자강의 하천 배수량이 특별히 많아지는 여름철에 국한된 것으로 황해 전반에 걸친 영구적인 수괴를 논하는데에는 제외하여도 무방할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구를 수행하는 동안에 관측된 자료들중 양자강 희석수로 판단되는 수괴는 2차년도 관측인 YS9204의 단 한 정점(D1의 표층)에서만 관측되었다. 따라서, 본 연구에서 논하는 황해의 수괴에서는 이 수괴를 제외하고자 한다.

황해난류수는 쿠로시오 또는 대마난류의 한 분지로 여겨지며, 혹은 대만난류수 (Taiwan Warm Current Water)의 분류로 생각하기도한다. 이는 황해의 남동부에 존재하고, 쿠로시오나 대마난류 또는 대만난류수로부터 직접 유래하여 황해로 관입되는지 혹은 양자강 기원 담수에 의하여 상당 부분 희석되는지에 관해서는 아직 분명하게 알려져 있지 않다.

연안수는 한반도 주변에 존재하는 한반도 연안수(Korean Coastal Water)와 산둥반도 북쪽에서부터 중국대륙을 따라 존재하는 중국대륙 연안수(Coastal Water of China Continent)로 분류되며 이들의 특징은 저온, 저염이다.

황해저층냉수는 겨울철에 일사량의 감소로 인하여 해양표면이 냉각되어 전체물기둥이 수직적으로 혼합되고 따라서 전체물기둥이 냉각된 후, 다음해 봄철에 일사량이 증가 함에따라 수층이 성층된후 황해 중앙부의 저층에 가을철까지 존재하는 수괴로 그 특성은 수온 10 °C 이하, 염분 32~32.5 ‰ 이다 (Nakao, 1977). 그러나 이 수괴의 염분의 범위가 32~33 ‰로 보는 것이 더 타당하다는 연구 보고도 있다 (Lie, 1984). 황해저층냉수는 봄, 여름철에 남하하여 그 세력이 북위 32°에 이른다고 믿어져 왔다 (윤동, 1991). 그러나, 북위 32°까지 남하하는 저온의 해수가 황해저층냉수에서 기인한 것인지 아니면 중국대륙 연안수로부터 기인한 것인지에 대한 논란도 계속되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 황해의 수괴 분포를 파악하기 위하여 본 연구의 1, 2, 3차년도 조사 해역의 해수시료 (KF9104, YS9204, YS9302)와 황해 중앙부의 해수시료 (CYS9107, CYS9111)및 동중국해의 대륙붕단 지역 (CSEX9211)의 시료로부터 산소 동위원소비를 측정하여 이를 추적자로 황해의 수괴분포 및 그 기원의 규명을 시도하였다. 1차년도 조사해역의 시료는 1차년도 조사시에 채취된 시료를 이용하였으며,

황해중앙부 시료는 북위 36°30'에서 북위 36°20', 동경 125°에서 동경 124°20'에 이르는 해역의 21개 정점에서 1991년 7월 (CYS9107)과 11월 (CYS9111)에 두 차례 채취된 시료를 이용하였다. 또한, 2차년도는 1992년 4월 황해 입구 뿐만 아니라 황해 중앙부 까지를 그 대상으로 하여 시료를 채취하였고, 1992년 9월에는 북위 32°에서 37°, 동경 122°에서 127°에 이르는 황해의 거의 전지역에 대한 시료를 채취 하였으며 3차년도는 1993년 2월 2차년도의 조사 지역과 거의 유사한 지역을, 동중국해의 대륙붕단지역은 1992년 11월에 시료가 채취되었다.

#### 5.1.2. 수온, 염분 자료에 의한 황해 수괴

1차년도 관측(KF9104)과 동년 7월과 11월에 황해 중앙부 관측자료(CYS9107, CYS9111), 2차년도 관측자료(YS9204), 동년 9월의 관측자료(YS9209) 및 3차년도의 관측자료(YS9302)의 수온·염분 곡선을 Fig. 5.1에 도시하였다.

**KF9104:** 1차년도 관측의 경우에는 연안에 인접한 정점 1, 2, 3, 4는 제외하고는 전 정점에서 13°C 이하의 수온과 32.0~34.5 %의 염분 범위를 가진다 (Fig. 5.1a). 특히, 정점 12와 13에서는 34 % 이상의 염분과 11~13°C의 수온 분포를 갖는데, 이는 지역적으로나, 수온, 염분의 범위로 보아 황해난류수에 해당한다고 할 수 있다.

**CYS9107, CYS9111:** 수심 50 m 이하의 저층에서는 모두 수온 11°C 이하, 염분 32.0~33.5 %의 분포 범위를 보이지만 표층에서는 여름철인 CYS9107에는 23°C 이상, 가을철인 CYS9111에는 15~17°C의 수온 분포 범위를 보인다 (Fig. 5.1b,c). 이중 수심 50 m 이상의 저층에 나타나는



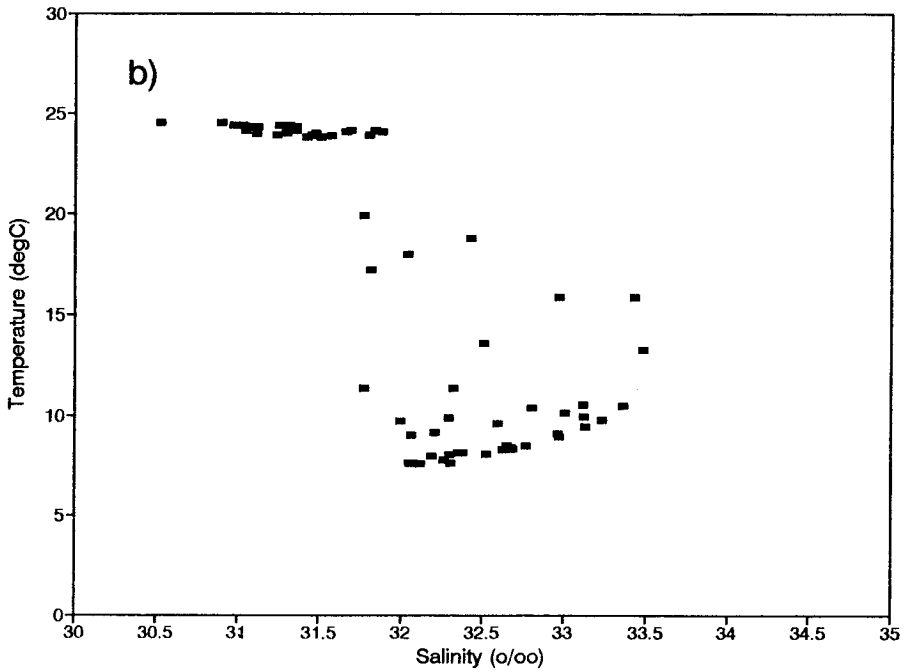
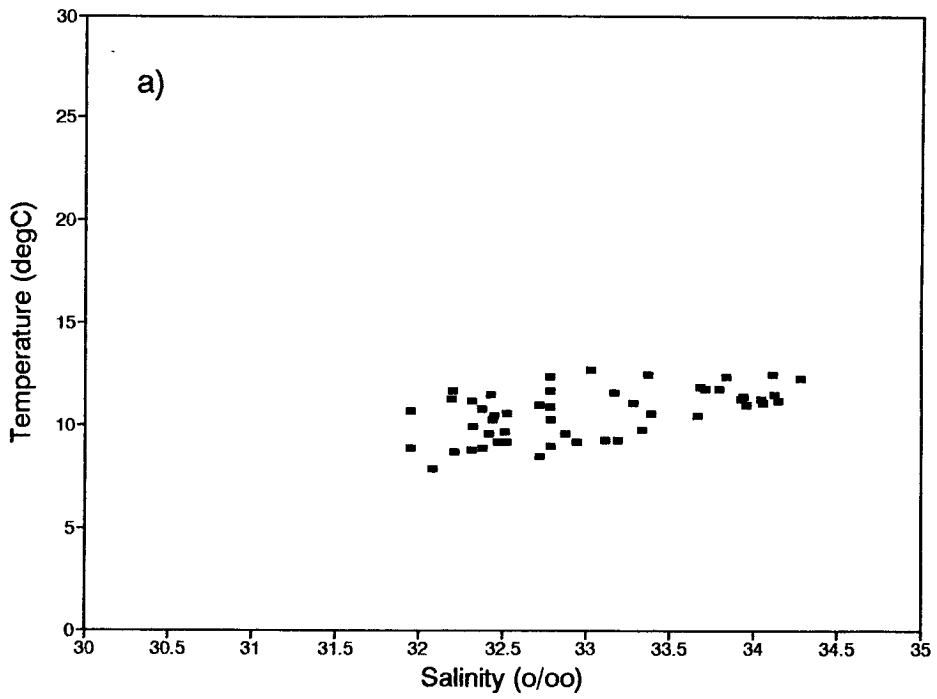


Fig. 5.1 Temperature-Salinity diagrams. a)KF9104 b)CYS9107 c)CYS9111  
 d)YS9204 e)YS9209 f)YS9302 g)CSEX9211

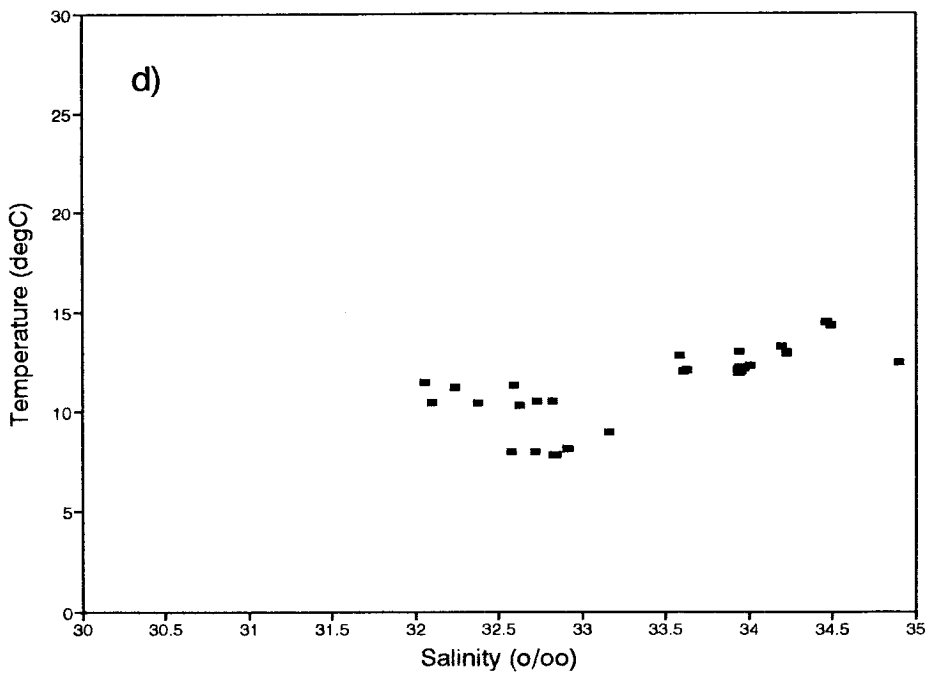
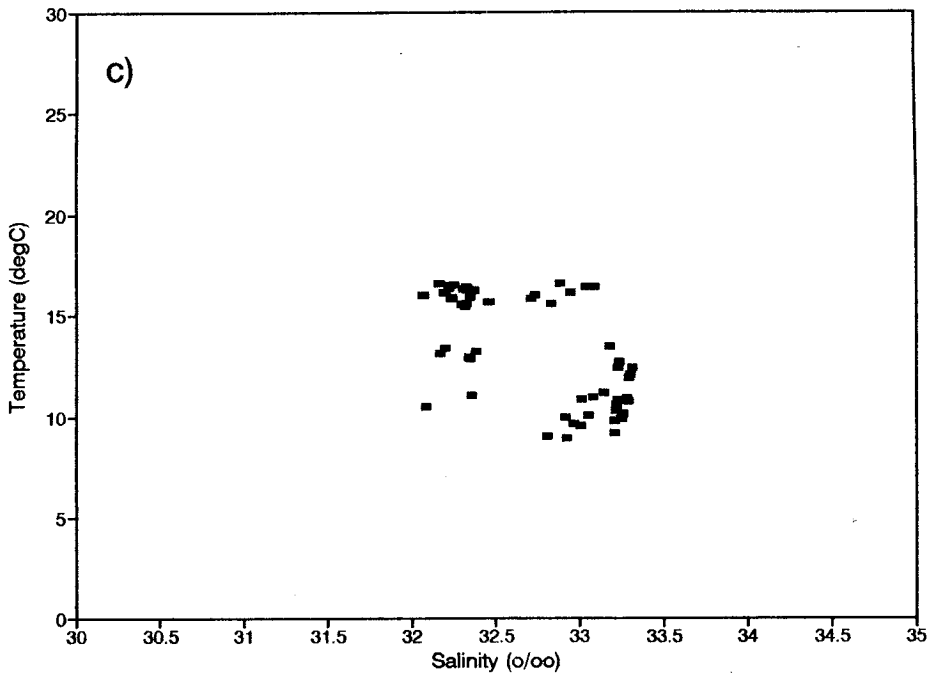


Fig. 5.1. Continued

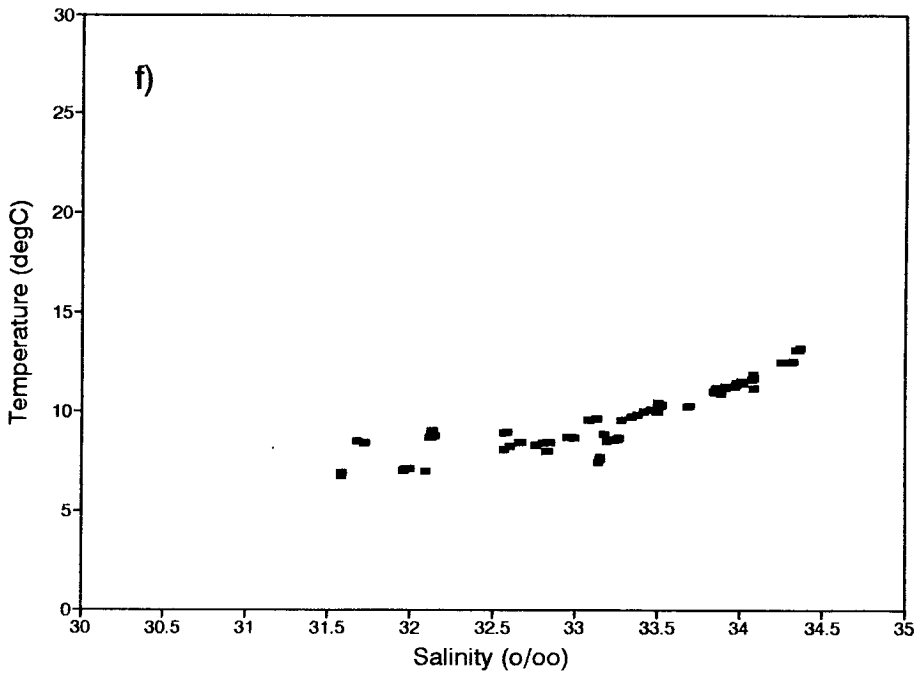
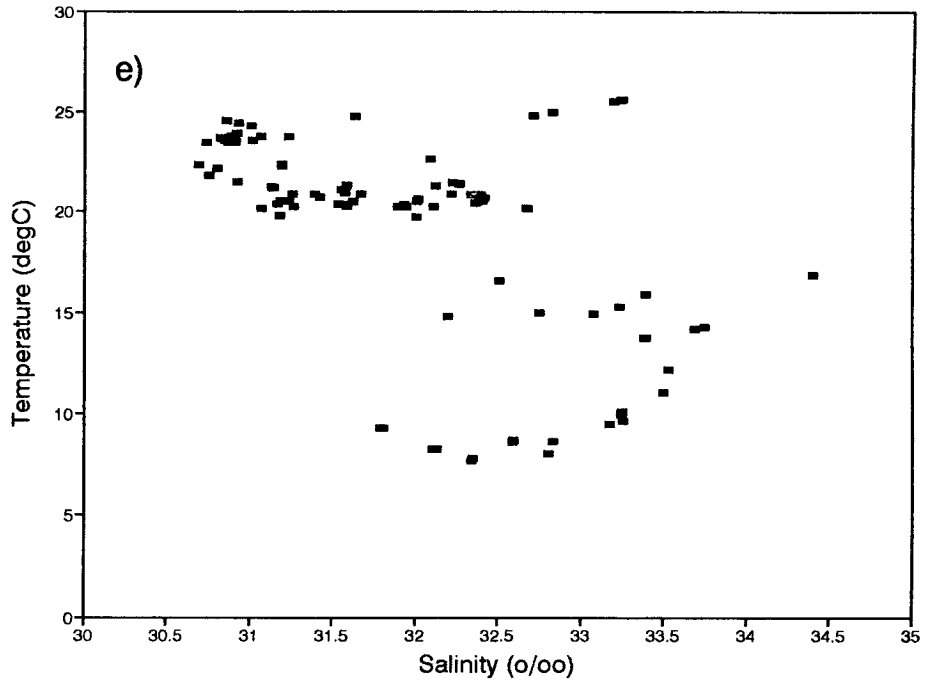


Fig. 5.1. Continued

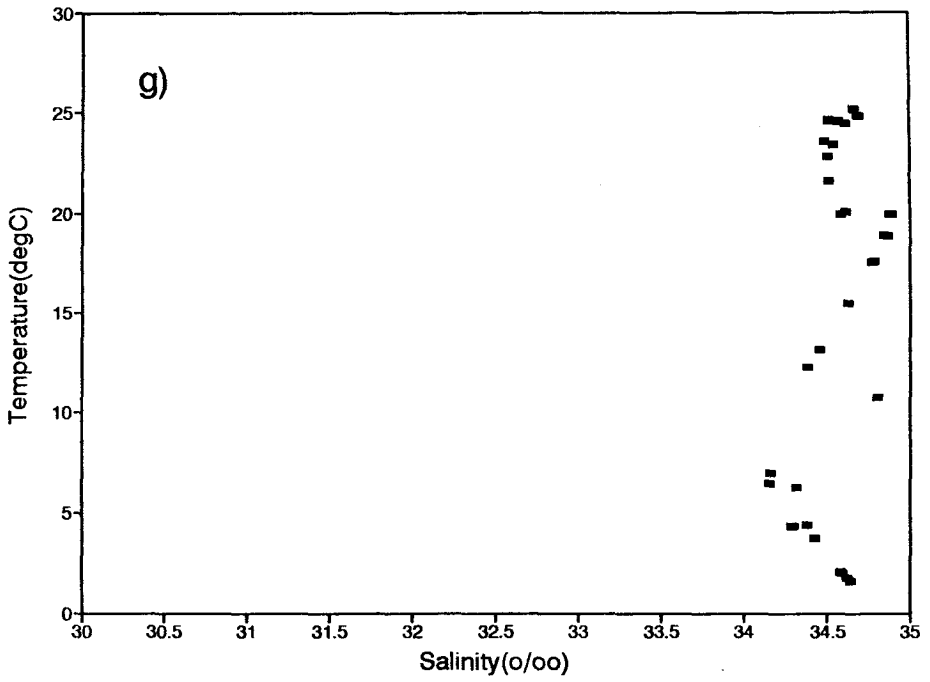


Fig. 5.1. Continued

수괴는 수온, 염분의 분포 범위가 황해저층냉수의 특성을 잘 보여준다.

**YS9204:** 제2차년도에의 조사 지역인 YS9204에서 관측된 수온, 염분의 분포 범위는 각각 약 8.0 °C 에서 14.5 °C, 25.3 ‰ 에서 34.5 ‰ 을 나타낸다 (Fig. 5.1d). 이중 양자강의 직접적인 영향을 받은 것으로 생각되는 정점 D1을 제외한 정점들의 수온·염분 곡선을 보면, 가장 고온, 고염의 정점 E1과 정점 D8, D9를 중심으로한 34 ‰ 이상 13 °C 이상의 하나의 end-member와 황해의 중앙부에 위치하는 정점들의 저층 수괴를 주로 포함하는 염분 32.5~33.0 ‰, 수온 8~9 °C 의 end-member 및 염분 32 ‰, 수온 10~12 °C 의 end-member 등, 3개의 end-member를 생각할 수 있다.

고온, 고염의 end-member는 황해 난류수와 그 수온, 염분 범위가 일치하며 지역적으로도 CC-line과 D-line의 수심이 가장 깊은 정점들에 해당하여 일반적으로 알려진 황해난류수의 분포지역과 일치한다.

가장 저온의 end-member는 황해저층냉수와 그 수온, 염분 범위가 일치하며 분포 지역도 황해 중앙부의 B-line 및 A-line의 외해쪽 저층에 해당한다.

가장 저염의 end-member는 지역적으로 정점 D2와 정점 CC1, 뿐만아니라 정점 A2의 표층을 포함하고 있어 수온, 염분 분포는 비슷하지만 지역적으로 크게 흩어져 있다. 이 end-member를 중국대륙 연안수와 한반도 연안수로 볼 수도 있지만 현재까지 중국대륙 연안수나 한반도 연안수에 대한 자세한 연구가 이루어져있지 않아 확신할 수는 없다.

**YS9209:** 황해 전반에 걸친 조사가 이루어진 YS9209의 수온, 염분 특성은 여름철에 황해에 나타나는 전형적인 분포를 보여주지만, 다른 조사 시기에 비하여 전반적으로 낮은 염분 분포를 보인다 (Fig. 5.1e). 표층 및 수심이 낮은 중국쪽의 정점에서 염분은 낮고 수온은 20°C 이상으로 높은

분포를 보인다. 그러나 수심 50m 이상의 저층에서의 수온, 염분 분포는 황해의 중앙부에서는 다른 관측 결과와 비슷한 황해저층냉수의 특성을 보이지만, 남쪽에 위치한 정점들에서는 대개 14°C 이상의 높은 수온을 보인다 (Fig. 5.1e). 이러한 수괴의 수온, 염분 특성은 황해난류수와 연안수 또는 저염의 표층수와의 혼합으로 나타난 것으로 판단된다. 그러나, 이들 수괴가 남해로 부터 유입되었을 가능성도 전혀 배제할 수는 없다.

YS9302: 3차년도 의 수온, 염분 특성은 계절적으로 겨울철에 관측하였기 때문에 수직적으로 혼합이 매우 잘 일어나, 수직적으로 일정한 수온, 염분 분포를 보이며, 수온-염분곡선에서도 고염, 고온의 end-member와 저온, 저염의 end-member사이의 혼합이 잘보여 진다. 그러나, 염분 약 34% (정점 D8)을 중심으로 한반도쪽의 정점들의 수온이, 중국쪽 정점들에 비하여 약 1°C정도 낮은 분포를 보인다 (Fig. 5.1f). 이러한 분포는 2차년도의 관측 결과와 매우 흡사하다.

CSEX9211: 앞서 설명한 황해 자료와는 달리 전반적으로 고염의 해수가 분포하며, 가장 저층 (수심 2000m 이하)에 염분 34.6~34.7%, 수온 2~3°C의 북태평양심층수(North Pacific Deep Water:NPDW, Chen, 1989), 수심 750m 부근의 저염의 북태평양중층수(North Pacific Intermediate Water:NPIW), 수심 150~200m 부근의 고온, 고염의 열대수(Tropical Water:TP), 표층에 분포하는 쿠로시오 표층수(Kuroshio Surface Water:KSW)가 수심에 따라 분포한다 (Fig. 5.1g).

이상의 6회에 걸쳐 조사된 자료를 토대로 수온, 염분에 의한 수괴의 분포를 살펴보면, 황해의 동남부(제주도 서쪽 33° 30'N, 125° E 부근 해역)를 중심으로 염분 34~35%, 수온 11~15°C의 황해난류수가 존재하며, 이

수괴의 위치는 계절에 따라 남동-북서쪽으로 이동하는 것으로 생각된다. 또하나의 황해 내의 대표적인 수괴인 황해냉수는 그 수온, 염분의 범위가 각각 10℃ 이하와 32.5~33%을 보이며, 분포 위치는 황해의 중앙부에 해당한다. 겨울철에는 표층과 저층의 혼합이 활발히 일어나 표,저층에 걸쳐 분포하지만, 성층이되는 여름 또는 봄철에는 수심 50m이하의 깊이에서 나타난다. 중국대륙에 인접한 해역(124° E 동쪽, 34° N 남쪽)에서 나타나는 수괴는 8~12℃의 수온과 31.5~32.5%의 염분을 가지며 이 수괴는 분포 지역의 특성상 중국대륙 연안수로 판단된다. 이 수괴는 주로 중국쪽에 치우쳐 분포하며, 이 지역은 수심이 얕기 때문에 여름철에는 수온이 약 20℃까지도 상승하는 것으로 생각된다.

### 5.1.3. 염분과 $\delta^{18}O$ 에 의한 황해 수괴

1차년도 관측(KF9104)과 동년 7월과 11월에 황해 중앙부 관측자료(CYS9107, CYS9111), 2차년도 관측자료(YS9204), 동년 9월의 관측자료(YS9209) 및 3차년도의 관측자료(YS9302)의 염분· $\delta^{18}O$  곡선을 Fig. 5.2에 도시하였다.

**KF9104** : 담수의 영향을 많이 받은 정점 1에서 depleted  $\delta^{18}O$  값을 보이며, 연안에서 멀어질 수록  $\delta^{18}O$  값이 증가하는 경향을 보이지만, 수심 20 m 이하의 표층에서는 정점 7, 8, 9를 중심으로하여 depleted된  $\delta^{18}O$  값 (< -0.2 ‰)을 보여 (Fig. 5.2a), 이 지역의 표층에는 저층과는 다른 성질의 물이 존재하는 것으로 생각되며, 염분 이나 수온의 분포에서도 이와 같은 현상이 나타난다 (한국해양연구소, 1991). 정점 13의 저층으로부터 enriched

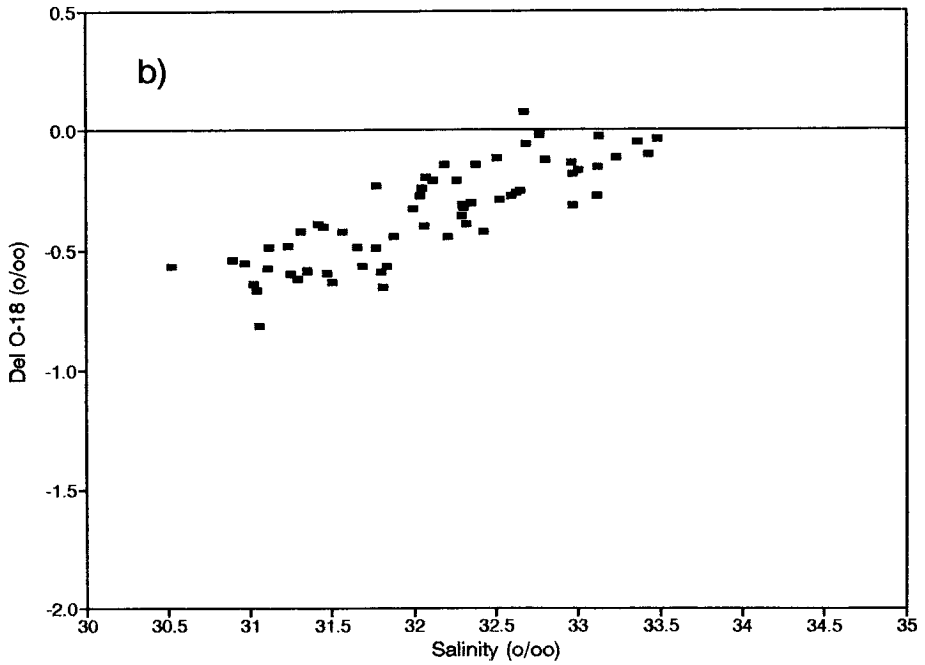
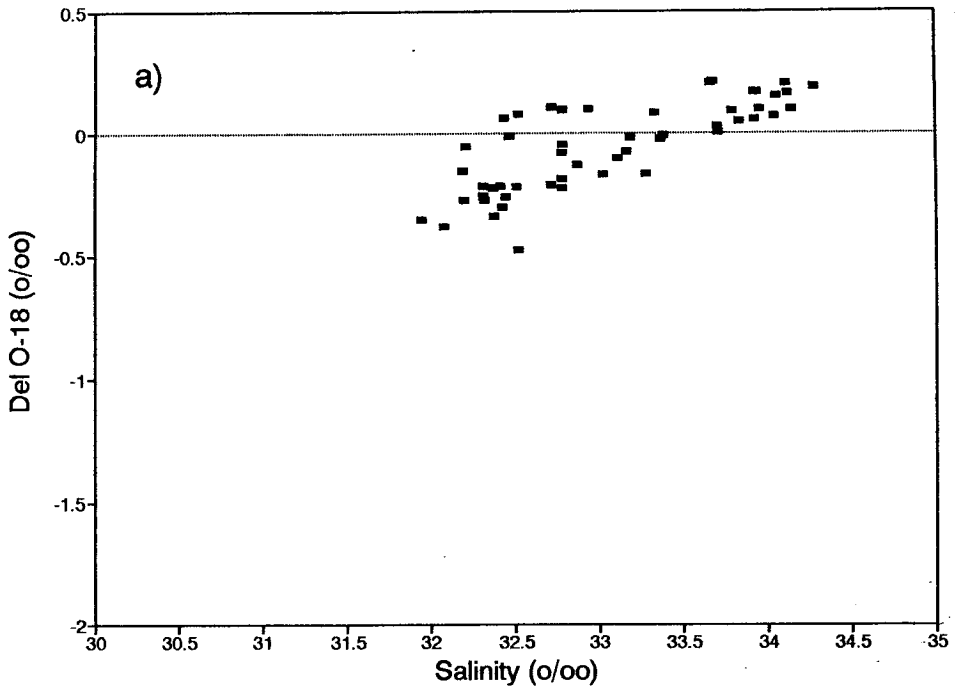


Fig. 5.2 Salinity- $\delta^{18}\text{O}$  daigrams. a)KF9104 b)CYS9107 c)CYS9111  
 d)YS9204 e)YS9209 f)YS9302 g)CSEX9211



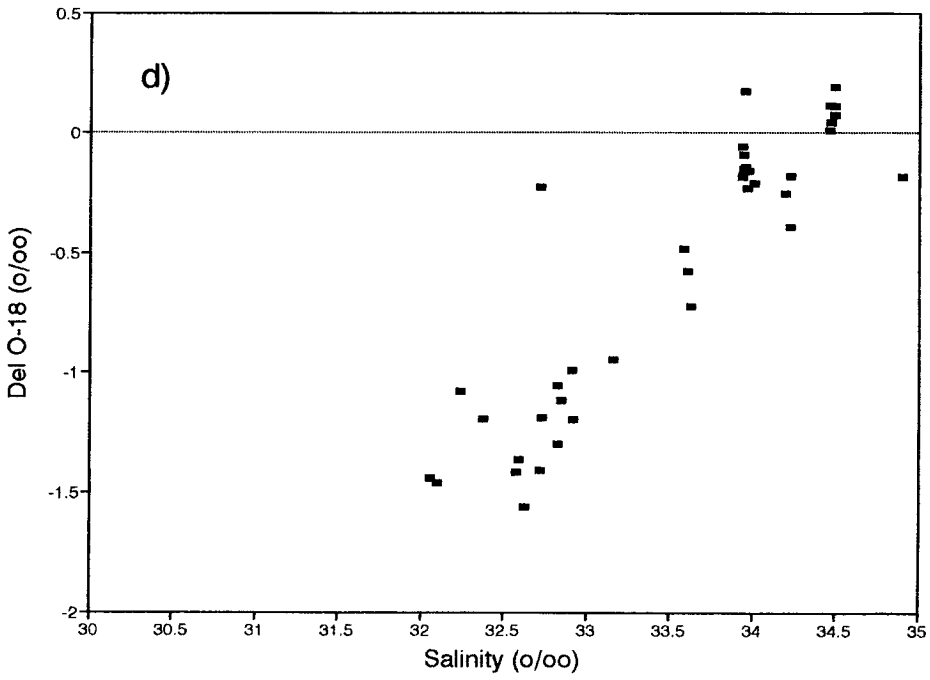
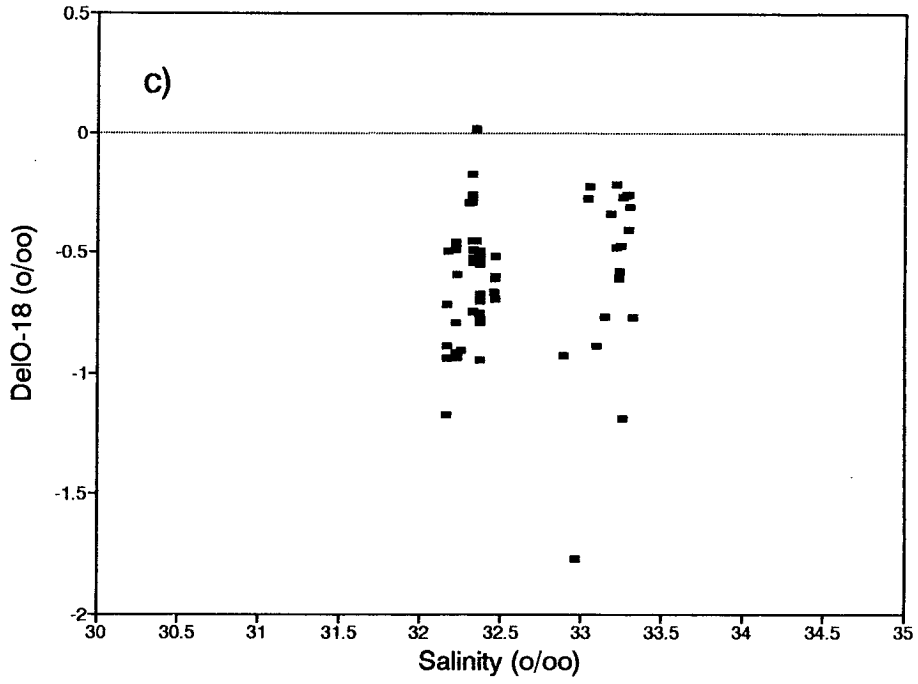


Fig. 5.2. Continued

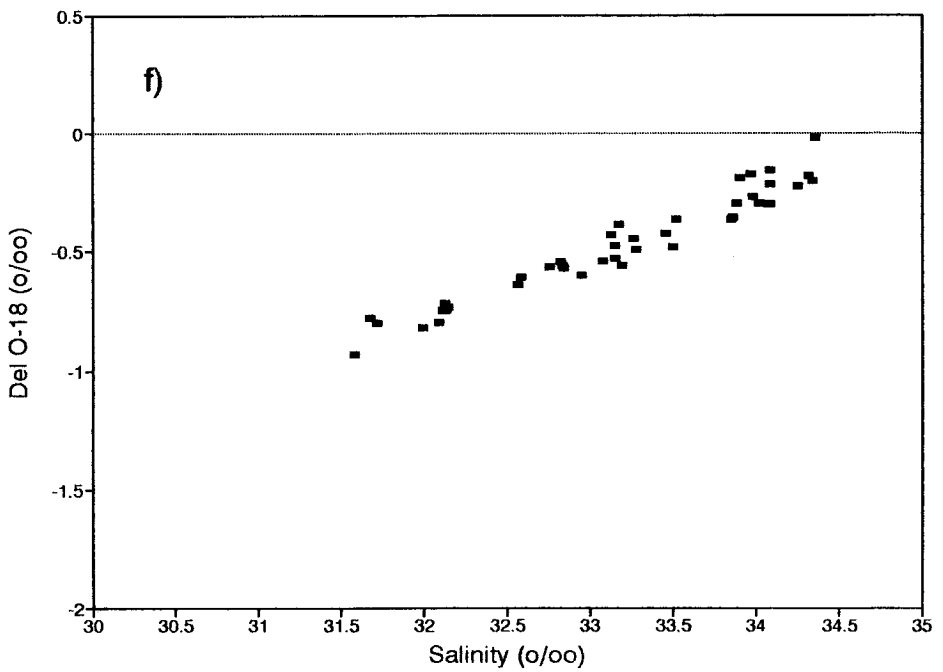
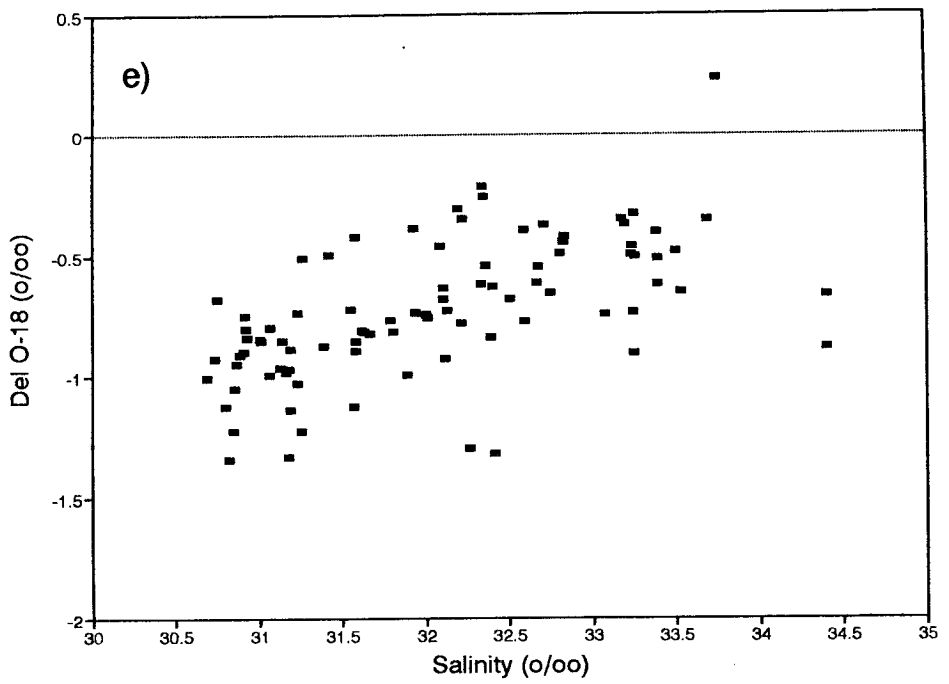


Fig. 5.2. Continued

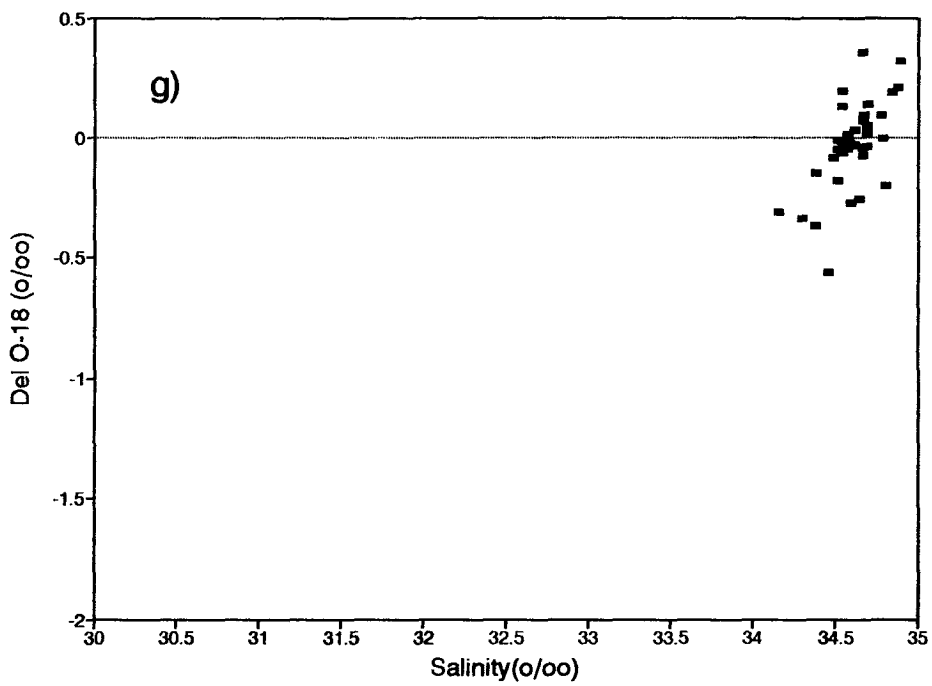


Fig. 5.2. Continued

$\delta^{18}\text{O}$  값을 갖는 대양성 물의 유입이 정점 10을 향하여 존재하는 것으로 보이며, 염분의 분포에서도 이와 같은 경향이 잘 나타난다. 담수의 영향을 많이 받은 연안역의 정점 1 부터 정점 5 까지를 제외하고  $\delta^{18}\text{O}$ 와 염분과의 상관 관계를 보면, 좋은 직선의 상관 관계를 보인다.

CYS9107 : 수온, 염분 사이의 상관 관계에서는 50 m 보다 깊은 수심의 저층수에서만 수온, 염분 사이에 어느 정도의 직선 관계를 찾아 볼 수 있으나(Fig. 5.1b), 염분과  $\delta^{18}\text{O}$  사이의 관계에서는 표층부터 저층의 전 수심에 걸쳐 뚜렷한 직선 관계를 보인다 (Fig. 5.2b). 아울러 이 직선은 KF9104의 염분,  $\delta^{18}\text{O}$ 의 직선과 일치한다. 또한, 수심 30 m 이하의 표층수는 저염, depleted  $\delta^{18}\text{O}$ 을 보이며, 수심 50 m 이상의 저층에서는 고염, enriched  $\delta^{18}\text{O}$ 을 보인다. 특히, 수심 50 m 이상의 저층에 존재하는 염분 32~33.5 ‰,  $\delta^{18}\text{O}$  -0.3~0 ‰의 수괴는 황해저층냉수와 수온, 염분 범위나 위치가 일치한다.

CYS9111 : 염분과  $\delta^{18}\text{O}$ 의 상관 관계는 전 정점의 표층수와 일부 정점의 저층수는 KF9104나 CYS9107의 혼합곡선과 일치하는 혼합곡선을 보이지만, 36°N, 124°E를 중심으로하여 남동 방향의 저층수에서는 동일한 염분에서  $\delta^{18}\text{O}$ 이 1‰이상 depleted된 값을 보인다 (Fig. 5.2c). 이는 이 지역에 CYS9107관측시와는 다른 수괴가 북서 방향에서 저층을 통해 유입되었다고 볼 수 있다. 그러나 앞서 설명한 수온, 염분의 자료로는 이러한 현상을 찾아 볼 수가 없었다.

YS9204 : 염분과  $\delta^{18}\text{O}$ 의 상관관계는 1차년도와 같이 직선의 상관관계를 보이지만, 고염의 정점 E1을 중심으로한 황해의 동남부 즉 한반도쪽의 자료들은 1차년도에 관측된 염분:  $\delta^{18}\text{O}$ 의 비가 거의 같지만, 그외의 대부분의 지역에서는 CYS9111에 관측된 depleted된  $\delta^{18}\text{O}$ 의 자료와

일치하는 분포를 보인다 (Fig. 5.2d). 따라서, 1991년 11월에 황해 중앙부의 저층에 만 일부 분포하던 새로운 수괴가 남쪽까지 확장하였으며 수심도 표층에 까지 걸쳐 분포하게 된다고 볼 수 있다.

**YS9209** : 황해 전역에 걸쳐 시료가 채취된 YS9209의 가장 큰 특징은 황해 전반에 걸쳐 염분이 매우 낮아졌으며, 대부분의 자료가 1차년도의 염분,  $\delta^{18}\text{O}$  상관관계와 유사하다. 그러나, 2차년도와 같이 depleted된  $\delta^{18}\text{O}$ 을 보이는 시료는 연구 지역의 가장 북쪽인  $37^\circ\text{N}$ 의 동쪽에 치우쳐 나타났다 (Fig. 5.2e). 또한 YS9209에서는 황해난류수에 해당하는 것으로 사료되는 수괴는 발견되지 않았다.

**YS9302** : 염분과  $\delta^{18}\text{O}$ 의 상관관계는 1차년도의 결과 동일한 혼합곡선상에 놓인다. 황해냉수에 해당하는 정점들은 (정점 B24, B25) 염분 32.5~33%,  $\delta^{18}\text{O}$  -0.2~-0.3%의 범위를 보이며, 고염의 황해난류수에 해당하는 정점들은 염분 및  $\delta^{18}\text{O}$ 의 범위가 각각 34~34.5%, 0~0.2%을 보여 1차년도 및 2차년도의 자료와 유사하다 (Fig. 5.2f). 그러나 이러한 수괴의 분포 지역은 정점 D6과 D7을 중심으로 분포하여 1차년도나, 2차년도에 비하여 남서쪽으로 이동하여 분포한다.

**CSEX9211** : 염분과  $\delta^{18}\text{O}$  상관도에서는 수심 약 200m의 고염, 고  $\delta^{18}\text{O}$ 의 end-member와 수심 750~1000m의 저염, 저  $\delta^{18}\text{O}$ 의 end-member, 수심 2000m 이상의 고염, 저  $\delta^{18}\text{O}$ 의 3개의 end-member의 삼각형 내에 대부분의 자료가 위치한다. 수온, 염분 자료로 부터 이들 end-member의 수괴를 살펴보면, 고염, 고  $\delta^{18}\text{O}$ 의 수괴는 열대수, 저염, 저  $\delta^{18}\text{O}$ 의 수괴는 북태평양 중층수, 고염, 저  $\delta^{18}\text{O}$ 의 수괴는 북태평양심층수에 해당한다. 수심 100m 이내의 표층의 경우에는 대부분의 정점에서 염분 34.5~34.7%,  $\delta^{18}\text{O}$  -0.1~0.1%의 분포를 보이며 (Fig. 5.2g), 이는 황해에서 관측된 염분,  $\delta^{18}\text{O}$ 의 혼합곡선의

가장 고염 부근과 동일한 분포 범위를 보인다.

가장 보편적으로 수괴를 정의 하는데에 사용되는 수온, 염분 이외의 또 다른 보존성 추적자인  $\delta^{18}\text{O}$ 의 자료로 부터 앞서 설명한 황해의 수괴를  $\delta^{18}\text{O}$ 의 관점에서 새롭게 정의해 보고자한다.

Fig. 5.2에 나타난 자료들 중 염분 34 % 이상의 시료들은 모두 황해의 동남부에 위치하는 정점들로 이들의 수온, 염분 범위는 황해난류수의 그것과 일치한다. 그러나, 조사 시기에 따라 그 위치가 약간씩 다르게 나타나 YS9209 관측시에는 북위  $32^\circ$  이북에서 관측되지 않았으며, 2차년도인 YS9204에서는 제주도 북쪽의 정점에서, 3차년도에는 북위  $33^\circ 30'$ , 동경  $124^\circ 30'$  (정점 D6, D7)를 중심으로하는 지역에서 나타났다. 또한 이 수괴는  $\delta^{18}\text{O}$  값이  $-0.2\sim 0.2\%$ 의 범위에 해당한다.

중국대륙연안수에 해당하는 정점들의  $\delta^{18}\text{O}$ 값은  $-0.5\sim -1\%$ 에 해당하며, 염분은  $32\sim 32.5\%$ 에 해당한다.

황해 중앙부의 저층에 존재하는 (겨울의 경우에는 표층에까지도 존재)  $10^\circ\text{C}$  이하의 냉수는 그 염분 범위가  $32.5\sim 33\%$ 이며, 이는 황해저층냉수의 특성과 일치한다. 이들의  $\delta^{18}\text{O}$  값은  $-0.6\sim 0.0\%$ 의 범위에 분포한다.

그러나, YS9204에서 관측된 자료들의 경우, 수온, 염분의 분포는 다른 시기의 관측 결과와 비슷한 양상을 보이지만,  $\delta^{18}\text{O}$ 은 매우 depleted된 값을 보인다. 이러한 현상에 관해서는 뒤에서 좀 더 자세히 논의하기로 한다.

이러한 관점에서 본 연구의 결과를 토대로 새롭게 정의된 황해의 수괴를 Table 5.2에 정리하였다. 단, YS9204와 CYS9111의 자료들 중 depleted된  $\delta^{18}\text{O}$ 이 나타난 경우를 제외하였다.

Table 5.2. Characteristics of water masses in the Yellow Sea

Water Masses	Temperature(℃)	Salinity(‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
YSCW	< 10	32.5 ~ 33	-0.5 ~ 0
YSWCW	11 ~ 15	34 ~ 35	-0.2 ~ 0.2
CWCC	8 ~ 10	32 ~ 32.5	-0.5 ~ 1

#### 5.1.4. $\delta^{18}\text{O}$ 과 염분의 상관관계를 이용한 황해 해수 기원

Fig. 5.3에서 나타난 바와같이 황해의 염분,  $\delta^{18}\text{O}$ 의 관계를 보면, 염분 34.5‰,  $\delta^{18}\text{O}$  0.1‰의 고염의 end-member와 YS9204와 CYS9111의 일부 자료를 제외하고는 모든 경우에 있어서 염분과  $\delta^{18}\text{O}$ 이 직선의 상관관계를 갖는다. 이러한 직선의 상관관계는 일차적으로는 고염의 end-member와 저염의 end-member 사이의 혼합으로 생각할 수 있다.

고염의 end-member는 동중국해로부터 황해로 유입되는 경로 이외에는 그 가능성이 거의 없다. 황해의 고염의 end-member가 동중국해에 존재하는 여러 수괴들 중 어떠한 수괴인지를 알아보기 위하여 1992년 2월 온누리호의 처녀 항해시 대만과 제주도를 잇는 선상에서 채취된 (Fig. 5.4) 표층 해수 (ONR9202)와 CSEX9211의 자료로 부터 이를 추정하여 보기로 한다.

황해로 유입되는 고염의 수괴는 황해난류수로 분류되는데, 이 황해난류수의 기원에 관하여는 대표적으로 2가지를 들 수 있다. 첫번째로는 Nitani가 제안한 쿠로시오의 본류가 큐슈의 남동쪽에서 분기하여 일부는 대한해협으로 대만난류를 형성하며, 일부는 황해난류수로 황해로 유입된다 (Nitani, 1972: Fig. 5.5a)는 주장이고, 다른 하나는 대만해협을 통과하는 대만난류가 제주도 남쪽에서 분기하여 황해난류수로 황해로 유입된다

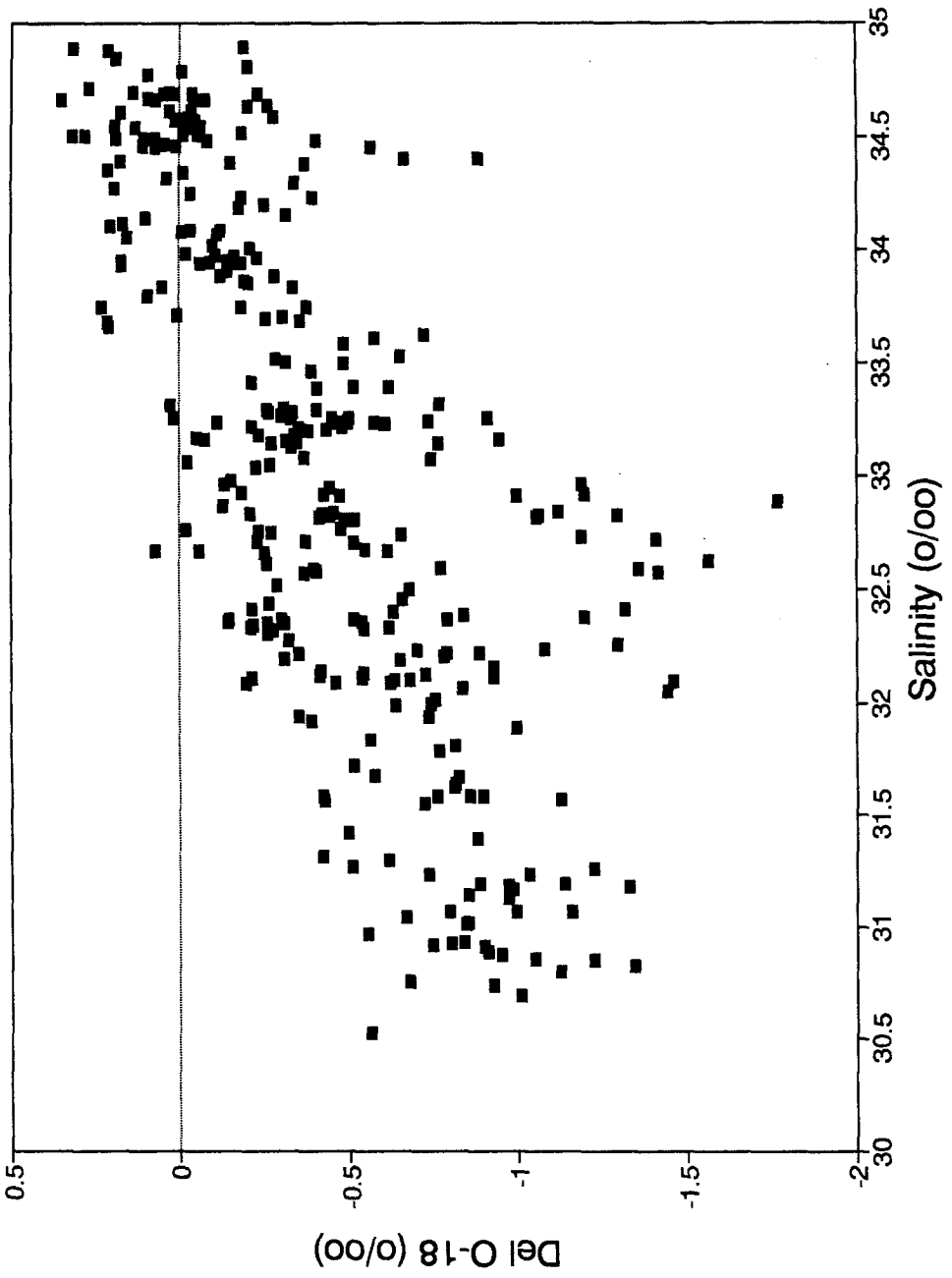


Fig. 5.3 Salinity- $\delta^{18}\text{O}$  daigrams of all data in this study.



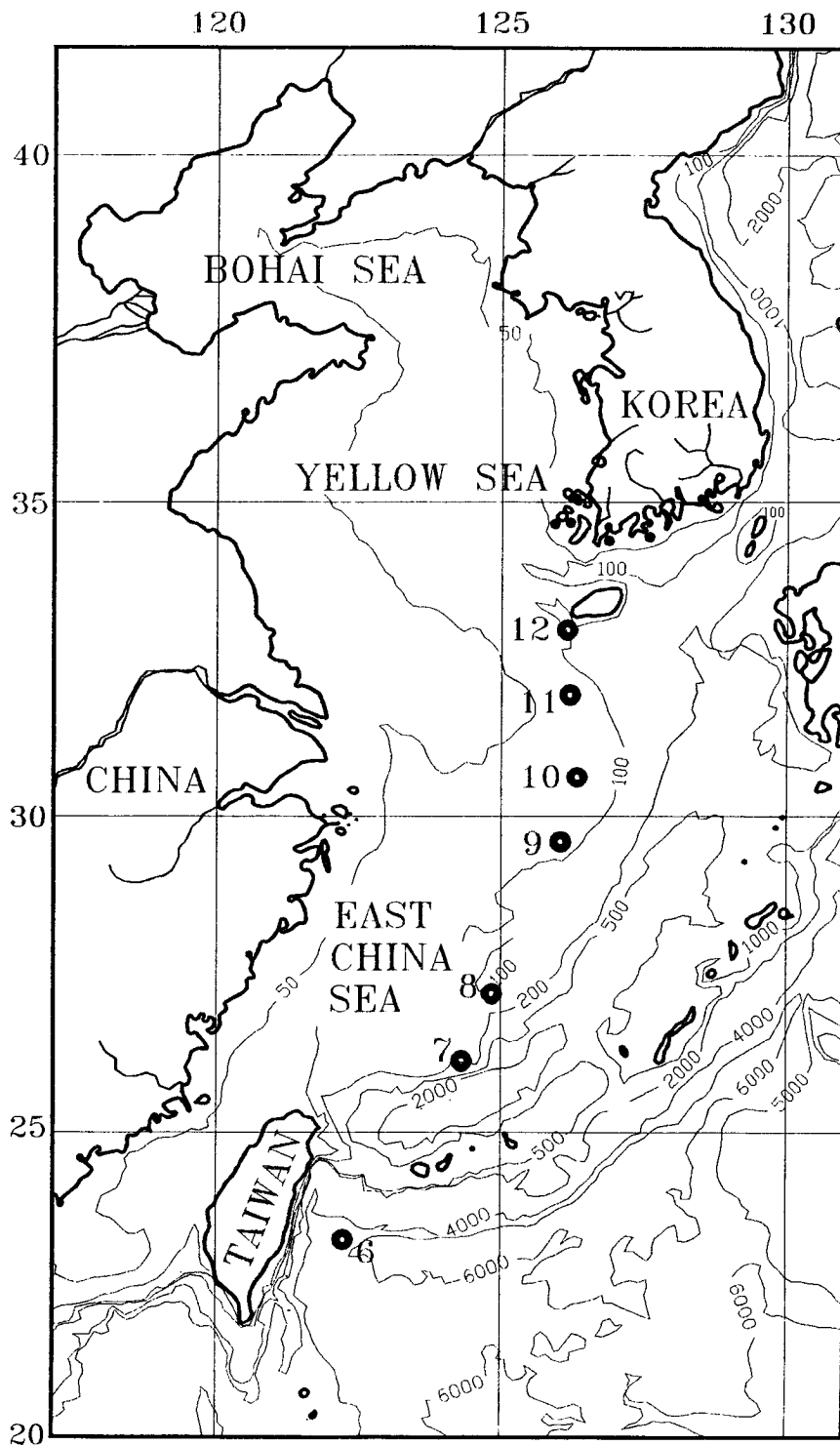


Fig. 5.4 Surface sampling stations in the East China Sea (ONR9202).

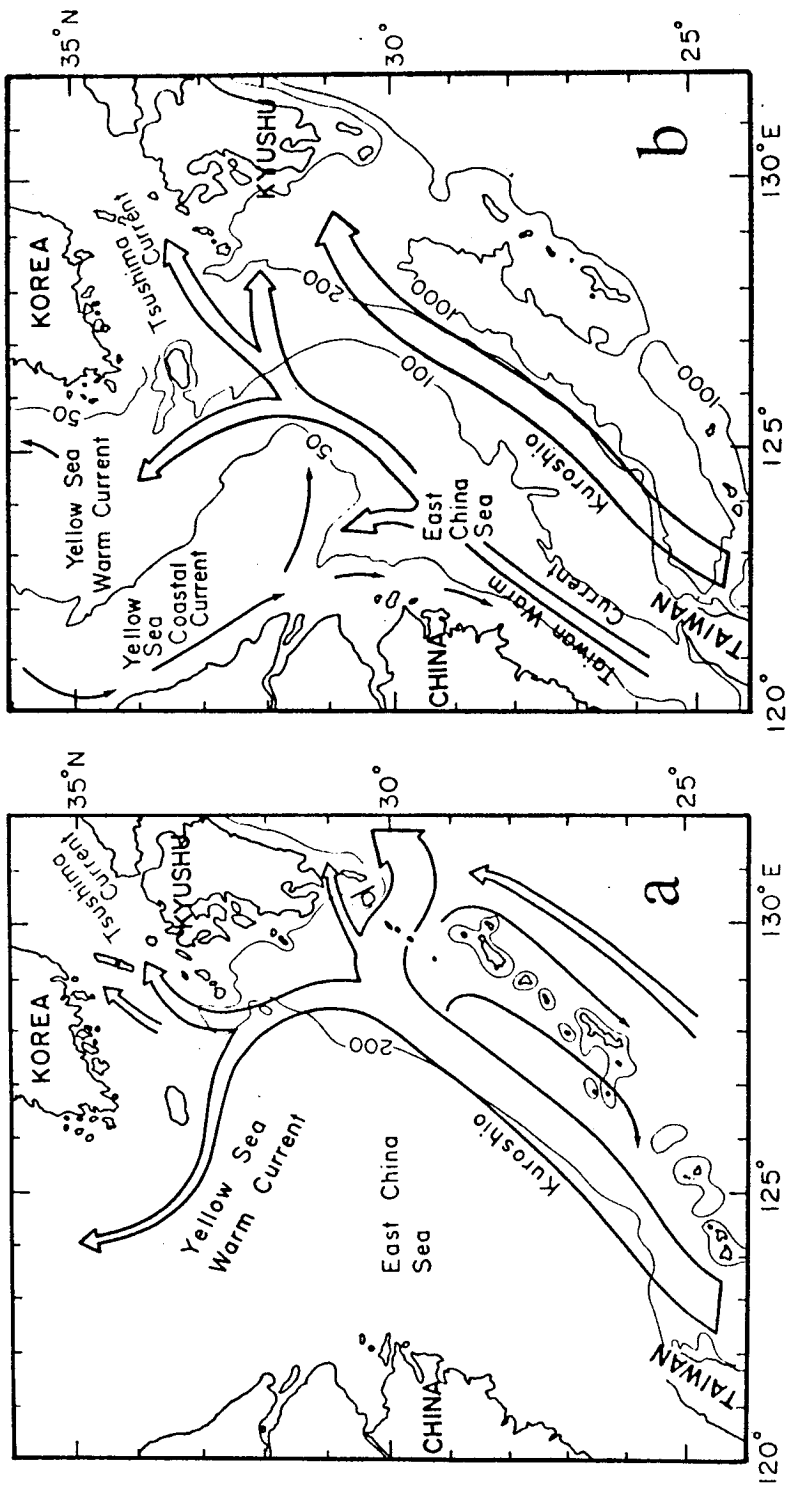


Fig. 5.5 Schematic circulation patterns in the East China Sea. a) Nitani's suggestion (1972) and b) the suggestion of Beardsley et al. (1985).

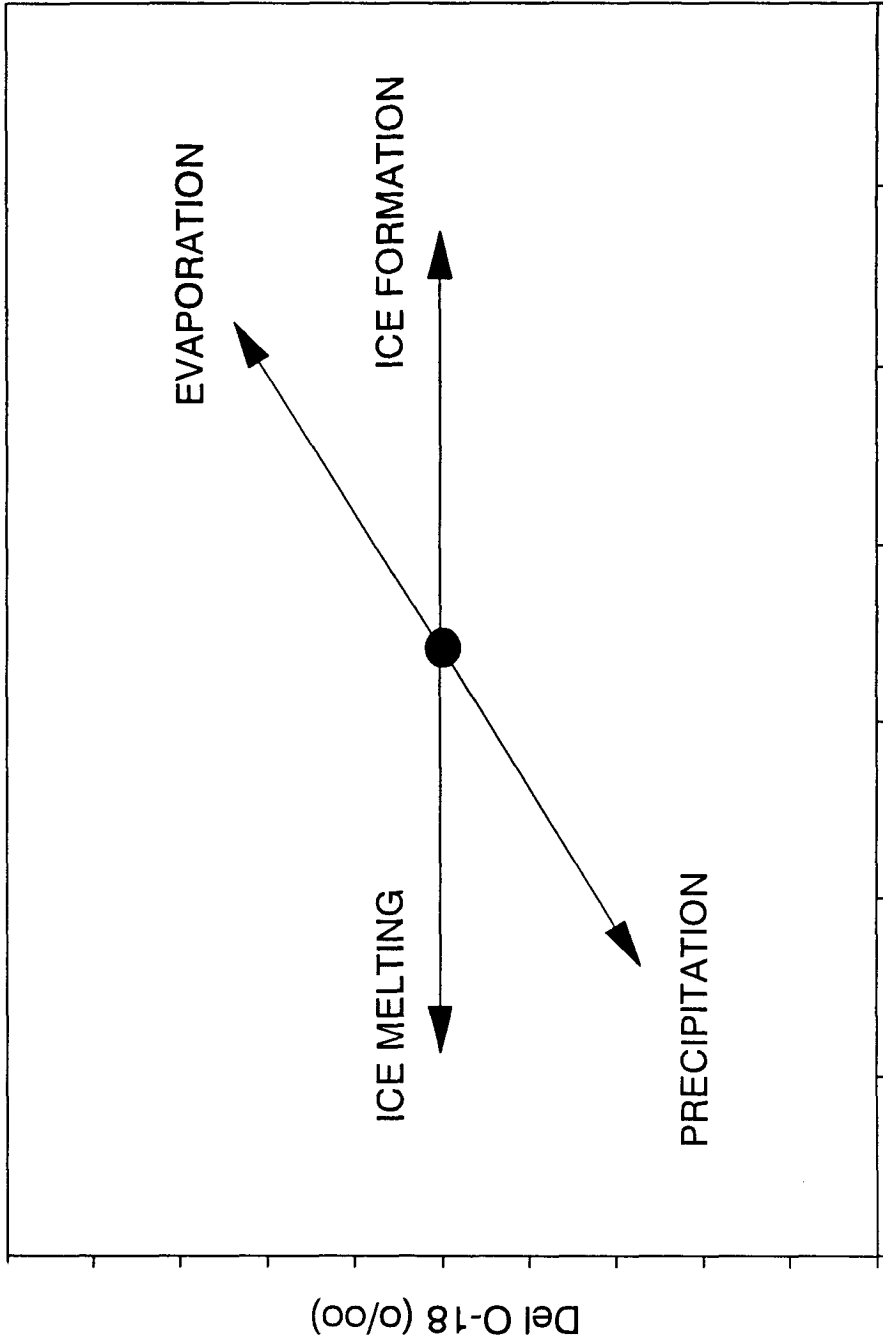
(Beardsley et al., 1985)는 것이다 (Fig. 5.5b).

본 연구에서 획득한 자료들 중 ONR9202의 정점 10, 정점 11 및 CSEX9211의 표층수, 즉 쿠로시오 표층수의 염분,  $\delta^{18}\text{O}$ 은 황해의 혼합곡선의 연장선 위에 놓인다 (Fig. 5.3). ONR9202나 CSEX9211의 정점들은 모두 쿠로시오의 본류가 통과하는 지역을 포함하고 있으며, 대만난류의 지역은 포함되어 있지 않다. 대만난류의 end-member에 관한 직접적인 자료가 없기는 하지만, 현재까지의 자료로 미루어 황해난류수는 쿠로시오에 그 기원을 둔다고 볼 수 있다. 또한, 쿠로시오를 대표할 만한 지역 ( $25^{\circ}10'N$ ,  $121^{\circ}58.6'E$ )에서의  $\delta^{18}\text{O}$  과 염분의 자료가 ( $S = 34.5\%$ ,  $\delta^{18}\text{O} = 0.3\%$  : Wang, personal comm.) 황해의 혼합곡선의 연장선상에 정확히 놓여 이를 다시 한번 확인할 수 있다.

황해는 남쪽만이 동지나해와 연결되어 있고 나머지 3면이 모두 육지로 둘러 싸여있어 저염의 end-member는 황해로 유입되는 여러 강에 의한 것으로 생각할 수 있다. 황해로 유입되는 여러 강들중 하천 배수량이 비교적 큰 강들은 양자강, 황하, 압록강, 한강을 들 수 있는데, 이들 중 양자강은 그 위치가 황해의 최남단에 위치하고 있고, 여름철을 제외하고는 황해에 직접적인 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있으므로, 이를 제외하면 황하의 하천 배수량이 연간 약  $49 \text{ km}^3$  으로 가장 크며, 다음은 압록강으로 연간 약  $28 \text{ km}^3$ , 한강이 약  $19 \text{ km}^3$  으로 이들 3개의 강의 하천 배수량이 황해로 유입되는 전체 하천 배수량의 약 80%를 차지한다. 저염의 end-member는 황해로 유입되는 여러 강들의 담수가 복합적으로 작용하여 형성되었을 것으로 추측된다. 또다른 해양에 유입되는 담수의 기원으로는 강 우를 들 수 있는데 이는 해양의 표층에 주로 영향을 미치며, 본 연구의 결과에서는 저층수에서도 이와 같은 결과를 보이므로 저염의 end-member는 주로 황해로 유입되는 강에 의한 것으로 생각할 수 있다.

황해의 저염의 end-member가 되는 여러 강들 중 가장 대표적인 황하에 대해서 이미 황하 하구에서 발표된 자료가 있어 (Zhang *et al.*, 1990), 이를 본 연구의 결과와 비교하였다. Zhang 등은  $\delta^{18}\text{O}$ 과 염분의 자료를 이용하여, 황하 하구에서의 수괴 혼합을 황하로부터 직접 황해로 유입되는 강물과 그 이전 해의 강물이 얼어 Laizou 만에 얼음으로 존재하다가 3~4 개월 후 다시 녹아 흘러내리는 물 (old water) 및 해수 3개의 end-member 혼합으로 설명하였다 (Zhang *et al.*, 1990). 이 자료와 본 연구의 자료를 비교하여 보면, 황해의 염분,  $\delta^{18}\text{O}$ 을 이용한 혼합곡선은 Zhang등이 제안한 황하 하구의 혼합곡선의 연장선에 위치한다. 그러나, YS9204와 CYD9111 및 YS9209의 일부자료는 이러한 혼합곡선에서 벗어난 분포를 보인다. Zhang등의 자료중에도 이와 같이 혼합곡선에서 벗어나는 자료들이 일부 존재한다. 이 중 대표적인 것이 1985년 5월 산둥반도의 동쪽 정점 수심 25m의 시료인데, 이 시료는 염분, 32.02%,  $\delta^{18}\text{O}$ , -1.74‰로 본 연구의 YS9204자료들의 연장선 위에 놓인다. 그러면, 이러한  $\delta^{18}\text{O}$  이 depleted된 수괴의 기원에 관하여 논의해보기로 한다.

염분- $\delta^{18}\text{O}$  diagram에서 서로 다른 수괴의 경우를 제외하고, 염분과  $\delta^{18}\text{O}$ 의 변화를 줄 수 있는 요인은 강우(precipitation)와 증발(evaporation), 얼음의 형성 (ice formation)과 얼음의 녹음(ice melting)이다. 이중 강우나 증발은 염분과  $\delta^{18}\text{O}$ 을 모두 변화시키며, 얼음과 관련된 기작은 염분의 변화는 있지만  $\delta^{18}\text{O}$ 은 거의 변화하지 않는다 (Fig. 5.6).  $\delta^{18}\text{O}$ 은 변화시키지 않고 염분만이 다르다면, 이는 서로 다른 수괴로 밖에는 볼 수 없다. 따라서, 본 연구의 CYS9111의 일부 자료와 YS9204의 자료들은 다른 조사 시기에 황해에서 관측되었던 수괴와는 다른 수괴로 볼 수 있다. 그러나, 수온, 염분 자료만으로는 이들은 황해냉수와 일치하여 다른



Salinity (o/oo)

Fig. 5.6 Schematic diagram of the processes which can modify the salinity and  $\delta^{18}O$  values.

수괴라고 볼만한 증거를 찾을 수 없다. 본 연구의 결과에 따르면, 이러한 수괴는 1991년 11월 황해의 중앙부 해역에 일부 북서-남동 방향의 대상으로 저층에 나타나 계속 발달하여, 1992년 봄에는 황해의 남동부에 까지 이르렀으며, 저층뿐 아니라 표층에까지 분포한다. 그러나, 1992년 9월에는 황해 중앙부의 일부 정점과 조사지역의 최북단의 정점에서만 관측되었다. 이 수괴의 end-member는 저염, 저  $\delta^{18}O$ 으로 볼 수 있으며, 이 수괴의 분포 형태로 미루어 황해의 북쪽에서부터 남하한 것으로 생각된다. Zhang등이 1985년에 관측한 산둥반도의 동쪽 저층의 이상적인 염분과  $\delta^{18}O$ 의 자료 역시 이 수괴와 동일한 수괴로 생각된다. 그러나, 황해의 북부에서 황해로 유입되는 저염수의 근원은 주로 강이며, 이들 중 비교적 큰강은 황하와 압록강이다. 황하의 혼합곡선은 이 수괴의 혼합곡선과는 매우 벗어나 있고, 압록강의 경우에는 자료가 없어기는 하지만, 이 수괴의 기원은 강으로 보고 염분이 0%이 될때까지 혼합곡선을 연장하면,  $\delta^{18}O$ 은 약 -26%이 된다. 일반적으로 담수의  $\delta^{18}O$ 은 위도가 높아짐에 따라 depleted된 값을 보이는데, 담수가 -26% 정도의  $\delta^{18}O$  값을 보이는 지역은 북위 80° 정도의 Greenland이다 (Yurtsever and Gat, 1981). 그러나, 압록강은 북위 40° 정도에 위치하고 있어 압록강 또는 한반도를 흐르는 강으로부터 기원된 수괴로 생각하기에는 무리가 따른다.

또한, 염분과  $\delta^{18}O$ 값의 변화를 주는 요인 중 강우나 증발은 염분과  $\delta^{18}O$  모두 변화하므로 이에 의한 효과는 아닌것으로 생각된다. 그러면, 염분과  $\delta^{18}O$ 에 변화를 주는 다른 한가지 요인인 결빙 또는 해빙을 생각해 볼 수 있다. 황해의 북쪽에 위치한 발해만의 경우에 겨울에 상당한 양의 얼음이 존재한다. 지금까지 발해만내에 존재하는 얼음의 양에 대한 정확한 정보는 얻을 수 없었지만, 1959년 2월에 행해진 해양조사에서 결빙으로 인하여

조사가 이루어지지 못했던 지역 (Fig. 5.7)을 대상으로 이 지역의 평균 수심을 10m로 가정하고, 전수층에 걸쳐 모두 얼음이 얼었다고 가정한다면, 얼음의 총 부피는  $1.1 \times 10^{11}$  m<sup>3</sup>이 되고, 발해만 해수의 부피가 약  $1.6 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>이므로 이 얼음의 부피는 발해만 해수 부피의 약 7%에 해당한다. 만일, 발해만 내의 염분을 평균 30%이라고 가정한다면, 이 얼음은 발해만 해수의 염분을 약 2% 상승시킬 수 있다. 본 연구에서 얻어진 새로운 수괴의 염분은 32~32.5%,  $\delta^{18}O$ 은 -1.5~-1.7%로 볼 수 있고, 앞서 설명한 결빙의 기작으로 염분이 2% 높아 졌다면, 다른 시기에 관측된 혼합곡선에서 염분이 30~30.5%인 경우  $\delta^{18}O$ 은 -1.5~-1.7%이 되어야 한다. 본 연구에서 다른 조사시기의 혼합곡선을 연장해 보면 염분이 30%일때  $\delta^{18}O$ 은 -0.8~-1.8%로 결빙을 가정하고 추측한 값과 유사하다. 발해만의 얼음은 연중 항상 존재하는 것이 아니고 겨울에만 존재하므로 만일, 결빙이 황해 수괴 분포에 영향을 미친다면, 해빙 역시 영향을 미칠 것이다. 해빙의 경우에는 반대로 염분은 줄어들고  $\delta^{18}O$ 에는 영향을 미치지 않는다. 앞서 설명한 것과 같은 양의 얼음이 전부 녹는다고 가정하면 염분은 약 2% 낮아질 것이다. 이러한 경우 염분이 30%인 해수의  $\delta^{18}O$ 은 약 -1%에 해당한다. 이는 본 연구에서 얻어진 혼합곡선의 범위와 잘 일치한다. 따라서 황해의 수괴형성때 발해만의 결빙또는 해빙이 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다. 그러나, 이러한 수괴가 매년 남쪽으로 그 세력을 펼치는지 아니면 특별한 해에만 황해 중앙부까지 남하하는지는 현재까지 3년에걸친 자료로는 예측하기 불가능하며, 기존의 자료는 수온, 염분에 치중되어있어 이 수괴를 구분하기 매우 힘들다. 이에 대한 이해를 위해서는 좀더 지속적인 관측이 요구된다.

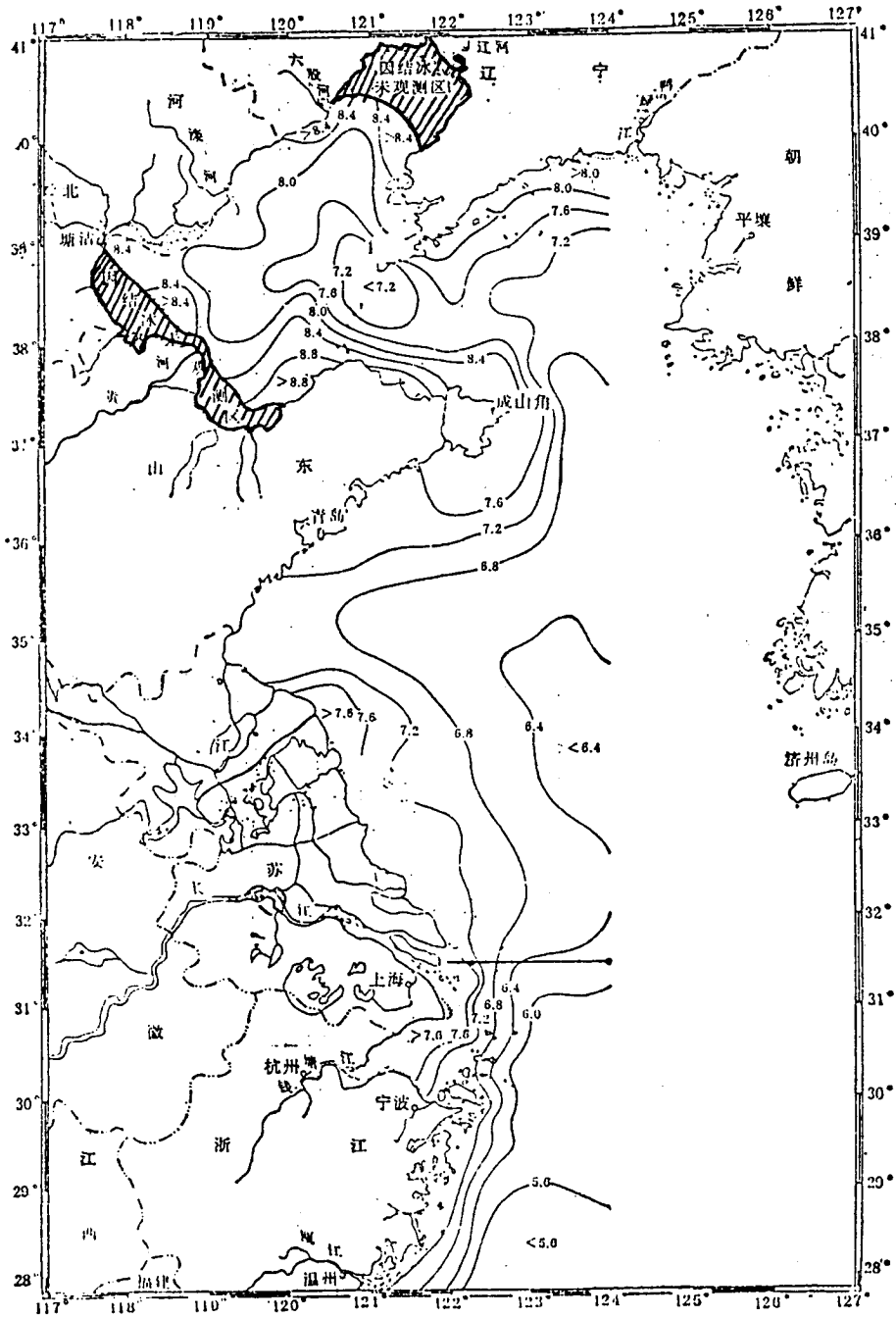


Fig. 5.7 Ice and dissolved oxygen (ml/l) distribution in the Gulf of Bohai. (after Gu, 1991)



### 5.1.5. 결론

황해의 수괴를 수온, 염분뿐 아니라  $\delta^{18}O$  까지도 포함하여 새롭게 정의하면 황해의 동남부에 존재하는 황해난류수는 수온 11~15 °C, 염분 34~35‰,  $\delta^{18}O$  -0.2~0.2, 황해 중부에 존재하는 황해냉수는 수온 10 °C, 염분 32.5~33‰,  $\delta^{18}O$  -0.5~0, 중국대륙의 연안을 따라 분포하는 중국대륙연안수는 수온 8~10 °C, 염분 32~32.5‰,  $\delta^{18}O$  -0.5~1 로 분류할 수 있다.

이들 수괴의 위치는 계절에 따라 혹은 해에따라 조금씩 변화하지만, 연중 황해에 계속 존재하는 수괴로 볼 수 있다.

이들 수괴는 쿠로시오로부터 분기된 고온, 고염, 고  $\delta^{18}O$ 의 황해난류수와 황해로 유입되는 여러 강들의 영향을 받은 저염, 저  $\delta^{18}O$ 의 수괴와의 2 end-member 혼합에 의해 형성되지만, 발해만내에 존재하는 얼음의 결빙 및 해빙에 의해 염분이 상승 또는 강하된 수괴가 남하하여 황해의 수괴 형성에 영향을 주기도한다 (Fig. 5.8). 이러한 현상은 기존의 가장 보편적인 수괴 해석 방법인 수온, 염분 자료만으로는 구분되지 않으며, 새로운 보존성 추적자인 산소동위원소비를 통하여 새롭게 밝혀진 사실이다.

그러나, 발해만의 결빙 또는 해빙이 매년 황해의 수괴 형성에 영향을 미치는지 혹은 특별한 해에만 (예를들면 El Nino가 일어난해 등) 영향을 미치는지에 대해서는 앞으로 해결해야할 과제이다. 이를 위해서는 장기적이고 지속적인 관측이 필요하며, 조사 지역도 발해만을 포함하는 광범위한 지역이 되어야한다.

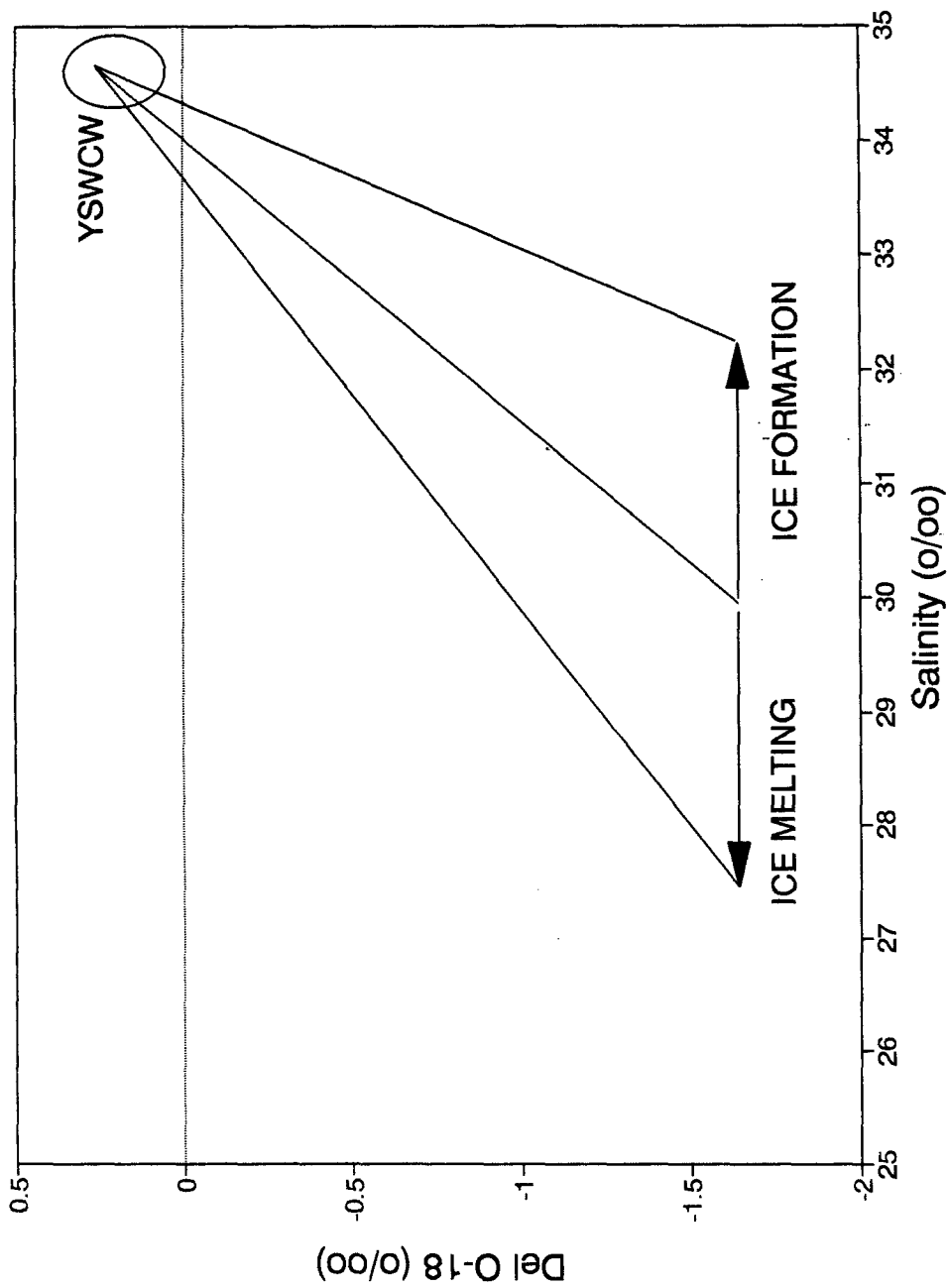


Fig. 5.8 Schematic diagram of the seawater mixing in the Yellow Sea.  
 (YSWCW: Yellow Sea Warm Current Water)

## 5.2. 황해의 기초생산력

### 요 약

황해에서의 식물플랑크톤에 의한 기초생산력과 이를 조절하는 요인들을 규명하기 위하여 본 과제 1,2,3차년도에 측정된 기초생산력 자료와 그간 국내외 여러 연구자들에 의해 측정된 자료를 수집하여 황해의 연간 기초생산력을 계산하였다. 계산된 황해의 연간 평균 기초생산력은 약  $165 \text{ mgC/m}^2/\text{yr}$  이고, 황해의 총면적인  $455,000 \text{ km}^2$  을 이용하여 기초생산력에 의해 생산되는 연간 총 탄소량을 계산하여 보면 약  $0.08 \times 10^9 \text{ ton C/yr}$ 이다. 이 값은 전세계 해양의 총기초생산량 중 약 0.26%를 차지하여 황해는 전세계 해양의 기초생산력중 상당한 기여를 하고있음을 보여준다.

강한 조석작용으로 인하여 높은 입자성 부유물질농도를 보이고 있는 수심이 얇은 연안 혼탁해역은 식물플랑크톤의 성장 및 이로 인한 영양소 흡수는 빛조건에 의해 상당히 지배받고 있다. 그러나 수직혼합이 잘 이루어지는 동계를 제외하고는 대부분의 해역에서 표층가열로 인한 수온약층의 존재가 저층에서 유광대로의 영양염 공급을 제한하기 때문에 영양염이 기초생산력을 조절하는 요인으로 작용한다. 하계 황해 중앙부해역에서 수직확산에 의해 밀도약층을 통하여 저층수로부터 공급되는 질산이온농도는  $0.56 - 1.40 \text{ mmol/m}^2/\text{d}$  (평균 약  $0.98 \text{ mmol/m}^2/\text{d}$ )의 범위로서 식물플랑크톤의 질소요구량 (평균  $8.1 \text{ mmol/m}^2/\text{d}$ )중 약 12.2% 정도를 수직확산에 의해 공급받는다. 대기로부터 빗물에 의한 암모늄이온 + 질산이온의 해표면 침전율을 계산하여 보면 대략  $0.69 \text{ mmol/m}^2/\text{day}$  이다. 이 값들은 하계 황해중앙부해역에서의 식물플랑크톤의 질소요구량중 7.8 %로 빗물에 의한 질소계 영양소 유입도 기여도가 비교적 크다는 것을 볼 수 있다. 저층수로부터의 공급 (12.2%), 빗물에 의한

대기로부터의 유입 (7.8%), 질소고정 및 육상으로부터의 유입 (약 10%)을 제외한 나머지는 생물학적인 재생산 과정에 의한 공급으로 볼 수 있다. 그러므로 생물학적인 생산이 활발한 황해에서의 생물학적인 영양염 재생산과정들에 대한 연구가 차후 필요할 것으로 사료된다.

### 5.2.1. 서론

해양에서 식물플랑크톤은 태양에너지를 이용하여 무기물에서 유기물을 합성한다. 이렇게 식물플랑크톤에 의해 생산된 단백질, 지방, 탄수화물은 2차이상의 생산자인 해저에 서식하는 저서동물들의 먹이로 제공되어 양식과 어업에도 직접적인 연관을 가진다. 이와같이 식물플랑크톤에 의한 기초생산력은 생태계를 유지시키는 가장 근본적인 과정이다. 또한 식물플랑크톤에 의한 광합성과 호흡은 해양이 이산화탄소를 갖는 능력을 변화시킬수 있는 요인으로서 최근 기후변화에 중요한 영향을 주는 탄소의 순환에 있어서 주된 역할을 한다. 세계대양에서의 시간에 따라 변화하는 탄소플럭스에 대한 측정은 JGOFS와 IGBP 같은 프로그램중 가장 중요한 목표이기도 하다. 해양은 해표면을 통하여 대기와 이산화탄소를 교환하고 있는데 해양은 대기보다 약 60배가 더 많은 탄소의 가장 큰 저장고로서 작은 변화도 대기 저장고에 막대한 변화를 일으킬수 있다. 그러므로 식물플랑크톤에 의한 기초생산력에 대한 정보는 해양생태계 및 먹이사슬에 의한 생물자원평가뿐만 아니라 탄소 및 산소와 같은 생지화학적 순환을 이해하기 위해서도 중요하다(Malone, 1977). 해양에서 기초생산력 측정을 위한 방법은 지난 세계대전 이전에는 용존산소량의 변화량을 측정하여 평가하는 D.O method (Gaarder and Grand, 1927)를 사용하여 광합성과

호흡률을 측정하였으나 박테리아에 의한 영향 (Ryther, 1956), 배양기간중 공기방울 형성 및 Winkler 적정방법의 정확도 여부(Strickland, 1960)등 많은 문제점이 도출되어 1952년 Steemann-Nielsen 이 방사성 동위원소( $^{14}\text{C}$ )를 이용한 기초생산력 측정방법을 개발한 이래로 대양과 연안지역에서 이용되어 오고 있다. 우리나라에서는 최, 정(1965)이 한국연안수역의 기초생산 측정을 위해  $^{14}\text{C}$  방법을 최초로 시도하였고, 동남해역에서 심, 박 (1986)의 연구를 시점으로 비교적 활발히 진행되어 오고있다. 본 연구해역인 황해에서는 최 (1987), Chung and Park (1988), Son (1989), Choi (1991), Kang et al.(1991)이 경기만 및 연안해역에서의 기초생산력을 연구하였고, 한국해양연구소 (1991, 1992), Chung 등(1991)이 황해입구인 서남해역과 황해중앙부해역에서의 기초생산력을 연구하였고, Lu and Zhu (1992)와 Shen and Liu (1988)는 중국 산둥반도근해와 황하강 하구에서의 기초생산력을 연구하였다. 본 연구는 황해에서 측정된 기존의 모든 기초생산력 자료를 이용하여 연간 기초생산력 추정과 기초생산력을 결정짓는 요인들에 대해 연구하고자 하였다.

### 5.2.2. 황해의 해양학적 특성

중국대륙과 한반도에 의해 둘러싸여진 황해는 길이가 남북간 약 1,000km, 동서간 약 700km로서 발해를 제외한 면적은 404,000km<sup>2</sup>으로서 평균수심은 44m 이다. 황해의 표층순환은 계절풍계, 쿠로시오 및 복잡한 지형같은 세요소에 의해 크게 좌우하고 (Huh, 1982), 황해난류수, 중국대륙연안수, 중국중앙저층냉수 및 한국연안수등이 영향을 주고 있다. 계절별 표층순환은 봄에 황해난류가 형성되어 발해만으로 북서류하기 시작하고 중국연안 냉수류는 아직 산둥반도 주변과

중국연안에 따라 발생한다. 5월에는 태양열로 인해 수온이 매우 빨리 상승하여 성층이 발달하기 시작하고 황해저층냉수는 남으로 깊은 곳으로 이동한다. 여름철에는 높은 기온의 영향으로 표층의 가열과 많은 강우량에 의한 담수화등으로 성층상태가 최고조에 달해 수심 약 20 m 를 중심으로 강한 수온약층이 형성되고 그 밑에는 저온고염의 심층수가 보존된다. 그러나 가을로 접어들어 북서계절풍의 영향으로 해수의 수온이 점차 냉각되고 고염화되어 수주의 성층현상이 점차 비층중 상태로 된다. 겨울철에는 건냉한 강한 북풍에 의해 심한 대류작용이 일어나고 중국연안 및 한국서안에 따라 남하하는 상당히 혼탁하고 저온저염인 연안류를 발생케 한다 (이, 1992).

황해의 저질은 한국측의 이북과 중국측연안에는 대체로 모래가 분포하고 있으며 중앙부에는 이토 (mud), 한국측의 남서부 연안에는 모래/이토가 분포되어져 있다. 또한 중국대륙과 한반도로 부터 많은 양의 부유퇴적물이 다량으로 유입된다. 양자강을 통하여 황해 및 동지나해에 유입되는 부유물질은  $5 \times 10^8$  ton/yr 이고, 황해를 통해서는  $1.1 \times 10^9$  ton/yr, 한반도의 압록강, 한강 및 금강을 통해서는  $4 \times 10^5$  ton/yr가 매년 황해로 유입되며 이들 대부분은 여름철에 배출된다 (Milliman and Meade, 1983; Bartz, 1972).

### 5.2.3. 황해의 기초생산력

1차년도 보고서에서 밝힌바 있듯이 황해에서의 계절에 따른 생물학적인 개황은 일반적으로 이른 봄(3월)에 년중 가장 바람이 강하게 불며 또한 4월에는 중국대륙으로 부터의 황사현상때문에 일사량의 감소등으로 춘계 식물플랑크톤

대번식이 6월에 황해의 협곡 즉 가장 깊은 곳에서 부터 시작하여 해안쪽으로 진행되는 것으로 보인다. 이때는 일사량의 증가로 수층의 성층이 이루어지나 전년도 겨울에 전 수층이 수직적으로 혼합되었을 때 영양염류가 이용됨으로서 대번식이 일어나는 것으로 판단이 된다. 여름철(8월) 일사에 의하여 성층이 강하게 발달함으로써 영양염류가 풍부한 저층수가 표층혼합층으로의 공급이 중지됨으로서 영양염류 결핍으로 인하여 플랑크톤의 대번식이 중지된다. 가을철에는 일사량의 감소로 인한 표층냉각으로 수온약층이 약해져서 영양염류가 풍부한 저층수가 햇빛이 풍부한 표층으로 공급됨으로서 다시 추계 식물플랑크톤 대번식을 가져오게 된다. 또한 황해는 전체 표면적중 해안에 인접하여 육지의 영향을 크게받는 부분 (the neritic zone)이 1%를 차지하고, 조석에 의해 수직적으로 혼합되어 부유입자의 농도가 10-50mg/l로 매우높은 혼탁해역이 약 10%, 나머지 80%는 투명도가 12m를 상회하는 중앙부해역을 포함하고 있다. 그러므로 식물플랑크톤에 의한 기초생산력은 해역 및 계절에 따라 상당한 차이를 보여 황해는 기초생산력을 연구하는데 이상적인 환경을 갖고있다. 이러한 특징에 따라 본 연구에서는 성층이 시작되는 시기인 봄 (4월-5월), 성층상태가 최고조에 달하는 여름 (7-8월), 비교적 깊은수심에 수온약층이 존재하는 가을 (10-11월)과 표,저층의 혼합이 활발히 일어나는 겨울 (12-2월)로 계절을 나누고, 해역별 구분을 조석의 영향이 저층까지 미칠수 있는 수심 50m 이하를 가진 연안해역, 투명도가 12m를 상회하는 수심 50m 이상의 중앙부해역 및 황해입구에 해당되는 서남해역으로 구분하여 Choi (1988), Kang et al.(1992), Son (1989), Chung and Yang (1991), Chung et al. (1991)과 본과제 1,2,3차년도 (1991, 1992, 1993) 기초생산력 측정자료를 인용하여 황해의 연간 기초생산력을 추정하였다 (Fig. 5.9-13; Table 5.3).

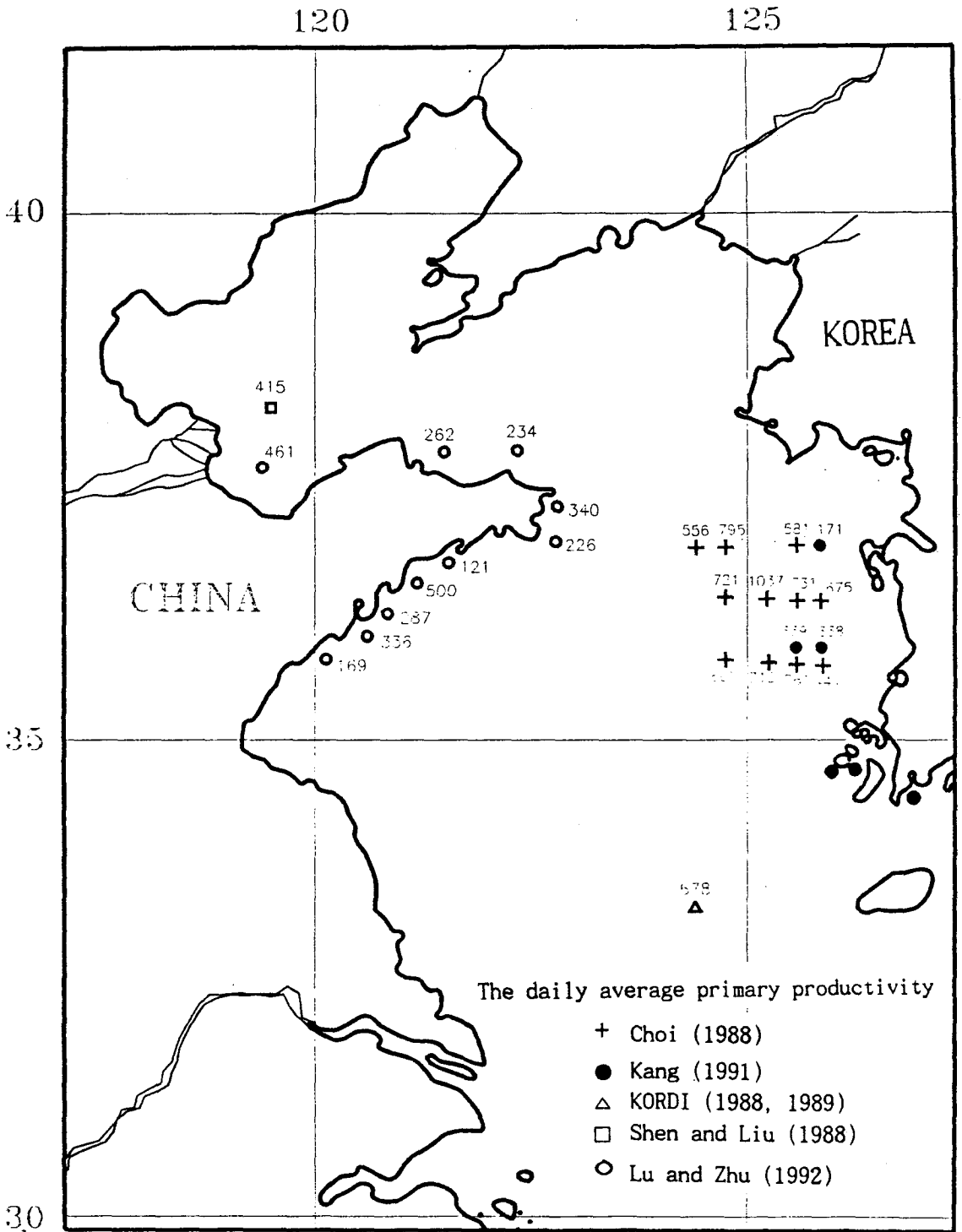


Fig. 5.9. The daily average primary productivity (gC/m<sup>2</sup>/d) in the Yellow Sea.



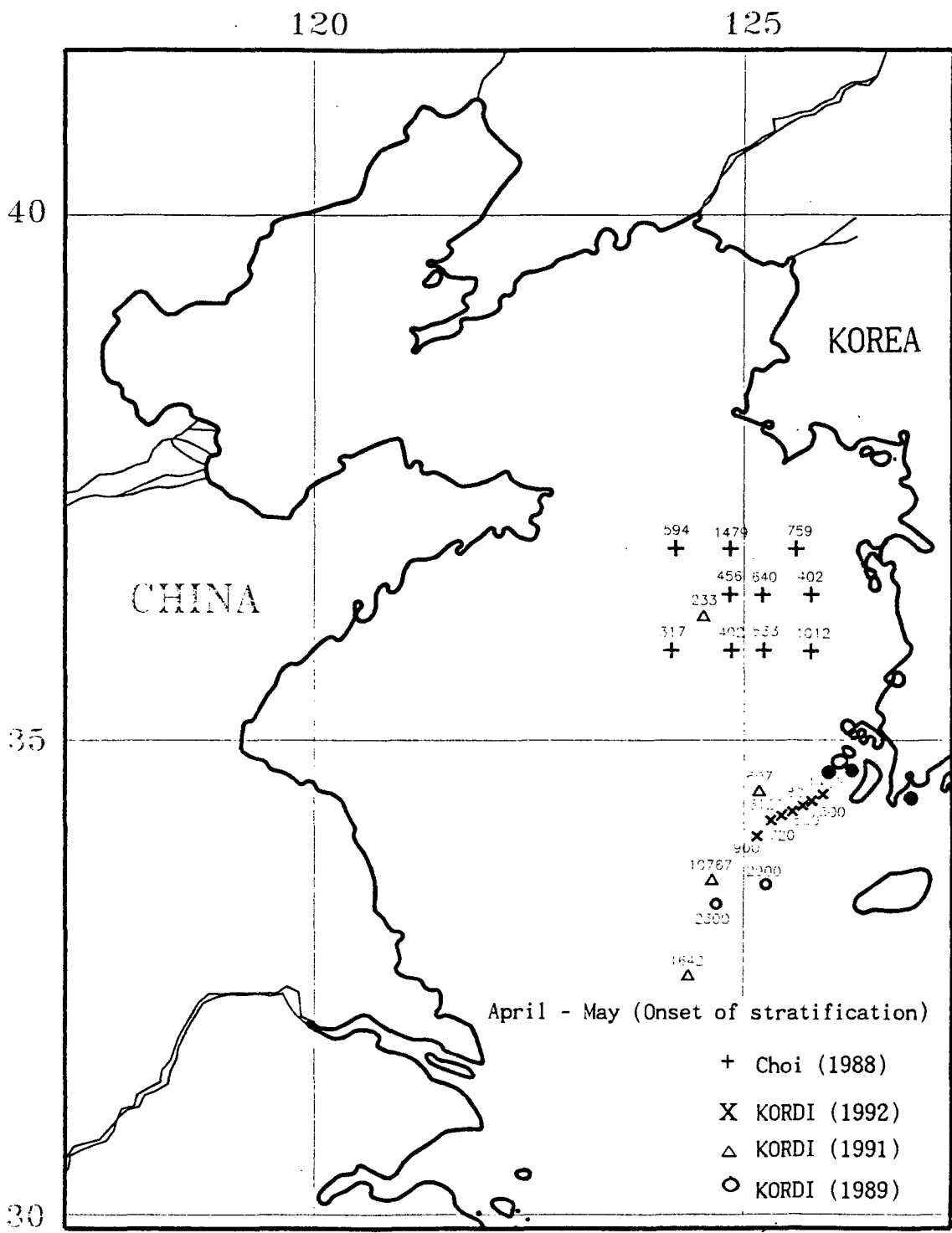


Fig. 5.10. Primary Production ( $gC/m^2/d$ ), April-May (Onset of stratification)

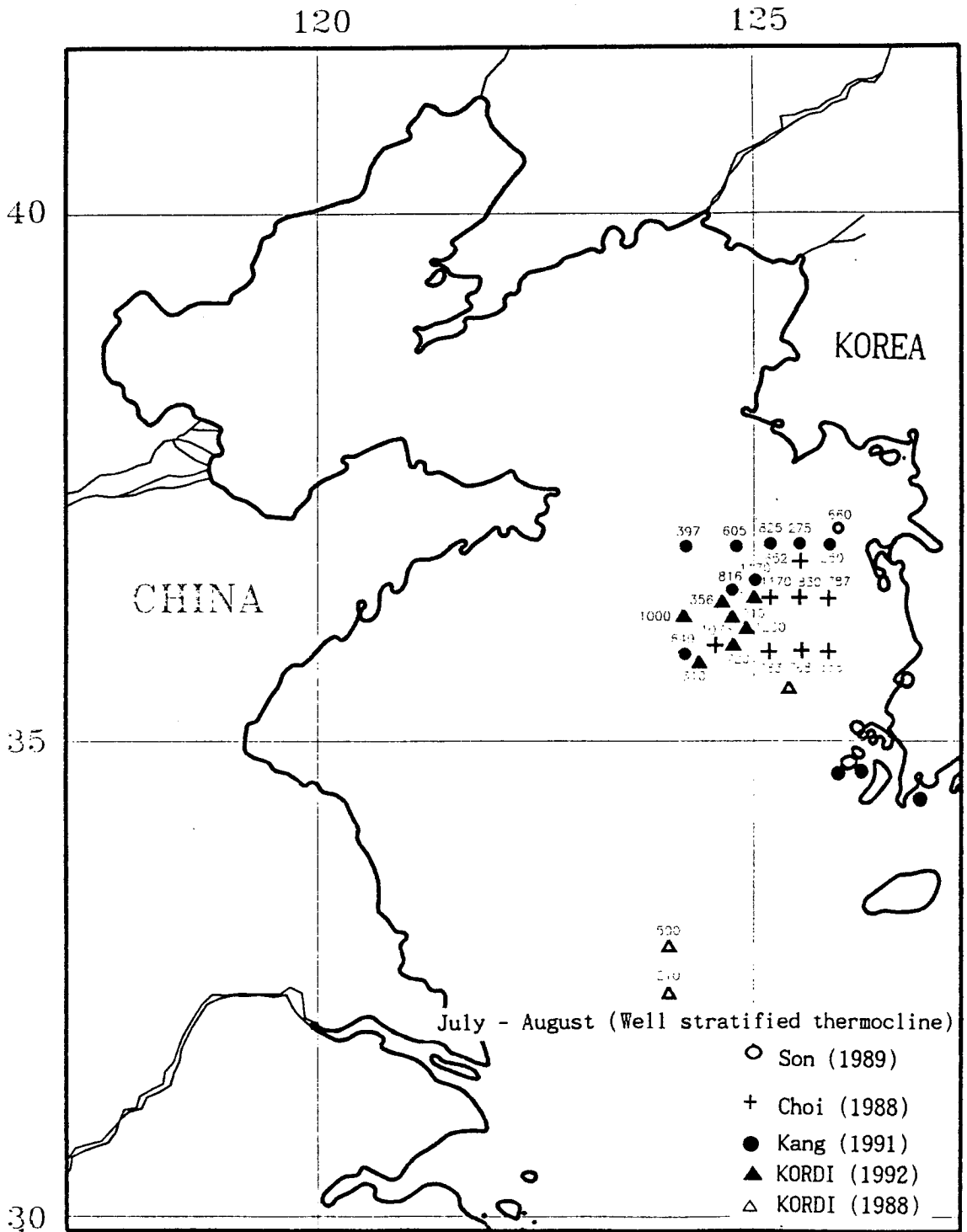


Fig. 5.11. Primary production ( $\text{gC}/\text{m}^2/\text{d}$ ), July-August (Well-stratified thermocline)

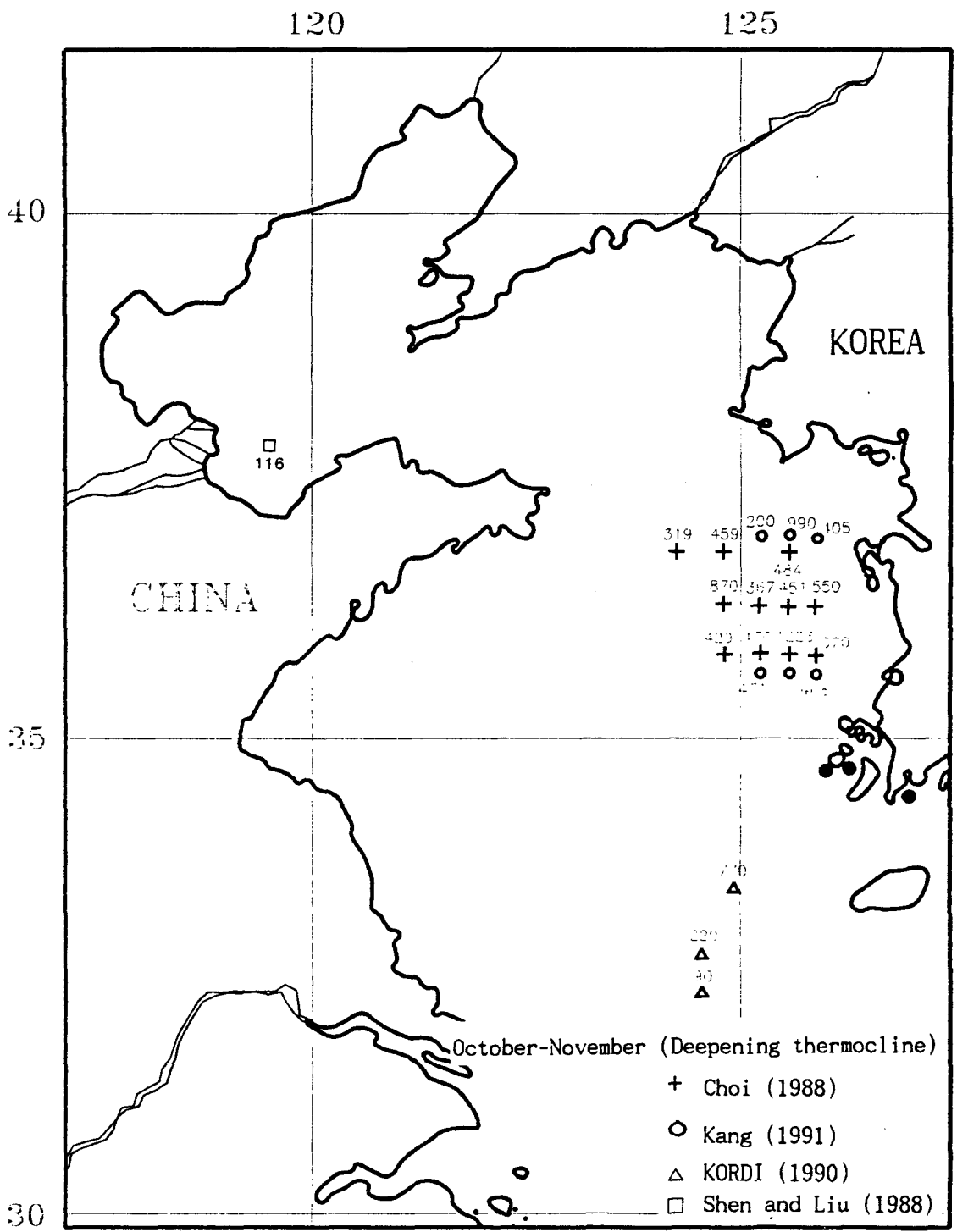


Fig. 5.12. Primary production (gC/m<sup>2</sup>/d), October-November (Deepening thermocline)

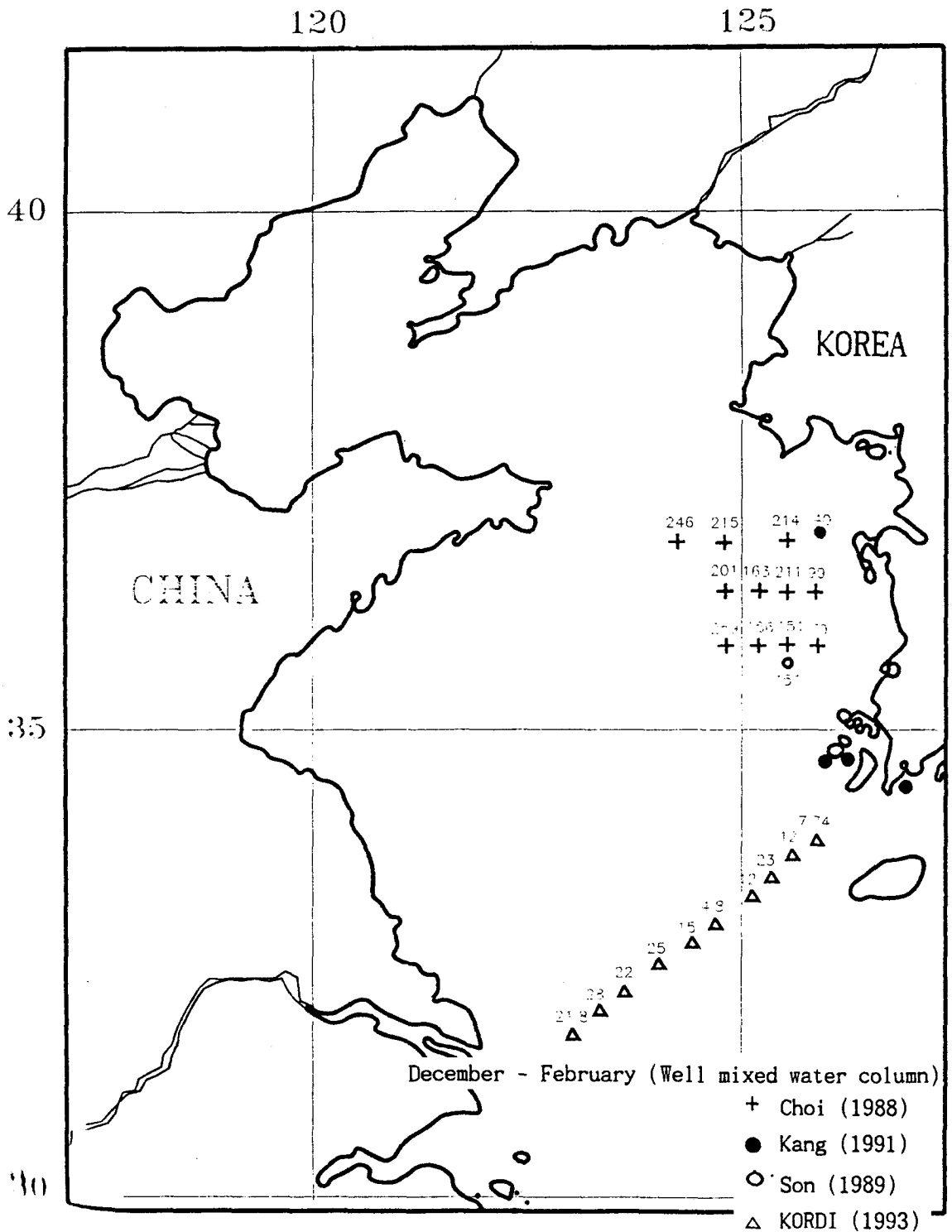


Fig. 5.13. Primary production (gC/m<sup>2</sup>/d), December-February (Well-mixed water column)

계절별 기초생산력은 Table 5.3에서 보는바와 같이 102 - 813 mgC/m<sup>2</sup>/day 의 분포로 계절에 따라 변화하고 있다. 겨울철 표,저층의 활발한 혼합으로 풍부한 영양염 존재와 성층이 시작되어 수주가 비교적 안정되는 봄철에 813 mgC/m<sup>2</sup>/day로 가장높은 기초생산력 값을 보이고 있고 점차 감소하여 표,저층의 혼합으로 수주 상태가 불안정한 겨울에 102 mgC/m<sup>2</sup>/day 로 가장 낮은 기초생산력값을 보이고 있다. 산동반도 주변해역이 중국측 연안해역의 기초생산력을 대변한다고 가정하면 황해전체에 대한 연간 평균 기초생산력은 약 165 gC/m<sup>2</sup>/yr 으로 추정되었다.

Table 5.3. Estimated Seasonal distribution of primary productivities in the Yellow Sea.

대상지역 \ 월별	4 - 5	7 - 8	10 - 11	12 - 2	년간기초생산력
황해 전체	813	693	494	102	165
연안해역(수심<50m)	547	628	537	97	165
중양부해역(수심>50m)	1076	757	451	108	218
중국 산동반도 연안 (Lu and Zhu, 1992; Shen and Liu, 1988)					165
단 위	(mg C/m <sup>2</sup> /day)				(g C/m <sup>2</sup> /day)

황해의 기초생산력은 중앙부해역이 연안해역보다 약 1.3배정도 높았다. 이는 연안해역은 중앙부해역보다 영양염 공급조건에서 유리하여 식물플랑크톤의 광합성 능력은 높을지라도 조석으로 인한 저층퇴적물의 재부유 및 수주의 불안정으로 인해 깊이적분한 기초생산력값이 중앙부해역에서 높게 나타나는 것으로 사료된다. 본과제 1차년도(1991. 4)에 측정하였던 유광대 수심자료를 참고로하면 수심 50m 이하의 연안해역은 유광대 깊이가 6m 정도인데 비해 50m 이상의 수심을 가진 해역에서는 15m 정도로 약 2.5배정도 차이를 보였다. Table 5.4는 본 연구지역인 황해와 비교하기 위하여 각 대양에서의 연간 기초생산력값을 나타내었다.

황해에서 추정된 연간 기초생산력값은 전세계 대양의 평균 기초생산력  $80 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$  (Koblentz-Mishke, 1970)과 동해의  $75\text{-}100 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$  (Nishimura, 1983)보다는 약 2배정도 큰값으로서 비교적 기초생산력이 높은 해역에 속한다.

황해의 면적인  $455,000 \text{ km}^2$  을 이용하여 총 기초생산력을 대략 구해보면 약  $0.075 \times 10^9 \text{ ton C/yr}$  이다. 이 값은 전세계 해양의 총기초생산량 ( $28.9 \times 10^9 \text{ ton C/yr}$ ; Koblentz-Mishke et al., 1970)중 약 0.26%를 차지하는 값 (Table 5.5)으로서 본과제 1,2차년도에 밝힌바 있듯이 황해는 전세계 해양의 탄소고정중 상당한 기여를 하고있음을 보여준다.

또한 식물플랑크톤은 동물플랑크톤에 포식되고, 작은 물고기는 큰 물고기에 포식되는 먹이연쇄의 단계를 3단계로 보고 1단계마다 생물량(탄소량)이 1/10 이 감소한다고 가정하면 황해에서의 어류 잡재 생산량은  $0.075 \times 10^6 \text{ ton C/yr}$ 으로서 황해가 좋은 어장의 형성조건을 갖추고 있음을 보여준다.

Table 5.4. Annual rate of primary productivity in the different region of the world sea.

Marine environment	Mean primary productivity ( gC/m <sup>2</sup> /yr )	Adapted from
Oligotrophic waters from the anticyclonic eddies	28	Koblentz-Mishke(1967) (Pacific Ocean) “
Transitional waters	49	“
Waters off the coasts	105	“
Neritic water	237	“
Upwelled	300	Ryther (1969)
East Sea	75-100	Nishimura (1983)
Kyunggi Bay(Korea)	320	Chung and Park(1988)
Yellow Sea	165	Present study

#### 5.2.4. 황해에서의 기초생산력 조절요인

해양으로 유입되는 유기탄소의 대부분은 식물플랑크톤 생산에 의해서 이다. 일반적으로 해양에서 기초생산력에 큰 영향을 미치는 주요인으로 영양염과 광조건(Ryther, 1963), 식물플랑크톤군집의 종조성 및 생리적인 상태(Lorenzen, 1963), 표층해류(Taniguchi, 1972)등으로 높은 기초생산력을 유지하기 위해서는 적절한 광도의 유지, 충분한 영양염 공급 및 수층의 물리적 안정성이 요구된다.

Table 5.5. Area and annual rate of primary production in all ocean  
(according to Koblentz-Mishke, 1970)

해양 환경	면적 ( $10^6 \text{ km}^2$ , %)		평균 생산력 ( $\text{gC/m}^2/\text{yr}$ )	전 생산량 ( $10^9 \text{ t C/yr}$ , %)	
아열대역	145	40.3	37	5.4	19
중간역	82	22.7	73	6.0	21
열대역및아한대역	85	23.4	104	8.8	30
근해역	38	10.6	124	4.7	16
대륙붕역	11	3.0	365	4.0	14
합 계	361	100.0	80	28.9	100
황 해	0.45	0.1	165	0.075	0.26

황해는 주변에 양쯔강, 황하강 및 한강등 큰강들에서 풍부한 영양염과 많은 양의 부유물질이 다량으로 유입되어 계절에 따라 식물플랑크톤의 기초생산력에 상당한 영향을 준다. 황해에서의 계절별 기초생산력 양상은 주로 온도, 빛 이용도 및 영양염들에 의해 영향을 받는다. 동계에는 낮은수온으로 인해 식물플랑크톤의 대사활동이 떨어지고 조석과 강한 바람으로 인해 표,저층간의 수직적인 혼합이 활발히 일어나 풍부한 영양염의 공급은 있으나 저층 퇴적물의 부유로 인해 탁도가 높아져 물을 투과하는 빛 중 소량만이 광합성에 이용됨으로서 기초생산력을 보인다 (Choi and Shim, 1986; Chung and Yang, 1991; Kang et al., 1992). 또한 물의



수직적인 움직임은 혼합깊이가 운동능력이 없는 식물플랑크톤이 광합성을 할수있는 한계인 보상수심을 초과하기 때문에 식물플랑크톤이 빛을 흡수하는데 있어 제한을 준다 (Grobbelaar and Stegmann, 1976). 1차년도 서남해역 혼탁전선해역에서의 기초생산력은 강한 수직혼합으로 인한 부유물질의 재부유로 탁도가 높아져 유광대 깊이가 3 m 이내로 단지 표층에만 광합성을 위한 충분한 빛을 받을 수 있고, 수층의 물리적인 불안정으로 인한 수직적인 혼합이 식물플랑크톤의 생장에 장애를 주어 0.1 gC/m<sup>2</sup>/d 이하의 낮은 기초생산력을 보였다. 광합성과 빛과의 관계를 보이는 P-I 곡선 (photoynthesis/light curve)에서도 혼탁 전선해역에서의 식물플랑크톤의 광합성 적정광도는 150 uE/m<sup>2</sup>/s 이하로 외해역에서 서식하는 식물플랑크톤 군집보다도 2 - 3 배 낮은 광에 적응하고 있음을 보여주고 있다 (Fig. 5.14). Fig. 5.15 은 표층광의 1% 수심에서의 광소산계수(extinction coefficient)와 유광대 내에서의 평균 영양소 농도 및 클로로필 a 와의 관계이다. 영양소들의 평균농도와 광소산계수와 관계는 수온이 10℃ 이하로 빛의 변수 이외의 수온(10℃ 이하)도 포함된 정점들을 제외한다면 양호한 양의 상관관계( $r < 0.7$ ) 보였다. 영양소의 경우와 같이 엽록소 a 와 광소산계수와 상관관계도 냉수역의 정점들을 제외하면  $r = 0.76$ 의 음의 상관관계를 보여 영양소의 분포와는 반대로 유광대 깊이가 큰 외해역에서 높고 혼탁 전선해역에서는 낮은 분포를 보이고 있다. 위의 사실은 빛투과 조건이 양호한 외해역에서는 식물플랑크톤의 활발한 성장으로 인한 상당량의 영양소 흡수가 이루어 지지만 혼탁 전선해역에서는 이와는 반대현상이 일어나고 있음을 암시한다. 광소산계수와 식물플랑크톤 광합성 적정광도와 관계 또한 양의 상관관계( $r = 0.7$ )를 보여 빛투과 조건이 양호할수록 식물플랑크톤이 높은 광도에 적응한다는 앞에서 언급한 사실을 뒷받침해준다. 1992년 4월 유광대 수심이 30 m 이상으로

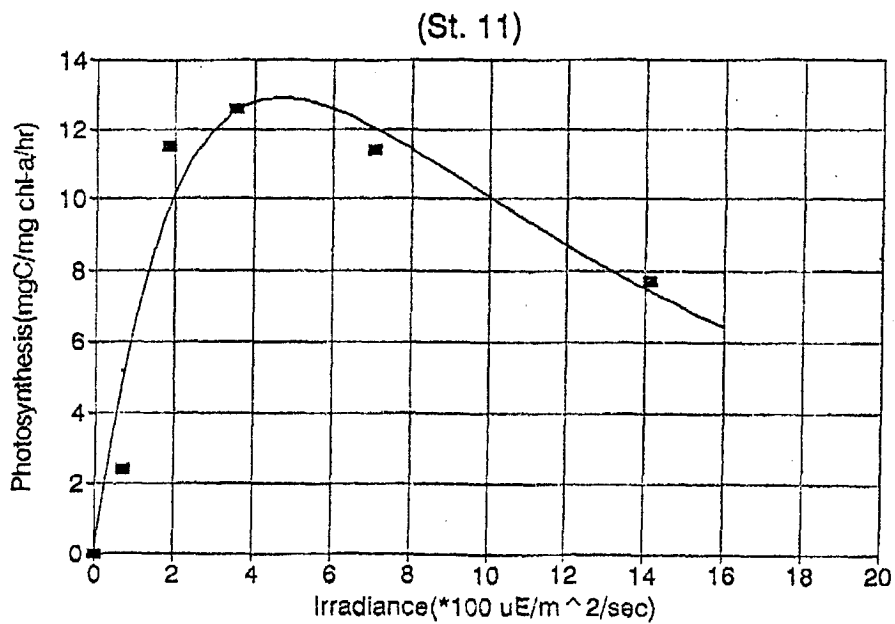
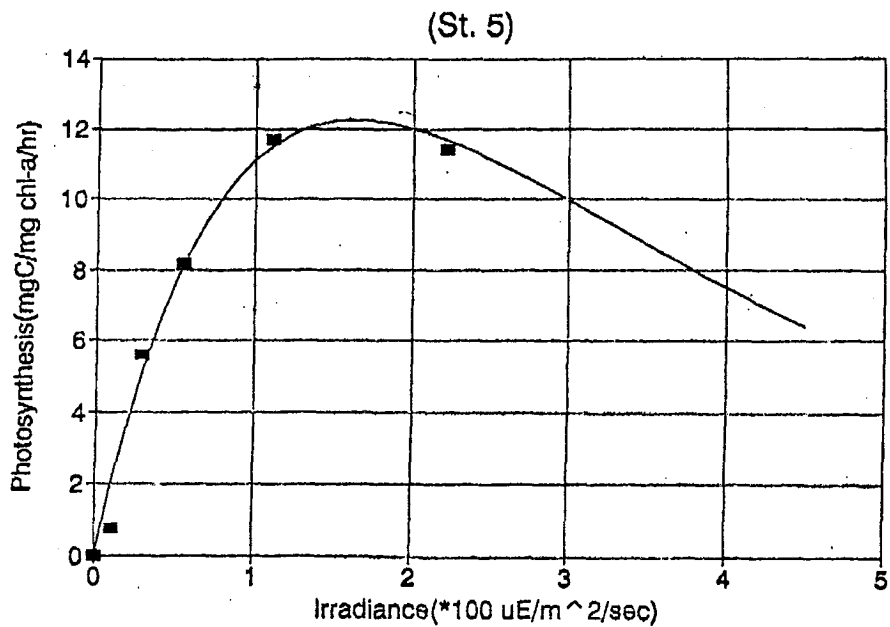


Fig. 5.14. Variations of P/I curve in the mouth of the Yellow Sea (8-18 April 1991)

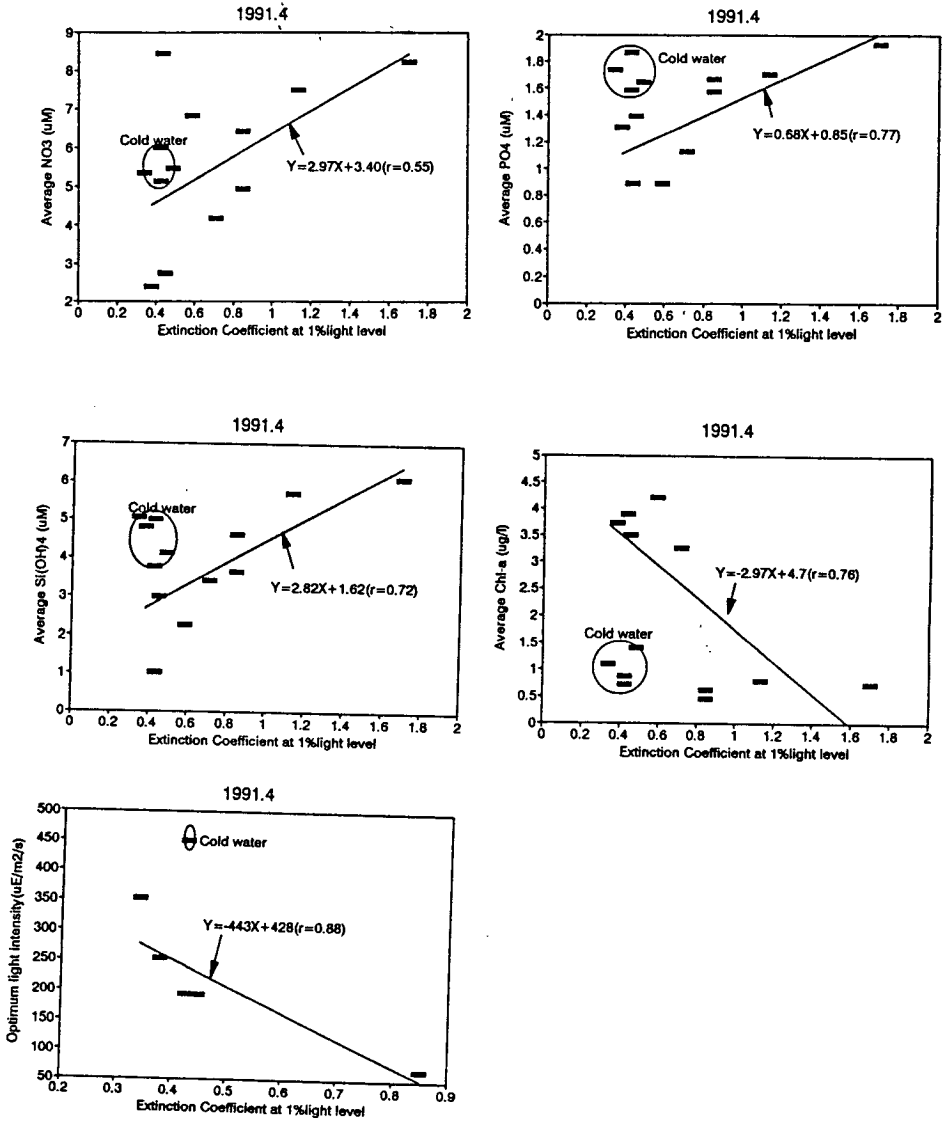


Fig. 5.15. Relationships between the light extinction coefficient at 1% of the surface light level and the average concentrations of the inorganic nutrients, chlorophyll a, optimum light intensity for phytoplankton growth in the entire euphotic zone of which light is larger than 1% of the surface light level in the southeastern part of the Yellow Sea (KF9104). Because the phytoplanktons living in the cold water (<10°C) are appeared to be experiencing low temperature effect as well, they were circled in the figures and excluded for the least square regression analysis.

빛투과 조건이 상당히 양호한 황해 중부해역까지 포함한 영양소 및 엽록소  $a$  와 광소산계수간의 상관관계에서도 광소산계수와 엽록소  $a$ 는  $r = 0.7$ , 광소산계수와 질산이온은  $r = 0.9$ 로서 상당히 좋은 양의 상관관계를 보이고 있어 황해의 연안해역에서의 식물플랑크톤의 성장 및 이에따른 영양소 흡수는 빛의 이용도 의하여 크게 지배를 받고 있음을 알 수 있다 (한국해양연구소, 1992).

그러나 년중 동계를 제외하고는 대부분의 연안 및 중앙부 해역의 표층은 기온의 상승에 따라 수주의 강한 성층으로 인하여 수온약층 하부에서는 풍부한 영양염농도가 관측되지만 표층으로의 확산을 막아 영양염들이 거의 고갈된다. 이러한 표층고갈은 영양염들이 식물플랑크톤의 기초생산력을 제한하는 요인으로 작용할 수 있다는 것을 제시한다.

황해 중앙부 해역에서는 2차년도 보고서에 밝힌바 있듯이 1991년 7월 하계 황해 중앙부해역에서의 수심에 따른 광합성과 빛과의 관계 (PI curve)에서 식물플랑크톤의 적정광도는 대체로 표층과 10m 층에서는 30m 의 식물플랑크톤보다 높은 광도에 적응하고 있는 것을 보이고 있어 수심 20m 를 중심으로 형성되어 있는 밀도약층을 경계로 하여 상하 수괴가 서로 혼합이 잘 이루어 지지 않음을 예측할 수 있다 (Fig. 5.16). 질산이온 농도는 표면 혼합층에서 0.5  $\mu\text{M}$  이하로 고갈되어있고, 질산이온과 엽록소  $a$ 의 수평분포가 유사한 분포양상을 보였다.

질소계 영양소 (암모니움이온+아질산이온+질산이온)과 인산이온과의 관계는 표층에서 평균 6.5 정도로서 질소계 영양소가 식물플랑크톤의 생산력을 제한할 수 있는 주요 요소로 작용할 수 있다.

하계 중앙부해역의 식물플랑크톤에 의한 기초생산력은 평균 0.70  $\text{gC}/\text{m}^2/\text{day}$ 로서 이를 C/N 비율을 약 7로 가정하여 식물플랑크톤에 의한 일일 질소요구량을 계산하여

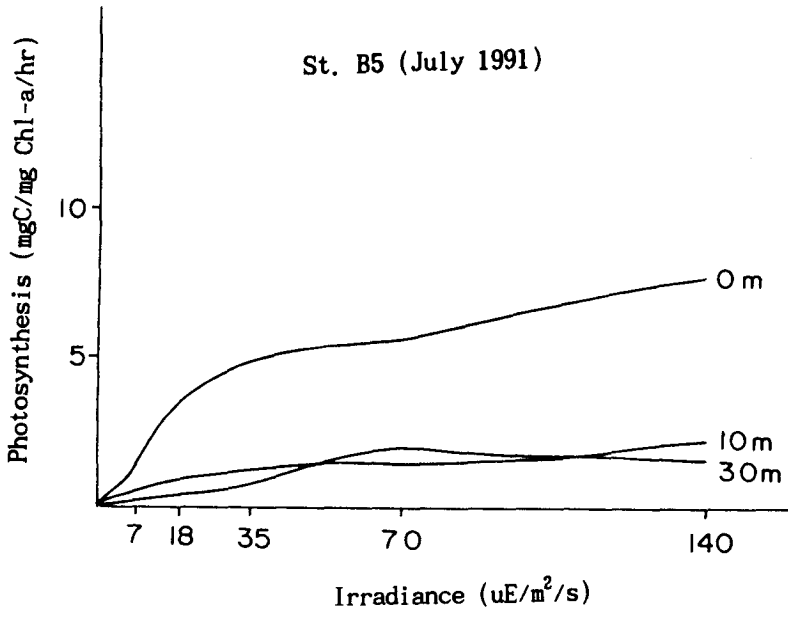


Fig. 5.16. Variations of P/I curve at the station B5 ( 21-26 July 1991).

보면 8.1 mmol/m<sup>2</sup>/day 이다. 현장 측정 질산이온의 농도는 약 9.81 mmol/m<sup>2</sup> 로서 본해역의 질산이온은 식물플랑크톤이 광합성을 하기위한 질소요구량에 부족하다. 질산이온에 대한 turnover time을 계산하여 보면 약 0.9일로서 밀도약층을 통한 수직확산등 여러 공급원으로 부터 질산이온의 공급이 이루어 지지 않을 경우에는 본해역의 질산이온은 하루 이내에 식물플랑크톤 흡수에 의해 고갈되어져 결과적으로 식물플랑크톤의 기초생산력에 상당한 감소를 가져올수 있다. 일반적으로 해양 기초생산력에 요구되는 영양염 공급원으로서는 (1) 저층수의 수직혼합 (2) 대기로부터의 유입 (3) 주변해수로부터의 유입 (4) 생물학적인 영양염 재생산 과정에 의한 공급등이 해양생태계 내에서 기초생산력의 주요 영양염 공급원으로서 인식되고 있다 (Glibert, 1982; Shim and Park, 1986; Chung et al., 1989). 하계 본해역에서 수직확산에 의해 밀도약층을 통하여 저층수로부터 유광대내로 공급되는 질산이온농도를 구하기 위하여 아래와 같은 King and Devol (1991)의 모델을 이용하여 밀도약층에서의 수심변화에 따른 질산이온의 농도 변화량과 수직확산도 (Kz)를 이용하여 질산이온의 수직확산을 계산하였다.

$$Kz \text{ (cm}^2\text{/s)} = 643.0 \times E^{-1.61} \quad (E: \text{The stability of the water column } \partial\sigma_t/\partial z)$$

$$F \text{ (ug at-N/m}^2\text{/h)} = Kz \times (dC/dz)$$

(dC/dz: The slope of nitrate concentration at the pycnocline)

계산된 질산이온의 수직확산 농도는 0.56 - 1.40 mmol/m<sup>2</sup>/d (평균 약 0.98 mmol/m<sup>2</sup>/d)의 범위로서 식물플랑크톤의 질소요구량 (평균 8.1 mmol/m<sup>2</sup>/d)중 약 12.2% 정도를 수직확산에 의해 공급받는다 (Table 5.6). 이 값은 본과제 2차년도에 산소소모량에 의해 생성된 질산이온농도와 저층수의 질산이온 축적율을 뺀 차이를 상층유광대로 공급되는 upward flux로 보고 계산된 0.36 mmol/m<sup>2</sup>/day와 유사한 값을

보였다.

Table 5.6. Primary production and upward diffusion to nitrogen requirement by phytoplankton (NRP) at each station (July, 1991).

Station	PP (gC/m <sup>2</sup> /d)	NRP (mmol/m <sup>2</sup> /d)	Kz (cm <sup>2</sup> /s)	Upward diffusion (mmol/m <sup>2</sup> /d)
B4	0.30	3.6	-	-
B5	0.72	8.6	1.01	0.56 ( 6.5%)
B9	1.19	12.1	0.88	1.34 (11.1%)
B11	1.11	13.2	0.36	0.85 ( 6.4%)
B13	0.35	4.2	0.20	0.78 (18.6%)
B18	0.55	6.6	0.73	1.40 (21.2%)
Average	0.70	8.1	0.64	0.98 (12.2%)

대기로부터 질소계영양소 유입을 계산하기 위하여 1992년 1년동안 한국해양연구소에서 빗물을 채집하였다. 하계 7-8월의 평균 일일 강우량인 6.5 mm/day, 암모늄이온과 질산이온의 농도는 평균 81.38  $\mu\text{M}$ , 24.6  $\mu\text{M}$ 을 이용하여 wet deposition에 의한 암모늄이온 + 질산이온의 해표면 침전율을 계산하여 보면 대략 0.69 mmol/m<sup>2</sup>/day 이다. 이 값들은 하계 황해중앙부해역에서의 식물플랑크톤의 질소요구량중 7.8 %로 빗물에 의한 질소계 영양소 유입의 기여도가 상당히 크다는

것을 볼 수 있다. Nixon and Pilson (1983)과 Carpenter (1983)등이 수심이 얇은 기수역조차도 육상으로부터 영양염 유입이 10% 이내이고, 해수내의 질소고정작용등도 식물플랑크톤의 질소요구량중 단지 1% 이내 (Carpenter, 1983)라는 것을 감안해 보더라도 식물플랑크톤의 질소요구량에는 상당히 부족하다. 최근 동물플랑크톤 및 미세플랑크톤에 의한 영양염 재생산과정들이 해양 생태계내에서 기초생산력의 주요 공급원이고 (Glibert, 1982; Park, 1986; Shim and Park, 1986; Chung et al., 1989), 특히 소형 동물플랑크톤에 의한 질소계 영양염 재순환율은 큰 동물플랑크톤 (>350um)보다도 3배 이상크다 (Glibert, 1982; Park et al., 1986)는 것을 참조하면 하계 중앙부해역에서 저층수로부터의 공급 (12.2%), 빗물에 의한 대기로부터의 유입 (7.8%), 질소고정 및 육상으로부터의 유입 (약 10%)을 제외한 나머지는 생물학적인 재생산 과정에 의한 공급으로 볼 수 있다. 그러므로 생물학적인 생산이 활발한 황해에서의 생물학적인 영양염 재생산과정들에 대한 연구가 차후 필요할 것으로 사료된다.

### 5.2.5. 결 론

1. 황해의 연간 평균 기초생산력은 약  $165 \text{ mgC/m}^2/\text{yr}$  이고, 황해의 면적인  $455,000 \text{ km}^2$  을 이용하여 기초생산력에 의해 생산되는 연간 총 탄소량을 계산하여 보면 약  $0.08 \times 10^9 \text{ ton C/yr}$ 이다. 이 값은 전세계 해양의 총기초생산량 중 약 0.26%를 차지하여 황해는 전세계 해양의 기초생산력중 상당한 기여를 하고있음을 보여준다.

2. 강한 조석작용으로 인하여 높은 입자성 부유물질농도를 보이고 있는 수심이



얕은 연안 혼탁해역은 식물플랑크톤의 성장 및 이로 인한 영양소 흡수는 빛조건에 의해 상당히 지배받고 있다.

3. 수온약층의 존재가 저층에서 표층으로의 영양염 공급을 제한하기 때문에 황해중앙부해역에서는 동계를 제외하고는 영양염이 기초생산력을 조절하는 요인으로 작용한다.

4. 질소계 영양소 (암모늄이온+아질산이온+질산이온)과 인산이온과의 관계는 표층에서 평균 6.5 정도로서 질소계 영양소가 식물플랑크톤의 생산력을 제한할 수 있는 주요 요소로 작용할 수 있다.

5. 하계 본해역에서 수직확산에 의해 밀도약층을 통하여 저층수로부터 공급되는 질산이온농도는 0.56 - 1.40 mmol/m<sup>2</sup>/d (평균 약 0.98 mmol/m<sup>2</sup>/d)의 범위로서 식물플랑크톤의 질소요구량 (평균 8.1 mmol/m<sup>2</sup>/d)중 약 12.2% 정도를 수직확산에 의해 공급받는다.

6. 대기로부터 빗물에 의한 암모늄이온 + 질산이온의 해표면 침전율을 계산하여 보면 대략 0.69 mmol/m<sup>2</sup>/day 이다. 이 값들은 하계 황해중앙부해역에서의 식물플랑크톤의 질소요구량중 7.8%로 빗물에 의한 질소계 영양소 유입의 기여도가 상당히 크다는 것을 볼 수 있다. 저층수로부터의 공급 (12.2%), 빗물에 의한 대기로부터의 유입 (7.8%), 질소고정 및 육상으로부터의 유입 (약 10%)을 제외한 나머지는 생물학적인 재생산 과정에 의한 공급으로 볼 수 있다. 그러므로 생물학적인 생산이 활발한 황해에서의 생물학적인 영양염 재생산과정들에 대한 연구가 차후 필요할 것으로 사료된다.

### 5.3. 황해 식물 주요 무기영양소의 수지

#### 5.3.1. 황해 무기영양소의 계절변동성

무기영양소류 함량의 계절변동 분포상황을 파악하는 작업은 계절변동성이 큰 온대 몬순기후대에 속하여 있는 황해해역의 생지화학적특성의 자연적 변동성을 이해하여 자연 및 인위적인 환경교란의 정도와 범위를 이해 하는데 필수적이다. 용존무기영양소는 식물이 광합성을 통하여 이산화탄소를 고정할때 함께 입자상태로 변환되게 된다. 따라서 우리가 현장에서 관측하게 되는 용존무기영양소 농도는 실제 식물플랑크톤이 흡수하고 남아있는 양이다. 즉 표층 유광대 에서는 식물플랑크톤의 광합성에 의한 영양소류 흡수율과 유광대로의 영양소류 공급율에 의하여 남아있는 영양소류 함량이 결정된다. 물론 에스췌어의 영향권에서 멀리 떨어져 있는 해역에서도 계절적인 용존영양소류 분포특성은 익년겨울의 수온강하, 폭풍의 강도와 주기등의 변동에 의하여 상당한 진폭의 경년 변동성을 보이는 것이 일반적인 사실이나 대체로 해역의 고유특성을 유지한다. 황해의 영양소 계절순환은 거의 알려져 있지 않다.

본 연구에서는 황해 중부해역의 정점 B11을 중심으로 91년 7월(하계 성충발달기), 91년 11월(성충말기), 92년 4월(성충초기, 춘계 식물플랑크톤 대번식기), 93년 2월(동계 전수층 수직 혼합기)의 자료를 대상으로 영양소의 연순환에 대한 가설을 수립하고자 한다. YS9302조사시에는 B11정점에 이르지 못 하였으나 수심과 해황이 비슷한 B24정점의 자료로 대치 하였다 (Fig. 5.17). 황해 중부해역의 물리특성의 계절변화는 수진원의 정선관측 자료에 근거하면 다음과 같다. 일반적으로 12월에서 3월에 걸쳐서는 성층이 완전히 파괴되어 전수층이 잘 혼합된 상태이며 4월 부터는 일사량의 증가와 담수유입량의 증가에 의하여 성층이

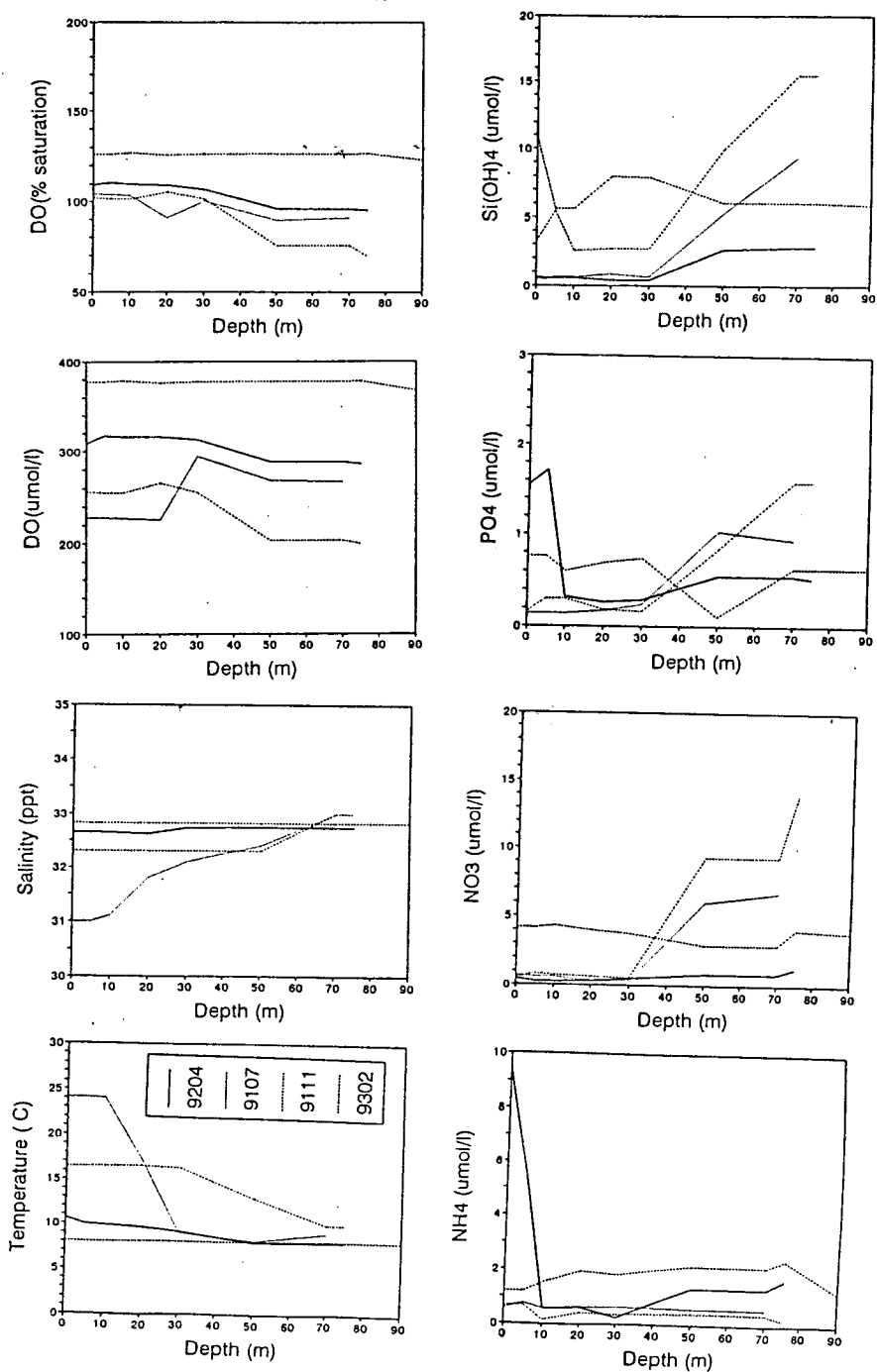


Fig 5.17. Time series distribution of temperature, salinity, DO, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, Si(OH)<sub>4</sub> in station B11 of the central Yellow Sea

발달하고 표층 혼합층의 두께는 8월에 가장 얇아진다. 그리고 11월 말경에 성층이 파괴되어 추계 대역전(fall turnover) 현상을 보여준다.

4월(YS9204) 의 경우 성층의 발달 초기로서 식물플랑크톤의 춘계 대번식기였다. 7월(CYS9107)에는 표층 0 - 10m 는 물리특성이 수직적으로 완전히 균일한 표층혼합층이고 10 - 30m 수심역은 수온약층, 그리고 그 아래가 저층 혼합층이다. 11월(CYS9111)에는 표층 혼합층의 두께가 증가하여 0 - 30m가 표층혼합층이고 그이하 수심에서는 수심의 증가에 따라 수온이 감소한다. 2월(YS9302) 에는 전 수층의 물리특성이 수직적으로 균일하여 전 수층이 수직적으로 잘 혼합되어 있다. 저층에서의 용존산소 함량은 동계(2월)이 가장 높고 춘계, 하계, 추계 성층말기의 순으로 감소한다. 영양소류는 동물플랑크톤의 배출물이 주요근원인 암모니아와 일부 인산이온을 제외하면, 동계를 제외하고는 수심 0 - 30 m 층(유광대)에서는 완전히 고갈되어 있으며 그이하 수층에서는 수심의 증가에 따라 영양소 함량도 증가한다. 이는 황해 중부해역에서 식물플랑크톤의 광합성이 표층혼합층의 두께보다는 유광대의 깊이에 주로 의존함을 보여준다. 이 자료를 이용하여 성층발달 초기부터 성층파괴 직전까지의 영양소 거동을 살펴보기 위하여 수심 30m 이하에서 수심 75 m 까지의 용존산소, 영양소의 함량을 깊이적분한 결과는 Table 5.7과 같다.

시간에 따른 유광층 하부 저층의 용존산소, 질산이온, 인산이온, 규산의 현존량 변화율은 Table 5.8과 같다.

즉 용존산소는 4월부터 11월까지 성층이 발달해 있는 기간에는 매 1개월이 경과하면 유광대 하부층에서는  $513 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2}$  가 감소하고, 질산이온은  $48.79 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2}$  가 증가, 인산이온은  $2.50 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2}$  가 증가, 규산은  $49.51 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2}$  가 증가한다.

Table 5.7 Depth integrated dissolved oxygen and inorganic nutrients bellow euphotic zone during the thermally stratified period in the central part of the Yellow Sea. (unit :  $10^{-3}$  mol  $m^{-2}$  )

Month	DO	N03	P04	Si(OH)4
4	13140	33.65	21.88	97.73
7	12295	208.45	37.20	240.45
11	9605	377.78	40.02	443.78

Table 5.8 Time variation of standing crop of dissolved oxygen and inorganic nutrients bellow euphotic zone during the thermally stratified period in the central part of the Yellow Sea.

{ DO = 15449 - 514 x (month) } x $10^{-3}$ mol $m^{-2}$ ,	r= 0.978
{ N03 = -151.18 + 48.79 x(month) } x $10^{-3}$ mol $m^{-2}$ ,	r= 0.996
{ P04 = 14.64 + 2.50 x (month) } x $10^{-3}$ mol $m^{-2}$ ,	r= 0.895
{Si(OH)4=-102.43 + 49.51 x (month) } x $10^{-3}$ mol $m^{-2}$ ,	r= 0.999

식물플랑크톤에 의하여 형성된 유기물 입자가 Redfield ratio  $(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}(PO_4)$  를 가진다고 가정하면 N03 16 mole 이 생성되기 위하여서는 138 mole의  $O_2$ 가 소모된다. 따라서  $514 \times 10^{-3}$  mol  $m^{-2}$  month<sup>-1</sup> 의  $O_2$  소비는  $59.6 \times 10^{-3}$  mol  $m^{-2}$  month<sup>-1</sup> 의 N03 를 생성시킨다. 그러나 저층수에 N03가 축적되는

율이  $48.79 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ . 이므로 그차이  $10.8 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2} \text{ month}^{-1}$  만큼 상층 유광대로 공급되는 upward flux 이다. 유광층과 그이하 수심역에서의 밀도 경사에 의한 난류확산계수(eddy diffusion coefficient) 를 구하고 유광층과 그이하 수심역 간의 질산이온 함량의 수심에 따른 변화율에 근거하여 upward flux를 추정된 것과 잘 일치한다. 이는 황해 중앙부 해역의 입자성 유기물이 Redfield 분자로 근사 될 수있음을 의미한다. 마찬가지로 P04의 upward flux는  $1.2 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2} \text{ month}^{-1}$  이다. Si(OH)<sub>4</sub>는 평균적으로 diatom류의 C/Si 비가  $8.48 \pm 4.11$ 이므로 평균값 8을 취하면 용존산소 소모율에 근거하면  $49.35 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2} \text{ month}^{-1}$  가 저층에 저장 되어야 한다. 이는 Si(OH)<sub>4</sub>가 실제 저장되는 율과 일치한다. 따라서 Si(OH)<sub>4</sub>의 upward flux는 거의 없는 것으로 평가 되지만 해양생물기원 입자중 해저로 침강하는 입자의 C/Si 비는 평균 80/50이므로 이값을 사용하면 약  $200 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 의 upward flux가 존재하게 된다. 따라서 Si(OH)<sub>4</sub>를 이용하는 황해해역의 플랑크톤종의 C/Si비가 측정 될때까지는 이러한 접근은 유보 되어야 한다.

시간과 유광대 하부 저층영양소 현존량과의 높은 상관관계( $r > 0.9$ )는 4월 성층이 발달한 이후 유광대(0-30m)에서의 광합성을 또한 시간에 무관하게 매우 일정하게 유지되고 있음을 의미한다. 즉 4월에서 11월까지 성층발달 동안에는 유광대 내의 신영양소(new nutrient)가 일정한 양이 공급된다는 것을 의미한다. 성층발달동안의 유광대로의 신영양소는 대기로 부터 공급되는 것과 유광대 하층부로 부터 공급된다. 신영양소에 의한 신생산은 대략 14%내외이다. 이는 다른 대륙붕 해역에서 관측된 f 값과 비슷하다(Eppley, 1989).

YS9302 조사기간에 관측한 동계의 영양염농도 분포는 매우 중요하다. 실제 겨울에 현장을 조사하기에는 기후관계로 용이하지 않음으로 자료가 매우 희귀하다. 그러나 무기 영양소의 동계해황(winter forcing)이 표층해양의

계절변동의 초기조건 즉 춘계식물 플랑크톤 대번식을 결정하게 되므로 매우 중요하다.

동계의 영양염류 분포는 물리특성분포와 마찬가지로 수직적으로 균일하다. 중앙부해역(B24 정점해역)에서의 동계영양염류 현존량은 춘계(4월) 식물플랑크톤 대번식에 이용되어서 4월에는 전 물기둥에서 용존영양소의 현존량이 매우 적다. 동계 질소계 영양염류 현존량전부가 전부 춘계 식물플랑크톤 대번식에 사용된다면 기초생산력은 식물플랑크톤의 C/N비가 6.6 이라 가정한다면 약  $2.99 \text{ mole m}^{-2} \text{ spring}^{-1}$  이다. 실제 중앙부 해역에서 관측한 기초 생산력이  $2.69 \text{ mol C spring}^{-1}$  ( $1.076 \text{ g C m}^{-2} \text{ day}^{-1} \times 30 \text{ days for April}$ ) 이므로 서로 잘 일치한다. 즉 용존무기영양소류와 기초생산력 측정 결과가 상호 잘 일치한다.

### 5.3.2. 황해 영양염류의 공급원

황해로 유입되는 영양염류의 공급원은 인근 육지로 부터 하천수에 의한 유입, 대기로부터의 유입, 해저퇴적물로 부터의 재생, 수중에서의 재생과 외해로부터의 유입을 들 수가 있다. 각각의 유입원에 대하여 현재까지의 가능한 자료를 총 망라하였다.

#### 5.3.2.1 인근육지로 부터 하천수에 의한 유입

황해는 그입구가 동지나해로 연결되어 있으나 그외 3면은 육지로 둘러싸여있다. 서쪽에는 중국대륙이 동쪽으로는 한반도가 위치하고 있다. 중국하천의 화학조성과 풍화과정은 Hu et al.(1982)에 의하여 조사 되었다. 황하강은 건조한 산악지대를 흐르는 하천으로 하천수에는 용존염(dissolved salts)이 매우

높아서( $0.46\text{g l}^{-1}$ ) 양자강의 2배에 달한다. 하천수에는 염소이온( $\text{Cl}^-$ ) 과 황산이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 농도의 합이 총 음이온의 40%가 넘으며 이는 인근 증발암(evaporite)으로 부터 유래된 것이다. 또한 중류의 Great Bend 부근에서는 건조기후 때문에 탄산염이 증발 침전된다.

양자강은 유년기 Orogenic belt 를 흐르는 하천으로 수량이 풍부하다. 상류에서는 전형적인 탄산염 하천으로서 알칼리니티가 음이온수지의 절반이상을 차지한다. 중류에서는 증발암 풍화현상이 뚜렷하다. 과거 Szechwan 과 Yuan 지방에서는 암염과 석고등이 상업적으로 채광되었다. 수계(drainage basin)의 주된 암석 구성은 퇴적암이다.

본 연구지역의 하천에 관한 조사결과 특히 중국과 북한 지역의 하천 수질은 잘 알려져 있지 않다. 현재까지 구하여진 자료를 정리하면 Table 5.9와 같다. 따라서 황하강 하구주변으로 유입하는 Liao, Luan, Hai 강의 하천수 조성을 황하조성과 같은 것으로 가정 하였다. 또한 압록강도 황하조성과 같은 것으로 경제발달의 정도, 기후의 유사성, 하구부근의 농업활동등의 유사성으로 간주하였다.

양자강은 주로 남향으로 동중국해로 흘러 내리고 (물론 계절에 따라서 유량이 변하나) 또한 양자강 퇴적물이 일련의 델타를 형성하면서 그 하구가 남동방향으로 1000년에 40km 속도로 이동 되므로(Chen, 1983) 양자강이 황해전반에 미치는 영향은 크지않다. 담수는 양자강을 제외하면 매년  $118\text{ km}^3$  가 황해로 유입한다. 이중 중국하천이 공급하는 담수량이  $63\text{ km}^3$  이고 한국하천이 공급하는 담수량이  $56\text{ km}^3$  이다. 따라서 황해중부에서의 담수량 공급은 중국과 한국이 거의 대등하게 기여하고 있다고 볼 수있다. 양자강의 기여를 포함하면 연간  $1018\text{ km}^3$  이다. 양자강은 전세계 하천중 3번째로 유량이 큰 하천이다.

퇴적물은 양자강을 제외하면 연간  $1075.8 \times 10^6\text{ ton}$ 이 황해로 유입된다. 이중 황하강은  $1048 \times 10^9\text{ ton}$  을 공급하므로 황하강이 주 공급원이다. 대부분의



Table 5.9. Annual river discharge of water, sediments and nutrients to the Yellow Sea.

River	Water (km <sup>3</sup> )	Sediment (10 <sup>6</sup> ton)	Nutrients (10 <sup>9</sup> mol)		Sources
Hwanghe	49	1048			1
			NH <sub>4</sub>	0.035	10
			NO <sub>3</sub>	6.789	10
			PO <sub>4</sub>	0.017	10
Liao, Luan, Hai	13	7	Si(OH) <sub>4</sub>	5.7	12
			NH <sub>4</sub>	0.009	9
			NO <sub>3</sub>	1.801	9
			PO <sub>4</sub>	0.005	9
Aprack	28	4.8	Si(OH) <sub>4</sub>	1.5	9
			NH <sub>4</sub>	0.020	9
			NO <sub>3</sub>	3.879	9
			PO <sub>4</sub>	0.010	9
Han	19	10	Si(OH) <sub>4</sub>	3.3	9
			NH <sub>4</sub>	1.4	3
			NO <sub>3</sub>	1.1	3
			PO <sub>4</sub>	0.2	3
Kum	7	6	Si(OH) <sub>4</sub>	0.3	3
			NH <sub>4</sub>	0.07	5
			NO <sub>3</sub>	0.03	5
					6
Yeongsan	1.6		NH <sub>4</sub>	0.016	13
			NO <sub>3</sub>	0.006	13
Changjiang	900	478			1
			NH <sub>4</sub>	6.0	8
			NO <sub>3</sub>	60.0	8
			PO <sub>4</sub>	1.3	8
			Si(OH) <sub>4</sub>	120.0	8
* Entire Chinese Coast			NH <sub>4</sub>	7.1	4
Total annual riverine input (without Changjiang)					
	117.6	1075.8	NH <sub>4</sub>	1.55	
			NO <sub>3</sub>	13.61	
			PO <sub>4</sub>	0.23	
			Si(OH) <sub>4</sub>	10.80	
Total annual riverine input (with Changjiang)					
	1017.6	1553.8	NH <sub>4</sub>	7.55	
			NO <sub>3</sub>	73.61	
			PO <sub>4</sub>	1.53	
			Si(OH) <sub>4</sub>	130.80	

Sources: 1. Milliman and Meade (1983); 2 Chough and Kim (1981); 3. Hong (1988).

4.Chen (1991), 5.Ki and Kim (1987), 6. Korea Ministry of Construction

7.Wang and Aubrey (1987), 8. Estimated using values at zero salinity from Edmond et al. (1985)

9.Riverine nutrient concentrations of Liao, Luan, Hai and Aprack is assumed to be equal to those of the Hwanghe.

10.Meybeck.(1982), 11.Park and Khim.(1990), 12. Gu (1991).

13. Riverine nutrient concentrations of the Yeonsan is assumed to be equal to those of the Kum which drains the same agricultural basin.

조립입자는 주로 황하강 입구인 발해만에 퇴적되고 일부 세립질입자가 황해로 운반이 된다. 양자강의 기여까지 합하면 연간  $1553 \times 10^6 \text{ ton}$  이다. 황하강은 세계에서 가장많은 퇴적물을 운반하는 하천이다.

식물주요 영양소인 암모니아, 질산이온, 인산이온, 규산의 연간 하천에 의한 유입량은 다음과 같다.

암모니아( $\text{NH}_4^+$ ) : 하천에 의한 유입량은 양자강 기여를 제외하면 연간  $1.55 \times 10^9 \text{ mol}$  이고 양자강 기여를 합하면  $7.55 \times 10^9 \text{ mol}$  이다. 이중 한국하천 기여는  $1.49 \times 10^9 \text{ mol}$  이다. 따라서 양자강 기여를 제외하면 암모니아는 주로 한국하천에 의하여 공급된다.

질산이온( $\text{NO}_3^-$ ) : 하천에 의한 유입량은 양자강 기여를 제외하면  $13.61 \times 10^9 \text{ mol}$  이고 양자강 기여를 합하면  $73.61 \times 10^9 \text{ mol}$  이다. 이중 중국측의 기여는  $12.47 \times 10^9 \text{ mol}$  로서 황해 중부에서 질산이온은 주로 중국하천에 의하여 공급된다.

인산이온( $\text{PO}_4^{3-}$ ) : 하천에 의한 유입량은 양자강 기여를 제외하면  $0.23 \times 10^9 \text{ mol}$  이고 이중 한국측 기여는  $0.2 \times 10^9 \text{ mol}$  로서 주로 한국하천에 의하여 인산이온이 황해로 공급된다. 양자강 기여를 합하면 연간  $1.53 \times 10^9 \text{ mol}$  이 황해, 동중국해로 유입된다.

규산( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) : 하천에 의한 유입량은 양자강 기여를 제외하면  $10.8 \times 10^9 \text{ mol}$  이고 이중 중국하천의 기여가  $10.5 \times 10^9 \text{ mol}$  이므로 주로 중국하천에 의하여 공급이 된다. 양자강 기여를 합하면 연간  $130.8 \times 10^9 \text{ mol}$  이 황해와 동중국해로 유입된다.

일반적으로 하천수가 도시하수등으로 오염이 되면 총용존질소량중 암모니아가 차지하는 비중이 25%를 능가한다.  $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$  의 함량비는 황하나 양자강에서는 0.005 - 0.10으로 낮으나 한국의 하천은 1.3 - 2.3 으로  $\text{NH}_4^+$  함량이  $\text{NO}_3^-$  함량에

비하여 훨씬 높다. 또한 일반적으로 농업지역을 집수역으로 가지는 하천에서는 비료등의 사용으로  $\text{NO}_3^-$  함량이 높다. 따라서 한국하천은 주로 도시하수에 의하여 오염된 것으로 판단되고 중국하천의 수질은 주로 농업과 인구밀집에 의하여 상당히 변화된 것으로 여겨진다(Meybeck, 1982) 일반적으로 선진국에서 인구 1인당 배출하는 질소량을 최소 3kg 이므로(Billen et al., 1981) 이를 사용하여 2억 정도의 인구가 해안 인접지역에 밀집되어 있다고 가정하면 (실제 해안지역 거주 인구는 총 중국인구의 44%) 인구로부터 해양으로 유입되는 질소량은 매년  $214 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  이다.

#### 양자강수의 황해유입 가능성

양자강의 막대한 유량( $30 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )과 높은 영양염류농도 때문에 황해가 양자강수에 의하여 어느정도 영향을 받는지를 평가할 필요가 있다. 아래는 Beardley et al.(1985)에 의한 양자강 하구에서의 하천수의 흐름에 관한 논문중 관련 본문을 발췌한 것이다.

과거 중국에서는 다음과 같은 학설이 알려져 왔다. 양자강 하천수는 해양에 유입한후 제트형태 플룸(jet-like plume)으로 북동방향으로 흐르고 그 제트의 세기와 규모는 담수유량에 따라서 변한다. 그리고 겨울에는 양자강수의 유량이 감소하고 이는 해안을 따라서 좁은띠 모양으로 남쪽으로 흐른다. 그러나 최근의 현장조사에서는 여름과 겨울 모두 담수가 하구를 떠난 초기에는 해안을 따라서 남향한다. 그러나 여름에는 매우 변화가 심한 얇은 저염수가 동중국해 중앙부 표층에 출현한다. 이는 주로 북쪽에서 내려오는 Jiangsu 연안수인 것으로 믿으나 양자강( $32^\circ\text{N}$ ) 과 더 남쪽의 Zhejiang ( $28^\circ\text{N}$ ) 연안수의 영향도 받는 것으로 사료된다.

양자강수의 황해로의 북상 가능성을 검토하기 위하여 황해전반의 해수순환을

다시 요약할 필요가 있다. 외대륙붕(Outer continental shelf)에서는 쿠로시오 해류가 북동으로 흐르고 그 수송량은 여름에 최대이다. 쿠로시오 해류가 일본의 남쪽으로 흐르는 것과는 달리 TWC는 한국과 일본사이의 대한해협을 거쳐서 동해로 들어가고 또한 한국연안을 따라서 간헐적으로 황해로 유입된다.

발해만에서는 한국해안을 따라서 고염수가 북상하고 산둥반도의 해안을 따라서 저염수가 남하한다. 황하강의 담수는 발해만으로 유입된다. 겨울에는 Jiangsu 연안수는 바람에 의하여 남동방향으로 향하여 양자강하구의 북쪽에 까지 이른다. 연안(nearshore)의 남향연안수(south-ward coastal water)와 외안(offshore)의 남향연안수 사이에 비교적 고염의 TWC가 양자강 하구의 외안에 위치한 침강하곡(submerged river valley)에서 발견된다. 이 TWC 유입은 양자강 하구 바깥에서 발견되는 저층 고염수의 근원이며 여름과 겨울에 걸쳐서 항상 출현하는 순환형태이다.

양자강 유량의 최대는 6월 하순에서 8월이며 ( $45 \times 10^3 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), 1월과 2월에는 최소 ( $10 \times 10^3 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )이다. 가장 유량이 많은 7월의 관측결과는 다음과 같다. 하구의 남쪽으로 약 100 km, 수심 50 m 까지 염쇄기 구조가 발견된다. 양자강수의 대부분은 남류한다. 그리고 양자강 하구의 북동방향에 24 ‰ 이하의 저염 표층수가 존재하는데 북쪽과 북동방향으로는 황해저층냉수(Yellow Sea Cold Water)와 구분된다. 이러한 저염수는 하구로 부터 북동방향으로 표층에 얇게 피복되어 제주도 부근까지 존재한다. 그러나 이 저염수가 양자강 기원인지 또는 양자강 이북의 많은하천에 의한 것인지는 T,S 분포 특성으로는 뚜렷이 구분되지 않는다. 그리고 하구부근에서의 직접적인 해류관측은 대부분의 양자강 수는 남행한다는 주장을 뒷받침 해준다. 따라서 본연구에서는 황해를 대상으로 양자강의 영향을 고려하지 않기로 한다.

### 5.3.2.2. 대기로부터의 영양염류 유입

제4장에서 1년이상 황해중부 해안에서 관측한 결과를 제시하였다. 이는 습상낙하만을 관측한 것으로 최소한의 측정치를 볼 수 있다.

연간 유입량은 다음 표와 같다.

Table 5.10 Atmospheric input of inorganic nutrients(wet precipitation only)

NH <sub>4</sub>	38.22 X 10 <sup>9</sup> mol N yr <sup>-1</sup>
NO <sub>3</sub>	7.28 X 10 <sup>9</sup> mol N yr <sup>-1</sup>
PO <sub>4</sub>	0.55 X 10 <sup>9</sup> mol N yr <sup>-1</sup>
Si(OH) <sub>4</sub>	0.64 X 10 <sup>9</sup> mol N yr <sup>-1</sup>

### 하천수 유입과 대기 유입량과의 비교

대기로부터의 유입량과 하천수에 의한 유입량을 비교하여 보자. 우선 양자강 기여를 제외하면 암모니아는 대기대기로부터의 유입량이 하천에 의한 유입량보다 약 20배 가량된다. 질산이온과 인산이온은 거의 대등하며 규산은 하천수의 유입이 주이다. 황해면적은 양자강이북의 33°N 까지로 계산하였으므로 양자강의 기여는 검토하지 않는다.

### 5.3.2.3. 해저 퇴적물로 부터 저층수로 무기영양소 용출

해저-해수 경계면(sediment-water interface)에서 화학성분의 총수지는 확산(diffusion)과 이류(advection)에 의한 것이다(Lerman, 1979).

$$J = \phi D_s \frac{\partial C}{\partial Z} \Big|_{z=0} + \phi u C$$

여기서 J 는 flux이고  $\phi$  는 porosity,  $D_s$  는 퇴적물 내에서의 확산계수이다.

그리고 u는 퇴적속도이고 C 는 관심대상이 되는 화학종의 농도이다.  $\frac{\partial C}{\partial Z} \Big|_{z=0}$

는 퇴적물과 해수와의 경계면에서의 화학성분 C 의 농도경사이다. 위의 방정식에서  $\frac{D_s}{\Delta Z}$  와 u 는 속도차원(dimension) 을 가지고 있으므로 확산에 의한

플럭스와 이류에 대한 플럭스의 2가지 과정의 중요성을 비교하는데 사용이 될 수 있다. 여기서  $z = 1$  cm,  $D_s$ 를  $5 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/sec 로 가정하면  $\frac{D_s}{\Delta Z}$  는 1.580 cm

yr<sup>-1</sup> 가 된다. 황해 해역에서의 퇴적 속도는 대략 0.1 cm yr<sup>-1</sup> 이므로

$\frac{D_s}{\Delta Z} \gg u$ 이다. 이 사실은 위의 방정식에서 확산에 의한 플럭스가 공극수의

이류에 의한 플럭스보다 훨씬 크다는 것을 의미한다. 따라서 1차적인 개략으로

$J = \phi D_s \frac{\partial C}{\partial Z} \Big|_{z=0}$  의 식을 이용하여 해저로 부터(또는 해저로의)

벤틱플럭스(benthic flux) 를 추정 하였다. 황해해역 해저에서는 저서동물이 서식하므로 생물혼합(bioturbation) 에 의하여 퇴적물 혼합이 이루어 지므로 실제  $D_s$  를 증가시키게 된다. 황해 중부해역에서의 B5정점에서  $D_b$ (입자혼합률)은  $0.038 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$  로 평가 되었다. 예를들어 암모니아의 경우  $D_s$ 가  $13.43 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  (현장온도, tortuosity 보정)이므로 이는  $1.16 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$ 이다. 따라서 황해중부해역에서는  $D_b$  의  $D_s$  기여가 3%에 지나지 않는다. 황해 중부해역의 해저로부터의 무기영양소 용출은 CYS9107과 CYS9111 조사시 정점 B5, B6, B9, B19, B21 과 YS9204의 B4에서 조사된 공극수의 화학조성을 근거로 하여 측정하였다. 그리고 황해연안 해역은 YS9204의 정점 A3 해역에서 조사된 공극수의 화학조성을 근거로 추정하였다.

Table 5.11 Benthic flux of nutrients estimated from the pore water gradients (unit  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ )

		No. of observation	
Central Region ( > 50 m depth )	NH4	519	1
	NO3	68 ± 52	4
	PO4	2.3 ± 1.6	3
	Si(OH)4	94 ± 28	2
Coastal Region ( < 50 m depth)	NH4	11	1
	NO3	73	1

연간 황해해저로 부터의 질소계 영양소의 용출량은 다음과 같다. 황해 해역은 조석전선에 의한 해수 수직혼합으로 퇴적물이 재부유하여 혼탁한 해역(수심 50m 이하의 천해부) 과 투명한 중앙부해역(수심 50m 이상) 과는 광조건이 크게 달라서 기초생산력 생태계가 뚜렷이 구분 되고 또 해저의 저서생물량 분포가 중앙부해역과 천해연안 해역과는 뚜렷이 구분이 된다. 그리고 예산부족으로 충분한 현장 조사가 수행되지 못하여 우선 황해해저를 중앙부해역과 천해부 해역으로 크게 구분하였다. 연간 총 질소계 영양소의 해저로 부터의 용출은  $55.84 \times 10^9 \text{ mol yr}^{-1}$  이다.

Table 5.12 Total benthic flux of N nutrients from the seabed

	Annual flux ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ )	Area ( $\text{km}^2$ )	Area flux ( $10^9\text{mol yr}^{-1}$ )
Central Basin	30,904	$227.5 \times 10^3$	7.03
Coastal Basin	214,547	$227.5 \times 10^3$	48.81

#### 5.3.2.4 해수중 유기물의 재분해로 인한 영양염류 재생(regeneration)

1991년 4월 KF9104 조사에서 연안역(KF9104 정정6)에서 해저에 인접한 위치에 계류한 퇴적물 트랩에서의 유기탄소 함량이  $0.97 \pm 0.12\%$  이고 총 퇴적물의 침강속이 평균  $9.9 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$  이었다. 따라서 유기탄소 플럭스는  $96.03 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$  이었다. 이때 표층해수에서의 기초생산력은  $0.14 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$  이므로 68.9% 의



유기물이 해저로 침강하고 31.1%가 수중에서 재생 된것으로 보인다. 또한 연평균 기초생산력  $192 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$  에 비교하면 약 50%가 입자상태로 침강하고 50% 는 수중에서 재생 된 것으로 판단된다. 따라서 총기초 생산량중 50%가 해수중에서 재생된다면 황해전체로서는  $201.30 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  에 해당된다.

### 5.3.2.5 해저 퇴적물에 축적되는 량

해저 퇴적물에 축적되는 질소플럭스는 KF9104, CYS9107, CYS9111 과 CYS9204등에서 채취한 주상 퇴적물의 질소의 깊이별 분포에서 초기속성과정에서 분해되지않고 남아있는 점근 농도(asymptotic value)를 취하여 평균퇴적 속도와 곱하여 추정 하였다. 퇴적물 질소의 점근 농도는 0.02%이다. 퇴적속도는 평균  $0.077 \text{ g cm}^{-2}\text{yr}^{-1}$  이다. 따라서  $5.005 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  가 매년 황해 전체 해저에 축적되는 총량이다.

### 5.3.2.6 대양(외양)으로 부터 무기영양소 공급

대양으로부터 공급되는 질소계 영양염류의 양은 앞에서 논의한 각 근원으로 부터의 영양소 공급량에 근거하여 아래와 같이 추정하였다.

앞에서 이제까지의 모든 기초생산력 자료를 정리 하였다. 이에 따르면 탄소 고정율은  $5.84 \text{ mol C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  이고 황해 전체면적이  $455 \times 10^3 \text{ Km}^2$  이므로 연간 총 황해 해역의 탄소 고정율은  $2,657.2 \times 10^9 \text{ mol C yr}^{-1}$  이다. 식물플랑크톤의 C/N 비를 6.6(레드필드비)이라 가정하면 질소요구량은  $402.6 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  이다. 1.1 절에서 취합한 인근 육지로 부터의 하천수 유입은  $15.1 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$

이다. 그리고 대기로부터의 유입량은  $45.5 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  이다. 그리고 해저에 축적되는 양은  $5.0 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  이다. 해저에서 재광물로 되는 양은  $55.8 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  이다. 그리고 해수중에서 재 광물화 되는 양은  $201.3 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  로 추정되었다. 따라서 기초생산력을 정상상태로 유지하는데 필요한 질소계 영양소중 부족분은 대양으로부터 공급되는 양으로  $79.9 \times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  로 평가되었다.

Table 5.13 N-nutrient budget in the Yellow Sea (unit :  $10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$  )

N-requirement for total primary production	402.6
Riverine N input	15.1
Atmospheric N input	45.5
Accumulation of pN into the sediment	5.0
Benthic remineralization	55.8
Water column regeneration	201.3
Oceanic N input	79.9

제 1차년도 연구조사 결과에서 밝혀진 황해골(trough, 고 황하수로) 의 하부에 존재하는 고온 고염의 저층수의 질소계 영양염류의 농도가 약  $7 \mu\text{mol l}^{-1}$  이므로 이로부터 산출된 황해로 유입되는 대양수의 양은 약 0.4 SV이다. 이를 이용하여 황해입구의 해수평균 체류시간은 약 2년이 된다. 본연구에서 채택한 질소계 수리모델을 검증하기 위하여 다음 연구결과와 비교하였다. 3차원 수치모델에 의한 동중국해 취송해류계산(Choi and Suh, 1992)에 의하면 황해해수의 체류시간은 약 1년으로 나타났고 Ra 방사능 핵종의 수지계산에 의한 결과도 1 - 5년으로 평가

되었다(Nozaki et al., 1991). 따라서 본연구에서 일차적으로 시도하여본 질소계 영양수지는 상당히 타당한 것으로 판단된다. 즉 현재 황해 대륙붕 전체 질소계 영양염 수지에 미치는 영향을 인위적인 공급(하천수, 대기로부터의 공급)이 해양으로부터의 공급과 거의 대등하다. 그러므로 황해해역은 대기로부터의 공급과 해양(외양)으로부터의 공급의 변동이 주로 황해의 탄소 고정률을 결정하게 될 것이다. 따라서 대기로부터의 공급량과 해양으로부터의 공급량을 보다 정밀하게 정량화하는데 앞으로 노력이 필요하다.

#### 5.4. 황해 중금속 수치

황해는 평균 수심이 44m이며 최대 수심이 100m 정도에 불과한 반폐쇄성 천해이다. 더군다나 여기에는 황하, 양쯔와 같은 세계적으로 큰 강이 영향을 미치고 있으며 중국내륙 깊숙한 곳에서 편서풍을 타고 날아온 엄청난 양의 대기분진이 황해로 유입되기도 한다. 이러한 영향과 더불어 최근 황해의 중국쪽 연안을 따라 급격히 형성된 공업단지들은 인위적인 오염물질을 황해로 유입시킬 가능성을 충분히 내포하고 있다. 따라서 이러한 문제들은 황해전체를 쉽게 오염시키지 않을까? 하는 우려를 제기하게 만들었다. 그러나 이러한 우려들에도 불구하고 황해로 유입되는 제물질들에 대한 정확한 정량적 연구가 부족한 편이었으며 특히 그러한 물질들의 황해내에서의 지화학적 행동거지에 대한 체계적 연구는 전무한 실정이다. 여러 오염물질 중에서도 중금속은 해양의 생물학적 먹이사슬을 통하여 축적이 이루어지며 만약에 독성이 강한 중금속이 생물농축을 통하여 인간에게 단백질 공급원으로 제공된다면 그 결과 그것을 섭취하는 우리 인간에게는 만성적이고 치명적인 손상을 입히기도 한다. 우리나라 연근해어업의 중요한 위치를 점하고 있는 황해는 그러한 측면에서 더욱 감시의 대상이 되어야만 한다. 그럼에도 불구하고 황해에서의 해수중의 중금속의 농도를 평가하기 위한 연구들은 분석자체의 어려움 등으로 인하여 미진한 편이었으며 1980년대 이후 몇몇 조사가 이루어졌으나(KORDI, 1987) 그 중에서 일부만이 해양학적으로 의미있는 자료를 제공할 뿐이었다.

따라서 본 연구에서는 황해의 중금속의 농도 및 그 분포 특성을 파악하기 위하여 3회에 걸쳐서 황해표층 해수중의 중금속 농도를 조사하였다. 연구기간중에 1991년 7월과 1991년 11월에 황해 중앙부에서, 그리고 1992년 4월에 황해 중앙부와 목포에서 양자강하구를 연결하는 황해의 입구에 해당하는 곳과 목포에서 북서방향으로 황해중앙부를 향하는 정점들에서 시료를 채취 분석하였다. 1991년 7월과

Table 5.14. Comparison in the analysis of Canadian CASS-2

	Ni	Co	Cu	Zn	Cd	Pb
CASS-2	0.298	0.025	0.675	1.970	0.019	0.019
(error)	0.036	0.006	0.039	0.120	0.004	0.006
ICP-MS	0.312	0.028	0.721	1.788	0.025	0.015
A.A	-	-	0.683	1.770	0.018	0.017

(unit : ug/l)

11월에는 각각 18개와 21개의 정점에서 용존성 형태의 코발트(Co), 니켈(Ni), 구리(Cu), 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 과 납(Pb)의 농도가 측정되었으며 1992년 4월에는 총 33개의 정점에서 위에 언급한 원소들의 용존성 형태와 입자태의 농도에 대하여 분석이 되었다.

본 연구에서는 분석의 신뢰도를 높이기 위하여 캐나다의 표준해수시료중의 하나인 CASS-2 를 이용하여 분석의 정확도를 확인하였으며 그 결과는 Table 5.14. 에 있다. 여기서 ICP-MS를 이용한 측정 방법은 본 연구에서 처음으로 시도된 방법인데 구리와 카드뮴은 확인된 값에 비해 약간 높은 값을 나타내었다. 그러나 그 오차가 그렇게 커지 않았으며 이것은 단 1회의 표준시료를 이용한 값이기 때문에 앞으로 반복 측정된 자료로 비교 검토하여 보완할 예정이다.

#### 5.4.1. 결과

1991년 7월과 11월에 황해 중앙부에서 채취한 표층수중의 용존성 중금속농도가 Table 5.15. 와 5.16. 에 나와있으며 1992년 황해 중앙부와 목포 양자강을 연결하는 황해입구 등에서 채취 분석한 용존성 및 입자성 중금속의 농도는 Table 5.17. - 5.18. 에 나와 있다.

##### 5.4.1.1. 1991년 7월

표층해수중 용존성 중금속의 1991년 7월의 분포경향은 전체적으로 북쪽에서 높고 동쪽보다는 서쪽이 다소 높은 현상을 나타내었다.

니켈(Ni)은 91 - 304  $ng/l$ , 평균 169  $ng/l$ 로 정점 B15, B17, B20, B21에서 248 - 304  $ng/l$ 로 타 정점들보다 높게 나타났으며 정점 B9, B12, B13에서 100  $ng/l$  미만인 85 - 94  $ng/l$ 로 가장 낮았다. 이 값은 Baltic Sea에서의 600 - 900

**Table 5.15. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water of the central Yellow Sea, July 1991.**

	(unit:ng/l)					
STATION	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
B1	3.2	160	188	37	9.0	53
B4	1.9	112	137	24	8.6	24
B5	2.0	154	190	33	10.3	31
B7	2.3	135	172	59	10.0	43
B8	1.9	138	160	30	9.8	44
B9	1.4	91	126	25	6.9	44
B10	2.3	121	150	49	8.2	61
B11	2.4	146	176	111	9.6	107
B12	1.0	94	135	68	8.6	30
B13	1.7	85	114	34	7.7	23
B14	2.7	198	252	151	11.7	35
B15	5.0	266	297	-	13.0	71
B16	1.2	126	156	41	8.9	23
B17	5.1	248	274	101	12.5	68
B18	3.4	193	230	58	11.7	58
B19	3.4	177	219	126	8.7	58
B20	7.4	304	375	125	18.4	52
B21	6.9	289	355	-	14.9	93
MIN.	1.0	91	114	24	6.9	23
MAX.	7.4	304	375	151	18.4	107
AVG.	3.1	169	206	67	10.5	51
STD.	1.8	66	75	41	2.8	23
RSTD(%)	58	39	36	59	26	44

ng/l(Magnusson and Westerland, 1980)보다도 낮은 값이며 German Bight외해의 126 - 921 ( 평균 471 )ng/Kg(Martand and Nurnberg, 1986)의 낮은 부분들에 해당되며 북태평양 표층수의 평균농도 176ng/Kg(Bruland, 1980)과 비슷한 값이다.

코발트(Co)는 1.0 - 7.4 ng/l(평균 3.1 ng/l)로 니켈 등과 마찬가지로 북서쪽에서 높고 동남쪽에서 낮은 분포를 보였는데 정점 B15, B17, B20, B21에서 5.0 - 7.4 ng/l로 높은 값을, 정점 B9, B12, B16에서 1.0 - 1.4 ng/l로 낮은 값을 나타내었다. 참고로 German Bight외해에서의 코발트의 농도는 3 - 41 ng/l, 캘리포니아 해류가 흐르는 해역에서의 표층수값인 2.4 ng/Kg(Bruland and Franks, 1983)와 비교할때 이 값은 대양의 표층수에서의 값과 비슷하다.

구리(Cu)는 114 - 375 ng/l(평균 206 ng/l)의 분포를 보였다. 정점 B15, B17, B20, B21에서 252 - 375 ng/l로 높았으며, 정점 B4, B9, B12, B13에서 114 - 137 ng/l로 가장 낮았다. 참고로 북해(North Sea)에서의 구리의 농도는 200 - 1000 ng/l(Jones and Jefferies, 1983), North Atlantic gyre(the Sargasso Sea)에서의 76 ng/Kg(Bruland and Franks, 1983)과 비교할때 North Atlantic gyre보다는 약간 높으나 북해에서의 낮은 값들에 해당되는 농도였다.

아연(Zn)은 33 - 72 ng/l로 정점 12에서 가장 높았으며, 정점 B3, B5, B8, B16에서 33 - 37 ng/l로 낮았다. 이 값은 1988년 2월에서 1990년 3월까지 우리나라 남해 해역에서 조사한 표층수의 30 - 400 ng/l에 해당되는 값이며 대양 표층수중의 농도인 3.5 ng/Kg에 비하면 약 10배이상 높은 값이다.

카드뮴(Cd)은 6.9 - 18.4 ng/l(평균 10.5 ng/l)로 니켈, 코발트, 구리와 비슷한 분포를 보였는데 이들과의 상관관계는  $R=0.8999 - 0.9459$ 로 매우 높았다. 참고로 카드뮴의 북해에서의 농도는 25 - 200 ng/l, 발트해(Baltic Sea)에서는 30 - 60 ng/l, 우리나라 남해해역에서는 5 - 27 ng/l로 우리나라 남해해역에서의 농도 범위와 비슷하였다.



납(Pb)은 23 - 107 ng/l( 평균 51 ng/l )로 다른 원소들과의 상관관계가  $R=0.3740 - 0.5652$ 로 가장 낮아서 이 해역에서의 납의 분포는 위에서 언급한 원소와는 또 다른 어떤요인에 의해서도 결정되는 것을 볼 수 있다. 실제로 납의 해양으로의 유입은 많은 부분이 대기로부터 기여된다. 조사 정점중에서 가장 높은 값을 보인 정점은 서쪽에 위치한 정점 B11이며 그 값은 107 ng/l였고, 정점 B21에서도 93 ng/l로 타 정점들에 비해 낮았으며 가장 낮은 값은 동쪽의 정점 B16에서 23 ng/l로 나왔다. 참고로 우리나라 남해 해역에서의 표층수중 용존성 납의 농도는 9 - 10 ng/l, 대양에서는 1 - 36 ng/l이다.

#### 5.4.1.2. 1991년 11월

납이 평균 27 ng/l로 7월에 비해 약 절반 가까운 값을 보인것을 제외하고는 다른 원소들의 전체적인 농도가 니켈: 125 - 297 ng/l( 평균 208 ng/l ), 코발트: 2.3 - 7.1 ng/l(평균 4.5 ng/l), 구리: 162- 330 ng/l(평균 243 ng/l), 아연: 33 - 72 ng/l(평균 49 ng/l), 그리고 카드뮴: 7.1 - 17.1 ng/l(평균 11.6 ng/l)로 납과 아연을 제외하고는 코발트, 니켈, 구리와 카드뮴의 농도가 7월보다 다소 높은 농도를 보였다. 그러나 그 분포에 있어서는 서쪽이 동쪽에 비해 다소 높은 값들을 나타내었다. 하지만 이 시기에 조사된 21개 정점에서의 농도차이는 상대표준편차가 구리 19%에서 납 30%로 모든 정점에서 거의 균일한 농도분포를 보였다.

#### 5.4.1.3. 1992년 4월의 용존성 중금속

니켈(Ni)은 180 - 422 ng/l, 평균 280 ng/l로 양자강 하구에서 가장 가까운 정점 D1에서 가장 높게 나왔으며 진도와 제주도 사이의 E1에서 가장 낮았다. E1에서의 농도는 북태평양 표층수의 평균농도 176ng/Kg (Bruland, 1980)와 아주 비슷한 값이다. A Line에서는 육지에 가까워질수록 농도가 점차 증가하는 양상을

Table 5.16. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water of the central Yellow Sea, November 1991.

STATION	(unit:ng/l)					
	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
B1	3.8	173	202	55	9.5	27
B2	4.1	179	224	50	11.5	24
B3	5.2	239	263	33	15.2	25
B4	3.1	125	173	-	8.2	27
B5	4.6	221	251	36	15.4	27
B6	7.1	297	322	54	14.8	24
B7	4.9	200	238	63	10.9	20
B8	3.0	156	194	34	7.6	19
B9	6.2	280	330	53	13.3	30
B10	5.4	243	265	52	14.9	24
B11	5.7	259	277	49	16.5	-
B12	4.7	253	307	72	11.1	35
B13	4.3	199	236	-	8.9	31
B14	2.6	129	173	-	8.2	14
B15	5.2	243	286	49	11.2	33
B16	3.9	192	214	33	13.7	20
B17	3.5	170	213	37	8.8	21
B18	2.3	130	162	50	7.1	-
B19	4.1	202	240	54	9.8	31
B20	5.1	225	265	51	10.5	35
B21	5.3	244	276	62	17.1	37
MIN.	2.3	125	162	33	7.1	15
MAX.	7.1	297	330	72	17.1	37
AVG.	4.5	208	243	49	11.6	27
STD.	1.2	48	47	11	3.1	8
RSTD(%)	27	23	19	22	27	30

보였으며 그외 정점들에서는 B5, D3 등에서 다소 높은 값을 보였다. 전체적으로는 대체로 육지에 가깝고 염분이 낮은 곳에서 높은 값을 나타내었다. 본 조사치는 황해 중앙부에서 7월과 11월에 조사한 값들의 평균 농도 169, 208 ng/l 보다는 다소 높은 값이며 Baltic Sea에서의 600 - 900 ng/l (Magnusson and Westerland, 1980)보다도 낮은 값이다. 그리고 German Bight의해의 126 - 921( 평균 471 ) ng/Kg(Martand and Nurnberg, 1986)의 낮은 부분들에 해당된다.

코발트(Co)는 3 - 35 ng/l, 평균 8 ng/l로 정점 B5를 제외하고는 3 - 19 ng/l 였다. 그리고 표층수의 중금속 농도를 측정한 전체 32 정점 중 3분의 2에 해당하는 정점들에서 3 - 6 ng/l로 이것은 황해 중앙부에서 7월과 11월에 조사한 값들의 평균 농도 3, 5 ng/l와 비슷한 값들이다. 참고로 German Bight의해에서의 코발트의 농도는 3 - 41 ng/l, 캘리포니아 해류가 흐르는 해역에서의 표층수값인 2.4 ng/l(Bruland and Franks, 1983) 와 비교할때 이 값들은 대양의 표층수에서의 값과 비슷하다.

구리(Cu)는 140 - 951 ng/l, 평균 392 ng/l의 분포를 보였다. 구리의 농도 분포는 대체로 염분의 지배를 받으며 D1 과 B5 를 제외한 정점들에서  $Cu(\mu g/l) = -0.107Sal(\%) + 3.88$  ( $R^2 = 0.719$ ) 로 염분과 부의 상관관계를 보였다. 이번의 조사치는 황해 중앙부에서 7월과 11월에 조사한 값들의 평균 농도 206, 243 ng/l 과 비교할 때 1.5에서 2배에 가까운 값이었다. 참고로 북해(North Sea)에서의 구리의 농도는 200 - 1,000 ng/l (Jones and Jefferies, 1983), North Atlantic gyre(the Sargasso Sea)에서의 76 ng/Kg(Bruland, 1983)과 비교할때 North Atlantic gyre보다는 약간 높으나 북해에서의 값들과 비슷한 농도였다.

아연(Zn)은 56 - 1,442 ng/l, 평균 217 ng/l로 정점 B5 에서의 값을 제외하면 56 - 426 ng/l 였다. 이 값은 1988년 2월에서 1990년 3월까지 우리나라 남해

Table 5.17. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water of the Yellow Sea, April 1992.

STATION	(unit:ng/l)					
	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
A2	8.3	361	497	88	32	23
A3	8.4	330	443	142	32	21
A4	7.5	280	358	92	28	24
A5	6.0	277	362	116	29	42
A6	6.3	276	371	158	34	46
B1	6.3	264	349	140	32	39
B2	5.9	259	352	185	36	38
B4	12.0	284	469	426	53	66
B5	34.8	383	905	1442	134	197
B6	8.4	263	388	272	39	74
B7	5.4	264	338	147	30	39
B9	9.8	260	428	418	51	61
B11	6.6	274	361	188	32	63
B13	4.2	259	337	106	29	18
B15	18.9	319	603	823	77	96
B16	5.9	269	359	182	34	50
B20	5.4	280	370	132	35	20
B21	5.2	263	359	181	33	34
B22	4.8	265	327	83	27	33
CC6	3.3	216	278	56	19	23
CC7	3.8	207	230	145	19	60
CC8	3.9	263	304	85	18	30
CC9	4.1	276	326	93	20	13
D1	11.1	422	951	167	29	15
D2	5.1	301	468	58	19	10
D3	10.4	362	537	164	21	31
D4	4.4	331	522	90	19	12
D5	5.7	288	351	96	19	12
D6	3.2	212	265	155	14	22
D8	4.8	278	284	411	16	29
D9	3.0	189	190	201	15	24
D10	6.6	243	254	107	19	20
D11	17.4	317	253	145	21	35
E1	3.8	180	140	96	14	24
MIN.	3.0	180	140	56	14	10
MAX.	34.8	422	951	1442	134	197
AVG.	7.7	280	392	217	32	40
STD.	5.9	51	165	258	22	34
RSTD(%)	77	18	42	119	68	85

Table 5.18. Particulated heavy metal concentrations in the surface water of the Yellow Sea, April 1992.

STATION	(unit:ng/l, S.S mg/l)						
	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	S.S
A2	43.2	110.0	101	465	5.5	129	-
A3	16.5	34.7	45	256	6.3	33	9.29
A4	1.4	7.2	83	172	3.0	9	-
A5	2.5	9.5	31	177	4.2	16	7.43
A6	2.6	24.9	78	299	5.1	21	-
B1	4.5	16.5	123	324	10.2	34	6.94
B2	18.8	62.6	312	800	23.4	98	146.49
B4	7.4	25.8	133	395	11.4	66	9.41
B5	29.2	95.6	358	627	10.2	157	287.56
B6	21.9	76.8	362	644	15.9	125	19.26
B7	8.7	38.2	161	461	10.7	34	181.34
B11	17.4	66.0	204	537	17.1	526	20.81
B13	3.4	11.5	100	206	5.3	164	74.45
B15	14.9	56.9	251	485	12.6	62	-
B16	4.3	22.1	118	569	8.9	35	47.64
B20	2.7	29.7	110	315	7.1	13	5.3
B21	3.9	14.9	92	278	8.8	38	5.81
B22	2.3	17.6	37	182	2.4	13	6.32
CC6	1.2	4.6	7	139	0.4	84	8.05
CC7	6.4	14.4	37	212	2.3	86	8.41
CC8	33.8	85.6	48	344	0.9	182	10.17
CC9	60.8	152.0	103	582	1.8	123	9.66
D1	41.8	126.0	139	564	2.7	182	6.51
D2	53.1	162.0	127	615	2.0	64	7.31
D3	61.3	188.0	162	652	2.9	93	17.83
D4	67.6	191.0	152	621	2.4	78	10.5
D5	21.8	62.7	60	297	1.4	42	7.78
D6	8.2	39.9	64	307	2.0	24	7.08
D8	15.1	49.7	47	427	1.3	43	7.28
D9	11.3	28.2	52	243	0.9	24	7.43
D10	60.2	152.0	119	571	1.4	84	11.15
D11	94.5	240.0	154	872	1.3	238	12.16
E1	16.4	60.8	98	380	1.7	33	7.16
MIN	1.2	4.57	7.2	139	0.39	8.58	5.3
MAX	94.5	240	362	872	23.3	526	288
AVG	22.9	69	123	425	5.86	89.5	33.3
STD	23.7	61.7	87	189	5.45	96.2	63

해역에서 조사한 표층수의 30 - 400 ng/l에 해당되는 값이며 대양 표층수중의 농도인 3.5 ng/kg에 비하면 약 10배에서 100배 정도 높은 값이다.

카드뮴(Cd)은 14 - 134 ng/l, 평균 32 ng/l로 B line 에서의 몇몇 높은 농도를 보인 정점들을 제외하고는 35 ng/l 이하의 분포를 나타내었다. 참고로 카드뮴의 북해에서의 농도는 25 - 200 ng/l, 발트해(Baltic Sea)에서는 30 - 60 ng/l, 우리나라 남해해역에서는 5 - 27 ng/l였다.

납(Pb)은 10 - 197 ng/l, 평균 40 ng/l였는데 황해입구의 D line에서 10 - 35 ng/l로 타 정점들에 비해 낮은 분포였다. 참고로 우리나라 남해 해역에서의 표층수중 용존성 납의 농도는 9 - 10 ng/l, 대양에서는 1 - 36 ng/l이다.

#### 5.4.1.4. 1992년 4월의 입자성 중금속

1992년 4월 황해 표층수중의 입자성 중금속의 농도는 코발트가 1.2 - 94.5 ng/l(평균 22.9 ng/l), 니켈이 4.6 - 240 ng/l(평균 69 ng/l), 구리가 7.2 - 362 ng/l(평균 123 ng/l), 아연이 139 - 872 ng/l(평균 425 ng/l), 카드뮴이 0.4 - 23.3 ng/l(평균 5.9 ng/l) 그리고 납이 9 - 526 ng/l(평균 89 ng/l)으로 매우 심한 변화를 보였다. 이들 사이의 상관관계도 코발트와 니켈이  $r^2 = 0.974$ , 아연과 코발트, 니켈 및 구리와의 일차적 상관관계가  $r^2 = 0.523 - 0.604$ , 그리고 구리와 카드뮴의 상관관계가  $r^2 = 0.517$  로 어느 정도 비례관계를 나타내었으며 부유물질의 농도와는 전혀 관계가 없는 것으로 나타났다. 이것은 황해표층수중의 부유물질이 중금속 농도의 분포특성이 전혀 다른 여러 형태의 입자에 의해 지역에 따라 아주 복잡하게 분포하고 있음을 나타내는 것이다.

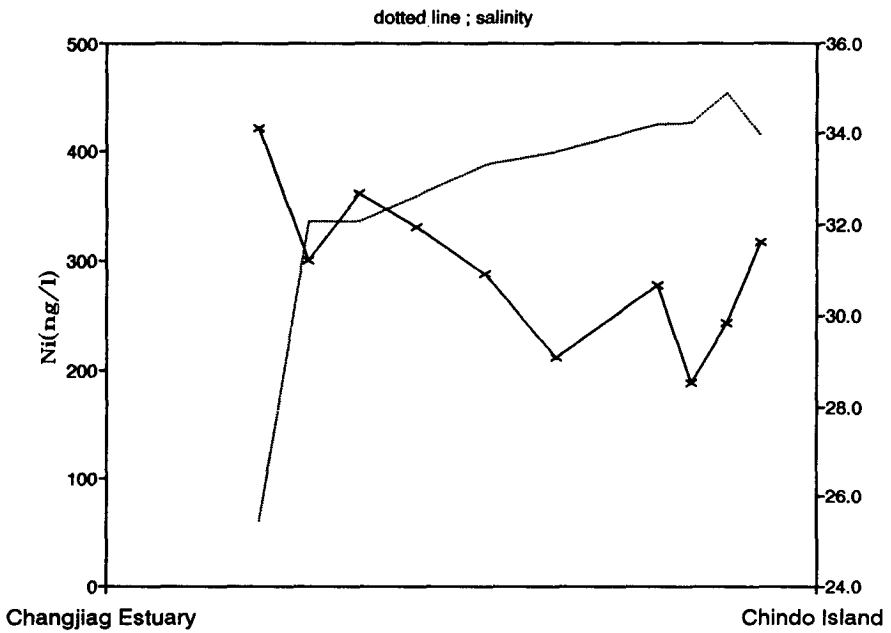
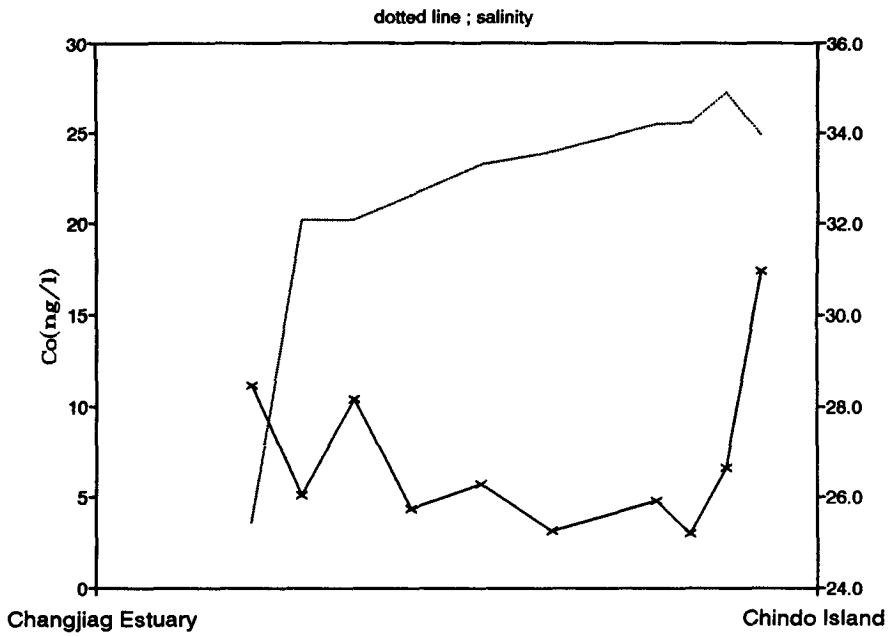
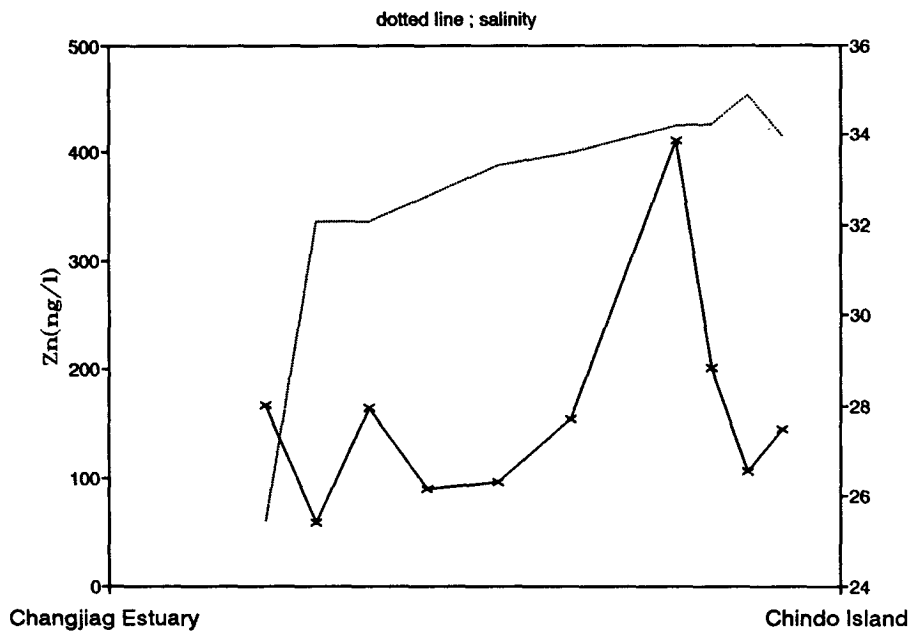
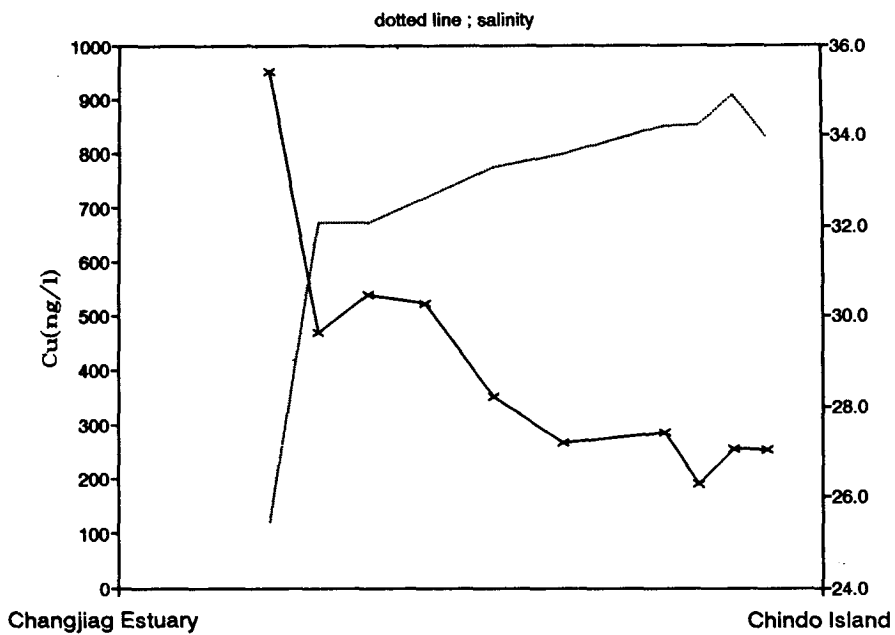
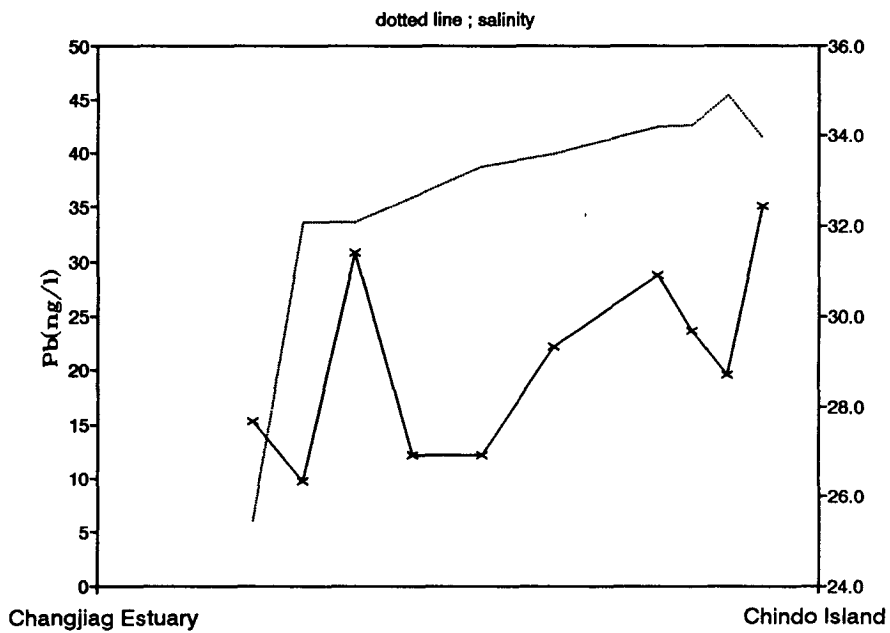


Fig. 5.18. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water from the Changjiag Estuary to the Chindo Island, April 1992.



-continued-





-continued-

## 5.4.2. 토의

### 5.4.2.1. 황해표층수중 용존성 중금속의 분포 특성

3차례에 걸쳐서 조사한 결과를 바탕으로 황해 표층수중의 중금속 농도가 어떤 분포특성을 가지고 있는지를 알아내기 위하여 우선 두가지 방법으로 분석해 보았다.

첫번째로 중금속의 해양으로의 주공급원인 육지의 영향을 알아보기 위하여 목포와 양자강 하류를 잇는 선인 D LINE과 목포의 서북편에 위치한 임도에서 서북방향으로 황해중앙부를 향하는 A LINE에서의 용존성 중금속 농도를 거리에 따라 염분도와 함께 표시하였다(Fig.5.18.).

D LINE 에서는 구리의 농도가 양자강의 하구에서 염분도의 증가에 따라 반대로 급격히 감소함을 알 수 있다. 이것은 황해입구에서의 용존성 구리의 농도는 양자강에서 유입된 담수의 희석에 의하여 지배받는 것을 직접적으로 보여준다. 카드뮴과 니켈도 또한 구리와 같은 분포 특성을 가지나 한반도에서 어느 정도 공급되어지는 특징을 보인다. 그러나 코발트의 경우는 양자강에 의해서 다소 공급되어 점차 희석되나 한반도 서남에서 오히려 급격하게 증가하는 양상을 보인다. 그러나 이 농도는 소흑산도 부근의 고염수에 의해 강하게 희석된다. 코발트는 일반적으로 철, 망간 등의 수산화물의 입자에 의해 쉽게 흡착되어 제거되는 특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 급격한 농도구배는 황해동남부의 강한 조류에 의해서 형성되는 퇴적물의 재부유작용과 관계가 있는 것으로 생각된다.

한편, 아연과 납의 농도는 양자강으로부터의 공급과는 상관이 없는 것으로 보이며 분포 또한 일정한 특성을 보여주지 않고 있다. A LINE 에서는 코발트, 니켈, 구리, 아연의 농도가 한반도의 육지에서 멀어질수록 염분도의 감소와 함께

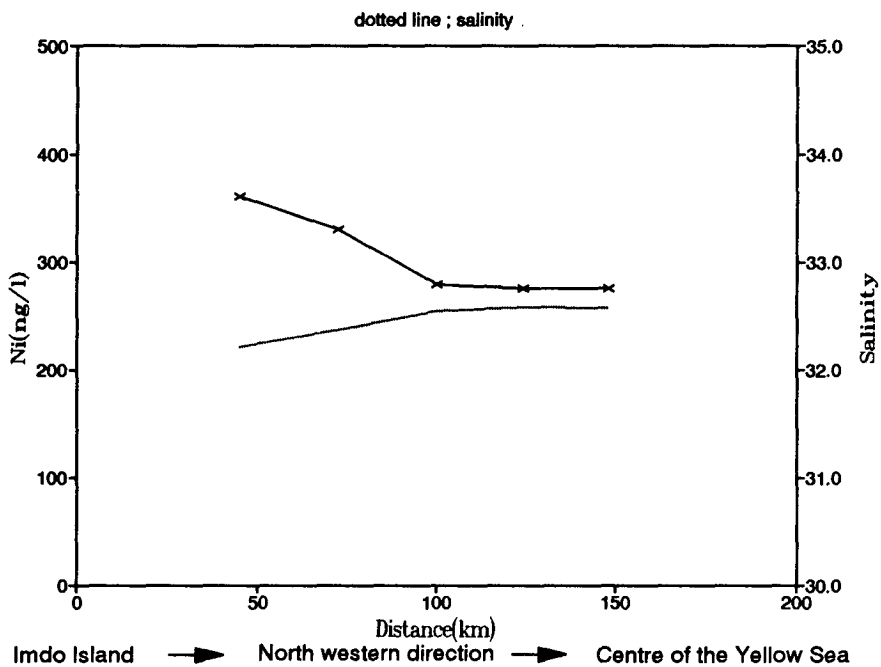
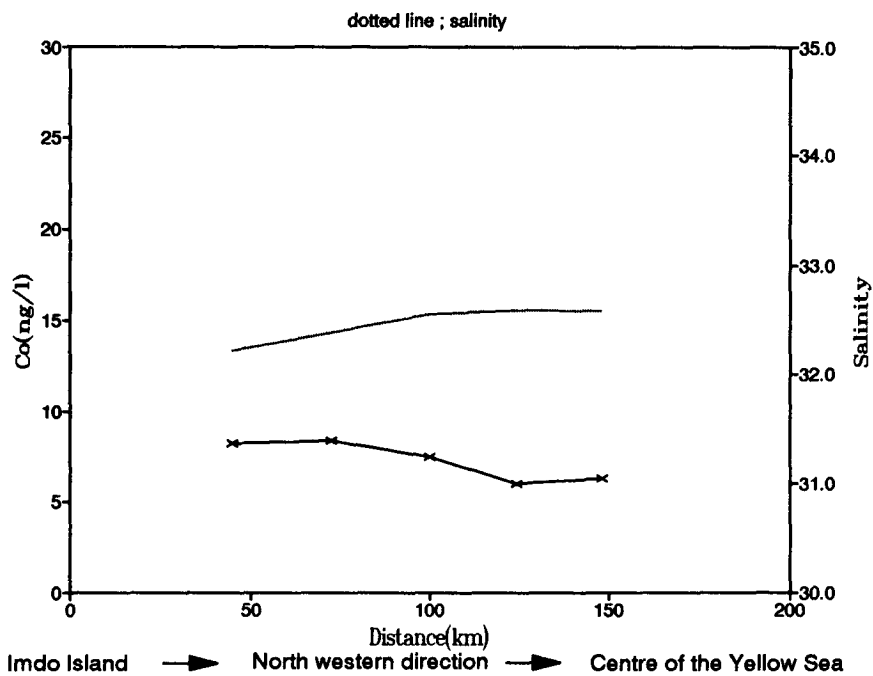
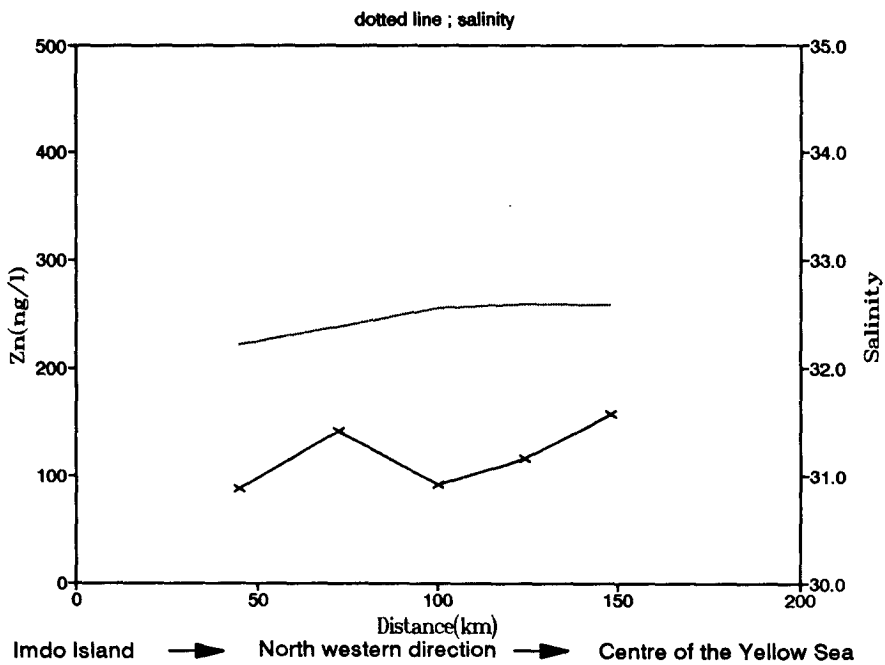
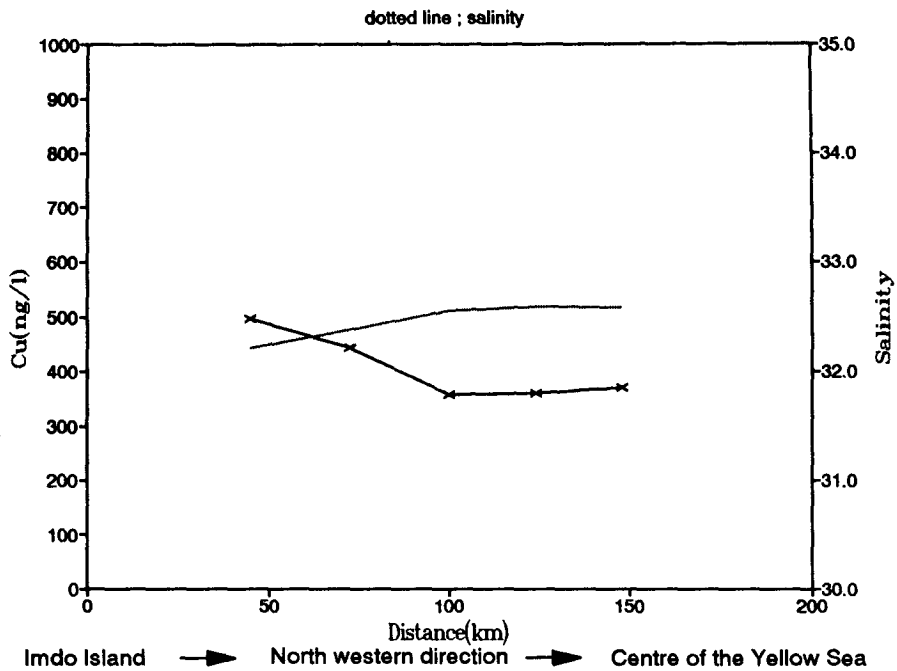
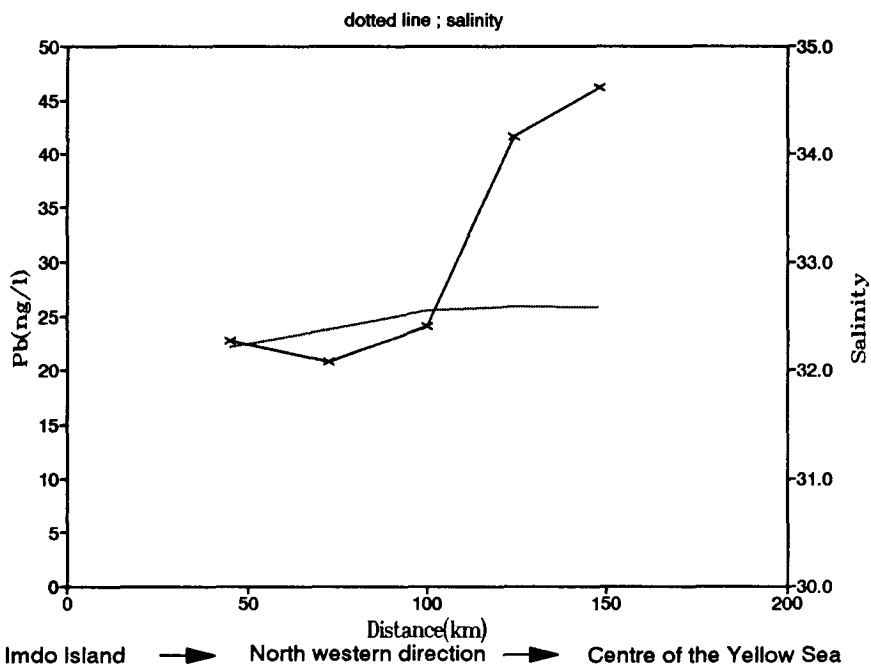
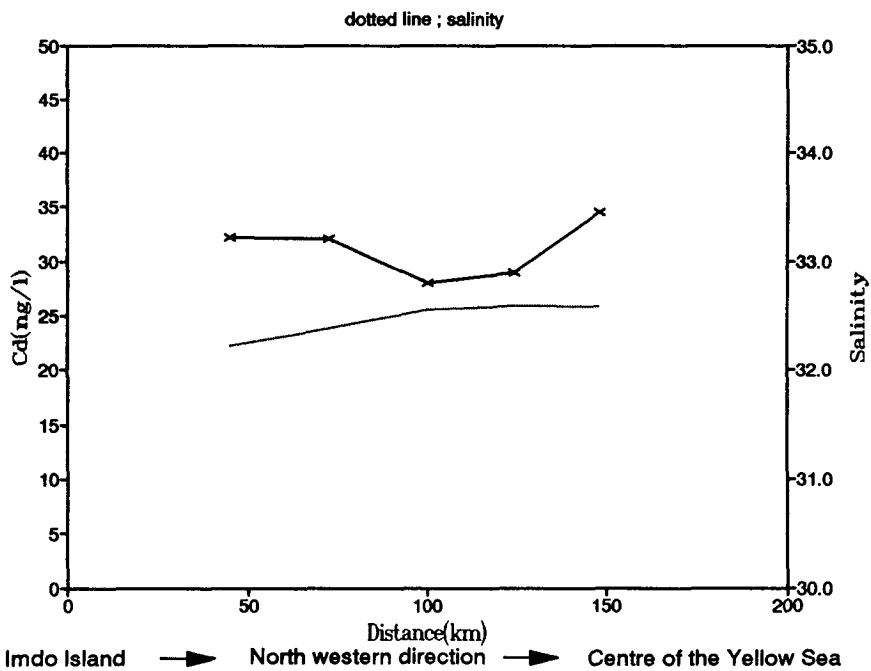


Fig. 5.19. Dissolved heavy metal concentrations in the surface water from the southeastern Yellow Sea to the central Yellow Sea, April 1992.



-continued-



-continued-

희석되어 낮아지는 경향을 보이거나 황해 중앙부에 가까운 지점에서 다시 증가하는 값을 나타낸다. 그러나 남의 경우에는 오히려 육지에서 멀어질수록 농도가 증가하는 양상을 보인다.

이상의 원소들 중에서 91년 4월에 구리와 염분도의 상관관계가 가장 높았으며  $Cu(\mu g/l) = -0.107 \text{ Salinity}(\%) + 3.88$ ,  $r^2 = 0.719$  를 보여 이 식에 의하면 양자나 황하의 하천수는  $3.88 \mu g/l$  의 농도를 보여야 한다. 그러나 Table 5.20. 에서 보는 것 처럼 양자와 황하수의 용존성 구리의 농도는  $1.59 - 1.69 \mu g/l$  로 위의 식에 의하여 외삽된 값의 반에도 못미치는 농도를 보이고 있다. 따라서 황해의 용존성 구리의 농도는 이외의 다른 요인에 의한 공급이 이루어져야만 된다. Table 5.19. 와 5.20. 에서 볼 수 있듯이 동중국해의 쿠로시오가 흐르는 해역에서의 구리의 농도는  $692 \text{ ng/l}$  (Wang et al. 1992), 황해의 중국쪽 해안 두 정점에서 측정한 대기로부터 낙하하는 입자중의 평균농도가  $165 \mu g/g$ 으로 황하수중의 부유사나 오염되지 않은 대기분진(loess)의 구리의 농도에 비해 6배 이상의 높은 값을 보이는 것으로 보아 이들에 의한 영향도 큰 것으로 생각된다. 한편 한강에서의 총구리의 농도  $6.2 \mu g/g$  을 Brewers and Yeats(1989)의 하천수에서의 입자와 용존성 구리와의 분배계수  $8 \times 10^3$  을 사용하여 용존성 부분을 계산하면 한강의 평균 부유물질의 양을  $15.7 \text{ mg/l}$ (KORDI, 1988) 로 하였을 때에 88%에 해당하는  $5.4 \mu g/l$  가 되며 Delfino and Otto(1986)의 관측치 50 - 75% 로 계산하면  $3.2 - 4.8 \mu g/l$ 가 된다. 이것은 황하나 양자강수의 2배 이상의 값이다. 따라서 한강의 년평균 유량이 황하의 약 40%에 해당하기 때문에 한반도에 가까운 해역에서는 금강과 더불어 구리의 농도에 영향을 미치게 된다. 이것은 1992년 A LINE에서의 농도분포로도 확인이 된다.

두번째로 용존성 중금속 분포의 또 다른 특징을 파악하기 위하여 1992년 4월의 조사에서 거의 모든 원소들의 농도가 낮은 값들을 나타낸 정점 D9의 농도를 다소

Table 5.19. Comparison of dissolved trace metals in the surface waters of the Yellow Sea and other regions.

	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	References
Centre of the Yellow Sea (July 1991)	1.0 - 7.4 (3.1)	91 - 304 (169)	114 - 375 (206)	24 - 151 (67)	6.9 - 18.4 (10.5)	23 - 107 (51)	This study
Centre of the Yellow Sea (Nov. 1991)	2.3 - 7.1 (4.5)	125 - 297 (208)	162 - 330 (243)	33 - 72 (49)	7.1 - 17.1 (11.6)	15 - 37 (27)	This study
Yellow Sea (April 1992)	3 - 35 (8)	180 - 422 (280)	140 - 951 (392)	56 - 1440 (217)	14 - 134 (32)	10 - 197 (40)	This study
Kuroshio in the East China Sea	71	170	692		68.6		Wang et al.(1992)
North western Pacific		157	43		1.2		Murozumi & Nakamura(1981)
North Western Atlantic Shelf waters		356	262	162	23		Bruland & Franks(1983)

( ) ; average

Table 5.20. Heavy metal concentrations in the sources which affect on the dissolved heavy metal in the Yellow Sea.

	unit	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	References
Atmospheric fallout	ug/g	5.0 - 360	11 - 638	17 - 335	42 - 716		47 - 467	Zhang et al.(1992)
(China)		(80.2)	(154)	(165)	(384)		(229)	
Atmospheric dust	ng/m <sup>3</sup>	0.26 - 1.33	1.20 - 5.97	1.30 - 13.5	16.1 - 167	0.14 - 1.82	10.9 - 654	KORDI(1989)
(Korea)		(0.55)	(2.5)	(4.68)	(52.0)	(0.55)	(78)	
Huanghe River								
(dissolved)	ng/l	26.5	429	1587	304	2.6	41	Zhang(1993)
(suspended solid)	ug/g	14	40.3	26.7	69.8	0.18	16.4	Zhang(1993)
Changjiang River								
(dissolved)	ng/l	70.7	1408	1690		6.5	Edmond(1965),Wang(1990)	
(suspended solid)	ug/g	19	124	62.3	120.2	0.32	50.1	Zhang(1993)
Han River								
(total)	ug/l			6.2	12.3	0.041	2.3	KORDI(1988)
Loess	ug/g	20	38	25	88	-	29	Liu(1988)



이상분포를 보인 정점들과 91년 7월과 11월의 황해중양부에서의 평균농도 및 동중국해의 쿠로시오가 지나는 해역에서의 농도 등과 비교해 보았다. 이것을 시각적으로 표현하기 위하여 D9에서의 각 원소의 농도를 1로 하였을 경우의 상대적 값으로 계산하여 그림을 그렸다(Fig.5.20.). 그림에서의 선은 연속적인 의미와는 상관이 없으며 단지 시각적 강조를 위하여 사용된 것이다. 그림에서 보는 것처럼 1991년 7월과 11월의 황해중양부 및 1992년 4월의 황해중양부에서 이상분포를 보인 B4, B5 와 B15 정점들을 제외한 중양부의 평균농도는 D9에서의 값들과 거의 비슷한 농도에 평행한 형태의 그림을 나타낸다. 이것은 이들 정점에서의 농도분포가 동일한 요인에 의해서 지배를 받음을 설명해 준다. 그러나 1991년 7월의 납의 농도는 다소 양의 이상분포를 보여 황해중양부에서 계절적으로 납의 농도는 달라질 수 있음을 시사해 준다. 그리고 D11은 코발트의 양의 이상치를 보여준다. 이것은 한반도 서남해안의 지구화학적 특성 내지는 퇴적물의 활발한 재부유작용 등으로 설명되어질 수 있을 것이다. 그러나 여기에서는 두 요인과 그 외의 어떤 요인에 대한 확실한 규명은 이 자료만으로는 부족하며 여기에 대하여는 좀 더 상세한 연구가 뒷받침되어야 한다. 그리고 D1에서는 양자강을 통한 구리의 유입이 나타난다.

한편 동중국해의 쿠로시오해류가 흐르는 해역에서는 황해에 비해 코발트의 농도가 20배나 넘게 높은 농도로 나타나며 구리와 카드뮴 또한 높은 농도를 보인다. 만약에 황해입구에 해당하는 D LINE의 고염수가 쿠로시오의 영향을 받는다고 가정을 하면 동중국해의 이들 중금속들은 황해쪽으로 북상하면서 점차 제거되어져야만 할 것이다.

1992년 4월의 황해중양부의 세 정점인 B4, B5 와 B15는 육지에서 멀리 떨어진 황해중양부해역임에도 불구하고 니켈을 제외한 코발트, 구리, 카드뮴 및 납의 농도가 다른 정점들에 비해 상당히 높았다. 이들 정점들중에서 B5는 암모니아

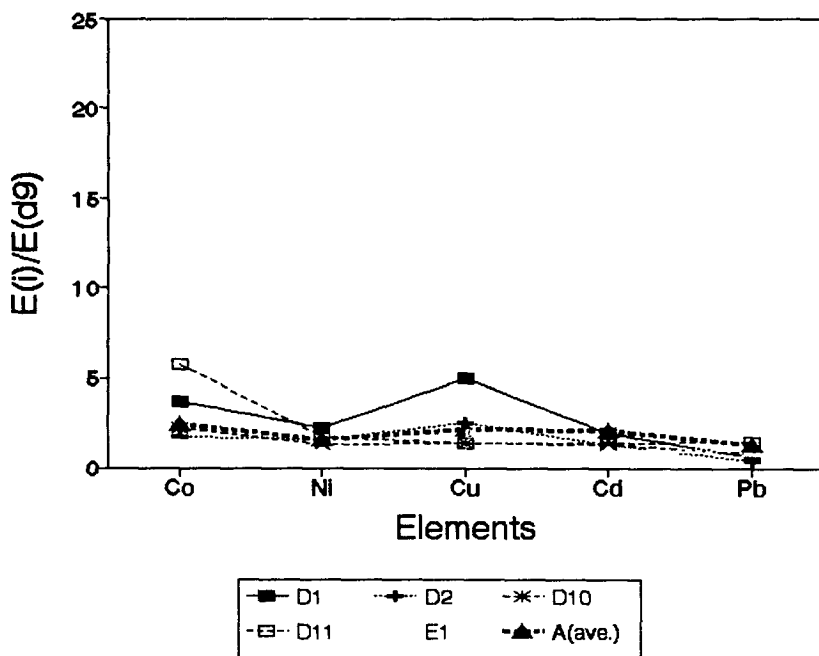
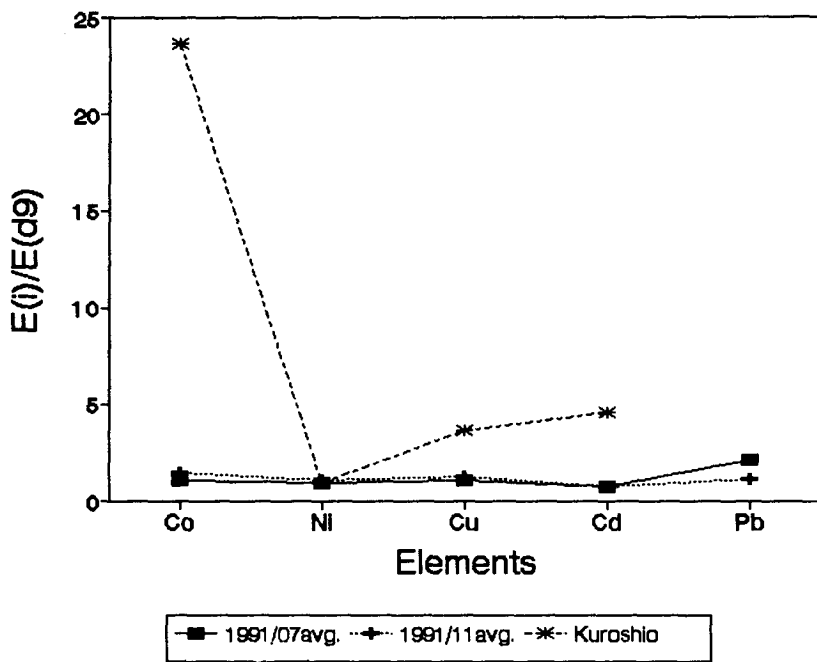
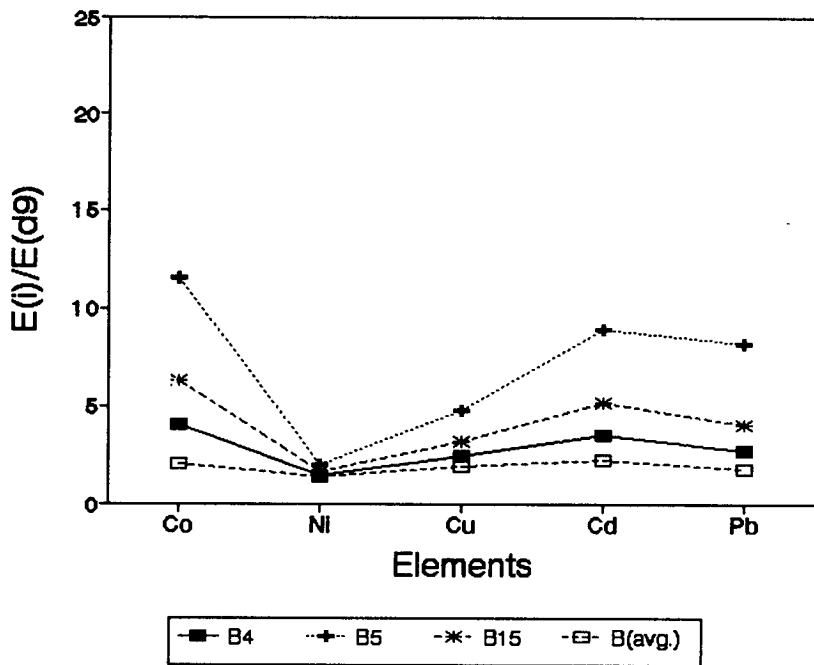


Fig. 5.20. Station D9 normalized dissolved heavy metal distribution in the Yellow Sea.



-continued-

농도가 38.23  $\mu\text{M}$ 로 높게 나와 그 당시 관측되었던 *Noctiluca*의 대번성과도 관계시켜볼 수 있다. 그러나 B6 와 B7 에서도 암모니아의 농도가 30  $\mu\text{M}$  정도의 높은 값을 나타낸 것으로 보아 동물성 플랑크톤의 대번성과는 결부될 수 없다. 더구나 B4의 경우에는 타정점들과 마찬가지로 낮은 부유물질의 양과 암모니아 농도를 보였다. 이것은 시료채취와 시료전처리시의 오탁 가능성을 생각해 볼 수도 있다. 그러나 일반적으로 코발트에 비해 니켈의 오탁 가능성이 더 크기 때문에 여기에 대한 가능성은 줄어든다. 따라서 이들 정점에서의 니켈을 제외한 중금속원소들의 높은 농도는 밝혀지지 않은 제3의 유입원에 의한 가능성으로 생각된다.

#### 5.4.2.2. 황해표층수중 용존성과 입자성 중금속과의 분배계수

1992년 4월에 조사된 황해표층수에서의 용존성 중금속과 입자성 중금속의 농도를  $C_p$ 와  $C_d$ 로 두 형태사이의 분배계수( $K_d$ ; distribution coefficient)를 계산하여 표층수중에 존재하는 부유입자의 특성을 파악해 보았다.

해수중에 존재하는 용존성 형태의 어떤 중금속의 농도를  $C_d$ , 입자성 형태의 농도를  $C_p$  라 하고 해수중에 있는 부유물질의 농도를  $f$  라고 하면, 두 형태사이의 농도의 분배계수는 식(1)과 같이 표현된다.

$$C_p/C_d = f * K_d \text{ ----- (1)}$$

이 식을 이용하여 각 정점에서의 각 원소에 대한 분배계수를 구하여 연안수(Coastal Ocean)에서의 분배계수(Brewer and Yeats, 1989)와 비교하는 그림을 그렸다(Fig. 5.21.). Table 5.21.에는 몇몇 정점과 A정점들에서의 평균치[A(avg)] 와 CC정점[C(avg)], 그리고 B와 D 정점들에서의 몇몇 이상치를 보이는 정점들을 제외한 분배계수의 평균치[B(avg), D(avg)]와 조사정점의 총평균치[K<sub>d</sub>(avg)]에 대한 값들과 하천수, 연안수 및 대양수에서의 각 원소의

Table 5.21 . Distribution coefficients of the heavy metal concentrations between water and particle in the surface water of the Yellow Sea.

STATION	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
B4	6.4E+04	9.4E+03	2.9E+04	9.6E+04	2.2E+04	1.0E+05
B5	2.8E+03	8.4E+02	1.3E+03	1.5E+03	2.6E+02	2.7E+03
D1	5.6E+05	4.5E+04	2.2E+04	5.0E+05	1.4E+04	1.8E+06
D11	4.3E+05	6.0E+04	4.9E+04	4.8E+05	5.1E+03	5.4E+05
A(avg)	1.3E+05	7.7E+03	1.1E+04	1.9E+05	2.0E+04	1.1E+05
B(avg)	7.0E+04	7.8E+03	2.6E+04	1.7E+05	1.6E+04	1.1E+05
C(avg)	6.4E+05	2.4E+04	1.7E+04	3.7E+05	7.5E+03	5.4E+05
D(avg)	5.8E+05	3.0E+04	2.6E+04	3.0E+05	1.1E+04	2.8E+05
Kd(avg)	3.7E+05	2.3E+04	2.7E+04	3.1E+05	1.3E+04	3.1E+05
RIVER*	9.0E+04	2.0E+04	8.0E+03	1.0E+04	2.0E+04	6.0E+04
COASTAL	3.0E+05	3.0E+04	5.0E+04	2.0E+04	3.0E+03	-
PELAGIC	3.0E+07	2.0E+05	1.0E+06	2.0E+05	4.0E+03	2.0E+07

\* : from Brewers and Yeats(1989)

분배계수를 보여준다. 그림에서 점선은 Y 축에서 연안수에서의 분배계수를 각각 대응시켜 만든 선이다. 여기서 분배계수가 높은 것은 상대적으로 입자에 쉽게 흡착되는 것을 뜻하며 각 원소의 분배계수는 그 원소의 생지화학적 특성을 반영하며 어떤 해역에서의 분배계수는 그 해역에 존재하는 입자의 특징을 나타낸다.

Fig 5.21(a) 는 모든 정점에서의 평균값과 평균값에 각각의 표준편차를 더해준 값이다. 니켈, 구리 및 코발트는 연안수의 분배계수와 비슷하나 아연과 카드뮴은 연안수보다 훨씬 높은 분배계수를 나타낸다, 이것은 아연과 카드뮴이 보통의 연안수에서보다 더 빨리 제거되어짐을 말해준다.

Fig. 5.21(b)는 A, B, CC, D 정점들에서 용존성 중금속 농도가 이상분포를 보인 정점들을 제외한 정점들에서의 각 원소의 분배계수의 평균을 표시한 그림이다. 여기에서도 카드뮴과 아연의 높은 분배계수를 보여주며 Fig. 5.21(c) 에서 B5는 모든 원소가 아주 낮은 분배계수를 나타내는데 B5에서 관측된 표층수층의 띠를 이룬 *Nocticula* 군집의 영향내지는 또 다른 중금속의 농도가 높고 분배계수가 낮은 물질의 유입으로 생각해 볼 수 있다. 왜냐하면 대량번성한 동물성플랑크톤군집이 폐사하여 조류나 바람에 의해 고밀도의 군집을 형성하였을 경우에 일반적인 생물에 의한 해수중 중금속의 능동적 제거기작에서 벗어나 오히려 분해 방출할 가능성이 있기 때문이다. 따라서 이 경우에는 분배계수가 줄어들게 된다. Fig. 5.21(d)는 연안 가까운 정점들에서의 각 원소의 분배계수를 보여준다. 이들 정점들도 대체로 황해전체의 평균값에 대한 값들에서 크게 벗어나지 않고 있다.

황해 표층수에서의 중금속 원소들의 용존성과 입자성 형태에 대한 분배계수의 특징은 아연이 일반 연안수에 비해 10배 정도 높으며 카드뮴도 다소 높다. 따라서나 황해에서의 이들원소의 제거속도는 빠를 것으로 예상되며 해수중에서의

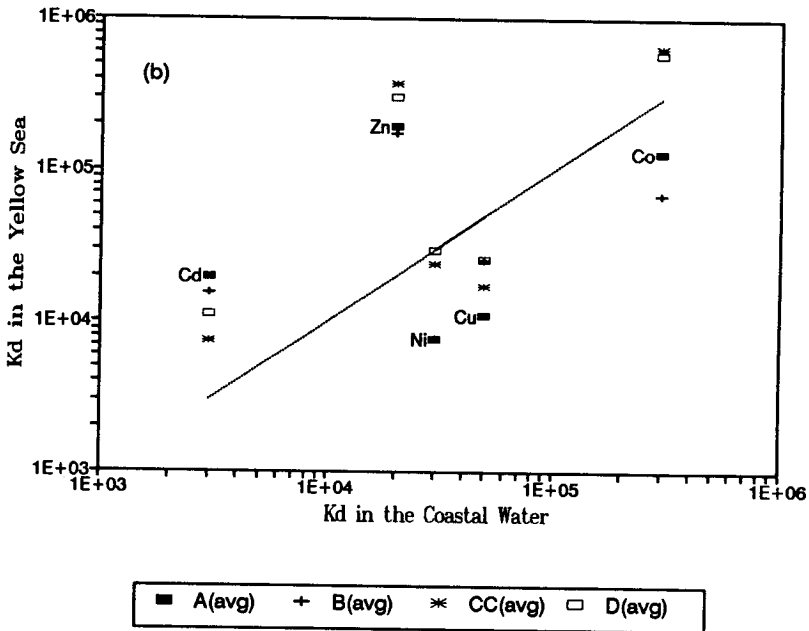
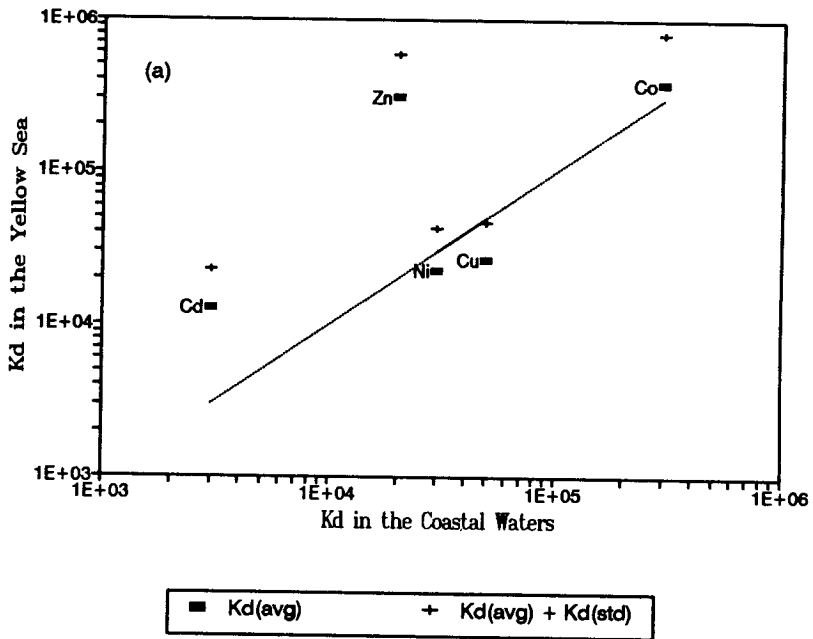
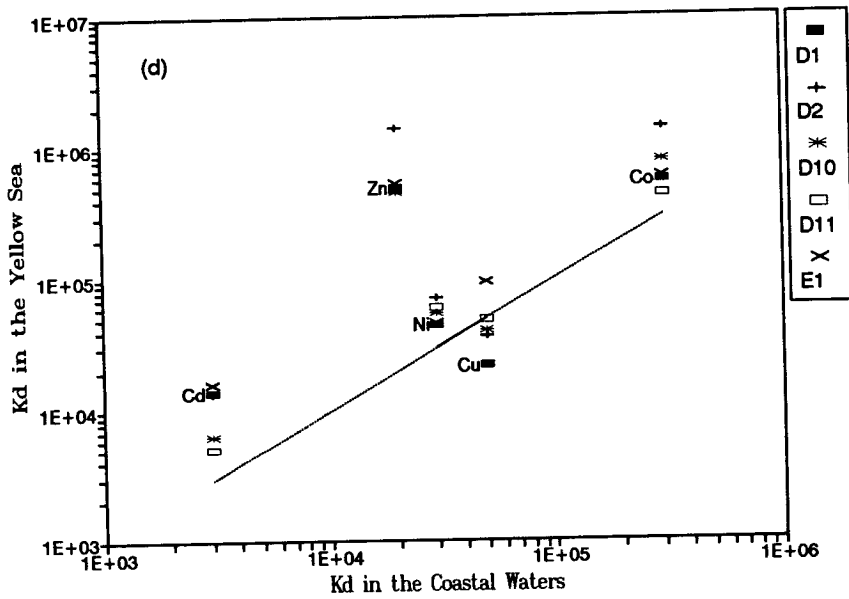
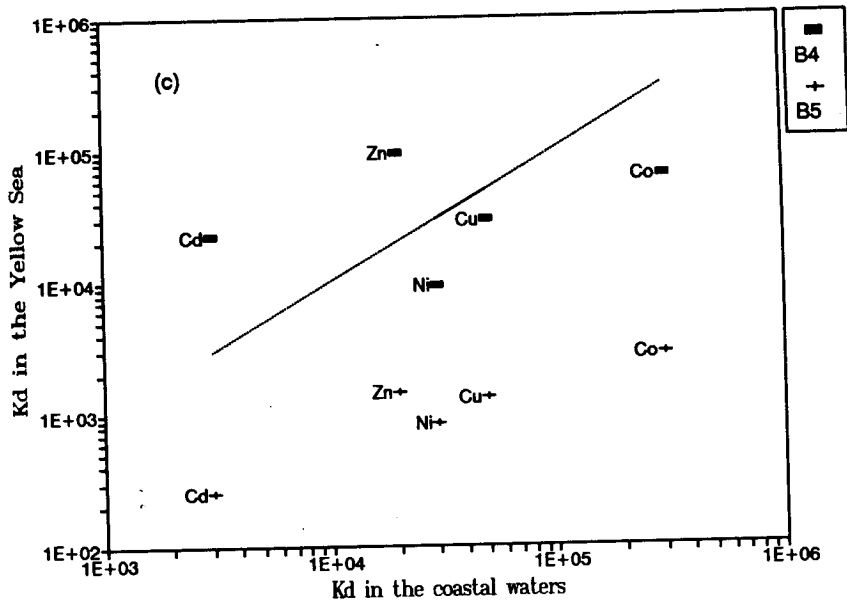


Fig. 5.21. Distribution coefficients of the heavy metal concentrations between water and particle in the surface water of the Yellow Sea. Dotted line show distribution coefficients in coastal ocean(Brewers andYeats, 1989).



-continued-



평균체류시간은 짧을 것으로 생각된다.

#### 5.4.3. 결론

조사해역에서의 니켈을 비롯한 6개 용존성 중금속의 표층수에서의 농도는 니켈과 코발트의 경우에는 대양의 표층수와 비슷한 값을, 그 외의 원소들은 대양에 비해 약간 높은 값을 나타내었다.

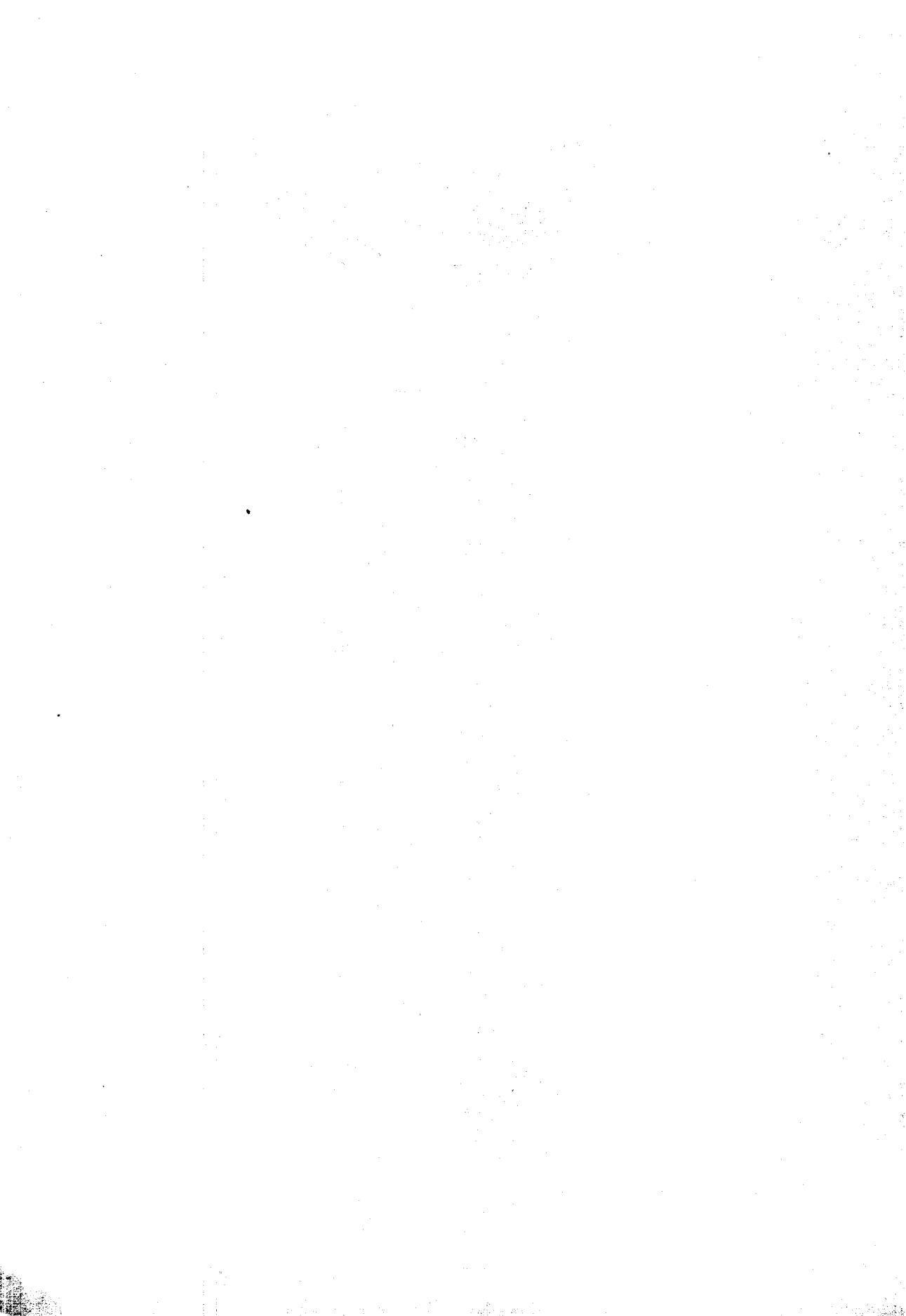
분포의 특징은 구리는 주로 하천수로부터 공급이 되며 황해의 동쪽 연안은 한 반도로부터 유입되는 하천수의 영향을 받는다. 그리고 황해동남쪽의 한반도 남서 해안은 코발트의 높은 농도가 나타나는데 이것은 소흑산도 근처의 고염수에 의해 빠르게 희석되거나 조류에 의해 형성된 퇴적물의 재부유에 의하여 제거되어진다. 카드뮴과 니켈도 구리의 농도분포와 다소 비슷한 특징을 보이나 상대적으로 하천수의 영향을 적게 받는다. 납과 아연은 뚜렷한 분포 특징을 보이지는 않았으며 이들 원소는 대기를 통하여 많은 양이 공급될 것으로 생각된다. 니켈은 3차례의 조사에서 모든 정점에 걸쳐서 가장 변화폭이 적었다. 해수중에 있는 입자와의 관계에서는 아연이 특히 일반적인 해양에서의 생지구화학적인 거동과는 달리 황해에서 높은 분배계수를 보여 빠른 제거기작이 있는 것으로 생각된다.

황해에서 중금속의 농도 분포 경향과 그 수지 관계를 정확하게 파악하기 위해서는 좀 더 상세한 조사연구가 요구되어진다.



# 제 6 장

## 결 론



## 6.1. 연구조사 항해

제 1차년도 : 해양의 생지구화학적 연구를 위한 기반기술 확립

KF9104 : 목포 - 흑산도 해역

제 2차년도 : YS9204 : 황해입구, 황해 중앙부 해역

제 3차년도 : YS9209 : 황해 전해역(인하대 공동조사)

YS9302 : 황해 남부해역

CSEX9211: 동중국해 대륙사면 해역

## 6.2. 현장조사 항목

수온, 염분,  $\delta^{18}O$  등 해수물리 특성

PAR, 광소산계수, 생체 형광량(in-vivo fluorescence)등 광특성

용존산소, 입자성 부유물, 입자 침강 플럭스, 식물색소(Chlorophyll a)

식물 주요 무기영양소(암모니아, 질산이온, 인산이온, 규산)

식물 기초생산력

식물플랑크톤 종조성과 생물량

동물플랑크톤 종조성

해저퇴적물 유기탄소, 질소, 공극수 화학조성

해수중의 용존 중금속, 해저퇴적물 중금속

해수 퇴적물 희토류 원소분포

## 6.3. 연구내용

황해해역의 해수화학 특성의 계절변동

춘계식물플랑크톤 대번식과 동계영양염 저장

황해식물 무기영양소의 기원

황해해저 유기물의 분포특성과 초기속성과정  
 혼탁해역에서의 기초생산력의 결정인자 규명  
 전선역 통과 플럭스 평가 이류-확산 모델 개발  
 황해 수괴 성인과 분포  
 황해 기초생산력  
 황해 식물 주요 무기영양소 수지  
 황해 중금속 수지

#### 6.4. 각년도별 연구개요

제 1차년도 : 해양생지화학적 조사 연구를 위한 기반기술 확립

KF9104 조사 항해(목포 - 소흑산도 해역) 실시  
 조석전선 기원 혼탁해역에서의 기초생산력 조절요인 조사  
 식물 플랑크톤 생산력과 박테리아 생산력의 uncoupling  
 전선역 통과 물질 플럭스 평가 위한 이류-확산 모델 제시

제 2차년도 : YS9204 조사항해(황해입구, 중앙부 해역) 실시

황해해수 광특성 조사  
 식물플랑크톤 춘계대번식 관측  
 고농도 입자성 부유물의 천해역과 저농도 입자성 부유물의  
 중앙부해역의 생지화학적 특성규명  
 이류-확산 모델의 황해입구 전역 적용  
 성층발달기간동안의 유광대 저층에서의 영양염류 축적과정 규명  
 $\delta^{18}O$  - 염분과의 관계에 의한 해수기원 규명시도  
 해저퇴적물의 유기물 함량분포와 초기속성과정

제 3차년도 : YS9209 조사항해(황해 전해역) 실시

황해 광역조사

YS9302 조사항해(황해 중남부 해역) 실시

동계 해양생지화학적 해황특성 규명

CSEX9211 조사항해(대륙사면해역) 실시

동중국해-쿠로시오-대륙사면 심층수-대양수 상호관계조사

대기로부터 황해로의 식물 주요 무기 영양소 유입영향조사

## 6.5. 종합토의

### 6.5.1. 황해의 수괴 성인과 분포

황해는 그 부피에 비하여 담수 유입량이 많고 또 천해로서 해수수온이 보존적이지 못하고, 북부 발해만의 계절적인 결빙과 해빙으로 염분역시 변화될 수 있으므로 이러한 영향을 거의 받지 않는 해수 보존성 추적자  $\delta^{18}\text{O}$ 를 도입하여 황해의 수괴분포와 그 기원을 규명하였다. 이러한 조사는 황해해역에서는 최초로 시도된 것이다. 황해의 수괴를 수온, 염분,  $\delta^{18}\text{O}$  을 기준으로 구분하면 황해의 동남부에 존재하는 황해난류수(YSWC)는 수온 11-15°C, 염분 34 - 35%,  $\delta^{18}\text{O}$  -0.2 - 0.2, 황해중부에 존재하는 황해냉수는 수온 10°C, 염분 32.5 - 33%,  $\delta^{18}\text{O}$  -0.5 - 0.0, 중국연안을 따라 분포하는 중국대륙 연안수는 수온 8 -10°C, 염분 32 - 32.5%,  $\delta^{18}\text{O}$  -0.5 - 1.0 으로 분류 할 수있다. 이들 수괴는 쿠루시오로부터 분기된 고온, 고염, 고  $\delta^{18}\text{O}$ 의 황해 난류수와 황해로 유입되는 여러강들의 영향을 받은 저염, 저  $\delta^{18}\text{O}$  의 수괴와 그 end-member 혼합에 의하여 형성된다. 그러나 동계 결빙과 해빙에 의하여 염분이 상승되고 하강된 해수의 남하에 의하여 황해해수가 영향을 받기도 한다.

### 6.5.2. 황해의 기초생산력

황해해역의 기초생산력 자료는 본연구기간에 수행된 것 이외에 입수가 가능한 중국측 자료를 정리 하였다. 황해의 연간 평균 기초생산력은 연  $165 \text{ g C/m}^2/\text{yr}^{-1}$  이고 전세계 해양의 총 기초 생산중 0.26% 를 차지하여 면적에 비하여 기여도가 높다. 황해해역의 기초생산력의 조절요인은 아래와 같다. 해안인접 천해역에서는 강한 조석작용으로 인한 높은 부유물 농도에 의하여 기초생산력은 빛조건에 의하여 주로 지배 된다. 그러나 중앙부 해역에서는 수직혼합이 잘 이루어지는 동계를 제외하고는 수온약층이 영양소공급을 제한하여 영양염 조건에 의하여 주로 지배된다. 유광대 저층으로 부터의 영양소 확산과 대기로부터 해표면 침적에 의한 신생산은 각각 12%와 8%에 이른다. 따라서 총 신생산은 약 20%이다. 다른 대륙붕해역에서 보다 신생산이 약간 높은 것은 대기로부터의 영양소 공급이 높기 때문이다.

### 6.5.3. 황해 식물 주요무기 영양소 수지

영양소의 계절변동 : 영양소류는 동계를 제외하고는 수심 0 - 30m 층(유광대)에서는 완전히 고갈되어 있으며 그이하 수층에서는 수심의 증가에 따라 영양소 함량도 증가 한다. 황해 중부해역에서 식물플랑크톤의 광합성이 표층혼합층의 두께보다는 유광대의 깊이에 주로 의존한다. 저층으로부터의 유광대로의 영양염류 공급은 시간에 따른 저층의 영양염류 축적율과 표층에서 하강하는 유기물을 레드필드 분자로 가정하여 추정하였다. 그양은 총 기초생산의 12% 내외로 차지하고 있다. 또한 동계기간의 영양소 농도 분포가 최초로 조사되어서 표층해양의 계절변동의 초기조건이 관측 되었다. 동계에 물기둥에 저장된 영양염의 총량은 모두 춘계 식물플랑크톤 대번식에 이용되는 것으로 판단되며 이는 물기둥에서의 영양소류 분포의 계절변화와 일치한다.



황해영양염류의 공급원 : 공급원은 인근 육지로 부터 하천수에 의한 유입, 대기로 부터의 유입, 해저퇴적물로부터의 재생, 수중에서 유기물 입자로 부터의 재생과 외해로 부터의 유입이다. 각각의 유입원에 대하여 현재까지의 입수가능한 자료를 총망라 하였다. 기초생산력이 정상상태를 유지한다고 가정하고 질소계 영양소에 대하여 각 유입원별 공급량은 다음과 같다. 하천 : 15.1, 대기 45.5, 해저퇴적물 재생 : 55.8, 수중입자분해 : 201.3 그리고 외해로 부터 유입은 79.9이다. 단위는  $\times 10^9 \text{ mol N yr}^{-1}$ 이다.

#### 6.5.4. 황해 중금속 수치

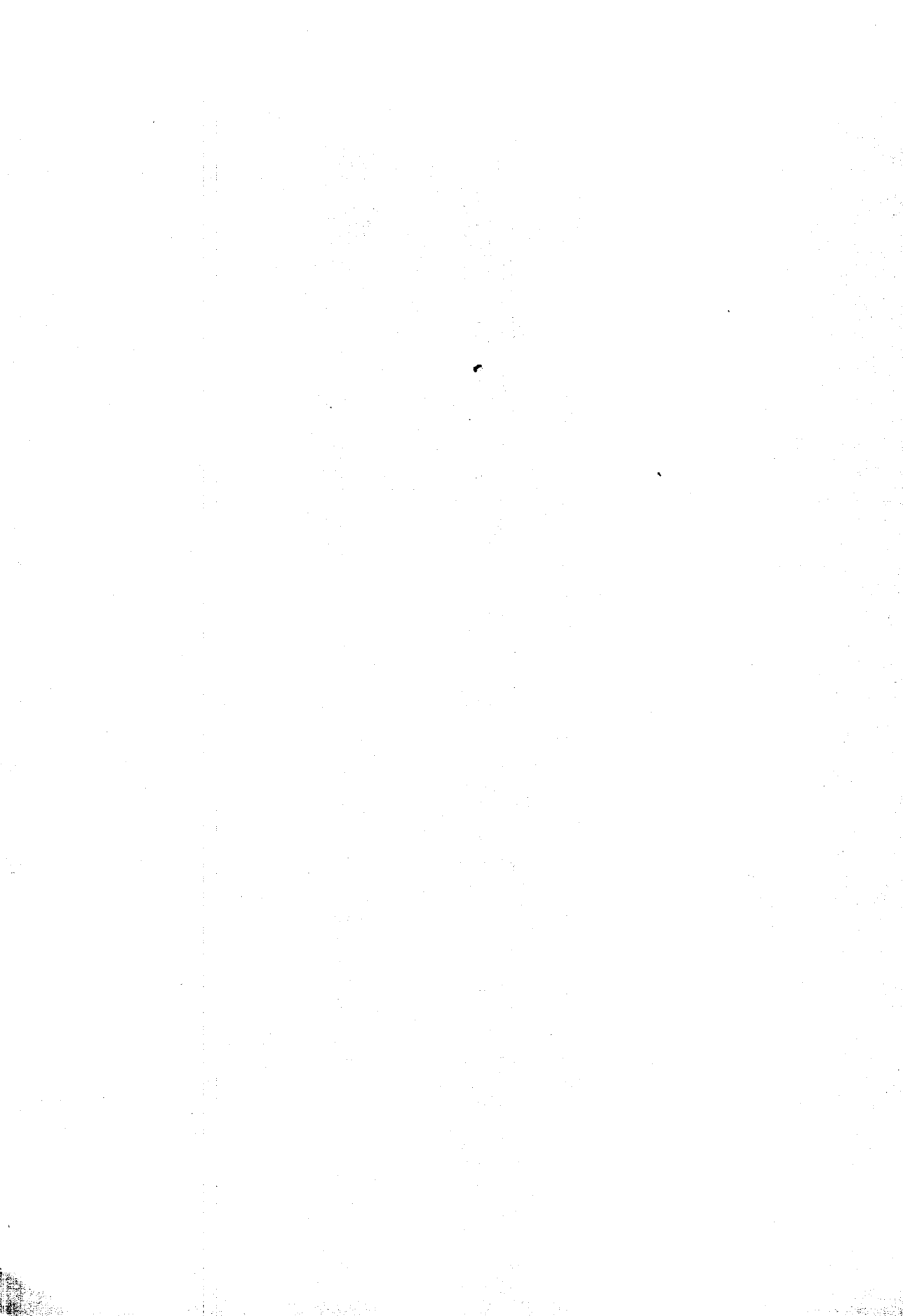
조사해역에서의 니켈을 비롯한 6개 용존성 중금속의 표층수에서의 농도는 니켈과 코발트의 경우에는 대양의 표층수와 비슷한 값을, 그 외의 원소들은 대양에 비해 약간 높은 값을 나타내었다.

분포의 특징은 구리는 주로 하천수로부터 공급이 되며 황해의 동쪽 연안은 한반도로부터 유입되는 하천수의 영향을 받는다. 그리고 황해동남쪽의 한반도 남서 해안은 코발트의 높은 농도가 나타나는데 이것은 소흑산도 근처의 고염수에 의해 빠르게 희석되거나 조류에 의해 형성된 퇴적물의 재부유에 의하여 제거되어진다. 카드뮴과 니켈도 구리의 농도분포와 다소 비슷한 특징을 보이나 상대적으로 하천수의 영향을 적게 받는다. 납과 아연은 뚜렷한 분포 특징을 보이지는 않았으며 이들 원소는 대기를 통하여 많은 양이 공급될 것으로 생각된다. 니켈은 3차례의 조사에서 모든 정점에 걸쳐서 가장 변화폭이 적었다. 해수중에 있는 입자와의 관계에서는 아연이 특히 일반적인 해양에서의 생지구화학적인 거동과는 달리 황해에서 높은 분배계수를 보여 빠른 제거기작이 있는 것으로 생각된다.

황해에서 중금속의 농도 분포 경향과 그 수치 관계를 정확하게 파악하기 위해서는 좀 더 상세한 조사연구가 요구되어진다.



# 참 고 문 헌



- 윤 용훈, 1986. 황해저층냉수의 특성 규명과 남하 증거. 제주 대학교 석사 학위 논문: 55p.
- 윤 용훈, 박 용항, 봉 종현, 1991. 황해저층냉수의 특성과 남하에 대한 재조명. 한국 지구과학회지, 12(1):25-37.
- 이석우, 1992. 한국근해 해상지. 334p.
- 조 준성, 1988. 서해 천수만의 기초생산력 및 영양염의 동적순환에 관한 연구. 인하대학교 이학석사 학위논문. 152p.
- 최 상, 정 태화, 1965. 한국연안수역의 기초생산. 원자력연구소록집. 3(1):42-57.
- 최종기, 1987. 경기만 바깥수역의 천해전선이 식물플랑크톤 생산력과 군집에 미치는 영향. 과학재단 연구보고서. 709p.
- 한국해양연구소, 1988. 한국해역 종합 해양자원도 작성연구 - 남해(2차년도) - BSPG00062-200-7
- 한국해양연구소, 1989. 한국해역 종합 해양자원도 작성연구 - 남해(3차년도) - BSPG00091-251-7
- 한국해양연구소, 1990. 한국해역 종합 해양자원도 작성연구 - 남해 - BSPG00116-313-3
- 한국해양연구소, 1991. 한반도 주변해역의 화학물질수지 및 순환연구 (서남해역), 제1차년도 보고서. BSPG 00132-391-4. 143p.
- 한국해양연구소, 1992. 한반도주변해역의 화학물질 수지 및 순환연구(서남해역), 제 2차년도 보고서. BSPG 00149-489-4. 231p.
- 미원통상(주), 1992. 미원통상(주) 지정배출해역에 대한 해양환경영향평가서. 폐기물의 해양배출('88 - '91)에 따른 해양환경변화에 대한 조사평가연구. 391p.
- Alexander C.R., D.J.DeMaster and C.A. Nittrouer, 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting:The Yellow Sea. Marine Geology, 98:51-72.
- Beardsley, R.C., R. Limeburner, H. Yu and G.A. Cannon, 1985. Discharge

- of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. Cont. Shelf Res., 4:57-76.
- Bewers J.M. and P.A. Yeats, 1989. Transport of river-derived trace metals through the coastal zone. J. Sea Research, 23(4):359-368.
- Billen, G., C. Lancelot and M. Meybeck, 1991. N.P. and Si retention along the aquatic continuum from land to ocean. In R.F.C. Mantoura, J.-M. Martin and R. Wollast(eds), Ocean Margin Processes in Global Change, pp19-44. John Wiley & Sons. New York.
- Bowman, M.J., and W.E. Esaias, 1978. Oceanic fronts in coastal processes. Springer-Verlag, 114p.
- Broecker, W.S., T. Takahashi, H.T. Simpson, and T.H. Peng, 1979. Fate of fossil fuel carbon dioxide and the global carbon budget. Sci., 206:409-418.
- Bruland, K.W., R.P. Franks, G.A. Knauer and J.H. Martin, 1979. Sampling and analytical methods for the determination of Cu, Cd, Zn, and Ni at the nanogram per liter level in sea water. Anal. Chim. Acta, 105:233-245.
- Bruland, K.W.. 1980. Earth Planet. Sci. Lett., 47:176.
- Bruland, K.W. 1983. In "Chemical Oceanography" Vol.8 (J.P. Riley and R. Chester, ed), Academic Press, London and New York.
- Bruland, K. W. and R.P. Franks, 1983. Mn, Ni, Cu, Zn and Cd in the western North Atlantic. In: C.S. Wong, E. Boyle, K.W. Bruland, J.D. Burton and E.D. Golderberg. Trace metals in seawater. Plenum Press, New York: pp. 395-414.
- Burkholder, P. and E.F. Mandalli, 1965. Productivity of microalgae in Antarctic sea ice. Science, 149:872-874.
- Carpenter, E.J., 1983. Nitrogen fixation by marine Oscillatoria (Trichodesmium) and the world's oceans. in Carpenter and Capone(ed.)

Nitrogen in the marine environment Academic Press, pp.62-103.

- Chen, J.H., Zhu, Y. Dong and J. Sun 1983. Development of the Changjiang estuary and its subaqueous delta. In : Sedimentation on the continental shelf with special reference to the East China Sea, Springer-Verlag, Berlin, pp.37-55.
- Chen, C., 1989. The structure of the Kuroshio west of Kyushu. M.S. Thesis, MIT-WHOI, 137p.
- Chen, D., 1991. Perspective of the UN convention for the Law of the sea and regional cooperation on protection and preservation of marine environment. International conference on maritime issues in the 1990s. Yonsei Univ. Seoul, Korea.
- Choi, J.K., 1985. The ecological study of phytoplankton in Gyeonggi Bay, Korea. SNU Ph.D Thesis, 137p.
- Choi, J.K., 1988. The study on the biological productivity of the fishing ground in the western coastal area of Korea, Yellow Sea. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 42:143-168.
- Choi, J.K., 1991. The influence of the tidal front on primary productivity and distribution of phytoplankton in the mideastern coast of Yellow Sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 26(3):223-241.
- Choi, J.K., M. Chang, E.J. Yang, M.Y. Lee, 1992. Distribution and standing crop of phytoplankton in the Yellow Sea. In the Exploit. Res. Mar. Res. on the Yellow Sea, Inha Univ., pp.415-514.
- Choi, J.K., E.J. Yang, K.C. Park, 1992. Primary production and chlorophyll distribution in the Yellow Sea. In the Exploit, Res, Mar. Res. on the Yellow Sea. Inha Univ., pp.515-535
- Chough S. K. and D. C. Kim, 1981. Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea: a steady state model. Journal of Sedimentary Petrology, 51:721-728.

- Chung, C.S., J.H. Shim, Y.C. Park and S.G. Park, 1989. Primary productivity and nitrogenous nutrient dynamics in the East Sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24(1):52-61.
- 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.
- Chung, C.S. and D.B. Yang, 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26(3):242-254.
- Chung, K.H. and Y.C. Park, 1988. Primary production and nitrogen regeneration by macrozooplankton in Kyunggi Bay, Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 23:194-206.
- Colinvaux, P.A., 1973. *Introduction to ecology*. Wiley.
- Delfino, J.J. and Otto, R.G., 1986. Trace metal transport in two tributaries of the upper Chesapeake bay: The Susquehanna and Bush Rivers. *Mar. Chem.*, 20:29-44.
- DeMaster, D.J., 1981. The supply and accumulation of silica in the silica in the marine environment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45:1715-1732.
- Edmond J.M., Spivack A., Grant B.C., Hu Ming-Hui, Chen Zexiam, Chen Sung, and Zeng Xiushau, 1985. Chemical dynamics of the Changjiang estuary. *Continental Shelf Research*, 4(1/2):17-36
- Eppley, R.W., 1988. New production : History, methods, problems .In W.H.Berger, V.S. Smetack and G.Wefer (eds). *Productivity of the ocean : Present and Past*. pp.85-97. John Wiley & Sons. Ltd.
- Fee, E.J., 1969. A numerical model for the estimation of photosynthetic production, integrated over time and depth, in natural waters. *Limnol. Oceanogr.*, 14:906-911.
- Gaarder, T., and H.H. Gran, 1927. Investigation of the production of



- plankton in the Oslo Fjord Reppt. Process-verbaux Reunions, conseil perm. Intern. Expl. Mer., 42:1-48.
- Glibert, P.M., 1982. Regional studies of daily, seasonal and size fraction variability in ammonium remineralization. *Mar. Biol.*, 68:209-222.
- Grobbelaar, J.U., and P. Stegmann, 1976. Biological assessment of the euphotic zone in a turbid man-made lake, *Hydrobiologic*, 48(3):263-266.
- Gu, H., 1990. Marine chemistry of the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea. Science Press. Beijing, 458p.
- Gu, H., 1991. Marine Chemistry of the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea. Science Press, Beijing, 500p.
- Harris, C.L., 1975. Primary production in the Ala Wai Canal, a small tropical estuary. Hawaii institute of Geophysics.
- Hong, G.H., 1988. A study on the geochemistry of the Han River and Soyang Lake, Korea. Korea Ocean Research & Development Institute Report, BSPE00115-185-4.
- Hong, G.H., S.H. Kim, C.S. Chung, S.J. Pae, 1992. The role of the nutrient input in the carbon fixation of the coastal ocean: Yellow Sea, A preliminary study, *Global and Planetary Change* (in press).
- Hu, M.-H. , R.F. Stallard, J.M. Edmond, 1982. Major ion chemistry of some large Chinese rivers. *Nature*, 298:550-553.
- Huh, O.K., 1982. Spring season flow of the Tsushima Current and its separation from the Kuroshio: Satellite evidence. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 4:71-82.
- Jassby, A.D. and T. Platt, 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 21:540-547.
- Jones, P. G. and WandJefferies, D. F., 1983. *Can. J. Fish. Agnat. Sci.*, 40

(Suppl.2):111-123.

- Kang, Y.S., 1991. Primary productivity and assimilation number in the Kyongi Bay and in the eastern coast of Yellow Sea. MS thesis, Inha Univ. 128p.
- Kang, Y.S., J.K. Choi, K.H. Chung, and Y.C. Park, 1992. Primary productivity and assimilation number in the Kyongi Bay and the mid-eastern coast of Yellow Sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 27(3):237-246.
- Ki, J.H. and K.R. Kim, 1987. Studies on chemical and biological processes in the Keum River Estuary, Korea. 1. The cycle of dissolved inorganic nitrogen: general consideration. J. Oceanol. Soc. Korea, 22:191-206.
- Koblentz-Mishke, O.J., V.V., Volkovinsky, and J.G., Kabanova, 1970. Plankton primary production of the world ocean. In: Scientific Exploration of the South Pacific. Natl. Acad. Sci., Washington, D.D., standard Book No. 309-01755-6., pp.84-94.
- Koblentz-Mishke, O.I., 1967. Primary production. (Russ). In V.G. Kort (Ed). Tychiy okean, biologiya Tychogo okean, vol. I. Plankton, Nauka, Moscow., pp.86-97.
- Kondo, M., 1985. Oceanic investigation of fishing grounds in the East China Sea and Yellow Sea I., Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab., No. 62.
- KORDI, 1986. Tidal front in the southwest area off Korea. BSPE 00058-93-1
- KORDI, 1987. Oceanographic Atlas of Korean Waters. Vol.1. Yellow Sea
- KORDI, 1988. A study on the geochemistry of the Han River system and Soyang Lake. BSPE00115-185-4.
- KORDI, 1989. Sea/Air exchange in Yellow Sea. BSPE 00129-221-4.
- KORDI, 1991. Coastal ocean flux study in the mouth of the Yellow Sea. BSPG 00132-391-4.
- Lie, H. -J., 1984. A note on water masses and general circulation in

- the Yellow Sea (Hwanghae). *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 19(2):187-194.
- Lie, H. -J., 1986. Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. *Prog. Oceanogr.*, 17: 229-242.
- Li Peiquan, Chih-An Huh, Zhixin Zhang, Weizhi Tian and Lu Guanshan (1990) Neutron activation analysis(NAA) and geochemical studies of 38 elements in surface sediments from lower reach and estuary of Huanghe(Yellow) River. *Acta Oceanologica Sinica*, 9(2):227-246
- Lindeman, R.L., 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology* 23:399-418
- Liu Tungsheng, 1988. Loess in China. China Ocean Press Bejiang. 224p.
- Lorenzen, C.J., 1963. Diurnal variation in photosynthetic activity of natural phytoplankton population. *Limnol. Oceanogr.*, 8:56-62.
- Lu, R., and M. Zhu, 1992. The primary productivity in Shandong coastal Waters. *J. Oceanogr. Huanghai & Bohai Seas.*, 10(1):42-47.
- MacCaul, W.A. and T. Platt, 1977. Diel variation in the photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 22(4),723-731.
- Madariaga, I. de and E. Orive, 1989. Spatio-temporal variations of size-fractionated primary production in the Gernika estuary. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 127:273-288.
- Magnusson, B. and S. Westerland, . 1980. *Marine Chemistry* 8:231-244.
- Martand, L. and H.W. Nurnberg, 1986. *Marine Chemistry*, 18:197-213.
- Malone, T.C., 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. *Phytoplankton communities. Limnol. Oceanogr.*, 16(4):633-639.

- Malone, T.C., 1977. Environmental regulation of phytoplankton productivity in the lower Hudson Estuary. *Estuar. and Coastal Mar. Sci.* 5:157-171.
- Martand, L. and Nürnberg, H.W., 1986. *Marine Chemistry*, 18:197-213.
- Meybeck, M., 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *Am. J. Sci.*, 282:401-450.
- Milliman, J.D. and R.H. Meade, 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans *J. Global.*, 91:1-21
- Murozumi, M. and S. Nakamura, 1981. Isotope dilution surface ionization mass spectrometry of trace constituents in natural environments and in the Pacific. *Bunseki Kagaki*. 30: 519-526.
- Nakao, T. 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Tech.*, Sp. 3:199-367.
- Nishimura, S., 1983. Okhotsk Sea, Japan Sea, East China Sea. In *Estuaries and Enclosed seas*. (ed) Ketchum, Elsevier, pp.375-401.
- Nitani, H. 1972. Beginning of the Kuroshio. in *Kuroshio: Its physical aspects*. ed. by H. Stommel and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press, pp.129-156.
- Nixon, S.W. and M.Q. Pilson, 1983. Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystem. in E.J. Carpenter and D.G. Capone (ed.) *Nitrogen in the marine environment*. Academic Press, pp.565-648.
- Odum, E.P., 1971. *Fundamentals of ecology*. Saunders
- Park Y.A. and Khim B.K., 1990. Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental shelves. *Continental Shelf Research*, 10(12):1179-1191.
- Parsons, T.R., M. Takahashi, and B. Hargrave, 1984. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press.

- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, 173p.
- Pingree, R.D., and J.H. Simpson, 1978. Shallow sea fronts produced by tidal stirring. Springer-Verlag B.H.N.Y., pp.29-47.
- Pingree, R.D., and L. Maddock, 1977. Tidal residuals in the English Channel. J. Mar. Biol. Assn of U.K., 57:339-354.
- Postma, H., 1978. The nutrient content of North Sea water: Change in recent years, particularly in the Southern Bight. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer., 172:350-352.
- Pubinsky, Z. and T. Berman. 1976. Light utilization efficiencies of phytoplankton in Lake Kinneret(Sea of Galilee). Limnol. Oceanogr., 21:226-230.
- Qin, Y and F. Li, 1983. Study of influence of sediment loads discharged from Hunghe river on sedimentation in Bohai Sea and Haunghai Sea. in Sedimentation and sedimentation rate of the continental shelf with special references to the East China Sea, v.1, China Ocean Press Beijing, pp.91-100.
- Riley, G.A., 1946. Factors controlling phytoplankton populations on Georges Bank. J. Mar. Res., 6:54-73.
- Ryther, J.H., 1956. Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. Limnol. Oceanogr., 1:61-70.
- Ryther, J.J., 1963. Geographic variations in productivity pp. 347-380, in "The Sea" (edit. M.N. Hill), Vol II, Intersci, John Wiley, New York.
- Ryther, J.H., 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. Science, 1966:72-76.
- Shen, Z., and X. Liu, 1988. Nutrient in seawater and interstitial water of the sediments in the Huanghe river estuarine area. Chin. J. Oceanol.

Limnol., 6(2):104-114.

- Shim, J.H. and Y.C. Park, 1986. Primary productivity measurement using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korean. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21(1):13-24.
- Son, S.K., K.H. Chung, J.S. Jo, and Y.C. Park, 1989. Seasonal variation of nutrients, total dissolved free amino acids and bacterial biomass in the Yellow Sea. *Yellow Sea Res.*, 2:1-12.
- Steemann-Nielsen, E., 1952. The use of radioactive carbon ( $^{14}\text{C}$ ) for measuring organic production in the sea. *J. Cns.*, 18:117-140.
- Steemann-Nielsen, E. and V.K. Hansen, 1959. Light adaptation in marine phytoplankton population and its interrelation with temperature. *Physiol. Plant.*, 12:353-370.
- Strickland, J.D.H., and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Canada, Bull.*, 167:311.
- Strickland, J.D.H., 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 122:1729.
- Suess, E., 1980. Particulates organic carbon flux in the oceans: surface productivity and oxygen utilization. *Nature*, 288:260-263.
- Talling, J.F., R.B. Wood, M.V. Prosser, and R.M. Baxter, 1973. The upper limit of photosynthetic productivity by phytoplankton: evidence from Ethiopian Soda lakes. *Freshwater Biol.*, 3: 53-76.
- Taniguchi, A., 1972. Geographical variation of primary production in the western Pacific ocean and adjacent sea with reference to the inter-relation between various parameters of primary production. *Mem. Fac. Hokkaido Univ.*, 19(1/2): 1-33.
- Tilzer, M.M., 1983. The importance of fractional light absorption by photosynthetic pigments for phytoplankton productivity in lake

- Constance, *Limnol. Oceanogr.*, 28(5):833-846.
- 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.
- Walsh, J.J., G.T. Rowe, R.L. Iverson and C.P. MoRoy, 1981. Biological export of shelf carbon is a neglected sink of the global CO<sub>2</sub> cycle. *Nature*, 291:196-201.
- Walsh, J.J., 1988. On the nature of continental shelves. Academic Press, 520p.
- Wang Zhenfang, Zhang, B.Z. and Zhang, J., 1989. Symposium on biogeochemical study of the Changjiang Estuary and its adjacent East China Sea coastal water. China Ocean Press, pp.103-112.
- Wang Zhengfang, Gong Min, Lu Yong, Ruan Zheng, Qui Huaying and Wang Hong. 1992. Analysis of Cu, Cd, Co and in surface water of the Kuroshio area in the East China Sea. *J.Oceanol.Limnol.*, 10:224-230.
- Wang, Y., and D.G. Aubrey, 1987. The characteristics of the China coastline. *Cont. Shelf Res.*, 7:329-349.
- Wen, L-S., K.-K.Liu, S.-C.,Pai and C.-T.Liu, 1989. Apparent oxygen utilization in the western Philippine Sea and shelf waters near Taiwan. *Acta Oceanogr. Taiwanica*, 23:19-32.
- Woodwell, G.M., R.H. Whittaker, W.A. Reiners, G.E. Likens, C.C. Delwiche, and D.B. Botkin, 1978. The biota and the world carbon budget. *Sci.*, 199:144-146.
- Yurtsever, Y and J.R. Gat, 1981. Atmospheric waters. in *Stable isotope hydrology: Deuterium and oxygen-18 in the water cycle*, ed. by J.R. Gat and R. Gonfiantini, IAEA technical report series No.21, IAEA, Vienna, 103-142.