

석 사 학 위 논 문

하계 동중국해에서의 용존 및  
입자유기탄소의 분포 특성



제주대학교 대학원

해 양 학 과

김 수 강

2004년 12월

# 하계 동중국해에서의 용존 및 입자유기탄소의 분포 특성

지도교수 최 영 찬

김 수 강

이 논문을 이학석사학위 논문으로 제출함



김수강의 이학석사학위 논문을 인준함

심사위원장 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

제주대학교 대학원


2004년 12월

**Distribution of dissolved and particulate organic  
carbon in the East China Sea in summer**

**Soo-Kang Kim**

**(Supervised by Professor Young Chan Choi)**

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



**DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

**DECEMBER, 2004**

# 목 차

List of Figures and Table .....	i
Abstract .....	iii
1. 서 론 .....	1
2. 연구해역 .....	3
3. 재료 및 방법 .....	4
3.1. 수온, 염분 및 pH .....	4
3.2. 무기영양염류(Nutrients) .....	4
3.3. 엽록소 a (Chlorophyll a) .....	6
3.4. 입자성 부유물질(SPM, suspended particulate matter) .....	6
3.5. 총유기탄소(TOC, total organic carbon) .....	6
3.5.1. 용존유기탄소(DOC, dissolved organic carbon) .....	7
3.5.2 입자유기탄소(POC, particulate organic carbon) .....	7
4. 결과 및 고찰 .....	8
4.1. 수온 및 염분 .....	8

4.2. pH	9
4.3. 무기영양염류의 분포 특성	14
4.3.1. 암모니아 질소(Ammonia)	14
4.3.2. 아질산 질소(Nitrite)	14
4.3.3. 질산 질소(Nitrate)	14
4.3.4. 인산 인(Phosphate)	15
4.4. 엽록소 a(Chlorophyll a)	15
4.5. 입자성 부유물질(SPM)	20
4.6. 용존유기탄소(DOC)의 분포	23
4.7. 입자유기탄소(POC)의 분포	25
5. 요약	34
참고문헌	36

## List of Figures and Tables

Fig. 1. Location of sampling stations in the study area. (A1~A12 : August 2003, B1~B10 : September 2004). .....	3
Fig. 2. The horizontal distribution of temperature(°C) (August 2003, September 2004). .....	10
Fig. 3. The horizontal distribution of salinity(‰) (August 2003, September 2004). .....	11
Fig. 4. The horizontal distribution of density( $\sigma_t$ ) (August 2003, September 2004). .....	12
Fig. 5. The horizontal distribution of pH (August 2003, September 2004). .....	13
Fig. 6. The horizontal distribution of $\text{NH}_4^+\text{-N}(\mu\text{M})$ (August 2003, September 2004). .....	16
Fig. 7. The horizontal distribution of $\text{NO}_2^-\text{-N}(\mu\text{M})$ (August 2003, September 2004). .....	17
Fig. 8. The horizontal distribution of $\text{NO}_3^-\text{-N}(\mu\text{M})$ (August 2003, September 2004). .....	18
Fig. 9. The horizontal distribution of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}(\mu\text{M})$ (August 2003, September 2004). .....	19
Fig. 10. The horizontal distribution of Chlorophyll a( $\mu\text{g}/\ell$ ) (August 2003, September 2004). .....	21
Fig. 11. The horizontal distribution of suspended particulate matter (SPM, $\text{mg}/\ell$ ) (August 2003, September 2004). .....	22

<b>Fig. 12. The horizontal distribution of dissolved organic carbon(DOC, <math>\mu\text{M C}</math>) (August 2003, September 2004).</b>	<b>26</b>
<b>Fig. 13. The horizontal distribution of particulate organic carbon(POC, <math>\mu\text{M C}</math>) (August 2003, September 2004).</b>	<b>27</b>
<b>Fig. 14. Relationship between density(<math>\sigma_t</math>) and POC concentration(a), density (<math>\sigma_t</math>) and DOC concentration(b) (August 2003, September 2004).</b>	<b>31</b>
<b>Fig. 15. Relationship between SPM and POC concentration(a), SPM and DOC concentration(b) (August 2003, September 2004).</b>	<b>32</b>
<b>Fig. 16. Relationship between Chl. a and POC concentration(a), Chl. a and DOC concentration(b) (August 2003, September 2004).</b>	<b>33</b>
<b>Table 1. DOC in temperate-zone neritic near-surface water. HTC (high-temperature combustion); PR(persulphate digestion); UV (ultra-violet photo-oxidation); DC (dry combustion); HTC (SU) [Suzuki's system]; HTC (SHI) [Shimazu system].</b>	<b>24</b>
<b>Table 2. The mean concentration of water mass types in the study area (type I : B1~B10; type II : A1, A2, A3, A6, A7; type III : A4, A8, A10, A11, A12).</b>	<b>28</b>

## Abstract

This study was conducted around the southwest sea areas of Jeju and coastal sea areas of China in August 2003 and September 2004 to research distribution patterns of dissolved inorganic nutrients, dissolved and particulate organic carbon.

Distribution patterns of nutrients in the East China Sea in summer were shown to be influenced by water masses and phytoplankton. Water masses in the East China Sea in summer, except for coastal sea areas of china, showed less vertical mixing process, causing decline in the inflow of nutrients to surface water. Bottom water, however, showed high concentration, since nutrients made by dissolved organic matters from surface water were accumulated at the bottom. sea areas with high concentration of chlorophyll a showed low concentration of nutrients and vice versa, indicating biological activities control dissolved inorganic nutrients.

The distribution of dissolved organic carbon didn't show any correlation with salinity, temperatures, and water masses. Areas around the river mouth of the Changjiang showed high concentration of dissolved organic carbon more than  $100\mu\text{M}$ , but relatively low concentration in the southwest sea areas of Jeju, indicating that the river mouth of the Changjiang coastal water has a great influence on dissolved organic carbon in the East China Sea.

Distribution patterns of particulate organic carbon in the research



areas showed the highest concentration of average  $9.23\mu\text{M}$  in coastal areas of China influenced by the river mouth of the Changjiang coastal water. By comparison, the concentration was relatively low at  $3.04\mu\text{M}$  in the southeast sea areas of Jeju on which the Taiwan warm current has influence, and was  $7.23\mu\text{M}$  in the central sea areas of Jeju. Thus, there is much indication that the river mouth of the Changjiang coastal water serves as a supplier of particulate organic carbon along with autogenous source.

In general, if particulate organic carbon has a high correlation with the concentration of Chlorophyll a, it is thought that it is originated from autogenous source. However, the southwest sea areas of Jeju shows low salinity below 30, therefore it is proper to think that its origin is terrestrial source rather than that of autogenesis.



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

## 1. 서론

동중국해는 대륙붕 가장자리를 따라 쿠로시오 지류인 고온고염의 대마난류수가 겨울에 강한 북동계절풍의 영향으로 대만동쪽으로부터의 유입이 강화되어 중국대륙붕쪽으로 넓게 확장되지만(Nitani, 1972), 여름에는 남풍 계절풍의 영향으로 겨울철의 해황과 반대현상이 나타나며(방과 김, 1989; Guan, 1994), 태풍의 영향으로 강수량이 많다. 이러한 기후의 영향은 용존산소 및 용존무기영양염류의 계절변화에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 또한 여름철 제주도 남서해역에서는 반시계 방향의 소용돌이가 형성되어 용승현상에 의해 영양염류가 풍부한 저층수를 상층에 공급하고 중국대륙연안수중 양자강의 유입으로 영양염 분포에 영향을 미친다(Fu, 1992). 한편, 생물적요인인 식물플랑크톤의 분포 또한 영양염의 공간적 분포를 결정하는 주 요인으로 알려져 있다(Broecker, 1974, Chester, 1990; Libes, 1992). 계절변동성이 큰 온대 몬순기후에 속하는 동중국해는 수층의 계절적인 특성이 뚜렷하게 나타난다(과학기술처, 1992). 육상과 해양에서의 풍부한 영양염 공급으로 일차생산력이 봄과 여름에는 높고 겨울에는 낮아 시간 및 공간 변화가 심한 것으로 알려져 있으며(Shiah et al., 1995; Hama, 1995), 하계에는 성층이 발달해 표층수에는 영양염의 유입이 거의 없이 고갈되지만 저층수는 표층에서 유입되는 유기물의 재광물화 작용으로 영양염의 축적이 일어나 영양염의 농도가 증가한다(과학기술부, 1998). 이러한 영양염들은 일차 생산자인 식물플랑크톤의 분포에 직접적인 영양향을 준다(Perkins, 1974; Howarth, 1988; Mingazzini et al., 1990; Taylor et al., 1995; Cha et al., 1998).

동중국해를 대상으로 한 해양환경, 생물환경 및 전선에 관한 많은 연구가 이루어져 왔으나(공, 1971; Hung, 1986; Nozaki et al., 1989; Jiancheng et al., 1991; Liu, 1992; Yongfa, 1992; 김 등, 1994; ; Chen et al., 1995; Yanagi, 1996, 1997; Gong, 1997; Isobe, 1997; Wong, 1991, 1998; 김 등, 1998), 동중국

해와 같이 연해에서의 생지화학적인 탄소순환에 영향을 미치는(Druffel et al., 1992; Hedges, 1992; Lee and Wakeham, 1992; Amon and Benner, 1994; Carlson et al., 1994) 용존유기탄소(DOC)와 입자유기탄소(POC)에 대해서는 상대적으로 자료가 부족한 실정이다(Cao et al., 1988; Hung et al., 2000; Ogawa et al., 2003).

해수 중에 존재하는 유기화합물은 복잡한 화학적 구조와 기원 그리고 다양한 반응성을 갖는 물질로서 해양환경의 생지화학적 순환에 있어 매우 중요한 역할을 수행한다(Cauwet, 1984; Parsons et al., 1984; Hayase and Shinozuka, 1995). 해양의 유기화합물은 일반적으로 0.45 $\mu$ m pore size glass fiber filter에 의해 용존유기물(DOM)과 입자유기물(POM)로 나뉘며(Millero and Sohn, 1992), 용존유기화합물 중 용존유기탄소(DOC)는 해양 환경 내 탄소의 주된 공급원으로 해양의 탄소 순환에서 잠재적으로 중요한 작용을 한다(Packard et al., 2000). 또한 해양의 입자 유기물(POM)은 미생물과 유기입자로 구성되어 있으며, 이들은 해양에서 먹이사슬의 에너지를 전송하는 역할을 수행하며 (Parsons et al., 1984) 해저바닥에 퇴적되어 저서생물에게 먹이 공급원이 되고 이들은 다시 무기화 과정을 거쳐 동·식물 플랑크톤의 영양원이 되기도 한다 (Lee et al., 1993).

이에 본 연구는 중국대륙육상수 유입이 많은 하계의 제주도 남서부해역과 중국 연안해역에서의 영양염의 분포를 이해하기 위하여 수온, 염분에 의한 수괴특성의 파악과 더불어 생물적요인인 식물플랑크톤의 분포를 파악하고 용존유기탄소와 입자유기탄소의 농도분포에 영향을 미치는 요인에 대하여 이해하고자 한다.

## 2. 연구해역

동중국해 및 제주주변해역은 쿠로시오의 지류인 고온고염의 대마난류수와 저온저염인 연안수로 구분되며 이 두 수괴사이에 수온·염분 전선을 형성한다(이, 1992), 특히 제주도 주변해역 및 대륙붕해역의 표층에는 저염(<32psu)의 양자강 희석수가 넓게 분포되어 외해로 갈수록 고염의 외해수와 혼합에 의해 염분이 증가하며, 대륙사면 해역의 수심 100~200m에서는 고염(>34.9psu)의 쿠로시오수가 대륙붕쪽으로 유입된다(한국해양연구소, 1997).

본 연구해역은 제주도 남쪽해역에서부터 중국 연안역까지 북위 31°에서 33° 30', 동경 123°에서 127°사이의 최저 27m 최대 129m의 수심에서 2003년 8월(12개 정점)과 2004년 9월(10개 정점)에 조사되었으며, 표층에서 저층까지 3~6개의 수층에서 Niskin채수기를 이용하여 채수하였다.

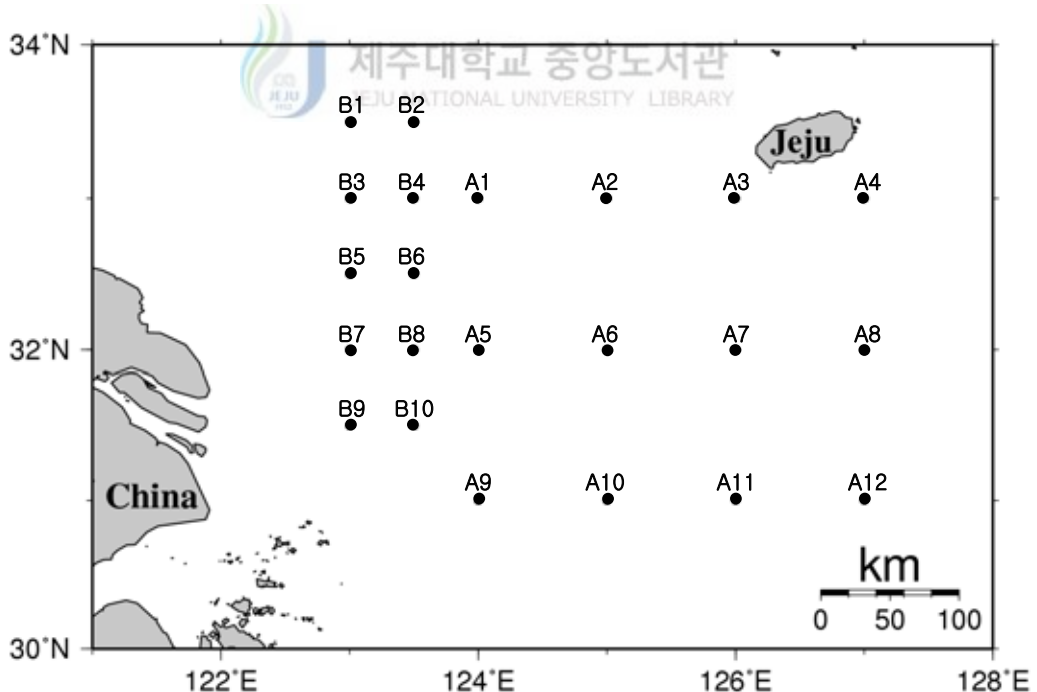


Fig. 1. Location of sampling stations in the Study area.(A1~A12 : August 2003, B1~B10 : September 2004)

### 3. 재료 및 방법

본 연구조사는 2003년 8월과 2004년 9월의 총 22개 정점에서 Niskin채수기로 채수하였으며 채수된 해수의 영양염 분석을 위한 시료는 detergent(10%)와 염산(10% HCl)처리된 HDPE sample bottle에 넣은 후 -20℃ 이하에서 보관되어 실험실에 옮겨져 분석하였다. 총유기탄소(TOC) 측정을 위한 시료는 현장에서 인산(0.1ml of 50% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>/20ml of sample)처리후 detergent(10%)와 염산(10% HCl)처리된 125ml HDPE sample bottle에 넣어 -20℃ 이하에서 냉동보관 후 실험실로 옮겨 추출한 후, detergent(10%) 질산(10% HNO<sub>3</sub>)으로 처리된 20ml glass vial(teflon liner bottle)에 넣어 분석하였다.

#### 3.1. 수온, 염분 및 pH

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

#### 3.2. 무기영양염류(Nutrients)

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

무기 영양염류는 암모니아 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), 아질산 질소(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N), 질산 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)를 각각 Phenol hypochlorite method, Sulfanilamide-N.E.D Method 그리고 cadmium reduction method에 준하여 분석하였으며 인산 인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)는 Ascorbic acid method으로 분석을 행하였다.

##### 3.2.1. 암모니아 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ; Ammonia)

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.

### 3.2.2. 아질산 질소( $\text{NO}_2^-$ -N ; Nitrite)

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

### 3.2.3. 질산 질소( $\text{NO}_3^-$ -N ; Nitrate)

Cadmium reduction method를 이용하였으며  $\text{NH}_4\text{Cl}$  Buffer 용액 상태하에 서 시료를 cadmium colum에 통과시켜 아질산으로 환원시킨 후 아질산 질소의 분석 방법과 같은 NED Method로 분석하고 시료 중에 원래 존재하는 아질산 질소를 빼서 보정하였다.

### 3.2.4. 인산 인( $\text{PO}_4^{3-}$ -P ; Phosphate)

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.

### 3.3. 엽록소 *a*(Chlorophyll *a*)

연구해역내의 채수된 시료를 형광광도계(Tuner Designe, Model 10-AU)를 이용해 획득한 형광값과 시료를 아세톤으로 직접 추출하여 원심분리시킨 후 각각의 파장에서의 흡광도를 SCOR/UNESCO식으로 계산한 후(Strickland and Parsons, 1972)의 값과 비교하여 보정하였다.

### 3.4. 입자성 부유물질(SPM, Suspended Particulate Matter)

선상에서 시수 1~3 ℓ를 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).

### 3.5. 총유기탄소(TOC, Total Organic Carbon)

실험실로 옮겨온 시료는 sugimura와 Suzuki(1988)의 방법에 따라 측정하였다. HTCO(high-temperature catalytic oxidation)/NDIR(non-dispersive infrared gas analysis)의 방법(Sugimura and Suzuki, 1988)으로 TOC-5000A(SHIMADZU)의 auto sampler를 이용하여 측정하였으며, carrier gas는 초순도 O<sub>2</sub> gas (CO, CO<sub>2</sub>, Hydrocarbon 1ppm 이하)를 사용하였고, Milli-Q reagent water를 UV-oxidize시킨 후 분석용 blank로 사용하였다. Standard로서는 potassium hydrogen phthalate를 UV-oxidize 시킨 Milli-Q reagent water에 녹여 400mgC / ℓ를 만든 뒤 희석하여 사용하였다. 분석은 시료에 2N HCl 처리 후 탈기시켜 무기탄소를 제거한 뒤 측정하는 NPOC(Non-purgeable Organic Carbon)의 방법으로 측정하였으며, flow rate 150ml/min, sparging flow rate 120ml/min, sparging time 5min의 조건으로 분석하였다.



### 3.5.1. 용존유기탄소(DOC, Dissolved Organic Carbon)

용존유기탄소의 분석은 GF/F filter paper(Whatman, 0.7 $\mu$ m)로 여과 후 총유기탄소와 동일한 방법으로 분석하였다.

### 3.5.2. 입자유기탄소(POC, Particulate Organic Carbon)

총유기탄소량에서 용존유기탄소량을 감산하였다.



## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. 수온 및 염분

연구해역의 표층수온 분포는 23.80~29.17℃(평균 26.48℃)의 범위로 서부해역에서 남동부해역으로 갈수록 높은 분포를 보였다(Fig. 2). 10m층은 18.81~29.48℃(평균 25.24℃)의 범위로 표층에 비해서 중앙부해역을 제외한 대부분의 해역에서 1℃내외의 낮은 분포경향을 보였다. 저층은 11.40~25.60℃(평균 19.59℃)의 범위로 정점 B4~B10에서는 24℃의 내외의 일정한 온도분포로 표저의 별다른 차이를 보이지 않았으며, 이 정점들을 제외한 대부분의 해역에서는 표저 간 10℃ 내외의 차이를 보였다. 정점 B1, B2와 A1~A3에서는 11.40~15.00℃의 범위로 낮은 분포를 보이며, 정점 A9와 B4~A10에서는 23.14~25.60℃의 분포로 서부해역에서 남부해역으로 갈수록 높은 경향을 보였다.

연구해역의 염분분포는 표층에서 26.10~33.85‰(평균 30.89‰)의 범위로 정점 A1~A12에서는 26.10~33.85‰(평균 29.88‰)이고, 정점 B1~B10에서는 31.00~33.20‰(평균 31.89‰)의 분포로 B해역이 A해역에 비해 다소 높은 염분도를 나타내었으며, 정점 A6에서 26.10‰로 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 3). 10m층은 29.19~33.20‰(평균 31.63‰)의 범위로 제주도 서남해역에서 30‰이하의 저염대가 분포하고 있었다. 저층은 31.10~34.52‰(평균 32.85‰)의 범위로 정점 B1~B10에서는 표저층간의 별다른 차이가 없었으나, 정점 A1~A12에서는 표저층간 4‰ 내외의 차이를 보였으며 정점 A4, A8, A9와 A12에서 34‰이상의 높은 염분분포를 나타내었다(Fig. 3).

관측된 자료의 밀도분포는 염분과 비슷한 양상을 띄고 있으며, A해역의 표층에서 밀도( $\sigma_t$ )가 15.73~21.27이며, 연구해역의 중앙해역인 정점 A6에서 수온 27.97℃와 염분 26.10으로 밀도( $\sigma_t$ )가 15.73의 가장 낮은 분포를 보였고 중국 연안역인 B해역의 표층은 20.35에서 21.85로 비교적 균일한 밀도분포를 보였

다(Fig. 4). 저층에서는 양자강 부근의 정점 B5에서 20.49로 주변해역에 비해 저밀도를 보였으며, 제주 남동쪽해역이 25.00이상으로 가장 높은 밀도분포를 보이고 있었다. A해역에서는 표층과 저층에서 밀도( $\sigma_t$ )가 18.63~24.19로 5.5이상의 밀도차를 보인 반면, B해역에서는 표저간 21.05~22.09의 비교적 균등한 밀도를 가진 혼합층이 분포하고 있었다. 제주도 서남쪽해역인 정점 A6의 표층에서 15.73의 낮은 값으로 주변해역이 저밀도를 나타냈고, 표층 저염에 의한 10m층의 중앙부해역까지 저밀도를 보이고 있었다. 수온, 염분 및 밀도분포로서 연구해역의 수계는 중국연안역의 혼합수괴, 고온, 저염(26.5°C 이상, 29‰ 이하)의 표층 저밀도수, 고염(34‰ 이상)의 저층 고밀도수 및 혼합수괴 등으로 구분할 수 있다.

## 4.2. pH

일반적으로 해양 표층의 pH는 8.1~8.3이며, 광합성이 활발한 해역에서는 보다 높은 값을 보인다. pH는 수심이 깊어짐에 따라  $\text{CaCO}_3$ 의 용해나 유기물 분해에 따른  $\text{CO}_2$  증가에 의해 감소한다(Millero and Sohn, 1992).

연구해역의 표층 pH는 8.04~8.65(평균 8.33)의 분포를 보이며(Fig. 5), 정점 B해역의 경우 8.17~8.65(평균 8.43)로 A해역의 8.04~8.41(평균 8.22)보다 다소 높은 값을 보였다. 정점 A6에서 표층의 높은 pH값(8.4)은 정점 A1~A3 표층까지 영향을 주어 8.3이상을 보인 반면 제주도 남쪽해역인 정점 A7은 8.1을 보이고 있는데, 이는 20m 이심층에 8.0이하의 낮은 값을 가진 저층수괴가 상승하여 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다. A해역은 수온약층을 경계로 표저간 많은 차이를 보인 반면, B해역은 표저간 거의 균일한 값을 보이고 있어 수온과 염분에서 나타난 혼합층이 pH에서도 잘 나타나고 있었다.

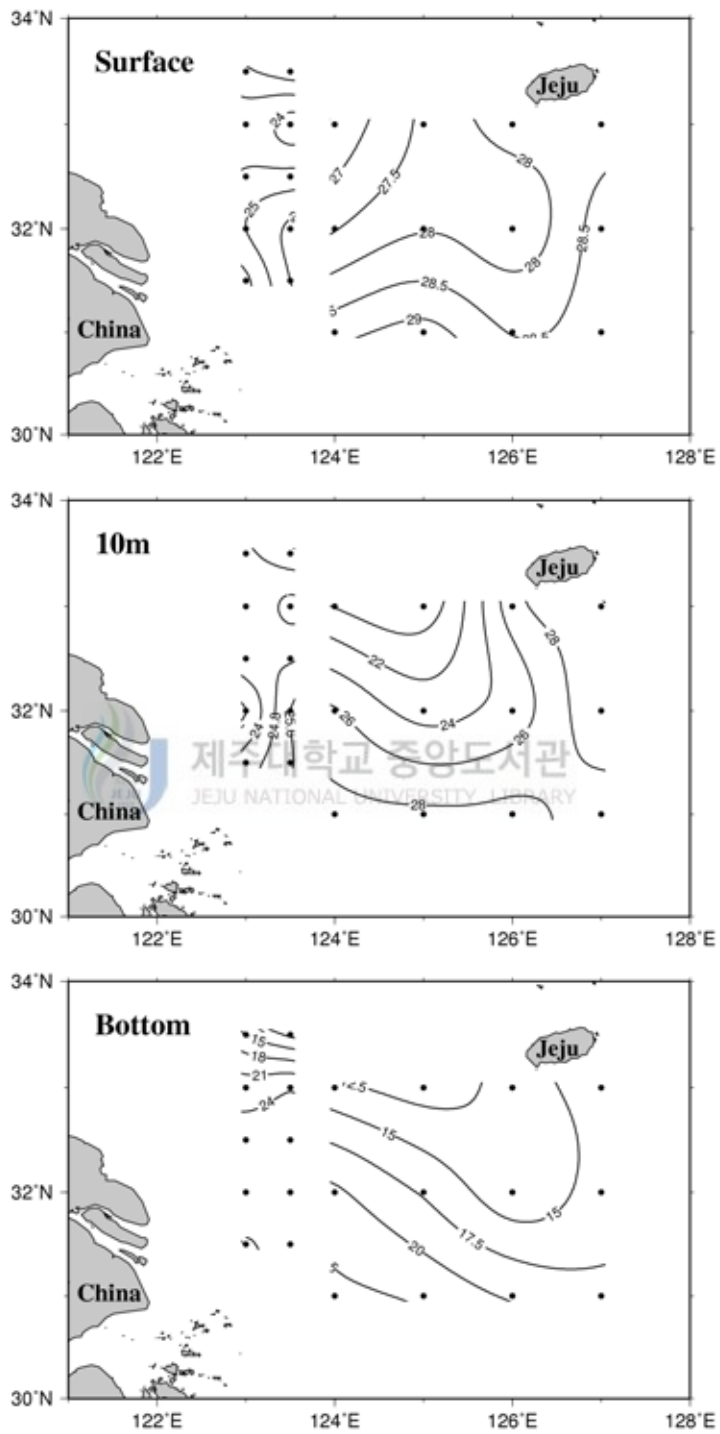


Fig. 2. The horizontal distribution of temperature(°C)(August 2003, September 2004).

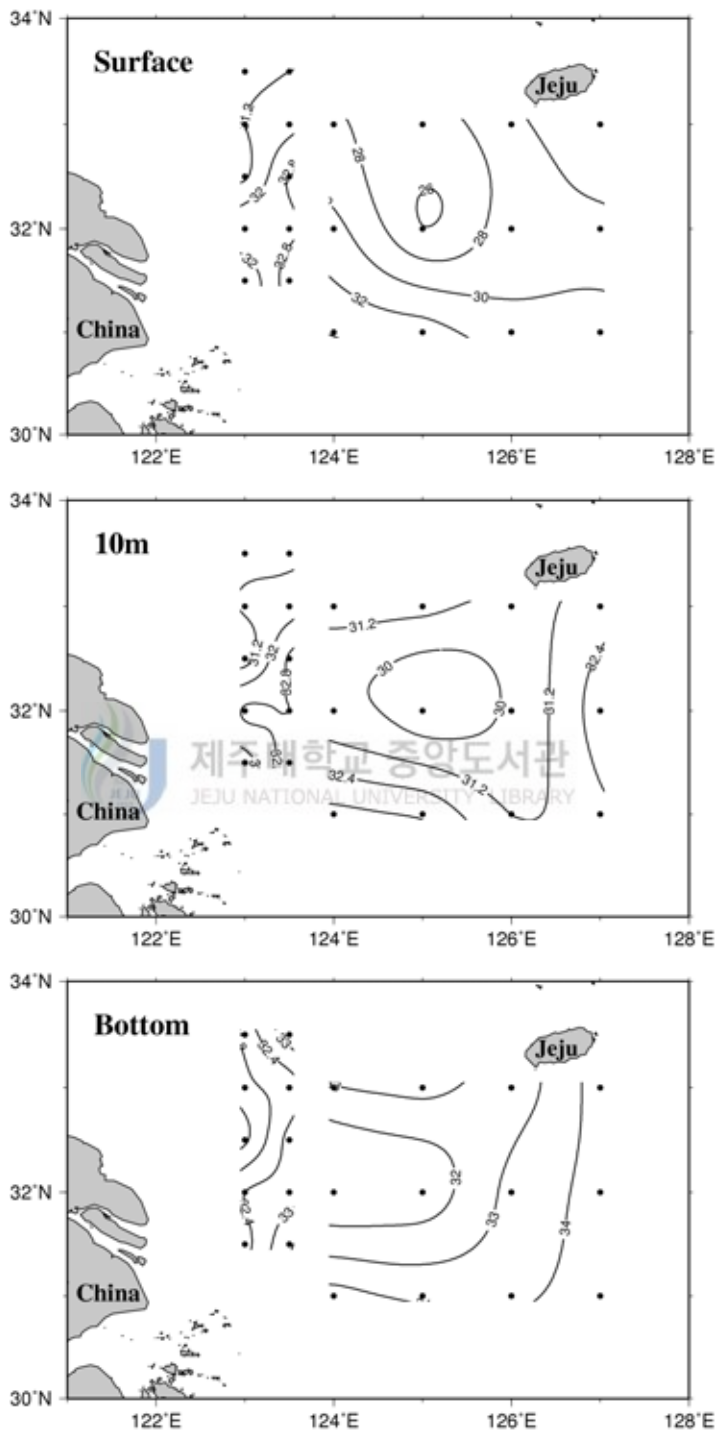


Fig. 3. The horizontal distribution of Salinity(‰)(August 2003, September 2004).

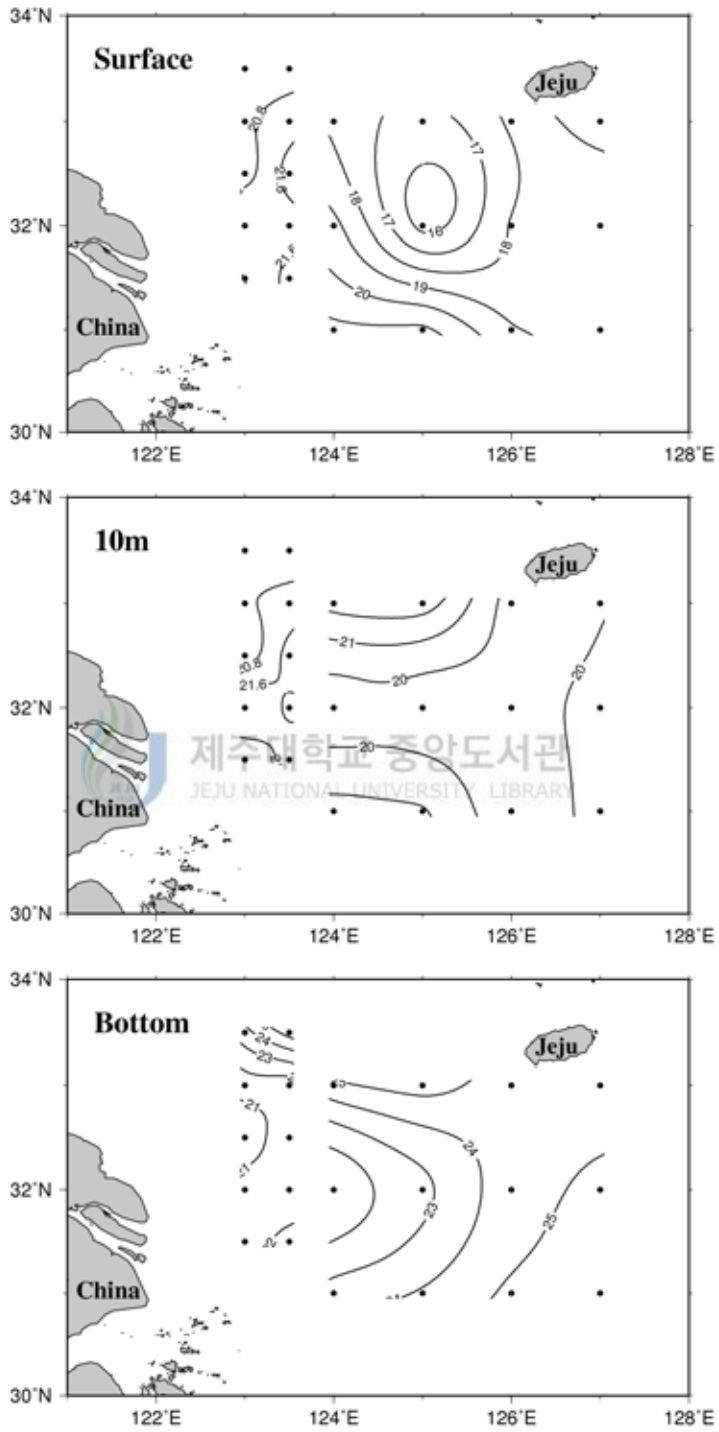


Fig. 4. The horizontal distribution of Density( $\sigma_t$ )(August 2003, September 2004).

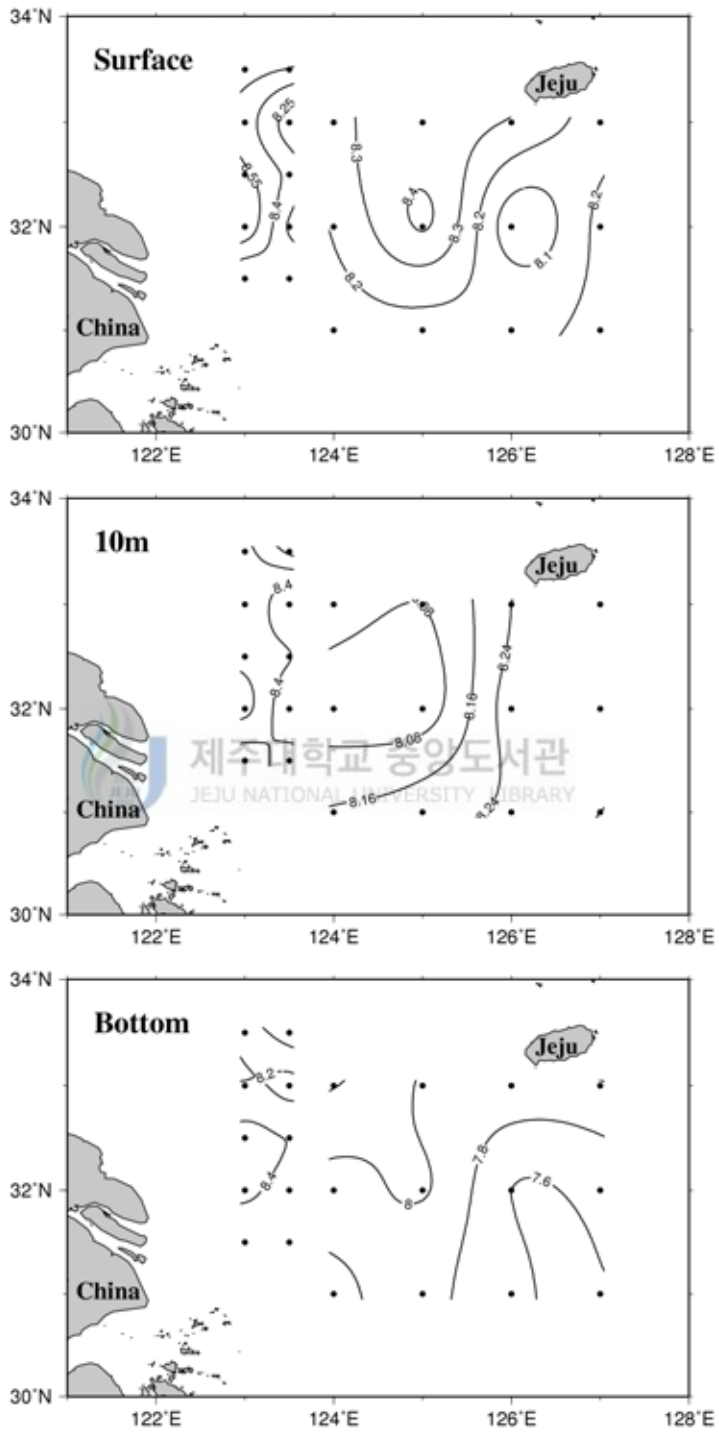


Fig. 5. The horizontal distribution of pH( $\mu$ M)(August 2003, September 2004).

### 4.3. 무기영양염류의 분포 특성

#### 4.3.1. 암모니아 질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ; Ammonia)

연구해역의 암모니아 질소는 표층에서 0.13~11.62 $\mu\text{M}$ (평균 3.23 $\mu\text{M}$ )의 범위를 보이며(Fig. 6), 중국연안역인 B해역과 제주도 남쪽해역인 정점 A12에서 높은 분포를 보이고 있었고 이를 제외한 해역에서는 1 $\mu\text{M}$  이하의 낮은 농도분포를 나타내고 있었다. A해역의 10m층에서는 제주도 서남쪽해역인 정점 A2에서 가장 높은 값으로 나타났으며, B해역은 표층과 별다른 차이를 보이지 않았다. 저층에서는 0.07~7.99 $\mu\text{M}$ (평균 2.52 $\mu\text{M}$ )의 범위로 표저간 1 $\mu\text{M}$ 이상의 차이를 나타내고 있었으며, 연구해역의 전조사 정점간 다소 산만한 농도분포를 보이고 있었다.

#### 4.3.2. 아질산 질소( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ; Nitrite)

연구해역의 아질산 질소는 표층에서 0.03~0.61 $\mu\text{M}$ (평균 0.69 $\mu\text{M}$ )의 범위를 보이며(Fig. 7), B해역은 0.16~2.99 $\mu\text{M}$ (평균 1.18 $\mu\text{M}$ )의 농도 분포로 A해역의 0.03~0.61 $\mu\text{M}$ (평균 0.20 $\mu\text{M}$ )보다 1 $\mu\text{M}$ 이상의 농도 분포로써 중국 연안역에서 높은 농도를 보이고 있었다. A해역의 10m층에서는 평균 0.32 $\mu\text{M}$ 로 표층보다 다소 높은 농도를 보이는 반면 B해역은 다소 낮은 값을 나타내고 있었고, 저층에서는 평균 0.75 $\mu\text{M}$ 로 표저간 큰 차이를 보이지 않았으나 저층에서 다소 높은 농도분포를 보이고 있었다.

#### 4.3.3. 질산 질소( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ; Nitrate)

연구해역의 질산 질소는 표층에서 0.15~11.97 $\mu\text{M}$ (평균 3.52 $\mu\text{M}$ )의 범위를 보



이며(Fig. 8.), A해역에서 0.15~7.10 $\mu$ M(평균 1.51 $\mu$ M)의 분포로 B해역의 0.52~11.97 $\mu$ M(평균 5.52 $\mu$ M)으로 큰 차이를 보이고 있었다. 중국연안역인 B해역의 표층에서 정점간 다소 산만한 분포를 보이며, A해역은 B해역에 비해 전반적으로 낮은 농도분포를 나타내고 있었다. 10m층에서 B해역은 표층에 비해 1.5 $\mu$ M정도 낮은 농도를 보이며, A해역은 정점 A5, A6을 제외한 해역에서 표층과 별다른 차이를 보이지 않았다. 저층에서는 B해역에서 평균 8.94 $\mu$ M로 표층과 큰 차이를 보였으며, 조사정점 대부분의 해역에서 수심증가에 따라 질산 질소의 농도가 증가하는 경향을 보이고 있었다.

#### 4.3.4. 인산 인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ; Phosphate)

연구해역의 인산 인은 표층에서 0.059~0.845 $\mu$ M(평균 0.28 $\mu$ M)의 범위를 보이며(Fig. 9.), A해역에서는 0.059~0.296 $\mu$ M(평균 0.143 $\mu$ M)의 분포로 B해역의 0.053~0.845 $\mu$ M(평균 0.417 $\mu$ M)에서 보다 낮은 농도분포를 보이고 있었다. A해역의 제주도 서쪽해역 정점과 동남해역 정점에서 다소 높은 농도를 보이며, 중국연안역의 양자강에 근접한 정점에서 가장 높은 농도를 나타내고 있었다(Fig. 9.). 10m층에서 B해역은 평균 0.275 $\mu$ M로 표층에 비해 다소 낮은 값을 보였고, A해역은 평균 0.301 $\mu$ M로 다소 높은 농도를 보였다. 저층은 0.211~1.637 $\mu$ M(평균 0.644 $\mu$ M)로 표층에 비해 0.5 $\mu$ M이상의 큰 농도차이를 보이며, 전조사정점에서 수심이 증가할수록 인산염의 농도가 증가하는 경향을 나타내고 있었다.

#### 4.4. 엽록소 *a*(Chlorophyll *a*)

생물적 요인인 식물플랑크톤의 분포가 영양염의 공간적 분포를 결정하는 주요인으로서(Broecker, 1974, Chescer, 1990; Libes, 1992) 해양의 생태계를 파악

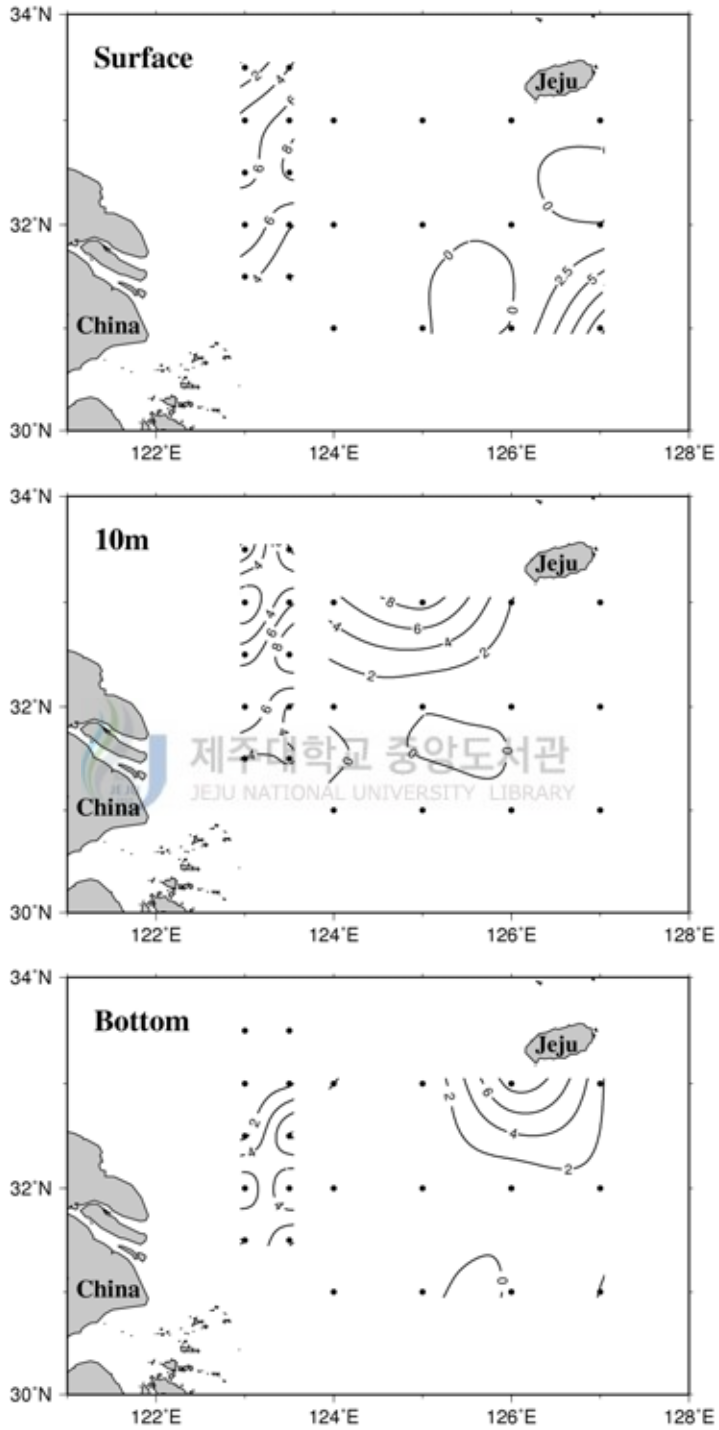


Fig. 6. The horizontal distribution of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ( $\mu\text{M}$ ) (August 2003, September 2004).

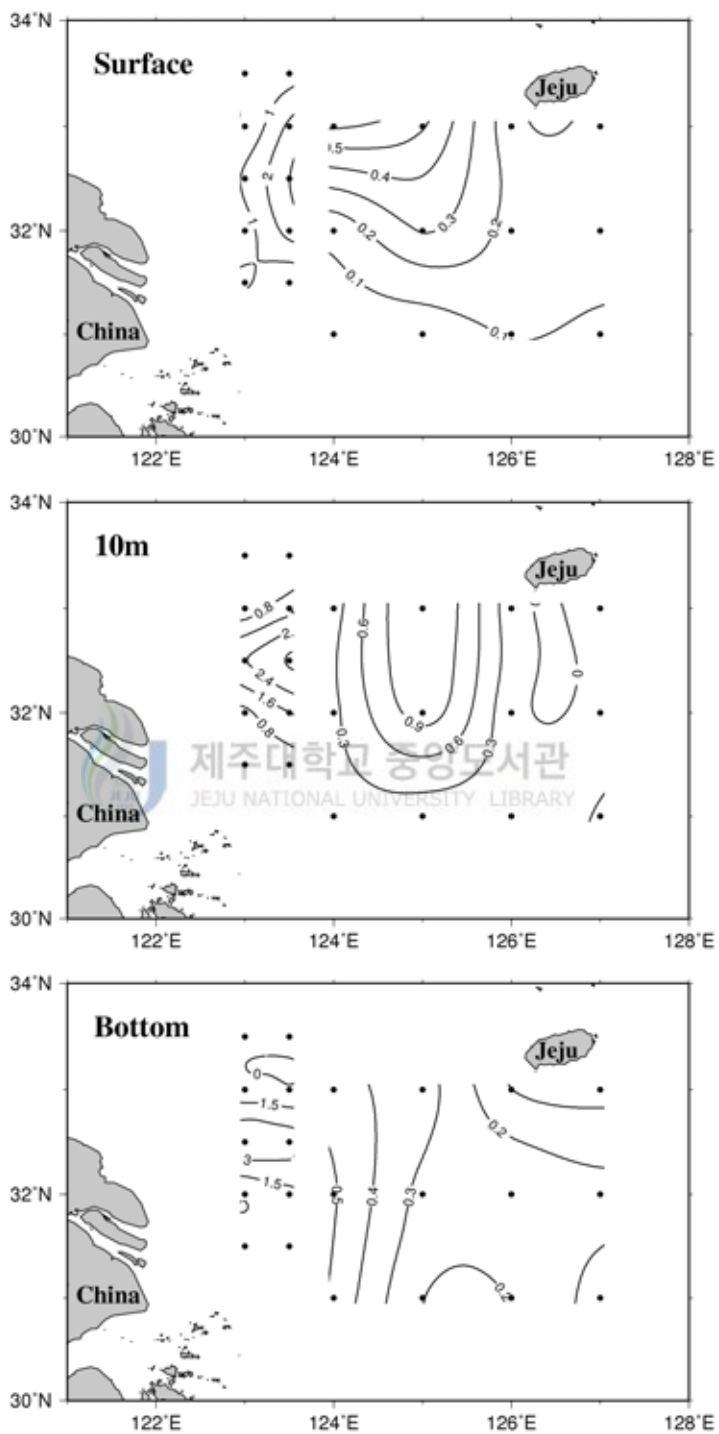


Fig. 7. The horizontal distribution of  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  ( $\mu\text{M}$ ) (August 2003, September 2004).

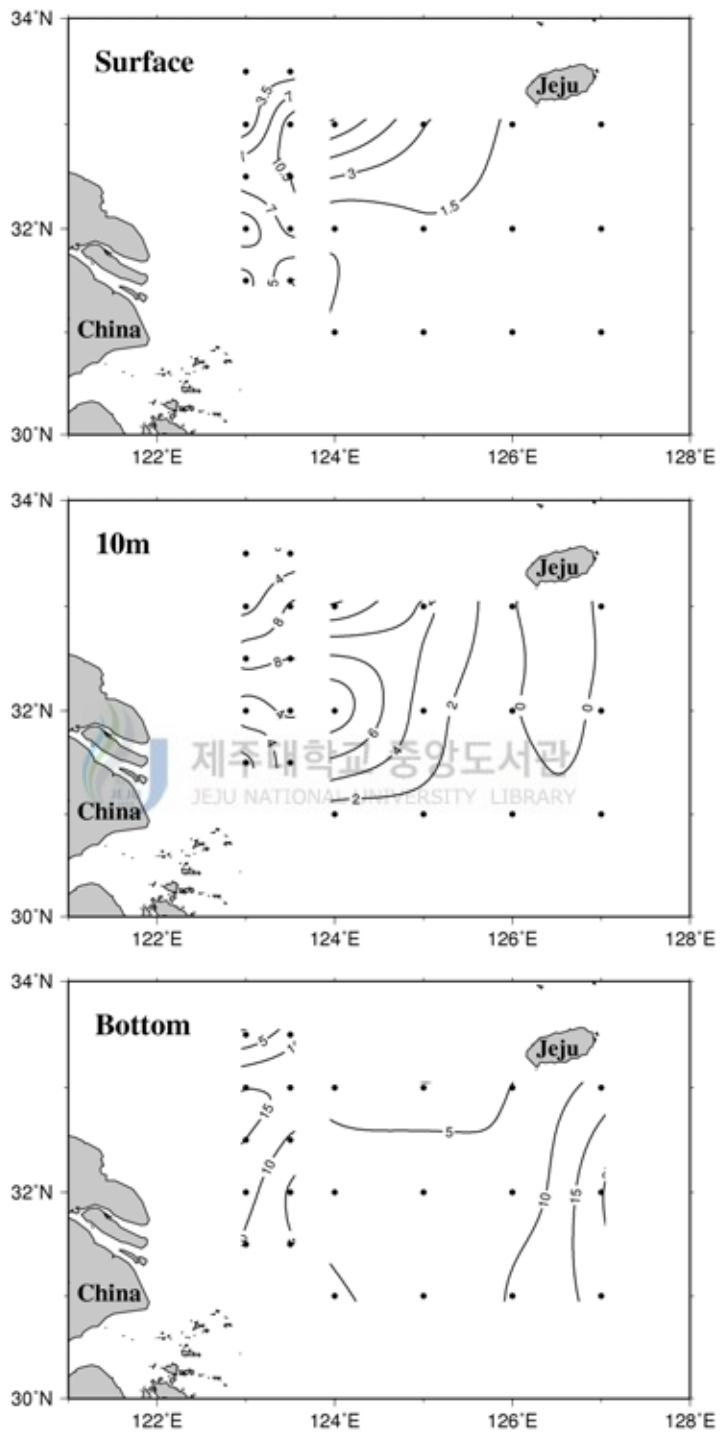


Fig. 8. The horizontal distribution of  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  ( $\mu\text{M}$ ) (August 2003, September 2004).

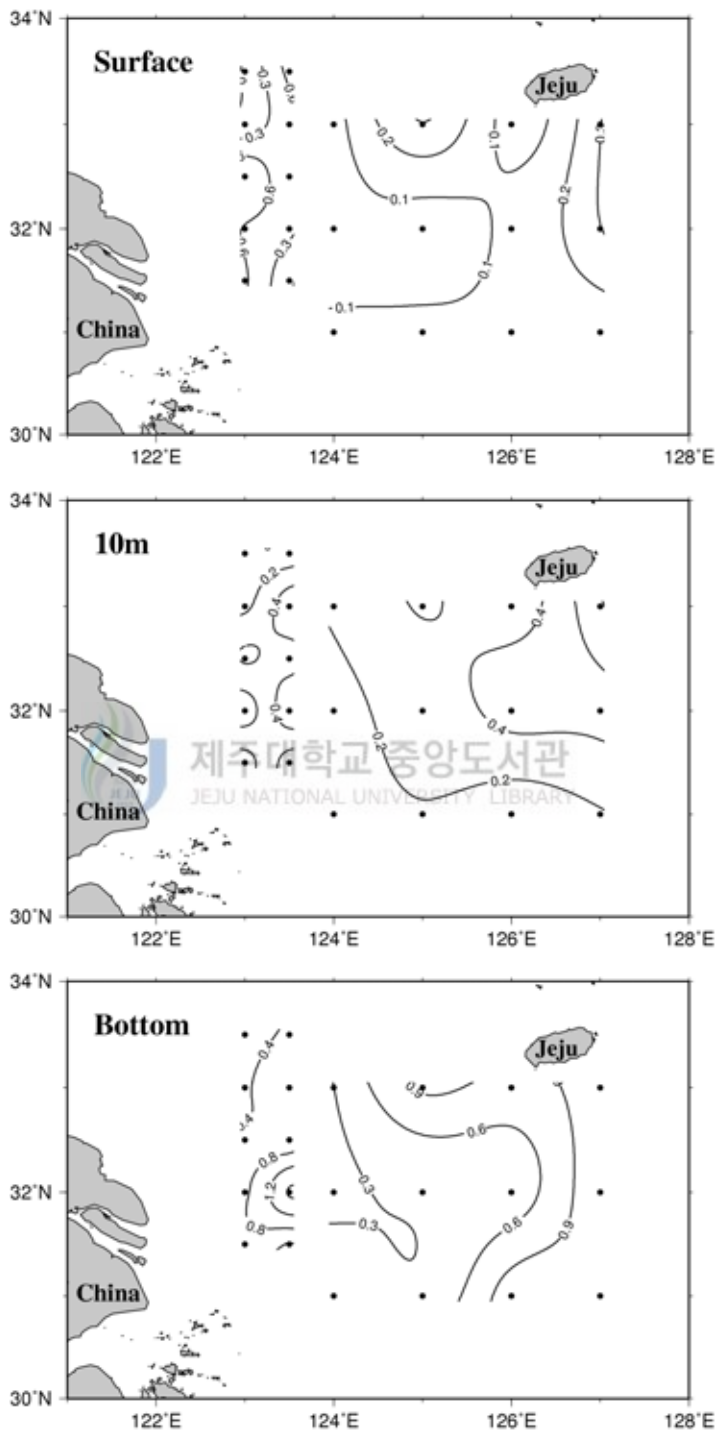


Fig. 9. The horizontal distribution of  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  ( $\mu\text{M}$ ) (August 2003, September 2004).

하는 데 중요한 정보를 제공하며, 하천의 유입, 해류의 특성과 더불어 식물플랑크톤의 분포가 영양염의 공간적 분포에 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (Gong et al.,1996; Shen,1996). 일반적으로 중위도에서 식물플랑크톤의 대증식은 3~4월에 발생하며(Stowe, 1970) 영양염의 고갈과 포식자의 활동으로 늦봄이나 이른 여름에 사라지고, 하계에서 추계까지 저층으로 유입된 유기물이 분해되어 저층에는 영양염류가 축적된다고 보고되고 있다(Harris. 1986). 연구해역의 Chlorophyll a는 표층에서  $0.62\sim 2.72\mu\text{g}/\ell$  (평균  $1.27\mu\text{g}/\ell$ )의 농도범위를 가졌으며 정점 A6, A7과 중국 연안역인 B해역의 대부분에서 높은 농도를 보였다(Fig. 10.). 10m층에서는  $0.23\sim 3.26\mu\text{g}/\ell$  (평균  $1.62\mu\text{g}/\ell$ )로 표층에서보다 높은 농도를 보이며 저층에서는  $0.12\sim 0.94\mu\text{g}/\ell$  (평균  $0.52\mu\text{g}/\ell$ )로 수심이 증가함에 따라 농도가 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 이 값들은 다른 연구에서 조사된 수치(과학기술부, 1998)들 보다 다소 높은 값을 나타내고 있었으며, 영양염의 농도가 낮은 해역에서 Chlorophyll a의 농도가 높게 나타났고 Chlorophyll a의 농도가 감소하는 수심이하에서 영양염의 농도가 증가함을 볼 수가 있었다(Fig. 10.).

#### 4.5. 입자성 부유물질(SPM, Suspended Particulate Matter)

일반적으로 입자성부유물질의 농도는 육상수의 유입 및 동·식물플랑크톤의 생산, 퇴적물로부터의 재부유에 의해 조절된다.

연구해역의 입자성부유물질은 표층에서  $3.60\sim 27.60\text{mg}/\ell$  (평균  $12.08\text{mg}/\ell$ )의 범위로 중국연안역인 B해역에서 평균  $15.90\text{mg}/\ell$ 로 A해역의 평균  $8.26\text{mg}/\ell$ 에 비해 큰 농도 차이를 보이고 있었다(Fig. 11.). A해역의 정점 A6에서 주변 정점에 비해 다소 높은 농도를 보였고, B해역의 양자강에 근접한 정점에서 가장 높은 값을 나타내고 있었다. 10m층에서 B해역은 평균  $4.76\text{mg}/\ell$ 으로 표층과 별다른 차이를 보이지 않는 반면 A해역은 평균  $5.71\text{mg}/\ell$ 로 다소 낮은

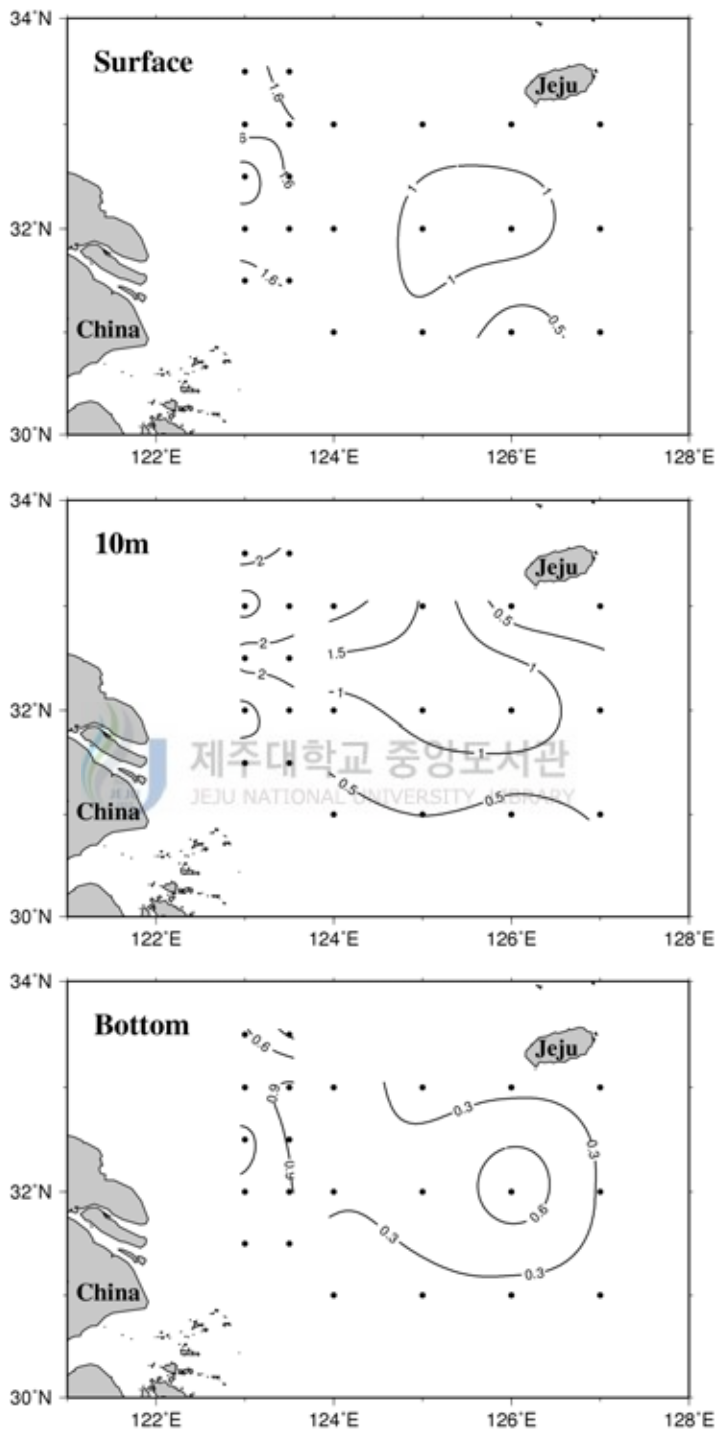


Fig. 10. The horizontal distribution of Chlorophyll a ( $\mu\text{g}/\ell$ ) (August 2003, September 2004).

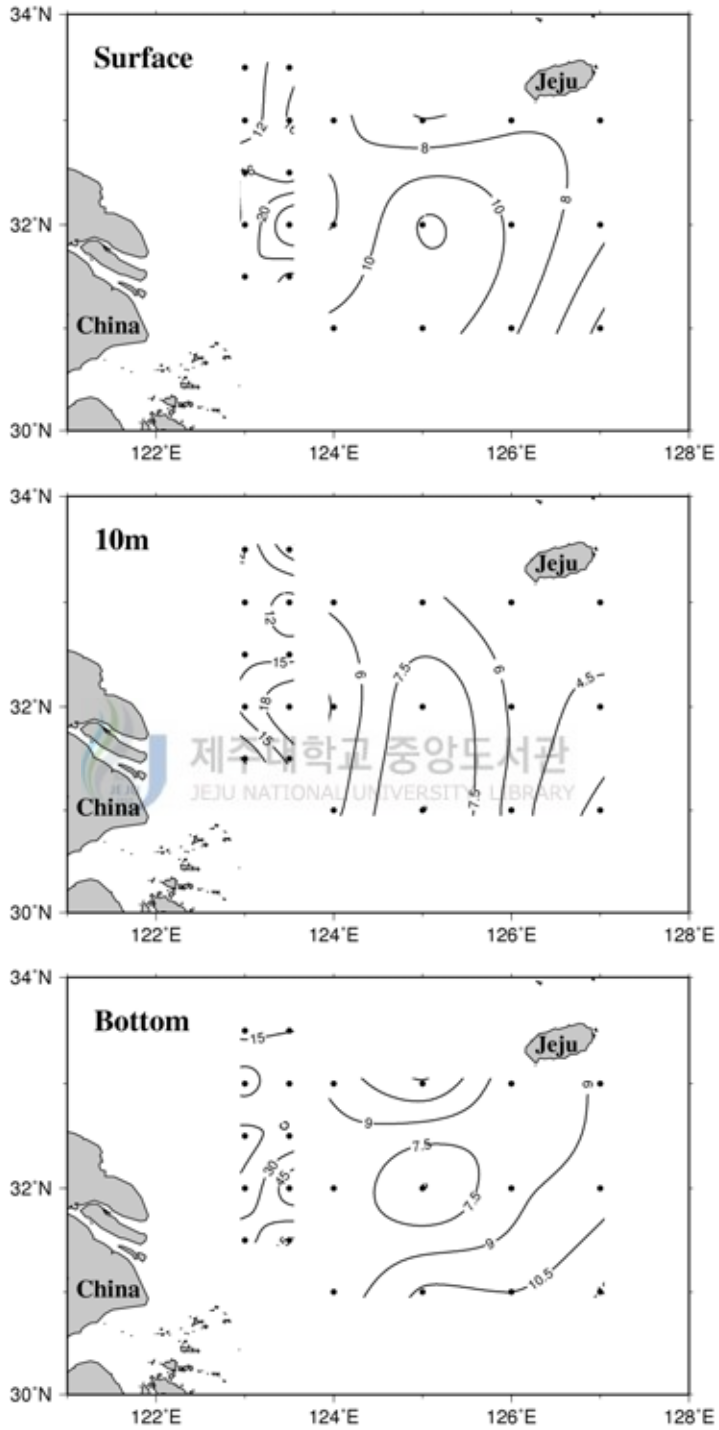


Fig. 11. The horizontal distribution of suspended particulate matter (SPM,  $\text{mg}/\ell$ ) (August 2003, September 2004).



농도분포를 보이고 있었다. 저층에서는 B해역에서 평균 9.32mg/ℓ로 높은 농도 분포를 나타냈으며, 이는 양자강 부근의 정점의 표층수의 침강물질과 저층 퇴적물의 재부유에 의한 것이라 생각되어지며, A해역의 표층에서 높은 농도를 나타내었던 정점 A6에서 저층에서는 가장 낮은 농도를 보여 표층과 반대 양상을 나타내고 있었다.

#### 4.6. 용존유기탄소(DOC, Dissolved Organic Carbon)의 분포

보편적인 용존유기탄소의 분포 형태는 용존유기물질(DOM)에 작용하는 생물학적인 작용이 해양의 표층에서 수백미터내로 제한되어 이 이하의 수심에서의 용존유기탄소는 불활성으로서, 용존유기탄소와 영양염류 및 용존산소와의 상관관계는 미약하여 해양의 생지화학적 순환에 있어 용존유기탄소의 역할이 그리 크지 않다고 보고 된 바(Williams, 1971; Menzel, 1974)가 있으나 Sugimura 등은 HTCO(high temperature catalytic oxidation) 측정법(Sugimura and Suzuki, 1988)을 이용하여 표층의 용존유기탄소가 이전의 연구에 의해 측정된 값보다 2~3배 이상 높은 농도로 존재하고 있다는 것과 용존유기탄소가 심해에서 결보기산소요구량(AOU)과 밀접한 상관관계가 있다고 발표한 이후 HTCO 측정법을 이용한 용존유기탄소에 대한 연구가 활발히 이루어졌다(Henneke and Lange, 1990; Williams, 1992; Sharp, 1997; Cauwet, 1994; Peltzer and Hayward, 1996; Borsheim and Mykkestad, 1997; Skoog et al., 1997; Lara, 1998; Wiebinga, 1998).

본 연구에 사용된 TOC-5000A(SHIMADZU)의 blank는 두 부분으로 구성되어 있는데, 첫 번째로는 instrument blank로 이는 combustion tube안에 넣는 백금 촉매(Pt on aluminum oxide) 자체의 carbon 값이고, 두 번째로는 water blank로 표준용액(standard curve)을 만드는 과정에서 water 자체적으로 갖는 carbon 값을 의미한다(Benner and Strom, 1993). Standards 측정시에는 instrument

Tab. 1. DOC in temperate-zone neritic near-surface water. HTC (high-temperature combustion); PR(persulphate digestion); UV (ultra-violet photo-oxidation); DC (dry combustion); HTC (SU) [Suzuki's system]; HTC (SHI) [Shimazu system].

Geographical area	Year (month)	Analytical method	DOC ( $\mu\text{M}$ )	Reference
<i>Atlantic Canada</i>				
Cabot Strait (GSL)	1994 (6)	HTC	40-54	Packard et al. (1999)
Halifax Harbor	1978	DC	97-111	Gershney et al. (1979)
		UV	97-107	
		PR	84-99	
(Northwest Arm)	1991 (3)	HTC	95-130	Chen and Wangersky (1993)
		UV	76-115	
Scotian Shelf	1994(6)	HTC	55-81	Packard et al.(1999)
	1991(4)	HTC	85-145	Kepkay and Wells (1992)
	1978	DC	70-95	Gershney et al. (1979)
		UV	74-89	
		PR	52-87	
(Roseway Basin)	1991(4)	HTC	75-160	Kepkay and Wells (1992)
St. andrews Bay (New Brunswick)	1990 (8)	HTC	112-121	Chen and Wangersky (1993)
		UV	102-111	
<i>Atlantic Europe</i>				
English Channel	1979-1980	PR	80-180	Wafar et al. (1984)
NE Atlantic	1990(5)	HTC	110-150	Miller et al. (1993a)
<i>Pacific Ocean</i>				
California (Southern Bight) (Scripps Pier)	1990	HTC	120-150	Hansell et al. (1990)
	1968	PR	86	williams (1969)
		UV	100	
NW Pacific (Kanto region)	1991 (7)	HTC	85-117	Ogawa and Ogura, 1992
		PR	74-98	
East China Sea	2003(8)	HTC	20-83	This paper
	2004(9)	HTC	38-120	

blank 값과 water blank 값이 모두 측정치에 포함되나, 시료 측정시에는 instrument blank 값만 측정치에 포함되므로 반드시 이 두 blank 값을 구하여 보정을 하여야만 한다.

연구해역의 용존유기탄소는 표층에서 25.0~117.2 $\mu$ M C(평균 64.7 $\mu$ M C)의 범위로 A해역에서 25.0~78.33 $\mu$ M(평균 49.2 $\mu$ M)을 보였으며(Fig. 12.), B해역에서는 46.0~117.2 $\mu$ M(평균 80.2 $\mu$ M)의 농도분포로 B해역이 높은 농도를 나타내었다. 염분도나 온도에 대해 밀접한 상관관계는 보이지 않으나(Fig. 14.) 양자강 입구에 가장 가까운 정점 B7, B9와 B10에서 100 $\mu$ M C 이상의 높은 값을 보이며, 정점 B7에서 117.2 $\mu$ M C로 최대값을 보였다. A해역이 다소 낮은 농도를 보이긴 하였지만, 이러한 농도는 전형적인 해양 표층에서의 용존 유기 탄소량(DOC) 0.84~0.96mg C/ $\ell$  (Guo et al., 1995)와 비교할 만한 수치이다. 또한 온대성기후 해역의 표층과 비교하여 낮거나 비슷한 수치를 보이고 있었다(Tab. 1.). Chlorophyll a에 대해서는 양의 상관관계를 보이며(Fig. 16.), 제주도 남쪽 해역인 A해역의 중앙부해역 정점 A6과 A7과 양자강 근처의 정점 A7, A9와 A10에서 Chlorophyll a의 농도와 함께 높게 나타나고 있었다. 10m층에서 B해역은 평균 68.05 $\mu$ M C로 A해역의 평균 49.03 $\mu$ M C보다 높은 농도를 보였지만(Fig. 12), 표층에 비해서는 낮은 농도를 나타내고 있었으며, 저층에서 B해역은 평균 77.39 $\mu$ M C로 표층과 큰 차이는 없지만, A해역의 농도(평균 37.5 $\mu$ M C)에 비해 높은 농도 분포를 나타내고 있었다. A해역은 전반적으로 10m층 이하의 수심이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있었으며, B해역은 표저간 별다른 차이를 보이지 않았다.

#### 4.7. 입자유기탄소(POC, Particulate Organic Carbon)의 분포

해수중에 존재하는 입자성 유기물질은 미생물과 유기입자로 구성되어 있으며, 이들은 해양에서 먹이사슬의 에너지를 전송하는 역할을 수행한다(Parsons

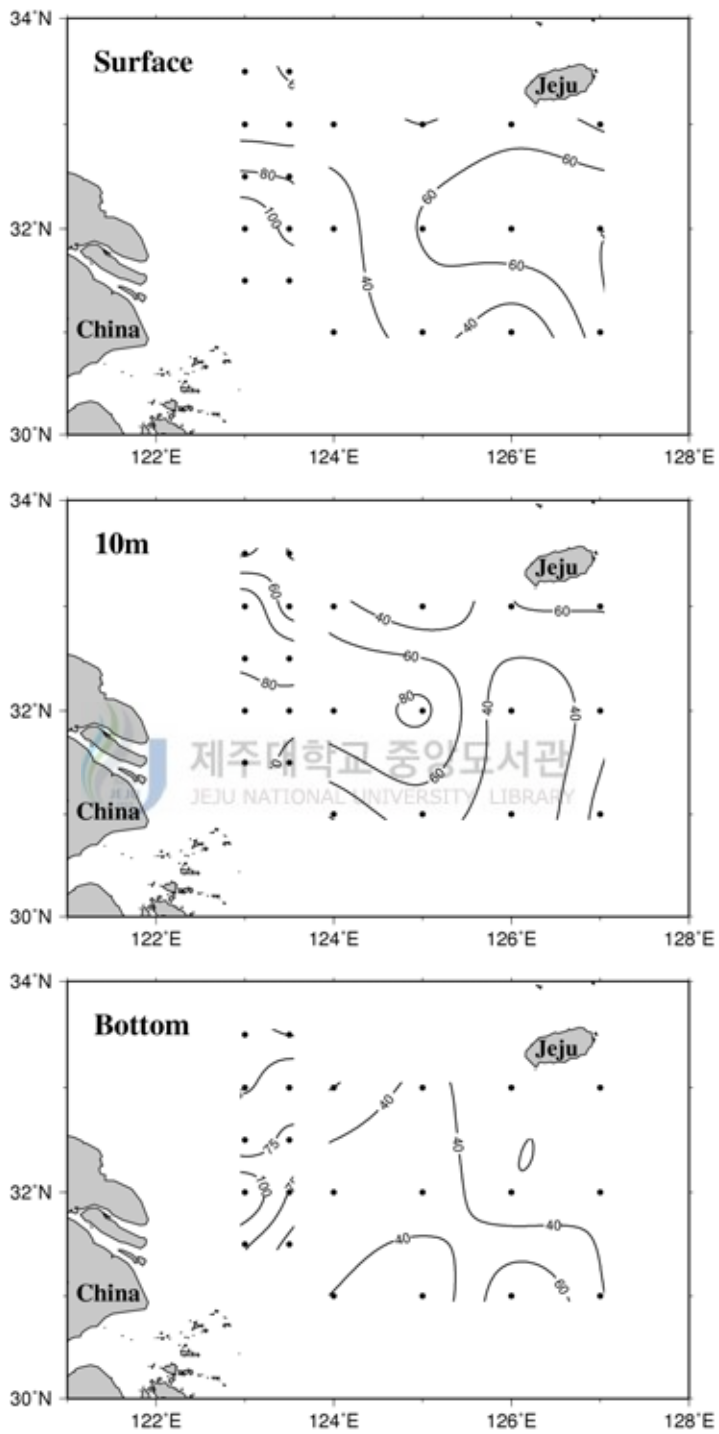


Fig. 12. The horizontal distribution of dissolved organic carbon (DOC,  $\mu\text{M C}$ )(August 2003, September 2004).

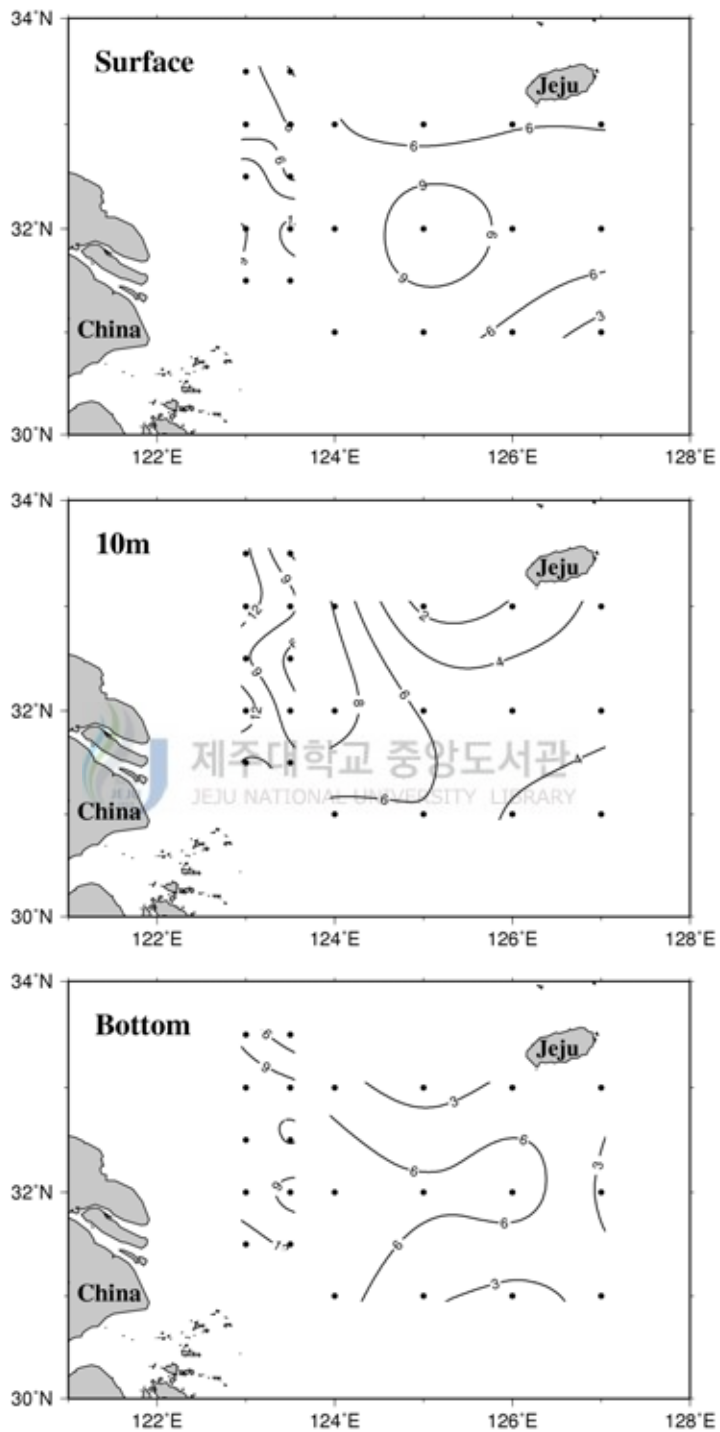


Fig. 13. The horizontal distribution of particulate organic carbon (POC,  $\mu\text{M C}$ )(August 2003, September 2004).



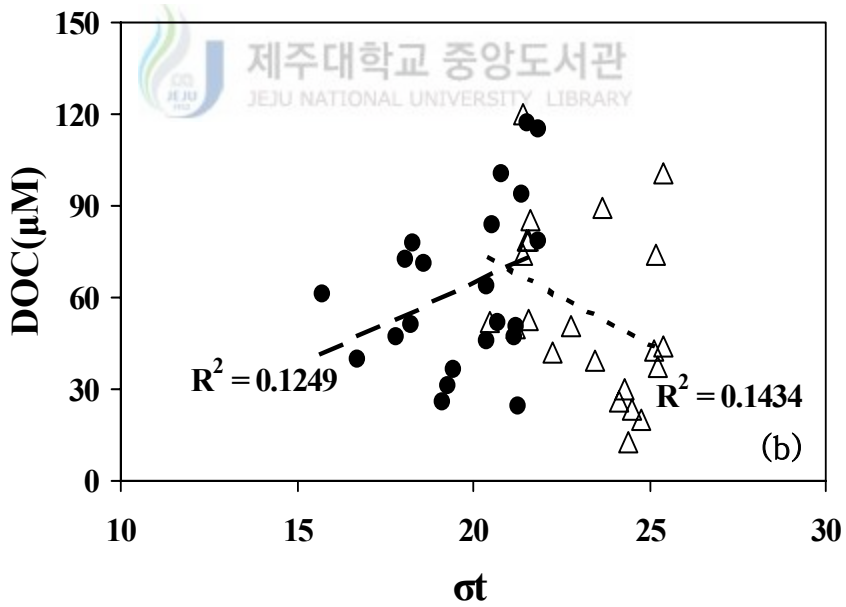
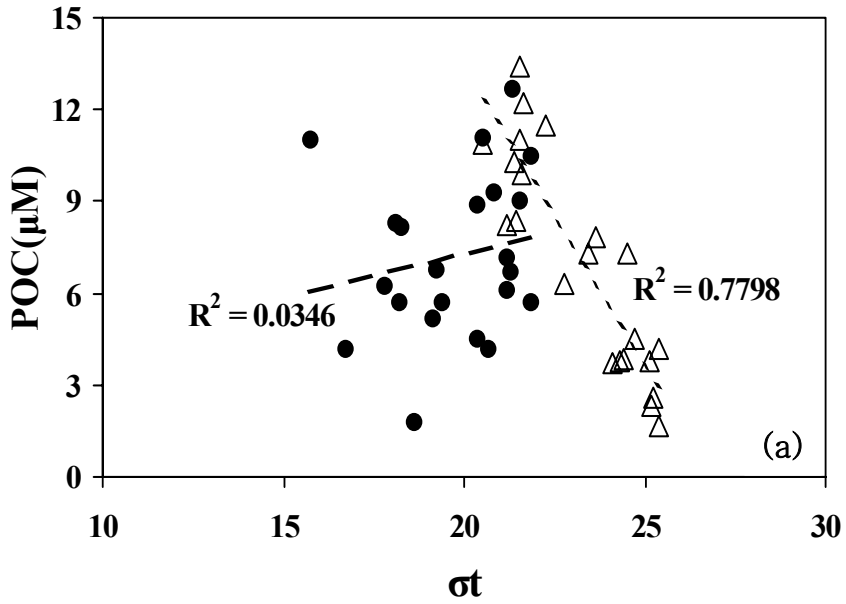
et al., 1984). 또한, 입자성 유기물질은 해저바닥에 도달하여 저서생물에게 먹이 공급원이 되기도 한다. 입자성 유기물질의 조성은 대부분이 단백질이며, 미생물이 부착하여 이들은 다시 무기화과정을 거쳐 동·식물플랑크톤의 영양원이 되기도 한다.

연구해역의 입자유기탄소의 범위는 표층에서 1.8~12.7 $\mu$ M C(평균 7.3 $\mu$ M C)의 범위로 A해역은 1.8~11.0 $\mu$ M C(평균 6.4 $\mu$ M C)로 중앙부해역에서 높은 농도를 보였으며, B해역은 4.2~12.7 $\mu$ M C(평균 8.2 $\mu$ M C) 양자강 부근 정점에서 높은 농도를 나타내었다(Fig. 13). 정점 A6의 표층에서 높은 농도를 보이고 있는데, chlorophyll a 농도도 가장 높은 것으로 보아 이 정점에서는 입자태 유기물질이 생물생산의 영향을 받는 것으로 생각된다. 10m층은 1.5~13.3 $\mu$ M C(평균 7.2 $\mu$ M C)의 범위로 표층에 비해서 B해역은 표층에 비해 높은 농도를 보였고, A해역은 정점 A5를 제외한 대부분의 해역에서 2 $\mu$ M C내외의 낮은 분포경향을 보였다. 저층은 1.7~13.4 $\mu$ M C(평균 7.3 $\mu$ M C)의 범위로 A해역은 표층과 유사하게 중앙부해역이 높은 분포를 보였으며, B해역은 양자강 입구인 정점 B9에서 최대 농도를 나타내었다(Fig. 13). 저층에서 B해역은 표저간 별다른 차이를 보이지 않았으며, A해역은 표층과 유사하게 중앙부해역이 높은 농도를 나타내고 있었다. 연구해역내의 유기탄소의 공급원으로는 크게 두 가지로 생각해 볼 수 있는데, 하나는 양자강 유출수 등에 의한 육상기원이고, 다른 하나는 해역내의 생물활동에 의한 자생기원으로서(Millero and Sohn, 1992) A해역의 중앙부 정점과 양자강에 근접한 정점의 저층에서 비교적 저밀도를 보이고 있어, 자생적 기원보다는 육상기원에 의한 입자유기탄소량이 높게 나타난 것으로 판단된다. 한편 이들 정점의 Chlorophyll a의 경우 높은 농도를 보이면서 상관계수가  $R^2=0.6999$ 로 높은 양의 상관성을 보이고 있었으며(Fig. 16.), 양자강 부근 정점인 B7과 B8의 표층에서 높은 SPM의 농도로 POC와의 상관계수가  $R^2=0.5791$ 로서 높은 양의 상관성을 보이면서 양자강 유출수의 영향을 크게 받는 것으로 사료된다(Fig. 15). A5정점의 10m층에서도 30.4%의 비교적

저염을 보여, 자생적 기원보다는 육상기원에 의해 입자유기탄소량이 높게 나타난 것으로 판단되나, A5 정점의 10m층의 저염이 양자강 유출수에 의한 영향이라는 뚜렷한 증거는 확인되지 않았으며, 보다 조밀한 간격의 정점 조사를 통해 수온, 염분 및 양자강 유출수에 의한 육상유기물질의 기원에 대한 연구가 병행된다면 연구해역의 입자유기탄소량 분포에 영향을 미치는 기원에 대한 파악이 가능하리라 생각된다.

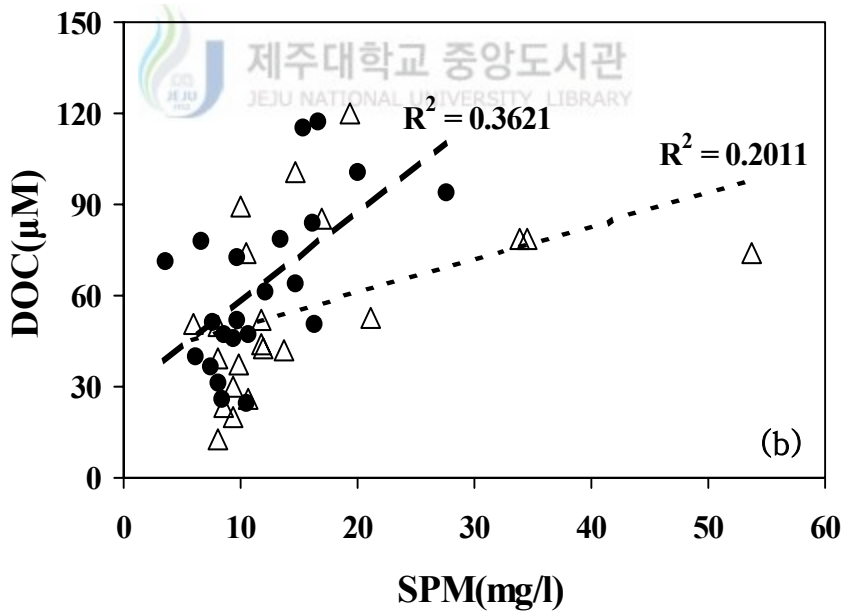
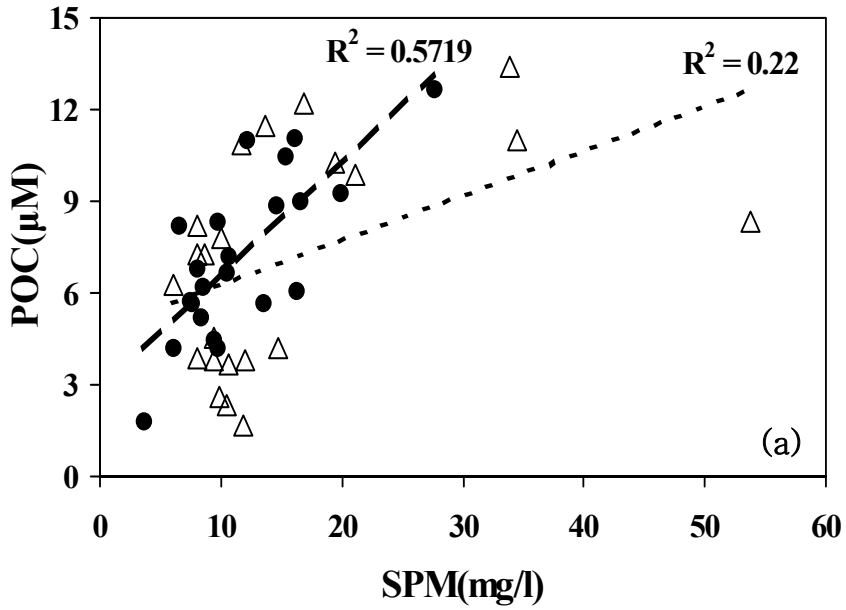
연구해역내 입자유기탄소의 수계별 분포특성은 양자강 유출수가 영향을 미치는 해역(type I)에서 평균  $9.23\mu\text{M C}$ 로 가장 높은 농도를 보이고 있었고, 대마난류수의 영향을 받는 제주도 남동부해역(type III)에서  $3.04\mu\text{M C}$ 으로 낮은 농도 분포를 보였으며, 혼합수의 성격을 띠는 중앙부해역(type II)에서는  $7.23\mu\text{M C}$ 의 입자유기탄소량을 나타내고 있었다. POC와 Chlorophyll a의 수계별 평균 무게비는 type I에서 444, type II는 631, type III에서 906이었다(table 2.). 일반적으로 규조류의 대번식시에는 무게비가 약 42이고, 와편모조류의 경우에는 78~209정도로서(Eppley et al., 1997) 이에 비하면 본 연구해역의 POC/Chl-a의 평균 무게비는 660으로 다소 높은 값을 나타내었다. 대마난류수의 영향을 받는 제주도 남동부해역(type III)은 POC/Chl-a의 무게비가 906으로 높은 값을 보여(Table 2.) non-living detritus가 대부분을 차지하고 있는 것으로 사료되며, 연구해역 내에서 양자강 유출수가 자생적 기원 이외의 입자유기탄소 공급원으로 작용하고 있는 것으로 생각된다.





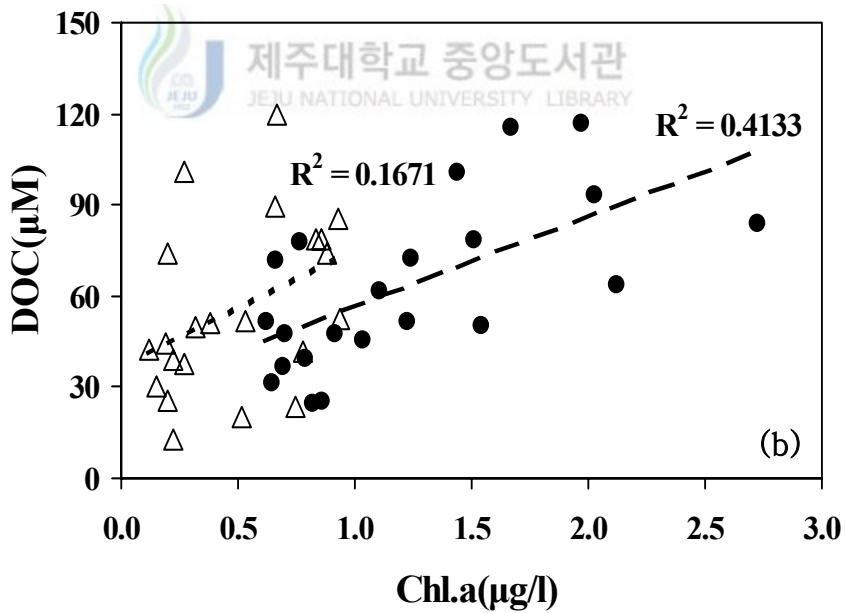
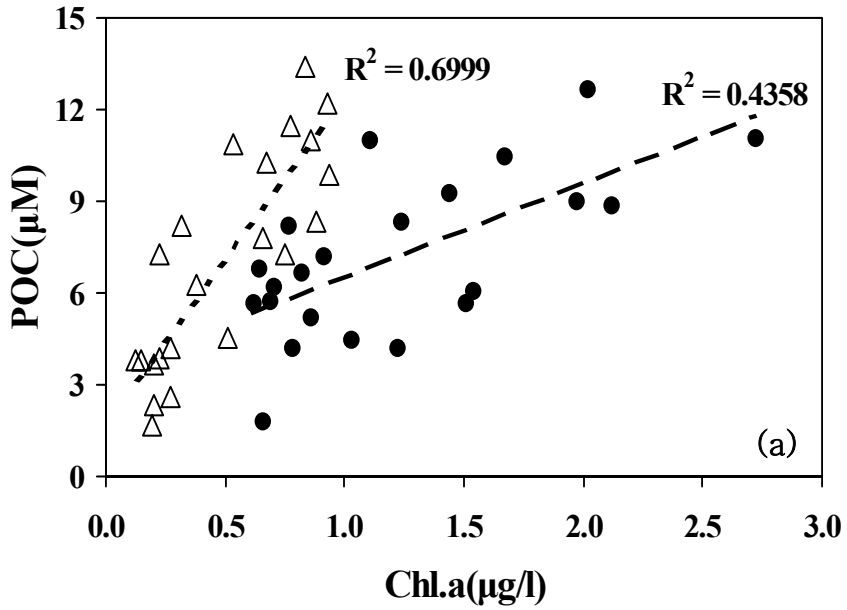
surface : ● ----- , bottom : △ .....

Fig. 14. Relationship between density( $\sigma_t$ ) and POC concentration(a), density( $\sigma_t$ ) and DOC concentration(b)(August 2003, September 2004)



surface : ● ----- , bottom : △ .....

Fig. 15. Relationship between SPM and POC concentration(a), SPM and DOC concentration(b)(August 2003, September 2004)



surface : ● ----- , bottom : △ .....

Fig. 16. Relationship between Chl.a and POC concentration(a), Chl.a and DOC concentration(b)(August 2003, September 2004)

## 5. 요약

중국대륙육상수 유입이 많은 하계의 제주도 남서부해역과 중국 연안해역에서 영양염의 분포특성과 용존 및 입자유기탄소의 분포특성을 이해하기 위하여 2003년 8월과 2004년 9월 등 2차례에 걸쳐 총 22개의 정점에서 시료를 채취하여 용존무기영양염류와 용존 및 입자유기탄소를 측정하였다.

하계 동중국해 및 제주도 남서부해역은 화학적 인자의 분포특성에 의하여 양자강 유출수의 영향을 받는 수계 I, 대마난류수의 영향을 받는 수계 III, 그리고 이들의 혼합수의 성격을 띠는 수계 II로 구분하였다.

하계 동중국해내 영양염들의 분포특성은 수계의 특성 및 식물플랑크톤의 분포에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 하계 동중국해내 수괴들은 중국연안역을 제외하고 수직적인 혼합이 잘 일어나지 않아 표층수에는 영양염의 유입이 감소하고, 저층수에는 표층에서 유입되는 유기물이 분해되어 영양염의 축적이 일어나 높은 농도를 나타내고 있었다. Chlorophyll a의 농도가 높은 해역에서 영양염의 농도가 낮은 값을 보였으며, Chlorophyll a의 농도가 감소하는 수심 이하에서 영양염의 농도가 증가함을 보여 높은 생물활동에 의한 무기영양염류등이 조절되고 있는 것으로 생각된다.

연구해역의 용존유기탄소의 분포는 염분이나 온도에 대해 다소 산만한 분포를 보여, 수계에 따른 별다른 특성의 차이를 확인하기는 어려웠으며, 양자강 영향의 정점에서  $100\mu\text{M C}$  이상의 높은 값을 보이는 반면, A해역이 다소 낮은 농도를 보여 양자강 유출수가 동중국해의 용존유기탄소의 공급원으로 작용하고 있는 것으로 사료된다.

연구해역 입자유기탄소의 수계별 분포특성은 양자강 유출수가 영향을 미치는 중국연안역(B해역)에서 평균  $9.23\mu\text{M C}$ 로 가장 높은 농도를 보이고 있었으며, 대마난류수의 영향을 받는 제주도 남동부해역에서  $3.04\mu\text{M C}$ 으로 낮은 농도 분포를 보였으며, 중앙부해역에서는  $7.23\mu\text{M C}$ 의 입자유기탄소량을 나타

내, 하계에 본 연구해역 내에서 양자강 유출수가 자생적 기원이외의 입자유기탄소 공급원으로 작용하고 있는 것으로 사료된다.

제주도 남서부해역에서의 입자유기탄소는 Chlorophyll a의 농도와 높은 상관성을 보여 자생적 기원으로 볼 수 있지만 그 해역에서의 염분도가 저염(30‰이하)을 나타내고 있어 자생적 기원보다는 육상기원에 의한 영향으로 생각되어진다. 또한 표층의 높은 입자유기탄소(POC)의 농도가 10m층에서 감소하는 반면 용존유기탄소(DOC)의 농도는 증가하는 것으로 보아 입자유기탄소(POC)가 저층에 도달하기 전에 빠르게 분해되어 용존유기탄소(DOC)의 농도가 높게 나타나는 것으로 사료된다.



## 6. 참고문헌

- 공영, 1971. 한국 남해연안 전선에 관한 연구. 한국해양학회지, 6:25-36.
- 과학기술부, 1998. 황해 해수순환과 물질플럭스 연구: 황해의 물질균형 및 생지화학적 순환 연구. 한국해양연구소, BSPN 97357-03-1100-4, 437pp.
- 과학기술처, 1992. 한반도 주변해역의 화학물질수지 및 순환연구(서남해역). 제2차년도 년차보고서. 한국해양연구소, BSPG 00149-489-4, 231pp.
- 김인옥, 노홍길, 1994. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 한국수산학회지, 27(5): 515-528
- 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암, 1998. 1996년 여름철 남해 표층수의 이상저염수 현상과 영양염류의 분포특성. 한국해양학회지, 3(3): 165-169.
- 방익찬 · 김태희, 1989. 동지나해 해수 분포의 계절변화와 해수 순환. 제주대학교 논문집, 28, 61-73
- 이석우, 1992. 한국근해해상지. 334p.
- 한국해양연구소, 1997. 쿠로시오 해역과 동중국해의 해양순환 (3차년도)BSPN 00319-964-1, 193-212pp.
- Amon, R.M.W., Benner, R., 1994. Rapid cycling of high-molecular-weight dissolved organic matter in the ocean. Nature 369, 549-552.
- APHA, AWWA, APCF, 1989. Standard method for examination of water and wastewater, 16th ed. pp. 417~463
- Benner, R. and M. Strom, 1993. A critical evaluation of the analytical blank associated with DOC measurements by high-temperature catalytic oxidation. Mar. Chem., 41: 153-160.
- Borsheim, K.Y. and S.M. Mykkestad, 1997. Dynamics of DOC in the Norwegian Sea inferred from monthly profiles collected during 3 years at 66°N, 2°E. Deep-Sea Res. I, 44: 593-601.

- Broecker, W.S., 1974. Chemical oceanography. Harcomt Brace jovanoxich, Inc., New York, 214 PP.
- Cao, W., M. Ji, X. Qiu and L. Han, 1988, The determination of humic substances in seawater and its distribution in the estuary of Changjiang River and East China Sea. Mar. Sci. Bull., 1: 111-113.
- Carlson, C.A., Ducklow, H.W., Michaels, A.F., 1994. Annual flux of dissolved organic carbon from the euphotic zone in the northwestern Sargasso Sea. Nature 371, 405-408.
- Cauwet, G., 1994. HTOCO thods for dissolved organic carbon analysis in seawater: influence of catalyst on blank estimation. Mar. Chem., 47: 55-64.
- Cha, H.J., J.Y. Kim, c.H. Hoh and C.B. Lee. 1998. Temporal and spatial variation of nutrient elements in surface sea water off the west coast of Korea. J. Kor. Soc. Oceanogr., 3: 25-33.
- Chen, C.T.A., R. Ruo, S.C. Pai, C.T. Liu and G.T.F. Wong, 1995. Exchange of water masses between the east China Sea and the Kuroshio off northeastern Taiwan. Conti. shelf Res., 15: 19-39.
- Chester, R., 1990. Marine Geochemistry. Unwin Hyman, London, 698 pp.
- Couwet, G., 1984. Automatic determination of dissolved organic carbon in seawater in the subppm range. Mar. Chem., 14: 297-306.
- Couwet, G., 1994. HTOCO methods for dissolved organic carbon analysis in seawater: influence of catalyst on blank estimation. Mar. Chem., 47: 55-64
- Druffel, E.R.M., Williams, P.M., Bauer, J.E., Ertel, J.R., 1992. cycling of dissolved and particulate organic matter in the open ocean. Journal of Geophysical Research 97, 15, 639-659.

- Eppley, R.W., W. G. Harrison, S. W. Chisholm and E. Stewart, 1997. Particulate organic matter in surface water off Southern California and its relationship to phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 35, 671-696.
- Fu, Y., 1992. Influence of Kuroshio water on the distribution of dissolved oxygen in the northern East China Sea. *Acta Oceanol. Sin.*, 11:305-316.
- Gong, G-C., F-K. Shiah, K-K. Liu, W-S. Chuang and J. Chang, 1997. Effect of the Kuroshio intrusion on the chlorophyll distribution in the southern East China Sea during spring 1993. *Conti. Shelf Res.*, 17: 79-94.
- Gong, G.C., Y.L. L. Chen and K.K. Liu. 1996. Chemical hydrography and chlorohyll a distribution in the East China Sea in summer: implications in nutrients dynamics. *Conti. Shelf Res.*, 16: 1561-1590.
- Hama, T. 1995. seasonal change of the primary productivity and phytoplankton. *Oceanographic Marine Biology Annual Review.* 29: 155-189.
- Harris, G.P., 1986. *Phytoplankton ecology: Structure function and fluctuation.* Capman and Hall, New York, 343pp.
- Hayase, K. and N. Shinozuka, 1995. Vertical distribution of fluorescent organic matter along with AOU and nutrients in the equatorial central Pacific. *Mar. Chem.*, 48: 283-290.
- Hedges, J.I., 1992. global biogeochemical cycles: progress and problems. *Marine Chemistry* 39, 67-93.
- Howarth, R.W., 1988. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. *Ann. Fev. Ecol.*, 19: 89-110
- Hung, J.J., Lin, P.L., Liu, K.K., 2000. Dissolved and particulate organic



- carbon in the southern East China Sea. *Conti. Shelf Res.*, 20: 545-569.
- Hung, T-C., C.C.H. Tsai and N-C. chen, 1986. Chemical and biomass studies (1) Evidence of upwelling off the southwestern coast of Taiwan. *Acta Oceanogr. Taiwanica*, 17: 29-44
- Isobe, A., 1997. The determinant of the volume transport distribution of the Tsushima Warm Current around the Tsushima/Korea Straits. *Conti. Shelf Res.*, 17: 319-336.
- Jiancheng, Z., H. Shuilong and W. Weiqiang, 1991. Surface distribution of alkalinity and specific alkalinity and their application to water mass tracing in Kuroshio area of the east china Sea. *Acta Oceanogr. sinica*, 10: 37-45.
- Lara, R.J., V. Rachold, G. Kattner, H.W. Hubberten, G. Guggenberger, A. Skoog and D.N. Thomas, 1988. Dissolved organic matter and nutrients in the Lena River, Siberian Arctic: characteristics and distribution. *Mar. Chem.*, 59: 301-309.
- Lee, C. and S.M. Henrichs, 1993. How the nature of dissolved organic matter might affect the analysis of dissolved organic carbon. *Mar. Chem.*, 41: 105-120.
- Lee, C., Wakeham, S.g., 1992. Organic matter in the water column: future research challenges. *Marine chemistry* 39, 95-118.
- Libes, S.M., 1992. An introduction to marine biogeochemistry. John Wiley and Sons. New York, 734 pp.
- Liu, K-K., G-c. gong, c-Z Shyu, s-C Pai, c-L Wei and S-Y 초매, 1992. Response of Kuroshio upwelling to the onset of the northeast monsoon in the sea north of Taiwan: Observations and a numerical simulation. *Jouranal of Geophysical Res.*, 97: 12511-12526

- Millero, F. J. and M. L. Sohn., 1992. Chemical oceanography. CRC Press, 227-366pp.
- Mingazzini, M., A. Rinaldi and G. Montanari, 1990. Multi-level nutrient enrichment bioassays on Northern adriatic coastal waters. In Marine coastal eutrophication, edited by Vollenweider, R.A., R. Marcheni and R. Viviani, Elsevier science Publishers, Amsterdam, 115-131pp.
- Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio, In : Kuroshio, Ed. H.stommed and K. Yoshida, Univ., Tokyo Press, 358-369
- Nozaki, Y. 1989. Mean residence time of the shelf water in the East China and the Yellow Sea determined by  $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$  measurements. Geophy. Res. Lett., 16: 1297-1300.
- Owgawa, H., Usui, T., Koike, I., 2002. Distribution of dissolved organic carbon in the East China Sea. Deep sea Res. II, 50: 353-366.
- Packard, T., W. Chen, D. Blasco, C. Savenkoff, A.F. Vezina, R. Tian, L. St-Amand, S.O. Roy, C. Lovejoy, B. Klein, J.C. Therriault, L. the Gulf of St. Lawrence. Deep Sea Res. II, 47: 435-459.
- Parsons, T.R.,M. Takahashi and B. Hargrave. 1984. Biological oceanographic process. 3rd edition. Pergamon press, 143-157
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli., 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, 3-28pp.
- Peltzer, E.T. and N.A. hayward, 1996. Spatial and temporal variability of total organic carbon along 140°W in the equatorial Pacific Ocean in 1992. Deep-Sea Res. II., 43: 1155-1180.
- Peltzer, E.T. and P.G. Brewer, 1993. Some practical aspects of measuring DOC-sampling artifacts and analytical problems with marine samples. Mar. Chem., 41: 243-252.

- Peltzer, E.T., B. Fry, P.H. Doering, J.H. McKenna, B. Norrman and U.L. Zweifel, 1996. A comparison of methods for the measurement of dissolved organic carbon in natural waters. *Mar. Chem.*, 54: 85-96.
- Perkins, E.J., 1974. *the biology of estuaries and coastal waters*. Academic Press, London, 677pp.
- Sharp, J.H., 1997. Marine dissolved organic carbon: Are the old values correct *Mar. Chem.*, 56: 265-277.
- Shen, Z.L., 1996. Nutrients distribution characteristics in seawater of the Yellow Sea. *The Yellow Sea*, 2: 58-64.
- Shiah, F.K., G.C. Gong and K.K. Liu, 1995. A preliminary survey on primary productivity measured by the  $^{14}\text{C}$  assimilation method in the KEEP area. *Acta Oceaogr. Taiwanica*. 34: 1~16
- Skoog, A., D. Thomas, R. Lara and K. Richter, 1997. Methodological investigations on DOC determinations by the H<sub>2</sub>CO method. *Mar. Chem.*, 56: 39-44.
- Solorzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.*, 14: pp. 779~801.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, *Bul. Fish. Res. Bd. Can.*, p. 167
- Stowe, K.S., 1979. *Ocean science*. John Wiley & Sons. New York, 610pp.
- Sugimura, Y. and Y. Suzuki, 1988. A high-temperature catalytic oxidation method for the determination of non-volatile dissolved organic carbon in seawater by direct injection of a liquid sample. *Mar. Chem.*, 24: 105-131.
- Taylor, D., S. Granger and B. Buckley, 1995. Nutrient limitation and the eutrophication of coastal lagoons. *Mar. Ecol. Progr. Seri.*, 127: 235-244.

- Wiebinga, C.J. and H.J.,W. De Baar, 1998. Determination of the distribution of dissolved organic carbon in the Indian sector of the Southern Ocean. *Mar. Chem.*, 61: 185-201.
- Williams, P.M., 1971. The distribution and cycling of organic matter in the ocean, In: organic compounds in aquatic environments, S.J. Faust and J.V. Hunter, editors. Marcel Dekker, New York, 145-163pp.
- Wong, G.T.F., S-C. Pai, K-L Liu, C-T Liu and C-T.A. Chen, 1991. variability of the chemical hydrography at the frontal region between the East China Sea and the Kuroshio North-east of Taiwan. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 33: 105-120.
- Wong, G.T.F., 1988. alkalinity in the South-eastern United States Continental Shelf Waters. *Estuarine Coastal Shelf. Sci.*, 27: 567-579.
- Yanagi, T., A. Morimoto and K. Ichikawa, 1997. Seasonal variation in surface circulation of the East China Sea and the Yellow Sea derived from satellite altimetric data. *Conti. Shelf Res.*, 17: 655-664.
- Yanagi, T., S. Takahashi, A. Hoshika and T. Tanimoto, 1996. Seasonal variation in the transport of suspended matter in the East China Sea. *Journal of Oceanogr.*, 52: 539-552.
- Yongfa, F., 1992. Influence of Kuroshio water on the distribution of dissolved oxygen in the northern East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 11: 305-316.

## 감사의 글

주위의 많은 분들의 도움으로 길다면 길고 짧다면 짧은 석사과정 동안의 작은 결실을 맺게 되었습니다. 논문이 완성되기까지 부족함이 많았던 저에게 아낌없는 지도와 관심으로 격려해주시고 이끌어주신 최영찬 교수님께 머리숙여 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 제 논문에 대하여 자상한 충고와 조언을 아끼지 않으신 이준백 교수님, 윤석훈 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 학부과정에서부터 지금까지 인자함으로 많은 가르침을 주신 고유봉 교수님, 고생한다면서 충고를 아끼지 않는 옆집아저씨 같으신 윤정수 교수님, 그리고 교수님이면서도 때로는 친구처럼 저를 다정하게 대해주시는 방익찬 교수님에게도 감사드립니다.

이번 논문을 마치기까지 여러 연구실 선배님들과 학과 조교선생님의 격려와 도움이 없었다면 무사히 논문을 완성하기가 힘들었을 것입니다. 후배의 논문을 위해 옆에서 지켜봐 주신 이승종 박사님, 많은 노하우를 일러준 이승철 선배님, 고희종 선배님, 그리고 김보영 조교선생님과 신윤식 조교선생님에게도 감사의 마음을 전합니다.

연구실생활에서부터 지금까지 곁에서 항상 힘이 되어주었고, 본 논문의 그림을 그리는데 많은 도움을 준 친구 문재홍에게 고마운 마음을 전하며, 연구실 생활을 하는데 언제나 친동생처럼 아껴주고 걱정해주신 승민이형, 연구실에서 힘든 일을 함께했던 명일이형, 그리고 연구실 생활을 같이하며 실험에서부터 데이터 정리까지 고생을 함께한 혁준이에게 고마운 마음을 전합니다. 실험실에서 제 논문을 위해 힘든 실험도 묵묵히 도와준 경용이, 정란이, 지욱이, 진석이, 명섭이, 민애를 비롯한 해양화학연구실 가족들에게도 고마운 마음을 전합니다.

때로 힘들고 지칠 때 술한잔하며 말없이 힘이 되어준 죽마고우 주영이, 일권이, 희철이, 기철이 그리고 고통분담 친구들에게도 감사의 마음을 전합니다.

우리집안의 큰일을 묵묵히 맡아 하시는 큰 매형과 큰누나, 동생이지만 자식처럼 보살펴준 둘째누나와 둘째매형, 따뜻한 말로 위로를 아끼지 않는 셋째매형과 셋째누나, 그리고 한결같이 나만을 성원해주는 사랑하는 막내누나에게 머리 숙여 감사의 마음을 전합니다.

떨어져 지내지만 언제나 아껴주시고 걱정해 주시는 장모님, 장인어른께 감사의 마음을 전하며, 오늘이 있기까지 헌신적인 사랑과 믿음으로 뒷바라지 하시며 항상 저 하나만을 바라보고 사시는 어머니에게 이 작은 결실을 바칩니다.

마지막으로 사랑하는 내 아내!

당신이 있기에 내가 있습니다. 이 작은 결실과 함께 사랑의 맘을 전합니다.

