

碩 士 學 位 論 文

濟州道 西南方 東中國海에서 夏季  
海洋前線 形成과 水質의 特性



海洋學科

허 만 영

2002年 12月

# 濟州道 西南方 東中國海에서 夏季 海洋前線 形成과 水質의 特性

指導教授 崔 永 贊

허 만 영

이 論文을 理學碩士學位 論文으로 提出함



許晚榮의 理學碩士學位 論文을 認准함

審査委員長\_\_\_\_\_ (인)

委 員\_\_\_\_\_ (인)

委 員\_\_\_\_\_ (인)

濟州大學校 大學院

2002年 12月

The Formations of fronts sea area and  
Characteristics of water quality at East China Sea  
in southwestern sea of Jeju Island in summer

Man-Young Heo

(Supervised by Professor Young Chan Choi)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

This thesis has been examined and approved

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2002. 12

# 목 차

List of Figures .....	iv
Abstract .....	vi
I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	3
2.1. 조사방법 .....	3
2.2. 분석방법 .....	3
2.2.1. Water temperature, salinity, density 및 pH .....	3
2.2.2. Nutrients(무기영양염류) .....	4
2.2.3. Chlorophyll a (식물색소 a) .....	5
2.2.4. Dissolved oxygen(DO ; 용존산소) .....	5
2.2.5. Chemical oxygen demand(COD ; 화학적 산소요구량) .....	6
2.2.6. Suspended solid(SS ; 부유물질) .....	6
III. 결과 및 고찰 .....	7
3. 해역별 특성 .....	7
3.1 A line(33°30' N, 126°E ~ 31°30' N, 126°E) .....	7
3.1.1. Water temperature .....	7
3.1.2. pH .....	8
3.1.3. Salinity .....	9
3.1.4. Density( $\sigma_t$ ) .....	10
3.2 B line(31°30' N, 126°E ~ 33°30' N, 122°E) .....	11

3.2.1. Water temperature .....	11
3.2.2. pH .....	12
3.2.3. Salinity .....	13
3.2.4. Density( $\sigma_t$ ) .....	14
3.3. C line(31°30' N, 122°E ~ 33°30' N, 126°E) .....	15
3.3.1. Water temperature .....	15
3.3.2. pH .....	16
3.3.3. Salinity .....	17
3.3.4. Density( $\sigma_t$ ) .....	18
3.4. 전선역에서의 체반특성 .....	19
3.4.1. Water temperature, salinity, density .....	19
3.4.2. 영양염류의 특성 .....	21
3.4.2.1. B line(TIN, TP, SiO <sub>2</sub> -Si) .....	21
1) Total inorganic nitrogen(TIN) .....	21
2) Phosphate(PO <sub>3</sub> <sup>-4</sup> -P) .....	22
3) Silicate silicon(SiO <sub>2</sub> -Si) .....	22
3.4.2.2. C line(TIN, TP, SiO <sub>2</sub> -Si) .....	23
1) Total inorganic nitrogen(TIN) .....	23
2) Phosphate(PO <sub>3</sub> <sup>-4</sup> -P) .....	24
3) Silicate silicon(SiO <sub>2</sub> -Si) .....	25
3.4.3. Chlorophyll a .....	26
3.4.3.1. B line .....	26
3.4.3.2. C line .....	27
3.4.4. Dissolved oxygen(DO) .....	28

3.4.4.1. B line .....	28
3.4.4.2. C line .....	29
3.4.5. Chemical oxygen demand(COD) .....	30
3.4.5.1. B line .....	30
3.4.5.2. C line .....	31
3.4.6. Suspended solid(SS) .....	32
3.4.6.1. B line .....	32
3.4.6.2. C line .....	33
3.5. 외양전선역에서의 영양염 공급기구와 엽록소 a 농도 .....	34
<b>IV. 요약</b> .....	<b>36</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>37</b>



제주대학교 중앙도서관

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

# List of Figures

Fig. 1. Location of sampling station in the East China Sea .....	3
Fig. 2. Vertical distribution of value of water temperature(°C) in study area at A-line .....	8
Fig. 3. Vertical distribution of value of pH in study area at A line .....	9
Fig. 4. Vertical distribution of value of salinity(‰) in study area at A-line .....	10
Fig. 5. Vertical distribution of value of density( $\sigma_t$ ) in study area at A-line .....	11
Fig. 6. Vertical distribution of value of water temperature(°C) in study area at B-line .....	12
Fig. 7. Vertical distribution of value of pH in study area at B-line .....	13
Fig. 8. Vertical distribution of value of salinity(‰) in study area at B-line .....	14
Fig. 9. Vertical distribution of value of density( $\sigma_t$ ) in study area at B-line .....	15
Fig. 10. Vertical distribution of value of water temperature(°C) in study area at C-line .....	16
Fig. 11. Vertical distribution of value of pH in study area at C-line .....	17
Fig. 12. Vertical distribution of value of salinity(‰) in study area at C-line .....	18
Fig. 13. Vertical distribution of value of density( $\sigma_t$ ) in study area at C-line .....	19
Fig. 14. Vertical distribution of value of total inorganic nitrogen(TIN; $\mu\text{g-at/}$ ) in study area at B-line .....	21
Fig. 15. Vertical distribution of value of phosphate( $\text{PO}_3^{-4}\text{-P}$ ; $\mu\text{g-at/}$ ) in study area	

at B-line .....	22
Fig. 16. Vertical distribution of value of silicate silicon( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ; $\mu\text{g-at}/\ell$ ) in study area at B-line .....	23
Fig. 17. Vertical distribution of value of total inorganic nitrogen(TIN; $\mu\text{g-at}/\ell$ ) in study area at C-line .....	24
Fig. 18. Vertical distribution of value of phosphate( $\text{PO}_3^{-4}\text{-P}$ ; $\mu\text{g-at}/\ell$ ) in study area at C-line .....	25
Fig. 19. Vertical distribution of value of suspended solid( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ; $\mu\text{g-at}/\ell$ ) in study area at C-line .....	26
Fig. 20. Vertical distribution of value of chlorophyll a( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in study area at B-line .....	27
Fig. 21. Vertical distribution of value of chlorophyll a( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in study area at C-line .....	28
Fig. 22. Vertical distribution of value of dissolved oxygen(DO; $\text{mg}/\ell$ ) in study area at B-line .....	29
Fig. 23. Vertical distribution of value of dissolved oxygen(DO; $\text{mg}/\ell$ ) in study area at C-line .....	30
Fig. 24. Vertical distribution of value of chemical oxygen(COD; $\text{mg}/\ell$ ) demand in study area at B-line .....	31
Fig. 25. Vertical distribution of value of chemical oxygen demand(COD; $\text{mg}/\ell$ ) in study area at C-line .....	32
Fig. 26. Vertical distribution of value of suspended solid(SS; $\text{mg}/\ell$ ) in study area at B-line .....	33
Fig. 27. Vertical distribution of value of suspended solid(SS; $\text{mg}/\ell$ ) in study area at C-line .....	34
Fig. 28. Schematic of nutrients provision(A) and phytoplankton growth(B) in front sea area. ....	35



## Abstract

This study is the observations on the characteristics of the open-sea front zone in the east sea of China, the west-south from Jeju island, which was observed late in August, 1997. The water temperature of 50m depth layer is 26°C at 124° E and lat. 31°30'N, station B4 in B line. It is higher than Shanghai, China or the west-east from Jeju island. And so the front zone, in which the top and bottom of this sea area is mixed, is formed in B line. The salinity of this region is 33.4 psu. It is higher than the coastal zone of China and lower than the open-sea zone. And the top and bottom of this sea area is mixed, too. This supports that the front zone is formed as the water temperature.

The top and bottom of this sea area is mixed at 124°30'E and lat. 33°N, station C6 in C line. The stratification toward Jeju and China shows up with this sea area in the center. The salinity is, the difference from the bottom layer is 0.2%, 32 psu. The salinity shows with below 30 psu in the sea area toward China and above 33 psu toward Jeju. We can know from this that it is divided definitely.

As a result, we can know that the front zone of the open-sea area is formed at 124°E in the direction of the east of the Chang Jiang river and 124°30'E of the east-north. It is the thing which is caused by the drain of the fresh water of the Chang Jiang river. The nutrient salt characteristics of this front zone is high in the coastal area of China. The difference of concentration between surface and bottom layer is clear in the open-sea zone. But it is almost same in up and down area of this area. And the concentration of this front zone is low.

The concentration of chlorophyll-a is high in the coastal area of China and the open-sea zone but is low in this area. But the concentration of the dissolved oxygen is the lowest in the middle of the front zone.

Judging from the above, first, the productivity in the sea zone in which the

front zone is formed is getting low in activating phytoplankton. It is owing to increasing of the current in the course of mixing the top and bottom. Next, according to the amount of the drain of fresh water of Chinese continent which forms the open-sea front zone, there is the possibility that the front zone can be wide so far as Jeju island.



## I. 서론

일반적으로 해양에서 전선을 서로 다른 수괴간의 불연속면이라 부른다. 이러한 전선의 양측면에는 유속, 수온, 염분, 수질 등이 급변한다.

전선에는 외양역전선, 연안역전선, 혼합형 전선으로 구분되어지고 있다. 외양역 전선으로는 제주도 남방해역에서 쿠로시오(Kuroshio) 전선, 한국동해북부해역에서 오야시오전선, 아한대수와 쿠로시오의 아한대전선, 그리고 중위도 해역에서 나타나는 아열대 수속선인 아열대 전선 등이 구분되어지며, 연안역 전선에는 연안용승전선, 하구역 전선, 내만연안전선, 조석전선이 나타내어지고 있다.

혼합형 전선은 외양, 연안 전선의 중간형태나, 연안에서도 육상수 유입과 유입이 없는 해역에서 나타나는 전선을 구분할 때 쓰여진다.

연구해역인 동중국해(East China Sea) 및 제주도 주변 해역은 대부분 수심이 200m이하의 대륙붕으로 형성된 천해역으로 북쪽으로는 우리나라 황해와 접해있고 남쪽으로는 북태평양과 접해있으며 제주도 동쪽 대한해협을 통해 동해와 접해있다. 특히 제주도 주변해역은 대마난류수, 중국대륙육상수유입, 황해냉수괴, 한국 남해육상수 유입 등으로 복잡한 양상을 띠는 해역으로 동중국해 대륙붕 가장자리를 따라 쿠로시오의 지류인 고온고염인 대마난류수가 겨울철에는 북서쪽으로 확장하고(Nitani, 1972), 여름철에는 남동쪽으로 후퇴하는 계절변화를 하는 것으로 보고되고 있다(방과 김, 1989; Guan, 1994).

그러므로 동중국해 및 제주주변해역에 출현하는 고온·고염의 난류세력과 저온·저염의 냉수세력 및 연안수들 사이에 수온·염분 전선이 형성되며 특히 여름철에는 중국대륙육상수중 양쯔강(長江)의 유입으로 표면 염분을 저하시키는 수괴가 제주도 서북해역까지 그 세력권을 형성하여(김, 1986; Lie, 1986) 연안 전선역이나 그 세력권이 확장되면서 외양역에서 전선역이 형성된다.

이러한 전선역에는 와동현상의 발달이나 전선의 굴곡과 장벽효과 등이 있어 어류의 분포와 회유에 영향을 미치고, 특히 북반구에서 난수성와(亂水性渦)는 물질의 집적효과, 냉수성와(冷水性渦)는 용승현상에 의해 영양염류가 풍부한 저층수를 상층에 공급하여 생산성을 높이므로 어류를 밀집시키는 역할을 한다.

따라서 어장학적인 전선연구 및 전선과 어장과의 관한 연구가 Nakao(1977), 조(1986), 공(1971), 노·정(1978) 등에 의해 다수가 이루어졌으며, 한국남해역과 한국남서해역 제주도 주변해역에서 형성되는 전선에 관해서도 공(1971), Zheng and Klemas(1982) 등에 의해 연구되었다.

그러나 우리나라에서는 아직까지 주변 연안역 전선이나 외양역 전선에 관한 연구가 미흡하며 본 연구 대상해역인 제주도 서남방 동중국해역의 서로 다른 수괴간의 전선역 형성에 관한 규명이나, 전선역 주변의 물리화학적 특성에 관한 연구가 부족한 현실이다.

이에 본 연구는 중국대륙육상수 유입이 많은 하계인 8월에 제주도 서남방 동중국해역에서의 전선역 형성과 그 주변 해수의 특성을 물리·화학적으로 규명해 보고자 한다.



## II. 재료 및 방법

### 2.1. 조사방법

본 연구조사는 1997년 8월 26일부터 9월 2일까지 제주도 서쪽해역에서부터 중국상해(上海 양쯔강하구)까지 동경 122°E에서 126°E, 북위 31°30′에서 33°30′(Fig. 1.)의 21개 정점에서 조사되었다. 채수는 표준수심(0m, 10, 20, 30, 50, 75m, >75m)에서 반돈채수기로 채수되었다.

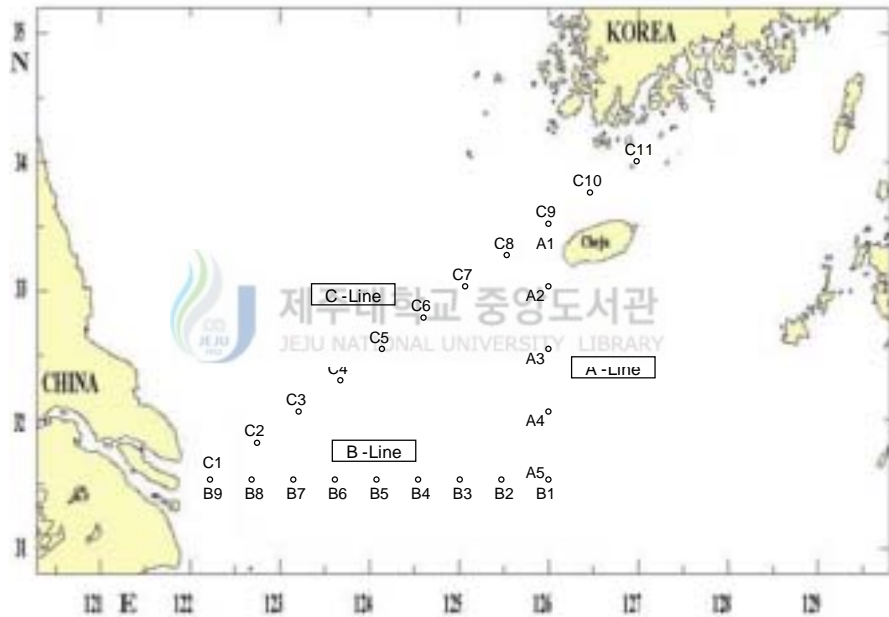


Fig. 1. Location of sampling station in the East China Sea

### 2.2. 분석방법

채수된 시료는 냉장보관 후 즉시 실험실로 옮겨 다음과 같은 방법으로 분석하였다.

#### 2.2.1. Water temperature, salinity, density 및 pH

수온, 염분, 밀도는 현장에서 CTD(SBE 19)를 이용하여 측정하였으며, pH는 pH meter(Orion model 290A)를 이용하여 측정하였다.

### 2.2.2. Nutrients(무기영양염류)

무기영양염류의 측정은 반동채수기로 채수된 시료를 Standard Methods (1989), Solorzano (1969)의 방법에 따라 UV-흡수분광광도계(Model Shimadzu UV-1201)를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

무기 영양염류는 암모니아성 질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), 아질산성질소( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ), 질산성질소( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )를 각각 Phenol hypochlorite method, NED Method, cadmium reduction method에 준하여 분석하였으며 인산염 인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )는 Ascorbic acid method에 준하여 분석을 행하였고, 규산성 규소( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )는 Molybdenum blue method에 의해 분석되었다. 총무기질소(TIN)는 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 합으로 나타내었다.



Ammonia( $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ; 암모니아성 질소);

Phenol-Hypochlorite Method을 이용하여 시료에 phenol, sodium nitroprusside 용액을 가한 후 alkaline reagent와 sodium hydrochloride solution의 혼합 시료로 산화시킨 후 청색의 Indophenol이 생성되면 파장 640nm에서 흡광도를 측정하였다.

Nitrite( $\text{NO}_2^-\text{-N}$  ; 아질산성 질소);

NED method로 아질산 이온이 산성용액(pH 2.0내지 2.5)에서 Sufanilamide(방향족제 1아민)과 반응해서 생성되는 azo화합물에 N-(1-naphthyl) -Ethylenediamine Dihydrochloride (방향족 아민류)을 가해서 적색의 azo화합물로 발색시켜 파장 540nm에서 흡광도를 측정하였다.

Nitrate( $\text{NO}_3^-\text{-N}$  ; 질산성 질소);

Cadmium reduction method를 이용하였으며  $\text{NH}_4\text{Cl}$  Buffer 용액 상태에서 시료를 cadmium colum에 통과시켜 아질산으로 환원시킨 후 아질산성 질소의 분석 방법과

같은 NED Method로 분석하고 시료중에 원래 존재하는 아질산성 질소를 빼서 보정하였다.

Phosphate( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  ; 인산염인);

Ascorbic acid method를 이용하였으며 Ammonium molybdate,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , potassium antimonyl tartrate의 혼합 시약을 시료에 가하여 황색의 인 몰리브덴산 착제를 형성하고 이를 ascorbic acid로 환원하여 청색의 몰리브덴청이 생성되면 파장 880nm에서 흡광도를 측정하였다.

Silicate silicon( $\text{SiO}_2\text{-Si}$  ; 규산염규소)

Molybdenum blue method에 의해 분석하였으며 규산은 pH 1.2 부근의 산성에서 Ammonium molybdate를 시료에 가하여 silicomolybdate complex를 만든 후 이를 oxalic acid와 황산, ascorbic acid를 가하여 발색시킨 후 815nm 파장으로 흡광도를 측정하였다



### 2.2.3. Chlorophyll *a* (식물색소 *a*)

시수를 GF/C로 여과하여 90% Aceton 10ml를 첨가하고 20시간 암냉소에 보관한 후 3,000~4,000rpm에서 15분간 원심분리시켜서 750nm, 663nm, 645nm, 630nm에서 흡광도를 SCOR/UNESCO 식으로 계산하였다(Strickland and Parsons, 1972).

### 2.2.4. Dissolved oxygen(DO ; 용존산소)

용존산소는 현장에서 산소병에 고정하여 실험실로 옮긴 후 바로 Winkler 아자이드화 변법으로 측정하였다(日本分析化學會, 1985).

시료에 황산망간과 수산화나트륨 용액을 주입하면 제 1수산화망간 침전이 생성되고 이 침전중에 망간은 주종의 용존산소와 반응해서 용존산소 당량 만큼의 제 2수산화망간으로 산화를 받는다. 이 침전은 요오드화 이온의 존재 하에서 황산을 가해 산성

(pH<2.5)으로 하면 용존산소 당량 만큼의 요오드를 유리하게 된다. 유리된 요오드를 티오황산나트륨 표준용액으로 적정해서 용존산소를 정량하는 적정법을 사용하였다.

#### 2.2.5. Chemical oxygen demand(COD ; 화학적산소요구량)

시료를 알칼리성으로 하여 과망간산칼륨 일정 과량을 넣고 1시간동안 수욕상에서 가열·반응시키고 요오드화 칼륨 및 황산을 넣어 남아있는 과망간산 칼륨에 의하여 유리된 요오드를 티오황산나트륨 표준용액으로 적정해서 산소의 양을 측정하는 알칼리성과망간산칼륨법을 사용하였다.

#### 2.2.6. Suspended solid(SS ; 부유물질)

선상에서 시수 1~3ℓ를 미리 무게를 잰 GF/C 여과지에 여과하여 105~110℃에서 2시간 건조시킨 후 여과지 무게를 달아 여과전의 GF/C의 무게차를 산출하는 상압가열건조법에 의하여 구하였다(Strickland and Parsons, 1972).



### Ⅲ. 결과 및 고찰

본 연구는 제주도 서남방 동중국해역에서 여름철 중국 대륙육상수(양쯔강)의 유입에 따른 저염분수괴의 영향으로 외양전선역 형성에 따른 수괴간 특성을 물리·화학적으로 밝히기 위하여 1997년 8월 26일부터 9월 2일까지 동중국해역 21개 정점에서 표준수심간격(0m, 10m, 20m, 30m, 50m, 75m, >75m)으로 채수하여 water temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, nutrient, suspended solid 등의 분석결과를 토대로 이들 해역에서 각 수괴간의 수질특성을 파악하여 전선역 형성시 수괴특성을 고찰하였다.

특히 Fig. 1에서 제주도 서쪽에서 남쪽 방향인 북위 33°30′, 동경 126°에서 북위 31°30′, 동경 126°까지의 A line, 북위 31°30′, 동경 126°에서 122°까지(양쯔강 하구역)의 B line, 그리고, 북위 31°30′, 동경 122°에서 제주도 서부해역인 북위 33°30′, 동경 126°에 이르는 C line을 중심으로 하여 결과를 고찰하고자 한다.



#### 3. 해역별 특성

##### 3.1 A line(33°30′ N, 126°E ~ 31°30′ N, 126°E)

###### 3.1.1. Water temperature

Fig. 2는 제주도 서쪽에서 남쪽으로 향하는 A line의 연직수온분포이다.

각 정점인 A1, A3, A5에서 각각 10m에서 30m사이의 수온변화 분포는 각각 26.3°C ~ 14.6°C, 26.8°C ~ 17.3°C, 25.6°C ~ 14.7°C이며 각각 11.7°C, 9.5°C, 10.9°C의 차이를 보였다.

정점 A1에서 A5의 수심(10m~30m)에 따른 수온차는 11°C 정도로 비슷하지만 A3방면 30m 수심에서는 A1과 A5보다 1.4~2.2°C 정도 수온이 낮았다. 그러나 10m 수심에서는 거의 차이가 없이 약간 높았다.

A1에서 A5 까지의 해역에서 수심 50m 이심까지는 A1 방면에서 A3 방면까지 12.2℃~12.9℃, A3에서 A5 까지는 13.2℃로 약간 높으나 비교적 일정한 분포를 보이고 있어 8월달 제주 서남방 해역에서 수온 변화는 표층에서 10m까지는 일정한 수온분포를 보이지만 10m에서 30m까지는 10℃이상의 급하강하는 수온약층을 형성하고 있었다. 또한 50m 이심에서는 표층보다 14℃ 하강한 13℃정도의 수온으로 일정한 분포를 보이고 있었다.

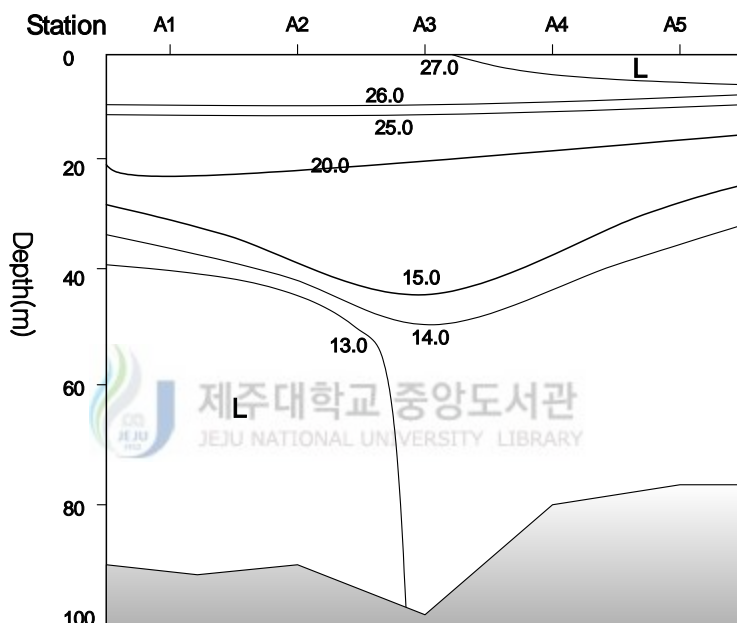


Fig. 2. Vertical distribution of value of water temperature(°C) in study area at A-line

### 3.1.2. pH

본 해역의 수소이온농도분포는 중국육상수유입 연안역인 B9(C1)에서 8.5 이상의 높은 수소이온농도 값을 보인 반면 제주도 서방해역의 C6 50m의 저층수에서 7.57을 보여 주고 있다.

A line에서의 연직분포는 제주연안역인 A1 지점에서는 표층에서 저층(90m)까지

8.07~8.28 의 분포로서 저층수까지 8.0이상을 보여주고 있다.

그러나 외양역(A5)으로 갈수록 표층에서 저층에 이르기까지 수소이온농도 값은 낮아지는 일반적 경향을 보이고 있다. 같은 저층수에서도 외양역인 A5에서 8.0이하(7.92)인 반면 A1에서는 8.0이상(8.21)을 보이는 양극형상을 나타내고 있다.

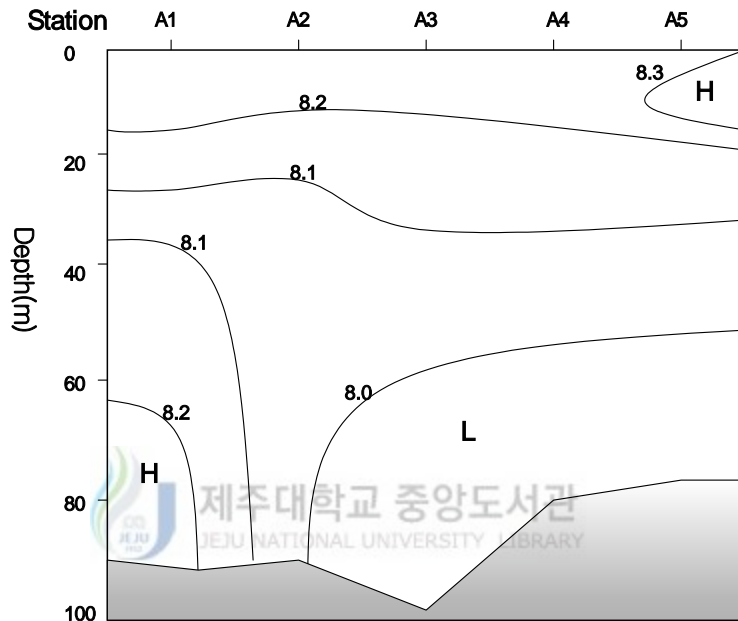


Fig. 3. Vertical distribution of value of pH in study area at A line

### 3.1.3. Salinity

Fig. 4는 A line에서 염분의 연직분포를 나타내었으며 A line의 연직분포 특성을 제주 연안역에서부터 외양역까지 표층수의 농도는 30‰ 이내였고 20m 이심부터는 31‰ 이상을 보이고 있다.

제주 연안쪽인 A1에서는 10m 수심까지 29.9‰, 30m에서 33.2‰, 50m에서 33.6‰, 75m부터 저층까지 33.8‰로 저층으로 갈수록 높아지는 경향이다.

반면 A3에서는 50m에서부터 저층인 90m까지 33.6‰의 일정한 농도분포였다. 그러나 가장 남쪽 외양역인 A5에서는 표층수 30.2‰, 10m에서 30.1‰, 30m에서부터

저층인 70m까지 32.5~32.8‰로 연안역보다 비교적 낮은 염분 농도를 보이고 있다. 이렇게 수온에서는 연안역보다 30m 이심에서 0.7℃ 높았지만 염분농도는 1‰ 정도 낮은 특이한 현상을 나타내고 있다.

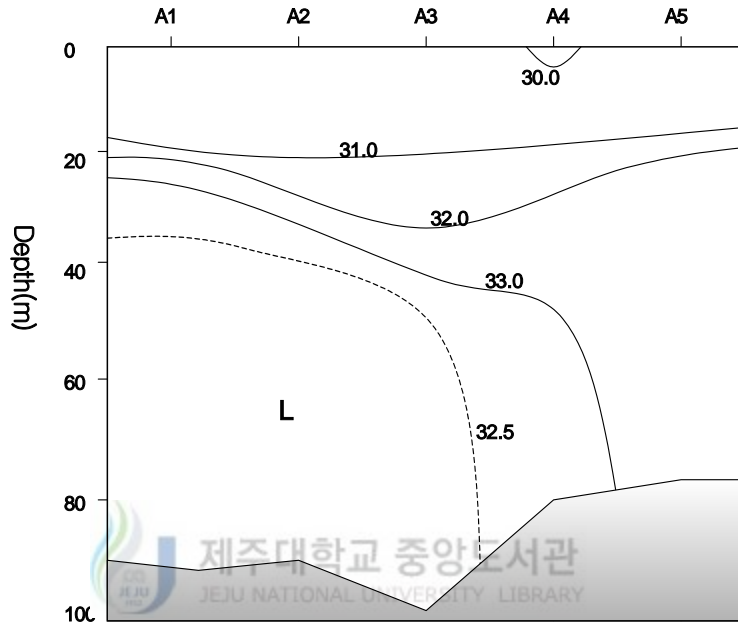


Fig. 4. Vertical distribution of value of salinity(‰) in study area at A-line

#### 3.1.4. Density( $\sigma_t$ )

A line에서의 밀도의 연직분포(fig. 5.)는 염분과 비슷한 양상을 띄고 있으며, 전해역에서 표층에서 20m 수심사이에는  $\sigma_t$ 가 20.0에서 23.0으로 밀도차가 아주 크게 분포하고 있다. 저층수에서는 연안역쪽인 A1에서 A3사이에 25.0이상의 고밀도수가 존재하고 있으며 가장 외양역의 저층수에서는 이 보다 낮은 분포를 하고 있다. 이러한 영향을 염분에서 비교적 낮은 농도와 수온에서는 약간 높은 온도로 밀도차가 생기고 있다는 것을 보여주고 있다.

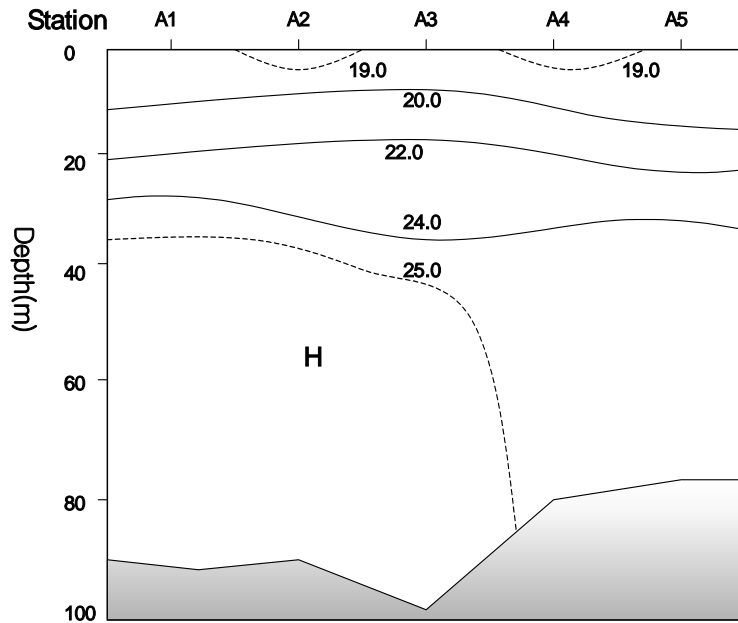
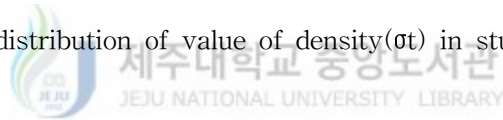


Fig. 5. Vertical distribution of value of density( $\sigma_t$ ) in study area at A-line



### 3.2 B line(31°30' N, 126°E ~ 33°30' N, 122°E)

#### 3.2.1. Water temperature

Fig. 6은 중국상해연안쪽에서 정 동쪽(122°E → 126°E)해역인 B line의 연직수온 분포도이다. 정점간 간격은 0.5. 의 거리를 두고 관측된 수온이다.

모든 정점에서 표층수의 수온은 27°C이상으로 연안역이나 외양역 모두가 일정한 분포였다. 그러나 B5(124°E)에서의 수온분포는 표층 27.4°C이지만 10m 이심에서부터 저층수인 50m까지 26.8~26.1°C의 분포로 0.7°C정도의 차이로 일정한 수온을 유지하고 있으며 이보다 외양역인 B3에서는 표층 27.4°C이상 저층은 30m 수심부터 24.0°C, 40m에서는 20°C 그 이심에서는 18°C를 나타내고 있어 수온약층현상을 보이고 있다. 이보다 외양역인 B1에서도 표층 27.0°C, 20m 수심에서 20.0°C, 30m 수심에서 14.7°C, 40m에서 14.0°C 등 강한 수온약층을 나타내고 있었다.

이와 같은 결과에서 보면 중국연안역에서 외양역쪽으로 450km방면에서 외양수와 전선역이 형성되고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 앞으로 염분, 영양염 등 다른 성분들의 특성 규명에 아주 좋은 Indicator가 될 것이라 여겨진다.

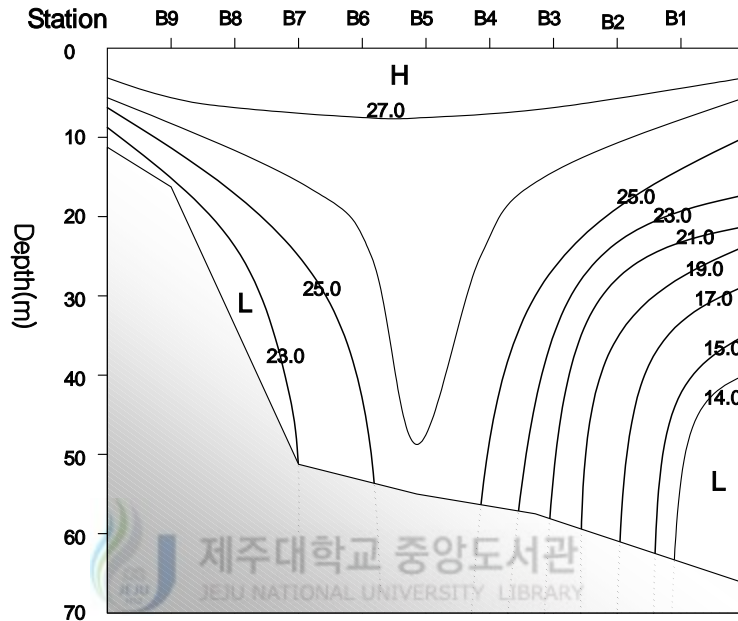


Fig. 6. Vertical distribution of value of water temperature(°C) in study area at B-line

### 3.2.2. pH

B line에서의 pH 분포(fig. 7.)은 B9표층에서 8.5이상의 높은 값을 보인 반면 수심이 10m 밖에 안되지만 10m 수심인 저층에서는 7.8을 보여 낮은 수심이지만 값의 차가 매우 컸다(0.8). B9 표층수의 높은 pH값(8.6)이 B7표층까지 영향을 주어 8.3이상을 보인 반면 제주서남방(B3에서B1까지)은 8.0에서 8.2까지 분포하고 있는데, 이는 제주서남방해역 20m이심층에 8.0이하의 낮은 값을 가진 저층수괴가 상승하여 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 그러나 B5해역에서는 표층의 8.1이하에서 50m 저층에서 8.1까지 중국연안역과 제주 서남해역의 경계층을 형성하고 있음을 보여주고 있어 수온과 염분에

서 나타난 혼합층이 pH에서도 잘 나타나고 있었다.

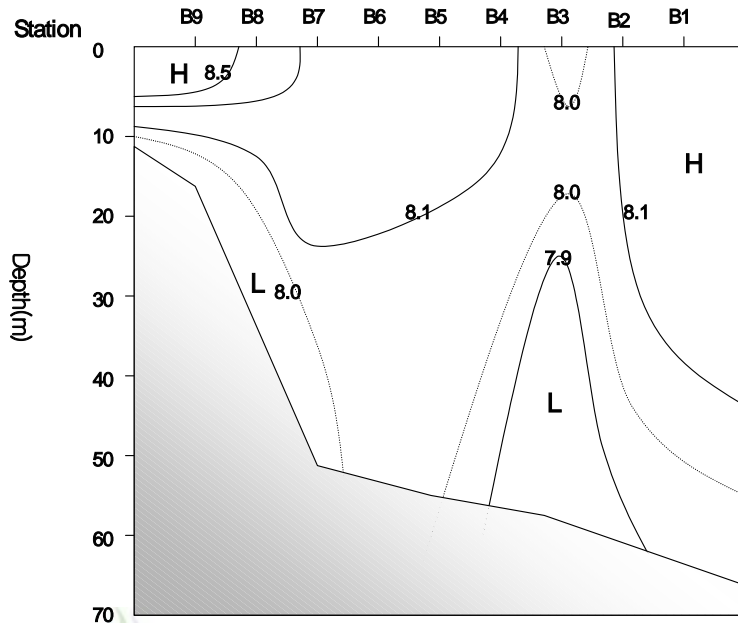


Fig. 7. Vertical distribution of value of pH in study area at B-line

### 3.2.3. Salinity

Fig. 8.는 B line에서의 염분농도 연직분포도이다. 중국연안역 양자강 입구역인 B9에서 염분농도가 표층수에서 14.0‰, 10m 수심에서는 29.9‰로 10m 수심 내에서 염분농도 차는 15‰로 매우 컸다. 이는 육상수 유입이 표층수 염분농도를 굉장히 희석하고 있음을 알 수 있다.

30‰ 염분농도 분포는 연안입구역인 B9 10m 수심에서 B7표층수로 이어지고 있다. 이곳에서도 수온분포에서 보였던 B5해역의 표·저층수간 혼합역인 전선역이 잘 나타나고 있다. B5의 염분분포는 표층이 33.4‰에서 저층수인 50m 수심에서 33.8‰로 주변역보다 표·저층간 염분농도차가 0.4‰로 적었다.

이보다 외양역인 B3에서 B1까지는 혼합역인 B5보다 1‰이상 낮은 30.0~32.8‰ 분포를 보이고 있다. B line을 전반적으로 살펴보면 중국연안역에서 낮은 염분농도(20‰

이하)의 해역, 염분분포가 33‰ 정도로 표·저층간 농도차가 적은 해역(0.4‰차이)의 혼합역, 그리고 외양역(B3~B1)은 혼합역보다 낮은 염분분포를 나타내는 해역으로 구분되어 지고 있다.

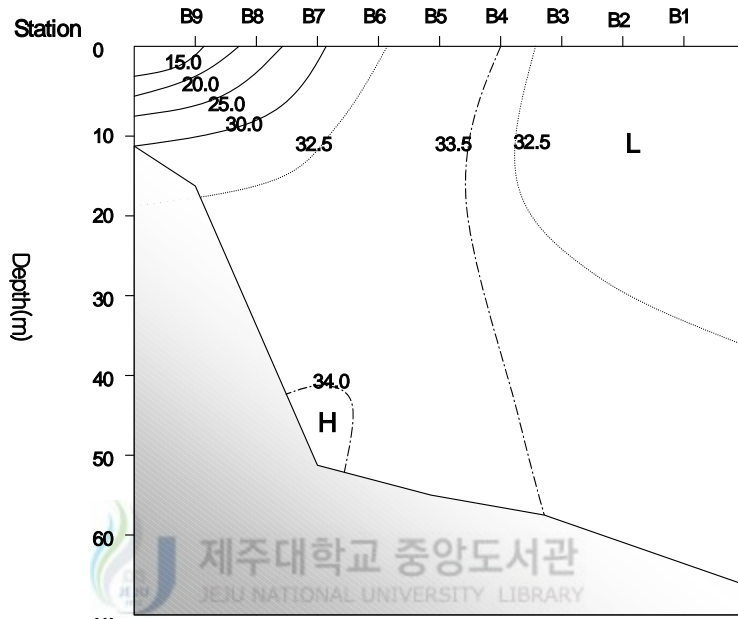


Fig. 8. Vertical distribution of value of salinity(‰) in study area at B-line

#### 3.2.4. Density( $\sigma_t$ )

B line에서의 해수의 밀도분포는 Fig. 9.에서 보는 바와 같으며 육상유입(양자강수)역인 B9에서 15.0인 저밀도수가 B7 정점 표층수까지 낮은 밀도(19.0)를 갖도록 영향을 주고 있었다.

또한 정점 B6에서부터 B1까지해역의 10m 수심까지 20.0, 20m 수심에서도 21.0인 저밀도수가 분포하고 있다. 그러나 B5지점에서는 표층수부터 50m 저층에 이르기까지 21.4에서 22.1까지 비교적 균등한 밀도를 가진 혼합층이 뚜렷하게 분포하고 있다. 이와 같이 B5지점은 수온, 염분, 밀도분포에서 연안과 외양역간의 혼합역인 전선역이 형성되고 있음을 확인하여 주고 있다.



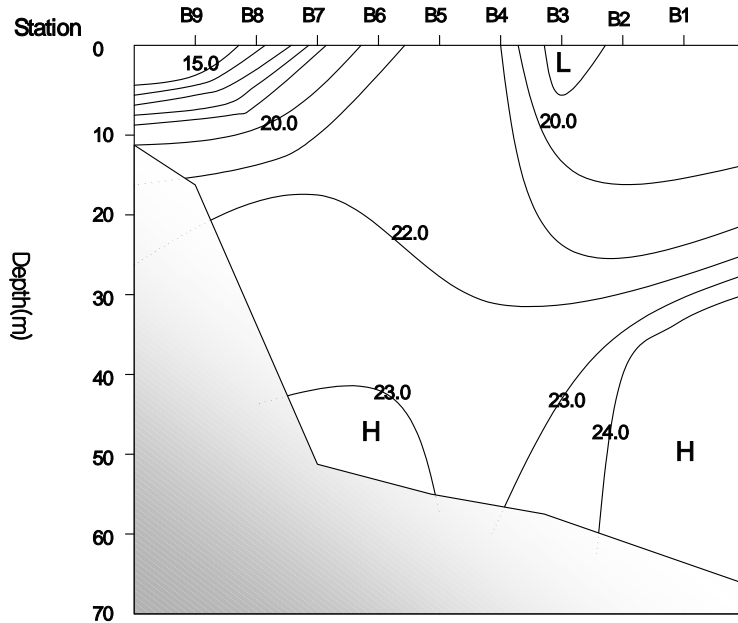


Fig. 9. Vertical distribution of value of density( $\sigma_t$ ) in study area at B-line



### 3.3. C line(31°30' N, 122°E ~ 33°30' N, 126°E)

#### 3.3.1. Water temperature

Fig. 10.는 중국 上海연안역에서 동북쪽인 제주도 서쪽으로 0.5°간격으로 관측된 수온 결과이다. 전반적으로 표층수온은 27°C를 나타내고 있으며 연직적으로 수온약층을 형성하고 있으나 C4에서 C5까지 해역에서 표층수온은 27°C, 그 이심에서는 26°C로 연안역, 외양역과의 전선역을 형성하는 분포를 보이고 있다. 수온약층은 C5에서 C6까지 표층수온 27°C, 30m 수심에서 23°C, 40m 수심에서 18°C를 보이고 있으며 C8에서부터 제주도 서북방 해역에서는 30m 이심에서부터 13°C의 수온을 형성하고 있는 것으로 보아 황해 저층수의 영향이 이 계절에 이곳까지 영향을 미치고 있으며 이러한 저온수는 A line의 A5의 50m까지 영향을 주고 있었다. 그러나 이러한 저온수는 B line에서 보면 A5(B1)에서 서쪽으로는 영향이 없음을 알 수 있었다.

이처럼 전선적인 혼합역 형성은 수온에서 보면 B line에서는 B5에서 뚜렷이 형성되었으나, C line 에서는 뚜렷한 구분을 할 수가 없었다.

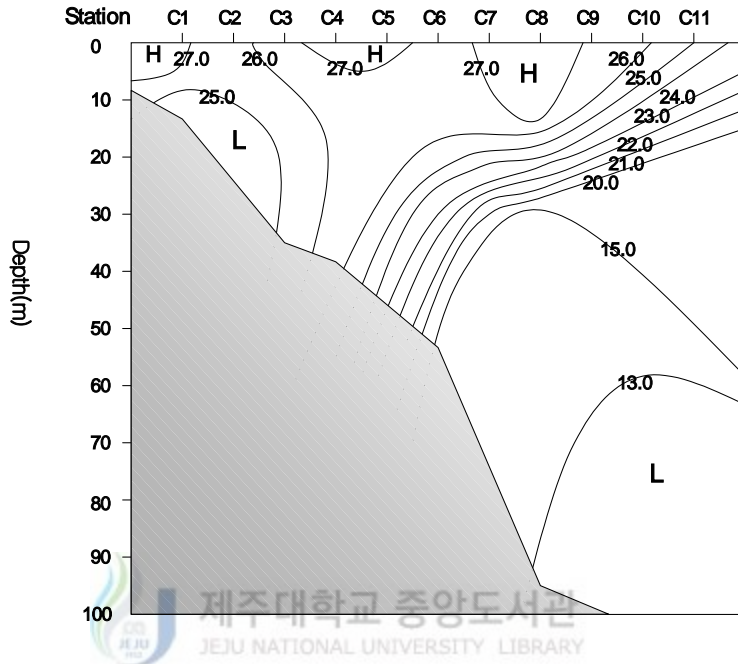


Fig. 10. Vertical distribution of value of water temperature(°C) in study area at C-line

### 3.3.2. pH

C line은 중국연안역에서 제주서방역과 한국남해안에 이르는 해역은 나타낸 곳이다. Fig. 11.에서 보는 바와 같이 중국연안역의 8.5이상의 높은 값을 보인 반면 한국남해안쪽은 표층에서 8.0이상, 20m 이심층에서는 8.0 이하의 값을 나타내고 있다. 그러나 C4의 10m 이심층부터 C6의 표층에서 저층까지, C7에서 C10까지 20m 이심층에서부터 8.0이하의 비교적 낮은 pH값을 보이고 있다.

특히 C6 해역에서는 표층에서도 8.0을 나타내고 있지 않아 한국연안역의 20m 이심층에서 8.0이하의 낮은 pH값을 가진 해수와 C4의 10m 이심층에서부터 나타나는 8.0 이하의 해수가 이곳에서 완전히 상·하 혼합되는 현상을 보여주고 있다. 특히 이 해

역은 염분에서 나타난 혼합역임을 pH값에서 잘 보여주고 있다.

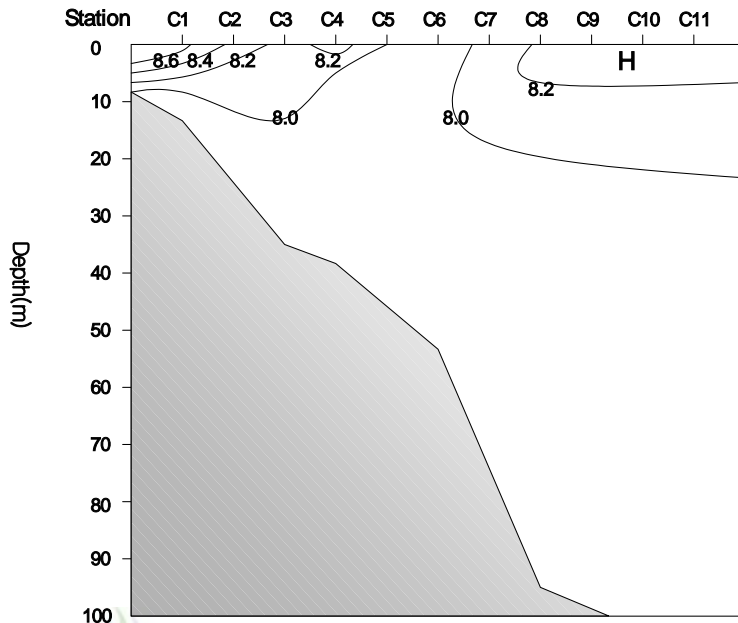


Fig. 11. Vertical distribution of value of pH in study area at C-line

### 3.3.3. Salinity

C line 에서의 염분의 연직분포(fig. 12.)는 표층수에서는 중국에서의 가장 연안역인 C1에서 15%이하의 저염수, 주변역서 20%이하, C7에서 C9까지 20m 수심까지 30% 이하의 비교적 저염수가 코어를 형성하면서 분포하고 있다. C3에서는 10m 이심부터 저층수(30m)까지 33%의 비교적 고염수가 존재하고 있다. 그러나 외양역쪽인 C6에서는 표층수의 32%, 50m의 저층수가 32.2%로 표·저층간 농도차는 0.2‰ 이내의 혼합역이 형성되고 있다. 이보다 외양역인 C7부터는 표층수에서 30%, 30m 이심에서 33%로 표·저층간은 3%의 농도차를 보이고 있어 수온에서 잘 구분되지 않았던 혼합역인 C line에서는 C6에서 나타나고 있었다. 이러한 결과로 본다면 C line에서의 연안수 영향과 외양역간의 전선역인 혼합역 형성은 정점 C6에서 나타나고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 중국양자강 육상수 유출에 의한 수온, 염분의 전선역인 혼합역 형성은

바로 동쪽으로의 영향력 보다 제주도 서북방역으로의 영향이 더 넓게 멀리 미치고 있음을 알 수 있다.

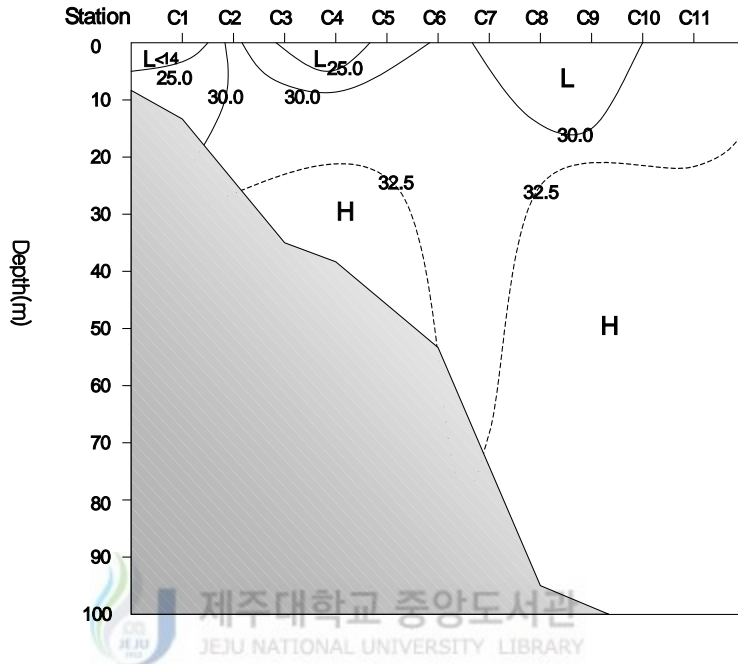


Fig. 12. Vertical distribution of value of salinity(‰) in study area at C-line

### 3.3.4. Density( $\sigma_t$ )

C line에서의 해수 밀도 분포에서 보면 가장 연안정점인 C1에서 C5이하의 저밀도수와 C3, C9를 중심으로 한 10m 이내의 수심층까지 20 이하의 비교적 저밀도수가 코어를 형성하면서 존재하고 있다.

가장 고밀도수(>25.0)는 C8의 30m 이심과 C10의 50m 이심에서부터 형성하고 있다. 그러나 C2의 10m 에서부터 C6의 전층에서 21정도의 밀도수가 혼합층을 형성하면서 존재하고 있었다. 수온, 염분에서의 결과에서도 C6의 혼합층을 형성하는 전선역을 볼 수 있었는데 밀도에서도 정점 C6을 중심으로 연안과 외양역이 구분되어지고 있었다. C6 30m 이심부터는 연안쪽은 21.5이하의 저밀도수와 23이상의 고밀도 외양수가 확연히 구분되어지고 있다.

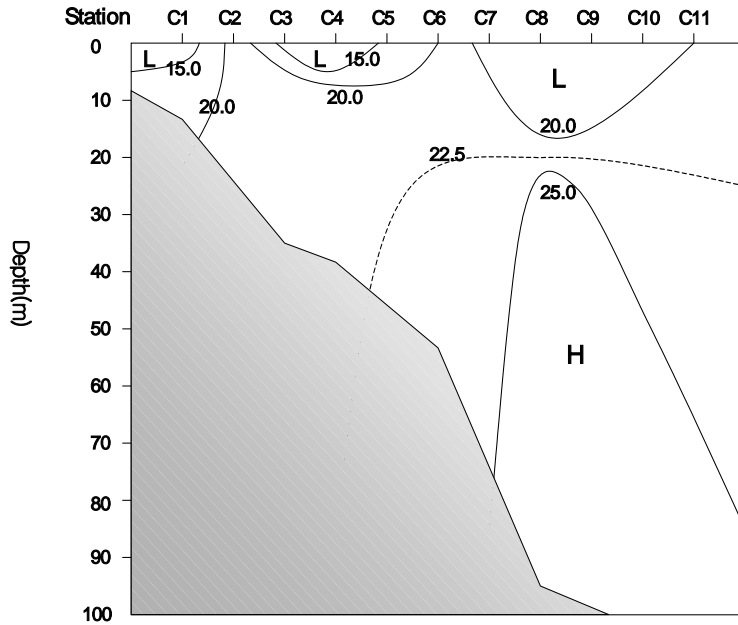


Fig. 13. Vertical distribution of value of density( $\sigma_t$ ) in study area at C-line



### 3.4. 전선역에서의 제반특성

#### 3.4.1. Water temperature, salinity, density

연구해역의 물리적 인자인 수온, 염분 그리고 밀도를 종합적으로 정리하여 보면 다음과 같다.

제주도 서쪽에서 남쪽으로 향하는 A line에서 8월달 수온변화는 표층에서 10m까지는 일정한 분포( $>26^{\circ}\text{C}$ )를 보이다 10m에서 10m사이에서  $10^{\circ}\text{C}$ 이상의 급하강하는 수온 약층을 형성하고 있으며 50m 이심에서는 표층보다  $13^{\circ}\text{C}$ 정도 낮은 수괴가 분포하며 염분의 경우는 표층에서 10m 수심까지 30%, 20m에서 31%, 50m에서 33% 정도의 분포로 수심이 깊을수록 높은 염분분포를 보이고 있으며 수온에서는 연안역인 A1의 30m 이심에서  $0.5^{\circ}\text{C}$ 높았지만 염분의 경우 1%정도 낮은 분포를 보이고 있었고 밀도( $\sigma_t$ )의 분포는 염분의 분포의 비슷한 분포로써 표층에서 20m까지 3정도의 큰 밀도차

를 보였고 저층에서는 24.0이상의 고밀도 수괴가 존재하였으며 연안역인 A1 방면에서 1.0정도 높은 밀도분포를 보였다.

다음은 제주 남부해역(31°30' N, 126°00' E)에서 중국 상해연안역방면으로 정동쪽해역인 B line에서의 수온분포는 표층에서는 27°C로 B line 전해역이 일정하며 제주 남부해역인 B1(A5)지점에서는 표·저층의 수온차 13.9°C로 나타나는 강한 수온약층해역이며 반면 상해방면으로 갈수록 이러한 분포가 약해져 B line 해역의 중간인 정점인 B5(124°E)에서는 표·저층간 수온차가 1.3°C 정도로 완전혼합층을 형성하고 있으며 상해연안역으로 갈수록 그 차가 다시 생겨 정점 B9에서는 4.2°C의 차를 보이고 있으나 수온약층은 형성되지 않았다. 염분의 분포를 살펴보면 상해연안역이자 양자강 하구역인 B9의 표층은 육상유입수의 영향으로 15%의 분포를 보였고 수심 10m에서는 30%로 매우 큰 차이를 보이고 있었다. 저염분의 표층수는 정점 B7까지 영향을 주고 있었으며 정점 B5에서 혼합역을 나타내고 있었다. 밀도분포 역시 염분분포와 유사한 형태를 보이고 있어 정점 B9에서 B7까지 표층에서 13.1~18.7의 분포를 보이고 있었으며 B5지점에서 표·저층(21.4~22.1)의 차가 0.7정도로 혼합역을 형성하고 있었다.

따라서 B line 해역에서는 육상연안역에서 낮은 염분농도(<20‰), 혼합역까지는 33%, 혼합역에서는 표·저층간 농도차가 적은 해역(0.4‰차이), 외양역은 이보다 낮은 해역으로 구분되어 지고 있었다.

중국 상해연안(C1 ; B9)에서 동북쪽인 제주도서쪽(C11)으로 0.5°간격으로 관측한 C line을 보면 표층의 수온분포는 27°C 정도로 다른 조사해역(A, B line)과 유사하나 B line에서는 중간역인 정점 B5에서 혼합역의 형성이 두드러져 보인 반면 C line의 수온분포에서는 정점 C5에서 C11에 걸쳐 수직적인 수온약층의 형성을 볼 수 있으며 뚜렷한 혼합역이 나타나지 않았다.

그러나 염분 및 밀도의 분포에서는 C line 전역에서 표층에 코어형태의 저염분 및 저밀도수괴가 나타나고 있었으며 C6에서 표·저층간 염분차가 0.2‰이내의 혼합역이 뚜렷이 나타나고 있었다. 또한 정점 C8 30m이심부터 제주도 서북방해역 까지 13°C의 수온을 형성하고 있는데 이는 황해 저층수의 영향으로 판단되며 이 저온수는 A5의 50m 까지 영향을 주나 A5(B1)의 서쪽으로는 영향을 주지 않는 것으로 나타나고 있다.

### 3.4.2. 영양염류의 특성

#### 3.4.2.1. B line(TIN, TP, SiO<sub>2</sub>-Si)

##### 1) Total inorganic nitrogen(TIN)

B line에서는 수온, 염분, σ<sub>t</sub>에서 B5해역에서 혼합역이 형성을 나타내고 있었는데 총무기질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)의 농도 연직분포(fig. 14.)에서도 이 해역에서 표층수가 가장 낮은 농도인 2μg-at/l 이하를 보이고 있으며 20m 이심에서는 중국쪽 연안역과 외양역보다 낮은 농도 분포인 5~6μg-at/l 의 균일한 분포를 보이고 있어 영양염 쪽에서 전선역인 혼합역임이 잘 나타나고 있었다. 이것은 전선역을 중심으로 하여 연안역과 외양역이 고영양염이라는 정의와 잘 일치하고 있었다.

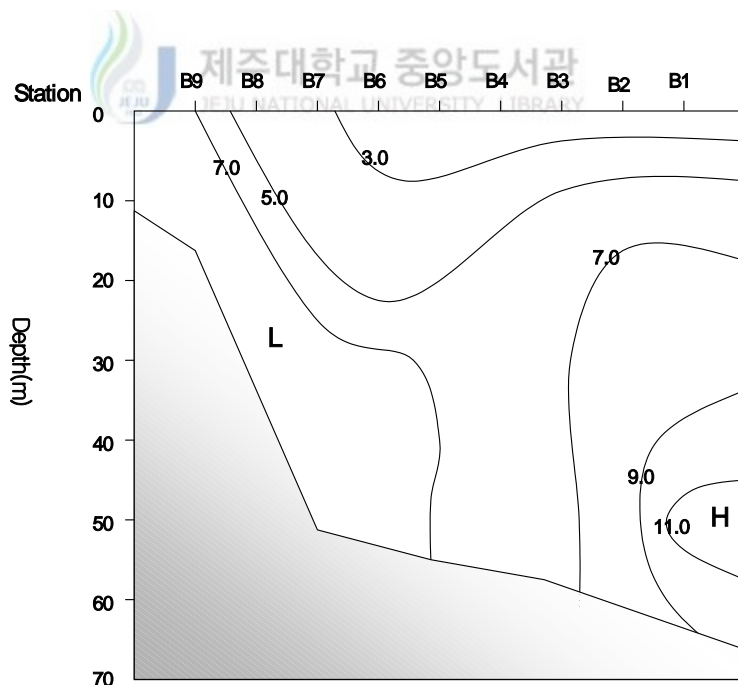


Fig. 14. Vertical distribution of value of total inorganic nitrogen(TIN;μg-at/) in study area at B-line

## 2) Phosphate( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )

B line에서 인산염 연직분포도(fig. 15.)에서는 중국연안역인 B9에서는 수심이 10m 인 반면 가장 높은 농도인  $1.75\mu\text{g-at}/\ell$  를 나타내었다.

이와 같은 고농도수는 B7까지 뻗치는 현상을 보이고 있으나 B6부근에서는 가장 낮은 농도인  $0.05\mu\text{g-at}/\ell$  이하가 표·저층간 증·감 없이 균일한 혼합층을 형성하고 있다. 반면 이보다 외양역에서는 10m 이심부터  $0.1\mu\text{g-at}/\ell$  이상의 농도수가 존재하여 B5해역이 연안역, 외양역과 경계를 나타내는 현상을 보이고 있어 수온, 염분,  $\sigma_t$  에 따른 전선역인 혼합층을 인산염에서도 잘 보이고 있다.

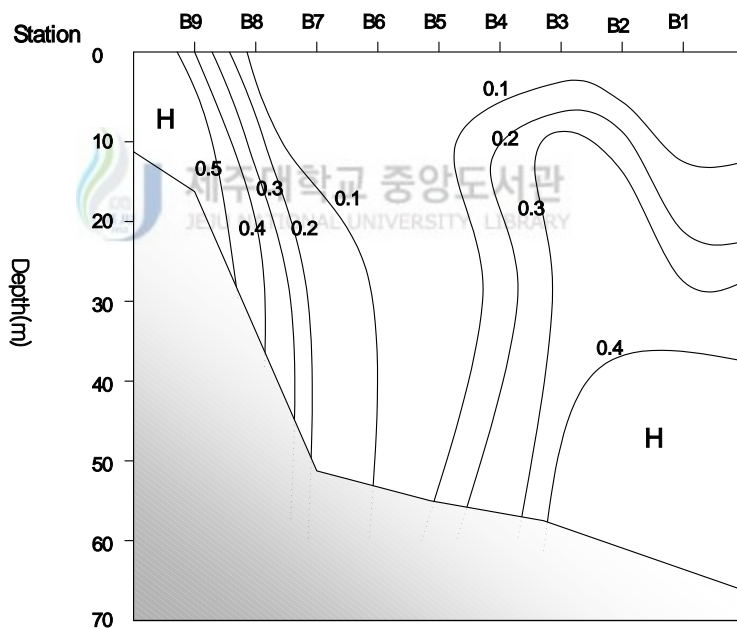


Fig. 15. Vertical distribution of value of phosphate( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ;  $\mu\text{g-at}/\ell$ ) in study area at B-line

## 3) Silicate silicon( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )



B line에서의 규산염규소의 연직분포도(fig. 16.)에서 보면 중국연안쪽(B9)에서  $15\mu\text{g-at}/\ell$  이상의 고농도수가 외양쪽으로 유입되면서 희석되어 B7해역 표·저층간  $9.0\mu\text{g-at}/\ell$  까지 희석되고 있다. 또한 외양역에서 B4의 표층수에서  $9\mu\text{g-at}/\ell$  이상의 고농도수가 10m 수심층부터는  $11\mu\text{g-at}/\ell$  이상의 고농도를 나타내고 있다. 그러나 B5해역에서는 표층에서 가장 낮은  $5\mu\text{g-at}/\ell$  농도와 10m 이심에서도 주변 연안역과 외양역의  $9\mu\text{g-at}/\ell$  이상보다 낮은 균일한 농도를 보이고 있으며 이는 총질소 및 인산인 농도 분포에서 연안역과 외양역간의 전선역인 혼합층을 규산염규소에서도 잘 보여주고 있다.

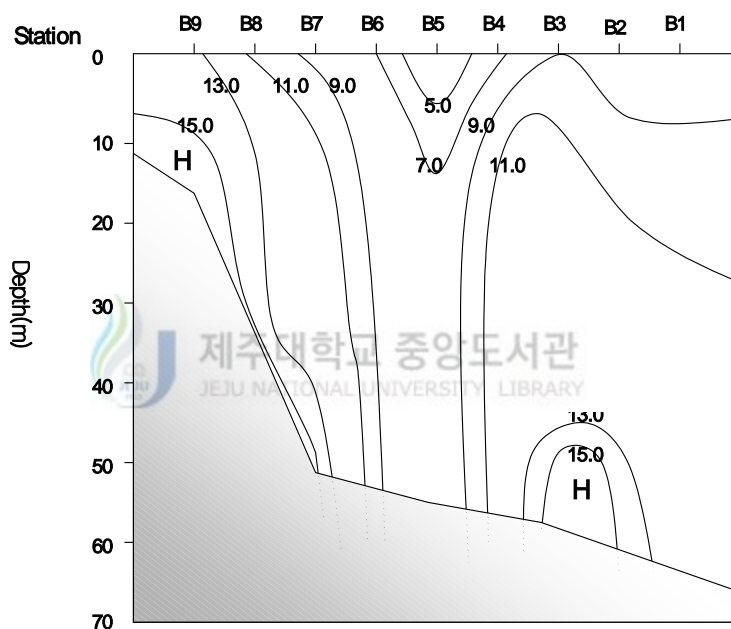


Fig. 16. Vertical distribution of value of silicate silicon( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ;  $\mu\text{g-at}/\ell$ ) in study area at B-line

### 3.4.2.2. C line(TIN, TP, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )

#### 1) Total inorganic nitrogen(TIN)

C line에서 염분,  $\sigma_t$ 에서 C6지점에서 전선역인 혼합역이 존재하고 있었는데 영양염

인 총무기질소의 연직분포(fig. 17.)에서 보면 C6해역에서는 표층수에서  $3\mu\text{g-at}/\ell$  이하의 연안역과 외양역보다도 아주 낮은 농도를 보이고 있으며 10m 이심에서는 연안역과 외양역에서  $5\mu\text{g-at}/\ell$  이상의 농도를 보인 것과 비교하면 이 보다 낮은  $4\mu\text{g-at}/\ell$  정도가 저층수까지 일정하게 분포되어 있다.

C6를 지점에서 연안역의 고농도, 외양역에서 이 보다 높은 농도를 보이고 있어 전선역임을 알 수 있었다.

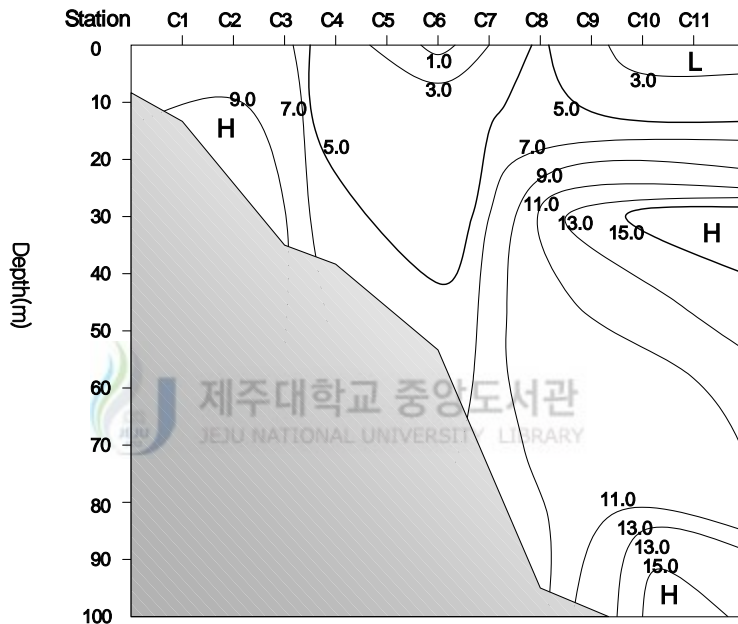


Fig. 17. Vertical distribution of value of total inorganic nitrogen(TIN;  $\mu\text{g-at}/\ell$ ) in study area at C-line

## 2) Phosphate( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )

C line에서의 인산염의 연직분포도(fig. 18.)에서는 중국쪽 연안역인 C1에서는  $1.0\mu\text{g-at}/\ell$ 의 가장 고농도수가 C4 표층수, C5의 저층수까지 영향을 미치고 있는 현상을 볼 수 있다. 반면 외양역인 C7에서부터는 다시  $0.1\mu\text{g-at}/\ell$  이상의 비교적 고농도수가 C6의 20m 이심에까지 영향을 미치고 있다.

그러나 C5와 C6사이의 해역에서는  $0.06\mu\text{g-at}/\ell$  정도의 균질한 해수가 표·저층에서 분포하고 있어 연안역과 외양역의 고농도와 경계를 이루면서 저농도가 표·저층에 균질하게 분포하고 있어 수온, 염분,  $\sigma_t$  분포에서 나타난 전선역인 혼합층 특성이 인산염에서도 잘 나타나고 있다.

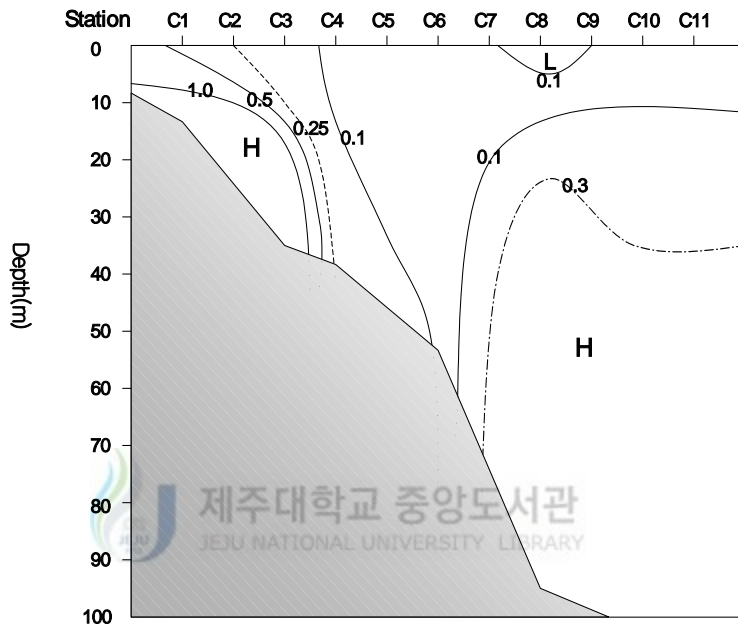


Fig. 18. Vertical distribution of value of phosphate( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ;  $\mu\text{g-at}/\ell$ ) in study area at C-line

### 3) Silicate silicon( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )

C line에서의 규산규소의 연직분포(fig. 19.)에서 보면 중국연안역이 C1에서의  $15\mu\text{g-at}/\ell$  이상의 고농도가 C5해역까지 영향을 미치면서  $10\mu\text{g-at}/\ell$  까지 희석되고 있다. 또한 외양역에서도 C7해역의 30m 이심부터는  $10\mu\text{g-at}/\ell$  이상의 고농도수가 존재하고 있다. 그러나 C6해역에서는 표층에서  $3\mu\text{g-at}/\ell$  이하의 가장 낮은 농도수와 20m 수심에서  $5\mu\text{g-at}/\ell$ , 이 이심부터는 연안역쪽(C5까지)과 외양역 C7부터의  $10\mu\text{g-at}/\ell$  이상보다 낮은 농도수가 균일하게 분포하고 있다.

이와 같은 현상은 총무기질소 및 인산인에서 나타나는 현상과 잘 일치하고 있어 연안역과 외양역간의 혼합역이라는 것을 잘 보여주고 있다.

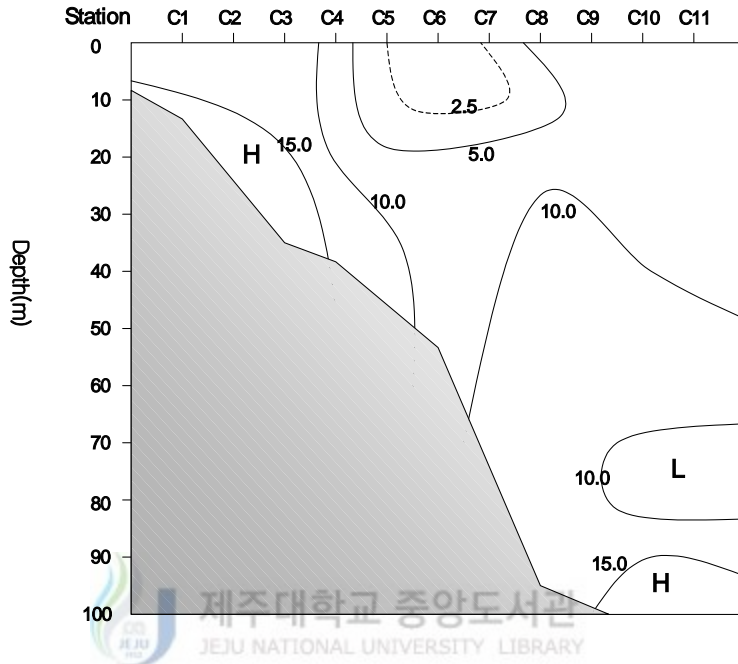


Fig. 19. Vertical distribution of value of suspended solid( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ;  $\mu\text{g-at}/\ell$ ) in study area at C-line

### 3.4.3. Chlorophyll *a*

#### 3.4.3.1. B line

B line에서의 식물색소 *a*의 연직분포(fig. 20.) 특성은 중국연안쪽인 B9에서  $9\text{mg}/\text{m}^3$ 의 고농도를 보이고 있으며 이러한 고농도분포는 B7해역 표층수  $1.0\text{mg}/\text{m}^3$ 까지 나타나고 있으나 B6해역에서는 표·저층수 모두  $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 이하의 주변역보다 낮은 농도분포였다. 그러나 외양역 B5에서부터 제주도 서남방인 B1까지는  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 이상에서  $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 까지 증가하고 있어 B6해역은 중국연안수와 제주서남방의 해역수와 경계층을 형성하는 수온, 염분에서의 전선역과 일치하고 있다. 전선역에서는 강한 혼합층을 형성하

므로 일반적으로 영양염이 낮고 식물플랑크톤이 강한 혼합과정에 의한 체류시간이 짧기 때문에 증식을 제한받는다는 것으로 보면 이 해역에서의 식물색소  $a$  의 낮은 농도 분포는 이러한 영향인 것으로 보인다.

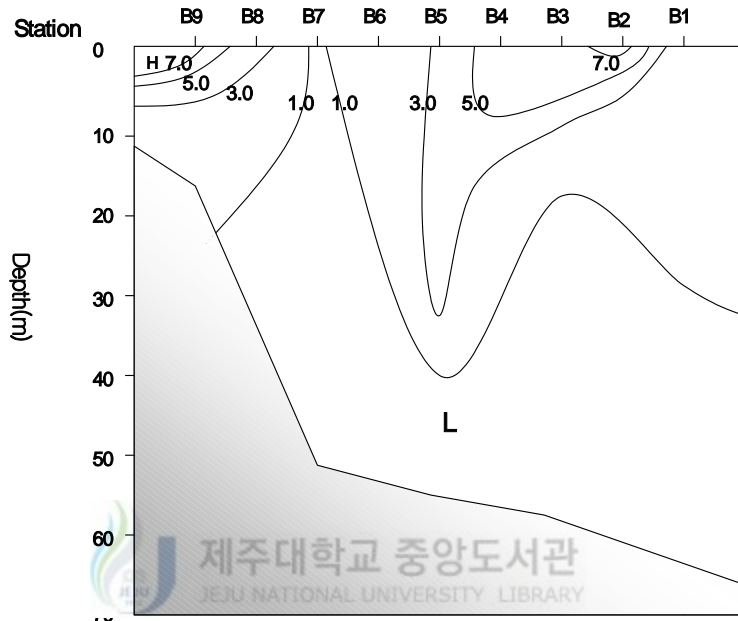


Fig. 20. Vertical distribution of value of chlorophyll  $a$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )in study area at B-line

### 3.4.3.2. C line

C line에서의 식물색소  $a$  의 연직분포도(fig. 21.)를 보면 중국연안역인 C1에서 고농도수( $7\text{mg}/\text{m}^3$  이상)가 C5까지  $0.5\text{mg}/\text{m}^3$  까지 낮아지면서 분포하고 있다.

또한 제주도 서북방에서 한국남해안까지 이르는 C8에서 C11까지에는  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$  의 비교적 높은 농도를 나타내는 분포를 보이고 있다. 그러나 C5에서 C7까지에는 표·저층수 모두가  $0.3\sim 0.5\text{mg}/\text{m}^3$  의 주변 중국연안역이나 한국 남해안수보다 낮은 분포를 하고 있다.

이러한 결과는 전선역 형성에 나타나고 혼합층에서의 저영양염분포와 강한 혼합과

정에 따른 식물플랑크톤의 체류시간이 짧은 관계라는 연구논문과 잘 일치하고 있다.

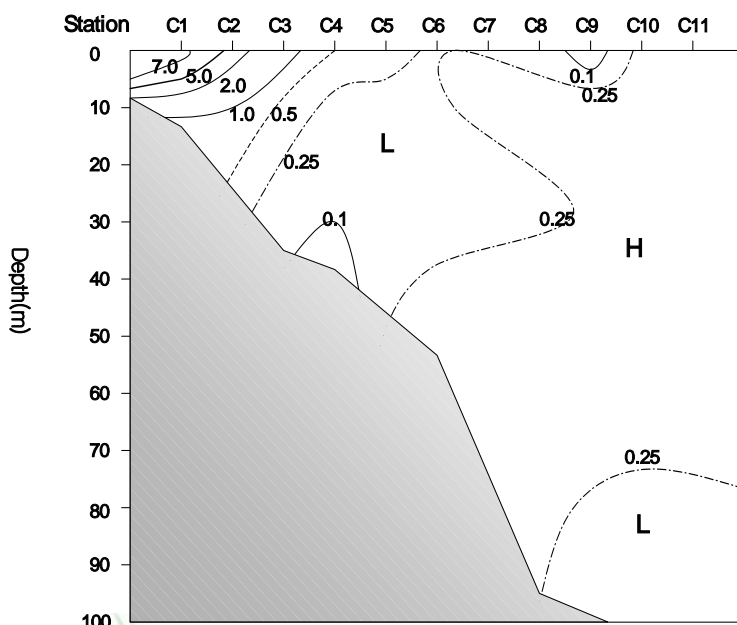


Fig. 21. Vertical distribution of value of chlorophyll  $a$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in study area at C-line

### 3.4.4. Dissolved oxygen(DO)

#### 3.4.4.1. B line

B line에서의 DO의 연직분포(fig. 22.)에서 보면 중국연안쪽이 표층수에서  $10\text{mg}/\ell$  이지만 10m 이심에서는  $5\text{mg}/\ell$  로 매우 큰 농도차를 보이고 있다. 이러한 저농도수는 연안 10m수심에서부터 B7해역의 저층, B4의 저층과 B3의 50m, 그리고 B1의 40m 이심에서  $5\text{mg}/\ell$  이하로 존재하고 있어 저층수와 표층수의 혼합이 잘 이루어지지 않고 있음을 알 수 있으나 B7의 30m, B5의 표층에서 저층수까지, B3의 30m, B2의 10m 수심에 이르는 광범위한 해역 수심층에서는  $7\sim 6\text{mg}/\ell$  의 균질한 농도수가 존재하고 있다. 특히 B5해역에서는 전 수심층에서 거의 일정한 농도를 보이고 있어 연안역과 외양역

의 표·저층간 농도차와 다른 상·하 혼합역을 알 수 있다

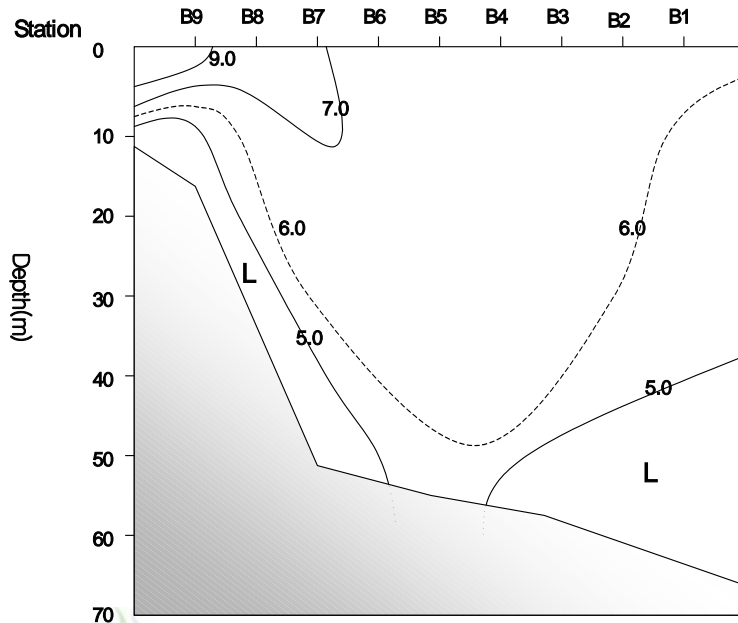


Fig. 22. Vertical distribution of value of dissolved oxygen(DO;  $\text{mg}/\ell$ ) in study area at B-line

### 3.4.4.2. C line

C line에서의 용존산소(DO) 농도 연직분포도(fig. 23.)에서는 중국연안역(C1)에서 고농도( $10\text{mg}/\ell$ )는 C5표층수까지 영향을 미치고 있다. 그러나 C1의 10m 저층수에서는  $5\text{mg}/\ell$ 의 저농도수가 C3 저층에 까지 분포하고 있으며, 외양역에서 C7의 표층에서부터 C8과 C10의 50m 수심까지  $6\text{mg}/\ell$  이상의 농도수가 존재하고 있다.

그러나 C6 주변해역에서는 표층에서 20m까지는  $5\text{mg}/\ell$  정도의 용존산소(DO) 농도를 보이고 있으나 20m 이심층에서 저층수에는  $5\text{mg}/\ell$  이하의 저농도가 존재하고 있다. 이러한 저농도수가 표층으로 밀고 올라오는 현상을 보이고 있어 상·하 혼합과정에서 낮은 저농도수가 표층을 상승하는 것을 알 수 있다.

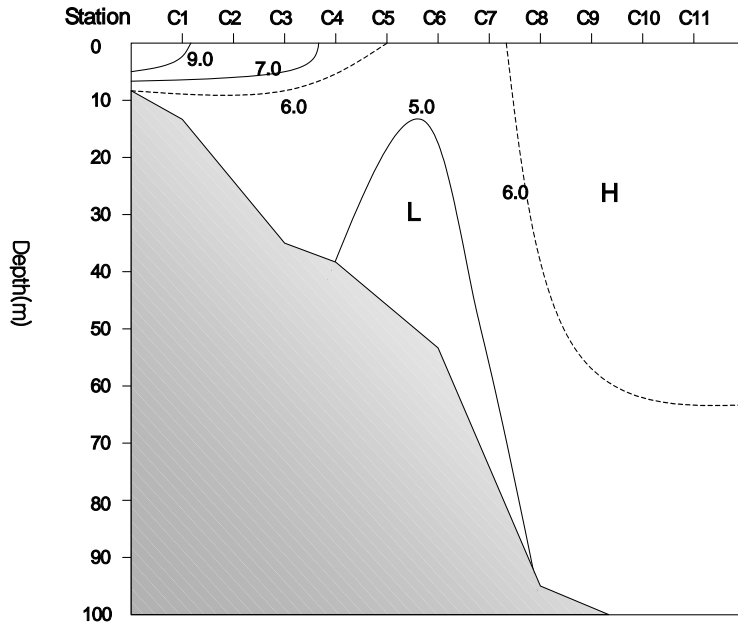


Fig. 23. Vertical distribution of value of dissolved oxygen(DO;  $\text{mg}/\ell$ ) in study area at C-line

### 3.4.5. Chemical oxygen demand(COD)

#### 3.4.5.1. B line

B line에서의 연직 분포도(fig. 24.)는 중국연안역정점인 B9(C1) 표층에서  $2.2\text{mg}/\ell$ , 10m 저층에서  $3.2\text{mg}/\ell$  이상을 나타내고 있어 육상수유입에 의한 영향임을 알 수 있다.

이러한 농도 영향은 B8의 표층에서 저층수까지 미치고 있다. 또한 외양역이면서 제주서남방역인 B4에서는 표·저층간  $1\text{mg}/\ell$  이상을 나타내고 있다.

그러나 B4에서 B6에 이르는 해역에서는 표·저층수 모두에서  $1\text{mg}/\ell$  이하의 저농도를 보이며 균일한 분포였다. 이는 식물색소  $a$  농도에서도 이 해역에서 가장 낮은 농도 분포를 나타내는 것과 일치하고 있어 일차생산력이 낮은 해역임을 알 수 있다.



수온, 염분에서의 전선역은 혼합역임을 화학적산소요구량농도에서도 연안역 외양역간의 경계를 보이고 있다.

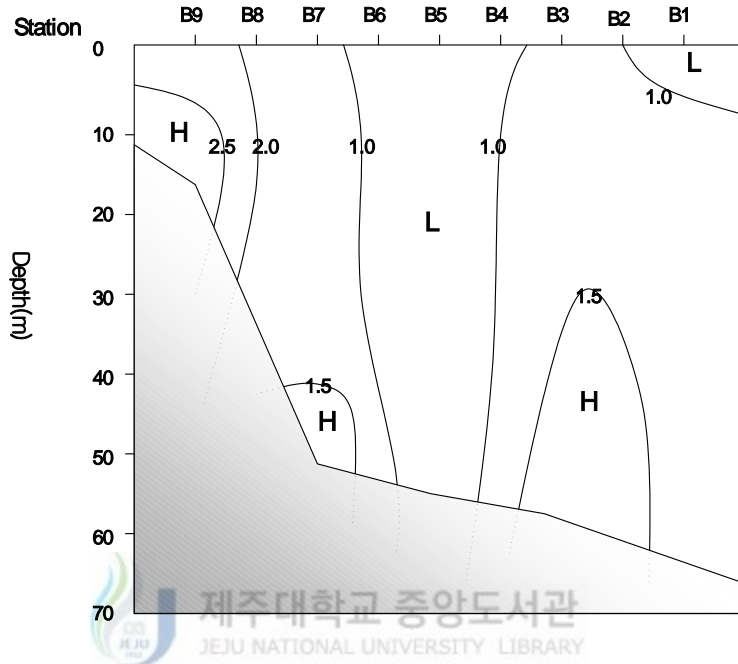


Fig. 24. Vertical distribution of value of chemical oxygen(COD;  $\text{mg}/\ell$ ) demand in study area at B-line

### 3.4.5.2. C line

C line에서의 연직 분포도(fig. 25.)에서는 중국연안역 정점 C1(B9)에서의 고농도수가 C3까지 영향을 미치고 있는 경향이 나타나고 있다.

그러나 외양역인 제주 서남방과 한국남해안에 이르는 해역에서는 저층수의  $1.5\text{mg}/\ell$  이상을 제외하고는 중층역에서  $1\text{mg}/\ell$  이하의 농도수가 C6의 30m 까지 영향을 미치고 있었다. 이런 반면 C3에서 C6까지 표·저층간은  $1.0\sim 1.5\text{mg}/\ell$  범위의 농도수가 균일하게 분포하고 있어, B line에서는 혼합역에서 주변역보다 낮은 농도분포를 보인 것과는 이 해역에서 그러한 현상은 나타나고 있지 않다.

이와 같은 영향은 부유물질 농도가 이 해역에서 높게 나타나고 있는 것으로 보아

육상유입수의 비생물 물질의 영향으로 판단된다.

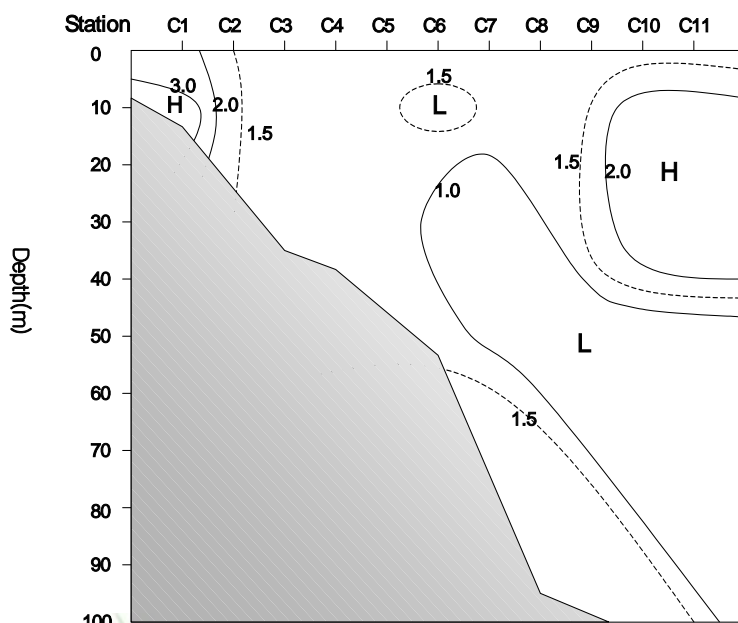


Fig. 25. Vertical distribution of value of chemical oxygen demand(COD;  $\text{mg}/\ell$ ) in study area at C-line

### 3.4.6. Suspended solid(SS)

#### 3.4.6.1. B line

B line은 중국연안역(B9)이 50m 정도의 낮은 수심층이며 외양역이면서 제주 부근(B1)까지는 70m 정도의 수심을 보이고 있다.

이 해역에서는 중국연안역인 B9(C1)에서는 수심이 10m 정도이면서 표층수에서는  $16\text{mg}/\ell$ , 10m 저층에서는  $37\text{mg}/\ell$ 로 농도차가 매우 컸다. 이는 육상수에 의한 표층수의 높은 부유물질 농도인 반면 10m 수심인 저층수는 표층의 침강물질과 저층의 재부유에 의한 영향으로 보인다.

이러한 고농도의 영향은 B8의 표·저층수의  $10\text{mg}/\ell$  이상을 나타내게 하고 있다. 그

러나 이러한 높은 농도분포도 B7부터는  $10\text{mg}/\ell$  이하의 낮은 농도를 나타내고 있으며 특히 B6 표층부터 30m 수심층까지의  $3\text{mg}/\ell$  이하의 아주 낮은 농도는 B2까지 나타나고 있다.

B5에서 B3의 40m 이심층에서도  $10\text{mg}/\ell$  이하를 보이고 있어 투명성이 양호한 상태이다. 이러한 영향은 생물체의 낮은 영향으로 보이고 실제 식물색소  $a$  농도에서도 이 해역이 낮은 농도분포와 잘 일치하고 있다.

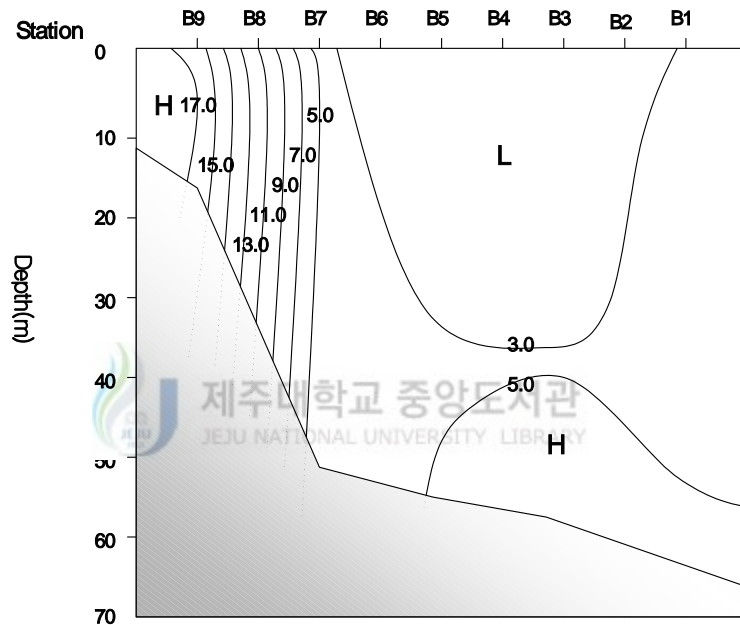


Fig. 26. Vertical distribution of value of suspended solid(SS;  $\text{mg}/\ell$ ) in study area at B-line

### 3.4.6.2. C line

C line에서의 부유물질(SS) 농도분포(fig. 27.)는 중국연안해역의 C1(B9)에서의 고농도 인 것이 C3까지 영향을 미치고 있어 이 해역까지  $10\text{mg}/\ell$  이상을 나타내고 있다. 그러나 B3 표층수부터 C4의 10m, C6의 30m, C8의 50m, C10의 90m 수심층까지  $5.0\text{mg}/\ell$  이하의 낮은 농도분포를 보이고 있다.

그러나 C5와 C6의 50m 저층수에서는  $25\text{mg}/\ell$  이상의 아주 높은 농도를 보이고 있는데 이는 생물체영향(식물색소  $a$  농도  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$  이하)보다는 저층퇴적물의 재부유(COD  $1.5\text{mg}/\ell$  이상)에 의한 영향으로 보인다.

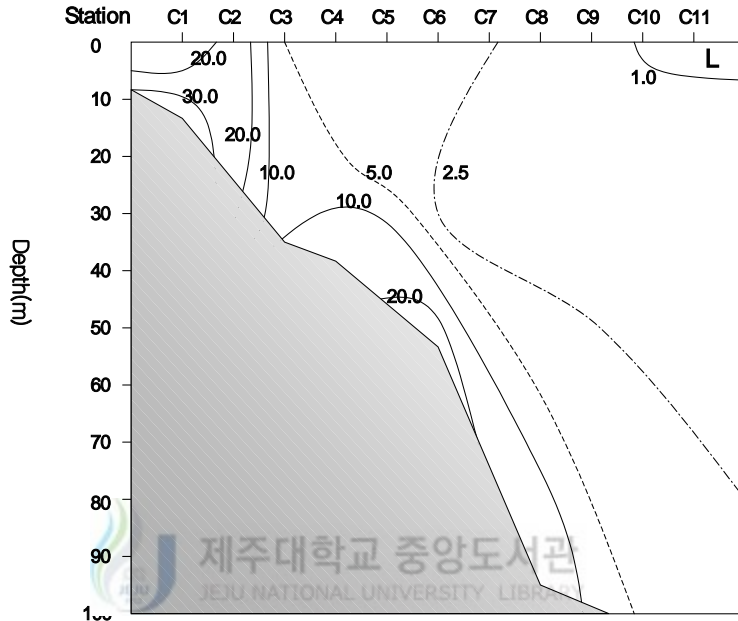
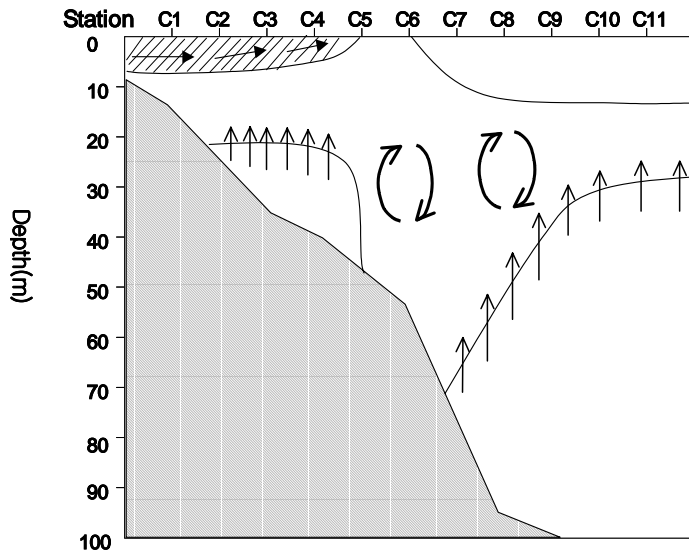


Fig. 27. Vertical distribution of value of suspended solid(SS;  $\text{mg}/\ell$ ) in study area at C-line

### 3.5. 외양전선역에서의 영양염 공급기구와 엽록소 $a$ 농도

이상의 결과로 보면 전선역 내에서는 영양염이나 엽록소 농도가 낮는데 이는 잦은 혼합과정에 의한 생육환경이 양호하지 않음을 알 수 있다. 또한 전선역 전후방에서 성층형성요인은 수온약층으로 담수의 영향을 받지 않는 곳이었으며 성층 표층으로의 영양염공급과정은 성층으로 인한 저층수에서의 공급차단으로 고갈상태가 유지되고 있다. 엽록소 분포는 전선역 부근에서 엽록소 피크가 형성되는 현상을 보이고 있다.

1) 영양염 공급



2) phytoplankton

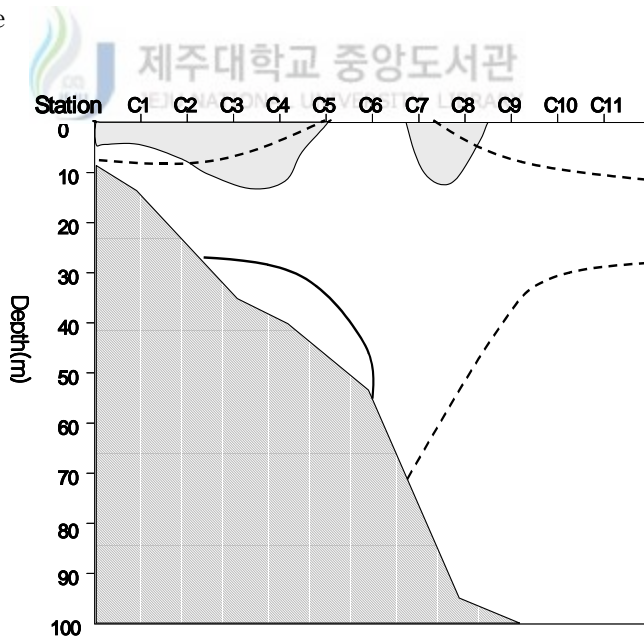


Fig. 28. Schematic of nutrients provision(A) and phytoplankton growth(B) in front sea area.

## IV 요약

제주도 서남방 동중국해역에서 하계인 8월에 형성되는 외양 전선역의 특성을 규명하기 위하여 1997년 8월 하순에 관측한 결과를 요약해 보면, B line에서는 정점 B5인 동경 124°E 북위 31°30′에서 표층을 제외한 50m 수심층까지 26°C로 중국 상해쪽이나 제주도 서남방향보다도 높은 수온으로 상하 혼합이 이루어지는 전선역을 형성하고 있다. 또한 염분은 33.4 psu로 중국 연안역보다는 높으나 더 외양역보다는 낮으며 상하혼합이 이루어지고 있어 수온과 같이 전선역이 형성되고 있음을 뒷받침해 주고 있다.

C line에서는 정점 C6인 동경 124°30′ 북위 33°에서 상하혼합을 이루고 있으며 이 해역을 중심으로 중국쪽이나 제주도쪽으로는 성층현상을 나타내고 있다. 염분에서는 32 psu로 저층과는 0.2%사이 밖에 나타나지 않고 있으나 중국쪽 해역 30 psu 이하 제주도쪽으로는 33 psu이상으로 확연히 구분되어지고 있다.

이러한 결과로 볼때 동중국해역 중 양자강 담수의 유출로 인한 외양역에서의 전선역은 양자강 정동방향으로는 124°N, 동북쪽으로는 124°30′ N에서 형성되고 있음을 알 수 있다. 이러한 전선역에서의 영양염특성은 전선역을 중심으로 중국연안쪽에서 높고, 외양역에서 표, 저층간 농도차가 뚜렷하나, 이곳에서는 상하 거의 균일하면서 낮은 농도 분포를 보이고 있다.

엽록소 a 농도는 전선역을 중심으로 중국연안쪽과 외양역에서 높으나 이 곳은 낮은 분포를 보이고 있다. 그러나 용존산소농도는 전선역 중심에서 가장 낮은 분포였다. 이상과 같은 결과로 볼때 전선역이 형성된 해역에서의 생산력은 상하혼합과정에서 흐름의 증대로 식물플랑크톤의 활성이 낮아지는 결과를 보이고 있다고 생각된다. 또한 여름철 동중국해역에서 형성된 외양전선역은 중국대륙 담수의 유출량에 따라 전선역 해역이 우리 제주도까지 밀려올 가능성을 내포하고 있다고 보아진다.

## 참고문헌

- 공영, 1971. 한국남해연안 전선에 관한 연구, 한국해양학회지, 6(1) : 25~36.
- 공영·손송정, 1982. 한국 동해의 해양 열전선에 대한 연구. 수질연구보고. 26:25~52
- 김 구·노홍길·이상호, 1991. 하계 제주도 주변 해역의 수계 및 해수순환. 한국해양학회지, 26(3) : 262~277
- 김인옥, 1986. 제주주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 제주대학교 석사학위논문
- 김인옥·노홍길, 1994. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 한국수산학회지, 27(5) : 515~528
- 노홍길·정공훈, 1978. 환경조건이 고등어 전갱이 어군의 분포에 미치는 영향. 제주대학교 어업연구지 : 125~128
- 방익찬·김태희, 1989. 동지나해 해수 분포의 계절변화와 해수 순환. 제주대학교 논문집, 28, 61~73
- 양성기, 1994. 한국 남해안의 해표면 수온분포와 천해전선의 변동 특성. 한국환경과학회지. 3(2) : 111~128.
- 조규대, 1986. 동지나해의 선망 어장 환경. 어업기술학회지, 22(4) : 104~116
- 최용규·양원석·정주영, 2002. 금강 하구 연안역의 해황과 관련한 영양염 전선. 한국수산학회지, 35(3) : 289~296
- 日本分析化學會 北海道支部, 1985. 水の分析, pp. 198~168.
- APHA, AWWA, APCF, 1989. Standard method for examination of water and wastewater, 16th ed. pp. 417~463
- Guan, B., 1994. Patterns and Structures of the currents in Bohai, Huangjai and East China Sea. In : Oceanology of China Sea. Vol. 1, Ed. by Zhou D., Y. Ling and C. Zeug, Kluwer Academic Publishers, 17~26.
- Lee, C. J. 1983. Characteristics of front near the Cheju Strait in Early Winter. Bull. Korean Fish Soc. 16(2) : 51~58
- Kim, H. K. Rho and I. C. Pang 1992. Seasonal Variations of Water Mass

- Distributions and Their Causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the Adjacent Seas of Cheju Island. Bull. Korean Fish. Soc. 25(2) : 151~163
- Lie, H. J., 1986. Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. Prog. Oceanog., 17, 229~242.
- Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. J. Fac. mar. Sci. Technol., Tokai Univ., : 199~367
- Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio, In : Kuroshio, Ed. H. Stommel and K. Yoshida, Univ., Tokyo Press, 358~369
- Q. A. Zheng and V. Klemas, 1982. Determination of winter Temperature Patterns, Fronts, and Surface Currents in the Yellow Sea and East China Sea from Satellite Imagery Remotesensing of Environment 12 : 201~218
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis, Bul. Fish. Res. Bd. Can., p. 167
- Solorzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. Limnol. Oceanogr., 14: pp. 779~801.



## 감사의 글

이 논문이 나오기까지 미충한 제자의 논문을 세심하게 지적하여 주시고 따뜻한 격려와 조언을 아끼지 않으신 최영찬 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그리고 바쁘신 중에도 시간을 내어 논문을 심사하여 주신 고유봉 교수님, 윤정수 교수님께 감사 드리며, 항상 격려를 아끼지 않으신 이준백 교수님, 방익찬 교수님, 윤석훈 교수님께도 진심으로 감사 드립니다.

초록을 쓰는데 도움을 준 백명선 선생님, 항상 격려를 아끼지 않았던 조인숙 씨께 감사 드립니다.

논문 작업에 같이 힘써주고 많은 도움을 준 승민이와 명일 그리고 수강이를 비롯한 해양화학연구실(재홍, 재형, 선희, 정란) 가족들에게 지필로나마 고마운 마음을 대신합니다.

마지막으로 끝까지 노심초사한 아내 민권이 엄마에게 사랑의 맘을 전합니다.

