

## 2005년 춘계 동해 중남부 해역의 수괴 분포 및 화학적 특성 연구

김영숙<sup>†</sup> · 황재동 · 윤석현 · 윤상철 · 황운기 · 심정민 · 이용화 · 진현국  
국립수산과학원 동해수산연구소

### Distribution of Water Masses and Chemical Properties in the East Sea of Korea in Spring 2005

Y. S. Kim<sup>†</sup>, J. D. Hwang, S. H. Youn, S. C. Yoon, U. G. Hwang, J. M. Shim, Y. H. Lee and H. G. Jin

East Sea Fisheries Research Institute of NFRDI, Dongdeok-Ri, Yeongok-Myeon, Gangneung,  
Gangwon-Do 210-861, Korea

#### 요 약

동해중남부 해역의 수괴 분포특성을 구명하고자 2005년 4월 최대 약 2000 m까지 수심별 수온, 염분의 관측과 용존 무기영양염류의 농도 분포를 조사하였다. 수온과 염분의 분포에서 나타난 동해의 수괴는 고온·저염을 나타내는 표층과 일정한 수온분포를 보이는 표면혼합층, 그리고 저온저염을 나타내는 수온약층을 경계로 수층간의 환경의 현저한 차이를 나타내었다. 300 m 이심에서는 수온 1°C 미만, 염분은 34.06으로 동해고유수의 특성을 보였다. 울릉분지를 중심으로 동서를 연결한 해역에서의 용존무기영양염은 최저 농도 분포를 나타내는 표층 수괴를 포함한 표면혼합층과 100~200 m에서는 농도가 점차 증가하는 비교적 안정된 수괴의 상태로 나타났다. 그리고 200 m에서 급격히 농도가 증가하여 수온약층을 경계로 수층간의 뚜렷한 농도의 차이를 보였으며, 심해수층에서 높은 농도의 분포를 나타내었다. 동해남부에서 울릉 북동쪽을 연결하는 해역에서는 정점별 나타나는 수괴의 분포에 차이를 나타내었는데, 대마난류의 북상과 함께 표면혼합층의 두께와 농도의 급변화층(nutricline)이 감소하는 경향으로 나타났다. 이는 동해남부에서 울릉분지 북동쪽으로 대마난류가 북상하면서 그 세기가 점차 감소하였음을 시사한다. 해수층에서 생물에 의한 소비와 생산에 관여하는 화학성분의 조성비를 Redfield ratio(N:P=16:1)를 지표로서 수괴별로 구분하여 보면 상부 수온약층을 경계로 하여, 수심 100 m 까지는 질소 부족으로 16보다 낮은 값을 나타내었고, 100~200 m 이심에서는 16이상으로 높게 나타나 생물에 의한 영양염의 재생산활동이 비교적 느리게 일어남을 알 수 있었으며, 이는 Chlorophyll *a*의 200 m 이심에서 보인 낮은 농도분포와도 일치하였다.

**Abstract** – In order to understand the water mass properties in the southern location of the East Sea in the Korean coasts, the vertical distributions (down to 2,000 m deep) of water temperature, salinity, and dissolved inorganic nutrients were determined in April of 2005. The water mass of the surveyed location showed distinct vertical layers; highly saline surface, surface mixing layer, and thermocline of low temperature and salinity. The water layer below 300 m was characterized by water temperature lower than 1°C and salinity 34.06, showing a representative water mass of the East Sea. The inorganic nutrients rapidly increased from 200 m in the northern and southern parts around Ulleung Basin. A marked environmental difference was found between two layers separated by thermocline. The upper layer of the thermocline was oligotrophic and the vertical distribution of nutrient was very stable. In the water layer between 100 and 200 m the nutrients slightly increased but remained still stable. From southern coasts to northeastern Ulleung, the water mass properties were site specific; the thickness of the surface mixed layer and nutricline showed a trend diminishing toward the northern locations probably due to diminished influence of Tsushima water. Redfield ratio (N:P=16:1) based on the ratio of chemical composition in organism revealed that nitrogen value continuously decreased to less than 16 with the water depth down to 100m from the thermocline. The value in the water layer deeper than 100 to 200 m, thereafter, showed an increasing trend (over 16). This result was further supported by the finding of lower chlorophyll *a* content in the layer.

**Keywords:** East Sea(동해), Water mass(수괴), Nutrients(영양염), Thermocline(수온약층), Nutricline(영양염 농도급변화층)

<sup>†</sup>Corresponding author: biochip@momaf.go.kr

## 1. 서 론

해양환경에서의 수괴특성을 파악하거나 해수 순환을 밝히는 데 유용한 추적자로서는 해수의 수온, 염분 등 물리적 특성변화를 중심으로 영양염류의 입자상 물질의 거동 등에 대한 상세한 조사가 병행되어야 한다. 또한 해수 중 용존태 유기 및 무기화합물의 동태에 대한 연구 및 이와 결부된 생물학적 영향에 대한 연구는 매우 중요하다.

해양에서 영양염류의 공간적인 분포는 크게 물리적인 인자와 생물적 인자에 의해 조절된다. 물리적인 요인들로서는 해류 및 수괴의 혼합 등이 있으며, 해류는 여러 기원으로부터 유입되는 영양염을 공간적으로 재 분포 시킨다(Moon *et al.*[1996]). 영양염류는 여러 해양환경에 서식하는 식물플랑크톤의 생장을 제한하여 식물플랑크톤의 조성 및 생산력의 시간적, 공간적 분포에 영향을 주는 중요한 화학적 요인으로(Chester[1990]; Libes[1992]) 해양의 생태계를 파악하는데 있어 중요한 정보를 제공한다.

동해는 평균 수심이 약 1,500 m으로 반 폐쇄적인 해양 특성을 가지고 있는 해역으로 그 공간적인 크기가 대양에 비해 작으나, 대양과 유사한 해양현상들이 일어나는 축소판 해양으로 불려지고 있다(Ichiye[1984]). 대양에서 심층수가 전 대양을 순환하듯이, 동해에서도 북부해역에서 겨울철 대류에 의해 심층수가 형성되어 동해 내에서 순환, 변형 된다(Seung and Yoon[1995]; Senjyu and Sudo[1996]). 춘계에는 일반적으로 대마난류수의 유입으로 해수의 여러 화학인자들이 공간적으로 재 분포되며, 수괴가 아직 동계의 저층수와 표층수간의 혼합으로 수직적으로 균일한 수괴의 특성을 보이는 것과 유사하게 수직적으로 비교적 균일한 수층구조를 나타낸다.

이 수층들은 수온, 염분 및 용존산소의 특성 치에 따라 4개의 형식의 수괴로 나누어져 있으며(Gong and Park[1969]; Park[1979]; Kim and Kim[1983]; Kim *et al.*[1991]), 이러한 각 수괴는 구조나 위치는 년별, 계절별로 변화한다고 알려져 있다(Uda[1938]; Gong and Son[1982]). 수심 300 m 이하에서는 수온 0~1 °C, 염분 33.96~34.14 범위의 동해고유수(ESPW: East Sea Proper Water)라고 일반적으로 알려져 있는 심층수가 동해 전체 부피의 84%를 차지하고 있는 것으로 알려져 있는데(Yasui *et al.*[1967]; Moriyasu[1972]) 그 상부 수층에는 수온 및 염분의 변화가 크다.

동해에서 해수의 화학적 특성에 대한 연구는 Shim and Park[1986]의 동해남부해역에서 기초생산과 질소계 영양염류의 변화 및 물리적 환경과의 관계에 대한 연구, Chung *et al.*[1989]은 동해에서 춘계에 영양염류의 농도변화 및 기초생산력과 질소계 영양염류의 재순환과정에 대하여 보고 한바 있으며, Yang *et al.*[1991]은 동해 중부해역에 출현하는 극 전선역에 있어서 용존산소와 영양염류의 수직농도 분포 특성에 대해 고찰하고, 이 해역에 출현하는 각종 수괴의 수직적 분포양상과 이들 수괴의 화학적 특성 및 그 계절적 변화 특성 대해 고찰한 바 있으나, 동해의 수괴분포에 관한 연구는 아직 미약한 편이며, 최근 들어 그 보고는 극히 소수에 불과하다.

따라서 본 연구에서는 2005년도 4월의 조사결과에서 수온과 염분을 비롯한 용존 무기영양염을 중심으로 춘계, 동해에서의 기본적인 화학성분들의 분포특성을 수괴별로 분류하여 그 특성과 생물학적인 상호관계에 관하여 논의 하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구는 국립수산과학원 과제인 “심해생태계구조와 기능연구”의 일환으로 국립수산과학원 시험조사선 탐구 5호(262 G/T)를 이용하여 2005년 4월 11일~25일 사이에 이루어졌다.

조사정점을 Fig. 1에 나타내었다. 동해 중남부 해역에서 울릉분지를 중심으로 한 6개 정점(Line U: 측면으로부터 울릉분지 동측까지 이어지는 선)과 대마난류가 동해해역을 따라 북상하는 4정점(Line D: 울릉분지간통로에서 남동쪽으로 기울어져 포항으로 이어지는 선)을 조사하였다. 조사는 CTD(SBE 19 plus)를 이용하여 최대 2,000 m까지 수온과 염분의 연속 수직분포를 관측하였으며, 이 중 9개의 표준수층(0, 20, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 and 1500 m)에 대하여 Niskin형 채수기(SBE 32 Carousel Water Sampler)를 이용하여 해수 채취를 동시에 수행하였다.

채수된 시료는 현장에서 즉시 여과(nitrate cellulose membrane,  $\phi$  0.45  $\mu$ m)하여 미리 10% 염산으로 세척한 후 3차 증류수로 씻어낸 500 ml 플라스틱 통에 담아 냉동보관(-20 °C)하여 실험실로 옮긴 후 분석하였다. 용존 무기영양염(질산염, 인산염, 규산염)은

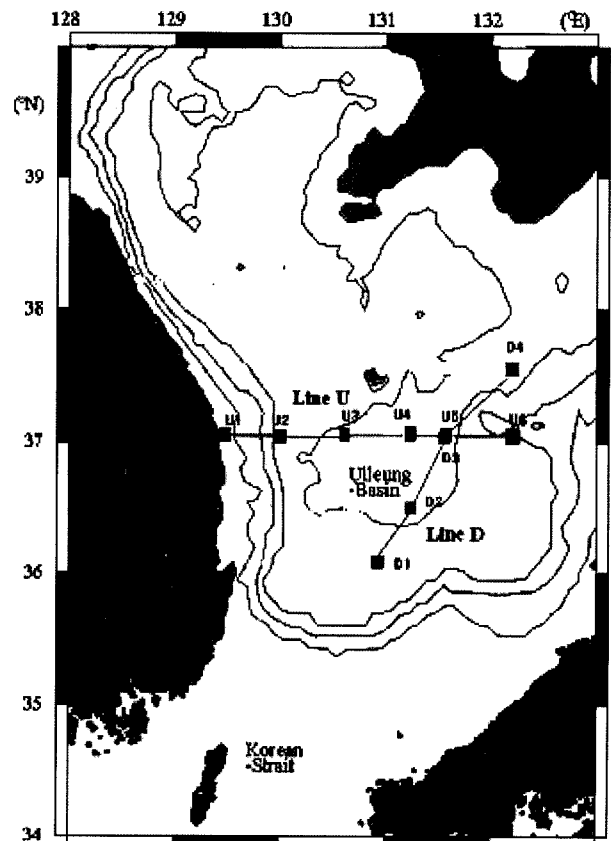


Fig. 1. The map showing the sampling area and stations.

해양환경공정시험방법(해양수산부[2002])에 따라 전처리를 거친 후 UV-VIS 분광기(Varian, Cary-300)를 이용하여 각각의 파장에서 흡광도를 측정하여 농도를 분석하였다. Chlorophyll *a*의 농도는 현장에서 시료 1 L를 공경 0.45  $\mu\text{m}$  membrane filter로 여과하여, 여과지는 냉동 보관하였다가 분석시 90% 아세톤 10 mL로 24시간 추출하여 원심분리(4000 RPM, 20 min)하여 상층액을 UV-VIS 분광기(Varian, Cary-300)를 이용하여 각각의 파장에서 흡광도를 측정하여 분석하였다(해양수산부[2002]).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 수괴의 분포 특성

동해 울릉분지와 남부해역을 연결하는 단면 U선과 D선에서의 연속적인 수온과 염분분포를 Fig. 2와 3에 나타내었다.

표층은 온도변화가 거의 없는 표면혼합층과 상부수온약층으로 구분되는데, 단면 U의 수온은 연안의 U1과 울릉분지 중앙부의 U4에서 10.6 °C였고, 울릉분지 외측 U2, U3, U5, 그리고 U6에서는 12 °C 이상으로 나타났다. 표면혼합층은 U1~U4에서 20 m 내외로서 U5와 U6의 10 m 내외에 비하여 다소 확장되어 나타났다. 약 100 m를 중심으로 한 수온약층은 전 정점에서 뚜렷하게 나타났다. U라인의 수온분포에서 약 20 m부터 수심의 증가에 따라 수온은

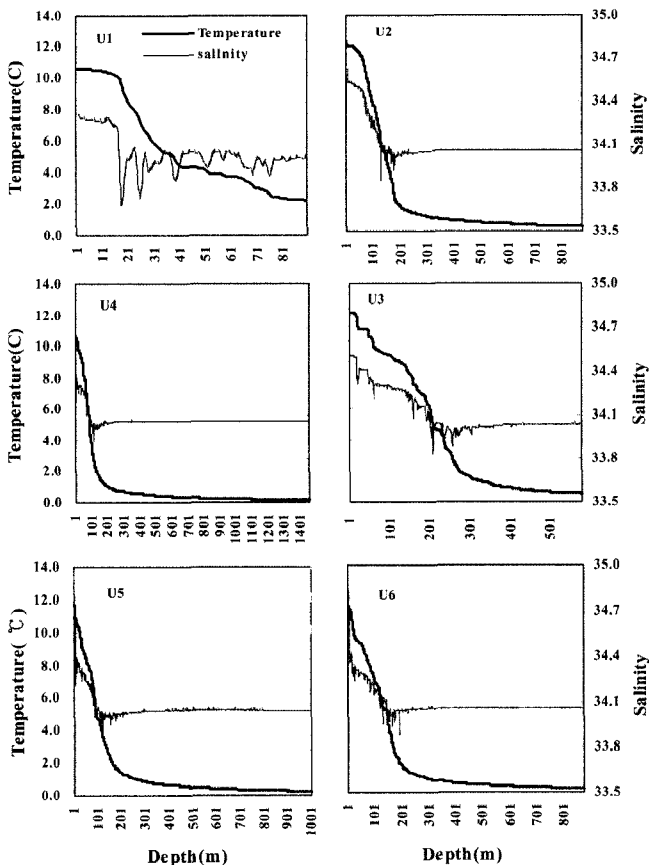


Fig. 2. Vertical profiles of temperature and salinity along U-transect in April, 2005.

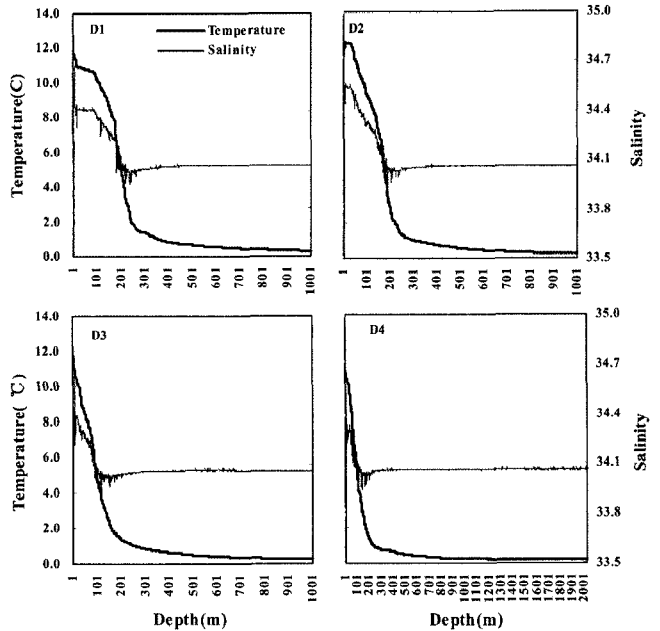


Fig. 3. Vertical profiles of temperature and salinity along D-transect in April, 2005.

완전히 감소하여, 수심 200~300 m까지 진행하다가 그 이하의 수심에서는 수온 1 °C 이하로 나타났다. 그리고 300 m 이하 수층에서는 수온의 변화가 미미하게 나타났으며, 수심 1,000 m 이하에서는 약 0.2 °C 내외로서 균일한 수온 분포를 보였다.

동해남부해역을 연결하는 단면 D의 분포에서 표층수온은 울릉분지의 북동측인 D4에서 13 °C 이상으로 가장 높게 나타났으며, 그 외는 12 °C 내외로 나타났다. 표면혼합층은 D4에서 5 m 내외로 가장 좁게 나타났으나, 남부해역으로 갈수록 점차 확장하여 D1에서는 약 85 m까지 나타났다. 상부 수온약층을 나타내는 100 m 이하부터는 단면 U의 분포와 동일하게 나타났는데 수온약층은 약 200 m까지 진행하였으며, 300 m 이하에서 1 °C 미만의 수온으로 나타났으며, 1000 m 이하에서는 수온이 0.2 °C 내외로서 일정한 수준으로 나타났다.

염분은 단면 U와 D에서 상호 유사하게 나타났다. 단면 U의 울릉분지 중앙부와 연안측에서 34.2 이상으로 다소 높게 나타났으나 그 외 해역에서는 32.3~33.7 범위로서 낮았다. 수심 50 m 이하에서는 34.2~34.5의 범위로서 비교적 높았으며 수온약층의 경우와 유사하게 점차 낮아지다가 약 200 m에서 34.0 내외로서 최저 염분을 나타내었다. 수심 약 300 m 이상은 34.06로서 일정한 분포를 보였다.

Table 1에서는 수온, 염분을 이용한 각 수심별 평균 분포를 지금까지 보고된 자료를 이용하여(Park[1979]; Kim and Kim[1983]; Yang *et al.*[1991]; Gong and Park[1969]; Kim and Chung[1984]) 수괴별 특성에 맞추어 5개의 Type로 나누어 나타내었다. 울릉분지 주변 해역을 연결하는 단면 U와 동해남부를 연결하는 단면 D에서의 각 수괴별 분포에서 수심 300 m이심 Type V에서는 수온 1 °C 이하, 염분 34.04~34.06의 범위로 Park *et al.*[1979] 및 Kim

**Table 1.** Mean values of temperature and salinity at each water mass type in the East Sea in April, 2005.

Water mass type	Depth (m)	U line		D line	
		Temperature(°C)	Salinity	Temperature(°C)	Salinity
I	≤1	11.71(10.55~12.34)	34.05(33.40~34.51)	12.41(11.29~13.22)	32.99(32.27~33.45)
II	≤20	11.06(8.52~12.13)	34.37(33.71~34.76)	11.27(10.28~12.24)	34.32(33.93~34.76)
III	≤100	8.24(2.21~11.96)	34.24(33.74~34.53)	9.33(4.77~12.23)	34.31(33.96~34.55)
IV	≤200	4.25(1.01~9.42)	34.08(33.85~34.30)	5.16(1.40~10.20)	34.12(33.92~34.37)
	≤300	1.50(0.72~6.04)	34.04(33.83~34.09)	1.50(0.79~5.02)	34.04(33.94~34.07)
V	≤400	0.80(0.58~1.59)	34.05(33.97~34.07)	0.86(0.65~1.38)	34.06(34.04~34.07)
	>400	0.33(0.17~0.90)	34.06(34.02~34.07)	0.33(0.20~0.84)	34.06(34.06~34.07)

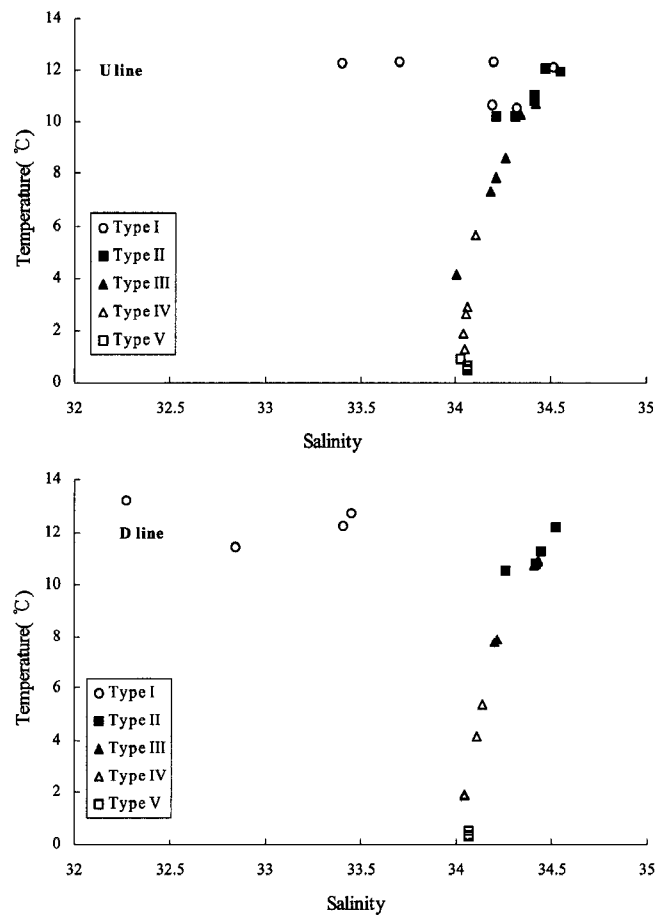
and Kim[1983]이 정의한 동해고유수(ESPW, East Sea Proper Water)로 나타냈다. Moriyasu[1972]는 동해의 대마 난류역에서 깊이가 약 200 m 층에 수온이 1~4 °C, 염분이 34.05 이하로 저온·저염으로 특징되는 수괴가 있다고 하였으며, 이것을 Kim and Chung[1984]은 동해 중층수(The East Sea Intermediate Water)라고 하였으며, 남하한 북한 난류수 혹은 동해 중층수라고 불리어지고 있으나, 동해의 약 100~300 m 수심에서 나타난다.

본 조사에서도 수온약층을 형성하는 100~300 m(Type IV)에서는 저온·저염으로 북한한류(NKCW, North Korea Cold Water)의 특성을 잘 나타내었다. 20 m 내외의 표면혼합층(Type II)에서는 수온 11 °C 이상, 염분 34.3 이상으로 고온·고염을 나타내는 대마난류 중층수(TMW, Tsushima Middle Water)의 특징을 나타내었다(Park[1979]; Kim and Kim[1983]; Yang *et al.*[1991]). 수온약층의 상층부를 형성하는 20~100 m(Type III)에서는 대마난류수에 북한한류수가 혼합된 수괴로 추측된다. 그리고 최 표층(≤1 m), Type I에서는 단면 D의 경우 수온 11 °C 이상, 염분이 33.8 이하로서 고온·저염의 특징을 나타내는 대마난류 표층수(TSW, Tsushima Surface Water)의 특징을 나타내었다(Park[1979]; Yang *et al.*[1991]). 한편 단면 U에서는 정점별 상이한 결과를 나타내었는데, 울릉분지 동측에 위치한 U4와 U5에서는 수온과 염분이 평균 12.3 °C, 33.6으로 대마난류 표층수의 특징을 나타내었으나, 울릉분지의 중앙부를 포함한 연안층의 U1~U3에서는 수온과 염분이 평균 11.4 °C, 34.30으로 대마난류 중층수의 특징을 나타내는 상이한 수괴의 형성을 보였다. 따라서 2005년 춘계에 대마난류 표층수는 단면 D를 따라 북상하여 울릉분지 동북측으로 확산되었음을 알 수 있었다(Table 1).

단면 U와 D의 조사해역에서 출현한 각 수괴에 대한 T-S diagram을 Fig. 4에서 나타내었다. 최 표층인 Type I의 고온·저염수를 제외하면, 전반적으로 고온·고염의 표면혼합층의 수괴에서 시작하여 깊이가 증가함에 따라 저온·저염의 수괴로 전이하였다. 표면혼합층수와 상부 수온약층수는 큰 폭의 변화를 보이며 분포되어 있으나, 일단 10 °C 이하의 Type III인 하부 수온약층으로 오면 좁은 폭의 선상을 따라 대부분의 자료들이 분포되어 있어 수온 약층이 형성되어 있음을 잘 나타내고 있었다.

**3.2 무기영양염류의 분포특성**

본 조사해역에서 측정된 단면 U와 D의 각 조사정점의 평균치



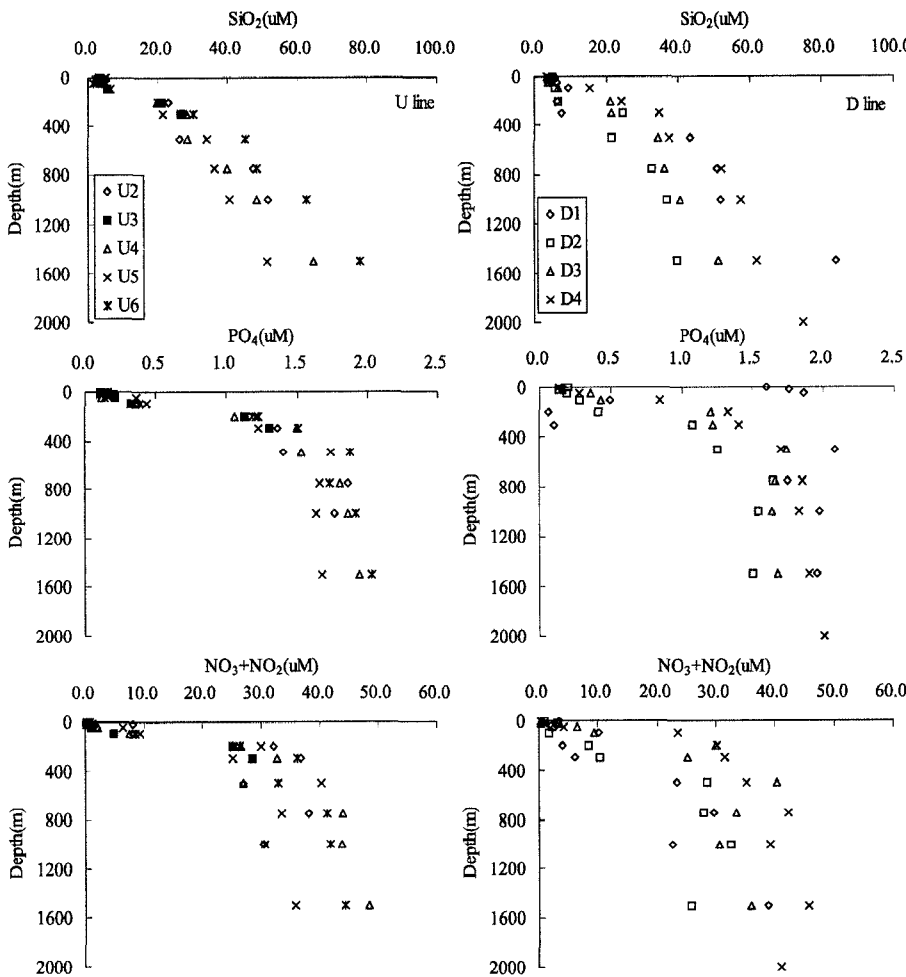
**Fig. 4.** T-S diagram at each water type type along two transect in April, 2005.

를 이용하여 질산염(NO<sub>3</sub>-N+NO<sub>2</sub>-N)과 인산염(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P), 그리고 규산염(SiO<sub>4</sub>-Si)의 수직 및 수괴별로 구분한 농도분포를 Fig. 5, 6과 Table 2에서 나타내었다.

Fig. 5에서는 각 정점에서 영양염의 수직적 분포양상을 나타내었다. 질산염과 인산염의 경우 단면 U와 D에서 모두 표면 혼합층이 존재하는 약 20 m 수층까지는 농도가 매우 낮고, 그 이후 수온 약층이 형성되었던 수괴까지는 점차 농도가 증가하여 저층에 있는 높은 농도의 영양염류가 상부수층으로 올라오거나 표층의 낮은 농도가 하부수층으로 내려가는 활발한 수직혼합을 나타내는 것을 볼 수 있었다. 그리고 심해수층(200~300 m 이심)에서는 농도

**Table 2.** Mean concentration of nutrients at each water mass type in the East Sea in April, 2005.

Water mass type	Depth (m)	Line U			Line D		
		NO <sub>3</sub> -N + NO <sub>2</sub> -N (μM)	PO <sub>4</sub> -P (μM)	SiO <sub>2</sub> -Si (μM)	NO <sub>3</sub> -N + NO <sub>2</sub> -N (μM)	PO <sub>4</sub> -P (μM)	SiO <sub>2</sub> -Si (μM)
I	0	0.47(0.16~0.78)	0.13(0.10~0.16)	3.87(3.11~5.09)	0.10(0.03~0.29)	0.52(0.13~1.60)	4.74(3.41~5.48)
II	20	0.44(0.16~1.08)	0.15(0.10~0.20)	3.21(2.32~3.72)	1.93(0.39~3.25)	0.55(0.14~1.76)	4.36(3.91~5.68)
III	50	2.53(1.05~6.45)	0.21(0.11~0.36)	3.72(1.51~5.08)	3.91(2.33~6.45)	0.68(0.19~1.87)	4.79(3.85~6.14)
	100	7.67(4.87~9.35)	0.37(0.32~0.43)	5.93(5.42~6.57)	14.27(9.35~23.42)	0.51(0.28~0.85)	9.30(5.54~15.56)
IV	200	28.68(26.50~32.03)	1.17(1.06~1.23)	20.91(19.72~22.91)	18.18(4.10~30.24)	0.76(0.41~1.33)	14.46(6.15~24.19)
	300	32.74(25.15~36.83)	1.40(1.23~1.51)	26.75(21.39~30.13)	18.28(6.12~31.44)	1.24(1.09~1.41)	26.76(21.39~34.50)
	500	31.83(27.00~40.33)	1.64(1.41~1.88)	33.58(26.32~45.21)	31.83(23.38~40.33)	1.70(1.26~2.09)	34.15(21.42~43.45)
V	1000	36.63(30.34~43.68)	1.80(1.64~1.92)	50.82(40.48~62.74)	31.19(22.50~39.21)	1.75(1.54~1.98)	46.72(36.93~57.46)
	1500	42.90(35.83~46.47)	1.89(1.68~2.04)	64.61(51.15~78.03)	36.53(25.86~45.60)	1.76(1.51~1.96)	59.11(39.52~93.97)



**Fig. 5.** Vertical profiles of nitrogen (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>), phosphate (PO<sub>4</sub>), and silicate (SiO<sub>2</sub>) concentrations along the U-transect and D-transect in April, 2005.

가 비교적 일정하게 나타났다.

규산염은 단면 U와 D에서 표층에서 수온약층까지는 수심의 깊이에 따라 나타나는 농도의 증가폭이 질산염과 인산염의 경우에 비하여 낮고, 심층에서는 예외적으로 깊이에 따라 계속 증가하였다. 이는 심층에서 규산염의 재생산 속도가 다른 영양염의 재생산 속도에 비하여 느리기 때문에 나타난 경향으로 생각 할 수 있다 (Gamo and Horibe[1983]).

Table 2에서는 앞서 분류한 각각의 수괴에 대한 영양염의 평균 농도와 범위를 나타내고 있다. Type I과 II에서 질산염의 경우에

는 평균 0.44~0.47(Line U)과 0.10~1.93 μM(Line D), 인산염의 경우에는 평균 0.13~0.15(Line U)과 0.52~0.55 μM(Line D)로서 심층에 비하여 훨씬 낮은 농도 상태를 나타내었다.

이는 동해에서의 1차생산력이 일반대양에서 나타내는 값들에 비하여 높은 연안 해역형의 성질을 감안할 때(Chung *et al.*[1989]) 표면혼합층이 빈영양환경(oligotrophic regions)에 가까운 고갈된 상태를 지시하고 있다.

표층에서 Type III까지 영양염의 농도분포는 단면 U와 D에서 유사하게 수심의 깊어짐에 따라 점차 증가하는 경향으로 나타내

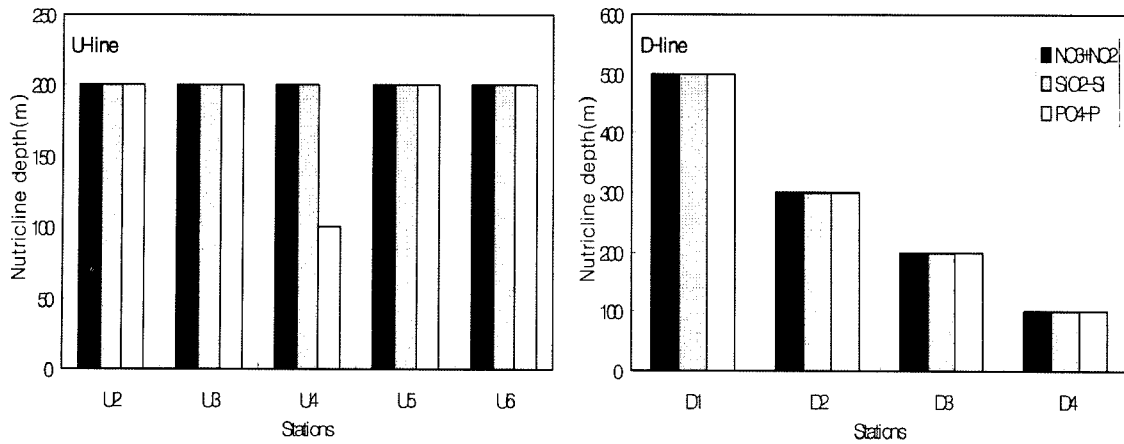


Fig. 6. Depths of nutriclines along the U and D-transect in April, 2005.

었다. 반면 수온약층(100~200 m)에서는 단면 U의 경우 질산염과 인산염이 평균 28.68 및 1.17  $\mu\text{M}$ 로서 큰 폭의 농도 증가를 볼 수 있었으나, 단면 D에서는 18.18, 0.76  $\mu\text{M}$ 로서 소폭 증가하였는데, 이는 정점별에서 나타내는 농도 급변화층(Nutricline)에서도 그 차이를 볼 수 있었다.

해양에서 나타나는 영양염의 농도급변화층은 식물플랑크톤 등과 같은 생물에 의한 소비와 용승, 바람 등과 같은 물리적인 수직 혼합에 의하여 형성되는 성층으로서, 유광층(50~100 m)이심에서 나타나는 농도급변화층은 용승 등과 같은 물리적인 수직혼합에 의하여 형성된다(Laanemets, *et al.*[2004]). 본 연구에서는 농도 급변화층을 수심변화( $\Delta D$ , unit: m)에 따른 농도증감( $\Delta C$ , unit:  $\mu\text{M}$ )의 비( $\Delta C/\Delta D$ )로 표현하여 Fig. 6에서 정점별로 나타내었다. U1은 수심이 100 m 미만으로 수괴를 거론하기에는 합당치 않은 정점으로 고려되어 본 연구에서는 이하 생략하였다.

전체적으로 질산염( $\Delta[\text{NO}_3+\text{NO}_2]/\Delta D$ )과 규산염( $\Delta\text{SiO}_4/\Delta D$ )의 증감비는 평균 0.18 및 0.17로서 각각 나타내었으며, 인산염( $\Delta\text{PO}_4/\Delta D$ )은 0.01을 보여 질산염과 규산염에 비하여 완만하게 농도가 증가하였음을 알 수 있었다.

그리고 단면 U에서는 전 정점에서 100~200 m(Type IV)를 중심으로 농도가 큰 폭으로 증가하여 수온약층의 분포와 유사한 특성을 보였으나, 단면 D에서는 D1에서 최대 500 m, 그리고 D4로 북상할수록 점차 수심이 얕아져 최저 100 m까지 정점별 상이한

결과가 얻어졌다. 이는 정점별 나타난 해수의 수직혼합의 영향으로 생각할 수 있는데, 농도급변화층의 두께가 동해 남부에서는 다소 완만한 경사로 넓은 폭의 변화를 보이고 북쪽의 정점(D4)은 좁게 형성되어 동해 남부로 갈수록 수괴의 수직적 혼합이 활발히 일어났음을 알 수 있었으며, 앞서 설명한 D1에서 D4로 대마난류가 북상하면서 점차 감소한 표면혼합층의 두께(5~85 m)와도 유사한 경향으로 나타났다(Fig. 3).

해수중의 영양염류들은 식물플랑크톤에 의해 동화되어 이용되고, 다시 배출되어 해수에 용해되며, 박테리아에 의해 재생산되는 순환과정을 갖고 있다. 따라서 외부의 인위적 환경변화가 없는 대양의 경우, 해수내의 여러 화학성분 및 조성비는 소비와 생산의 순환 속에 일정한 관계를 유지하게 된다(Millero and Sohn[1992]). Redfield *et al.*[1963]이 제시한 영양염의 성분비는 해양환경을 이해하는 지표로서 활용되고 있다. 본 연구에서는 식물플랑크톤의 성장제한 요인으로 작용하는 대표적 영양염류인 질산염과 인산염의 성분비(N/P), 그리고 규산염과의 성분비(Si/P)를 제시하였다. 단면 U와 D에서의 전 수괴에서 나타난 N/P는 22.6과 18.4로서 Redfield ratio(N:P=16:1)보다는 크게 상회하는 수치를 보였으며, 이는 심층수에서 나타난 높은 N/P에서 기인한다고 생각할 수 있다(Table 3). Si/P는 전 수괴에서 25내외로서 N/P에 비하여 높게 나타났다(Fig. 7).

Table 3. N/P and Si/P ratios at the each water mass type along U-transect and D-transect in April, 2005.

Water mass type	Depth (m)	N/P		Si/P	
		Line U	Line D	Line U	Line D
I	0	3.50(1.42~5.13)	3.52(2.10~4.80)	29.29(23.24~31.48)	21.38(3.42~31.48)
II	20	3.52(1.15~10.75)	8.16(1.85~5.33)	21.87(15.03~26.07)	20.17(3.23~29.53)
III	50	12.02(8.56~18.62)	11.53(1.46~17.90)	20.77(11.24~42.34)	13.07(3.29~21.17)
	100	20.34(15.15~21.99)	18.99(6.19~27.66)	15.93(14.86~16.84)	18.18(15.25~19.77)
IV	200	24.65(21.43~27.50)	18.60(20.65~24.71)	17.98(16.38~19.66)	36.27(15.60~93.65)
	300	23.29(20.47~27.00)	14.46(9.58~22.33)	19.01(17.41~19.93)	34.36(17.41~73.06)
V	500	19.35(17.51~23.12)	19.37(11.19~23.12)	20.24(18.63~24.02)	19.84(16.97~21.97)
	1000	20.25(17.19~23.41)	18.12(11.39~21.39)	28.12(24.63~32.62)	26.57(23.96~26.34)
	1500	22.67(21.28~27.93)	20.56(17.18~23.92)	24.27(21.72~25.45)	33.00(26.27~42.94)

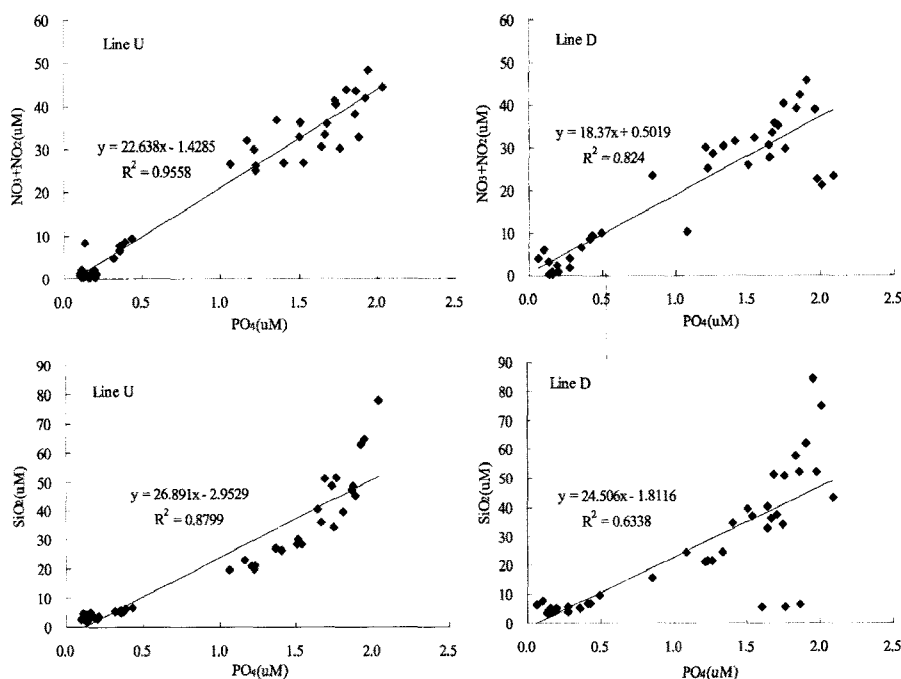


Fig. 7. Plots of  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  and  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{PO}_4$  along the U-transect and D-transect in April, 2005.

Table 3에서는 수괴별로 N/P와 Si/P의 각각의 평균과 범위에 대하여 나타내었다. N/P는 Type I에서 III의 50 m까지는 3.50~12.02로 Redfield ratio보다 낮게 나타났다. 그리고 상부 수온약층인 Type III(50 m)에서는 약 12로서 다소 높게 나타나 16에 가까운 수치를 보였는데, 이는 동계기간동안 일어난 수괴의 원활한 수직적인 혼합으로 인하여 4월의 춘계에도 20~50 m의 수괴에서는 영양염이 균일한 분포를 형성하고 있음을 알 수 있었다. 또한 춘계에 호전된 광조건이 합하여져 발생하는 식물플랑크톤의 증식은 표층수의 영양염을 빠르게 소비하여 표층의 영양염 고갈현상을 유발할 수 있는데(Stowe[1979]), Type I인 표층수에서 N/P는 평균 약 3.5로서 Redfield ratio보다 크게 낮게 나타내어 질산염이 식물플랑크톤 성장의 제한인자로 작용하고 있음을 알 수 있었다. 지금까지 동해 표층수에서 측정된 2.1(Chung *et al.*[1989])과 3.0(Shim *et al.*[1989])와 유사하게, 추계 울릉분지에서 측정된 18.56(Moon *et al.*[1996])에 비하여는 크게 낮은 수치를 보였다.

Type III의 100 m부터 심해수층인 Type V까지는 18.12~24.65로서 전반적으로 Redfield ratio인 16보다 높게 나타났다. 그리고 단면 D의 경우는 동해 남부(D1과 D2)에서 나타난 활발한 수직혼합으로 Type IV까지는 평균값이 단면 U의 경우보다 다소 낮게 나타났다.

Si/P는 N/P에서 나타난 경향과는 전혀 상이하게 수괴별 뚜렷한 특징은 보이지 않았으며, 전반적으로 20내외의 높은 값으로 나타났다. 300 m이심인 심층수(Type IV와 V)에서는 단면 U와 D의 경우 평균 22.9와 28.4로서 각각 높게 나타났는데 Kido and Nishimura [1973]는 동해 심층수에서 Si/P의 비율이 최고 80, 그리고 Tsunogai [1972]는 태평양 심층수에서 120이라고도 보고하고 있다.

N/P와 Chlorophyll *a*의 밀도의 수심별 상관관계를 보면(Fig. 8) 표층(0~20 m)에서는 Chlorophyll *a*는 점차 감소하면서 N/P는 5이

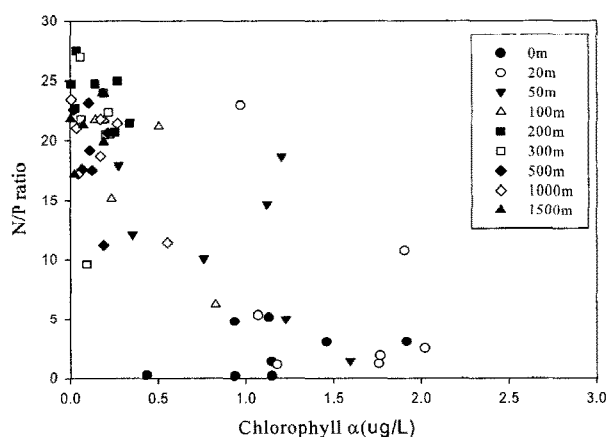


Fig. 8. Plots of N/P ratio vs. Chlorophyll *a* concentration at each depth in April, 2005.

하로 낮게 나타났으며, 수심이 증가할수록 점차 N/P는 증가하고 수심 100~200 m이심에서는 약 16에서 28까지 높은 분포를 나타내었다. 반면에 Chlorophyll *a*의 밀도는 약 0.3  $\mu\text{g/l}$  이하로 거의 일정한 농도분포를 보였다. 따라서 수심 200 m이심에서 나타난 Chlorophyll *a*는 non-living particle에서 유래한 것으로 보이며, 본 조사해역에서는 표층이하 100 m이내에서 식물플랑크톤의 산화, 환원에 따른 영양염의 재생산과정이 활발히 일어나고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 동해 수괴는 크게 표층과 수온약층, 심해수층으로 대별할 수 있었다. 수괴별 환경특성은 다음과 같이 요약된다. 표층은 최 표층(1 m 내외)을 포함한 표면혼합층(20 m 내외)과 상부

수온약층(수심 100 m까지), 그리고 저층은 하부수온약층(수심 100~300 m)과 심해수층(수심 300 m이심)으로 나눌 수 있었다. 용존 무기영양염은 울릉분지를 중심으로 한 단면 U에서는 수심 100~200 m 사이에 형성된 수온약층에 의해 성층화 되어 저농도 영양지역(oligotrophic region)과 고농도 영양 지역(eutrophic region)으로 구분되어 뚜렷한 환경의 차를 나타내었다. 동해남부를 연결한 단면 D에서는 대만난류의 북상과 함께 나타나는 환경의 차가 크게 나타났는데, 해류의 북상과 함께 점차 감소하는 표면혼합층의 두께와 농도 급변화층으로 잘 알 수 있었다.

Redfield ratio를 나타내는 질산염과 인산염의 성분비인 N/P는 0에서 50 m까지는 3.50~12.02로 Redfield ratio보다 낮게 나타내었으며, 상부 수온약층인 50 m에서는 약 12로서 16에 가까운 값으로 저층으로부터 유입된 영양염에 의해 적합한 환경을 형성하고 있음을 알 수 있었다. 특히 표층수에서 보인 Redfield ratio보다 크게 낮은 N/P(약 3.5)는 질산염이 식물플랑크톤 성장의 제한인자로 작용하고 있음을 지시하고 있다.

그리고 100~200 m 이심에서는 16이상으로 높게 나타났다. 이러한 양상은 수심별 나타난 Chlorophyll *a* 밀도 분포와의 좋은 상관관계를 나타내었으며, 본 조사해역에서는 표층이하 100 m이내에서 식물플랑크톤의 산화, 환원에 따른 영양염의 재생산과정이 활발히 일어나고 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] 해양수산부, 2002, 해양환경공정시험방법, 43-268.
- [2] Chester, R., 1990, Marine Geochemistry, Unwin Hyman, London, 698.
- [3] Chung, C.S., Shim, J.H., Park, Y.C. and Park, S.G., 1989, "Primary productivity and nitrogenous nutrient dynamics in the East Sea of Korea", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 24, 52-61.
- [4] Feely, R., Wanninkhof, A.R., Cosca, C.E., Murphy, P.P., Lamb, M.F. and Steckley, M.D., 1995, "CO<sub>2</sub> distribution in the equatorial Pacific during the 1991-1992 ENSO event", Deep-Sea Res., Vol. 42, 365-386.
- [5] Gamo, T. and Horibe, Y., 1983, "Abyssal circulation in the Japan Sea", J. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 39, 220-230.
- [6] Gong, Y. and Park, C.K., 1969, "On the oceanographical character of the low temperature region in the Eastern Sea of Korea", Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Vol. 4, 69-91.
- [7] Gong, Y. and Son, S.J., 1982, "A study of thermal front in the southwestern Japan Sea", Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Vol. 28, 25-54.
- [8] Hansen, D.V. and Swenson, M.S., 1996, "Mixed layer circulation during EqPac and some thermochemical implications for the equatorial cold tongue", Deep-Sea Res., Vol. 43, 707-724.
- [9] Ichiye, T., 1984, Some problem of circulation and hydrography of the Japan Sea and the Tsushima Current. In: Ocean Hydrography of the Japan Sea and East China Seas, edited by Ichiye, T., Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 15-54.
- [10] Kessler, W.S. and McPhaden, M.J., 1995, "The 1991-1993 El Nino in the equatorial Pacific", Deep-Sea Res., Vol. 42, 295-333.
- [11] Kido, K. and Nishimura, M., 1973, "Regeneration of silicate in the Ocean. I. The Japan Sea as a model of a closed system", J. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 29, 185-192.
- [12] Kim, K. and Chung, J.Y., 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. 55-65.
- [13] Kim, C.H. and Kim, K., 1983, "Characteristics and origin of the cold water mass along in the east coast of Korea", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 18, 73-83.
- [14] Kim, K.R., Rhee, T.S., Kim, K. and Chung, J.Y., 1991, "Chemical characteristics of the East Sea Intermediate Water in the Ulleung Basin", J. Oceanogr. Soc. Korea, Vol. 26, 278-290.
- [15] Laanemets, J., Kononen, K., Pavelson, J. and Poutanen, E.-L., 2004, "Vertical location of seasonal nutriclines in the western Gulf of Finland", J. of Marine Systems, Vol. 52, 1-13.
- [16] Libes, S.M., 1992, An introduction to marine biogeochemistry. John Wiley and Sons, New York, 734.
- [17] Mackey, D.J., Parslow, J., Higgins, H.W., Griffiths, F.B. and Sullivan, J.E., 1995, "Plankton productivity and biomass in the western equatorial Pacific: Biological and physical controls", Deep sea Research II, Vol. 42, 499-533.
- [18] Millero, F.J. and Sohn, M.L., 1992, Chemical oceanography. CRC Press, London, 531.
- [19] Moon, C.H., Yang, H.S. and Lee, K.W., 1996, "Regeneration processes of nutrients in the polar front area of the East Sea: I. Relationships between water mass and nutrient distribution pattern in autumn", Bull. Korean Fish. Soc., Vol. 29, No. 4, 503-526.
- [20] Moriyasu, S., 1972, The Tsushima current. In: *Kuroshio-its physical aspects*. Eds. by H. Stommel and K. Yoshida, University of Tokyo Press, Tokyo, 353-369.
- [21] Park, C.K., 1979, "On the distribution of dissolved oxygen off the east coast of Korea", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 14, 67-70.
- [22] Redfield, A.C., Ketchum, B.H. and Richards, F.A., 1963, The influence of organisms on the composition of sea water. In: *The Sea. Vol. 2*. Ed. by M.N. Hill, 26-77.
- [23] Senjyu, T. and Sudo, H., 1996, "Interannual variation of the Upper Portion of the Japan Sea Proper water", J. Oceanogr., Vol. 52, 27-42.
- [24] Seung, Y.H. and Yoon, J.H., 1995, "Some features of winter convection in the Japan Sea", J. Oceanogr., Vol. 15, 61-73.
- [25] Shim, J.H. and Park, Y.C., 1986, "Primary productivity measurements using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korea", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 21, 13-24.
- [26] Shim, J.H., Yang, S.R. and Lee, W.H., 1989, "Phyto hydrography and the vertical pattern of nitracline in the southern waters of the Korea East Sea in the southeastern sea of Korea", J.



- Oceanol. Soc. Korea, Vol. 21, 13-24.
- [27] Shim, J.H., Yang, S.R. and Lee, W.H., 1989, "Phytohydrography and the vertical pattern of nitracline in the southern waters of the Korean east sea in early spring", J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 24, 15-28.
- [29] Stowe, K.S., 1979, Ocean science. John Wiley & Sons, New York, 610.
- [30] Sudo, M., 1986, "A note on the Japan Sea Proper Water", Prog. Oceanog., Vol. 17, 313-336.
- [31] Taylor, D., Nixon, S., Granger, S. and Buckey, B., 1995, "Nutrient limitation and eutrophication of coastal lagoons", Mar. Ecol. Progr. Seri., Vol. 127, 235-244.
- [32] 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, Pro. S. Motoda Commemoration Volume.
- [33] Uda, M., 1938, "Research on Simoror current-rip in the seas and oceans", Geophy. Mag., Vol. 11, 307-372.
- [34] Yang, H.S., Kim, S.S., Kang, C.G. and Cho, K.D., 1991, "A study on sea water and ocean current in the sea adjacent Korea Peninsula", Bull. Korean Fish. Soc., Vol. 24, 185-192.
- [35] Yasui, M., Yasuoka, Y., Tanioka, K. and Shiota, O., 1967, "Oceanographic studies of the Japan Sea (1)-Water characteristics", Oceanographical Magazine, Vol. 19, 177-192.

---

2007년 7월 16일 원고접수

2007년 11월 14일 수정본 채택