

## 섬진강 하구역에서 염분경사에 따른 영양염의 거동

권기영 · 문창호 · 양한섭  
부경대학교 해양학과

### Behavior of Nutrients along the Salinity Gradients in the Seomjin River Estuary

Kee-Young KWON, Chang-Ho MOON and Han-Seob YANG  
Department of Oceanography, Pukyong National University,  
Pusan 608-737, Korea

Behavior of nutrients along the salinity gradients in the Seomjin River estuary was investigated in March, July, September and November, 1999. Sampling sites were set based on the surface salinity during each cruise rather than geographic locations. The results suggest that source of nitrate and silicate was the Seomjin River discharge, while that of nitrite and phosphate was waste disposal from the Gwangyang Bay near the mouth of Seomjin River estuary. Ammonia was supplied inside the estuary at the region about 6~8 km far from Nancho Island. Strong removal behavior of some nutrient such as ammonia, phosphate and silicate was observed at 5~15 psu salinity area in November, where high concentrations of chlorophyll *a* (>8 µg/L) occurred. High N:P ratios and entirely removal of phosphate at chlorophyll *a* peak region suggest that phosphate is the limiting factor for phytoplankton growth. Relatively high ratios of *Rb* to *Ra* (*Rb*: Fluorescence before acidification, *Ra*: Fluorescence after acidification) at 5~15 psu salinity region in November indicate that phytoplankton were in good physiological condition.

Key words: Nutrient behavior, Chlorophyll *a*, Salinity gradients, Seomjin River estuary

#### 서 론

하구는 담수와 해수의 특성이 혼합된 완충지대로서, 담수의 유입과 조석 등에 의한 유동성이 큰 동적계를 유지하고 있는 지역이며, 하천수를 통하여 공급되는 물질의 농도는 해수에 의하여 희석되는 정도에 따라 다르다. 또한, 하구에서 일어나는 여러 생물·화학적 과정들은 하천수에서 공급되는 많은 종류의 물질이 인접 해안에 공급되는 정도를 결정하며 (Kaul and Froelich, 1984), 하구의 순환 등 복잡한 물리적 요인들이 이러한 과정에 관여하고 있다 (Moon and Dunstan, 1990). 일반적으로 하구에서의 영양염 농도는 주변육상으로부터의 자연적 또는 인위적 유입에 의하여 높게 유지되고 있는 것이 특징이며 (Wolfe and Kjerfve, 1986) 이들의 거동은 식물플랑크톤에 의한 생물학적 제거나 부유입자물질과의 탈착에 의한 지화학적 공급 및 제거에 의해 조절되어지는 것으로 알려져 있다 (Pritchard and Schubel, 1981).

하구내 영양염의 거동 연구는 영양염이 육지에서 하구를 거쳐 연안으로 유출되는 과정에서 연안으로 배출되는 양과 연안수 및 연안생태계에 미치는 영향을 예측하고 (Sanders et al., 1997) 하구내에서 영양염의 반응성을 판단하기 위하여 세계 여러 하구역에서 수행되어져 왔으며 보존적, 비보존적 개념에 따라 주로 영양염과 염분의 상관관계를 이용하여 판단해 왔다 (Sharp et al., 1984).

우리나라 하구역에서 영양염의 분포에 대해 많은 연구가 이루어져 왔으나 이들 연구의 대부분은 이미 염분이 높아진 하구 입구 및 근접한 내만에서 조사가 이루어졌거나 계절변화에 따라 풍수기와 갈수기의 영양염 분포변화를 비교하는데 국한되어 있다. 담수와 해수가 처음 만나는 초저염분해역에서 하구입구까지 염분

변화에 따른 영양염의 변화양상을 조사한 사례는 금강 하구둑 건설 이전에 질소계 화합물의 순환 연구 (Kim and Ki, 1987) 및 하구둑 건설후 영양염을 포함한 환경특성 연구 (Yang and Kim, 1990) 그리고 낙동강 하구둑 건설이후 환경특성과 식물플랑크톤 연구 (Moon and Choi, 1991) 등 소수에 불과하며 이들은 주로 하구둑과 관련하여 하구둑 건설 전과 후의 환경특성 변화에 중점을 두었거나 하구역 주변의 대도시와 공업단지에 의한 환경오염과 관련된 연구이다.

본 조사해역인 섬진강 하구역은 광양만과 접하면서 섬진강 하류일대와 광양만이 하나의 광활한 기수구역을 형성하고 있다. 섬진강 본류에는 대도시가 인접하지 않아 생활하수 및 공장폐수의 영향이 적으며 하구입구와 인접한 광양만에는 주위의 대단위 공업단지과 도시에서 많은 생활하수 및 폐수가 방출되고 있다. 섬진강 하구 입구에서 초저염분해역까지 영양염 거동에 관한 연구는 섬진강 하구에서 풍수기의 라듐 동위원소 흡탈착 거동과 영양염 flux에 대해 조사한 Kim (1992)의 연구를 제외하고는 전무한 실정이며 다만 섬진강 하구와 연결된 광양만 (Shim et al., 1984; Kim et al., 1988)과 여수해만 (Moon, 1990)에서 영양염 분포에 관한 일부 조사가 되어있을 뿐이다. Kim et al. (1988) 및 Moon (1990)은 여수해만에서 질산염 및 규산염의 공급원은 섬진강이고, 인산염 및 암모니아의 공급원은 광양만 주변에서 나오는 생활하수 및 공장폐수라고 보고하였다.

본 연구의 목적은 하구둑이 없는 섬진강 하구의 입구에서 담수와 해수가 처음 만나는 초저염분해역까지 염분의 경사에 따른 영양염의 거동을 조사하여 영양염의 유입원, 영양염과 염류소 *a* 및 강우량과의 관계를 파악하는데 있다. 본 연구는 섬진강 하구의 물

질순환 및 하구로부터 인접해안에 공급되는 물질의 양 등에 관한 연구의 기초자료로 활용될 예정이다.

### 재료 및 방법

본 연구는 광양만과 섬진강 하류에서 1999년 3월, 7월, 9월 및 11월 총 4회에 걸쳐 조사하였다 (Fig. 1). 조사방법은 섬진강 하구 남동쪽에 위치해 있는 난초도에서부터 담수와 해수가 처음 만나는 지점까지 섬진강 본류를 따라 올라가면서 시료를 채취하였으며 조사정점은 지리적 위치보다는 각 조사시마다 염분을 현장에서 측정하여 결정하였다.

수온 및 염분은 수질분석기 (Horiba U-10)를 이용하여 현장에서 측정하였으며 염분시료를 따로 채수하여 실험실에서의 salinometer (Tsurumi Seiki, Model T.S.E-2) 측정을 병행하였다. 대체적으로 5 psu 이상의 염분역에서는 수질분석기 염분값을 이용하였으며 5 psu 이하의 염분역에서는 실험실의 salinometer 염분값을 이용하였다. 강수량 자료는 섬진강에 인접한 구례와 하동의 기상청 강수량 자료를 이용하였다 (KMA, 1999).

영양염 분석을 위해서는 선상에서 채수한 시료수 500 mL를 공경 0.45 μm Whatman membrane 여과지로 여과한 후, 여과된 시료를 분석시까지 냉동 보관하였다. 영양염은 Strickland and Parsons (1972)의 비색법으로 아질산염 (nitrite), 질산염 (nitrate), 암모니아 (ammonia), 인산염 (phosphate), 규산염 (silicate)을 측정하였다.

엽록소 *a* 측정을 위해서 표층수 250 mL를 공경 0.45 μm Whatman membrane 여과지로 현장에서 여과하고, 여과가 끝나기 직전 1% 탄산마그네슘 1 mL를 여과지에 투입시켜 여과지를 분석시까지 냉동보관하였다. 분석을 위하여 여과지를 90% acetone 10 mL를 주입하여 냉암소에서 24시간동안 색소를 추출한 후, 2000 rpm으로 10분간 원심분리시켜 상등액을 형광측정기 (Turner Designs, Model 10-AU-005)를 이용하여 5% 염산액 3~4방울을 첨가하기 전과 후의 형광값을 측정하여 다음 식을 이용하여 계산하였다 (Holm-Hansen et al., 1965).

$$\text{Chlorophyll } a \text{ } (\mu\text{g/L}) = Fd \times \frac{r}{r-1} \times (Rb - Ra) \times \frac{V}{V}$$

$$\text{Phaeophytin } a \text{ } (\mu\text{g/L}) = Fd \times \frac{r}{r-1} \times (rRa - Rb) \times \frac{V}{V}$$

*Rb*: Fluorescence before acidification

*Ra*: Fluorescence after acidification

*r* : *Rb/Ra* ratio of pure chlorophyll *a*

*Fd*: appropriate calibration factor (*Cd/Rd*)

*Cd*: concentration D determined spectrophotometrically

*Rd*: fluorometer response for D

위 식에서 T 및 *Fd* 값은 순수 chlorophyll *a* (Sigma Co.)를 이용하여 결정하였다.

### 결 과

조사기간동안 평균 표층 수온은 9.7~24.6°C 범위로 1999년 3월에 가장 낮았고 9월에 가장 높았으며 상하류간 수온차이는 7월과 9월에 비해 3월과 11월에 상대적으로 크게 나타나 3월에는 상류에서, 11월에는 하구역에서 수온이 높게 나타났다. 염분의 경우, 계절적으로는 풍수기인 7월에 가장 낮았고 갈수기인 11월에 가장 높았다 (Fig. 2). 해수와 담수가 처음 만나는 지점으로 예상되는 곳은 하구입구의 난초도로 부터 약 8(7월)~27(11월) km의 상류 지역이었으며 하구입구로 설정된 난초도에서의 염분은 8.1(7월)~31.4(11월) psu의 범위로 변화하였다 (Table 1). 수온 및 염분 결과는 Kwon et al. (2001)의 논문에 발표되었다.

조사기간동안 영양염의 농도변화를 살펴보면 (Table 2, Fig. 3), 아질산 질소 농도는 11월에 평균 1.28 μg-at/L로 가장 높았고, 7월에 평균 0.54 μg-at/L로 가장 낮았으며 9월과 11월에 하구입구에서 높고 상부역이 뚜렷이 낮은 분포양상을 나타내었다. 질산 질소는 3월에 평균 93.72 μg-at/L로 가장 높았고, 11월에 평균 31.46 μg-at/L로 가장 낮았으며 아질산 질소의 농도변화와 달리 전 조사시기에 하구역이 낮고 상부역이 높은 경향을 보였다. 암모니아 질소는 3월에 평균 10.69 μg-at/L로 높았고 9월에 평균 4.70 μg-at/L로 낮았으며 대체적으로 난초도로부터 약 6~8 km 지점에서 최대치를 나타내는 양상이었다. 인산 인은 11월에 평균 0.49 μg-at/L로 가장 낮은 농도를 나타낸 반면, 11월을 제외한 조사에서는 평균 1.0 μg-at/L 내외의 농도로 계절별 농도차이가 크지 않았고 그 변화양상은 아질산 질소와 같이 하구입구에서 높고 상부역이 낮은 분포를 보였다. 암

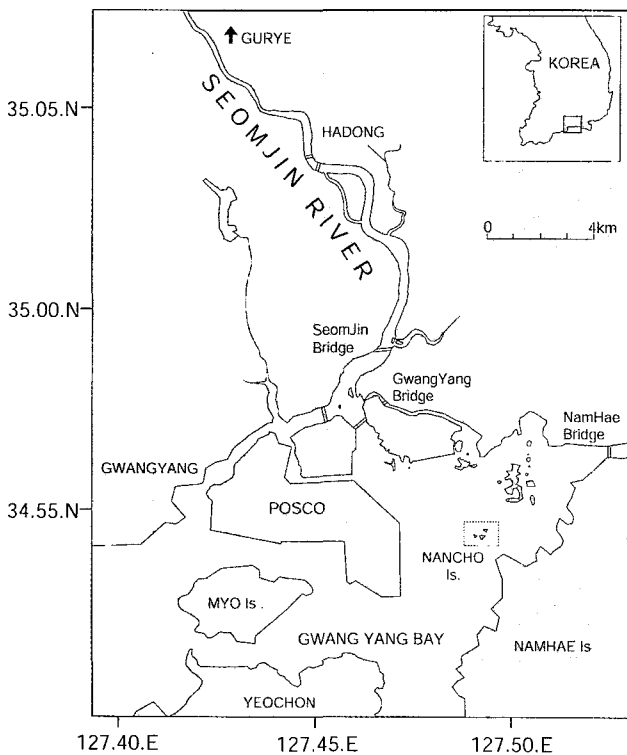


Fig. 1. Map showing the study area.

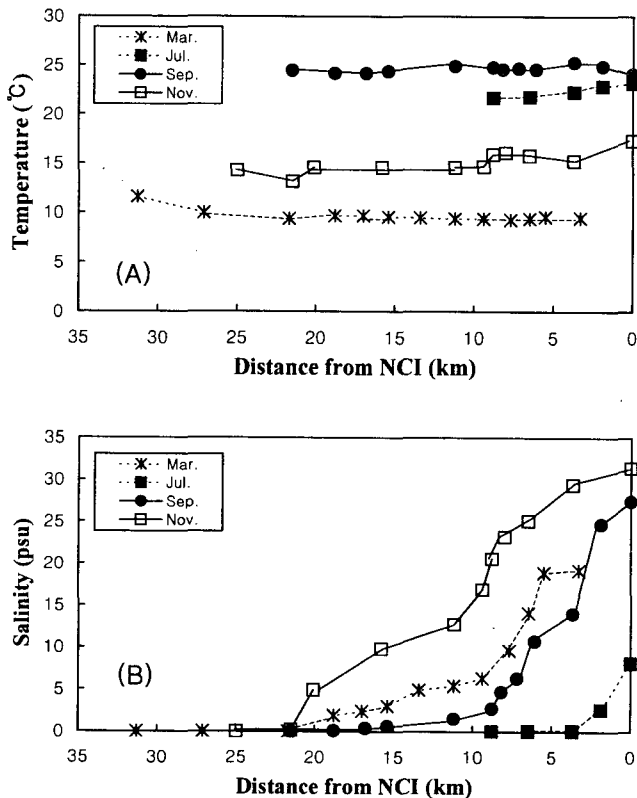


Fig. 2. Variation of temperature (A) and salinity (B) against distance from NCI (Nan Cho Island) in the surface water of Seomjin River estuary. (from Kwon et al., 2001)

모니아 질소와 인산 인 모두 11월에 난초도로부터 10~20 km 지역에서 매우 낮은 농도를 나타내고 있었다. 규산 규소는 9월에 평균 120.48  $\mu\text{g-at/L}$ 로 가장 높았고 11월에 평균 33.02  $\mu\text{g-at/L}$ 로 가장 낮았으며 불규칙한 변화를 보였던 3월을 제외하면 상부역이 높고 하구입구에서 농도가 낮은 분포를 보였다.

염분 경사에 따른 영양염의 거동을 Fig. 4에 나타내었다. 아질산 질소와 인산 인은 초저염분역보다는 고염분역에서 농도가 높게 나타나는 경향을 보였다. 아질산 질소는 9월과 11월에, 인산 인은 3월에 직선상의 보존적 거동양상을 보였으며 특히, 인산 인은 11월에 5~15 psu 염분역에서 뚜렷한 제거 양상을 나타내었다. 질산 질소

Table 1. Salinity, distance from NCI (Nan Cho Island) and nutrient concentrations at the end member (F.W.: freshwater, S.W.: seawater) in the surface water of Seomjin River estuary

Date	End member	Salinity (psu)	Distance from NCI (km)	Nutrient ( $\mu\text{g-at/L}$ )				
				NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	SiO <sub>2</sub> -P
Mar. 1999	F.W.	0.0	27.1	1.24	116.64	4.38	0.76	78.38
	S.W.	19.2	3.3	0.79	43.01	9.75	1.42	55.82
Jul. 1999	F.W.	0.0	8.8	0.49	76.92	10.26	0.88	71.40
	S.W.	8.1	0	0.77	60.07	9.74	1.06	70.80
Sep. 1999	F.W.	0.0	21.5	0.28	93.50	1.80	0.97	151.30
	S.W.	27.4	0	3.54	16.40	3.33	1.11	42.00
Nov. 1999	F.W.	0.0	25.0	0.36	44.90	2.73	0.32	52.48
	S.W.	31.4	0	2.20	4.97	7.41	1.20	13.76

와 규산 규소는 아질산 질소와 인산 인의 경우와 달리 초저염분역이 고염분역보다 농도가 높은 역상관관계를 나타내고 있었다. 질산 질소는 전 계절에서, 규산규소는 9월과 11월에 대체로 보존적 거동양상을 보여주었으며 3월과 7월의 규산 규소는 다소 불규칙하지만 하구내 공급양상을 나타내었다. 암모니아 질소는 3월과 11월에 각각 15 psu, 25 psu 염분역에서 최고농도를 이루는 하구내 공급양상을 나타내었으며 인산인의 경우처럼 11월의 5~15 psu 염분역에서 매우 낮은 농도를 나타내었다.

한편, 담수가 해수와 처음 만나는 0.2 psu 이하 염분역에서의 영양염 농도변화는 (Table 1) 아질산 질소의 경우 0.28~1.24  $\mu\text{g-at/L}$ , 질산 질소는 44.90~116.64  $\mu\text{g-at/L}$ , 암모니아 질소는 1.80~10.26  $\mu\text{g-at/L}$ , 인산 인은 0.32~0.97  $\mu\text{g-at/L}$  그리고 규산 규소는 52.48~151.30  $\mu\text{g-at/L}$ 의 범위로서 담수에서 공급되는 영양염 농도는 계절에 따라 3~6배의 변화폭을 보이고 있다. 아질산 질소와 질산 질소는 3월에, 인산 인과 규산 규소는 9월에, 암모니아 질소는 7월에 타 계절에 비해 농도가 높았으며 11월에는 영양염 농도가 대체적으로 낮았다. 난초도가 위치한 하구입구에서의 농도변화는 아질산 질소의 경우 0.77~3.54  $\mu\text{g-at/L}$ , 질산 질소는 4.97~60.07  $\mu\text{g-at/L}$ , 암모니아 질소는 3.33~9.75  $\mu\text{g-at/L}$ , 인산 인은 1.06~1.42  $\mu\text{g-at/L}$  그리고 규산 규소는 13.76~70.80  $\mu\text{g-at/L}$ 의 범위로서 계절에 따라 1~12배의 변화로 담수의 농도변화에 비하여 암모니아 질소와 인산 인은 변화폭이 적었으며 그 외 영양염은 변화폭이 크게 나타났다.

총무기질소와 인산 인의 원자비는 평균 83.5~182.3의 범위로 3월

Table 2. Mean values of nutrient concentrations in the surface water of Seomjin River esuary

Month	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu\text{g-at/L}$ )	NO <sub>3</sub> -N ( $\mu\text{g-at/L}$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu\text{g-at/L}$ )	PO <sub>4</sub> -P ( $\mu\text{g-at/L}$ )	SiO <sub>2</sub> -P ( $\mu\text{g-at/L}$ )	$\Sigma\text{N/P}$ ratio
Mar. 1999	1.11 (0.79~1.24)	93.72 (43.01~119.33)	10.69 (4.10~28.25)	0.92 (0.60~1.42)	66.02 (18.32~95.68)	125.1 (37.7~175.0)
Jul. 1999	0.54 (0.45~0.77)	70.71 (60.07~76.92)	9.24 (6.00~12.61)	0.97 (0.88~1.06)	81.58 (70.80~101.80)	83.5 (66.6~99.6)
Sep. 1999	1.13 (0.28~3.54)	68.18 (16.40~93.50)	4.70 (1.80~8.11)	1.03 (0.88~1.20)	120.48 (42.00~151.30)	72.4 (21.0~99.2)
Nov. 1999	1.28 (0.38~2.20)	31.46 (4.97~59.48)	5.68 (0.21~31.05)	0.49 (0.09~1.20)	33.02 (13.76~52.48)	182.3 (12.1~512.1)

Values in parentheses are ranges

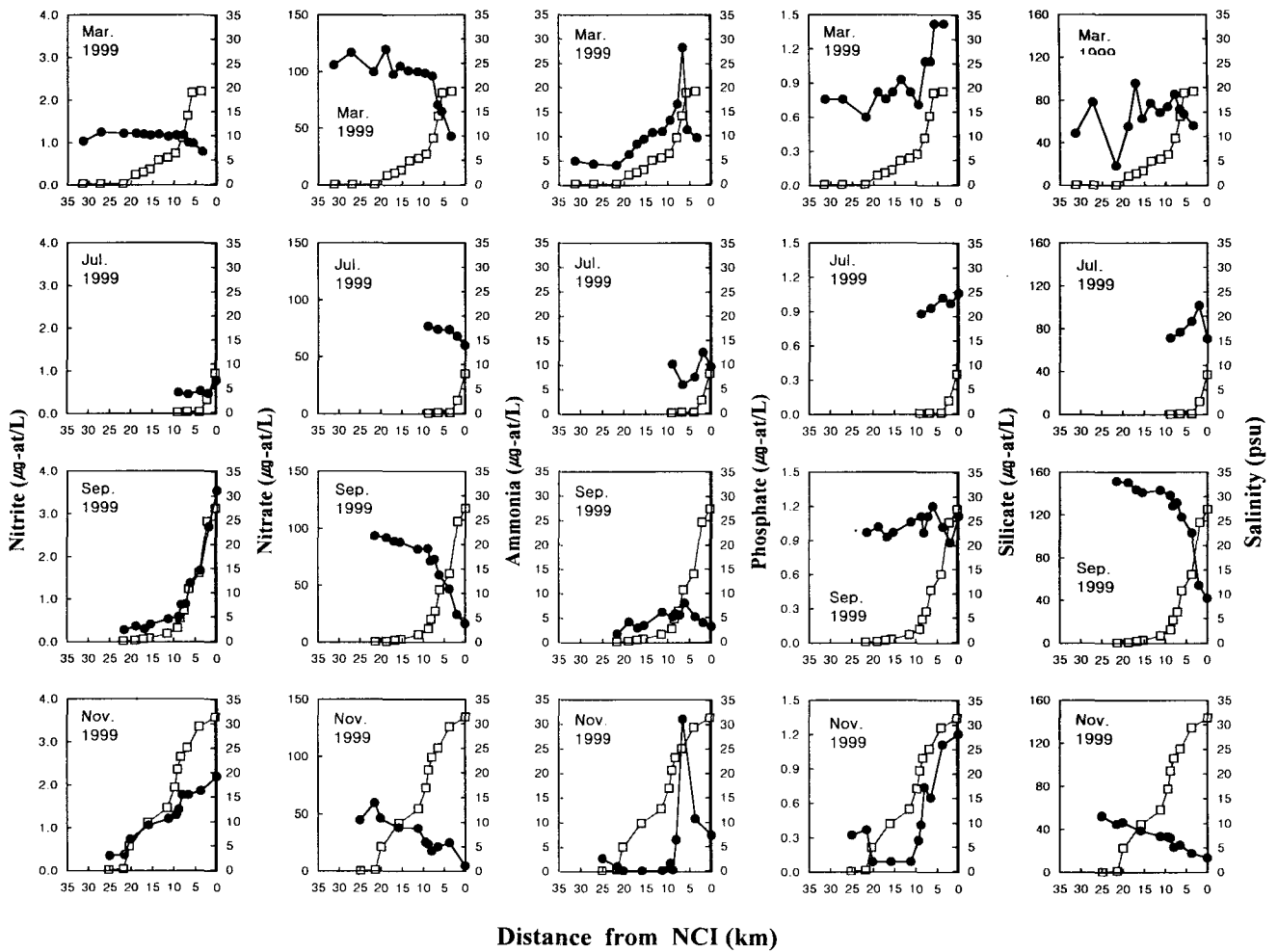


Fig. 3. Variation of nitrite, nitrate, ammonia, phosphate and silicate (●) and salinity (□) against distance from NCI (Nan Cho Island) in the surface water of Seomjin River estuary.

총무기질소와 인산 인의 원자비는 평균 83.5~182.3의 범위로 3월과 11월이 7월과 9월에 비해 상대적으로 높게 나타났다 (Table 2). 총무기질소와 인산 인 원자비의 수평분포 양상은 저염분역에서 높고 고염분역에서 낮아지는 양상이었으며 11월에 5~15 psu 염분역에서 매우 높은 비를 나타내었다 (Fig. 4).

본 조사에서 측정된 엽록소 *a* 농도의 변화를 살펴보면, 3월에는 0.25~1.19  $\mu\text{g/L}$ , 7월에는 0.44~0.69  $\mu\text{g/L}$ , 9월에는 0.20~1.35  $\mu\text{g/L}$ , 11월에는 0.46~23.75  $\mu\text{g/L}$ 로 나타나 11월의 엽록소 *a* 농도가 타 계절에 비해 6배 이상 높게 나타났다 (Table 3). Phaeophytin *a*의 농도는 평균 0.52(3월)~1.59(11월)  $\mu\text{g/L}$ 의 범위로 엽록소 *a* 농도 변화와 유사한 경향을 나타내었다. 엽록소 *a*와 phaeophytin 농도의 상대적 비율을 나타내주는 *Rb/Ra* (*Rb*: Fluorescence before acidification, *Ra*: Fluorescence after acidification)의 값은 평균 1.43(7월)~1.63(11월)으로 11월에 비교적 높은 비값을 나타내었다.

엽록소 *a*와 *Rb/Ra*의 수평분포를 살펴보면, 엽록소 *a*의 경우 3월에는 초저염분역과 상대적으로 고염분역에서 농도가 높고 중간염분역에서 낮았으며 9월에는 저염분역에서 낮은 농도로 유지

Table 3. - Mean values of chlorophyll *a*, phaeophytin *a*, the ratios of *Rb* to *Ra*<sup>1)</sup>

Month	Chl. <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	Phaeophytin <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Rb/Ra</i> ratio
Mar. 1999	0.64 (0.25~1.19) <sup>2)</sup>	0.52 (0.24~1.20)	1.54 (1.32~1.67)
Jul. 1999	0.61 (0.44~0.69)	0.90 (0.71~1.04)	1.40 (1.38~1.43)
Sep. 1999	0.89 (0.20~1.35)	0.62 (0.22~1.29)	1.58 (1.48~1.68)
Nov. 1999	5.16 (0.46~23.75)	1.59 (0.25~4.30)	1.63 (1.29~1.85)

1) (*Rb*: fluorescence value before acidification, *Ra*: fluorescence value after acidification) in the surface water of Seomjin River estuary

2) Values in parentheses are ranges

나타내었다 (Fig. 5). 11월에는 난초도로부터 8~20 km 지점, 염분 5~15 psu에서 8  $\mu\text{g/L}$  이상의 매우 높은 농도를 보였으며 그 외

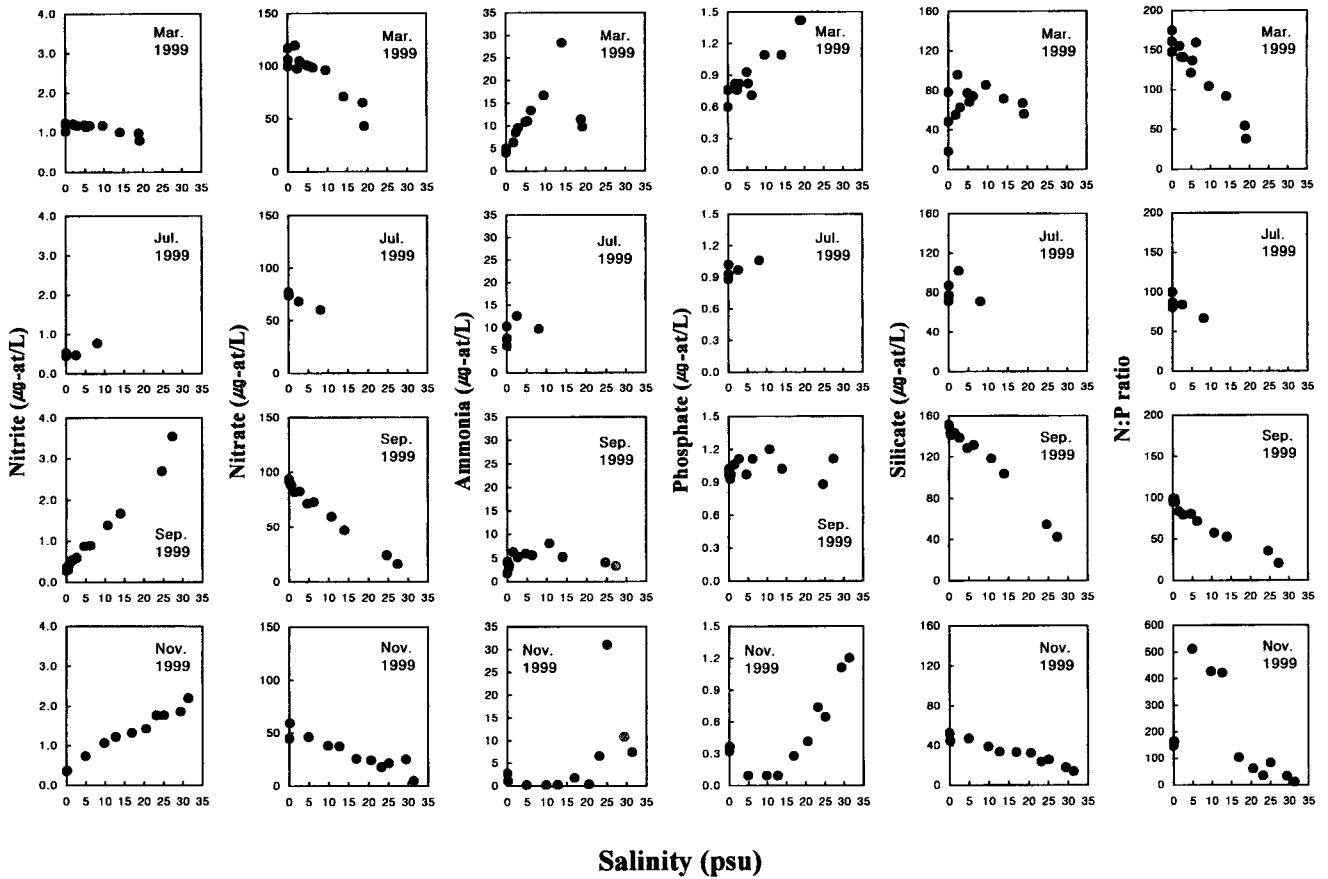


Fig. 4. Relationship of nitrite, nitrate, ammonia, phosphate and silicate concentration and N : P ratio with salinity in the surface water of Seomjin River estuary.

염분역에서는 2 µg/L 이하로 낮게 유지되었다. Rb/Ra의 수평분포는 3월의 경우 염류소 a 양이 낮았던 지역에서 Rb/Ra비가 상대적으로 낮았으며 7월과 8월은 뚜렷한 변화가 없었다. 11월에는 염류소 a 양이 매우 높았던 염분역에서 1.7 이상의 비교적 높은 Rb/Ra비를 나타내었다.

### 고찰

조사해역 표층의 염분 변화는 장마기간을 전후로 강우의 영향을 받아 7월과 9월은 낮은 염분분포를 나타내었고, 3월과 11월은 비교적 높은 염분 분포를 보였다. 동계동안의 장기간 갈수기 이후의 3월 염분이 다소 낮게 분포한 것은 조사 전날 상당량의 강우가 있었기 때문이며 7월의 매우 낮은 염분은 장마기간에 많은 양의 담수가 광양만으로 유입되었기 때문으로 사료된다 (Fig. 6). 갈수기에 담수와 해수가 처음 만나는 지점은 하동 바로 위 상류인 것으로 판단되며, 섬진강 하구 입구까지는 염분농도가 서서히 높아지다가 이후 광양만의 고염수와 혼합되어 급격하게 증가한 것으로 사료된다. 그러나 7월에는 대량의 담수유입으로 광양만 전체가 기수구역으로 되어 있었다.

본 조사기간동안 나타난 영양염의 거동양상으로 부터 각 영양염의 주요 공급원을 살펴보면 아질산 질소와 인산 인은 상부역보다 하구입구에서 높게 나타나 섬진강의 공급보다는 하구역에 인접한 광양만에서 공급되는 것으로 판단되며 질산 질소와 규산 규소는 하구입구보다 상부역에서 높게 나타나 섬진강에서 공급되는 것으로 판단된다 (Fig. 4). 이는 Kim (1992), Kim et al. (1988) 및 Moon (1990)이 섬진강 하류와 섬진강 하구와 인접한 여수해만에서 질산염 및 규산염의 공급원은 섬진강이고, 인산염의 공급원은 광양만 주변에서 나오는 생활하수 및 공장폐수라고 한 결과와 일치하였다. 섬진강 하구 내에서 두드러진 공급 거동이 나타난 영양염은 암모니아 질소로 공급이 발생되고 있는 위치의 염분은 계절에 따라 다르나 그 위치가 계절에 관계없이 난초도로부터 약 6~8 km 상류에 위치한 지점으로 일정하다 (Fig. 3). 따라서 이와 같은 하구내에서의 공급은 담수와 해수의 혼합으로 발생하는 지화학적 과정보다는 본류이외의 공급원에 의해 유입되는 것으로 판단된다. 계절적으로는 풍수기보다 갈수기에 공급되는 농도가 2~3배 정도 높게 나타나 갈수기에 상대적으로 많은 암모니아 질소가 섬진강 본류로 유입된다고 판단된다. 이는 낙동강 하구의 조사에서 낙동강 본류 주위의 장림천이 위치한 지점에서 생활하수와 공장폐수의 유입으로 암모니아 질소가 크게 증가하였다고 보고한

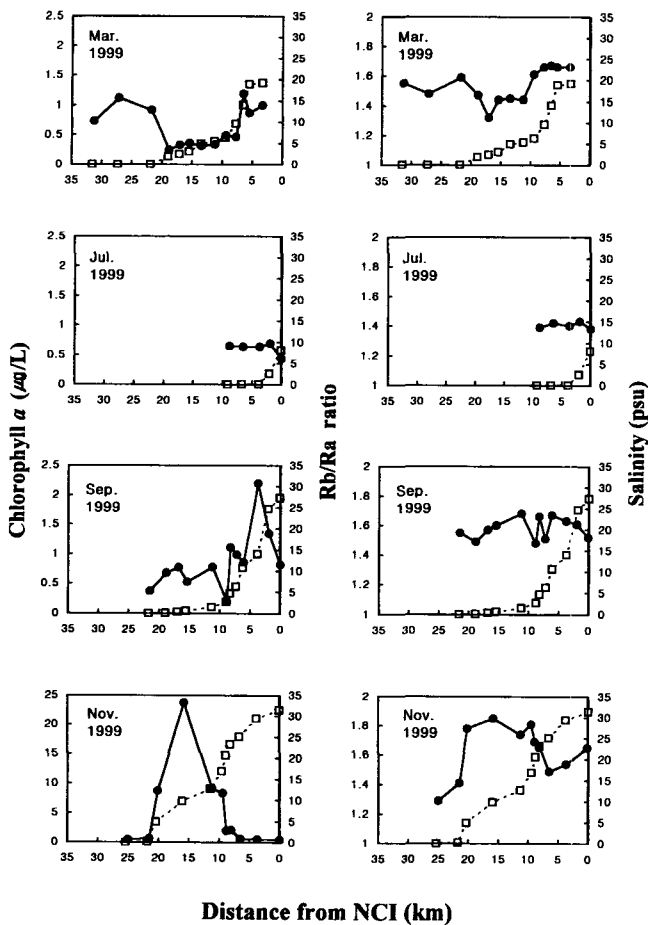


Fig. 5. Chlorophyll *a* concentration (●), *Rb/Ra* ratio (●) and salinity (□) against distance from NCI (Nan Cho Island) in the surface water of Seomjin River estuary.

Moon and Choi (1990)의 결과와 유사하다.

섬진강 하구에서 제거 거동이 뚜렷하게 나타난 예는 11월에 난초도로부터 약 10~20 km, 염분 5~15 psu인 지점에서 암모니아 질소와 인산 인에서 나타났으며 규산 규소의 경우 하구내에서의 제거양상을 보였다 (Fig.4). 이 지역은 엽록소 *a* 농도가 8 μg/L 이상으로 매우 높게 나타난 지역으로 (Fig. 5) 이들 영양염은 이 수역에서 대규모로 발생한 식물플랑크톤에 의해 섭취되어 제거된 것으로 판단된다. 암모니아 질소에 비해 같은 질소계 영양염인 아질산 질소와 질산 질소는 대체로 직선상의 보존적 거동을 나타내고 있어 섬진강 하구역에서 식물플랑크톤에 의한 아질산 질소와 질산 질소의 섭취는 미약한 것으로 판단된다. 영양염으로서 질산 질소와 암모니아 질소가 동시에 존재할 때 식물플랑크톤은 암모니아 질소를 선호하여 우선적으로 섭취하는 것으로 알려져 있다 (Strickland et al., 1969). 인산 인의 제거과정으로는 조석에 의해 저층에서 재부유된 입자에 의해서 비생물학적으로 제거되기도 하나 (Morris et al., 1981) 주로 식물플랑크톤에 의해서 제거되는 것으로 알려져 있다 (Froelich et al., 1985). Sharp et al. (1984)는 Delaware 강하구에서 식물플랑크톤의 춘계 대번식시 인산 인의

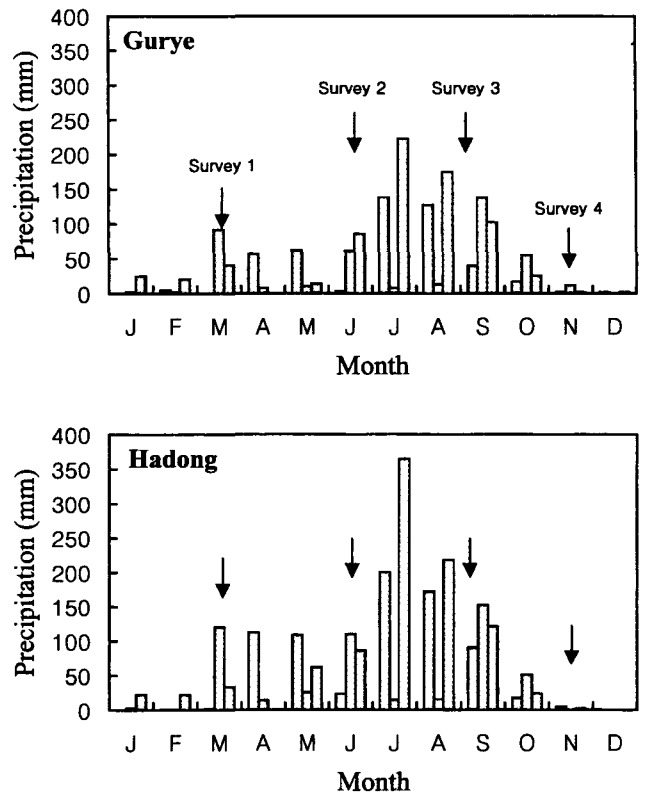


Fig. 6. Precipitation in the Gurye and Hadong area during 1999 (Data taken from Korea Meteorological Administration, 1999).

생물학적 제거를 보고하였으며 Zwolsman (1994)은 Scheldt 강하구에서 증가된 용존산소에 의해 인산 인이 산화철과 결합침전하여 급격하게 제거되는 결과를 보고하였다. 규산 규소의 경우 하구내에서의 제거는 규조류의 섭취에 의해 주로 제거되며 (D'Elia et al., 1983; Yamada and D'Elia, 1984) 일부 비생물학적으로 제거되기도 한다 (Liss and Spencer, 1970; Morris et al., 1981). Moon and Dunstan (1990)은 James강 하구의 초저염분해역에서 규조류가 우점하는 식물플랑크톤의 bloom으로 인해 담수에서 유입된 규산 규소의 대부분이 제거됨을 보고하였으며 Moon and Choi (1991) 및 Moon and Kwon (1994)도 낙동강 하구 상부역에서 규조류의 춘계 대번식시 규산 규소의 고갈을 보고하였다. Fisher et al. (1988)은 Chesapeake Bay, Delaware Bay 그리고 Hudson River 하구에서 하구내 생물학적 과정은 하구내로 유입된 영양염이 하구 하부 또는 연안역에 미치는 영양염의 부하량을 조절한다고 하였다.

조사기간동안 전 연구수역에서 총무기질소와 인산 인의 비는 평균 83.5~182.3의 범위로 (Table 2) Redfield ratio 원자비인 16보다 월등히 높았으며 특히 11월에 엽록소 *a*의 최고치가 나타난 수역에서의 비값은 400 이상으로 (Fig. 4) 매우 높았다. 이는 이 수역에서 대부분의 인산 인이 소모된데 비해 질산 질소는 상대적으로 소모되지 않은 결과로 본 연구수역에서 인산 인은 식물플랑크톤의 성장을 제한하는 주요인으로 작용하고 있는 것으로 판단된다. 이는 여수해만에서 질산 질소보다는 인산 인이 생물학적 이

용에 보다 더 영향을 받는다는 Moon (1990)의 결과와 일치하고 있으며 Kim (1992)도 섬진강 하구에서 기초생산을 조절하는 영양염은 인산 인이라고 보고하였다.

엽록소 *a*와 phaeococcytin 농도의 상대적 비율을 나타내주는 *Rb/Ra* 비값은 평균 1.43~1.63으로 7월에 낮고 11월에 비교적 높게 나타났으며 (Table 3) 11월에 bloom이 발생한 수역에서는 1.7 이상으로 높은 비값을 나타내었다 (Fig. 3). 일반적으로 순수 엽록소 *a*의 경우 *Rb/Ra* 비율은 2.2이며 (Holm-Hansen et al., 1965), 생리적으로 활발하게 성장하는 식물플랑크톤의 경우 보통 1.7 이상, 그리고 빨이나 갑각류의 추출물의 그 비율은 1로 알려져 있다 (Yentsch and Menzel, 1963). 낮은 *Rb/Ra*의 값은 엽록소 *a*가 많이 분해되어가고 있음을 보여준다. 따라서 11월에 bloom이 발생한 수역에서의 높은 *Rb/Ra*값은 식물플랑크톤이 생리적으로 성장하기에 좋은 환경이었으며, 7월의 낮은 값은 성장환경이 좋지 않았음을 시사해 주고 있다.

한편, 담수가 해수와 처음 만나는 초저염분역과 하구입구에서의 각 영양염 농도는 초저염분역에서는 계절에 따라 3~6배, 하구입구에서는 1~12배로 변화하였다 (Table 1). 이는 섬진강 하구역으로 유입되는 영양염의 농도가 계절에 따라 다르게 공급된 양과 동일한 비율로 하구입구에서 주변 연안역으로 배출되지 않으며 각 영양염마다 하구내에서 겪게 되는 반응과정들이 각기 다르다는 것을 시사해 주고 있다. 따라서 하구역은 강에서 유입된 영양염이 연안역으로 배출되는 과정에서 그 양을 조절하는 중요한 역할을 하고 있음을 의미한다.

### 요 약

1999년 3월, 7월, 9월 및 11월에 섬진강 하구역에서 엽분경사에 따른 영양염의 거동을 조사하였다. 조사 정점은 지리적 위치보다는 각 조사시마다 표층 염분을 현장에서 측정하여 결정하였다. 질산 질소와 규산 규소의 주요 공급원은 섬진강이었으며 아질산 질소와 인산 인은 섬진강 하구입구와 인접한 광양만에서 배출되는 도시하수와 공장폐수에 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 암모니아 질소는 난초도로부터 약 6~8 km 지점에서 공급양상을 보였다. 암모니아 질소, 인산 인, 규산 규소의 강한 제거 거동은 엽록소 *a* 농도가 8 µg/L 이상으로 매우 높았던 11월 5~15 psu 염분역에서 나타났다. 엽록소 *a* 최고치 지점에서 N:P 비가 높고 인산 인이 거의 제거된 것은 인산 인이 식물플랑크톤 성장의 제한 요인으로 작용하고 있다는 것을 시사해 주고 있다. 11월에 5~15 psu 염분역에서의 상대적으로 높은 *Rb/Ra* (*Rb*: Fluorescence before acidification, *Ra*: Fluorescence after acidification) 비는 식물플랑크톤이 이 지역에서 생리적으로 성장하기에 좋은 환경이었음을 의미한다.

### 감사의 글

이 연구는 1998년도 학술진흥재단의 학술연구비 (과제번호 1998-015-H00003) 지원에 의해 수행되었습니다. 본 연구를 위한 현장

시료채취와 실험에 도움을 준 부경대 해양학과 부유생물 연구실 학생들에게 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

D'Elia, C.F., D.M. Nelson and W.R. Boynton. 1983. Chesapeake Bay nutrient and plankton dynamics: III. The annual cycle of dissolved silicon. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 47, 1945~1955.

Fisher, T.R., L.W. Harding, D.W. Stanley and L.G. Ward. 1988. Phytoplankton, nutrients and turbidity in the Chesapeake, Delaware and Hudson estuaries. *Estuar., Coast. and Shelf Sci.*, 27, 61~93.

Froelich, P.N., L.W. Kaul, J.T. Byrd, M.O. Andreae and K.K. Roe. 1985. Arsenic, barium, germanium, tin, dimethylsulfide and nutrient biogeochemistry in Charlotte Harbor, Florida: A phosphorus-enriched estuary. *Estuar., Coast. and Shelf Sci.*, 21, 239~264.

Holm-Hansen, O., 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.

Kaul, L.W. and P.N. Froelich. 1984. Modeling estuarine nutrient geochemistry in a simple system. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 48, 1417~1433.

Kim, K.R. and J.H. Ki. 1987. Studies on chemical and viological processes in the Keum River estuary, Korea. I. The cycle of dissolved inorganic nitrogen: General considerations. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 22, 191~206 (in Korean).

Kim, S.H., C.B. Song, S.H. Kang, D.B. Yang and J.S. Hong. 1988. The distribution pattern of nutrients at the cultivation ground of laver in Kwangyang Bay, 1986. *Ocean Research*, 10, 1~8.

Kim, T.J. 1992. Sorption behaviour of radium isotopes and nutrient fluxes in the Seomjin estuary of Korea, during high river discharge. Master thesis, Chungnam National University, Taejon, 59 pp.

Korea Meteorological Administration (KMA). 1999. Annual report of automatic weather station data. p. 379, p. 729.

Kwon, K.Y., P.G. Lee, C. Park, C.H. Moon and M.O. Park. 2001. Biomass and species composition of phytoplankton and zooplankton along the salinity gradients in the Seomjin River estuary. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 6, 93~102.

Liss, P.S. and C.P. Spencer. 1970. A biological processes in the removal of silicate from seawater. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 34, 1073~1088.

Moon, C.H. 1990. Studies on the phytoplankton and nutrients in the Yeosu Heman. *J. Kor. Fish. Soc.*, 22, 408~414.

Moon, C.H. and H.J. Choi. 1991. Studies on the environmental characteristics and phytoplankton community in the Nakdong River estuary. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 26, 144~154 (in Korean).

Moon, C.H. and K.Y. Kwon. 1994. Seasonal variation of particulate biogenic silica in the Nakdong River estuary. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 29, 5~16 (in Korean).

Moon, C.H. and W.M. Dunstan. 1990. Hydrodynamic trapping in the formation of chlorophyll *a* peak in turbid, very low salinity waters of estuaries. *J. Plankton Res.*, 12, 323~336.

Morris, A.W., A.J. Bale and R.J.M. Howland. 1981. Nutrient distribution in an estuary: Evidence of chemical precipitation of dissolved silicate and phosphate. *Estuar., Coast. and Shelf Sci.*, 12, 205~216.

Pritchard, D.W. and J.R. Schubel. 1981. Physical and geological processes controlling nutrient levels in estuaries. In *Estuaries and*

- Nutrients*, B.J. Neilson and L.E. Cronin, eds. Humana Press, Clifton, pp. 47~69.
- Sanders, R., C. Klein and T. Jickells. 1997. Biogeochemical nutrient cycling in the upper Great Ouse estuary, Norfolk, U.K. *Estuar., Coast. and Shelf Sci.*, 44, 543~555.
- Sharp, J.H., J.R. Pennock, T.M. Church, J.M. Tramontano and L.A. Cifuentes. 1984. The estuarine interaction of nutrients, organics and metals: A case study in the Delaware estuary. In *The Estuary as a Filter*, V.S. Kennedy, ed. Academic Press, New York, pp. 241~257.
- Shim, J.H., Y.K. Shin and W.H. Lee. 1984. On the phytoplankton distribution in the Kwangyang Bay. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 10, 172~186 (in Korean).
- Strickland, J.D.H., R.W. Eppley and B.R. Mondiola. 1969. Phytoplankton populations, nutrients and photosynthesis in Peruvian Coastal Waters. *Biol. Inst. del Mer del Peru*, 2, 1~45.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 167, 310 pp.
- Wolfe, D.A. and B. Kjerfve. 1986. Estuarine variability: an overview. In *Estuarine Variability*, D.A. Wolfe ed. Academic, Orlando, FL, pp. 3~17.
- Yamada, S.S. and C.F. D'Elia. 1984. Silicic acid regeneration from estuarine sediment cores. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 18, 113~118.
- Yang, H.S. and S.S. Kim. 1990. Characteristics of spatio-temporal variation of the water quality in the lower Keum River. *J. Kor. Fish. Soc.*, 23, 225~237 (in Korean).
- Yentsch, C.S. and D.W. Menzel. 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.*, 10, 221~231.
- Zwolsman, J.J.G. 1994. Seasonal variability and biogeochemistry of phytoplankton in the Scheldt estuary, south-west Netherlands. *Estuar., Coast. and Shelf Sci.*, 39, 227~248.

---

2001년 1월 16일 접수

2001년 4월 10일 수리