

## 하계 동중국해에서의 용존 및 입자유기탄소의 분포 특성

김수강 · 최영찬 · 김진석<sup>†</sup>  
제주대학교 해양과학부

### Distribution of Dissolved and Particulate Organic Carbon in the East China Sea in Summer

Soo Kang Kim, Young Chan Choi and Jin Seok Kim<sup>†</sup>

College of Ocean Science, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

#### 요 약

2003년 8월과 2004년 9월 제주도 남서부해역과 중국 연안해역을 대상으로 실시된 본 연구는 용존무기영양염류와 용존 및 입자유기탄소의 분포 특성을 조사하였다. 하계에 동중국해의 영양염의 분포 형태는 수괴 및 식물플랑크톤의 영향을 받은 것으로 밝혀졌다. 하계에 동중국해내 수괴들은 중국의 연안해역을 제외하고 상하수직혼합이 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 수심이하에서 영양염의 농도가 증가함을 보여 높은 생물활동에 의한 무기영양염류 등이 조절되고 있는 것으로 생각된다. 연구해역내 용존유기탄소의 분포는 염분이나 수온에 대해 다소 산만한 분포를 보여 수괴에 따른 상관관계가 없는 것으로 조사되었고, 양자강 영향 정점에서 100  $\mu\text{M}$  이상의 높은 값을 보인 반면, 제주도 남서부 해역에서는 낮은 농도를 보였는데, 이것은 양자강 유출수가 동중국해 용존유기탄소의 공급원으로 작용하고 있는 것으로 사료된다. 연구해역 입자유기탄소의 분포특성은 양자강 유출수가 영향을 미치는 중국연안해역에서 평균 9.23  $\mu\text{M}$ 로 가장 높은 농도를 보였으며, 대마난류수의 영향을 받는 제주도 남동부해역에서 3.04  $\mu\text{M}$ 로 낮은 농도를 보였으며, 중앙부해역에서 7.23  $\mu\text{M}$ 의 입자유기탄소량을 나타내, 양자강 유출수가 자생적 기원 이외의 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.

**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

<sup>†</sup>Corresponding author: jjindda116@hanmail.net

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 southeast 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.

**Keywords:** East China Sea(동중국해), dissolved organic carbon(용존유기탄소), particulate organic carbon(입자유기탄소), dissolved inorganic nutrients(용존무기영양염류)

## 1. 서 론

동중국해는 대륙붕 가장자리를 따라 쿠로시오 지류인 고온고염의 대만난류수가 겨울에 강한 북동계절풍의 영향으로 대만동쪽으로부터의 유입이 강화되어 중국대륙붕쪽으로 넓게 확장되지만(Nitani, [1972]), 여름에는 남풍 계절풍의 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 중국대륙연안수 중 양자강의 유입으로 영양염 분포에 영향을 미친다(Fu, [1992]). 한편, 생물적으로인인 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 공간변화가 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 영향을 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]; Yongfa, [1992]; 김 등, [1994]; Chen *et al.*, [1995]; Yanagi, [1996, 1997]; Gong, [1997]; Isobe, [1997]; 김 등, [1998]), 동중국해와 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.*, [2002]).

해수 중에 존재하는 유기화합물은 복잡한 화학적 구조와 기원 그리고 다양한 반응성을 갖는 물질로서 해양환경의 생지화학적 순

환에 있어 매우 중요한 역할을 수행한다(Cauwet, [1984]; Parsons *et al.*, [1984]; Hayase and Shinozuka, [1995]). 해양의 유기화합물은 일반적으로 0.45  $\mu\text{m}$  pore size glass fiber filter에 의해 용존유기물(DOM)과 입자유기물(POM)로 나뉘며(Millero and Sohn, [1992]), 용존유기화합물 중 용존유기탄소(DOC)는 해양환경 내 탄소의 주된 공급원으로 해양의 탄소 순환에서 잠재적으로 중요한 작용을 한다(Packard *et al.*, [2000]). 또한 해양의 입자유기물(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 동식물 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 생물적으로인인 식물플랑크톤의 분포를 파악하고 용존유기탄소와 입자유기탄소의 농도분포에 영향을 미치는 요인에 대하여 고찰하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구해역은 제주도 남쪽 해역으로부터 중국 연안역까지 북위 31°에서 33°30', 동경 123°에서 127° 사이의 최저 17 m, 최대 129 m의 수심에서 2003년 8월(12개 정점)과 2004년 9월(10개 정점)에 조사되었으며, 표층에서 저층까지 3~6개의 수층에서 Niskin 채수기를 이용하여 채수하였다(Fig. 1).

수온과 염분은 현장에서 CTD(SBE 19)를 이용하여 측정하였으며, pH는 pH meter(Orion model 290A)를 이용하여 측정하였다. TIN은 총무기질소 농도로서 아질산 질소, 암모니아 질소, 질산 질소의 합으로 나타내었다. 암모니아 질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), 아질산 질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 질산 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )를 각각 Phenol hypochlorite method, Sulfanilamide -N.E.D method 그리고 cadmium reduction method에 준하여 측정하였다.(해양수산부, 해양환경공정시험법, 2002) 인산 인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )은 Ascorbic acid method의 방법으로 측정하였고, Chlorophyll  $\alpha$ 는 형광광도계에서 획득한 형광값을 아세톤으로 직접 추출하여 분석한 값(Parsons *et al.*, 1984)으로 보정하였고 부유물질(Suspended Solid)은 여과전 후의 여과지의 무게차를 산출

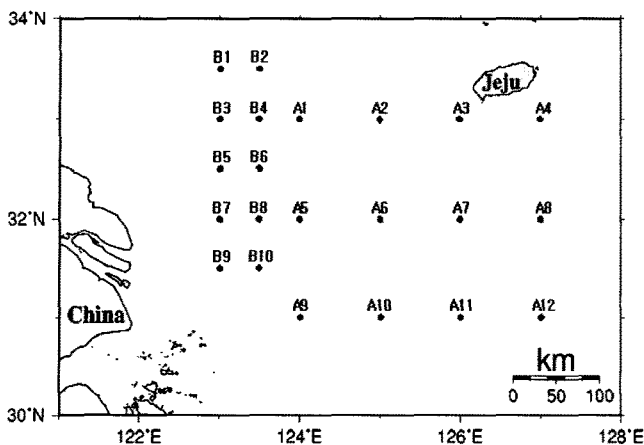


Fig. 1. Location of sampling stations in the study area. (A1~A12: August 2003, B1~B10: September 2004).

하는 상압가열건조법으로 정량하였다.

총유기탄소(TOC) 및 용존유기탄소(DOC)는 시료를 현장에서 인산(0.1 ml of 50%  $H_3PO_4$ /20 ml of sample)처리 후 detergent (10%)와 염산(10% HCl)처리된 125 ml HDPE sample bottle에 넣어  $-20^\circ C$  이하에서 냉동 보관 후 실험실로 옮겨와서 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  $O_2$  gas( $CO$ ,  $CO_2$ , Hydrocarbon 1ppm 이하)를 사용하였고, Milli-Q reagent water를 UV-oxidize시킨 후 분석용 blank로 사용하였다. Standard로서는 potassium hydrogen phthalate를 UV-oxidize시킨 Milli-Q reagent water에 녹여 400 mgC/l를 만든 후 희석하여 사용하였다. 분석은 시료에 2 N HCL 처리 후 탈기시켜 무기탄소를 제거한 뒤 측정하는 NPOC(non-purgeable organic carbon)의 방법으로 측정하였으며, flow rate 150 ml/min, sparging flow rate 120 ml/min, sparging time 5 min의 조건으로 분석하였다.

용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon)는 시료를 GF/F filter paper(Whatman, 0.7  $\mu m$ )로 여과 후 총유기탄소와 동일한 방법으로 분석하였다. 입자유기탄소(Particulate Organic Carbon)는 총유기탄소량에서 용존유기탄소량을 감산하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 수온 및 염분

연구해역의 표층수온 분포는  $23.80\sim 29.17^\circ C$ (평균  $26.48^\circ C$ )의 범위로 9월의 B해역인 경우 평균  $24.81^\circ C$ 로 8월의 A해역의 평균  $28.15^\circ C$ 보다 다소 낮은 수온을 보였는데 이는 9월에 접어들면서 대기기는 하강의 영향을 받은 것으로 생각된다. 저층은  $11.40\sim 25.60^\circ C$ (평균  $19.59^\circ C$ )의 범위로 정점 B4~B10에서는  $24^\circ C$  내외의 일정

한 온도분포로 표저의 별다른 차이를 보이지 않았으며, 이 정점들을 제외한 대부분의 해역에서는 표저간  $10^\circ C$  내외의 차이를 보였다. 정점 B1, B2와 A1~A3에서는  $11.40\sim 15.00^\circ C$ 의 범위로 낮은 분포를 보이며, 정점 A9와 B4~B10에서는  $23.14\sim 25.60^\circ C$ 의 분포로 서부해역에서 남부해역으로 갈수록 수온이 높은 경향을 보였다.

염분분포는 표층에서  $26.10\sim 33.85\text{‰}$ (평균  $30.89\text{‰}$ )의 범위로 8월의 A해역에서는  $26.10\sim 33.85\text{‰}$ (평균  $29.88\text{‰}$ )이고, 9월의 B해역에서는  $31.00\sim 33.20\text{‰}$ (평균  $31.89\text{‰}$ )의 분포로 B해역이 A해역에 비해 다소 높은 염분도를 나타내었다. 정점 A6에서  $26.10\text{‰}$ 로 가장 낮은 값을 보였다. 이는 강우량이 많은 하계에 육상수 저염분의 수위가 A해역에까지 미치는 영향으로 보아진다. 10 m층은  $29.19\sim 33.20\text{‰}$ (평균  $31.63\text{‰}$ )의 범위로 제주도 서남해역에서  $30\text{‰}$  이하의 저염대가 분포하고 있었다. 저층은  $31.10\sim 34.52\text{‰}$ (평균  $32.85\text{‰}$ )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.

#### 3.2 pH

연구해역의 표층 pH는  $8.04\sim 8.65$ (평균  $8.33$ )의 분포를 보이며, 정점 B해역의 경우  $8.17\sim 8.65$ (평균  $8.43$ )로 A해역의  $8.04\sim 8.41$ (평균  $8.22$ )보다 다소 높은 값을 보였다. 정점 A6에서 표층의 높은 pH값( $8.4$ )은 정점 A1~A3 표층까지 영향을 주어 8.3 이상을 보이는 반면 제주도 남쪽해역인 정점 A7은 8.1을 보이고 있는데, 이는 20 m 이심층에 8.1 이하의 낮은 값을 가진 저층수위가 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.

#### 3.3 무기영양염류의 분포특성

##### 3.3.1 총무기질소(Total Inorganic Nitrogen)

연구해역의 총무기질소(TIN)는 표층에서  $0.59\sim 65.62 \mu M$ (평균  $10.70 \mu M$ )의 범위를 보이며, 중국연안역인 B해역과 제주도 남쪽해역인 정점 A1과 A12에서 높은 농도분포를 보이고 있었고 이를 제외한 해역에서는  $5 \mu M$  이하의 낮은 농도분포를 보이고 있었다. A해역의 10 m층에서는 제주도 서남쪽해역인 정점 A2에서 가장 높은 값을 보이고, B해역은 표층과 별다른 차이를 보이지 않았다. 저층에서는  $0.91\sim 38.44 \mu M$ (평균  $13.71 \mu M$ )의 범위로 표저간  $3 \mu M$  이상의 차이를 나타내고 있었으며, 연구해역의 전조사 정점간 다소 산만한 농도분포를 보이고 있었다(Fig. 2).

##### 3.3.2 인산 인( $PO_4^{3-}\text{-P}$ ; Phosphate)

연구해역의 인산 인은 표층에서  $0.053\sim 0.845 \mu M$ (평균  $0.280 \mu M$ )의 범위를 보이며, A해역에서는  $0.059\sim 0.296 \mu M$ (평균  $0.143 \mu M$ )의 분포로 B해역의  $0.053\sim 0.845 \mu M$ (평균  $0.417 \mu M$ )에서 보다 낮

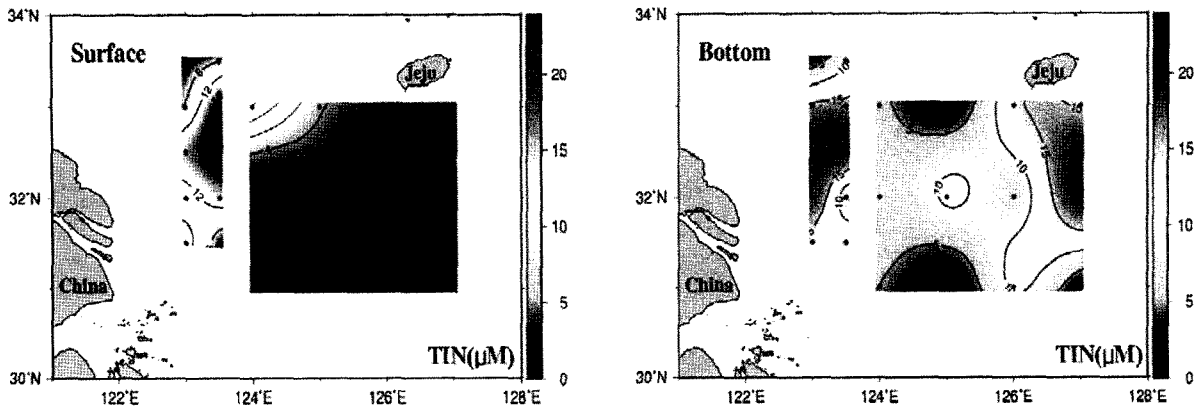


Fig. 2. The horizontal distribution of TIN( $\mu\text{M}$ )(August 2003, September 2004).

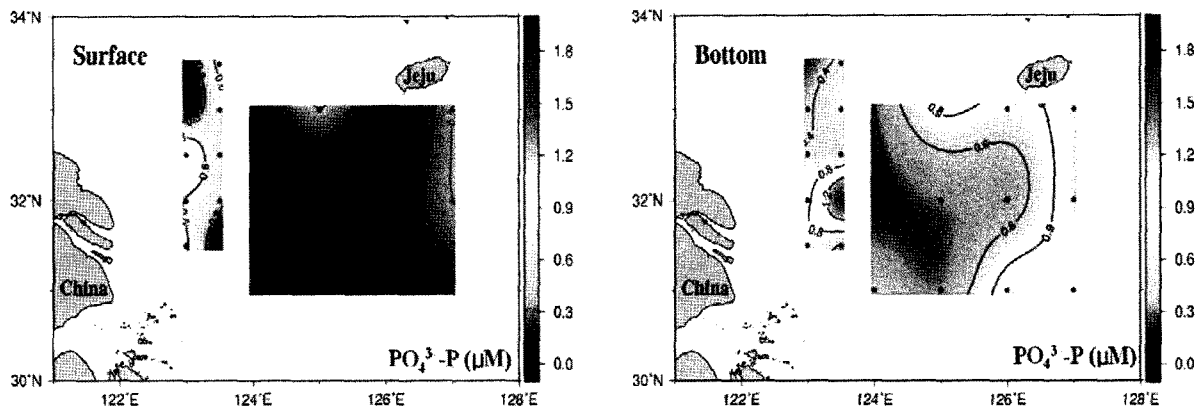


Fig. 3. The horizontal distribution of  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ( $\mu\text{M}$ )(August 2003, September 2004).

은 농도분포를 보이고 있었다. A해역의 제주도 서쪽해역 정점과 동남해역 정점에서 다소 높은 농도를 보이며, 중국연안역의 양자강에 근접한 정점에서 가장 높은 농도를 나타내고 있었다. 10 m 층에서 B해역은 평균  $0.275 \mu\text{M}$ 로 표층에 비해 다소 낮은 값을 보였고, A해역은 평균  $0.301 \mu\text{M}$ 로 다소 높은 농도를 보였다. 저층은  $0.211\sim 1.637 \mu\text{M}$ ( $0.644 \mu\text{M}$ )로 표층에 비해  $0.5 \mu\text{M}$ 이상의 큰 농도차이를 보이며, 전 조사정점에서 수심이 증가할수록 인산 인의 농도가 증가하는 경향을 보이고 있었다(Fig. 3).

### 3.4 엽록소 $\alpha$ (Chlorophyll $\alpha$ )

연구해역의 Chlorophyll  $\alpha$ 는 표층에서  $0.62\sim 2.72 \mu\text{g/L}$ (평균  $1.27 \mu\text{g/L}$ )의 농도범위를 보였으며 정점 A6, A7과 중국연안역인 B해역의 대부분에서 높은 농도를 보였다. 10 m층에서는  $0.23\sim 3.26 \mu\text{g/L}$ (평균  $1.62 \mu\text{g/L}$ ) 표층보다 높은 농도를 보이며 저층에서는  $0.12\sim 0.94 \mu\text{g/L}$ (평균  $0.52 \mu\text{g/L}$ )로 수심이 증가함에 따라 농도가 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 이 값들은 다른 연구에서 조사된 수치(과학기술부, [1998])보다 다소 높은 값을 나타내고 있었

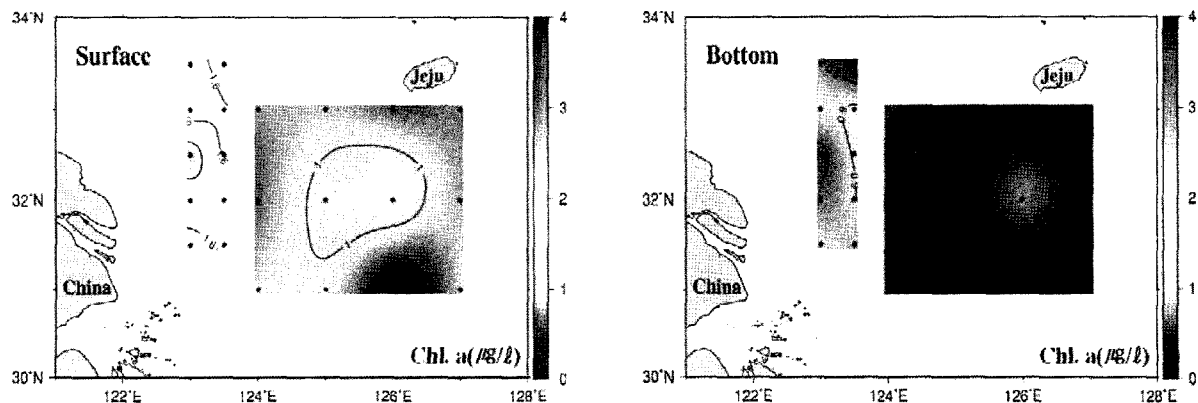


Fig. 4. The horizontal distribution of Chlorophyll  $\alpha$ ( $\mu\text{g/L}$ )(August 2003, September 2004).

으며, 영양염의 농도가 낮은 해역에서 Chlorophyll  $\alpha$ 의 농도가 높게 나타났고 Chlorophyll  $\alpha$ 의 농도가 감소하는 수심이하에서 영양염의 농도가 증가함을 볼 수가 있었다(Fig. 4).

### 3.5 부유물질(SS, Suspended Solid)

연구해역의 부유물질은 표층에서 3.60~27.60 mg/L(평균 12.08 mg/L)의 범위로 중국연안역인 B해역에서 평균 15.90 mg/L로 A해역의 평균 8.26 mg/L에 비해 큰 농도차이를 보이고 있었다. A해역의 정점 A6에서 주변정점에 비해 다소 높은 농도를 보였고, B해역의 양자강에 근접한 정점에서 가장 높은 값을 보이고 있었다. 10 m층에서 B해역은 평균 14.76 mg/L으로 표층과 별다른 차이를 보이지 않은 반면 A해역은 평균 5.71 mg/L로 다소 낮은 농도분포를 보이고 있었다. 저층에서는 B해역에서 평균 19.32 mg/L로 높은 농도분포를 보였으며, 이는 양자강 부근 정점의 표층수 침강물질과 저층퇴적물의 재부유에 의한 것이라 생각되어지며, A

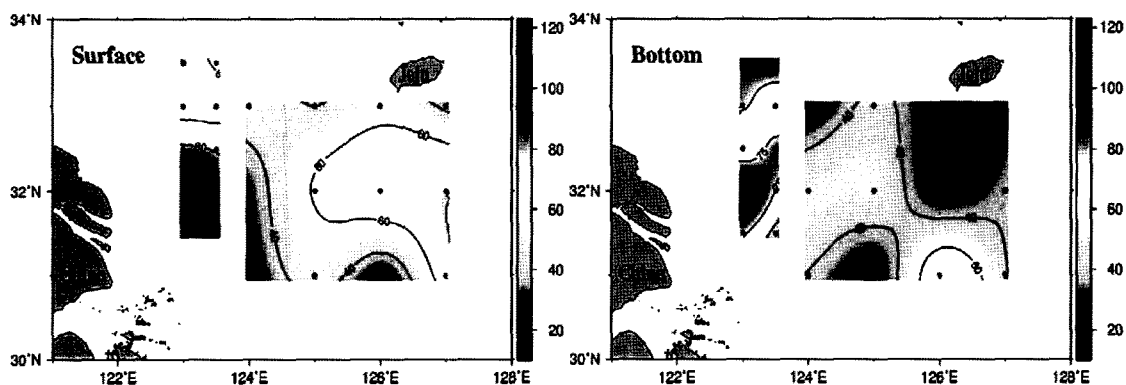
해역의 표층에서 높은 농도를 보였던 정점 A6에서 저층에서는 가장 낮은 농도를 보여 표층과 반대양상을 보이고 있었다.

### 3.6 용존유기탄소(DOC, Dissolved Organic Carbon)의 분포

연구해역의 용존유기탄소는 표층에서 25.0~117.2  $\mu$ M(평균 64.7  $\mu$ M)의 범위로 A해역에서 25.0~78.3  $\mu$ M(평균 49.2  $\mu$ M)을 보였으며, B해역에서는 46.0~117.2  $\mu$ M(평균 80.2  $\mu$ M)의 농도분포로 B해역이 높은 농도를 보이고 있었다. 염분도나 온도에 대해 밀접한 상관관계는 보이지 않으나 양자강 입구에 가장 가까운 정점 B7, B9와 B10에서 100  $\mu$ M이상의 높은 값을 보이며, 정점 B7에서 117.2  $\mu$ M로 최대값을 보였다. A해역이 다소 낮은 농도를 보이긴 하였지만, 이러한 농도는 전형적인 해양 표층에서의 용존유기탄소량 0.84~0.96 mg/L(Guo *et al.*, [1995])와 비슷한 값을 보이고 있었다. 또한 온대성기후 해역의 표층과 비교하여 낮거나 비슷한 값을 보이고 있었다(Table 1). 그리고 용존유기탄소는 Chlorophyll  $\alpha$

**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) [Shimadzu system].

Geographical area	Year (month)	Analytical method	DOC (mM)	Reference
Atlantic Canada Cabot Strait(GSL)	1994 (6)	HTC	40-54	Packard <i>et al.</i> (1999)
Halifax Harbor	1978	DC	79-111	Gershey <i>et al.</i> (1979)
		UV	79-107	
		PR	84-99	
(Northwest Arm)	1991	HTC	95-130	Chen and Wangersky (1993)
		UV	76-115	
Scotian Shelf	1994(6)	HTC	55-81	Packard <i>et al.</i> (1999)
	1991(4)	HTC	85-145	Kepkay and Wells (1992)
	1978	DC	70-95	Gershey <i>et al.</i> (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	
Atlantic Europe English Channel	1979-1980	PR	80-180	Wafar <i>et al.</i> (1984)
NE Atlantic	1990(5)	HTC	110-150	Miller <i>et al.</i> (1993)
(Scripps pier)	1968	PR	86	Williams (1969)
		UV	100	
NW Pacific (Kanto region)	1991 (7)	HTC	85-117	Ogawa and Ogura (1992)
		PR	74-98	



**Fig. 5.** The horizontal distribution of Dissolved Organic Carbon(DOC,  $\mu$ M)(August 2003, September 2004).

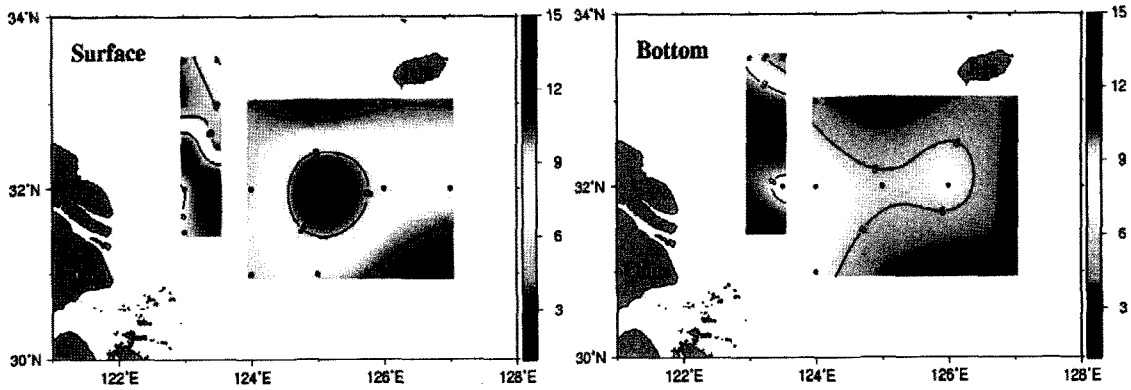


Fig. 6. The horizontal distribution of Particulate Organic Carbon(POC,  $\mu\text{M}$ )(August 2003, September 2004).

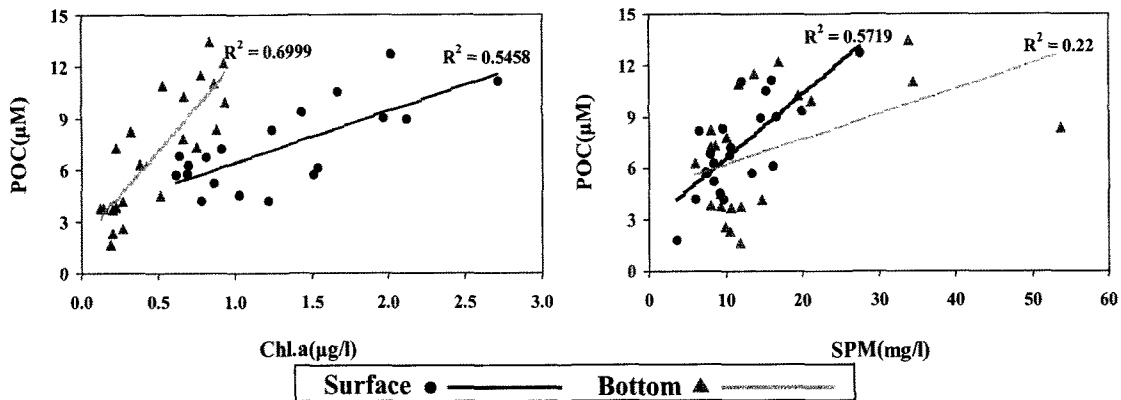


Fig. 7. Relationship between Chl. a and POC concentration, SPM and POC concentration(August 2003, September 2004).

에 대해서 양의 상관관계를 보이고 있었다. 제주도 남쪽해역인 A해역의 중앙부해역 정점 A6, A7과 양자강 근처의 정점 A7, A9와 A10에서 Chlorophyll  $\alpha$ 의 농도와 함께 높게 나타나고 있었다. 10 m층에서 B해역 평균 68.05  $\mu\text{M}$ 로 A해역의 평균 49.03  $\mu\text{M}$ 보다 높은 농도를 보였지만 표층에 비해서는 낮은 농도를 보이고 있었다. 저층에서 B해역은 평균 77.39  $\mu\text{M}$ 로 표층과 큰 차이는 없지만, A해역의 농도(평균 37.5  $\mu\text{M}$ )에 비해 높은 농도 분포를 보이고 있었다. A해역은 전반적으로 10 m층 이하의 수심이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있었으며, B해역은 표저간 별다른 차이를 보이지 않았다(Fig. 5).

### 3.7 입자유기탄소(POC, Particulate Organic Carbon)의 분포

연구해역의 입자유기탄소의 범위는 표층에서 1.8~12.7  $\mu\text{M}$ (평균 7.3  $\mu\text{M}$ )의 범위로 A해역은 1.8~11.0  $\mu\text{M}$ (평균 6.4  $\mu\text{M}$ )로 중앙부해역에서 높은 농도를 보였으며, B해역은 4.2~12.7  $\mu\text{M}$ (평균 8.2  $\mu\text{M}$ )로 양자강 부근 정점에서 높은 농도를 보였다. 정점 A6의 표층에서 높은 농도를 보이고 있는데, Chlorophyll  $\alpha$  농도도 가장 높은 것으로 보아 이 정점에서는 입자태 유기물질이 생물생산의 영향을 받는 것으로 생각된다. 10 m층은 1.5~13.3  $\mu\text{M}$ (평균 7.2  $\mu\text{M}$ )의 범위로 표층에 비해서 B해역은 표층에 비해 높은 농도를 보였고, A해역은 정점 A5를 제외한 대부분의 해역에서 2  $\mu\text{M}$  내외의 낮은 분포경향을 보였다. 저층은 1.7~13.4  $\mu\text{M}$ (평균 7.3  $\mu\text{M}$ )의 범

위로 A해역은 표층과 유사하게 중앙부해역이 높은 농도를 보였으며, B해역은 양자강 입구인 정점 B9에서 최대농도를 보이고 있었다. 저층에서 B해역은 표저간 별다른 차이를 보이지 않았으며, A해역은 표층과 유사하게 중앙부해역이 높은 농도를 보이고 있었다(Fig. 6). 연구해역내의 유기탄소 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 보인 것으로 판단된다. 한편, 이들 정점의 Chlorophyll  $\alpha$ 의 경우 높은 농도를 보이면서 결정계수가  $R^2=0.6999$ 로 보통 이상의 상관성을 보이고 있었으며(Fig. 7), 양자강 부근 정점인 B7과 B8의 표층에서 높은 SPM의 농도로 POC와의 결정계수가  $R^2=0.5719$ 로 상관성을 보이면서 양자강 유출수의 영향을 크게 받는 것으로 사료된다(Fig. 7).

## 4. 해역특성

연구해역내 영양염류, 부유물질, Chlorophyll  $\alpha$ , 용존 및 입자유기탄소를 종합한 본 연구해역의 특성은 세가지 형태로 구분되어지고 있다(Fig. 8).

영양염류의 수계별 분포특성은 양자강 유출수가 영향을 미치는

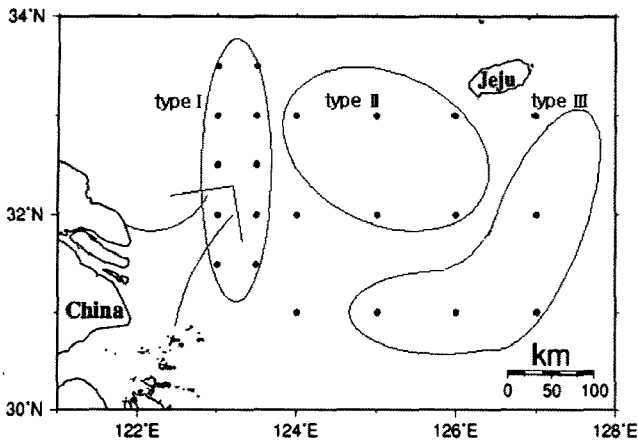


Fig. 8. Location of mass types in the study area.

Table 2. The mean concentration of mass types in the study area (type I: B1~B10; Type II: A1, A2, A3, A6, A7; type III: A4, A8, A10, A11, A12)

Date	Water Type	TIN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (μM)	DOC	POC	SS (mg/L)	Chl-a (μg/L)
Sep. '04	I	11.095	0.346	74.15	9.23	15.24	2.07
Aug. '03	II	4.665	0.231	51.08	7.23	7.58	1.08
	III	0.737	0.261	51.67	3.04	6.32	0.62

해역(type I)에서 총무기질소는 평균 농도는 11 μM 정도의 값을, 인산 인은 0.346 μM로 상대적으로 높은 농도분포를 보이고 있었고 대마난류수의 영향을 받는 제주도 남동부해역(type III)에서 총무기질소와 인산 인은 각각 0.737 μM과 0.261 μM로 낮은 농도분포를 보였으며, 혼합수의 성격을 보이는 중앙부해역(type II)에서는 4.665 μM, 0.231 μM의 농도분포를 보였다(Table 2). 부유물질과 Chlorophyll α의 농도분포 역시 type I에서 최고농도를, type III에서 최저농도를 보였다.

입자유기탄소의 수계별 분포특성은 type I에서 평균 9.23 μM로 가장 높은 농도를 보이고 있었고, type III에서 3.04 μM로 낮은 농도분포를 보였으며, type II에서는 7.23 μM의 입자유기탄소량을 나타내고 있었다.

## 참고문헌

- [1] 공영, 1971, "한국 남해연안 전선에 관한 연구", 한국해양학회지, 6, 25-36.
- [2] 과학기술부, 1998, "황해 해수순환과 물질플럭스 연구: 황해의 물질균형 및 생지화학적 순환연구", 한국해양연구소, BSPN 97357-03-1100-4, 437pp.
- [3] 과학기술처, 1992, "한반도 주변해역의 화학물질수지 및 순환연구(서남해역) 제2차년도 년차보고서", 한국해양연구소, BSPG 00149-489-4, 231pp.
- [4] 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암, 1998, "1996년 여름철 남해 표층수의 이상저염수 현상과 영양염류의 분포특성", 한국해양학회지, 3(3), 165-169.
- [5] 김인옥, 노홍길, 1994, "제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구", 한국수산학회지, 27(5), 515-528.
- [6] Amon, R. M. W., Benner, R., 1994, "Rapid cycling of high-molecular-weight dissolved organic matter in the ocean", Nature 369, 549-552.
- [7] Borsheim, K. Y. and S. M. Mykkestad, 1997, "Dynamic of DOC in the Norwegian Sea inferred monthly profiles collected during 3years at 66°N, 2°E", Deep-Sea. I, 44, 593-601.
- [8] Broecker, W. S., 1974, Chemical oceanography. Harcomt Brace jovanovich, Inc., New York, 214pp.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Cauwet, G., 1984, "Automatic determination of dissolved organic carbon in seawater in the subppm range", Mar. Chem., 14, 297-306.
- [12] Cauwet, G., 1994, "HTCO methods for dissolved organic carbon analysis in seawater: influence of catalyst on blank estimation", Mar. Chem., 47, 55-64.
- [13] Cha, H. J., Kim, J. Y., Hoh, C. H. and Lee, C. B., 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.
- [14] Chen, C. T. A., Ruo, R., Pai, S. C., Liu, C. T. and Wong, G. T. F., 1995, "Exchange of water masses between the east China Sea and the Kuroshio off northeastern Taiwan", Conti. shelf Res., 15, 19-39.
- [15] Chester, R., 1990. Marine Geochemistry. Unwin Hyman, London, 698pp.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Gong, G. C., Shiah, F-K., Liu, K-K., Chuang, W-S. and Chang, J., 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.
- [19] Gong, G. C., Chen, Y. L. L. and Liu, K. K., 1996, "Chemical hydrography and chlorophyll a distribution in the East China Sea in summer: implications in nutrients dynamics", Conti. Shelf Res., 16, 1561-1590.
- [20] Guo, L., Santschi, P. H. and Warnken, K. W., 1995, "Dynamics of dissolved organic carbon(DOC) in oceanic environments", Limnol. Oceanogr., 40(8), 1392-1403.
- [21] Hama, T., 1995, "Seasonal change of the primary productivity

- and phytoplankton”, *Oceanography Marine Biology Annual Review*, 29, 155-189.
- [22] Harris, G. P., 1986, “Phytoplankton ecology: Structure function and fluctuation”, Capman and Hall, New York, 343pp.
- [23] Hayase, K. and Shinozuka, N., 1995, “Vertical distribution of fluorescent organic matter along with AOU and nutrients in the equatorial central Pacific”, *Mar. Chem.*, 48, 283-290.
- [24] Hedges, J. L., 1992, “Global biogeochemical cycle: progress and problems”, *Marine Chemistry* 39, 67-93.
- [25] Howarth, R. W., 1988, “Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems”, *Ann. Rev. Ecol.*, 19, 89-110.
- [26] 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.
- [27] Hung, T-C., Tsai, C. C. H. and Chen, N-C., 1986, “Chemical and biomass studies (1) Evidence of upwelling off the southern coast of Taiwan”, *Acta Oceanogr. Taiwanica*, 17, 29-44.
- [28] 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.
- [29] Jiancheng, Z., Shuilong, H. and Weiqiang, W., 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.
- [30] Lee, C. and Henrichs, S. M., 1993, “How the nature of dissolved organic matter might affect the analysis of dissolved organic carbon”, *Mar. Chem.*, 41, 105-120.
- [31] Lee, C., Wakeham, S. G., 1992, “Organic matter in the water column: future research challenges”, *Marine Chemistry* 39, 95-118.
- [32] Libes, S. M., 1992, “An introduction to marine biogeochemistry”, John Wiley and Sons. New York, 734pp.
- [33] Millero, F. J. and Sohn, M. L., 1992, *Chemical oceanography*. CRC Press, 227-366pp.
- [34] Mingazzini, M., Rinaldi, A. and Montanari, G., 1990, “Multi-level nutrient enrichment bio assays 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.
- [35] Nitani, H., 1972, “Beginning of the Kuroshio, In: Kuroshio”, H. Stommed and K. Yoshida, Univ., Tokyo Press, 358-369
- [36] Nozaki, Y., 1989, “Mean residence time og 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.
- [37] Ogawa, H., Usui, T., Koike, I., 2002, “Distribution of dissolved organic carbon in the East China Sea”, *Deep sea Res. II*, 50, 353-366.
- [38] Packard, T., W. Chen, D. Blasco, C. Savenkogh, A. F. Vezina, R. Tian, L. St-amand, S. O. Roy, C., Lovejoy, B. Klrin, J. C. Theriault, L., 2000, “The Gulf of St. Lawrence”, *Deep Sea Res. II*, 47, 435-459.
- [39] Parsons, T. R., Takahashi, M. and Haegrave, B., 1984, “Biological oceanographic process”, 3rd edition. Pergamon press, 143-157.
- [40] Peltzer, E.T. and Hayward, N. A., 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.
- [41] Perkins, E. J., 1974, “The biology of estuaries and coastal waters”, Academic Press, London, 677pp.
- [42] Sharp, J. H., 1997, “Marine dissolved organic carbon: Are the old values correct”, *Mar. Chem.*, 56, 265-277.
- [43] Shiah, F. K., Gong, G. C. and Liu, K. K., 1995, “A preliminary survey on primary productivity measured by the  $^{14}\text{C}$  assimilation method in the keep area”, *Mar. Chem.*, 56, 39-44.
- [44] Shen, Z. L., 1996, “Nutrients distribution characteristics in seawater of the Yellow Sea”, *The Yellow Sea*, 2, 58-64.
- [45] Skoog, A., Thomas, D., Lara, R. and Richter, K., 1997, “Methodological investigations on DOC determinations by the HTCO method”, *Mar. Chem.*, 56, 39-44.
- [46] Stowe, K. S., 1979, *Ocean science*. John Wiley & Sons. New York, 610pp.
- [47] Sugimura, Y. and Suzuki, Y., 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.
- [48] Taylor, D., Granger, S. and Buckley, B., 1995, “Nutrient limitation and the eutrophication of coastal lagoons”, *Mar. Ecol. Progr. Seri.*, 127, 235-244.
- [49] Wiebinga, C. J. and H. J., W. De Baar, 1998, “Determination of the distribution of dissolved organic carbon in the Indian sector of the Southen Ocean”, *Mar. Chem.*, 61, 185-201.
- [50] Williams, P. M., 1971, “The distribution and cycling of organic matter in the ocean, In: organic compounds in aquate environments, S. J. Faust and J. V. Hunter, editors”, Marcel Dekker, New York, 145-163pp.
- [51] Yanagi, T., Morimoto, A. and Ichikawa, K., 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.
- [52] Yanagi, T., Takahashi, S., Hoshika, A. and Tanimoto, T., 1996, “Seasonal variation in the transport of suspended matter in the East China Sea”, *Journal of Oceanogr.*, 52, 539-552.
- [53] 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.

2008년 4월 18일 원고접수

2008년 5월 28일 수정본 채택