

동해 극전선의 영양염류 순환과정

II. 1995년 동계 입자태 유기탄소 및 유기질소의 분포

양한섭 · 문창호 · 오석진 · 이행필
부경대학교 해양학과

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

II. Distribution of Particulate Organic Carbon and Nitrogen in Winter, 1995

Han-Soeb YANG, Chang-Ho MOON, Seok-Jin OH and Haeng-Pil LEE

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

The chemical properties of water masses were investigated at 33 stations of the southeastern East Sea in February, 1995 on board R/V Tam-Yang. The water masses were not clearly distinguished due to the vertical mixing in winter. However, on the basis of the T-S and T-O₂ diagrams, water masses in the study area were divided into five groups (Type I, Type II, Type III, Type IV, Type V). (1) >9.0°C, >34.35 psu, 5.08~5.60 ml/l at Type I, (2) 6.0~9.0°C, 34.15~34.35 psu, 5.60~5.90 ml/l at Type II, (3) 4.0~6.0°C, 34.00~34.15 psu, >5.90 ml/l at Type III, (4) 1.5~4.0°C, 34.00~34.05 psu, 5.40~5.90 ml/l at Type IV, (5) <1.5°C, 34.05~34.07 psu, 4.80~5.40 ml/l at Type V. In the vertical profiles of nutrients, the concentrations were very low in the surface layer and increased rapidly with depth. The highest concentrations occurred in Type IV, while the concentrations in Type I were the lowest. The N/P ratios were less than Redfield ratio, indicating that nitrogenous nutrients were the limiting factor for phytoplankton growth. The concentrations of POC and PON were in the range of 0.49~20.03 µg-at/l and 0.09~5.34 µg-at/l, respectively. The relatively high concentration occurred in the surface layer of inner shore, showing that the concentration at each water mass followed the order Type I > Type II > Type III > Type IV > Type V, respectively. The C:N ratio in particulate organic matter was lower than the values reported in other region due to relatively high concentrations of PON in the study area. Relatively high ratios of POC to chlorophyll *a* during the study periods indicate that non-living detritus comprised most of the POC in the study area.

Key words : East Sea, water mass, nutrients, N/P ratio, POC, PON, C/N ratio

서 론

해수중에 존재하는 입자성 유기물질은 미생물과 유기입자로 구성되어 있으며, 이들은 해양에서 먹이사슬의 에너지를 전송하는 역할을 수행한다 (Parsons et al., 1984). 또한, 입자성 유기물질은 해저바닥에 도달하여 저서생물에게 먹이 공급원이 되기도 한다. 입자성 유기물질의 조성은 대부분이 단백질이며, 미생물이 부착하여 이들은 다시 무기화과정을 거쳐 동·식물플랑크톤의 영양원이 되기도 한다.

한편, 동해에서 이화학적인 연구로 Shim and Park (1986)은 한국 동남해역의 기초생산력 (¹⁴C법)과 질소계 영양염의 동적관계에 대하여 연구한 결과, 대마난류는 한국의 해역을 통과하는 과정에서 활발한 영양염 재순환과 국지적인 용승류 및 연안수의 유입 등으로 기초생산력과

식물부유생물의 성장을 증가시키고 있다는 것을 밝혔다. Chung et al. (1989)은 동해에서 식물플랑크톤에 의한 기초생산력과 질소계 영양염과의 관계를 규명하기 위해 식물플랑크톤에 의한 일차생산력 및 동물플랑크톤에 의한 영양염 재생률 등을 측정하였다. 이들은 동물플랑크톤의 암모니아 분비에 의한 영양염 재순환이 식물플랑크톤의 일일 질소요구량중 7.3%를 공급하고 있으며, 질산염의 수직확산에 의해 수온약층 하부로부터 상부로 공급되는 질산염은 식물플랑크톤의 일일 질소요구량중 약 7%를 공급하고 있다는 것을 규명하였다. 그리고 Yang et al. (1991)은 동해 중부 극전선역에서 동계와 하계에 각종 수괴의 수직적 분포특성과 이 수괴들의 화학적 성질에 대해 연구하였다. 이들은 동해 중부해역에서 수괴를 구분하고, AOU의 수직분포가 생물·화학적 과정보다 물리적인 혼합과정에 의해 결정됨을 보여주었다. Moon et al.

(1996)은 동해 극전선역에서 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계에 대해 연구한 결과, 수온, 염분, 용존산소, AOU로 수괴를 구분하고, 각 영양염류의 수심에 따른 농도 변화와 그에 따른 N/P비의 변동을 밝혔다. 여기서 수직확산계수(Kz)를 이용하여 N/P비의 변화를 설명하고, 질산염의 공급량이 다른 해역에 비해 많다는 것을 보고하였다. 하지만 이 해역에서 동계의 해수특성 및 입자성 유기물질의 분포나 특성에 관련된 연구는 전무한 실정이다.

입자성 유기물질의 분포 및 계절적인 변동에 관한 국내의 연구로는 다음과 같은 것들이 있다. Moon et al. (1993)은 아산만에서 입자성 유기탄소의 농도를 결정하는 데 식물플랑크톤의 기초생산보다 유기입자의 변화가 더 큰 영향을 미친다고 하였다. Kang et al. (1993)은 늦여름 원문만 굴양식장에서 입자성 유기탄소의 일변동을 연구한 결과, 입자성 유기탄소의 양이 주로 미세조류에 의존하고, 생산된 입자성 유기탄소의 약 40% 정도는 분해, 36%는 만 외측으로 유출, 16%는 저질로 퇴적되는 것으로 추산하였다. Lee et al. (1994)은 진해만에서 입자성 유기물질의 농도가 식물플랑크톤 생물량에 의해 조절되며, 특히 여름철에 입자성 유기물의 농도가 높은 것은 육상으로부터 많은 영양염이 공급되어 식물플랑크톤의 대증식이 일어났기 때문이라고 하였다. 그러나 이러한 국내의 연구들은 주로 연안내만에서 수행된 것이다.

따라서 본 연구는 동계에 동해 남서해역에서 수온, 염분 및 용존산소의 분포로부터 수괴를 구별하고, 각 수괴별 영양염류와 입자성 유기탄소 및 유기질소의 농도분포 특성을 파악하여 영양염류의 순환과정을 이해하는 데 기초자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 부경대학교 해양탐사선인 탐양호를 이용하여 1995년 2월 14일부터 17일까지 북위 38°25'~38°12', 동경 128°36'~130°28'의 범위에서 동서 2개 단면을 설정하여 Rosette sampler를 이용하여 채수하였다 (Fig. 1). 정점간의 거리는 약 10 km이며, 각 정점에서 수심 500 m 까지 수층별로 채수하였다.

수온과 염분은 채수와 동시에 관측된 CTD자료 중 해당 수심의 값을 취하였으며, 용존산소는 CTD와 Winkler 방법 (Carpenter, 1965)의 측정치를 병행하였다.

영양염류 측정용 시료는 채수 즉시 GF/C 여과지로 여과하여 1% 황산구리용액을 소량 첨가한 후 냉동보관하였다가 시료분석 전 해동하여 비색정량하였다. 즉 질산염은 Cu-Cd 환원칼럼을 이용한 아질산 환원법으로, 아질

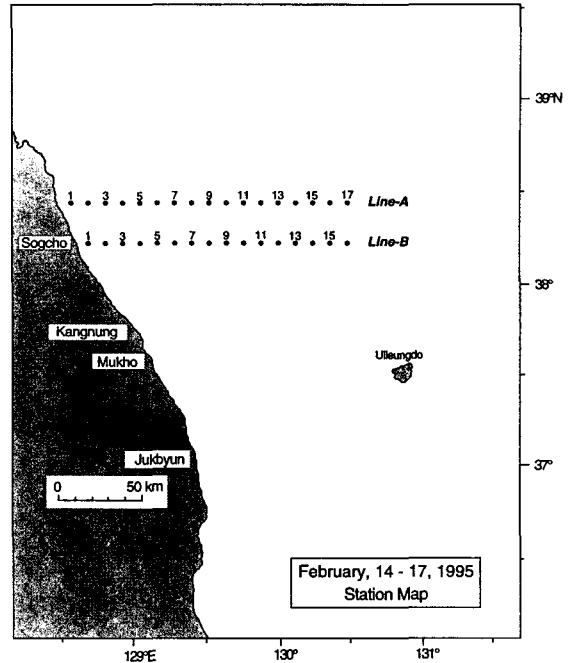


Fig. 1. A map showing the sampling area and stations.

산염은 sulfanilamide와 naphthyl-ethylendiamine으로 발색시켜 비색정량하고, 인산염은 ascorbic acid법, 규산염은 규소-몰리브덴산 착체법으로 비색정량하였다 (Strickland and Parsons, 1972).

Chlorophyll a의 농도는 현장에서 시료 200~300 ml를 공경 0.45 μm membrane filter로 여과하여 1% 탄산마그네슘으로 고정하였다. 여과지는 분석시까지 냉동보관하였다가 분석시 90% acetone 10 ml로 24시간 동안 색소추출한 다음 형광분석기 (Turner Designs Model 10)로 비색정량하였다 (Holm-Hansen et al., 1965).

입자성 유기탄소 (POC) 및 유기질소 (PON) 측정용 시료는 450°C에서 4시간 동안 회화시킨 유리섬유 여과지 (GF/C, 직경 13 mm)로 현장에서 해수 50~100 ml를 여과한 후 분석시까지 냉동보관하였다. 분석은 여과지를 항온건조기에서 50°C로 24시간 건조시킨 후 CHN analyzer (Perkin Elmer model 2400)를 이용하여 측정하였다 (Sharp, 1974; Telek and Marshall, 1974).

결과 및 고찰

수괴의 특성

수온, 염분 및 용존산소의 수직적 분포를 Fig. 2에 도

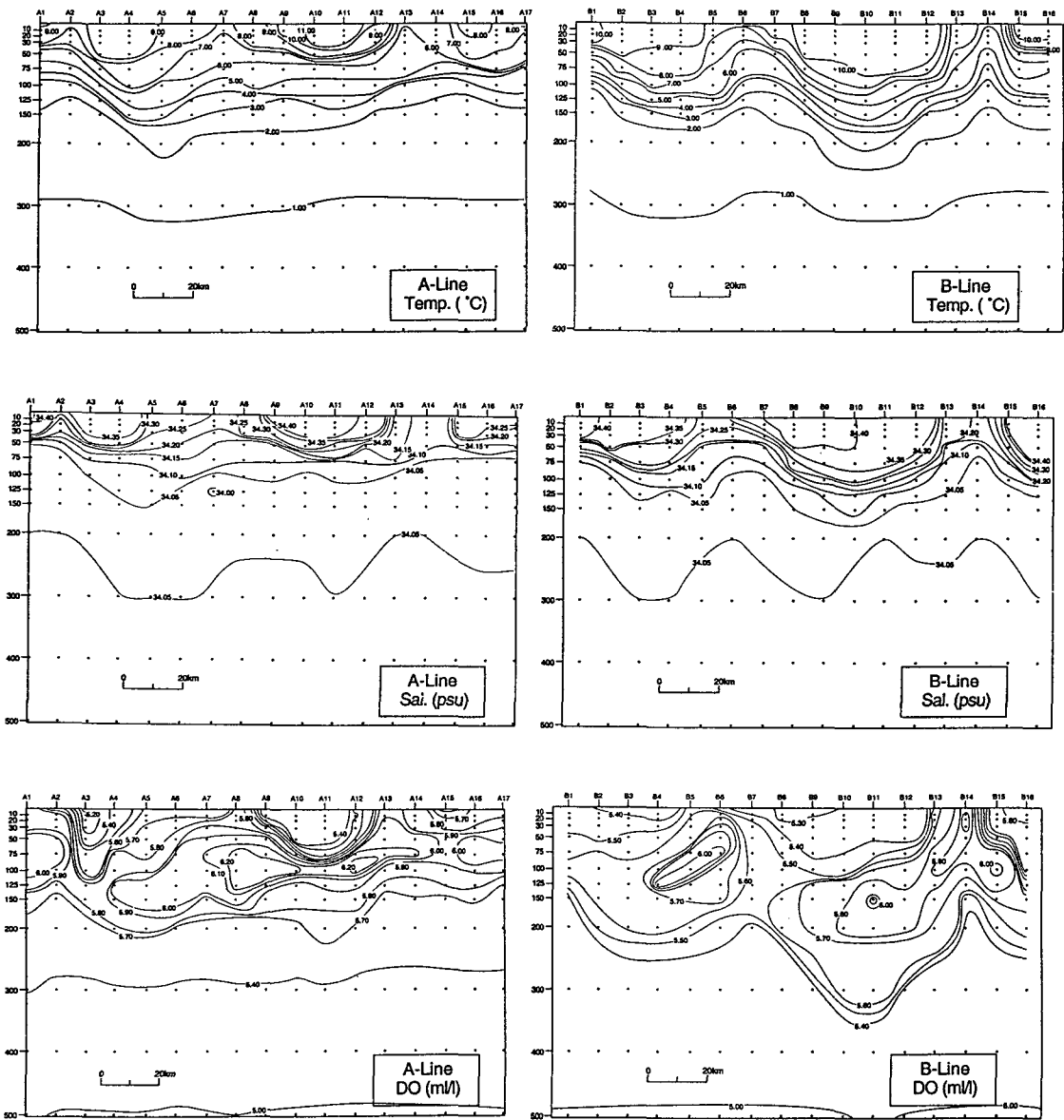


Fig. 2. Vertical profiles of temperature, salinity, and dissolved oxygen along A-transect and B-transect in February, 1995.

시하였다. 단면 A의 수온은 A3, A4, A5와 A9, A10, A11, A12의 표층 (<50 m)에서 9°C 이상이였다. 이 정점에서 염분은 약 34.30 psu 이상의 값을 나타내었으며, 용존산소는 5.08~5.60 ml/l의 범위였다. 용존산소 최대층 (>5.90 ml/l)은 수심 50~150 m에 존재하였다. 수온약층은 전 정점에서 매우 미약하였으나, 표층 (<50 m)수온이 상대적으로 높았던 정점에서 약하게 형성되었다. 단면 B에서 9°C이상의 수온이 단면 A보다 더 깊고 더 넓게 분포

하였으며, 염분 또한 비슷한 경향을 보였다. 그러나 용존산소 최대층의 농도는 약화되었다. 수온약층은 정점 B15와 B16에서만 미약하게 형성되었다. 수평분포는 고온 고염수가 단면 B에서 단면 A의 정점 A3, A4, A5와 A9, A10, A11로 그리고 저온 저염수가 정점 A5, A6, A7과 A12, A13에서 단면 B로 확장 되는 경향을 보였다.

본 조사해역에서 수온, 염분 및 용존산소를 이용한 T-S diagram 및 T-O₂ diagram으로부터 수괴는 5개의 Type

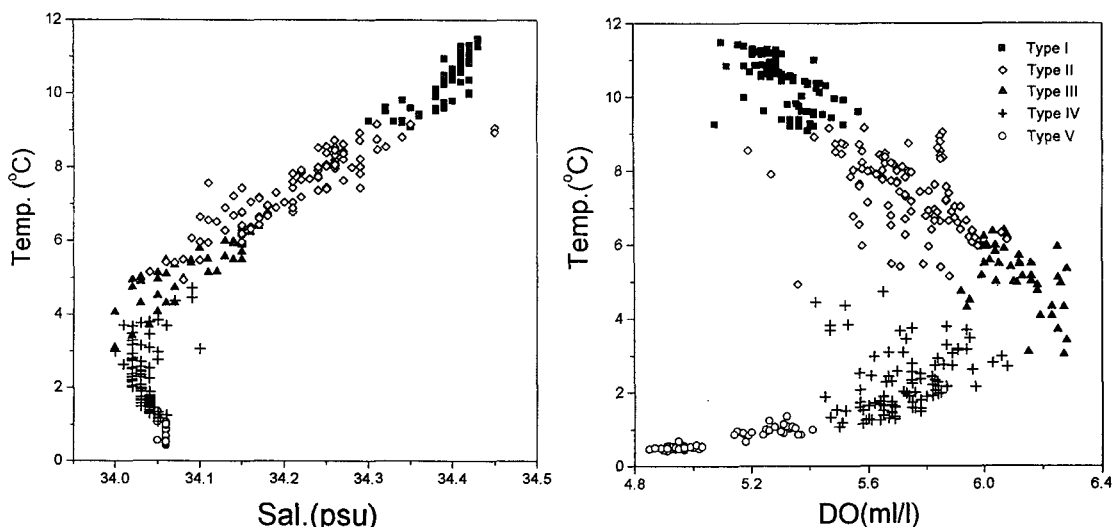


Fig. 3. Diagram of T-S and T-O₂ for all the station on two transects in February, 1995.

Table 1. Temperature, salinity, DO range at each water type in the East Sea in February, 1995

	Temp. (°C)	Sal. (psu)	DO (ml/l)
Type I	>9.0	>34.35	5.08~5.60
Type II	6.0~9.0	34.15~34.35	5.60~5.90
Type III	4.0~6.0	34.00~34.15	>5.90
Type IV	1.5~4.0	34.00~34.05	5.40~5.90
Type V	<1.5	34.05~34.07	4.80~5.40

으로 구분되었다 (Fig 3). 특히, T-S diagram에서는 잘 구분되지 않았던 Type IV와 Type V는 T-O₂ diagram에서 뚜렷이 구분되었다. 이들 각 수괴의 특성치는 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보듯이 Type II는 수온, 염

분, 용존산소값이 Type I과 Type III의 중간값을 나타내고 있어 이들 두 수괴의 혼합수로 보이며, Type IV는 Type III과 Type V의 혼합수인 듯하다. 본 조사해역의 특성치를 이제까지 동해 남부해역에서 출현한 수괴의 특성치와 비교하였을 때 (Table 2), Type I은 대마난류표층수 (Tsushima Surface Water, TSW)에 비하여 염분이 다소 높았고, Type II는 대마난류중층수 (Tsushima Middle Water, TMW)에 비하여 용존산소가 다소 높았다. Type III은 북한한류수 (North Korean Cold Water, NKCW)와 비교하였을 때 용존산소는 다소 낮았으나 그 외의 특성치는 유사하였다. 이렇게 기존 수괴와 명확히 일치하지 않는 것은 본 조사가 동계에 실시되어 표층수온의 감소로 인하여 수괴의 수직혼합이 강하게 일

Table 2. Distinctive values of temperature, salinity and dissolved oxygen reported previously for water mass in the central region of the Korean East Sea

Water mass	Temperature (°C)	Salinity (psu)	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				
(Tsushima Middle Water)	14~17	34.30~34.60	4.20~4.70	Park (1978, 1979)
	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				
(North Korea Cold Water)	1~7	33.95~34.10	-	Gong and Park (1996)
	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				
(East Sea Proper Water)	0~1	33.96~34.10	5.20~6.00	Park (1978, 1979)
	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)

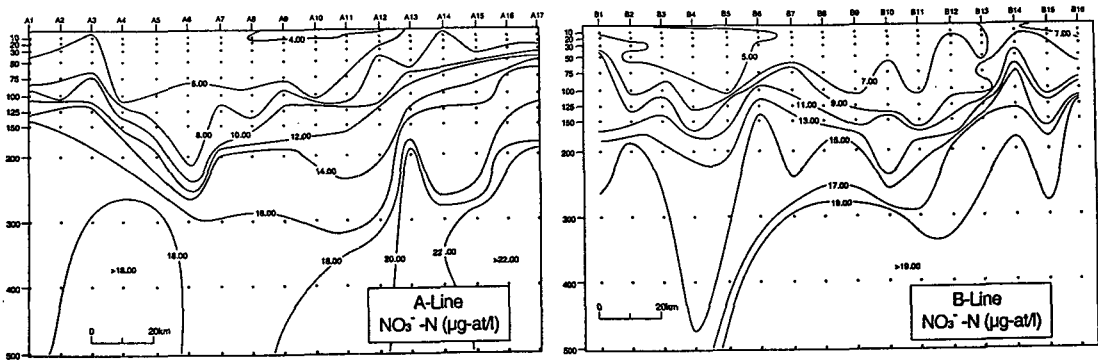


Fig. 4. Vertical profiles of $\text{NO}_3\text{-N}$ along A-transect and B-transect in February, 1995.

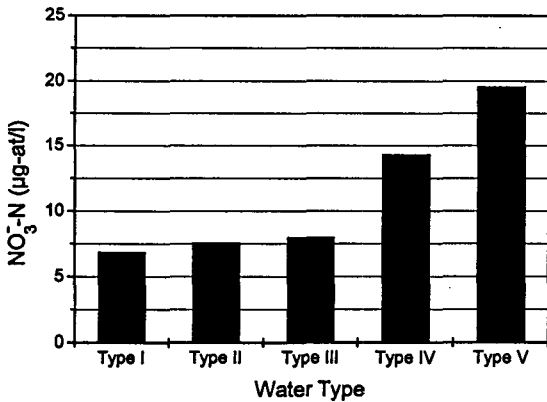


Fig. 5. Concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ at the each water type in the East Sea in February, 1995.

어나서 생긴 현상으로 사료된다. Type V는 기준에 보고된 동해고유수 (East Sea Proper Water, ESPW)와 특성치가 비슷하였다. 이들 수괴의 분포를 보면, 단면 A의 경우 Type I은 표층 약 50m까지 정점 A3, A4, A5와 A9,

A10, A11에서 나타났으며, Type III은 정점 A3과 A15를 제외한 나머지 정점의 약 50~150m에 분포하였고, Type V는 300m 이심에 존재하였다. Type II는 Type I과 Type III의 중간에 위치하고 있으며, Type IV는 Type V와 Type III의 가운데에 위치하고 있었다. 단면 B에서는 단면 A와 유사한 분포양상을 보이나, Type III이 미약해졌으며 Type I이 단면 A에서보다 더 크게 확장되었다.

무기 영양염류의 분포특성

영양염류의 분포는 수심이 증가할수록 농도가 증가하는 일반적인 경향을 보였다 (Fig. 4). 대표적으로 질산염을 보면, 단면 A는 수온약층이 형성되었던 정점 A3, A4, A5와 A9, A10, A11, A12에서는 수직혼합이 보이지 않으나, 나머지 정점에서는 저층에 있는 높은 농도의 질산염이 상부수층으로 올라오거나 표층의 낮은 농도가 하부수층으로 내려가는 것을 볼 수 있었다. 단면 B에서는 전체

Table 3. Mean concentration of nutrients, chlorophyll *a*, POC and PON (The values in parenthesis are standard deviations.)

Water Type	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	$\text{SiO}_2\text{-Si}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	Chl- <i>a</i>	POC	PON	POC/PON	POC/Chl- <i>a</i>
	($\mu\text{g-at}/\ell$)							
I	0.71 (± 0.29)	9.71 (± 2.77)	6.88 (± 5.56)	0.26 (± 0.86)	7.88 (± 4.38)	2.35 (± 1.20)	3.63 (± 1.59)	586 (± 469)
II	0.36 (± 0.89)	10.13 (± 3.31)	7.58 (± 4.21)	0.13 (± 0.10)	6.94 (± 3.54)	2.25 (± 0.82)	3.43 (± 2.55)	736 (± 673)
III	0.89 (± 0.24)	11.49 (± 3.50)	8.01 (± 2.90)	0.07 (± 0.06)	5.68 (± 2.36)	1.88 (± 0.61)	3.07 (± 1.56)	1541 (± 1139)
IV	1.61 (± 0.50)	19.10 (± 6.24)	14.33 (± 3.82)	0.01 (± 0.01)	4.58 (± 2.17)	1.72 (± 0.76)	2.91 (± 1.45)	3738 (± 1948)
V	2.13 (± 0.44)	32.90 (± 10.97)	19.58 (± 3.84)	0 (± 0.01)	3.29 (± 2.10)	1.34 (± 0.73)	2.85 (± 3.23)	4250 (± 2674)
Total	1.17	15.35	10.68	0.11	5.90	1.97	3.47	1962

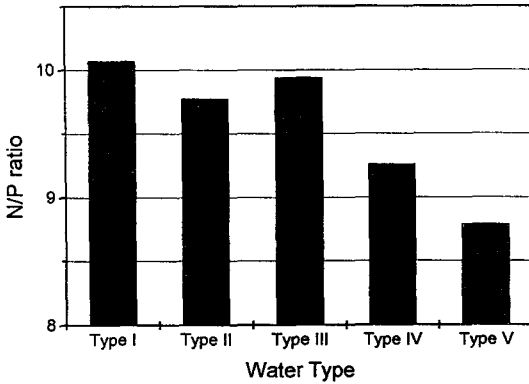


Fig. 6. N/P ratios at the each water type in the East Sea of in February, 1995.

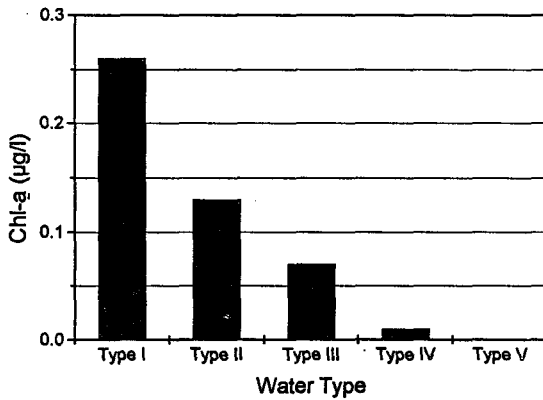


Fig. 7. Concentration of chl-a at the each water type in the East Sea in February, 1995.

적으로 수온약층이 형성된 정점 B15, B16을 제외한 정점에서 수직혼합이 활발하였으며, 나머지 영양염류 또한 이와 유사한 경향을 보였다.

각 수괴별 농도를 보면, 질산염은 Type I에서 농도(평균 ± 표준편차)는 $6.88 \pm 5.56 \mu\text{g-at}/\ell$ 이다. 그리고

Type II는 $7.58 \pm 4.21 \mu\text{g-at}/\ell$ 로 나타났으며, Type III은 $8.01 \pm 2.90 \mu\text{g-at}/\ell$ 로서 각 수괴마다 농도가 거의 비슷하게 나타났으나 Type IV에서 평균 $14.33 \pm 3.82 \mu\text{g-at}/\ell$ 로 크게 증가되었으며, Type V에서는 평균 $19.58 \pm 3.84 \mu\text{g-at}/\ell$ 이었다 (Fig 5). 인산염과 규산염에서도 유사한 양상을 보였다 (Table 3). 여기서 특이한 점은 수괴들의 영양염류 농도가 울릉분지에서 조사한 Moon et al. (1996)에 비해 변화폭이 상당히 컸는데, 이것은 수직혼합이 활발하여 같은 수괴에서도 이들 농도의 폭이 넓게 나타난 것으로 생각된다.

N/P ratio는 Type I에서는 평균 10.07, Type II는 평균 9.77이며, Type III은 9.94, Type VI는 9.26, Type V는 8.76이었다 (Fig. 6). 즉 거의 모든 곳에서 Redfield ratio보다 낮은 값을 보였으며, 질산염이 식물플랑크톤 성장의 제한인자로 작용하고 있음을 보여주고 있다. 지금까지 동해에서 보고된 N/P ratio와 비교하였을 때 표층수에서 측정된 2.1 (Chung et al., 1989)과 3.0 (Shim et al., 1989)에 비해서는 높은 값이지만, 추계 울릉분지에서 측정된 18.56 (Moon et al., 1996)보다는 낮은 값이었다.

조사기간 동안에 chlorophyll a의 수직분포를 보면 표층에서 최대였으며, 수심이 증가할수록 낮아지는 경향을 보였다. 일반적으로 아표층에서 chlorophyll a 농도가 최대로 나타나지만 본 조사시기가 동계이기 때문에 표층에서 광저해현상이 없었던 것으로 판단된다. 각 수괴별 chlorophyll a의 농도를 보면 표층 부근에 있는 Type I에서 $0.26 \pm 0.86 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 높았으며, 그 하부층인 Type II는 $0.13 \pm 0.10 \mu\text{g}/\ell$, Type III은 $0.07 \pm 0.06 \mu\text{g}/\ell$ 로 수심이 깊어질수록 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 Type IV와 Type V에서는 거의 검출되지 않았다 (Fig 7). chlorophyll a의 농도는 추계 동남해역의 $0.97 \sim 3.59 \mu\text{g}/\ell$ (Shim and Park, 1986)보다는 낮은 수치였으며, 추계 동해 중·북부해역의 $0.03 \sim 0.17 \mu\text{g}/\ell$ (Cho et al., 1997)보다 다소 높았다.

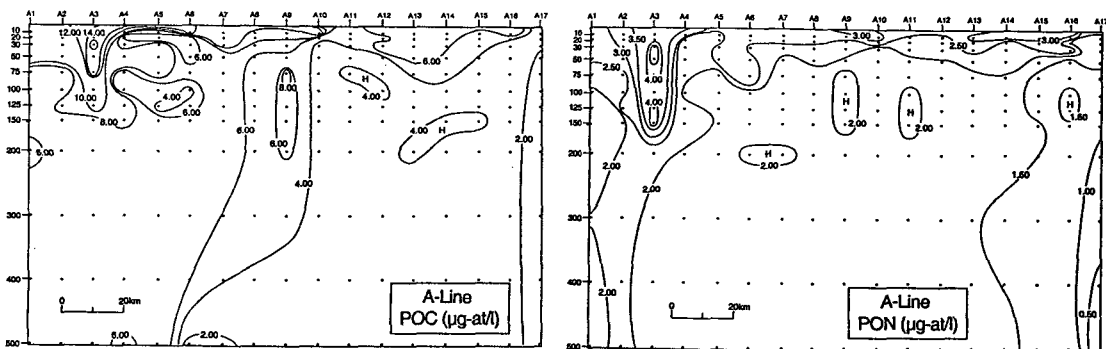


Fig. 8. Vertical profiles of POC and PON concentration along A-transect in February, 1995.

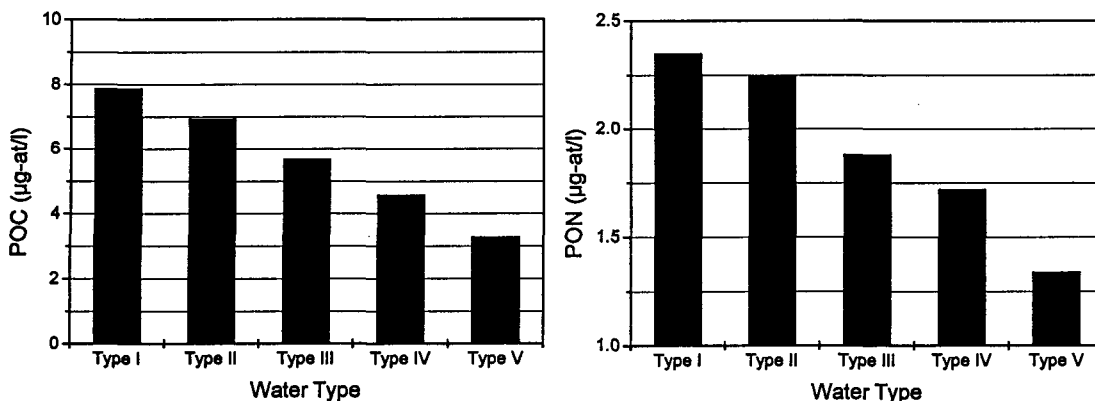


Fig. 9. Concentration of POC and PON at the each water type in the East Sea in February, 1995.

입자성 유기탄소 및 질소의 분포 특성

본 연구해역에서 입자성 유기탄소의 농도는 평균 $5.90 \mu\text{g-at}/\ell$ 이고 범위는 $0.49\sim 20.03 \mu\text{g-at}/\ell$ 이며, 유기질소의 평균 농도는 $1.97 \mu\text{g-at}/\ell$ 이고, 범위는 $0.09\sim 5.34 \mu\text{g-at}/\ell$ 로 나타났다.

입자성 유기물질의 수직 및 수평분포를 보면, 유광층 (<75 m)에서 POC는 약 $8.00 \mu\text{g-at}/\ell$ 이상의 값을 나타냈으며 (Fig. 8), PON은 약 $2.50 \mu\text{g-at}/\ell$ 이상의 농도를 나타내었다. POC는 표층을 제외한 정점 A10을 포함한 외양쪽 정점들에서는 $4.00 \mu\text{g-at}/\ell$ 이하였으며, PON은 정점 A15에서 $1.50 \mu\text{g-at}/\ell$ 이하였다. 즉 거의 모든 수심을 통해 연안에서 외양쪽으로 갈수록 농도가 낮아지는 경향이 있었다. 특이한 것은 Type I의 정점 A3 표층에서 최대 농도를 보이고 있는 것인데, chlorophyll *a* 농도도 가장 높은 것으로 보아 이 정점에서는 입자태 유기물질이 생물생산의 영향을 받는 것으로 생각된다.

입자성 유기탄소 (POC) 및 입자성 유기질소 (PON)의 수괴별 농도 (평균 \pm 표준편차)는 Type I에서 $7.88 \pm 4.38 \mu\text{g-at}/\ell$ 와 $2.35 \pm 1.20 \mu\text{g-at}/\ell$, Type II에서는 $6.94 \pm 3.54 \mu\text{g-at}/\ell$ 와 $2.25 \pm 0.82 \mu\text{g-at}/\ell$, Type III은 $5.68 \pm 2.36 \mu\text{g-at}/\ell$ 와 $1.88 \pm 0.61 \mu\text{g-at}/\ell$, Type IV는 $4.58 \pm 2.17 \mu\text{g-at}$

ℓ 와 $1.72 \pm 0.76 \mu\text{g-at}/\ell$, Type V는 $3.29 \pm 2.10 \mu\text{g-at}/\ell$ 와 $1.34 \pm 0.73 \mu\text{g-at}/\ell$ 로 수심이 깊어질수록 농도가 증가하는 경향이 있었다. 여기에서 POC와 PON의 농도 범위는 지역적인 차이, 즉 같은 수괴에서도 연안과 외양에 따른 농도 차이에 의해서 발생하였다. 그리고 이들 입자성 유기물질은 수괴별로 어떤 뚜렷한 경향을 보이지는 않았으며, 수심에 따라서 농도가 변화되는 것으로 사료된다 (Fig. 9).

POC/PON의 수괴별 원자비는 Type I에서는 3.63 ± 1.59 , Type II는 3.43 ± 2.55 이며, Type III은 3.07 ± 1.56 , Type IV에서 2.91 ± 1.45 , Type V에서 3.85 ± 1.54 를 보였다 (Fig. 10). Moon et al. (1996)에 의해 관측된 11월의 동해 극전선역의 POC/PON의 무게비를 보면 Redfield ratio보다 약간 높은 $6.73\sim 7.31$ 정도를 보였는데, 본 연구해역에서는 이보다 훨씬 낮은 값이 나타났다. 추계 울릉분지에서 측정된 Moon et al. (1996)의 값 및 Weddell Scotia Sea, Southern California의 표층에서 측정된 값과 비교해 보면 (Table 4), 입자성 유기탄소의 값은 유사하나 유기질소의 값이 상대적으로 높았다. 이것은 POC보다 PON이 더 난분해성이라 (Gordon, 1970) 침강하는 동안 POC는 분해되지만 수직혼합에 의해 PON은 다시 재부유하기 때문인 것으로 사료된다.

Table 4. Mean values of POC and PON concentration reported previously in other regions

Locality	Concentration ($\mu\text{g-at}/\ell$)		Reference
	POC	PON	
Continental margin	5.20	0.51	Glenn et al. (1992)
Weddell Scotia Sea	6.20	1.10	Leynaert et al. (1991)
Central Pacific	1.27	0.15	Donald and Gordon (1971)
Atlantic	5.10	-	Chester and Stoner (1974)
Southern California	17.58	2.53	Eppley et al. (1977)
Asan Bay	69.97	9.59	Moon et al. (1993)
East Sea	6.69	2.12	This study

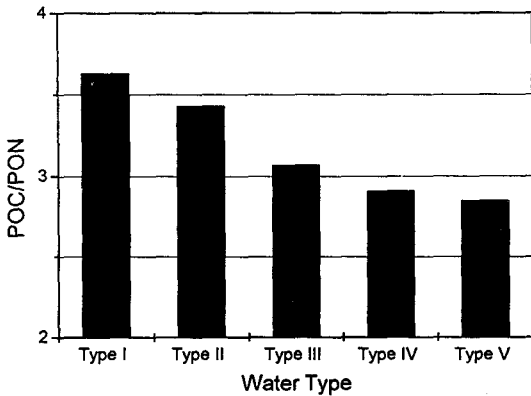


Fig. 10. The ratios of POC/PON at the each water type in the East Sea in February, 1995.

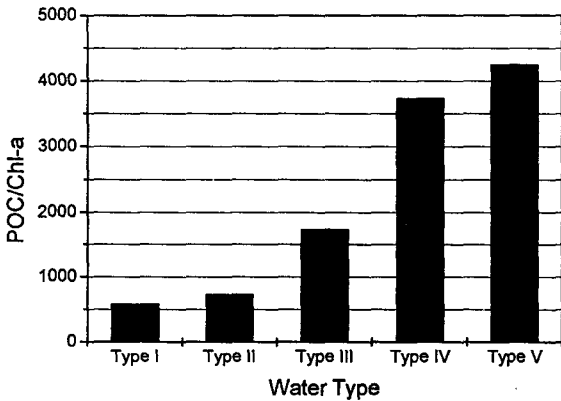


Fig. 11. The ratios of POC/Chl-a at each water type in the East Sea in February, 1995.

POC와 chlorophyll *a*의 수괴별 평균 무게비는 Type I에서는 586 ± 469 , Type II는 736 ± 673 , Type III에서 1741 ± 1439 , Type IV에서 3738 ± 1948 , Type V에서 4250 ± 2674 이었다 (Fig. 11). 이것은 수심이 증가할수록 비가 증가한 것으로 수심이 깊어질수록 non-living particle이 많아진다는 것을 의미한다. 일반적으로 규조류의 대번식시에는 무게비가 약 42이고, 와편모조류의 경우에는 78~209 정도이며 (Eppley et al., 1977), 이에 비하면 본 연구해역의 POC/chlorophyll *a*의 평균 무게비는 1962로 아주 높은 값을 나타내었다. 이것은 본 해역에서 동계에 non-living detritus가 POC의 대부분을 차지하고 있다는 것을 시사한다.

요 약

본 연구는 부경대학교 해양탐사선인 탐양호를 이용하여 1995년 2월 14일에서 17일까지 실시하였다. 수온, 염

분 및 용존산소를 이용한 T-S diagram 및 T-O₂ diagram 으로부터 수괴는 5개의 Type으로 구분되었다. 특히 T-S diagram에서는 잘 구분되지 않았던 Type IV와 Type V는 T-O₂ diagram에서 뚜렷이 구분되었다. 하지만 기존 수괴와 명확히 일치하지 않는 것은 본 조사가 동계에 실시되어 표층수온의 감소로 인하여 수괴의 수직혼합이 강하게 일어나서 생긴 현상으로 사료된다. 영양염류의 수괴별 농도분포를 보면, Type I, Type II, Type III은 서로 거의 비슷한 농도를 보였지만 Type IV에서 Type V로 갈수록 증가되었다. 그리고 동일 수괴에서 농도범위가 넓게 나왔는데, 이는 수온약층의 약화로 인하여 발생한 것으로 생각된다. N/P ratio은 모든 water type에서 Redfield ratio 이하로 나타났는데, 이것은 질산염이 식물플랑크톤 성장의 제한인자로 작용하고 있음을 보여주고 있다. chlorophyll *a*의 농도는 0~8 $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위로, Type I에서 최대였고 Type IV와 Type V에서는 거의 검출되지 않았다.

입자성 유기탄소와 유기질소의 농도는 각각 0.49~20.03 $\mu\text{g-at}/\ell$ 와 0.09~5.34 $\mu\text{g-at}/\ell$ 범위로서, 수심의 증가에 따라 그 농도가 감소하고, 연안에서 외양쪽으로 갈수록 낮아지는 경향이었다. Water type별 농도는 Type I > Type II > Type III > Type IV > Type V의 순서로 수심의 증가에 따라 농도가 증가하는 경향이었다. 즉 이들 입자성 유기물질은 수괴별로 어떤 뚜렷한 경향을 보이지는 않았으며, 수심에 따라서 농도가 변화되는 것으로 생각된다. POC/PON의 원자비는 3.23으로 Redfield ratio 이하로 나타났다. 이것은 POC보다 PON이 더 난분해성이라 침강하는 동안 POC는 분해되지만 수직혼합에 의해 PON은 다시 재부유하기 때문인 것으로 사료된다. POC/chlorophyll *a*의 평균값은 1962로 매우 높은 값을 나타내었으며, non-living detritus가 POC의 대부분을 차지하고 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

Carpenter, J. H. 1965. The Chesapeake Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 141~143.
 Chester, R. and J. H. Stoner. 1974. The distribution of particulate organic carbon and nitrogen in some surface water of the world ocean. *Mar. Chem.*, 2, 263~276.
 Cho, H. J., C. H. Moon, H. S. Yang and W. B. Kang. 1997. Regeneration processes of nutrients in the polar front area of the East Sea: III. Distribution pattern of water masses and nutrients in the middle-northern East Sea of Korea in October, 1995 (in Korean) (in print).

- 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. Oceanol. Soc. Korea*, 24, 52~61 (in Korean).
- Donald, C. and Jr. Gordon. 1971. Distribution of particulate organic carbon and nitrogen at an oceanic station in the Central Pacific, *Deep-Sea Res.*, 18, 1127~1134.
- Eppley, R. W., W. G. Harrison, S. W. Chisholm and E. Stewart. 1977. Particulate organic matter in surface water off Southern California and its relationship to phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 35, 671~696.
- Glenn, F. C., W. O. Smith, D. M. Nelson, R. D. Muench and L. I. Gordon. 1992. Nutrient and biogenic particulate distribution, primary productivity and nitrogen uptake in the Weddell-Scotia Sea marginal ice zone during winter. *J. Mar. Res.*, 50, 155~181.
- 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.
- Gordon, D.C. 1970. A microscopic study of non living organic particles in the North Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 17, 175~185.
- 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.
- Kang, C. K., P. Y. Lee, P. J. Kim and H. G. Choi. 1993. Daily variation of particulate organic carbon in Womun Bay on the South Coast of Korea in late summer. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 26 (3), 279~287.
- Kim, C. H. and K. Kim. 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along in the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18, 73~83.
- Lee, P. Y., C. K. Kang, J. S. Park and J. S. Park. 1994. Annual change and C:N:P ratio in particulate organic matter in Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29 (2), 107~118.
- Leynaert A., P. Treguer, B. Queguiner and J. Morvan. 1991. The distribution of biogenic silica and the composition of particulate organic matter in the Weddell-Scotia Sea during spring 1988. *Mar. Chem.*, 35, 435~447.
- Moon, C. H., C. Park, S. Y. Lee. 1993. Seasonal variations of nutrient and particulate organic matter in Asan Bay., *Bull. Korean Fish. Soc.*, 26 (2), 173~181 (in Korean).
- Moon, C. H., H. S. Yang, K. W. Lee. 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.*, 29 (4), 503~526 (in Korean).
- Park, C. K. 1978. Chemical oceanographic aspect of the cold water mass in offshore of the east coast of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* 11 (2), 49~54 (in Korean).
- Park, C. K. 1979. On the distribution of dissolved oxygen off the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 14, 67~70 (in Korean).
- Parsons, T. R., M. Takahashi and B. Hargrave. 1984. *Biological oceanographic process*. 3rd edition. Pergamon press, 143~157.
- Sharp, J. H. 1974. Improved analysis for particulate organic carbon and nitrogen from seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 984~989.
- 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*, 24, 15~28.
- 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.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 319.
- Telek, G. and N. Marshall. 1974. Using a CHN analyser to reduce carbonate interference in particulate organic carbon analyses. *Mar. Biol.*, 24, 219~221.
- 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. Soc.*, 24, 185~192 (in Korean).

1997년 2월 1일 접수
1997년 5월 8일 수리