

동해 극전선역의 영양염류 순환 과정

III. 1995년 10월 동해 중부 및 북부 해역의 수괴와 영양염의 분포

조현진 · 문창호 · 양한섭 · 강원배 · 이광우*
부경대 해양학과 *한양대학교 지구해양학과

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

III. Distribution Patterns of Water Masses and Nutrients in the Middle-Northern East Sea of Korea in October, 1995

Hyun-Jin CHO, Chang-Ho MOON, Han-Seob YANG, Won-Bae KANG and Kwang-Woo LEE*

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

*Department of Earth & Marine Sci., Hanyang Univ., Ansan 425-791 Korea

A survey of biological and chemical characteristics in the middle-northern East Sea of Korea was carried out at 28 stations in October, 1995 on board R/V Tam-Yang. On the basis of the vertical profiles of temperature, salinity and dissolved oxygen, water masses in the study area were divided into 5 major groups; (1) Low Saline Surface Water (LSSW), (2) Tsushima Surface Water (TSW), (3) Tsushima Middle Water (TMW), (4) North Korean Cold Water (NKCW), (5) East Sea Proper Water (ESPW). Other 4 mixed water masses were also observed. It is highly possible that the LSSW which occurred at depths of 0~30 m in the most southern part of the study area is originated from the Yangtze River (Kiang) of China due to very low salinity (<32.0‰), relatively high concentration of dissolved silicate and no sources of freshwater input into that area. Oxygen maximum layer in the vertical profile was located near surface at northern cold waters and became deeper at the warm southern area. Oxygen minimum layer at depths 50~100 m, which is TMW, were found in only southern area.

In the vertical profiles of nutrients, the concentrations were very low in the surface layer and increased dramatically near the thermocline. The highest concentration occurred in the ESPW. The relatively low value of Si/P ratio in the ESPW (13.63) compared to other reports in the East Sea was due to continuous increase of P with depth as well as Si. The N : P ratio was about 6.92, showing that nitrogenous nutrient is the limiting factor for phytoplankton growth. The exponential relationship between Si and P, compared to the linear relationship between N and P, indicates that nitrate and phosphate have approximately the same regenerative pattern, but silicate has delayed regenerative pattern.

Key words : East Sea, temperature, salinity, dissolved oxygen, water masses, nutrient

서 론

본 연구는 한국 동해의 전선역을 중심으로 이루어졌으며 전선역은 서로 다른 두 수괴가 만나는 곳으로서, 난류수의 좋은 투명도와 한류수의 저층에서 공급되는 풍부한 영양염 때문에 생산력이 높은 곳으로 알려져 있다 (Raymont, 1980). 동해는 북태평양의 연해인 동시에 반 폐쇄적인 해양 특성을 가지고 있는 해역으로 수심 300 m 이하에서 수온 1°C 이하의 찬물이 전 해수의 약 90%를 차지하고 있고 (Yasui et al. 1967), 일본 열도로 둘러싸여 주변 해수와 거의 차단되어 있으며 대한해협을 통해 유입되는 대마난류에 큰 영향을 받는다 (Hong et al., 19

84). 대마난류수는 동지나해수와 쿠로시오의 혼합에 의해 형성되는데 표층 해황은 계절 변화가 크며 (Shin, 1994), 우리나라 동해안을 따라 북상하면서 중·저층의 동해 고유 냉수나 북한 한류수와 접촉하여 수직적으로 약층을 이루고 수평적으로는 극전선을 이룬다 (Yang et al., 1991).

이제까지 우리나라에서 행해진 동해에 관한 연구에는, 물리적 특성에 관한 연구로 Park (1979)이 용존산소 분포를 연구하여 수괴의 이동이나 혼합과정을 밝히고자 하였으며, Kim and Kim (1983)이 동해에 출현하는 냉수괴에 관한 연구를, Kim and Chung (1984)은 동해 서남해역에서 동해중층수의 염분과 용존산소에 관한 연구를 하

이 연구는 1995년도 교육부 해양/수산과학분야 학술연구 조성비의 지원에 의한 것임.

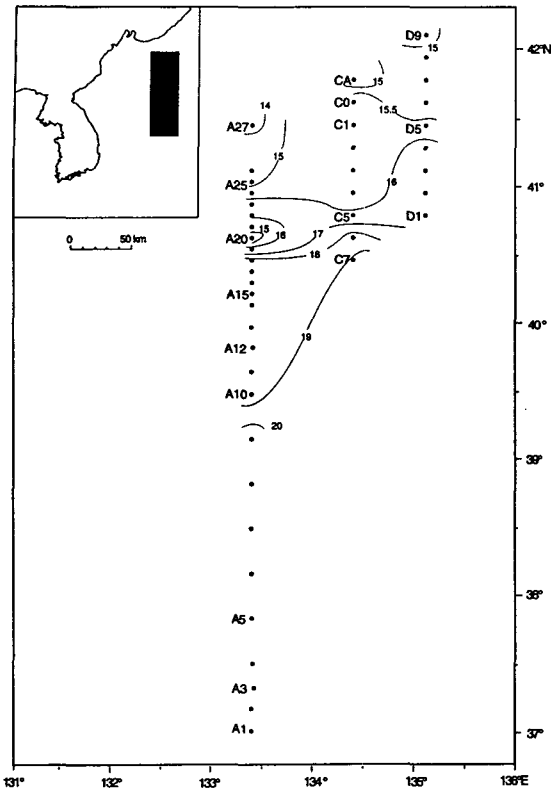


Fig. 1. A map showing stations in the study area.

였고, Hong et al. (1984)은 동해 연안역의 이상저온 현상에 대해 연구하였다. 생물·화학적 과정에 관한 연구로는 Shim et al. (1985, 1986, 1989, 1992, 1995)이 한국 동해 서남해역에서 식물플랑크톤의 일차생산과 현존량 및 군집구조와 환경요인에 관한 연구를 하였고, Chung et al. (1989)은 기초생산력과 질소계 영양염의 동적 관계에 관한 연구를 하였다. 그리고 Yang et al. (1991)은 동해 중부해역의 전선역에 출현하는 수괴의 화학적 특성을 밝히고자 하였으며, Park et al. (1991)은 전선역에서의 식물플랑크톤 군집구조와 분포에 관한 연구를 하였다. 그러나 동해의 극전선역에서 영양염의 순환과정에 대한 종합적인 연구는 아직 미약한 편이며 또한 이 연구들은 모두 한국 동해의 서남해역에서 실시된 것들로 그 위치가 남으로 대한해협에서 북으로 속초 부근 해역까지이며 주로 연안에 가까운 정점들에 국한되어 있다.

본 연구의 2차년도 목적은 동해 중부 및 북부해역(동경 133°40'~135°40', 북위37°00'~42°10')의 극전선역에서 해수의 수온, 염분 및 용존산소로서 각 수괴의 물리적 특성을 파악하고, 영양염 분포의 상호 관계로서 각 수괴의 화학적 특성을 규명하여 이 해역에서 영양염 순환

과정을 종합적으로 이해하기 위한 기초자료를 제공하는 데 있다.

재료 및 방법

본 연구는 1995년 10월 9일부터 19일까지 해양과학 공동연구소 탐사선인 탐양호를 이용하여 제 2차 특정과제 수행의 일환으로 실시되었다. 연구 해역은 동경 133°40'~135°40', 북위37°00'~42°10'으로 A, B, C, D, E line의 총 59개 정점과 울릉도 부근의 U2 정점을 정하여 탐양호의 C.T.D.를 이용하여 수심별로 수온(temperature)과 염분(salinity)을 측정하였다(Fig. 1). 이 중 A, C, D line 28개 정점의 표준 수심에서 최대 500m까지 용존산소(dissolved oxygen), 영양염(nutrient)의 농도 측정을 위한 시료를 roset sampler를 이용하여 채취하였다.

채수된 시료의 수온과 염분은 채수와 동시에 관측된 C.T.D (Sea Bird) 자료 중 해당수심의 값들을 취하였으며 용존산소는 Winkler 적정법(Carpenter, 1965)으로 측정하였고 결보기 산소 소비량(AOU: Apparent Oxygen Utilization)은 채수된 해수의 수온과 염분으로부터 계산된 용존산소 포화 농도에서 관측된 용존산소 농도를 뺀 값으로 계산하였다.

영양염은 Strickland and Parsons (1972)의 비색법으로 질산염(nitrate+nitrite), 암모니아(ammonia), 규산염(silicate), 인산염(phosphate)을 측정하였다. 영양염 분석을 위한 해수 시료는 선상에서 각 정점의 표준 수심별로 채수한 해수 500 ml를 유리섬유 여과지(Whatman GF/C)로 여과한 후, 여과된 시료를 분석시까지 냉동 보관하였다.

결과 및 고찰

수온, 염분 및 용존산소 분포

A line의 수온, 염분, 용존산소 농도의 수직 단면도를 Fig. 2에 나타내었다. 표준 수온은 14.69~21.74°C의 범위로, 정점 A1부터 정점 A7과 A8사이까지 20°C이상의 고온수가 존재하였으며, 정점 A20 근처에서 전선이 형성되었고 정점 A26 쪽으로 수온 16°C이하의 저온수가 존재하였다. 수온약층은 정점 A10 북쪽의 수심 30~50m사이 수온이 약 6~16°C의 범위로 강하게 나타난 반면에, 남쪽은 약하게 나타났다. 수온약층 아래에서 수온이 수심에 따라 서서히 감소하여 수심 약 300m를 전후하여 1°C이하로 떨어졌다. 난류역(A3, A10), 전선역(A20) 및 한류역(A24)을 대표하는 정점에서 수온의 수직적 변화를 보

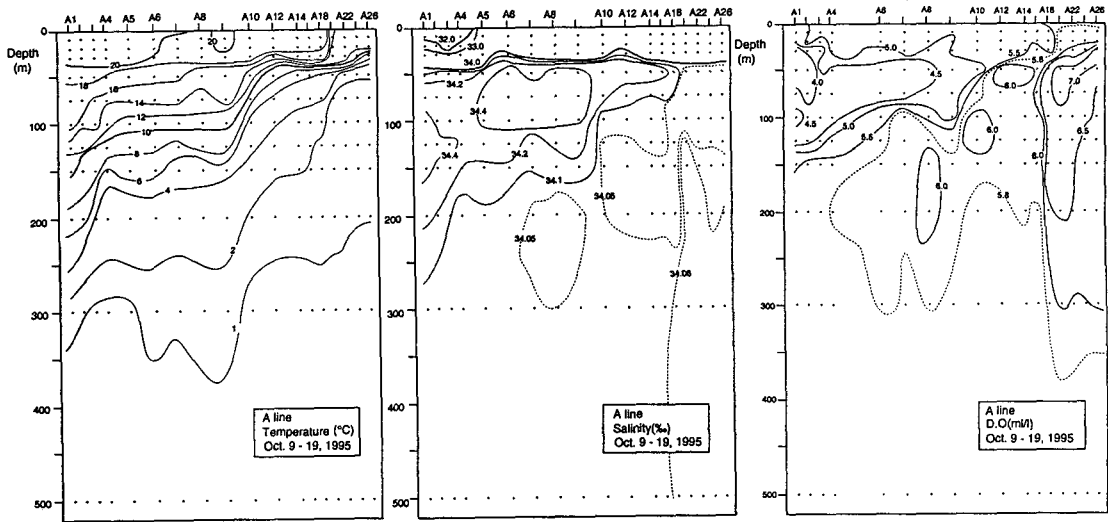


Fig. 2. Vertical profiles of temperature, salinity and dissolved oxygen along the A line.

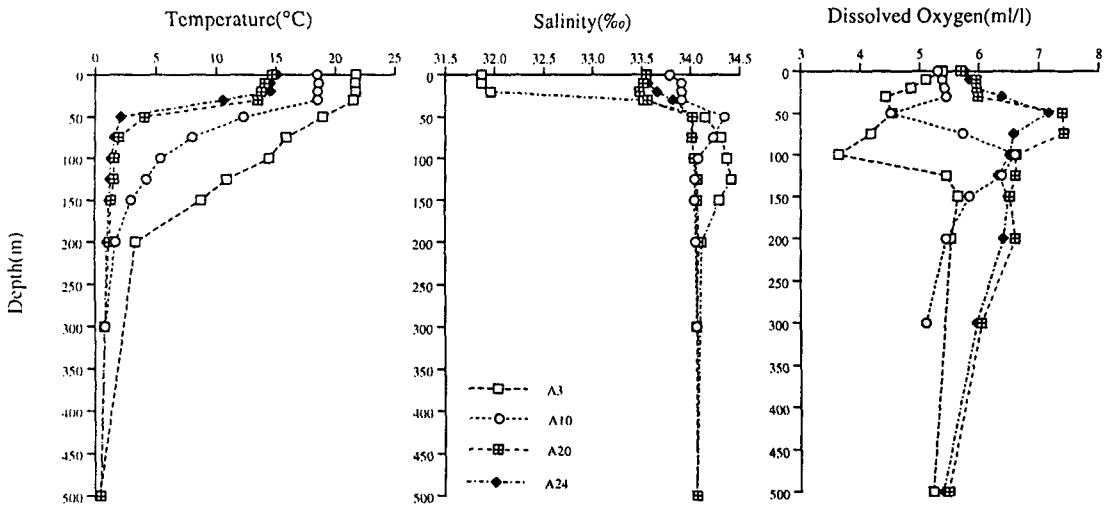


Fig. 3. Vertical distributions of temperature, salinity and dissolved oxygen at each station along the A line.

면 (Fig. 3), 각각의 정점의 표층부터 약 30 m 사이가 혼합층이었고 30~50 m에서 수온 약층이 형성되었으며 300 m부터 거의 균일한 수온 분포를 보이고 있었다. 남쪽 정점인 A3부터 북쪽 정점인 A24로 갈수록 수온이 낮아졌고 수온 약층도 정점 A24쪽으로 갈수록 더욱 명확히 나타났다. 전선역의 정점 (A20)에서는 표층에서도 수온이 수심이 깊어짐에 따라 조금씩 감소하였다.

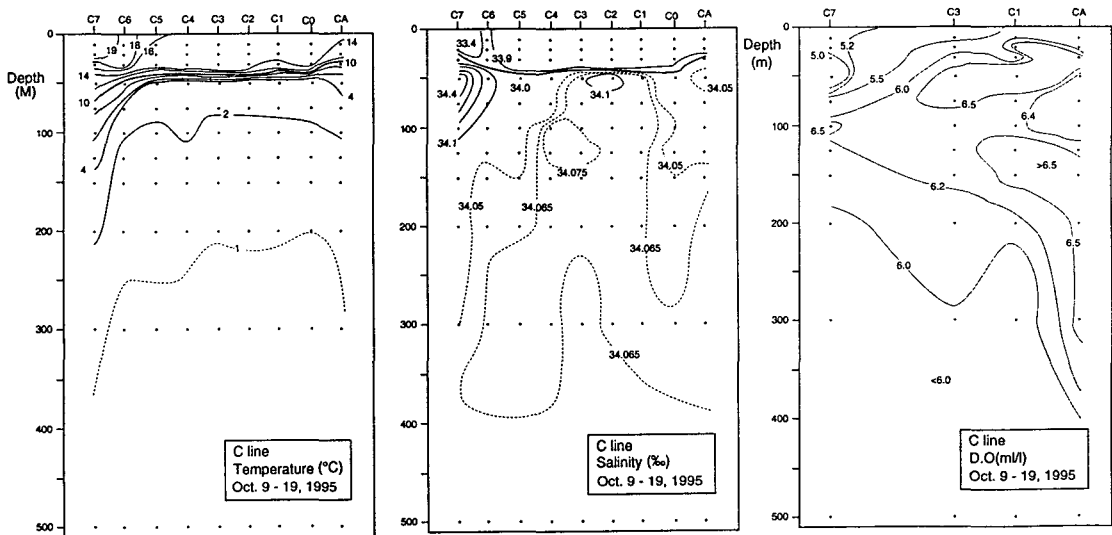
A line의 염분 변화를 살펴보면 혼합층에서 일반적으로 34.0‰ 이하의 해수가 균일하게 분포하고 있었으나 정점 A1부터 A4사이의 표층에서 수심 30 m까지는 32.0‰ 이하의 저염수가 존재하고 있었다. 정점 A10 남쪽의 수심 50~100 m 부근에는 34.4‰의 고염수가 존재하였고 200

m 이심에서 34.05‰이었다. 대표적 정점의 수직분포를 보면 (Fig. 3) 정점 A3의 경우 표층에서 수심 30 m까지 32.0‰ 이하의 저염수가 나타났으며 그 후 수심 50 m까지 염분이 급격히 증가하였고 수심 125 m까지 약간의 증가를 보이다가 감소하기 시작하여 수심 200 m부터 일정한 값을 나타내었다. 정점 A10, A20, A24는 혼합층에서 비교적 균일한 분포를 보였고 수심 30~50 m에서 약간의 증가를 보이다가 그 후 정점 A20과 A24는 수심 500 m까지 거의 일정한 분포를 나타내었으며 정점 A10은 수심 50~100 m에서 감소하였고 수심 100~500 m에서 균일한 분포를 나타내었다.

이번 연구에서 특이한 점은 정점 A1부터 A4의 표층에

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

Water mass	Temperature (°C)	Salinity (‰)	DO (ml/l)	Reference
LSSW (Low Saline Surface Water)	21.47~21.74 —	31.87~32.08 <32.20	4.77~.73 —	This study Kim and Rho (1994)
TSW (Tsushima Surface Water)	19.47~21.51 >20	32.39~33.71 <33.80	3.87~5.50 5.00~5.50	This study Park (1978)
TMW (Tsushima Middle Water)	>20	<33.80	5.05~5.45	Yang et al. (1991)
TMW (Tsushima Middle Water)	11.01~16.63 14~17	34.28~34.50 34.30~34.60	3.64~5.31 4.20~4.70	This study Park (1978)
Middle Water	13~17 12~17	34.20~34.40 34.30~34.50	5.00~5.50 4.30~5.00	Kim and Kim (1983) Yang et al. (1991)
NKCW (North Korean Cold Water)	1.00~7.42 0.2~4	33.98~34.18 34.00~34.05	5.98~8.44 6.50~7.50	This study Park (1978)
	1~6 1~7	<34.00 34.06~34.20	>6.80 6.00~6.45	Kim and Kim (1983) Yang et al. (1991)
ESPW (East Sea Proper Water)	0.37~0.93 0~1	34.05~34.07 33.96~34.10	5.00~6.10 5.20~6.00	This study Park (1978)
	0~1 <1	34.00~34.05 34.02~34.16	5.50~6.50 5.40~5.90	Kim and Kim (1983) Yang et al. (1991)

**Fig. 4. Vertical profiles of temperature, salinity and dissolved oxygen along the C line.**

서 수심 30 m까지 염분 32.0‰ 이하의 저염수가 출현하였는데 이는 Park (1978)이 정의한 대마난류 표층수의 특성치 중 수온과 용존산소의 값은 비슷하지만 (Table 1) 주위 해수에 비해 매우 저염이었다. Kim and Rho (1994)에 의하면, 양자강 유출수가 하계 (6월~10월)에 중국대륙 연안을 따라 남쪽으로 흐르다가 대마난류수와 혼합된 후 제주도 서쪽 해역에서 제주 해협으로 유입되어 대한 해협을 통하여 한국 동해로 이동한다고 하였다. 이들은

이 수괴를 중국대륙연안수 (China Coastal Water, CCW)라 하였으며 제주도 주변 해역에서 이 수괴는 32.20‰ 이하의 저염이며 그 평균 수심은 약 25 m라고 보고하였다. 본 연구 해역에서 출현한 이 저염수는 양자강 유출수에서 기원한 듯하다.

A line의 용존산소 변화를 살펴보면, 3.67~8.84 ml/l의 범위로 정점 A2의 50 m 수심에서 가장 낮았고 정점 A26의 30 m 수심에서 가장 높았다. 그리고 정점 A18의 북쪽

에서 고농도의 용존산소 (> 6.5 ml/l)를 가진 해수가 수심 약 200 m 이하 까지 존재하고 있었다. 용존산소 최소층 (< 5.0 ml/l)은 정점 A10의 남쪽 정점 수심 50~100 m에서 나타났다. Fig. 3에서 보듯이, 정점 A3, A10은 수심 50 m~100 m에서 용존산소의 최소치를 보였으며, 그 후 수심에 따라 증가하다가 100~150 m 사이에서 최대치를 나타내었고, 그 후 수심이 증가함에 따라 서서히 감소하였다. 이에 반해, 정점 A20, A24에서는 수심 50 m 부근에서 용존산소 최대치를 보이다가 감소하기 시작하여 100~200 m 사이에서는 거의 균일하였고 수심 200~500 m에서 서서히 감소하였다. 수심 50~100 m 부근에 나타난 정점 A3, A10의 용존산소 극소층은 일반 해양에서 수온약층 (thermocline) 하부에서 수직안정도가 높아 표층으로부터의 산소로 포화된 해수의 결합이 단절된 상태에서 생화학적 산소 소비 때문에 나타나는 산소극소층이 아니고 용존산소가 4 ml/l 부근의 대마난류중층수가 이 부근을 통과하기 때문이다 (Park, 1979).

Kim and Chung (1984)은 동해 남서 해역에서 비교적 저산소 (< 5.5 ml/l)의 동해고유수 상부에 위치한 고농도의 산소 (6.0~6.5 ml/l)를 가지고 있는 수괴를 동해중층수 (East Sea Intermediate Water, ESIW)라 칭하고 Kim et al. (1991) 및 Moon et al. (1996)은 울릉 분지에서 이 수괴의 화학적 특성치를 통하여 이 수괴가 비교적 최근에 해수 표층에서 침강해서 북쪽 해역에서 남하한 것으로 추정하였다. 본 조사에서 용존산소 최대층이 북쪽 해역에서는 수심이 얇은 20~30 m 부근에서 출현하여 남쪽으로 갈수록 그 수심이 증가하고 또한 이들의 염분분포 (Fig. 2) 역시 Kim and Chung (1984)이 동해중층수로

정의한 (<34.05‰) 수괴와 비슷하였다. 위도 39°33'에 위치한 정점 A10 남쪽으로는 이러한 용존산소 최대층이 존재하지 않는 것으로 보아 동해 남부 연안역에서 출현하는 동해 중층수는 북쪽의 차가운 표층수가 침강하여 연안쪽을 따라 남하하는 것으로 사료된다.

Fig. 4에 C line의 수온, 염분, 용존산소의 수직 단면도를 보면 표층 수온으로 볼 때 정점 C5와 C6사이에서 수온 16~19°C의 전선역이 나타났으며 C5의 북쪽에는 14~16°C의 저온수가 존재하였다. 수심 30~50 m 사이에 수온 약층이 강하게 존재하였으며 약 4~14°C의 수온 범위로 큰 수온차를 보이고 있었다. 난류역 (C7), 전선역 (C3) 및 한류역 (C1)의 정점에서 수직적 분포를 보면 (Fig. 5), 혼합층 내에서 균일한 수온을 나타내었고 수온 약층에서 수온이 급격히 감소하여 300 m부터 500 m까지 1°C이하로 거의 균일하게 낮은 수온 분포를 보이고 있었으며 정점 C7쪽으로 갈수록 수온이 높았고 정점 C1과 C3은 거의 비슷한 경향을 보였다.

C line의 염분의 변화를 살펴보면, 33.38~34.49‰의 범위로 정점 C7의 표층과 10 m 수심에서 가장 낮은 염분 농도를 보였고, 정점 C7의 50 m 수심에서 가장 높은 값이 나타났다. 그리고 정점 C6의 남쪽으로 수심 약 30~100 m 사이에 34.2~34.4‰의 고염수가 자리하고 있었다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 30~50 m 사이에 각 정점에서 염분농도가 급격히 증가하였고, 정점 C7을 제외하고는 수심 50 m 이하에서 약 34.06‰ 정도로 균일하였다. 정점 C7에서는 수심 50 m에서 최대치를 보였고 수심 100 m까지 급격히 감소하였으며 이후 수심 100 m부터 균일한 분포를 나타내고 있었다.

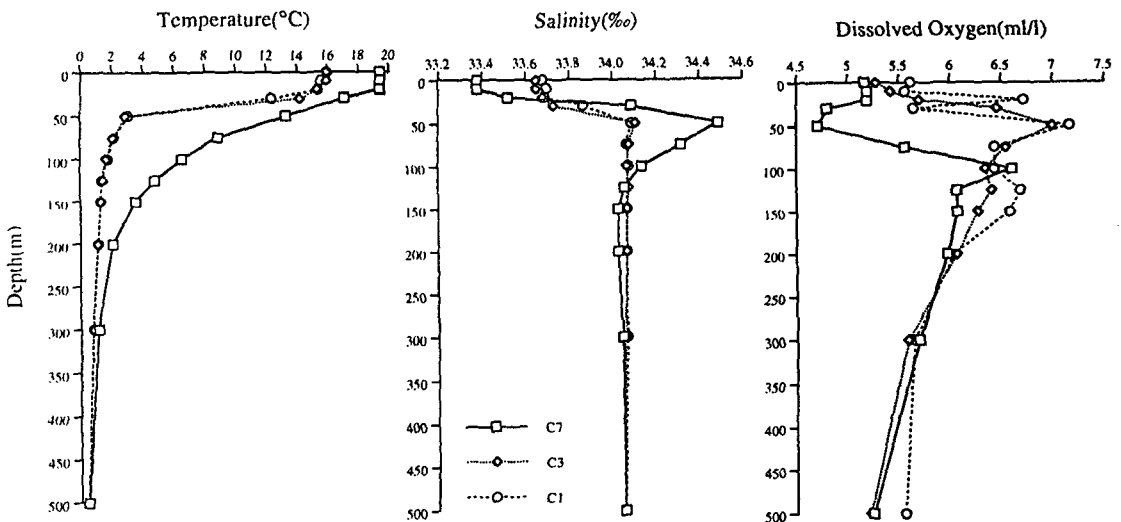


Fig. 5. Vertical distributions of temperature, salinity and dissolved oxygen at each station along the C line.

C line의 용존산소 농도 변화를 살펴보면, 4.71~7.59 ml/l의 범위를 보이고 있었으며, 표층의 경우 북쪽으로 갈수록 높아졌고 100 m 이하 수심에서 6.5 ml/l이상의 용존산소 함량이 높은 해수가 북쪽에서부터 정점 C1과 C3 사이까지 쉐기 모양으로 나타나 있었다. 각 대표 정점별 용존산소 변화를 살펴보면 (Fig. 5), 정점 C7의 경우 20 m까지 일정한 농도를 보이다가 50 m에서 용존산소 최소층이 나타났고 100 m까지 급격히 증가하여 최대층을 형성한 다음, 감소하기 시작하여 수심 125 m이하부터 서서히 낮아지고 있음을 볼 수 있다. 이와는 달리, 정점 C3, C1에서는 용존산소 최소층이 없고 30~50 m에서 용존산소가 최대이었으며 수심 300 m 이하에서는 6.0 ml/l이하로 낮아졌다.

D line의 수온, 염분, 용존산소 분포의 수직적 단면도를 Fig. 6에 나타내었다. 먼저 수온의 변화를 살펴보면, 0.73~16.25°C의 범위로 정점 D5의 300 m 수심에서 가장 낮았고 정점 D2의 표층에서 가장 높은 값을 보였다. 정점 D1에서 D4까지의 표층에 16°C이상의 해수가 존재하였고 그 북쪽에는 15~16°C이었다. 각 대표 정점의 수직적 분포를 보면 (Fig. 7) 수온약층은 약 20~50 m 사이에 나타났으며 4~14°C의 범위로 10°C 정도의 수온차를 보였고, 그 후 서서히 감소하여 수심 약 200 m부터 1°C이하의 저온수가 존재하고 있었다.

D line의 염분 변화를 살펴보면 (Fig. 6), 33.30~34.07‰의 범위로 염분의 농도차이가 크지 않았으며, 정점 D6의 20 m에서 비교적 낮았고 정점 D2의 50 m에서 상대적으로

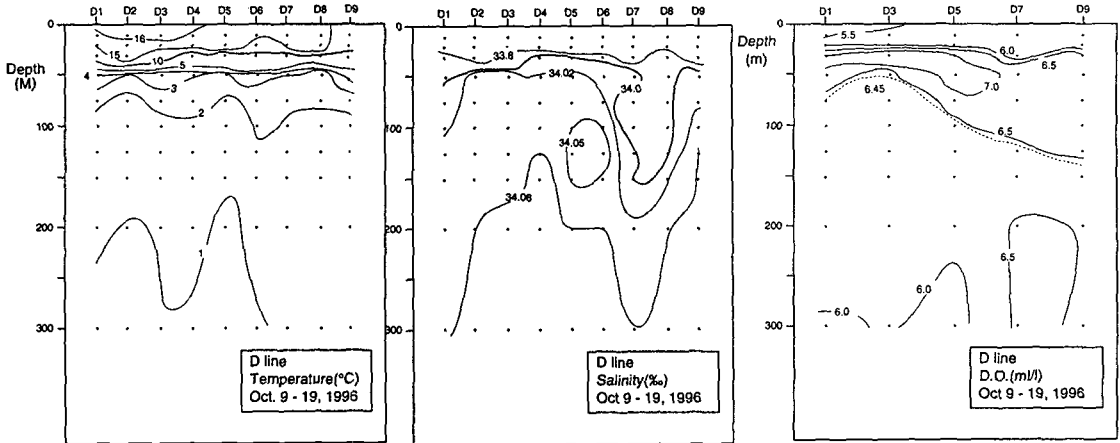


Fig. 6. Vertical profiles of temperature, salinity and dissolved oxygen along the D line.

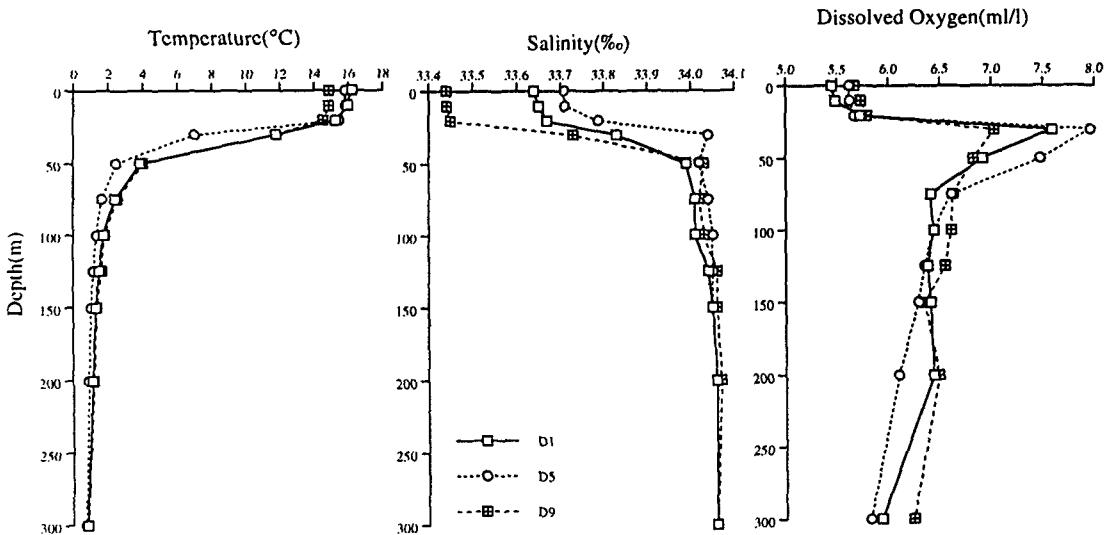


Fig. 7. Vertical distributions of temperature, salinity and dissolved oxygen at each station along the D line.

으로 높은 염분농도를 나타내었다. 표층에서 수심 약 30 m 상부의 혼합층에서 33.8‰ 이하로 낮은 염분농도를 나타내었다. 각 대표 정점별 염분의 수직적 변화를 살펴보면 (Fig. 7) 정점 D5는 수심 20m에서 30m까지 급격히 증가하였고 정점 D1과 D9는 수심 20m에서 50m까지 급격히 증가하였으며 이 후 수온약층 아래인 수심 50~200m까지 약간의 증가를 보인 후 34.06‰ 정도로 일정한 값을 나타내었다.

D line의 용존산소 변화를 살펴보면, 5.42~7.96 ml/l의 농도 범위로 정점 D3의 표층에서 가장 낮은 값을, 정점 D5의 30 m수심에서 가장 높은 값을 나타내었다. 정점 D1에서 D3사이의 표층 부근에서 5.5 ml/l이하의 상대적으로 낮은 용존산소를 가진 해수가 나타났으며, 정점 D1에서

D6사이의 수심 50 m 부근에 7.0 ml/l이상의 고농도인 용존산소를 가진 해수가 존재하였으며, 이것을 경계로 상하로 용존산소 농도가 감소하고 있음을 볼 수 있었다. 각 대표 정점별 용존산소의 수직적 변화를 나타낸 Fig. 7를 살펴보면, 용존산소 최대층은 수심 30~50 m 사이에 존재 하였고 정점 A 및 C line에서 나타났던 용존산소 최소층은 출현하지 않았다.

수괴분석

본 조사 해역에서 수온 (temperature), 염분 (salinity), 용존산소 (dissolved oxygen) 등의 차이에 따라 수괴는 동해표층저염수 (LSSW : Low Saline Surface Water), 대만난류표층수 (TSW : sushima Surface Water), 대만난

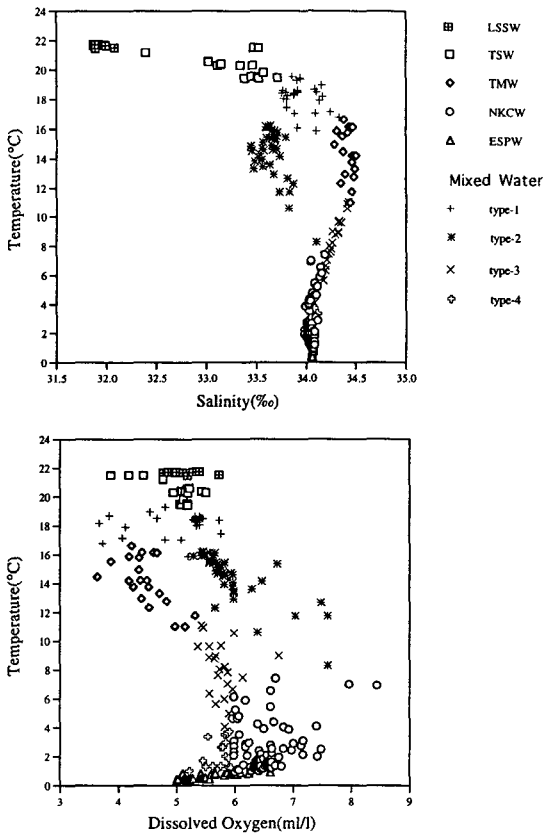


Fig. 8. Schematic diagrams showing relationship between temperature and salinity; temperature and dissolved oxygen at all stations. Water masses are denoted as abbreviations : LSSW (Low Saline Surface Water), TSW (Tsushima Surface Water), TMW (Tsushima Middle Water), NKCW (North Korean Cold Water), ESPW (East Sea Proper Water) and 4 Mixed Water Masses.

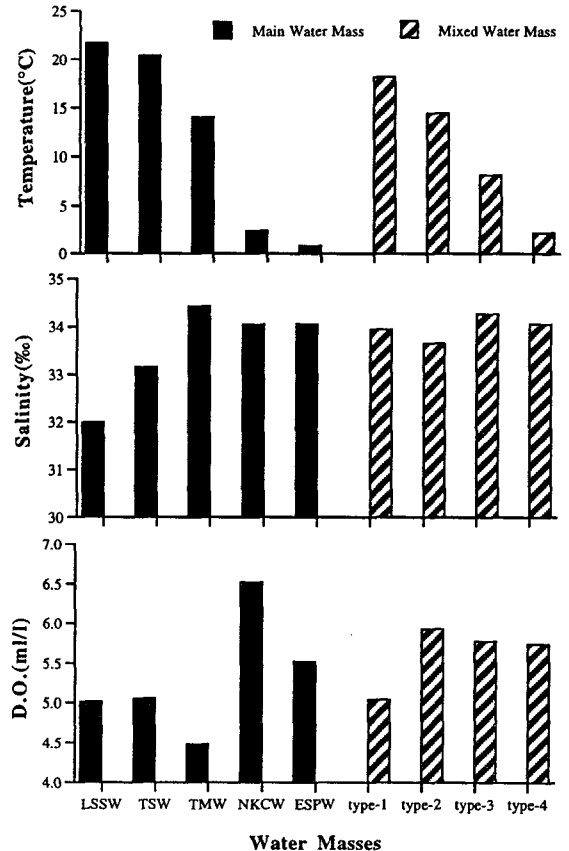


Fig. 9. Mean values of temperature, salinity and dissolved oxygen according to water masses observed in the study area. Water masses are denoted as abbreviations : LSSW (Low Saline Surface Water), TSW (Tsushima Surface Water), TMW (Tsushima Middle Water), NKCW (North Korean Cold Water), ESPW (East Sea Proper Water), and 4 Mixed Water Masses.

류중층수 (TMW : Tsushima Middle Water), 북한한류수 (NKCW : North Korean Cold Water), 동해고유수 (ESPW : East Sea Proper Water) 등 5개의 주수괴 (Main Water Masses)와 각 수괴들이 혼합된 4개의 혼합수 (MW : Mixed Water) type-1, type-2, type-3, type-4등 총 9개로 구분되었다.

Fig. 8에 나타난 수온과 염분관계에서 동해고유수와 북한한류수는 x축의 한점에서 수직적으로 거의 일직선 상에 놓여 있고, 수온이 높아짐에 따라 대마난류중층수, 대마난류표층수, 그리고 동해표층저염수로 이어지고 있으며 대마난류중층수를 제외하고 염분이 급속히 감소함을 볼 수 있다. 그리고 T-S Diagram상에서 구분되지 않았던 북한한류수와 동해고유수가 수온과 용존 산소의 관계에서 명확히 구분되었다 (Fig. 8).

본 연구에서 관찰된 수괴들의 수온, 염분 그리고 용존 산소 농도의 범위 (Table 1)와 평균값을 보면 (Fig. 9), 주수괴의 경우 동해표층저염수의 수온 평균값이 21.65°C로 가장 높았으며, 대마난류표층수 (20.43°C), 대마난류중층수 (14.4°C), 북한한류수 (2.37°C), 동해고유수 (0.78°C)의 순으로 낮아졌다. 이와는 달리 염분의 경우 동해표층저염수의 평균값이 31.99‰로 가장 낮았고, 대마난류중층수의 평균값이 34.42‰로 가장 높았으며, 대마난류표층수는 33.15‰, 그리고 북한한류수와 동해고유수는 각각 34.05‰, 34.06‰로 비슷하게 나타났다. 용존산소 분포를 살펴보면, 북한한류수에서 평균 6.52 ml/l로 가장 높았고 대마난류중층수에서 평균 4.48 ml/l로 가장 낮았다. 각 혼합수괴의 기원을 추측해 보면, type-1은 평균 수온 18.18°C, 염분 33.94‰, 용존산소 5.04 ml/l의 값으로 대마난류

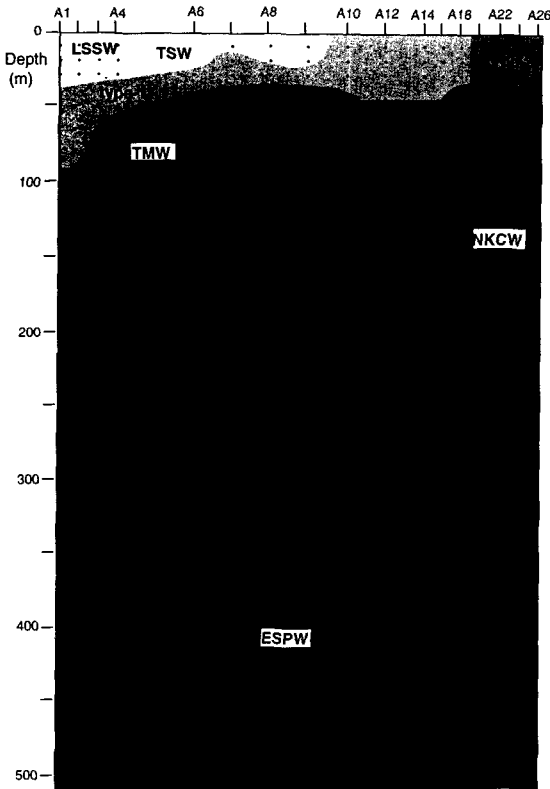


Fig. 10. A schematic diagram of water mass distribution along the A line. Water masses are denoted as abbreviations : LSSW (Low Saline Surface Water), TSW (Tsushima Surface Water), TMW (Tsushima Middle Water), NKCW (North Korean Cold Water), ESPW (East Sea Proper Water), and 4 Mixed Water Masses.

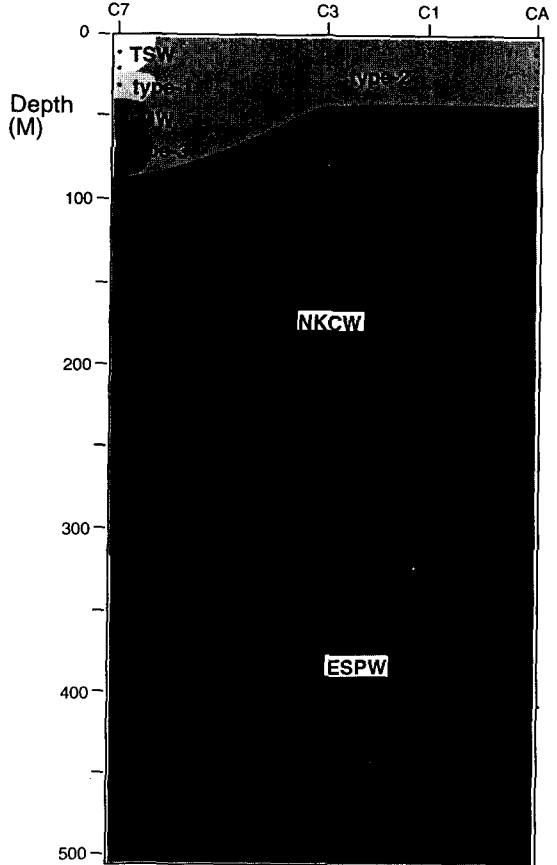


Fig. 11. A schematic diagram of water mass distribution along the C line. Water masses are denoted as abbreviations : TSW (Tsushima Surface Water), TMW (Tsushima Middle Water), NKCW (North Korean Cold Water), ESPW (East Sea Proper Water), and 4 Mixed Water Masses.

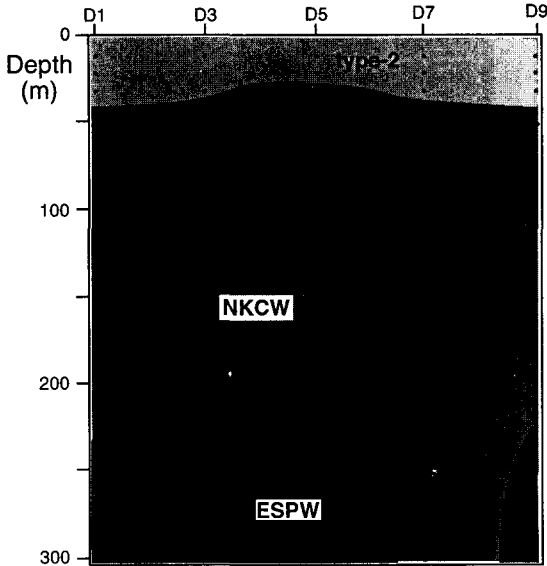


Fig. 12. A schematic diagram of water mass distribution along the D line. Water masses are denoted as abbreviations : NKCW (North Korean Cold Water), ESPW (East Sea Proper Water), and Mixed Water Mass of type-2.

표층수와 대마난류중층수의 혼합수로 생각되며, type-2는 평균 수온 14.51°C, 염분 33.65‰, 용존산소 5.93ml/l로 대마난류표층수와 북한한류수의 혼합수로 생각된다. 평균 수온 8.14°C, 염분 34.26‰, 용존산소 5.78ml/l인 type-3은 높은 염분값과 용존산소값에서 대마난류중층수와 북한한류수의 혼합수로 생각되며, type-4은 평균 수온 2.11°C,

염분 34.06‰ 그리고 용존산소 5.74 ml/l의 값으로서 북한한류수와 동해고유수의 혼합수로 생각된다.

본 연구 해역에서 나타난 각 수괴 분포를 Fig. 10, 11, 12에 나타내었다. A line의 수직적 수괴 분포를 보면 (Fig. 10), 정점 A1~A4의 수심 20 m 상부층에 동해표층저염수가 존재하였고 그 아래 수심 약 30 m부터 정점 A9와 A10사이의 수심 약 20 m 상부층까지 대마난류표층수가 나타났으며, 대마난류중층수는 정점 A10 이남의 수심 125 m 상부층에 존재하였다. 북한한류수는 정점 A7에서 A9의 수심 약 150 m에서 200 m 사이에, 그리고 정점 A10에서 A12의 수심 약 100 m에서 150 m 사이에 patch 형태로 나타났으며, 정점 A16 이북부터는 수심 30 m 이하에서 수심 200 m 이하까지 안정적으로 나타났다. 동해고유수는 정점 A10을 경계로 남쪽에서는 수심 300 m 이하에 나타났고, 북쪽에서는 수심 약 200 m 이하부터 나타났다.

C 단면과 D 단면에서의 수괴 분포를 보면 (Fig. 11 and Fig. 12), 이 해역은 혼합수 (type-2), 북한한류수 그리고 동해고유수로 구성되어 있음을 볼 수 있다. C 단면에서 혼합수는 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 약 75 m에서 30 m로 두께가 얇아졌으며, 그 아래 수층에는 약 200 m까지 북한한류수가, 그리고 그 아래 수심부터 동해고유수가 존재하였다. 가장 남쪽 정점인 C7에 국한되어서 수심에 따라 수괴가 복잡하게 나타났는데, 20 m 상부층에 대마난류표층수, 약 50 m 부근에 대마난류중층수 그리고 이 수괴들 사이에 type-1의 혼합수괴가 나타났고, 수심 약 100 m에서 200 m 사이에 북한한류수가 존재하였으며 대마난류중층수와 북한한류수 사이에 type-3의 혼합수괴가 나

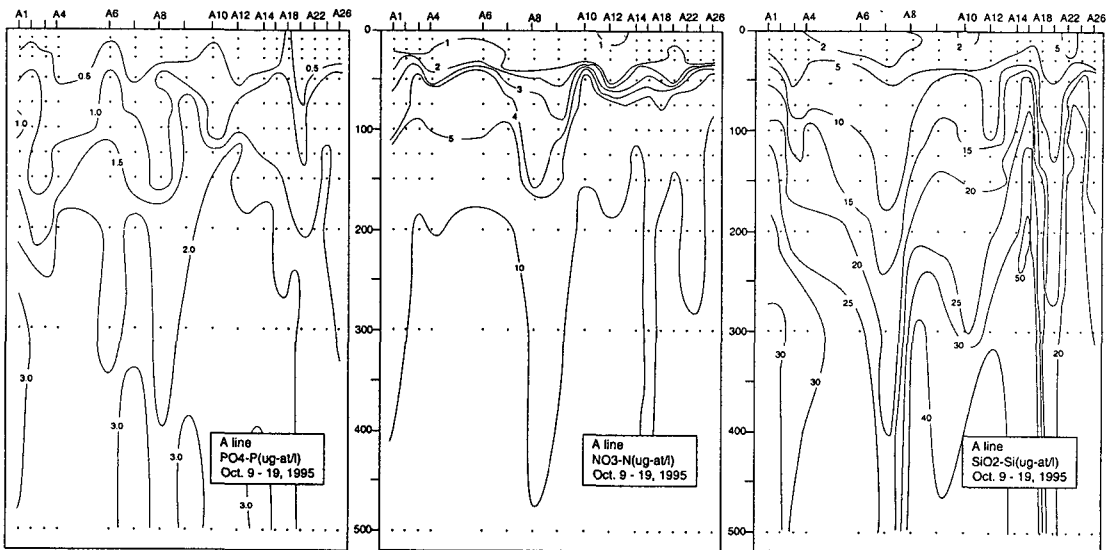


Fig. 13. Vertical profiles of nutrient concentrations along the A line.

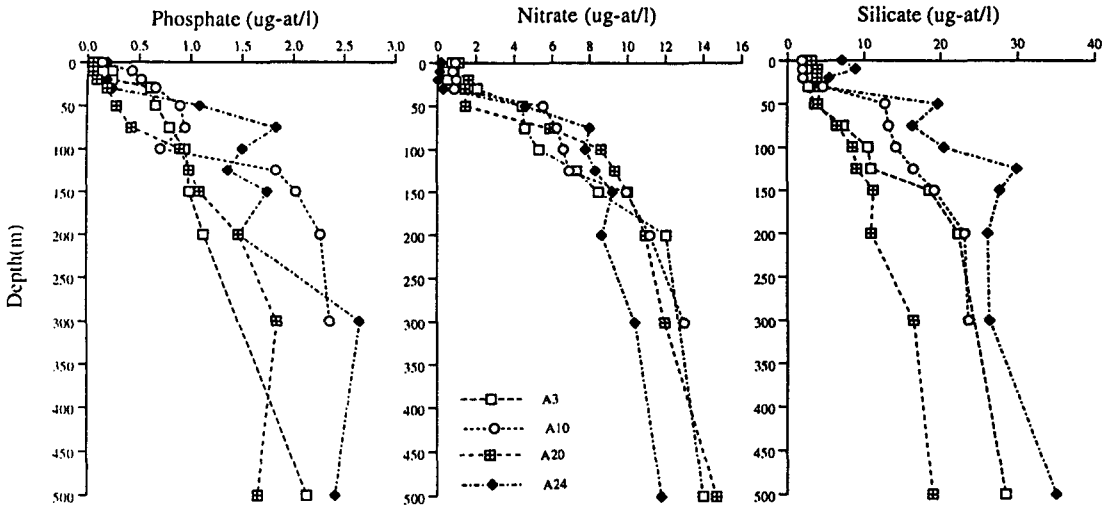


Fig. 14. Vertical distributions of nutrient concentrations along the A line.

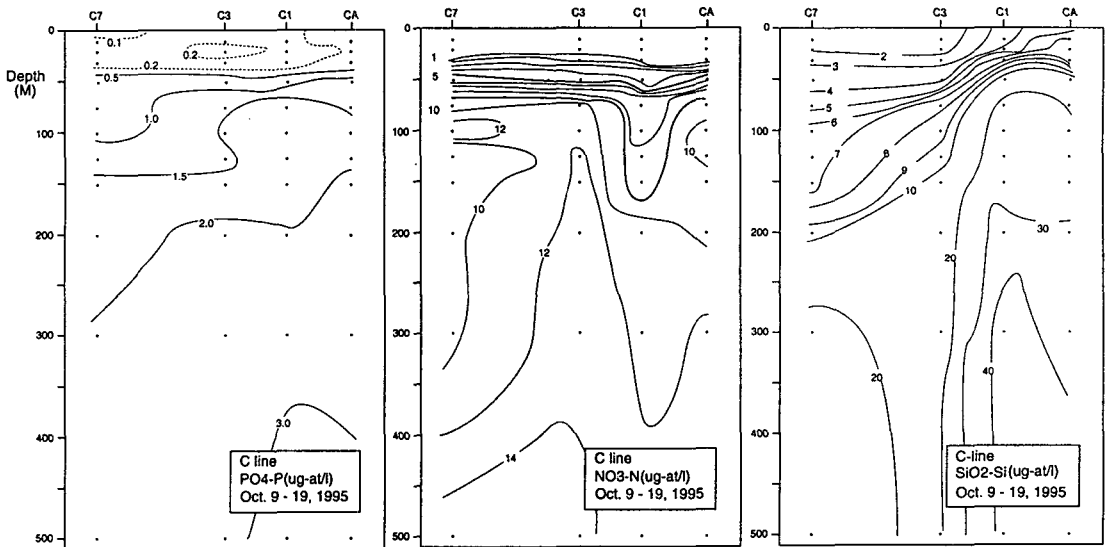


Fig. 15. Vertical profiles of nutrient concentrations along the C line.

타났다. 그리고 수심 약 200 m이하에 동해고유수가 나타났으며 북한한류수와 동해고유수 사이에 type-4의 혼합수괴가 나타났다. D 단면에서는 수심 약 30m까지 type-2의 혼합수괴가 존재하였고, 그 아래 약 200m까지 북한한류수가 나타났으며, 동해고유수가 그 아래 나타났다.

영양염 분포

A line의 영양염의 농도변화를 Fig. 13에 나타내었다. 인산염의 경우 농도범위는 0.05~4.16 $\mu\text{g-at/l}$ 으로 정점 A20의 표층과 10m 그리고 정점 A22와 A24의 수심 10m

에서 가장 낮은 값을 보였으며 정점 A18의 500m 수심에서 가장 높은 값을 보였다. 질산염은 0.03~14.84 $\mu\text{g-at/l}$ 의 농도 범위로 정점 A16의 20m와 30m에서 가장 낮은 값을 보였고 정점 A14의 500m 수심에서 가장 높은 값을 나타냈으며, 수심에 따라 증가하는 양상을 보였다. 규산염은 1.02~68.77 $\mu\text{g-at/l}$ 의 농도 범위로 정점 A6의 표층에서 가장 낮은 값을 나타내었고 정점 A12의 500m 수심에서 가장 높은 값을 나타내었으며 수심에 따라 대체로 증가하는 양상이었다. 대표 정점의 영양염 수직 분포를 Fig. 15에 나타내었는데, 혼합층내에서 균일하게 낮은 농도를 보이다가 수온약층 부근에서 급격히 증가하였고, 그후

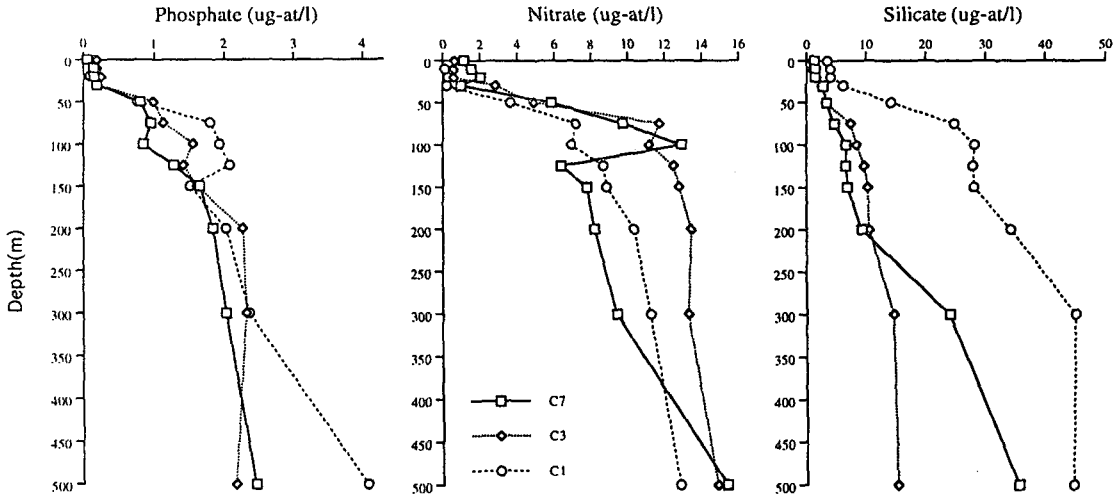


Fig. 16. Vertical distributions of nutrient concentrations along the C line.

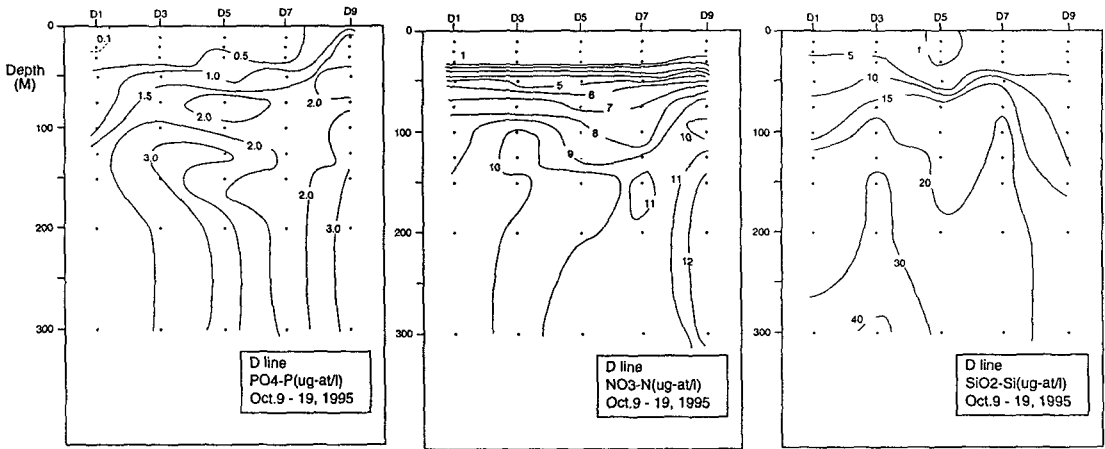


Fig. 17. Vertical profiles of nutrient concentrations along the D line.

500 m까지는 계속해서 서서히 증가하는 양상이었다. 전선이 형성된 정점 A20의 수심 50 m 부근에서는 영양염의 농도가 상대적으로 낮게 나타났는데 이는 전선역의 아표층에서 chlorophyll a 농도가 최대 (Yang et al. not published)였던 것과 일치하고 있다.

C line의 영양염 변화를 살펴보면 (Fig. 15), 인산염의 경우 0.05~4.07 $\mu\text{g-at/l}$ 의 범위로 정점 C7의 표층에서 가장 낮은 값을 나타내었고 정점 C1의 500 m 수심에서 가장 높은 값을 보였다. 질산염의 경우 농도 범위가 0.11~15.40 $\mu\text{g-at/l}$ 으로 정점 C1의 10 m 수심에서 가장 낮은 값을 나타내었고 정점 C7의 500 m 수심에서 가장 높은 값을 나타내었다. 규산염의 경우 0.92~51.88 $\mu\text{g-at/l}$ 의 농도 범위를 가지고 있었으며 정점 C3의 10 m 수심에서 가장 낮은 농도를 나타내었고 정점 CA의 500 m 수심에서 가장

높은 농도를 나타내었다. Fig. 16에서 보는 바와 같이, 인산염, 질산염, 규산염 모두 혼합층내에서 균일하게 낮은 농도를 보이다가 수온약층 부근에서 급격히 농도가 증가하였으며, 그 후 수심에 따라 약간씩 증가하는 양상이었다.

D line의 영양염의 농도 변화를 Fig. 17에 나타내었다. 인산염은 0.05~3.97 $\mu\text{g-at/l}$ 의 농도 범위로 정점 D1의 표층, 10 m 그리고 20 m에서 비교적 낮은 농도값을 나타냈으며 정점 D5의 300 m 수심에서 가장 높은 값을 보였다. 질산염의 경우 0.11~12.52 $\mu\text{g-at/l}$ 의 농도 범위로 정점 D1의 표층에서 가장 낮은 값을 보였고 D5의 150 m에서 가장 높은 값을 나타내었다. 규산염의 경우를 살펴보면 0.91~40.18 $\mu\text{g-at/l}$ 의 범위로 정점 D5의 표층과 20 m에서 가장 낮았고 정점 D3의 300 m 수심에서 가장 높았다. 농

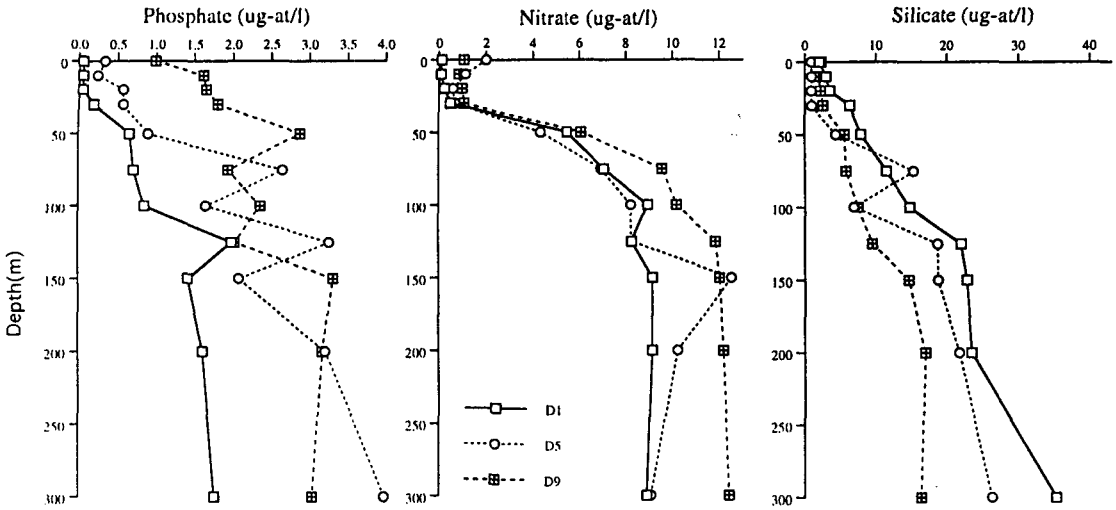


Fig. 18. Vertical distributions of nutrient concentrations along the D line.

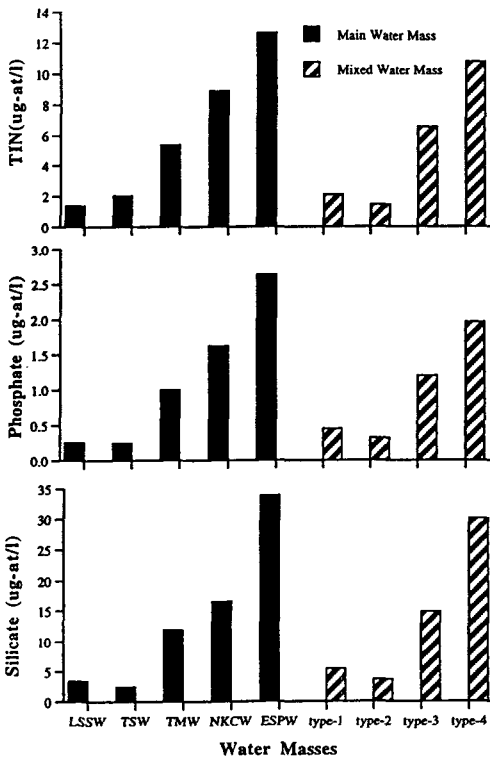


Fig. 19. Mean values of nutrient concentration according to water masses observed in the study area. Water masses are denoted as abbreviations : LSSW (Low Saline Surface Water), TSW (Tsushima Surface Water), TMW (Tsushima Middle Water), NKCW (North Korean Cold Water), ESPW (East Sea Proper Water), and 4 Mixed Water Masses.

도는 수심에 따라 증가하는 양상이었다. 각 대표 정점에서의 수직적 농도 분포를 살펴보면 (Fig. 18), 수심 30m까지의 혼합층에서 낮은 농도로 비교적 균일한 분포를 보이다가 인산염과 질산염은 수심 30m~50m사이에서 급격히 증가하여 수심 150m까지 변화는 있으나 증가하는 경향이었고 그 후 비교적 일정한 농도를 나타내었다. 규산염은 수심에 따라 서서히 증가하여 수심 300m까지 계속 증가하는 양상을 보였다.

조사해역에서 출현한 각 수괴의 평균 영양염 농도 (Fig. 19)와 영양염 상호관계 (Table 2)를 보면 동해고유수에서 영양염 농도가 가장 높고 그 다음으로 북한한류수, 대마난류 중층수, 대마난류 표층수의 순이었다. 동해 표층 저염수의 경우 질산염 및 인산염의 농도는 대마난류 표층수와 비슷하였으나 규산염의 농도가 다소 높았다. 규산염과 인산염의 비 (Si/P ratio)를 보면 출현 수괴 중 가장 연령이 적은 북한한류수가 10.96으로 가장 낮았으며 그외의 수괴는 12.19~19.13 범위이었다. 가장 오래된 수괴인 동해고유수에서의 비율 13.63은 동해에서 이제까지 보고된 Kido and Nishimura (1973)의 80 및 Moon et al. (1996)의 25.16에 비하여 매우 낮은 값이다. 이는 영양염의 수직분포에서 보듯이 수온약층 아래에서 규산염뿐 아니라 인산염도 계속 증가한 결과이다. 본 조사해역 상층부의 수온이 낮아 인산염의 분해가 서서히 일어나 이러한 현상이 일어난 것으로 생각되나 앞으로 동해의 깊은 수심까지 연구가 되어야 할 것이다. 질산염과 인산염의 비 (N/P ratio)는 대마난류 표층수의 14.56을 제외하고는 Redfield ratio 보다 낮았으며 또한 질산염과 인산염의 상관 관계식 (Fig.20)에서 기울기는 3.9로서 질산염이 식물플랑크톤 성장의 제한요소를 보여주고 있다. 결보

Table 2. Physical and chemical characters for water masses observed in October, 1995. The water masses are divided into 5 groups : LSSW (Low Saline Surface Water), TSW (Tsushima Surface Water), TMW (Tsushima Middle Water), NKCW (North Korean Cold Water), ESPW (East Sea Proper Water). Values in parenthesis are ranges

	Temp. (°C)	Sal. (‰)	DO (ml/l)	AOU (ml/l)	TIN (ug-at/l)	Phosphate (ug-at/l)	Silicate (ug-at/l)	AOU/P (ml-at/l)	N/P (atomic ratio)	Si/P (atomic ratio)
LSSW	21.65 (21.47~21.74)	31.99 (31.87~32.08)	5.01 (4.77~5.73)	-0.01 (-0.62~0.33)	1.40 (0.44~1.71)	0.26 (0.05~0.52)	3.49 (1.60~5.4)	-0.64 (-6.89~1.38)	9.68 (2.96~28.20)	19.13 (5.35~41.60)
TSW	20.43 (19.47~21.51)	33.15 (32.39~33.71)	5.05 (3.87~5.50)	0.20 (-0.31~1.24)	0.02 (0.79~4.01)	0.25 (0.05~0.61)	2.49 (0.91~9.72)	0.36 (-6.20~2.33)	14.56 (2.00~52.40)	14.28 (3.09~62.00)
TMW	14.14 (11.01~16.63)	34.42 (34.28~34.50)	4.48 (3.64~5.31)	1.34 (0.79~2.13)	5.33 (2.48~7.65)	1.00 (0.28~1.84)	11.92 (2.78~27.04)	1.54 (0.67~4.64)	6.02 (2.19~14.25)	12.19 (3.09~29.87)
NKCW	2.37 (1.00~7.42)	34.05 (33.98~34.18)	6.52 (5.98~8.44)	1.11 (-1.62~1.88)	8.87 (1.47~14.56)	1.62 (0.38~3.88)	16.55 (0.96~40.18)	0.66 (-4.26~1.69)	6.09 (2.12~17.40)	10.96 (1.68~32.96)
ESPW	0.78 (0.37~0.93)	34.06 (34.05~34.07)	5.52 (5.00~6.10)	2.44 (1.29~3.01)	12.66 (9.09~16.61)	2.63 (1.47~4.16)	33.93 (14.64~68.77)	0.98 (0.53~1.52)	5.06 (2.50~10.07)	13.63 (5.40~30.98)

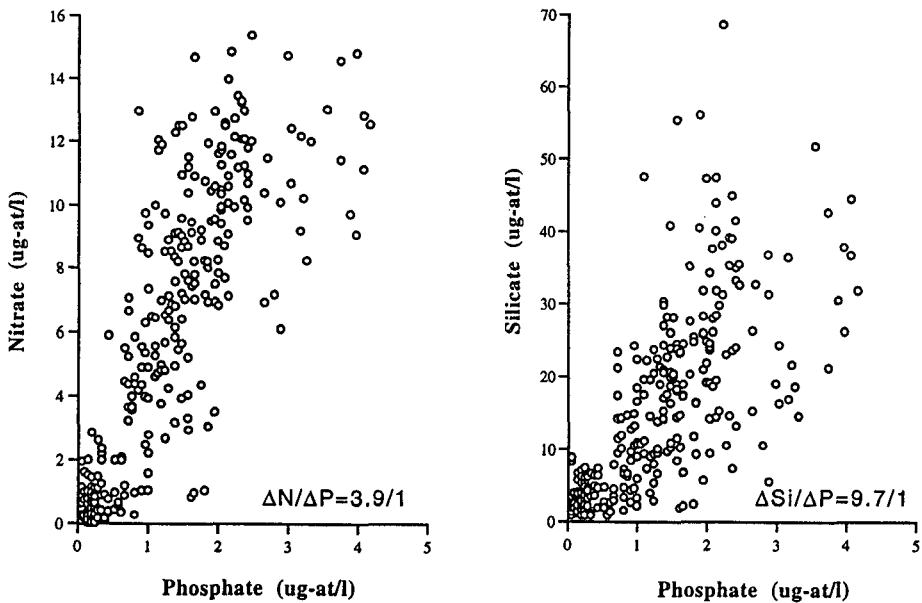


Fig. 20. Nitrate-phosphate and silicate-phosphate relationships in the East Sea.

기 산소 소비량과 인산염의 비율 (AOU/P ratio)을 보면 동해표층저염수에서 음의 값이며 용존산소가 적은 대마난류표층수에서 1.54로 가장 높았다. 순전히 호흡작용을 통한 생물학적 변수로서 정의된 AOU 값은 수온과 염분

등의 물리적 변수만으로도 그 값이 상당히 변할수 있는 용존산소 측정치보다 수괴분석의 추적자로서 더 유용할 수 있다 (Kim et al., 1991; Yang et al., 1991). Fig. 20에서 질산염이 인산염에 대해 정의 상관관계를 보이는 것과

비교해서 규산염은 인산염에 대해 지수적 증가를 나타내었는데, 이는 Kido and Nishimura (1973)가 언급한 바와 같이 질산염과 인산염의 재생산 경향은 비슷하나 규산염의 경우 재생산 속도가 다른 영양염에 비해 늦기때문으로 사료된다.

요 약

1995년 10월 탐양호를 이용하여 동해 중부 및 북부해역의 28개 정점에서 CTD 관측과 동시에 영양염의 분포 특성을 최대 500 m 깊이까지 조사하였다. 수온·염분 및 용존산소로서 조사해역의 수괴는 동해표층저염수 (Low Saline Surface Water, LSSW), 대마난류표층수 (Tsushima Surface Water, TSW), 대마난류중층수 (Tsushima Middle Water, TMW), 북한한류수 (North Korean Cold Water, NKCW) 및 동해고유수 (East Sea Proper Water, ESPW) 등의 5개 주수괴와 각 수괴들의 혼합수로 이루어졌다. 특히 조사해역의 남쪽 지점의 수심 0~30 m에서 출현한 동해표층저염수는 이 곳에 특별한 담수 공급원이 없는 것으로 보아 중국의 양자강 유출수가 유입된 것으로 판단된다. 산소 최대층은 조사해역 북쪽에서는 표층 근처에 나타나고 남쪽으로 갈수록 그 수심이 깊어졌으며 대마난류중층수의 특징인 용존산소 최소층은 남쪽 해역에서만 출현하였다. 영양염은 표층에서 낮고 수온약층에서 증가하여 동해고유수에서 최대이었다. 동해고유수에서 규산염과 인산염의 비 (Si/P ratio)가 13.63으로 이제까지 동해에서 보고된 수치에 비하여 매우 낮았는데 이는 P가 수심에 따라 계속 증가하는 양상이었기 때문이다. 질산염과 인산염의 비 (N/P ratio)는 약 6.92로 대마난류표층수를 제외하고 질산염이 식물플랑크톤 성장의 제한 요소로 작용하고 있었다. N과 P는 양의 직선관계를 보였으나 Si와 P의 관계는 지수적 증가를 보여 규산염의 재생산 속도가 느림을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

- Carpenter, J. H. 1965. The Chesapeake Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 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 (in Korean).
- Hong, C. H., K. D. Cho and S. K. Yang. 1984. On the abnormal cooling phenomenon in the coastal areas of East Sea of Korea in summer, 1981. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 19, 11~17 (in Korean).
- 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, K., K. R. Kim, J. Y. Chung, H. S. Yoo and S. G. Park. 1991. Characteristics of physical properties in the Ulleung Basin. *J. Oceanogr. 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 Sea*. ed. by T. Ichiye, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, pp. 55~65.
- 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 (in Korean).
- Kim, I. O. and H. K. Rho. 1994. A study on China Coastal Water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. *Bull. Korean Fish. Soc.* 27, 515~528 (in Korean).
- Moon, C. H., H. S. Yang and K. W. Lee. 1996. Regeneration processes of nutrients in the polar front area of the East Sea 1. Relationship between water mass and nutrient distribution pattern in Autumn. *J. Korean Fish Soc.*, 29, 503~526 (in Korean).
- Park, C.K. 1978. Chemical oceanographic aspect of the cold water mass in off shore of the east coast of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 11, 49~54 (in Korean).
- Park, C. K. 1979. On the distribution of dissolved oxygen off the east coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 14, 67~70 (in Korean).
- Park, J. S., C. K. Kang and K. H. An. 1991. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the polar front region off the east coast of Korea in summer. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24, 237~247.
- Raymont, J. E. G. 1980. Plankton and productivity in the oceans. *Phytoplankton*. Pergamon Press, vol. 1, 8~9.
- Shim, J. H., S. R. Yang, and W. H. Lee. 1989. Phytoplankton and the vertical pattern of nitracline in the southern waters of the Korean East Sea in early spring. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 24 (1) : 15~28.
- Shim, J. H., H. G. Yea and J. G. Park. 1992. Primary production system in the southern waters of the East Sea, Korea. (1) (Biomass and Productivity). *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 27, 91~100.
- Shim, J. H., H. G. Yea and J. G. Park. 1995. Primary production system in the southern waters of the East Sea, Korea (2) (The structure of phytoplankton community). *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 30, 163~169.
- Shim, J. H., W. H. Lee and S. Y. Bak. 1985. Studies on the plankton in the southwestern waters of the East Sea (Sea of Japan) (2) (phytoplankton- standing crop, nanofraction, and primary production). *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 20, 37~54.

- Shim, J. H. and Y. C. Park. 1986. Primary productivity measurement using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 21, 13~24.
- Shin, H. R. 1994. Analysis of seasonal distribution of water mass in the Korea Strait and the East China Sea. *J. Korean Earth Science Soc.*, 15, 81~90 (in Korean).
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167, 319. pp.
- 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 to Korea Peninsula. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24, 185~192 (in Korean).
- Yasui, M., Y. Yasuoka, K. Tamioka and O. Shiota. 1967. Oceanographic studies of the Japan Sea (1) Water characteristics. *Oceanographical Magazine*, 19, 177~192.

1996년 12월 19일 접수

1997년 5월 7일 수리