

## 동해 극전선역의 영양염류 순환과정

### I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

문창호 · 양한섭 · 이광우\*

부경대학교 해양학과 · \*한양대학교 지구해양학과

## Regeneration Processes of Nutrients in the Polar Front Area of the East Sea

### I. Relationships between Water Mass and Nutrient Distribution Pattern in Autumn

Chang-Ho MOON, Han-Soeb YANG and Kwang Woo LEE\*

Department of Oceanography, Pukyong National University, Pusan, 608-737 Korea

\* Department of Earth & Marine Sci., Hanyang Univ., Ansan, Korea

A synoptic survey of chemical characteristics in the East Sea of Korea was carried out at the 11 stations near Ullungdo in November, 1994 on board R/V Tam-Yang. On the basis of the vertical distribution patterns of temperature, salinity and dissolved oxygen, water masses in the study area are divided into five groups; 1) Tsushima Surface Water (TSW), 2) Tsushima Middle Water (TMW), 3) East Sea Intermediate Water (ESIW), 4) East Sea Proper Water (ESPW), 5) Mixed Water (MW). In the vertical profiles of nutrients, the concentrations were very low in the surface layer and increased rapidly near the thermocline. There was a slight decrease in the ESIW and the concentrations were constant with the depth below 300m except dissolved silicate which still increased with depth. Relatively high value of Si/P ratio (25.2) in ESPW, which is the oldest water mass, suggests that Si is regenerating more slowly compared to other nutrients. The relatively high value of N/P ratio (18.6) in the surface layer might be related to high vertical eddy diffusivity ( $K_z$ ) of 1.19 cm<sup>2</sup>/sec and high nitrate upward flux of 103.7  $\mu\text{g-at}/\text{m}^2/\text{hr}$ , compared to the values reported in other areas. Apparent Oxygen Utilization (AOU) was very low in the surface layer and increased in the TMW, but there was a slight decrease in the ESIW. The highest value of AOU occurred in the ESPW. The slope of P/AOU was 0.50. The study on the relationship between water masses and nutrient distribution patterns is important in understanding the regeneration processes of nutrients in the polar region of the East Sea.

**Key words** : East Sea, polar front area, water masses, nutrient

### 서론

해양에서 영양염류는 식물플랑크톤 및 동물플랑크톤과 더불어 해양생태계의 주요 구성원으로서 이들 구성원들 간에는 서로 밀접한 관계를 가지고 상호작용을 한다. 그러므로, 이들중 어느 한 구성원이 어떤

구조적 변화를 보임으로서 즉시 이와 관련된 구성원의 변화를 초래한다. 이를테면, 영양염류의 순환에 대한 생물활동의 영향은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 생물에 의한 영양염류의 흡수, 재생, 산화 및 환원 등에 의한 농도변화이며, 둘째는 생물체내에 흡수된 영양염류가 생물의 수직이동 및 분립이나 생물

본 연구는 1994년도 교육부 해양/수산과학분야 학술연구 조성비의 지원에 의한 것임.

의 사체 등 입자형태로 전환되어 해수와는 다른 거동 변화에 따른 영향이다. 따라서, 해양에서 영양염류의 순환과정을 파악하기 위해서는 해양생물의 변화양상, 입자상 물질의 거동 등에 대한 상세한 조사가 병행되어야만 한다. 또한 해수중 용존태 유기 및 무기화합물의 동태에 대한 연구 및 이와 결부된 생물학적 영향에 대한 연구는 다양한 해양환경에서의 수괴 특성을 파악하거나 해수순환을 밝히는데 매우 유용한 추적자가 될 수 있다.

동해는 평균 수심이 약 1,500 m (최대수심 약 3,700 m)인 북서태평양의 연해로서 지중해적인 성격을 지니면서도 한반도, 일본열도 및 시베리아대륙으로 둘러싸여 있어서 반폐쇄적인 해양 특성을 가지고 있는 해역이다. 동해는 수심 300 m 이하에서 수온 0~1°C, 염분 33.96~34.14‰ 범위의 동해 고유수 (East Sea Proper Water, ESPW)가 동해 전체 부피의 84%를 차지하고 있는 것으로 알려져 있으며 (Yasui et al., 1967) 그 상부 수층에는 수온 및 염분의 변화가 크고 이 수층들은 수온, 염분 및 용존산소의 특성치에 따라 대마난류 표층수 (Tsushima Surface Water, TSW), 대마난류 중층수 (Tsushima Middle Water, TMW), 동해 중층수 (East Sea Intermediate Water, ESIW) 및 북한한류수 (North Korea Cold Water, NKCW) 등의 수괴로 구분되고 있다 (Gong and Park, 1969; Park, 1978; Kim and Kim, 1983; Kim et al., 1991). 이러한 각 수괴는 동해의 연안 쪽에서 연안에 평행한 전선, 동해 중부해역에서 동서방향의 전선 그리고 각 수괴의 이상 발달로 형성된 불규칙한 전선 등을 형성하고 있으며 이러한 극전선의 구조나 위치는 년별, 계절별로 변화한다고 알려져 있다 (Uda, 1938; An and Chung, 1982; Gong and Son, 1982). 이러한 현상들로 볼 때 동해는 연해의 특성을 가지고 있는 동시에 해양학적 연구의 장으로서 매우 중요한 해역이다.

동해에서 해수의 화학적 특성에 관한 연구는 Park (1978)의 인산염과 용존산소의 관계로부터 냉수괴의 기원에 관한 연구, Kido and Nishimura (1973)의 영양염과 용존산소의 관계로부터 동해고유수의 화학적 특성에 관한 연구 및 Kim et al. (1991)의 동해 중층수의 화학적 특성에 관한 연구 등이 있다. 또한 Lee (1985)는 동해에서 용존유기물과 미생물에 의한 생물생산력과의 관계에 대하여, Shim and Park (1986)은 동해남

부해역에서 기초생산과 질소계 영양염류의 변화 및 물리적 환경과의 관계를, 그리고 Chung et al. (1989)은 동해에서 추계에 영양염류의 농도변화 및 기초생산력과 질소계 영양염류의 재순환과정에 대해 보고한 바 있으며, Shim et al. (1989)은 동해 남부해역에서 식물플랑크톤의 군집구조와 수문학적 조건과의 관계 및 아질산염 약층의 변화특성에 대해 고찰하였다. 특히, Yang et al. (1991)은 동해 중부해역에 출현하는 극전선역에 있어서 용존산소와 영양염류의 수직농도 분포 특성에 대해 고찰하고, 이 해역에 출현하는 각종 수괴의 수직적 분포양상과 이들 수괴의 화학적 특성 및 그 계절적 변화특성에 대해 고찰한 바 있다. 그러나 동해 중부해역의 극전선역에서 영양염류의 순환과정에 대한 종합적인 연구는 아직 미약한 편이다.

본 연구의 1차년도 목적은 동해 중부해역의 극전선역에서 해수의 수온, 염분 및 용존산소로서 각 수괴의 물리적 특성을 파악하고 영양염 분포 및 수직확산, 그리고 화학성분의 상호관계로부터 각 수괴의 화학적 특성을 조사하여 이 해역에서의 영양염류의 순환과정을 종합적으로 이해하기 위한 기초 자료를 제공하는 데 있다.

## 재료 및 방법

본 연구해역은 극전선이 형성되어 있는 울릉도 부근 북위 37°01.8'~37° 30.5', 동경 130°40'~131°22'에 위치하며, 최대 수심은 2,300 m이다 (Fig. 1). 본 연구에서는 C 및 D의 2 Line을 설정하여 11개의 정점에서 실시하였으며, 정점간 거리는 약 10 km이며 각 정점에서 최고 1,000 m까지 10~12개의 수층에서 시료를 채취하였다. 본 연구는 해양과학 공동연구소 탐양호를 이용하여 1994년 11월에 특정 연구과제 수행의 일환으로 실시되었다.

채취된 시료의 수온과 염분은 채수와 동시에 관측된 CTD (Sea Bird) 자료중 해당 수심의 값들을 취하였으며, 용존산소는 CTD와 Winkler 방법 (Carpenter, 1965)의 측정치를 병행하였다. 결보기 산소이용량 (AOU: Apparent Oxygen Utilization)은 채수된 해수의 수온과 염분으로부터 계산된 용존산소의 포화농도에서 관측된 용존산소의 농도를 뺀 값으로 정의하였다.

I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

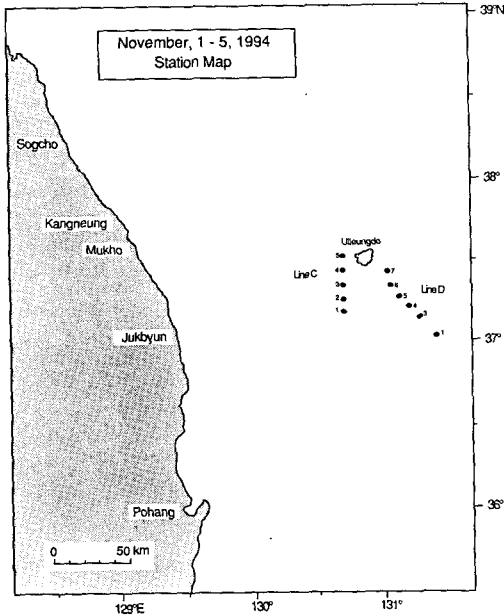
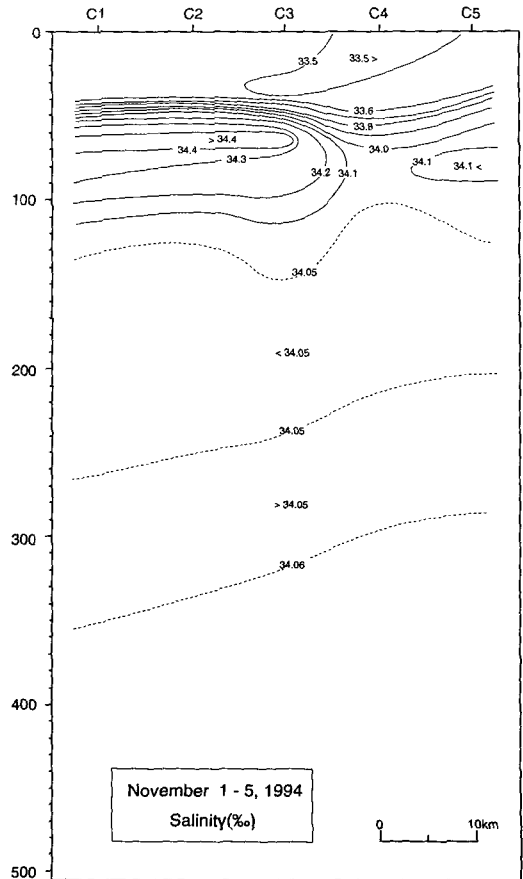
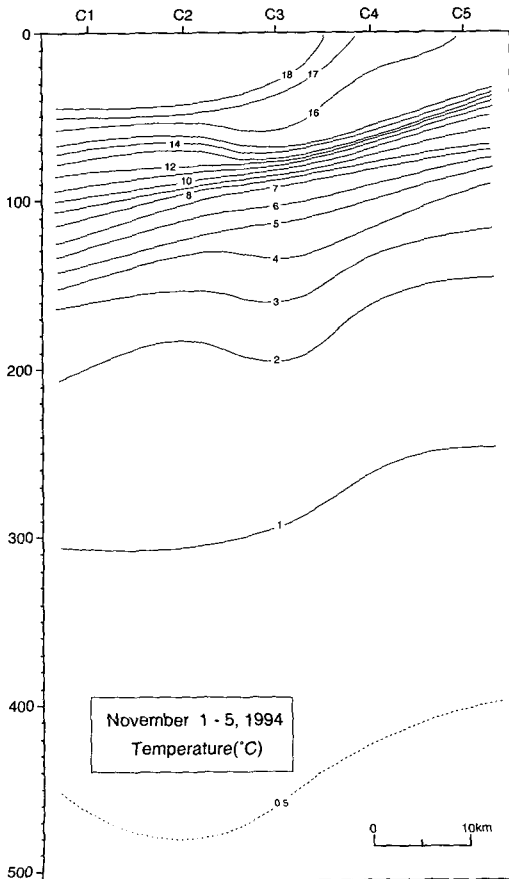


Fig. 1. Locations of the sampling stations on the oceanographical transects of C and D.

각각의 영양염들은 시료 250 ml를 현장에서 GF/C 여과지로 여과시켜 냉동보관하였다가 시료분석전 녹인 후 Strickland and Parsons (1972)의 비색법으로 측정하였다. 엽록소 농도는 시료 200~300 ml를 공경 0.45  $\mu\text{m}$  Millipore 여과지로 여과한 후 냉동 보관하였다가 분석시 90% Acecon 10 ml 하에 24시간 색소추출후 Fluorometer (Turner Designs Model 10)를 이용하여 5% HCl 용액의 첨가 전과 후의 형광값을 측정하여 paeophyтин 값을 뺀 후 계산하였다 (Holm-Hansen et al., 1965). 입자성 유기탄소 (POC) 및 질소 (PON)는 450°C에서 4시간동안 회화시킨 GF/C 여과지로 해수 50~100 ml를 여과한 후 분석시까지 냉동 보관하였다가 분석시 여과지는 항온건조기에서 50°C로 24시간 건조시킨후 CHN analyser (Perkin Elmer)를 이용하여 측정하였다.

밀도약층에서 질산염의 수직확산 (F)은 King and Devol (1979)에 따라 밀도약층에서의 수심 변화에 따른 질산염의 농도변화량과 수직확산도 ( $K_z$ )를 이용하



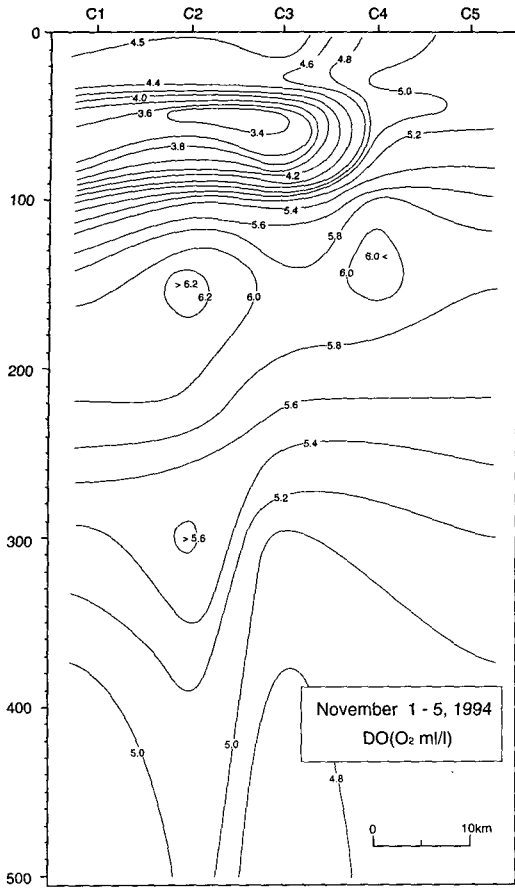


Fig. 2. Vertical profiles of temperature, salinity, and dissolved oxygen along the C-transect in November, 1994.

여 계산하였다.

$$Kz(\text{cm}^2/\text{s}) = 643.0 \times (10^6 E)^{-1.61}$$

$$E = \frac{d\sigma_T}{dZ} \times 10^{-3}, \text{ The stability of water column}$$

$$F(\mu\text{g-at}/\text{m}^2/\text{h}) = K_z \times \frac{dC}{dZ}$$

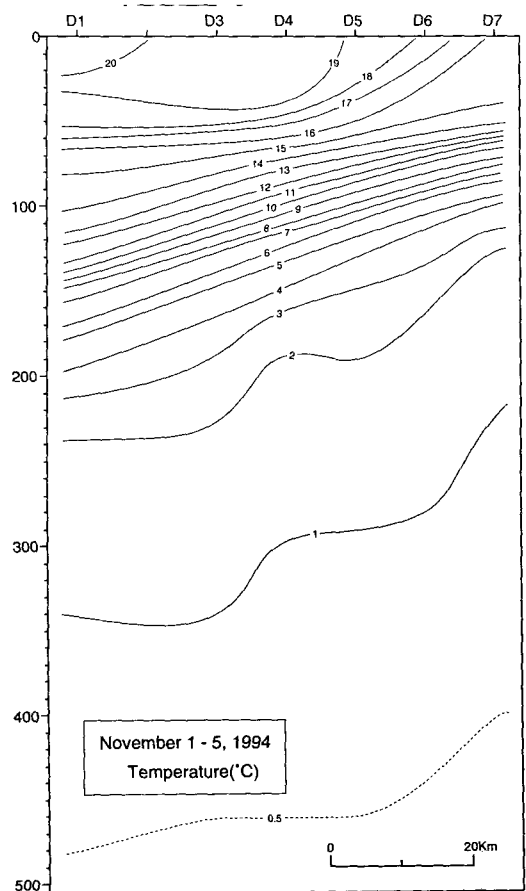
F: The upward flux of nitrate

$\frac{dC}{dZ}$  : the slope of nitrate concentration at the pycnocline

결과 및 고찰

물리적 특성

1995년 11월 1일부터 5일까지 C-Line의 수온, 염분 및 용존 산소의 분포도를 Figure 2에 도시하였다. 표층 수온은 정점 C1에서 C3까지 18°C 정도로 일정하였다가 C4, C5에서 16°C 이하로 감소하면서 C4, C5에서 전선을 형성하고 있었다. 혼합층의 깊이는 C1에서 40 m 내외이었으며 북쪽으로 갈수록 얕아졌다. 이곳 혼합층에서의 염분은 33.51~33.53‰의 범위이었고 용존산소는 5.04~5.57 ml/l의 범위로 Park (1978)이 정의한 대마난류 표층수(Tsushima Surface Water, TSW)의 특성치와 잘 일치하고 있다. 수온 약층은 50~150 m 사이에 존재하였는데 북쪽으로 갈수록 그 깊이가 얕아졌다. 정점 C4, C5의 표층에서 50 m 수심까지는 염분 33.41~33.51‰, DO 5.5 ml/l 내외의 범위로서 Park (1978)이 정의한 북한 한류수(North Korean Cold Water, NKCW) 특성치보다 수온은 높고 염분과 용존산소는 다소 낮았다. 또한 정점 C3을 기준



# I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

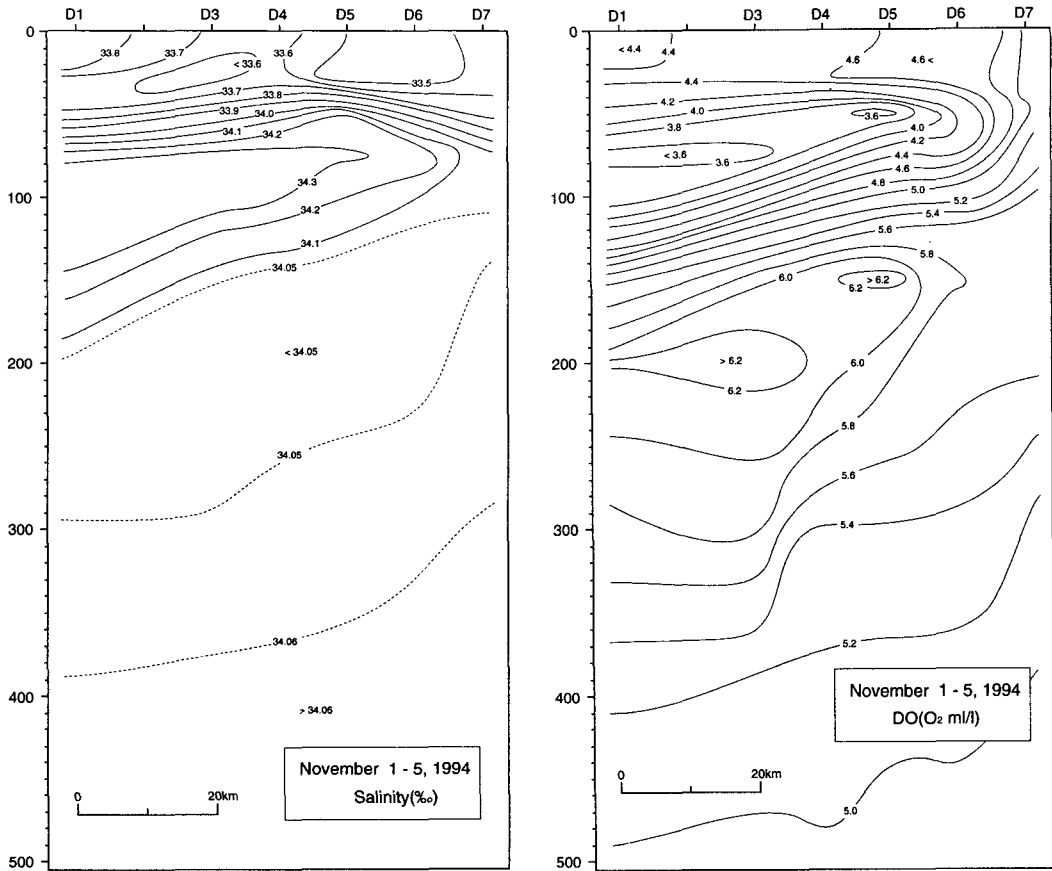


Fig. 3. Vertical profiles of temperature, salinity, and dissolved oxygen along the D-transect in November, 1994.

으로 볼때 남쪽으로 수심 50~75 m 사이에 수온 12~17°C이고 고염분 (34.20~34.50 ‰)이며 저용존산소 (4.5~5.0 ml/l)의 수괴가 존재하였는데, 이는 Park (1978) 및 Kim and Kim (1983)이 정의한 대마난류 중층수 (Tsushima Middle Water, TMW)의 특성치와 잘 일치하고 있었다. 정점 C3의 북쪽으로 수심 50~150 m 사이에 수온 3~15°C, 염분 34.05~34.1 ‰, 용존산소 5.5~6.0 ml/l의 수괴가 존재하고 있었다. 수심 150~250 m 수심에서는 수온은 1.5~3.0°C이고 염분은 34.00~34.05 ‰ 범위로 다시 낮으며 용존산소는 6.0 ml/l 이상의 수괴가 존재하고 있었는데 이는 Kim and Chung (1984) 및 Kim et al. (1991)이 정의한 동해 중층수 (East Sea Intermediate Water, ESIW)의 특성치와 비교하였을 때 다소 낮은 용존 산소를 제외하고는

잘 일치하고 있었다. 수심 300 m 이하는 수온 1°C이하, 염분 34.04~34.06 ‰, DO 5.16~5.60 ml/l의 범위로 Park (1978) 및 Kim and Kim (1983)이 정의한 동해 고유수 (East Sea Proper Water, ESPW)가 존재하고 있었다. D-Line의 수온, 염분 및 용존 산소의 분포 (Fig. 3) 역시 C-Line과 매우 유사하였다. 표층의 수온 전선은 수온 16~19°C의 범위로 정점 D5, D6에 위치하였고 대마난류 중층수 (고염분, 저산소)로 생각되는 수괴는 정점 D5 남쪽으로 수심 50~100 m 사이에, 동해 중층수 (염분 최소, 용존산소 최대)의 수괴는 수심 150~200 m 수층, 그리고 300 m이심에 동해고유수가 존재하고 있었다. 조사해역에서 출현한 각 수괴에 대한 T-S 및 T-O<sub>2</sub> diagram을 Figure 4에 도시하였고, 또한 동해에 출현하는 각 수괴의 물리적 특성치에 관한

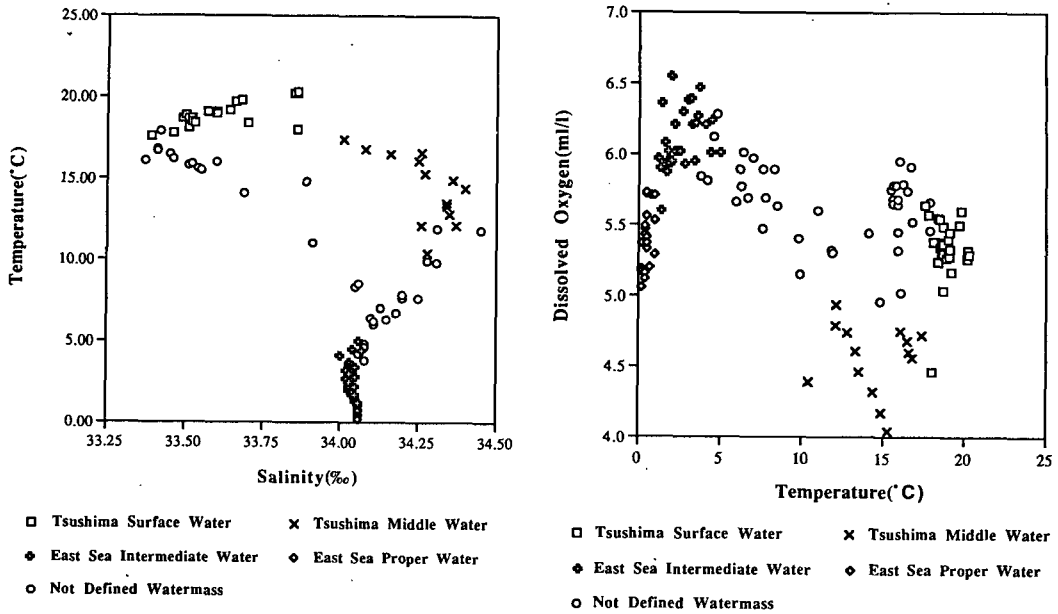


Fig. 4. Diagrams of T-S and T-O<sub>2</sub> for all the stations on two transects in November, 1994. Data are divided into 5 groups and shown in different symbols.

Table 1. Distinctive values of temperature, salinity and dissolved oxygen reported previously for water masses in the central region of the Korean East Sea

Water mass	Temperature(°C)	Salinity(‰)	DO (ml/l)	Reference
TSW				
(Tsushima Surface Water)	>20	<33.80	5.00~5.50	Park (1978)
	>20	<33.80	5.05~5.45	Yang et al. (1991)
TMW	14~17	34.30~34.60	4.20~4.70	Park (1978; 1979)
(Tsushima Middle Water)	13~17	34.20~34.40	5.00~5.50	Kim and Kim (1983)
	12~17	34.30~34.50	4.30~5.00	Yang et al. (1991)
NKCW	1~7	33.95~34.10	—	Gong and Park (1969)
(North Korea Cold Water)	0.2~4	34.00~34.05	6.50~7.50	Park (1978; 1979)
	1~6	<34.00	>6.80	Kim and Kim (1983)
	1~7	34.06~34.20	6.00~6.45	Yang et al. (1991)
ESPW	0~1	33.96~34.10	5.20~6.00	Park (1978; 1979)
(East Sea Proper Water)	0~1	34.00~34.05	5.50~6.50	Kim and Kim (1983)
	<1	34.02~34.16	5.40~5.90	Yang et al. (1991)
ESIW	1~3	<34.05	>6.5	Kim and Chung (1984)
(East Sea Intermediate Water)	1.1~2.7	34.02~34.11	—	Kim et al. (1991)

## I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

여 이제까지 보고된 자료를 Table 1에 나타내었다. T-S diagram에서는 동해 고유수와 동해 중층수의 구분이 뚜렷하지 않았으나 T-O<sub>2</sub> diagram에서 명확하게 구분되었다.

### 화학적 특성

각 정점에서 영양염의 수직적 분포양상을 전선역과 표면 혼합층이 존재하는 남쪽 해역(난류역)으로 구분하여 Figure 5(질산염), Figure 6(인산염) 및 Figure 7(규산염)에 도시하였다. 두 해역 모두 30~50

m 수층까지 농도가 매우 낮고, 그 이후 수심이 증가할수록 증가하기 시작하였다. 그러나 100~150m의 수심에서는 질산염 및 규산염의 경우 난류역에서 다소 감소가 있었으며, 200~300 m 이심에서는 규산염을 제외하고는 농도가 비교적 일정하였다. 규산염은 예외적으로 깊이에 따라 계속 증가하는 양상을 보였는데, 이는 심층에서 규산염의 재생산 속도가 다른 영양염들보다 느리기 때문에 일어나는 (Gamo and Horibe, 1983) 현상으로 생각된다. 규산염과 인산염의 비율(Si/P ratio)을 보면 (Table 2) 출현 수괴중 가장

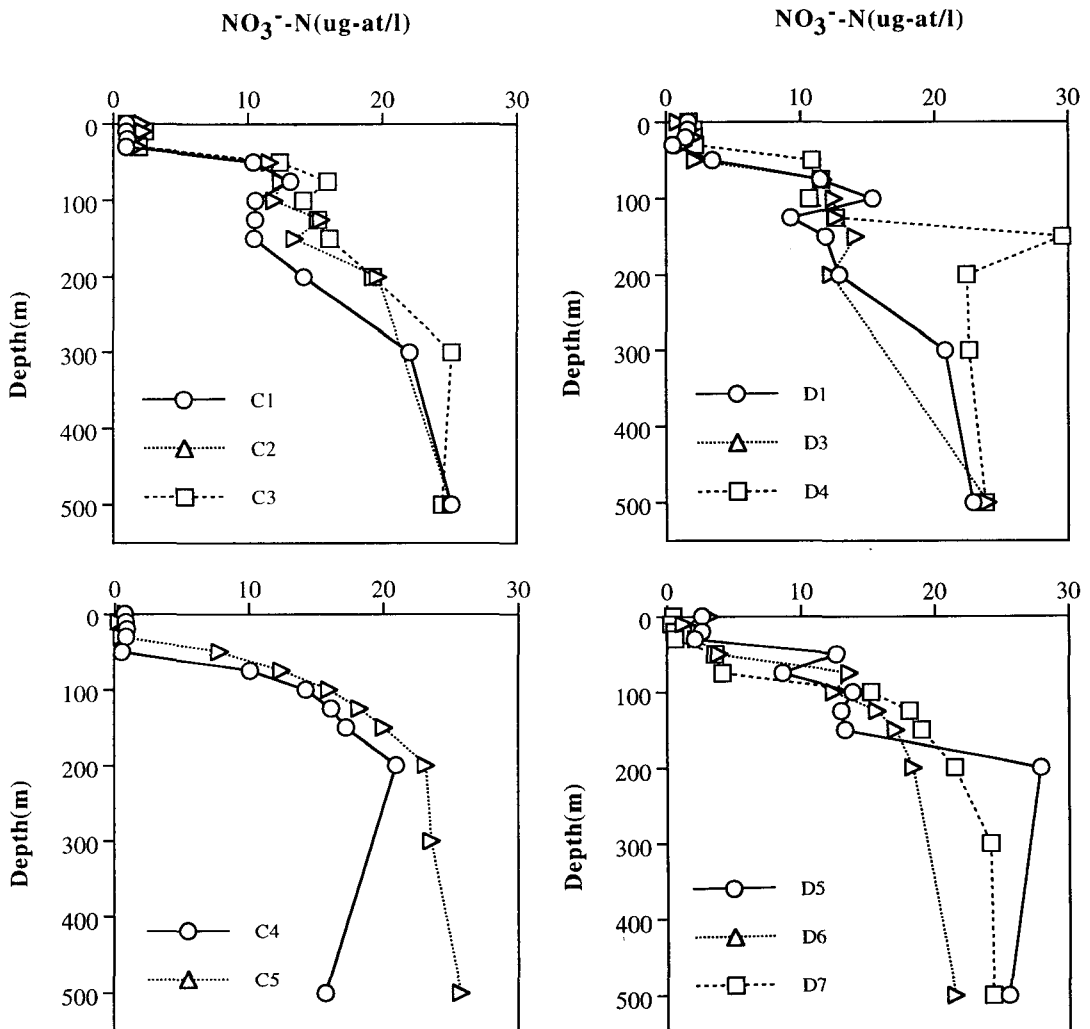


Fig. 5. Vertical profiles of nitrate in the East Sea of Korea.

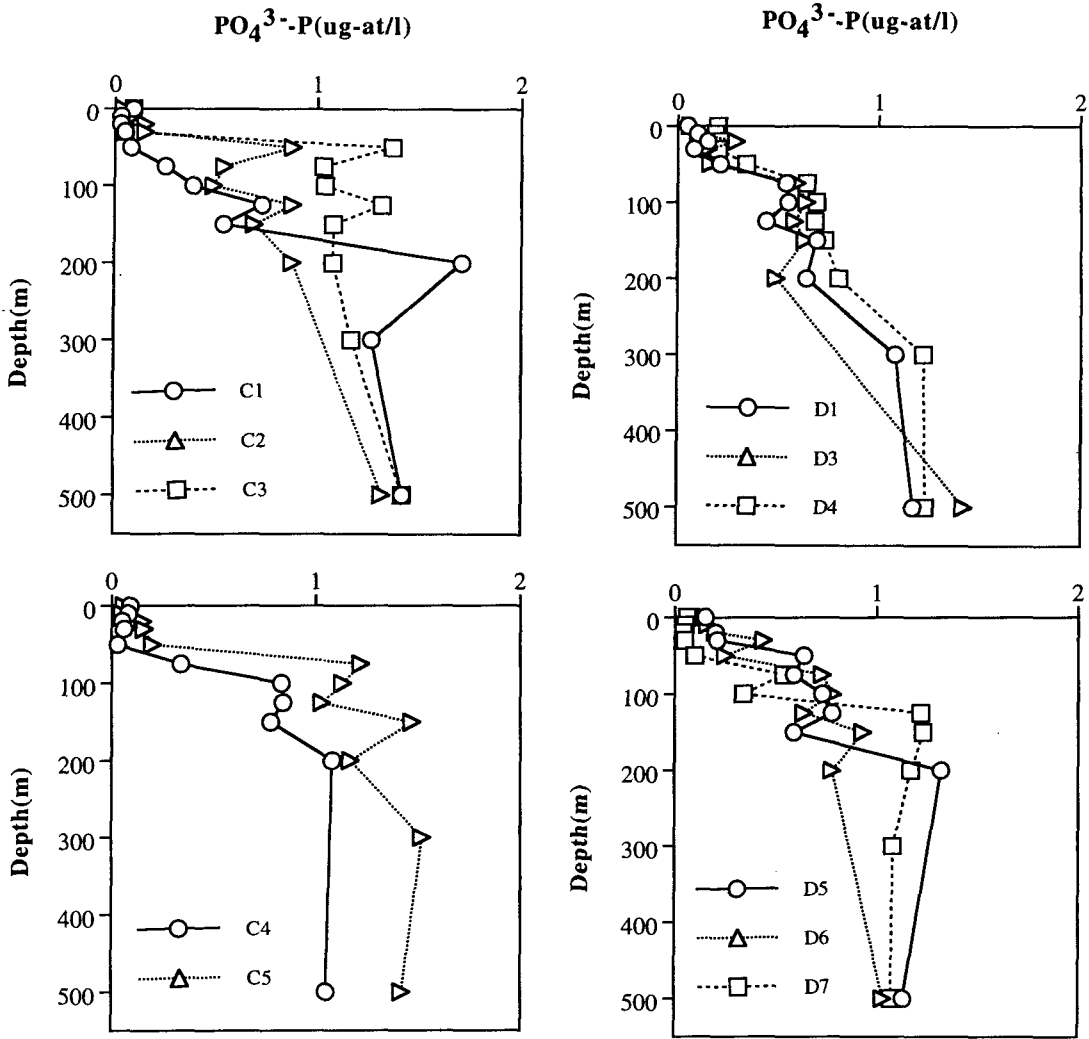


Fig. 6. Vertical profiles of phosphate in the East Sea of Korea.

연령이 많은 동해고유수에서 평균 25.16으로 높게 나타나 규산염의 재생산 속도가 다른 영양염에 비하여 느림을 보여주고 있다. Kido and Nishimura (1973)는 동해 심층수에서 Si/P의 비율이 최고 80, 그리고 Tsunogai (1972)는 태평양 심층수에서 120이라고 보고하고 있다.

질산염(아질산 포함)과 인산염의 비 (N/P Ratio)가 일부 정점의 표층 또는 아표층 (30 m)에서는 10 이하로서 Redfield ratio보다 낮은 값을 보여 (Appendix II) 일부 정점의 표층에서 질산염이 제한요소로 작용하고 있음을 보여주고 있으나 표층에서의 평균 질산

염 농도는  $1.37 \mu\text{g-at/l}$ , 그리고 N/P ratio는 18.56 (Table 2)을 나타내고 있어 대체로 조사기간동안 본 해역의 표층에서 질산염이 성장의 제한요소는 아닌 것으로 판단된다. 표층에서의 N/P ratio의 값 18.56은 이제까지 동해 표층에서 보고된 값인 2.1 (Chung et al., 1989) 및 3 (Shim, 1989)에 비하여 매우 높은 값이다. 또한 질산염과 인산염의 상관 관계식 (Fig. 8)이 수중에 존재하는 N/P ratio보다 생물학적인 섭취, 즉 식물플랑크톤의 구성비를 더 잘 나타낸다고 볼 때 (Banse, 1974), 조사해역에서의 기울기는 14.36으로서 이러한 개념과 잘 일치하고 있다. 기울기 14.36은 지



Table 2. Physical and chemical characters for all the stations on the two transects in November, 1994. Data are divided into 5 groups: TSW (Tsushima Surface Water), TMW (Tsushima Middle Water), ESIW (East Sea Intermediate Water), ESPW (East Sea Proper Water), NDW (Not Defined Watermass). Values in parenthesis are ranges

	Temp. (°C)	Sal (%)	DO (ml/l)	AOU (ml/l)	NO <sub>2</sub> -N (µg-at/l)	NO <sub>3</sub> -N (µg-at/l)	PO <sub>4</sub> -P (µg-at/l)	SiO <sub>2</sub> -Si (µg-at/l)	AOU/P (ml/µg-at)	N/P (atomic ration)	Si/P (atomic ration)	POC/PON (by weight)
TSW	18.87 (17.60~20.30)	33.59 (33.39~33.86)	5.34 (4.46~5.64)	0.00 (-0.36~0.95)	0.37 (0.14~1.29)	1.37 (0.27~2.98)	0.12 (0.03~0.29)	2.26 (0.29~4.23)	-0.31 (-6.00~5.94)	18.56 (6.13~52.00)	21.18 (3.22~65.4)	6.78 (1.78~27.38)
TMW	14.44 (10.40~17.40)	34.27 (34.01~34.40)	4.56 (4.04~4.75)	1.25 (0.12~1.90)	0.20 (0.10~0.44)	12.34 (9.95~15.73)	0.63 (0.08~1.37)	9.39 (0.31~14.13)	2.89 (0.13~12.13)	29.99 (9.02~129.87)	15.85 (3.88~24.13)	7.06 (1.36~26.02)
ESIW	2.64 (1.20~5.00)	34.04 (34.00~34.07)	6.11 (5.93~6.55)	1.41 (0.88~1.85)	0.16 (0.02~0.34)	17.73 (10.18~29.42)	0.96 (0.49~1.71)	15.64 (4.90~26.06)	1.60 (0.65~2.51)	19.87 (8.26~40.47)	17.17 (3.71~26.63)	7.69 (0.35~46.21)
ESPW	0.52 (0.20~1.00)	34.06 (34.06~34.06)	5.40 (5.06~5.73)	2.56 (2.15~2.96)	0.14 (0.02~0.38)	23.58 (15.57~25.45)	1.29 (1.03~1.76)	32.23 (14.42~51.49)	2.03 (1.44~2.75)	18.71 (13.68~24.37)	25.16 (12.32~36.30)	6.73 (1.94~26.57)
NDW	11.66 (3.80~17.90)	33.85 (33.37~34.45)	5.66 (4.96~6.28)	0.54 (-0.35~1.49)	0.18 (0.04~0.48)	6.43 (0.15~15.88)	0.40 (0.03~1.22)	7.09 (2.50~16.15)	0.56 (-10.67~4.26)	16.26 (3.19~44.79)	30.99 (3.97~94.67)	7.31 (2.43~39.04)

1. 수질 수괴의 영양염류 분포의 관측

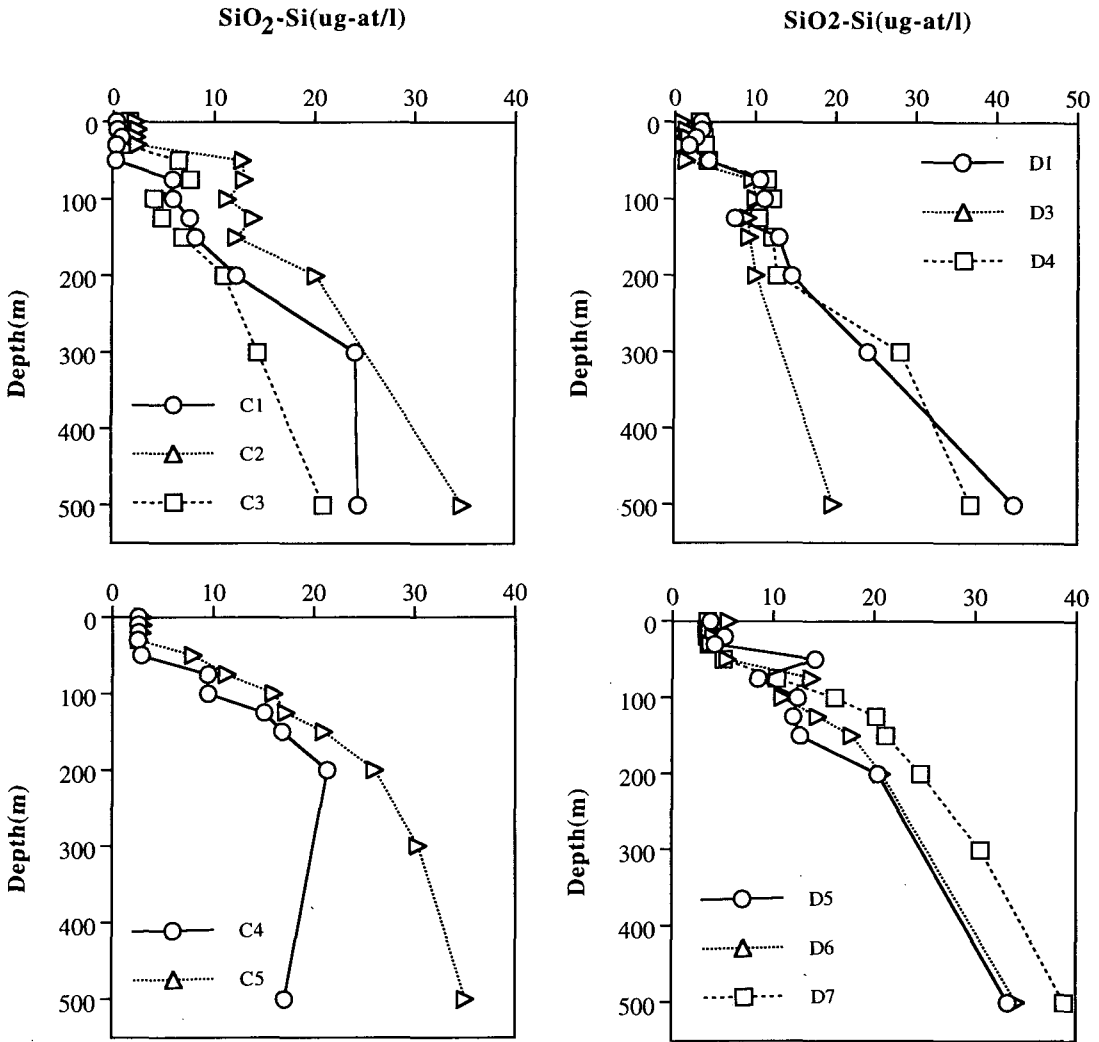


Fig. 7. Vertical profiles of dissolved silicate in the East Sea of Korea.

금까지 동해에서 보고된 12.1~13.6 (Kido and Nishimura, 1973; Shim et al., 1989; 양등 1991)와 비슷하고, 입자성 유기탄소와 질소의 무게비 (POC/PON ratio) 역시 6.73~7.31 정도로 (Table 2) Redfield ratio보다 약간 높았다.

본 연구해역에서 계산된 수직확산도 ( $K_z$ )는 0.66~1.43  $\text{cm}^2/\text{sec}$ 의 범위로 평균 1.19  $\text{cm}^2/\text{sec}$ 이었으며, 밀도약층에서 질산염의 수직확산에 따른 표층으로 공급은 73.38~182.43  $\mu\text{g-at}/\text{m}^2/\text{hr}$ 의 범위로 평균 103.72  $\mu\text{g-at}/\text{m}^2/\text{hr}$ 이었다 (Table 3). 이 값은 다른 해역과 비교

하였을 때 (Table 4) 수직확산도 및 이에 따른 질산염의 공급량 값이 매우 높았다. King and Devol (1979)은 적도 해역에서, 그리고 Shim and Park (1986) 및 정등 (1989)은 10월에 조사한데 비하여 본 조사는 11월에 조사되어 수주의 안정도가 상대적으로 작아 이러한 현상이 나타난 것으로 생각되나 식물플랑크톤에 의한 질산염 섭취율에 관한 연구 (Dugdale and Goering, 1967) 등 더 많은 조사가 필요하다고 판단된다. 조사해역의 표층에서 질산염 농도가 고갈되어 있지 않고 (평균 1.37  $\mu\text{g-at}/\text{l}$ ), 또한 N/P ratio가 Red-

I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

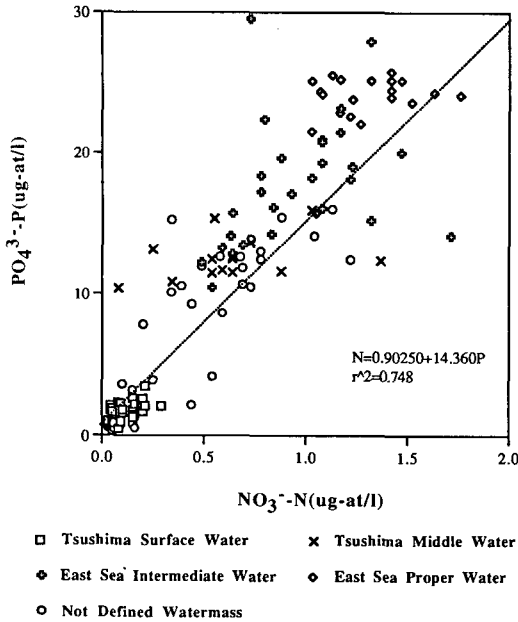


Fig. 8. Relationships between nitrate(+ nitrite) and phosphate in the East Sea of Korea.

field ratio보다 큰 18.56을 보이고 있는 것은 (Talbe 2) 밀도약층 하부로부터 많은 양의 질산염 공급이 있기 때문이라고 사료된다.

AOU의 수직적 분포를 보면 (Fig. 9) 전선역 남쪽 (난류역)의 경우 표층에서는 0 ml/l 내외 정도로 낮았으나, 저용존산소 (4.04~4.75 ml/l)의 대마난류 증층수가 존재하고 있는 50~100 m 수층에서 급격히 증가하였다가 용존산소가 높은 (5.93~6.56 ml/l) 동해 증층수의 100~200 m 수층에서 다소 감소하였고 그 이후 수심이 증가할수록 AOU 값이 증가하였다. 대마난류 증층수가 존재하지 않고 있는 전선역의 경우 100~150 m 수층 (동해 증층수)에서의 감소를 제외하고는 수심이 증가할수록 그 값이 증가하였다. 수온과 AOU의 관계 (Fig. 10)를 보면 두 성분 사이에 역의 상관관계를 보여주고 있으며, 이는 AOU의 수직분포가 생물·화학적 과정보다는 물리적 혼합과정의 영향을 더 많이 받음을 보여주고 있다. 10~17°C의 수온범위에서 대마난류 증층수는 상관관계 직선의 윗쪽을 차지

Table 3. Calculated diffusivities and magnitudes of diffusive upward flux of nitrate at each station

Station	$K_z$ (cm <sup>2</sup> /sec)	Upward Flux ( $\mu\text{g} \cdot \text{at-N/m}^2/\text{hr}$ )
C1	1.42	138.82
C2	1.03	88.83
C3	1.63	182.43
C4	0.66	48.26
C5	0.77	72.93
D1	1.30	114.19
D3	1.43	107.59
D4	1.32	99.26
D5	1.19	73.38
D6	1.32	123.97
D7	1.07	91.22
Average	1.19	103.72

Table 4. Comparison of diffusivity and nitrate upward flux with others

$K_z$ (cm <sup>2</sup> /sec)	Upwad Flux ( $\mu\text{g-at/m}^2/\text{hr}$ )	Area	Source
0.05~1.10	11.2~111.8	eastern tropical Pacific	King and Devol (1979)
0.13~0.72	5.5~ 36.2	southeastern sea of Korea	Shim and Park (1986)
0.22~0.96	13.48~ 92.58	East Sea of Korea	Chung et al. (1989)
0.66~1.43	73.38~182.43	〃	this study

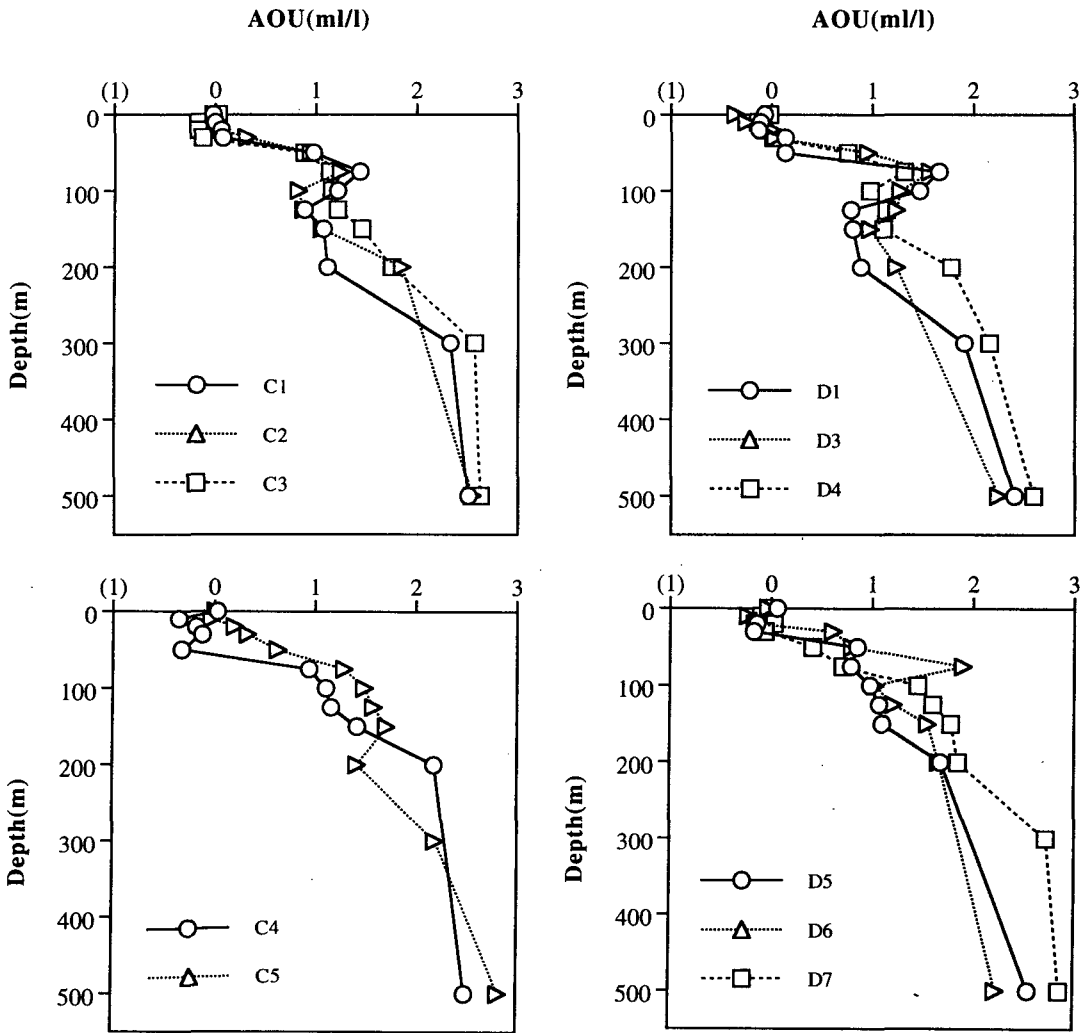


Fig. 9. Vertical profiles of AOU in the East Sea of Korea.

하고 있다. 순전히 호흡작용을 통한 생물학적 변수로서 정의된 AOU값은 수온과 염분 등의 물리적 변수만으로도 그 값이 상당히 변할 수 있는 용존산소 측정치보다 수괴분석의 추적자로서 더 유용할 수 있다 (Kim et al., 1991; Yang et al., 1991). 이와 같은 AOU와 영양염과는 서로 양의 상관관계를 가지며 변화할 것으로 예상되며 실제로 본 조사해역에서 AOU와 인산염의 관계식을 보면 (Fig. 11) 이러한 양상을 잘 보여주고 있다. 이 직선의 기울기는 약 0.50으로서 이제까지 동해에서 보고된 0.34 (Lee, 1987) 및 0.37~

0.42 (Yang et al., 1991)보다 약간 높았다. 이는 다른 연구지역에서는 출현하지 않았던 AOU의 값이 낮은 동해 중층수의 존재 때문으로 생각된다.

염분과 각 영양염 농도와의 상관관계를 보면 (Fig. 12) 저염의 표층수에서 가장 낮고 수심이 깊은 동해 고유수에서 가장 높음을 알 수 있다. 동해 중층수는 동해 고유수와 비교하여 볼 때 염분의 차이가 매우 적음에도 (Table 1, Appendix I) 영양염 농도가 상대적으로 적음을 알 수 있다. 이미 AOU (Fig. 9) 및 영양염 (Fig. 4, 5, 6)의 수직분포 그림으로부터 동해 중

I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

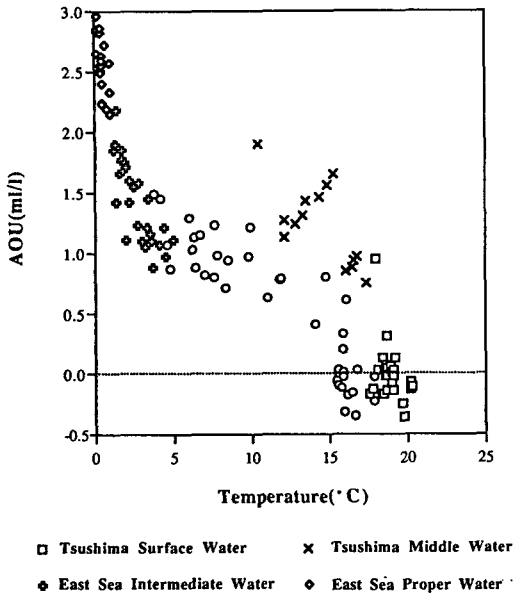


Fig. 10. Relationships between AOU and temperature in the East Sea of Korea in November, 1994.

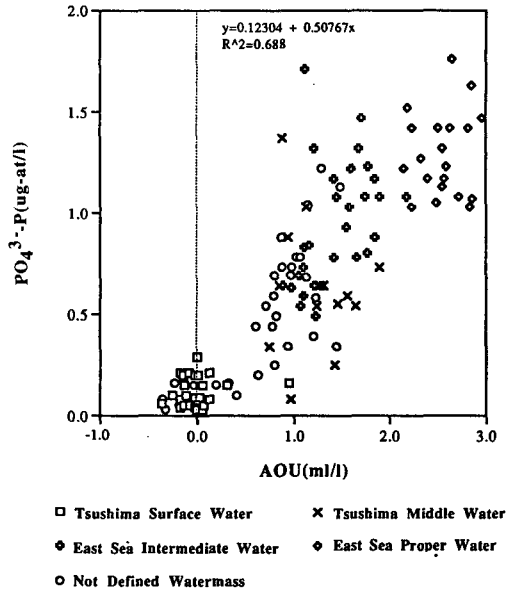
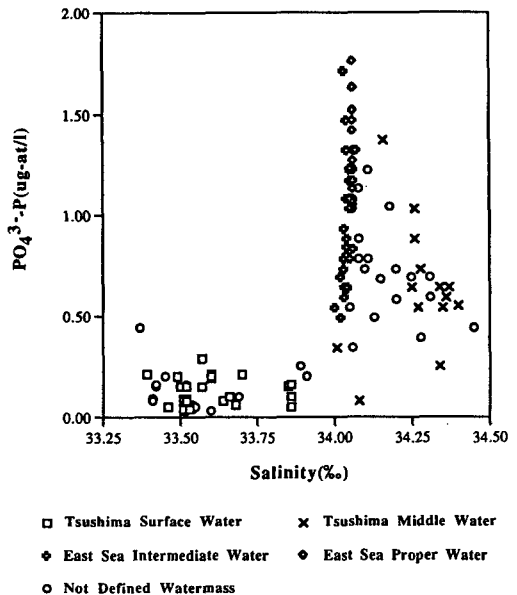
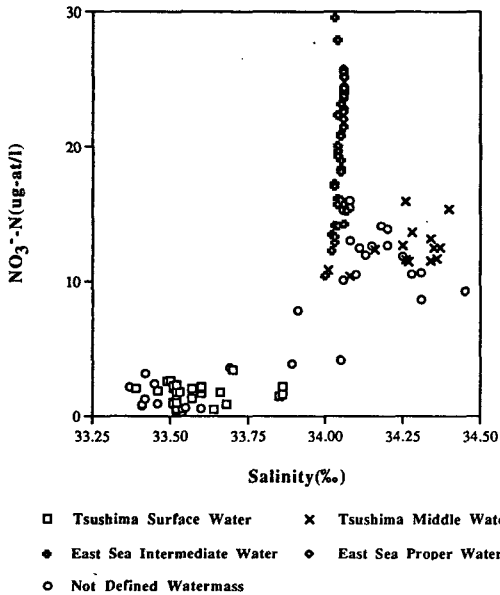


Fig. 11. Relationships between AOU and phosphate in the East Sea of Korea in November, 1994.

층수에서 AOU 및 영양염의 감소 경향을 지적한 바 있다. 따라서 동해 중층수는 Kim et al. (1991)이 제시한 바와 같이 동해 고유수에 비하여 더욱 최근에 해

수 표층을 이동한 수괴임을 나타내고 있다. Kim and Chung (1984)은 이 수괴가 Tumen강 하구에서 기원하여 동해 연안을 따라 흘러왔음을 시사하고 있다.



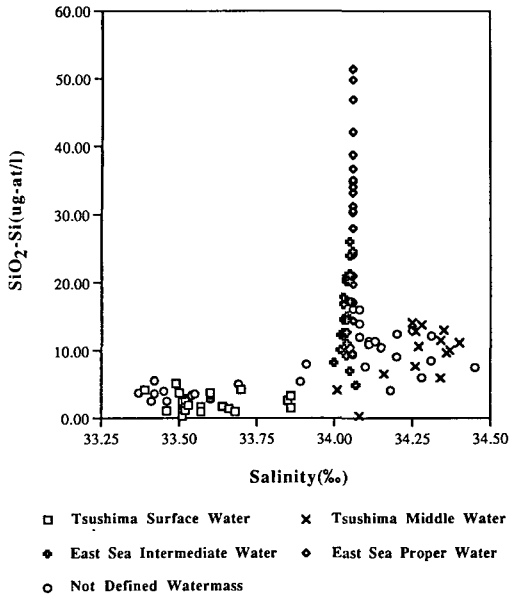


Fig. 12. Relationships between nutrient concentrations and salinity in the East Sea of Korea in November, 1994.

요 약

1994년 11월 탐양호를 이용하여 동해 극전선역의 11개 정점에서 CTD 관측과 동시에 화학적 성분들의 개괄적 분포특성을 최대 1,000 m 깊이까지 조사하였다. 수온, 염분 및 용존산소 등의 수직분포를 보면 정점 C3 및 D5 남쪽으로 40~50 m 두께의 표면 혼합층이 있는 대마난류표층수, 수심 50~75 m 사이의 대마난류 중층수, 200 m 수심 부근의 동해중층수, 수심 300 m 이하의 동해고유수 그리고 혼합수 등으로 구분할 수 있었다. 영양염의 경우 표층에서의 낮은 농도는 수온약층 부근에서 매우 빠르게 증가하는 양상이었으며, 그후 동해 중층수 부근의 수층에서 다소 감소가 있었으며 300 m 이심에서는 규산염을 제외하고는 일정하였다. 규산염은 수심이 증가할수록 증가하였는데 이는 가장 오래된 수괴인 동해 고유수에서 Si/P의 비율이 25.16으로 가장 높은 것과는 일치하며 규산염의 재생산 속도가 다른 영양염에 비하여 느림을 보여주고 있다. N/P의 비율이 표층에서 평균 18.56으로 다른 해역에 비하여 매우 높았으며, 이는 밀도약층 부근에서의 질산염 공급이 많았기 때문으로 사료된다. 각

정점의 밀도약층에서 계산된 수직확산계수 ( $K_z$ )는 0.66~1.43 (평균 1.19)  $\text{cm}^2/\text{sec}$ , 이에 따른 질산염의 공급량은 73.38~138.43 (평균 103.72)  $\mu\text{g-at}/\text{m}^2/\text{hr}$ 로서 다른 해역에 비하여 매우 높았다. 겉보기 산소이용량 (AOU)은 표층에서 낮았고 저용존산소의 대마난류 중층수에서 증가하였다가 고용존산소의 동해 중층수에서 다소 감소가 있었으며 그후 수심이 증가할수록 증가하였다. 인산염과 AOU ( $\Delta P/\Delta \text{AOU}$ )의 기울기는 0.50이었다. 이러한 영양염 분포와 수괴의 관계는 동해 극전선역에서 영양염류의 순환과정을 종합적으로 이해하는데 있어 중요할 것이다.

감사의 글

입자성 유기탄소 및 질소의 분석은 국립수산진흥원 환경과에 계신 여러분의 도움을 받았으며, 수온 및 염분의 그림은 특정연구과제의 물리팀으로부터 제공받았습니다.

참 고 문 헌

An, H. S. and J. Y. Chung. 1982. The fluctuation of the thermal front in the southeastern area of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18(1), 33~40.  
 Banse, K. 1974. The nitrogen-to-phosphorous ratio in the photic zone of the sea and the elemental composition of the plankton. *Deep-Sea Res.*, 21, 767~771.  
 Carpenter, J. H. 1965. The Chesapeake Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen methods. *Limnol. Oceanol.*, 10, 142~143.  
 Chung, C. S., J. H. Shim, Y. C. Park and S. G. Park. 1989. Primary productivity and nitrogenous nutrient dynamics in the East Sea of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 24, 52~61.  
 Degobbis, D. 1990. A stoichiometric model of nutrient cycling in the northern Adriatic Sea and its relation to regeneration processes. *Mar. Chem.*, 29, 673~689.

I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

- Dugdale, R. C. and J. J. Goering. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnol. Oceanogr.*, 12, 196~206.
- Gamo, T. and Y. Horibe. 1983. Abyssal circulation in the Japan Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 39, 220~230.
- Gong, Y. and C. K. Park. 1969. On the oceanographical character of the low temperature region in the Eastern Sea of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 4, 69~91.
- Gong, Y. and S. J. Son. 1982. A study of thermal front in the southwestern Japan Sea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 28, 25~54.
- Holm-Hansen, O. C., C. J. Lorenzen, R. W. Holms and J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, 30, 3~15.
- Kido, K. and M. Nishimura. 1973. Regeneration of silicate in the Ocean. I. The Japan Sea as a model of a closed system. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 29, 185~192.
- Kim, C. H. and K. Kim. 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 18, 73~83.
- Kim, K., K. R. Kim, J. Y. Chung, H. S. Yoo and S. G. Park. 1991. Characteristics of physical properties in the Ulleung Basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26, 83~100.
- Kim, K. and J. Y. Chung. 1984. On the salinity minimum and dissolved oxygen maximum layer in the East Sea (Sea of Japan). In *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*. ed. by T. Ichiye, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, pp. 55~65.
- Kim, K. R., T. S. Rhee, K. Kim and J. Y. Chung. 1991. Chemical characteristics of the East Sea Intermediate Water in the Ulleung Basin. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 26, 278~290.
- King, F. D. and A. H. Devol. 1979. Estimates of vertical eddy diffusion through the thermocline from phytoplankton nitrate uptake rates in the mixed layer of the eastern tropical Pacific. *Limnol. Oceanogr.*, 24, 645~651.
- Lee, H. S. 1987. A study on the factors controlled distribution of dissolved oxygen and nutrients in the East Sea of Korea. M. S. thesis, Nat. Fish. Univ. Pusan, pp. 42.
- Lee, W. H. 1985. An ecological study phytoplankton in the southeastern waters of the East Sea, Korea, Ph. D. Dissertation, Seoul Natn. Univ. pp. 225.
- Park, C. K. 1978. Chemical oceanographic aspect of the cold water mass in offshore of the east coast of Korea. *Bull. Korean Fish. Sci.*, 11(2), 49~54.
- Park, C. K. 1979. On the distribution of dissolved oxygen off the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 14, 67~70.
- Shim, J. H., S. R. Yang and W. H. Lee. 1989. Phytohydrography and the vertical pattern of nitracline in the southern waters of the Korean East Sea in early spring. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24, 15~28.
- Shim, J. H. and Y. C. Park. 1986. Primary productivity measurements using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21, 13~24.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167, pp. 319.
- Tsunogai, S. 1972. An estimation of the rate of decomposition of organic matter in deep water of the Pacific Ocean. In *Biological Oceanography of the Northern North Pacific Ocean*, Prof. S. Motoda Commemoration Volume.
- Uda, M. 1938. Research on "Simor" or current-rip in the seas and oceans. *Geophys. Mag.*, 11, 307~372.
- Yang, H. S., S. S. Kim, C. G. Kang and K. D. Cho.

1991. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent Korea Peninsula. Bull Korean Fish. Sci., 24, 185~192.

(1)-Water characteristics. Oceanographical Magazine, 19, 177~192.

Yasui, M., Y. Yasuoka, K. Tamioka and O. Shiota.  
1967. Oceanographic studies of the Japan Sea

---

1996년 3월 8일 접수

1996년 7월 9일 수리



I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

Appendix I. Data Table for the East Sea Cruise in November, 1994

St.(m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	Do (ml/l)	AOU	Nutrient(μg-at/l)				Chl-a (μg/l)	POC (μg/l)	PON
					NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>			
C-1-0	18.60	33.51	5.38	-0.02	0.76	0.20	0.09	0.29	0.35	199.25	52.65
10	18.60	33.51	5.36	0.00	0.70	0.24	0.03	0.39	0.15	143.85	25.10
20	18.60	33.51	5.30	0.06	0.74	0.28	0.03	0.82	0.21	116.30	26.40
30	18.60	33.51	5.29	0.07	0.70	0.24	0.05	0.30	0.40	86.50	16.55
50	16.80	34.08	4.56	0.97	9.95	0.44	0.08	0.31	0.10	159.20	44.10
75	13.50	34.34	4.46	1.43	12.92	0.22	0.25	5.96	0.02	64.40	11.95
100	9.90	34.28	5.15	1.21	10.40	0.14	0.39	6.01	0.01	59.00	13.95
125	6.40	34.10	6.01	0.88	10.33	0.18	0.73	7.64	0.01	120.80	6.05
150	4.10	34.00	6.21	1.07	10.18	0.26	0.54	8.22	ND	55.15	19.22
200	2.00	34.03	6.55	1.11	13.94	0.18	1.71	12.26	ND	97.05	2.10
300	1.00	34.06	5.53	2.33	21.91	0.14	1.27	24.13	ND	68.05	8.70
500	0.40	34.06	5.47	2.51	25.02	0.14	1.42	24.47	0.01	87.15	33.60
C-2-0	18.70	33.51	5.37	-0.02	1.78	0.30	0.04	2.21	0.67	148.65	46.75
10	18.11	33.51	5.38	0.03	2.02	0.22	0.09	2.45	0.31	146.10	25.75
20	18.70	33.52	5.30	0.05	1.27	0.20	0.15	2.31	0.21	140.00	15.25
30	18.70	33.52	5.04	0.31	1.57	0.22	0.15	2.45	0.41	84.90	19.20
50	16.60	34.26	4.60	0.94	11.46	0.14	0.88	12.84	0.06	83.30	17.20
75	12.80	34.35	4.74	1.24	12.35	0.10	0.54	13.03	0.01	59.60	17.20
100	7.00	34.13	5.97	0.82	11.88	0.06	0.49	11.37	0.01	43.60	15.90
125	4.80	34.08	6.28	0.87	15.36	0.06	0.88	13.9	ND	70.50	7.35
150	3.20	34.02	6.39	1.05	13.43	0.02	0.69	12.26	ND	94.20	17.20
200	1.70	34.04	5.87	1.85	19.52	0.12	0.88	20.19	ND	76.90	23.10
500	0.50	34.06	5.41	2.55	25.1	0.02	1.32	34.85	ND	86.85	27.05
C-3-0	18.50	33.52	5.34	0.03	0.64	0.36	0.09	1.59	0.32	77.85	29.30
10	18.50	33.52	5.54	-0.17	1.97	0.36	0.08	1.15	0.32	152.15	85.45
20	18.40	33.53	5.55	-0.17	1.55	0.22	0.04	1.92	0.38	83.95	29.70
30	17.80	33.46	5.57	-0.13	1.74	0.14	0.05	1.06	0.38	117.60	24.45
50	16.50	34.16	4.68	0.88	12.24	0.12	1.37	6.54	0.02	79.80	58.55
75	12.10	34.26	4.94	1.13	15.73	0.18	1.03	7.69	0.01	65.70	27.05
100	6.70	34.18	5.69	1.15	13.97	0.12	1.04	4.13	0.01	127.50	30.35
125	4.40	34.07	6.01	1.21	15.1	0.10	1.32	4.90	0.05	39.10	20.50
150	3.40	34.05	5.95	1.45	15.98	0.06	1.08	0.97	0.01	37.85	25.75
200	1.90	34.04	5.93	1.75	19.18	0.10	1.08	11.06	0.01	72.45	11.30
300	1.00	34.06	5.29	2.57	25.13	0.03	1.17	14.42	ND	46.80	11.30
500	0.50	34.06	5.33	2.63	24.34	0.11	1.42	21.01	ND	86.50	14.60
1000	0.20	34.06	5.19	2.83	24.96	0.14	1.03	31.30	ND	54.14	9.35

ND : Not Detected

## Appendix I.(continued)

St.(m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	Do (ml/l)	AOU	Nutrient( $\mu\text{g-at/l}$ )				Chl-a ( $\mu\text{g/l}$ )	POC ( $\mu\text{g/l}$ )	PON
					$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SiO}_2$			
C-4-0	16.80	33.41	5.52	0.03	0.57	0.16	0.09	2.56	0.02	9.95	24.45
10	16.70	33.41	5.91	-0.35	0.69	0.12	0.08	2.55	0.37	162.40	70.35
20	16.20	33.46	5.79	-0.18	0.84	0.06	0.05	2.56	0.25	161.75	26.40
30	15.80	33.51	5.78	-0.12	0.75	0.08	0.06	2.50	0.51	109.55	13.25
50	16.00	33.60	5.95	-0.32	0.3	0.24	0.03	2.84	0.01	84.25	15.90
75	8.50	34.06	5.63	0.94	9.89	0.2	0.34	9.47	0.02	52.55	13.25
100	5.00	34.06	6.01	1.11	14.05	0.18	0.83	9.52	0.31	90.70	11.30
125	3.50	34.04	6.22	1.16	15.97	0.14	0.84	15.10	0.01	118.20	10.00
150	2.20	34.03	6.21	.42	17.06	0.16	0.78	16.87	ND	42.95	ND
200	1.40	34.05	5.60	2.18	20.8	0.14	1.08	21.34	ND	40.40	6.05
500	0.40	34.06	5.49	2.49	15.57	0.14	1.05	17.11	0.02	83.00	18.50
C-5-0	15.90	33.52	5.64	0.01	0.66	0.16	0.06	2.98	0.25	205.95	27.05
10	15.90	33.52	5.68	-0.03	0.15	0.14	0.05	2.98	0.22	174.90	34.95
20	15.90	33.52	5.45	0.20	0.62	0.2	0.15	2.93	0.27	156.65	21.80
30	15.90	33.52	5.32	0.33	0.37	0.14	0.16	2.59	0.33	162.75	15.25
50	11.00	33.91	5.60	0.63	7.49	0.32	0.20	7.8	0.04	90.05	15.25
75	6.00	34.11	5.66	1.29	12.21	0.22	1.22	11.35	0.03	100.95	18.50
100	3.80	34.08	5.84	1.49	15.88	0.1	1.13	16.06	0.01	114.40	11.95
125	2.80	34.05	5.93	1.58	18.01	0.21	1.03	17.26	0.01	98.05	277.00
150	2.00	34.04	5.95	1.71	20.01	0.03	1.47	21.01	0.01	80.45	36.90
200	1.40	34.05	6.36	1.42	23.02	0.14	1.17	26.06	0.01	182.90	15.25
300	0.80	34.06	5.71	2.19	23.42	0.14	1.52	30.38	0.03	126.20	4.75
500	0.40	34.06	5.16	2.82	25.37	0.38	1.42	35.09	0.37	329.55	53.95
1000	0.20	34.06	5.17	2.85	24.11	0.14	1.63	46.92	ND	88.75	19.85
D-1-0	20.20	33.86	5.26	-0.07	1.18	0.46	0.05	3.27	1.40	210.10	23.75
10	20.30	33.86	5.29	-0.11	1.17	0.44	0.10	3.32	0.60	223.55	30.35
20	20.20	33.85	5.32	-0.13	1.03	0.42	0.15	2.60	0.89	196.05	14.60
30	19.20	33.64	5.17	0.13	0.27	0.22	0.08	1.73	0.89	167.20	63.80
50	18.40	33.70	5.24	0.13	2.98	0.46	0.21	4.23	0.15	130.05	4.75
75	15.30	34.27	4.04	1.65	11.23	0.24	0.54	10.62	0.04	104.45	6.70
100	14.40	34.40	4.32	1.46	15.18	0.18	0.55	11.15	0.02	99.30	10.65
125	11.80	34.45	5.32	0.78	9.14	0.12	0.44	7.50	ND	35.90	ND
150	7.60	34.25	5.89	0.80	11.72	0.12	0.69	12.94	0.01	51.30	21.15
200	3.70	34.03	6.47	0.88	12.67	0.18	0.64	14.53	0.01	126.20	17.20
300	1.30	34.05	5.90	1.90	20.62	0.16	1.08	23.99	ND	89.10	8.70
500	0.50	34.06	5.56	2.40	22.67	0.18	1.17	42.16	0.01	56.10	ND
1000	0.20	34.06	5.37	2.65	23.91	0.16	1.76	49.85	0.01	90.70	7.35

ND : Not Detected

I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

Appendix I.(continued)

St.(m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	Do (ml/l)	AOU	Nutrient(μg-at/l)				Chl-a (μg/l)	POC (μg/l)	PON
					NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>			
D-3-0	19.80	33.68	5.60	-0.36	0.49	0.38	0.06	0.96	0.67	262.00	77.60
10	19.70	33.66	5.50	-0.25	0.71	1.07	0.10	1.40	0.45	232.20	41.50
20	19.10	33.57	5.31	-0.00	1.58	0.46	0.29	1.73	0.26	168.50	17.20
30	19.10	33.57	5.28	0.03	0.85	0.44	0.15	0.96	0.35	203.70	29.70
50	18.00	33.86	4.46	0.95	1.85	0.34	0.16	1.49	0.17	177.15	34.30
75	14.90	34.36	4.17	1.56	11.48	0.2	0.59	9.66	0.02	137.10	38.20
100	12.10	34.37	4.79	1.27	12.3	0.18	0.64	10.10	0.01	100.30	6.05
125	7.60	34.20	5.47	1.23	12.48	0.16	0.58	9.13	0.01	103.80	14.60
150	4.50	34.04	6.24	0.97	13.97	0.12	0.63	9.28	0.01	106.35	34.30
200	2.70	34.02	6.30	1.23	11.91	0.34	0.49	10.11	0.01	89.10	13.95
500	0.50	34.06	5.72	2.24	23.83	0.12	1.42	19.76	0.01	101.55	6.70
D-4-0	19.10	33.60	5.33	-0.02	1.41	0.28	0.20	3.03	0/10	128.45	27.05
10	19.10	33.60	5.45	-0.14	1.77	0.28	0.19	3.46	0.20	141.60	22.45
20	19.00	33.60	5.40	-0.08	1.78	0.3	0.21	3.61	0.11	171.05	12.60
30	19.00	33.60	5.31	0.01	1.96	0.2	0.20	3.75	0.17	198.60	24.45
50	17.40	34.01	4.72	0.75	10.69	0.16	0.34	4.3	0.06	106.70	4.10
75	13.30	34.34	4.61	1.31	11.36	0.16	0.64	11.54	0.01	104.75	27.05
100	9.80	34.31	5.40	0.97	10.43	0.22	0.69	12.16	0.01	109.55	15.90
125	6.30	34.15	5.77	.13	12.41	0.2	0.68	10.48	0.01	114.70	27.05
150	3.60	34.03	6.27	1.10	29.42	0.12	0.73	12.16	0.00	57.70	6.70
200	1.70	34.04	5.95	1.77	22.03	0.34	0.80	12.69	0.00	72.10	10.00
300	1.00	34.06	5.71	2.15	22.5	0.08	1.22	28.03	0.01	65.40	13.95
500	0.50	34.06	5.37	2.59	23.72	0.06	1.23	36.78	0.01	42.30	21.80
D-5-0	18.90	33.50	5.27	0.06	1.32	1.29	0.15	3.75	0.12	122.40	14.60
20	18.70	33.49	5.49	-0.14	2.21	0.38	0.20	5.14	0.16	103.80	25.75
30	17.60	33.39	5.64	-0.17	1.83	0.22	0.21	4.18	0.40	134.55	24.45
50	16.10	34.25	4.75	0.85	12.42	0.22	0.64	14.13	0.16	140.30	24.45
75	11.90	34.31	5.30	0.79	8.5	0.14	0.59	8.51	0.01	76.90	17.20
100	7.80	34.20	5.69	0.98	13.82	0.04	0.73	12.45	0.00	64.10	18.50
125	4.60	34.08	6.12	1.07	12.92	0.08	0.78	12.02	0.01	71.15	14.60
150	3.00	34.03	6.38	1.10	13.14	0.14	0.59	12.69	0.01	74.65	7.35
200	1.80	34.04	6.02	1.68	27.81	0.08	1.32	20.38	0.00	59.00	32.30
500	0.40	34.06	5.43	2.55	25.45	0.06	1.13	33.27	0.01	51.95	6.05

ND : Not Detected

## Appendix I.(continued)

St.(m)	Temp. (°C)	Sal. (‰)	Do (ml/l)	AOU	Nutrient( $\mu\text{g-at/l}$ )				Chl-a ( $\mu\text{g/l}$ )	POC ( $\mu\text{g/l}$ )	PON
					$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SiO}_2$			
D-6-0	17.90	33.42	5.46	-0.03	2.79	0.36	0.15	5.58	0.37	272.25	35.00
10	17.90	33.42	5.66	-0.23	1.02	0.22	0.16	3.65	0.23	140.30	20.50
20	16.50	33.45	5.74	-0.16	2.16	0.22	0.20	4.04	0.17	128.45	7.35
30	16.10	33.37	5.02	0.61	.66	0.48	0.44	3.75	0.25	88.75	6.95
50	14.80	33.89	4.96	0.80	3.43	0.44	0.25	5.43	0.05	107.35	2.75
75	10.40	34.28	4.39	1.90	13.4	0.22	0.73	13.80	0.02	116.60	12.60
100	6.20	34.11	5.89	1.03	12.12	0.34	0.78	10.96	0.02	181.00	15.25
125	3.30	34.04	6.21	1.21	15.43	0.26	0.64	14.47	0.01	141.90	11.95
150	2.50	34.03	6.02	1.55	16.81	0.26	0.93	17.84	ND	61.85	5.40
200	1.60	34.05	6.08	1.66	18.13	0.24	0.78	20.77	0.01	152.80	27.05
450	0.50	34.06	5.73	2.23	21.3	0.22	1.03	34.13	0.00	133.60	28.35
D-7-0	15.60	33.54	5.68	-0.00	0.31	0.14	0.06	3.46	0.85	619.35	150.45
10	15.60	33.54	5.78	-0.10	0.16	0.14	0.05	3.37	0.33	100.30	31.65
20	15.60	33.54	5.65	0.03	0.45	0.08	0.04	3.41	0.19	122.40	36.90
30	15.50	33.55	5.75	-0.06	0.49	0.1	0.05	3.61	0.41	147.35	29.05
50	14.10	33.69	5.44	0.41	3.25	0.34	0.10	5.05	0.09	62.20	23.10
75	8.30	34.05	5.89	0.7	3.89	0.26	0.54	10.38	0.03	172.35	50.05
100	4.20	34.06	5.81	.45	15.09	0.14	0.34	16.15	0.01	94.20	21.15
125	2.20	34.05	5.94	1.78	18.82	0.18	1.23	21.17	0.01	79.45	23.75
150	1.20	34.06	5.97	1.85	21.37	0.1	1.17	24.61	ND	48.40	11.30
200	0.70	34.06	5.20	2.72	23.99	0.16	1.08	30.57	ND	47.75	16.55
300	0.40	34.06	5.12	2.86	24.21	0.12	1.07	38.84	ND	112.75	27.05
500	0.20	34.06	5.06	2.96	24.99	0.14	1.47	51.49	ND	172.65	74.95

ND : Not Detected

I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

Appendix II. Ratios of N/P (by atomic weight), Si/P (by atomic weight), AOU/P (ml-O<sub>2</sub>/μg-at) and POC/PON (by weight) in the East Sea of Korea in November, 1994

st./depth(m)	N/P	Si/P	AOU/P	POC/PON
C-1-0	10.67	3.22	25.31	3.78
10	31.33	13.00	76.59	5.73
20	34.00	27.33	78.59	4.41
30	18.80	6.00	47.36	5.23
50	129.88	3.88	41.72	3.61
75	52.56	23.84	15.84	5.39
100	27.03	15.41	10.09	4.23
125	14.40	10.47	5.25	19.97
150	19.33	15.22	7.76	2.87
200	8.26	7.17	2.57	46.21
300	17.36	19.00	4.49	7.82
500	17.71	17.23	4.18	2.59
AVG.	31.78	13.48	26.65	9.32
C-2-0	52.00	55.25	56.84	3.18
10	24.89	27.22	276.10	5.67
20	9.80	15.40	15.62	9.18
30	11.93	16.33	17.35	4.42
50	13.18	14.59	3.77	4.84
75	23.06	24.13	7.04	3.47
100	24.37	23.20	7.62	2.74
125	17.52	15.84	4.48	9.59
150	19.49	17.77	6.14	5.48
200	22.31	22.94	5.86	3.33
500	19.03	26.40	4.52	3.21
AVG.	21.60	23.55	14.12	5.01
C-3-0	11.11	17.67	25.91	2.66
10	29.13	14.37	26.65	1.78
20	44.25	48.00	53.39	2.83
30	37.60	21.20	44.14	4.81
50	9.02	4.77	2.38	1.36
75	15.45	7.47	3.62	2.43
100	13.55	3.97	3.92	4.20
125	11.52	3.71	3.26	1.91
150	14.85	6.45	4.28	1.47
200	17.85	10.24	4.67	6.41
300	21.55	12.32	5.07	4.14
500	17.22	14.80	4.26	5.92
1000	24.37	30.39	6.09	5.79
AVG.	20.57	15.03	14.43	3.52

## Appendix II.(continued)

st./depth(m)	N/P	Si/P	AOU/P	POC/PON
C-4-0	8.11	28.44	26.77	4.09
10	10.13	31.87	25.44	2.31
20	18.00	5.120	44.61	6.13
30	13.83	41.67	38.35	8.27
50	18.00	94.67	69.83	5.30
75	29.68	27.85	11.04	3.97
100	17.14	11.47	5.01	8.03
125	19.18	17.98	5.15	1.82
150	22.08	21.63	6.00	ND
200	19.39	19.76	5.11	6.68
500	14.96	16.30	5.63	4.49
AVG.	17.32	32.99	22.09	5.11
C-5-0	13.67	49.67	40.41	7.61
10	5.80	59.60	47.69	5.00
20	5.47	19.53	17.43	7.19
30	3.19	16.19	17.15	10.67
50	39.05	39.90	16.47	5.90
75	10.19	9.30	3.50	5.46
100	14.14	14.21	4.10	9.57
125	17.69	16.76	4.66	0.35
150	13.63	14.29	3.40	2.18
200	19.79	22.27	4.06	11.99
300	15.50	19.99	3.67	26.57
500	18.13	24.71	4.40	6.11
1000	14.88	28.79	3.86	4.47
AVG.	14.70	25.79	13.14	7.93

ND : Not Detected

I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계

Appendix II.(continued)

st./depth(m)	N/P	Si/P	AOU/P	POC/PON
D-1-0	32.80	65.40	43.17	8.85
10	16.10	33.20	21.15	7.37
20	9.67	17.33	13.99	13.43
30	6.13	21.63	29.96	2.62
50	16.38	20.14	11.61	27.38
75	21.24	19.67	7.56	15.59
100	27.93	20.27	7.17	9.32
125	21.05	17.05	7.71	ND
150	17.16	18.75	5.32	2.43
200	20.08	22.70	6.29	7.34
300	19.24	22.21	4.85	10.24
500	19.53	36.03	4.97	ND
1000	13.68	28.32	3.46	12.34
AVG.	18.54	26.36	12.86	10.63
D-3-0	14.50	16.00	31.36	3.38
10	17.80	14.00	19.96	5.60
20	7.03	5.97	7.84	9.80
30	8.60	6.40	15.36	6.86
50	13.69	9.31	20.43	5.16
75	19.80	16.37	6.80	3.59
100	19.50	15.78	6.05	16.58
125	21.79	15.74	7.06	7.11
150	22.37	14.73	6.44	3.10
200	25.00	20.63	9.10	6.39
500	16.87	13.92	3.98	15.16
AVG.	17.00	13.53	12.22	7.52
D-4-0	8.45	15.15	11.26	4.75
10	10.79	18.21	11.22	6.31
20	9.90	17.19	10.46	13.58
30	10.80	18.75	11.43	8.12
50	31.91	12.15	9.09	26.02
75	18.00	18.03	6.01	3.87
100	15.43	17.62	5.37	6.89
125	18.54	15.41	6.01	4.24
150	40.47	16.66	5.83	8.61
200	27.96	15.86	6.35	7.21
300	18.51	22.98	4.52	4.69
500	19.33	29.90	4.88	1.94
AVG.	19.17	18.16	7.70	8.02

ND : Not Detected

## Appendix II.(continued)

st./depth(m)	N/P	Si/P	AOU/P	POC/PON
C-5-0	17.40	25.00	15.64	8.38
20	12.95	25.70	10.77	4.03
30	9.76	19.90	10.33	5.50
50	19.75	22.08	5.07	5.74
75	14.64	14.42	5.77	4.47
100	18.99	17.05	5.25	3.46
125	66.67	15.41	5.32	4.87
150	22.51	21.51	7.29	10.16
200	21.13	15.44	3.78	1.83
500	22.58	29.44	5.29	8.59
AVG.	22.64	20.60	7.45	5.70
D-2-0	21.00	37.20	15.36	7.78
10	7.75	22.81	13.15	6.84
20	11.90	20.20	11.17	17.48
30	4.86	8.52	6.86	12.77
50	15.48	21.72	13.05	39.04
75	18.66	18.90	6.30	9.25
100	15.97	14.05	5.12	11.87
125	24.92	22.61	6.86	11.87
150	18.35	19.18	5.15	11.45
200	23.58	26.63	6.38	5.65
450	20.89	33.14	5.48	4.71
AVG.	16.67	22.27	8.63	12.61
D-7-0	7.33	57.67	40.52	4.12
10	6.00	67.40	46.63	3.17
20	13.25	85.25	61.53	3.32
30	11.80	72.20	47.54	5.07
50	35.90	50.50	29.10	2.69
75	7.69	19.22	6.55	3.44
100	44.79	47.50	13.41	4.45
125	14.84	16.59	3.99	6.14
150	15.45	17.21	4.14	3.35
200	18.35	21.03	4.44	4.28
300	22.36	28.31	5.66	2.89
500	22.74	36.30	5.87	4.17
1000	17.10	35.03	4.35	2.30
AVG.	18.28	42.63	21.06	3.80