

## 섬진강 하구역에서 환경요인 및 기초생산성의 변화

양성렬\* · 송환석<sup>1</sup> · 김관천<sup>2</sup> · 박 철<sup>3</sup> · 문창호<sup>4</sup>

광주대학교 환경공학과, <sup>1</sup>전남대학교 해양학과, <sup>2</sup>광주보건대학 환경행정과,  
<sup>3</sup>충남대학교 해양학과, <sup>4</sup>부경대학교 해양학과

### Changes in Environmental Factors and Primary Productivity in the Seomjin River Estuary

SUNG RYULL YANG\*, HWAN SEOK SONG<sup>1</sup>, KWAN-CHUN KIM<sup>2</sup>, CHUL PARK AND CHANGHO MOON<sup>4</sup>

*Department of Environmental Engineering, Gwangju University, Gwangju 503-703, Korea*

*<sup>1</sup>Department of Oceanography, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea*

*<sup>2</sup>Department of Environmental Administration, Gwangju Health College, Gwangju 506-701, Korea*

*<sup>3</sup>Department of Oceanography, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*

*<sup>4</sup>Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

섬진강 하구역에서 일차생산을 조절하는 환경요인과 기작을 포악하기위하여 엽록소 *a*, 영양염, pH, 부유물질, 용존산소, 염분과 일차생산을 2001년 2월, 4월, 8월, 10월 네 차례에 걸쳐서 측정하였다. 조사기간 중 일차생산의 범위는 50.7에서 14,203.3 mg C m<sup>-3</sup> day<sup>-1</sup>의 범위를 보여주었다. 다른 하구역과는 대조적으로 본 조사지역에서는 대부분의 시기에 높은 수층 투명도로 인하여 광 조건이 광합성의 제한요인으로 작용하지 않았다. 염분이 10에서 20 psu 사이의 지역에서 가을철 대증식이 발생하였는데, 이 현상은 매년 나타나는 것으로 보이며 그 기작에 대하여 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다. 일차생산을 조절하는 주된 요인 중의 하나인 영양염의 거동은 염분에 의하여 지배되는 것으로 보인다. 질소계 영양염의 주된 공급원은 섬진강으로부터의 담수에 의한 것으로 보이는 반면, 인은 광양만 유역의 산업폐수로부터 기인한 것으로 판단된다. 본 조사지역에서 식물플랑크톤에 의한 일차생산은 시간적 공간적인 변화를 보이며, 수층의 투명도와 밀접한 관계를 나타내고, 인접한 광양만 내의 연안역에 비교하여 상대적으로 높은 값을 나타내었다.

To investigate the aquatic environmental factors and processes controlling primary production in the Seomjin River estuary, chlorophyll *a*, nutrients, pH, SS, DO, temperature, salinity and primary productivity were measured in February, April, August and October, 2001. Primary productivity values ranged between 50.7 and 14,120.3 mg C m<sup>-3</sup> day<sup>-1</sup> during the sampling period. In contrast to other estuaries, light condition did not seem to be the important limiting factor for primary production due to high water-column transparency during most of the time. The autumn bloom occurred in regions where salinity values ranged between 10 and 20 psu. This phenomenon appeared to develop every year and deserves further investigation. The behavior of nutrients, which is one of the major factors controlling the primary productivity, appeared to be governed by salinity regimes. The main source of nitrogenous nutrients seemed to be the freshwater runoff from the Seomjin River. However, that of phosphorus seemed to be from the industrial wastewater in Gwangyang area. The primary production of phytoplankton in the study area varied with space and time, showing a close correlation with water column transparency, and exhibited higher values compared to those of adjacent coastal regions in Gwangyang Bay.

**Keywords:** Seomjin River, Primary Productivity, Transparency, Salinity, Nutrients

### 서 론

하구역은 담수와 해수의 특성이 혼합된 전이지대(ecotone)로서, 일반적으로 생물 생산성이 높으며, 수산생물의 산란장과 자치어기

의 사육장으로 이용되어 장래의 수확량(future catch)을 결정하는 생태적으로 매우 중요한 장소이다. 또한 홍수를 조절하고 수질의 자연정화 작용을 하는 완충지대 및 침식조절의 역할, 그리고 여가 활용 및 생태관광 등의 다양한 기능을 한다. 하구에서 일어나는 여러 생지학적 과정은 육상 및 하천으로의 공급되는 다양한 물질이 인접 연안역으로 공급되는 정도를 결정하며, 또한 하구의 해수

\*Corresponding author: sryang@gwangju.ac.kr

순환 등 물리적 요인들이 이러한 과정에 함께 관여하고 있다(Hager and Schemel, 1992; Zwolsman, 1994).

논문의 연구대상 지역인 섬진강은 하천연장 225 km, 유역면적 4,896 km<sup>2</sup>를 가지며, 연간 약 25억 8천만 톤의 하천수가 배수되어 광양만으로 유입된다(김, 1968). 섬진강은 다른 국내 주요하천과 달리 하구언이 건설되지 않았고, 광양만에 도달하기 전까지는 수질도 하천수질 등급 1, 2 등급으로 비교적 오염도가 낮은 자연적인 상태를 유지하고 있어, 조류 및 조석 그리고 담수 유입에 의한 하구역의 염분 변화에 따른 식물플랑크톤의 생리·생태와 영양염류를 포함한 생물지화학물질의 거동을 연구하기에 적합한 곳이다.

하구역의 플랑크톤 생산성과 관련된 국외의 연구는 O'Donohue and Dennison(1997)의 하구 구배(gradient)에 따른 영양염류 농도와 광도 그리고 수온의 변화에 따른 식물플랑크톤의 생산성, Humborg(1997)의 Danube강 하구에서 영양염류의 제거기작과 일차생산과의 관계 등이 있다. 또한 10년간의 장기적인 영양염류의 시공간적인 특성과 식물플랑크톤의 동역학에 관한 연구도 미국 Virginia주의 York강 하구에서 행하여졌다(Sin *et al.*, 1999). 그리고 Cloern *et al.*(1983), Anderson(1986) 및 Moon and Dunstan(1990)은 식물플랑크톤 현존량의 최대치(peak)가 일어나는 현상을 하구의 순환과 연결하여 설명하였다. 국내에서 하구역의 염분 변화에 따른 물질 농도의 변화를 연구한 것은 금강 하구에서 Byrd *et al.*(1990), Yang and Kim(1990) 및 Lee(1992), 조와 서(1988), 최(1993)가 염분구배에 따른 영양염류, 중금속 및 부유물질의 농도 변화에 대한 연구가 있으며, 하구역 생물상에 관한 국내의 연구는 만경, 동진강 하구계에서 심 등(1991; 1993)의 식물플랑크톤과 박테리아에 관한 연구가 있다.

섬진강 하구역에서 식물플랑크톤의 생산성에 관하여 현재까지 발표된 논문은 많지 않다. 섬진강 하구의 해황에 따른 플랑크톤의 생리·생태 관한 연구로는, 수질과 부착조류의 생태(이 등, 2000), 박 등(2001)과 권 등(2002; 2004)의 염분 경사에 따른 플랑크톤의 종조성과 영양염류의 거동 및 입자성 유기물의 분포에 관한 연구가 있다. 또한 인접한 광양만에서 Yang(1977)의 식물플랑크톤 분포에 관한 연구, 그리고 이 등(1998)의 광양만 생태계의 미생물 군집에 관한 환경요인 분석에 관한 연구가 있다.

하구에서 염분을 포함한 환경변화에 따른 생물생산성 및 플랑크톤, 저서생물의 군집구조 변화에 관한 연구가 외국에서는 장기간에 걸쳐 계속되고 있으나, 우리나라에서는 특히 환경문제가 심각하지 않은 섬진강 하구에서는 장기적이고 체계적인 연구가 빈약한 실정이다. 그러나 육상으로부터 공급되는 물질에 의한 하구역의 부영양화와 매년 남해안에 나타나는 적조발생이 연안해역의 생물생산성에 큰 피해를 미치며, 적조 발생이 연안뿐만 아니라 외양에서도 발생되고 있는 현실을 감안해 볼 때, 섬진강 하구역의 생지화학적 특성연구는 이러한 상관관계를 파악하는데 매우 절실한 것으로 판단된다. 영양염류를 비롯한 생물기원 물질의 순환과, 이의 영향을 받는 수층 환경변화를 정량적으로 측정하고 그 기작을 이해하는 것은 하구역의 환경을 이해하는데 필수적이다. 본 연구에서는 담수유입에 의한 하구환경의 이화학적 변화와, 다량의 영양염류 유입과 조석작용이 강 하류 및 하구역 식물플랑크톤의 일차생산에 미치는 영향을 파악하여, 섬진강 하류 및 하구역의 생지화학적 특성을 고찰하고자 한다.

## 재료 및 방법

섬진강 하구역의 환경 요인에 따른 해양생태계 및 생산성 변화를 연구하기 위해 2001년 2월, 4월과 8월 그리고 10월에 계절별로 1회씩 섬진강 중·하류 및 하구역에서 약 5 psu의 염분구배 간격으로 식물플랑크톤의 일차생산력과 생물량 그리고 물리(수온, 염분 등) 및 화학적요인(영양염류 및 DO, pH 등)을 측정하였다. 수온 및 염분의 수직분포는 SBE-19 CTD를, 추가적인 표층수온은 pH meter(Orion model 230A)에 부착된 온도감지기를 이용하여 측정하였다. 광합성량 계산을 위한 광량은 Li-190SA quantum sensor를 사용하여 측정된 값을 Li-1000 Datalogger(Li-Cor)로 1분 단위로 기록하였다.

용존산소 농도는 채수한 해수를 기포가 없이 60 ml DO병에 옮긴 후 황산제일망간용액과 알칼리이오드화칼륨-아지드화나트륨 용액을 첨가하여 용존산소를 고정된 후 실험실로 운반하여 Winkler 적정법에 준하여 측정하였다(Winkler, 1888). 영양염류(질산염, 아질산염, 암모니아, 규산염, 인산염)은 채수된 시료를 25 mm GF/F filter를 통과시켜 여액을 20 ml plastic병에 담아 dry ice에 냉동 운반하여 분석 시까지 냉동 보관 후 Parsons *et al.*(1984)에 준하여 Autoanalyzer(TRAACS 2000, Bran-Luebbe)를 이용하여 측정하였다. 부유물질은 110°C에서 1시간 건조시켜 무게를 측정된 GF/C filter에 시료 일정량을 여과하여 다시 110°C, 1시간 건조한 후 전·후 무게의 차이를 구하였다.

식물플랑크톤의 엽록소 *a*의 분석은 Parsons *et al.*(1984)의 방법에 따라 해수 250~500 ml를 유리섬유 여과지(25 Whatman GF/F filter)로 여과하여 -20°C에서 냉동 보관 후 분석시 90% 아세톤으로 냉암소에서 24시간 동안 추출한 후, UV-Visible spectrophotometer (Unicam 4-100)를 이용하여 750 nm, 664 nm, 647 nm, 630 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 계산하였다.

일차생산의 측정은 Steeman-Nielsen(1952) 방법에 기초한 Parsons *et al.*(1984)에 의한 방법을 사용하였다. 250 polycarbonate bottle에 시료 250 ml를 넣고 4  $\mu$ Ci <sup>14</sup>C-NaHCO<sub>3</sub>를 가하여 현장온도의 자연광 하에서 3시간동안 배양하였다. Blank는 검정 테이프를 포장하여 같은 시간동안 배양하였다. 배양이 끝난 후 25 mm GF/F filter로 여과 한 후 강염산으로 산훈증(acid fuming)을 시켜 무기탄소를 제거하였으며, 여기에 섬광액(scintillation cocktail; Lumagel Safe) 10 ml를 가하여 액체섬광계수기(Liquid scintillation counter, Wallac Model 1405)를 이용 입자에 동화된 <sup>14</sup>C 방사성 동위원소의 양을 측정하였다. 일차생산의 계산은 액체 섬광계수기에서 측정된 dpm값과 총이산화탄소량 및 배양시간을 계산하여 단위 부피당 단위 시간당 탄소 동화량(mg C m<sup>-3</sup> hr<sup>-1</sup>)으로 나타내었다. 또한 섬진강 하류지역인 정점 4에서 조석에 따른 환경요인의 변화와 섬진강으로부터 유입되는 영양염류, 부유물질 그리고 엽록소 농도의 변화를 파악하기 위하여 25시간 연속관측을 행하였다.

## 결과 및 고찰

하구역에 서식하는 식물플랑크톤의 생산력 및 생물량은 다양한 환경 요인에 의해 영향을 받고 서로 상관관계를 보이는 것으로 알

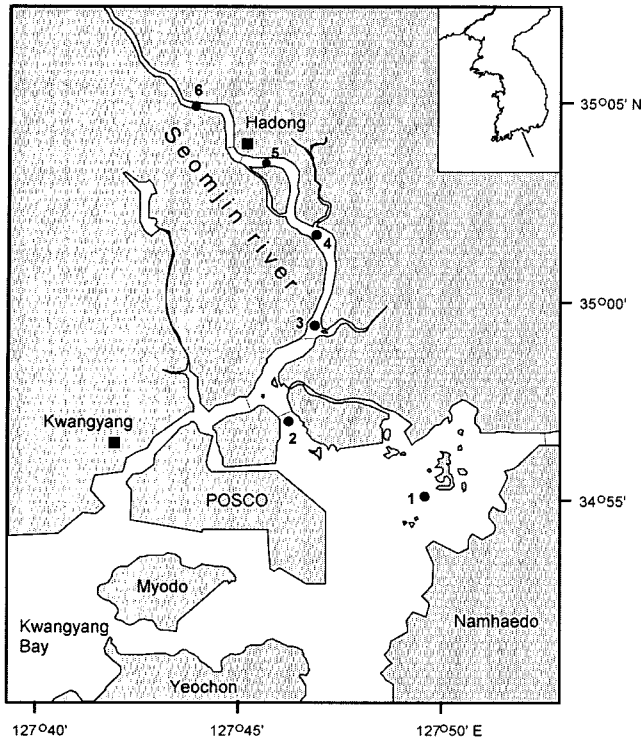


Fig. 1. A map showing sampling stations in the Seomjin River estuary.

려져 있다(Wafer *et al.* 1983). Fisher *et al.*(1988)은 하구역의 환경요인 중 가장 큰 변동을 보이는 것이 염분이고, 이러한 염분 변화에 영향을 주는 것은 하구로 유입되는 담수량이며, 식물플랑크톤 생물량의 최대치는 염분 변화에 영향을 받는다고 하였다. 우리나라와 같은 온대지역의 하구역에서 염분은 다우기와 빈우기 사이에 큰 차이를 나타내고 조석변화에 따라서 주기적으로 변화한다. 염분 변화를 비롯한 여러 물리·화학적 환경이 끊임없이 변화하는 하구역에 서식하고 있는 생물은 이러한 환경변화에 따른 압력을 받게 된다.

섬진강 유역의 염분 분포는 고조기일 경우 강 입구인 갈사마을 유역에서 30 psu를 나타냈으며, 섬진교 유역에서 20 psu 범위, 하동철교 부근에서 10 psu 정도를 보여주었다. 동일 지역에서 저조기에는 고조기에 비하여 염분이 5-10 psu 정도 감소하였다. 특히 하계와 같이 강우량이 많을 때는 5 psu 정도의 저염분 수역이 강 하류인 망덕마을 입구에서 형성이 되었다(정, 2002).

조사해역 표층의 염분 변화는 장마기간을 전후로 강우의 영향을 받은 8월에서 10월까지의 하계에 낮은 염분 분포를 나타내었다. 춘계의 염분분포가 추계보다 높게 나타난 것은 동계동안 장기간에 걸쳐 담수 유입이 적었기 때문이며, 전반적으로 다우기를 제외한 시기에 담수와 해수가 처음 만나는 지점은 하동읍에서 상류 방향으로 1 km 부근이었다.

영양염류 농도 분포의 경우 질산염과 규산염은 강의 하류로 진

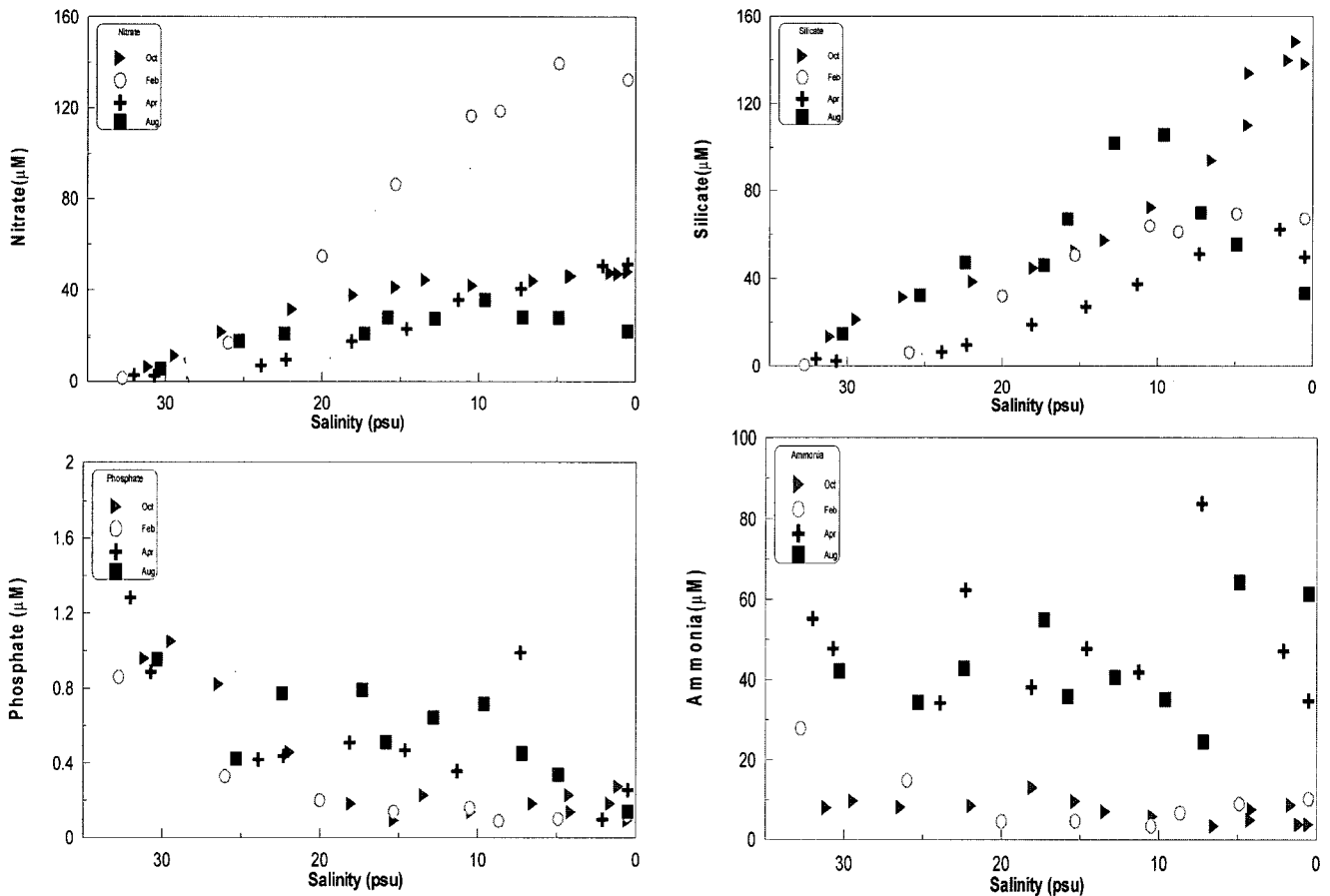
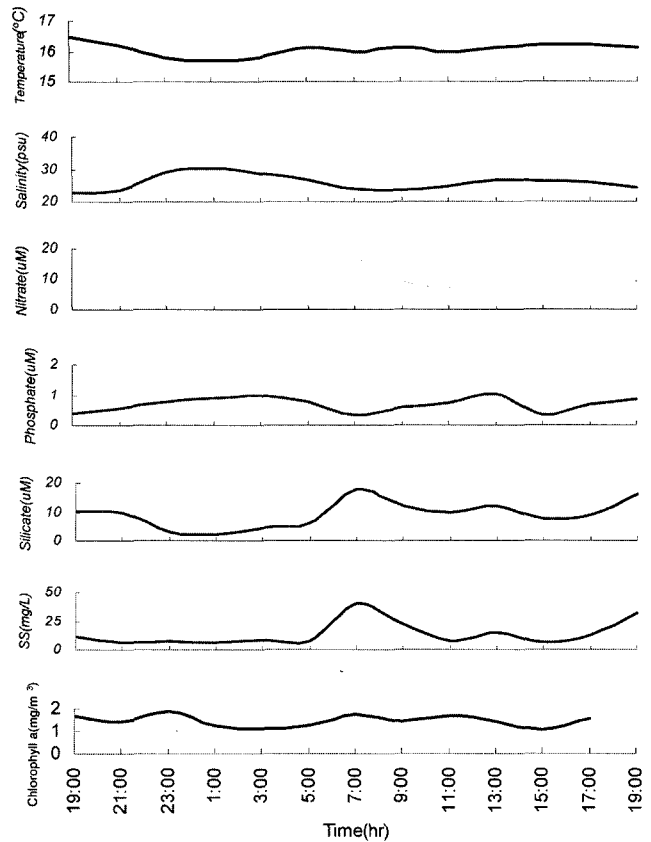


Fig. 2. Relationships between nutrients and salinity in the surface water of the Seomjin River estuary.

**Table 1.** Environmental parameters, chlorophyll *a* and primary productivity in the surface water of the Seomjin River estuary, in 2001.

Month	Sal. (psu)	Temp. (°C)	pH	Secchi (m)	DO (ml/l)	SS (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM)	SiO <sub>2</sub> (μM)	Chl. <i>a</i> (ug/l)	PP (mg C/m <sup>3</sup> /day)	P <sup>b</sup> (gC/g Chl <i>a</i> /hr)
Feb.	16.8 ±10.1	4.9 ±0.5	8.4 ±0.2	2.7 ±0.7	9.3 ±0.7	8.2 ±5.8	1.2 ±0.5	76.3 ±53.4	10.2 ±8.7	0.3 ±0.3	40.5 ±28.2	1.7 ±1.2	178.8 ±60.3	64.9 ±57.2
Apr.	16.7 ±10.1	16.4 ±0.4	7.9 ±0.3	2.0 ±0.5	6.1 ±0.4	4.8 ±1.2	0.5 ±0.2	22.6 ±18.1	42.8 ±5.7	0.5 ±0.3	25.7 ±22.1	1.7 ±0.3	467.3 ±331.6	41.1 ±35.0
Aug.	14.7 ±10.8	28.6 ±1.2	7.7 ±0.5	1.7 ±0.9	5.3 ±0.5	7.9 ±1.6	1.4 ±0.5	22.5 ±9.5	46.8 ±13.0	0.6 ±0.3	50.7 ±29.7	2.1 ±1.3	3,179.4 ±4,887	72.0 ±37.5
Oct.	17.8 ±9.69	19.6 ±0.8	7.9 ±0.1	1.9 ±0.1	5.3 ±0.4	10.6 ±9.5	2.0 ±0.9	43.0 ±28.0	1.1 ±0.4	57.9 ±28.2	10.3 ±2.1	1.0 ±0.6	485.1 ±359.4	133.9 ±159.3

행할수록 농도가 감소하였다. 암모니아는 불규칙한 분포를 보였으나 10-20 psu 염분범위에서 낮은 농도를 나타냈다(Fig. 2). 일반적으로 영양염류 중 질산염과 암모니아가 동시에 존재할 때 식물플랑크톤이 암모니아성 질소를 우선적으로 이용하는 것으로 알려져 있으며, 인산염의 제거 과정으로는 비생물학적으로 조석에 의해 저층에서 재 부유된 입자에 흡착되어 제거되기도 하지만, 주로 식물성 플랑크톤에 의해 제거되는 것으로 알려져 있다(Morris et al., 1978). 인산염은 평균 0.36-0.57 μM의 범위로 조사 시기별 차이가 크지 않았으며 분포양상은 대체로 조사지역의 중·상부에서 낮고 하구역에서 높은 분포 양상을 나타내었다(Table 1; Fig. 2). 0-4 psu인 저 염분지역에서의 영양염류 농도 변화는 질산염의 경우 47.89-139.55 μM, 암모니아는 3.80-9.00 μM, 인산염은 0.09-0.57 μM 그리고 규산염은 26.78-138.20 μM의 범위로서 담수에서 공급되는 영양염류 농도는 조사 시기에 따라 3-7배의 변화폭을 보였고, 고염분지역인 섬진강 하구역에서의 질산염은 1.34-6.36 μM, 암모니아는 8.06-27.85 μM, 인산염은 0.86-1.28 μM 그리고 규산염은 0.46-13.30 μM의 범위를 보였다(Table 1). 질산염과 규산염의 농도는 염분이 낮은 상류에서 높게 나타나고 하류로 진행될수록 감소하였으며, 인산염은 강하구의 염분 농도가 높은 구역에서 오히려 높게 나타났다(Fig. 2). 섬진강 유역에서의 조석 작용의 염분 변화에 따라 영양염류와 엽록소 *a*의 거동을 관측하기 위해 한 시간 간격으로 25시간 모니터링 하였다. 조석변화에 따른 염분의 변화폭은 7 psu 정도로 나타났다(Fig. 3). 창조시 염분이 증가할수록 아질산염, 질산염 그리고 규산염은 반대로 감소하는 경향을 나타냈으며, 인산염은 염분과 함께 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 인산염의 기원이 다른 영양염류와 상이할 수 있음을 시사한다. 조석변화에 따라 증가하는 염분과 아울러 증가하는 인산염은 해수 기원임을 유추할 수 있으며, 이와 반대로 질소계 영양염(질산염, 암모니아)과 규산염은 섬진강수 기원임을 추정할 수 있다. 엽록소 *a*와 염분과는 음의 상관성을 보여주었다. 즉, 염분이 증가할수록 광합성 생물량은 오히려 감소하는 것으로 나타났다(Table 1, Fig. 3). 영양염류 농도는 조석에 따라 큰 변화를 보였는데, 조석과 염분에 따른 영양염류의 거동을 보면 질산염과 규산염은 강의 상류로부터 유입되고, 인산염은 강의 하류와 하구역에서 농도가 높게 나타나 광양만에 위치한 공업단지과 인근 마을에서의 유입이 지배적인 것으로 보인다. 25시간 연속 관측 결과로 볼 때 섬진강 하구역에서 창조시 하구역에서 해양으로 유입되는 인산염은 인이 부족한 해양 식물플랑크톤의 성장에 영향을 미칠 수가 있을 것으로 예상된다.



**Fig. 3.** Time series of environmental parameters in surface water of the Seomjin River.

섬진강 하구역에서 계절별로 correlation matrix를 이용한 분석 결과 염분에 대한 각 환경요인 들 중 상관성에서 음의 상관성을 보이는 항목, 즉 염분의 증가에 대하여 측정치가 감소하는 환경요인은 온도, 용존산소, 질산염, 암모니아, 인산염, 규산염 그리고 엽록소 *a* 및 일차생산력이었다(Table 2). 그 외 pH, 투명도, 부유물 질농도, 아질산염 그리고 단위 엽록소 당 생산력은 양의 상관성을 나타냈다. 그리고 식물플랑크톤 생산량에 대한 각 환경 요인들과 선형회귀분석결과와 경우 염분농도와 pH, 투명도, 용존산소, 질산염과 아질산염 그리고 인산염은 음의 상관관계를 나타냈으며, 나머지 온도, 부유물질, 암모니아 그리고 규산염과 엽록소 *a*와는 양의 상관관계를 나타냈다(Table 2). 생산성에 대해 상관성이 높은

**Table 2.** The correlation matrix of environmental parameters from seasonal measurements in the Seomjin River and estuarine area, in 2001.

	Sal.	Temp.	pH	DO	Secchi	SS	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	SiO <sub>2</sub>
Sal.	-	-0.09	0.59	-0.07	0.60	0.51	0.06	-0.58	-0.07	-0.04	-0.60
Temp.		-	-0.61	-0.84	-0.44	0.03	0.17	-0.51	0.41	0.06	0.24
pH			-	0.53	0.71	0.13	-0.02	0.09	-0.35	-0.14	-0.24
DO				-	0.38	-0.15	-0.15	0.61	-0.38	-0.26	0.06
Secchi					-	0.09	-0.19	-0.05	-0.21	-0.05	-0.26
SS						-	0.25	-0.37	-0.08	-0.06	-0.24
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>							-	0.21	-0.50	0.27	0.18
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>								-	-0.50	0.14	0.40
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>									-	-0.54	0.14
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>										-	-0.40
SiO <sub>2</sub>											-

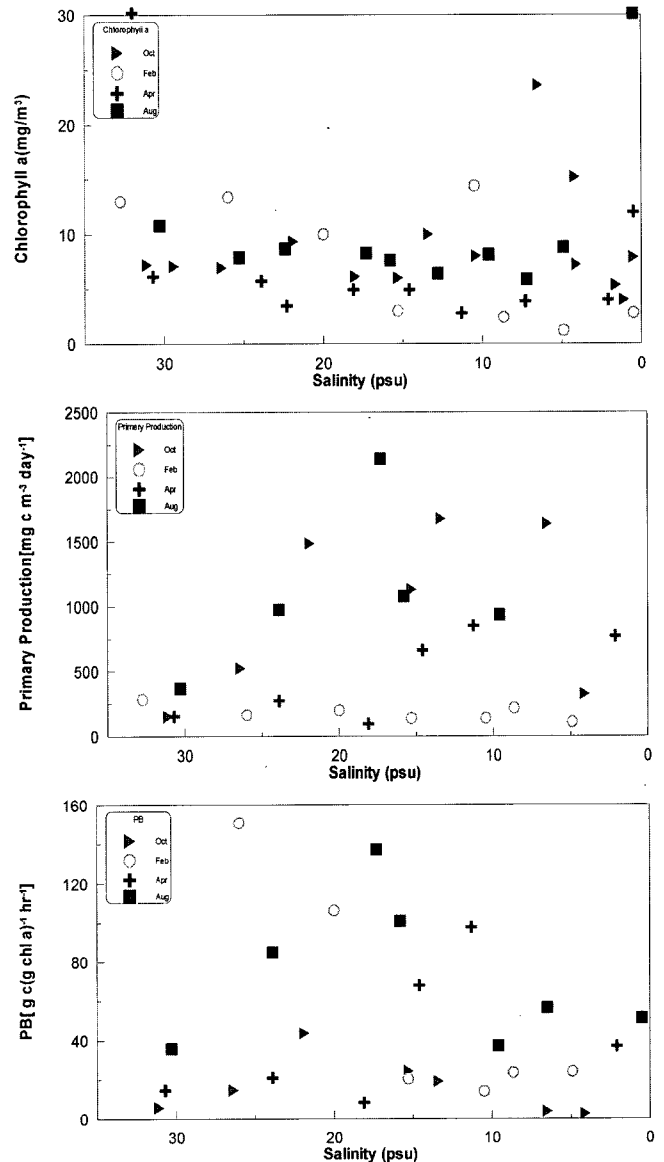
항목은 pH, 투명도, 암모니아성 질소 그리고 온도와 염분 순서였다. 계절별로 선형회귀분석 결과 염분과 질소계 영양염류와는 2월과 4월에  $r = -0.95(p < 0.001)$ 로 나타났고, 인산염과는 양의 상관관계가  $r = 0.9(p < 0.001)$ 로 분석되었다(Table 2). 그러나 추계인 10월에는 이와 반대의 경향을 나타냈다. 즉, 인산염과는 음의 상관성을 나타냈고 질소계 영양염류와는 양의 상관관계를 보였다(Table 2).

Kim *et al.*(1988)의 보고에 의하면 여수해만에서 질산염 및 규산염의 공급원이 섬진강이고, 인산염 및 암모니아의 공급원은 광양만 주변에서 나오는 생활하수 및 공장폐수라고 보고하였다. 인산염은 일반적으로 담수계에서 식물플랑크톤의 제한요인으로 나타난다. Sharp *et al.*(1982)은 Delaware강 하구에서 식물플랑크톤의 춘계 대번식이 인산염의 생물학적 제거를 보고 하였으며, Zwolsman(1994)는 Scheldt강 하구에서 증가된 용존산소에 의해 인산염이 산화철과 결합 침전하여 급격하게 제거 되는 결과를 보고하기도 하였다.

엽록소 *a*는 추계에는 염분 1-13 psu 범위에서 10 µg/l 이상의 높은 농도를 보였으며, 그 외 염분역에서는 5 µg/l 이하로 낮게 유지되었다(Fig. 4). 동계에는 8-15 psu 염분 지역에서 다른 염분 지역에 비해 상대적으로 높게 나타났으며, 춘계에는 담수지역에서 높은 엽록소 *a* 농도가 나타났으며, 염분 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 4). 염분 변화에 따른 식물플랑크톤 생물량인 엽록소 *a*와 염분의 변화의 경우, 추계에는 약 1-13 psu 염분지역에서 대증식이 발생하여 추계 전체 현존량에 크게 기여하고 있었으며, 동계에도 10-15 psu 염분지역에서 엽록소 *a* 농도가 다소 높았으며 저염분과 고염분 지역에서는 다소 낮은 농도가 나타났다.

섬진강 하류와 하구역에서의 일차생산력은 95.53-2,639.87 mg C m<sup>-3</sup> day<sup>-1</sup> 범위로 여름철 하구역에서 가장 높게 나타났다. 2001년 10월 염분농도 10-20 psu 사이에서 *Skeletonema costatum*에 의한 대번성이 발생하였고(정, 2002), 이때의 생산력은 1,500 mg C m<sup>-3</sup> day<sup>-1</sup>로 나타났다. 단위 클로로필 당 일차생산력은 겨울철인 2월을 제외하고는 10-20 psu의 염분농도 지역에서 최대값을 나타냈다(Table 1, Fig. 4).

하구역에 서식하는 식물플랑크톤 생산력 및 생물량은 다양한 환경요인에 의해 영향을 받고 서로 상관관계를 보이는 것으로 알려져 있다. 양 등(2001)은 낙동강 하구역에서 식물플랑크톤 군집구



**Fig. 4.** Relationships between primary production, biomass specific primary productivity ( $P^b$ ), and salinity in the surface water of the Seomjin River estuary.

조 및 종조성과 일차생산력 그리고 하구환경변화에 영향을 미치는 가장 중요한 요인은 담수 유입량이라고 하였고, Fisher *et al.*(1988)도 하구환경요인 중 하구로 유입되는 담수량에 따른 염분의 변동이 가장 크게 나타나며, 식물플랑크톤 생물량의 최대치는 염분 변화에 영향을 받는다고 하였다.

연구기간 섬진강 하구 환경에서 가장 큰 변화를 보이는 것은 환경요인은 염분이며, 다른 여러 물리·화학적 환경의 변화 폭은 염분 변화에 비하여 미약했다. 따라서 섬진강 하구에서 식물플랑크톤 일차생산에 가장 커다란 영향을 미치는 요인은 조석주기와 강으로부터 유입되는 담수에 의한 염분변화로 보인다. 하구역에서 서식하고 있는 생물은 이러한 주기적인 환경변화에 적응이 되어 있다. 그러나 식물플랑크톤은 특히 염분의 변화에 따른 삼투압의 급격한 변화를 견디지 못하고 사멸되어 종 조성의 변화를 가져올 수 있다(박 등, 2001; 권, 2002). 본 연구에서는 염분 10 psu 부근 지역에서 염록소 *a* 농도는 높았으나 생산성은 오히려 낮게 나타났고, 염록소 농도가 상대적으로 낮았던 20 psu에서 생산력이 높게 측정되었다. 섬진강 하류지역의 염분 10-20 psu 범위의 지역에서 가을철 대변성이 매년 반복적으로 발생되고 있는데, 이의 원인 규명을 위한 연구가 현재 진행중에 있다.

인간 활동이 집중된 하구역의 중요성에 비하여 아직 하구생태계에 대한 이해가 많이 부족한 실정에서, 하구역에 대한 연구결과는 수질 및 저질 환경관리, 연근해 어장 환경의 효율적인 보존 및 수산자원의 이용 등에 귀중한 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 자료는 연안 해역의 합리적 이용과 환경보존에도 큰 도움이 될 것이다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구사업 R01-2000-000-0063-0의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다. 신용식, 서호영 심사위원의 조언에 감사드립니다.

## 참고문헌

권기영, 문창호, 강창근, 김영남, 2002. 섬진강하구역에서 염분경사에 따른 입자성유기물의 분포. 한국수산학회지, **35**: 86-96.  
 권기영, 문창호, 이재성, 양성렬, 박미옥, 이필용, 2004. 섬진강 하구역에서 영양염의 하구내 거동과 플럭스. "바다" 한국해양학회지, **9**: 153-163.  
 김광식, 1968. 10대강 유역의 물수지. 한국기상학회지, **4**: 1-7.  
 박미옥, 문창호, 김석운, 영성렬, 권기영, 이용우, 2001. 2000년 추계 섬진강하구에서 염분경사에 따른 식물플랑크톤의 종조성: HPLC와 현미경 자료 분석 비교. *Algae*, **16**: 179-188.  
 심재형, 신윤근, 여환규, 1991. 만경, 동진강 하구 표영생태계의 무생물 환경과 일차생산자: I. 환경 특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국해양학회지, **26**: 155-168.  
 심재형, 신윤근, 조병철, 1993. 만경·동진강 하구에서의 박테리아 및 식물플랑크톤의 역할과 상호 관계. 한국해양학회지, **28**: 107-113.  
 양성렬, 송환석, 문창호, 권기영, 양한섭, 2001. 낙동강 하구역의 담수유입에 따른 해양환경 및 일차생산력 변화. *Algae*, **16**:

165-178.  
 이경보, 김백호, 이덕배, 김재덕, 최민규, 2000. 섬진강 수계 수질과 부착조류에 대한 생태학적 연구. 한국환경농학회지, **19**: 276-283.  
 이우범, 주현수, 박종천, 1998. 광양만 생태계의 미생물군집에 관한 환경요인 분석. 환경생물학회지, **16**: 143-150.  
 정영우, 2002. 섬진강 하구역의 환경요인에 따른 해양생태계 및 생산성 변화. 광주대학교 석사학위논문.  
 조주환, 서만석, 1988. 금강하구역의 부유물질변동에 관한 연구. 한국지구화학학회지, **9**: 143-162.  
 최진용, 1993. 금강하구 및 인근해역에서 부유퇴적물의 계절적 변동에 관한 연구. 한국해양학회지, **28**: 272-280.  
 Anderson, G.F., 1986. Silica, diatom and freshwater productivity maximum in Atlantic coastal plain estuaries, Chesapeake Bay. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **22**: 183-197.  
 Byrd, J.T., K.W. Lee, D.S. Lee and R.G. Smith, 1990. The behavior of trace metal in the Geum estuary. Korea. *Estuaries*, **13**: 8-13.  
 Cloern, J.E., A.E. Alpine, B.E. Cole, R.L.J. Wong, J.W. Wong, J.F. Arthur and M.D. Ball, 1983. River discharge controls phytoplankton dynamics in the northern San Francisco Bay. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **16**: 415-419.  
 Fisher, T.R., L.W. Harding, Jr., D.W. Stanley and L.G. Ward, 1988. Phytoplankton, nutrients and turbidity in the Chesapeake, Delaware and Hudson estuaries. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **27**: 61-93.  
 Hager, S.W. and L.E. Schemel, 1992. Sources of nitrogen and phosphorus to northern San Francisco Bay. *Estuaries*, **15**: 40-52.  
 Humborg, C., 1997. Primary productivity regime and nutrient removal in the Danube Estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **45**: 579-589.  
 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 Res.*, **10**: 1-8.  
 Lee, C.B., 1992. The behaviour of dissolved iron and its variability in the Keum estuary, a macrotidal system on the western coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 141-152.  
 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., R.F.C. Montoura, A. J. Bale and R.J.M. Howland, 1978. Very low salinity regions of estuaries: important sites for chemical and biological reactions. *Nature*, **274**: 678-680.  
 O'Donohue, M.J.H. and W.C. Dennison, 1997. Phytoplankton productivity response to nutrient concentrations, light availability and temperature along an Australian estuarine gradient. *Estuaries*, **20**: 521-533.  
 Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. 173 pp.  
 Sharp, J.H., C.H. Culbertson and T.M. Church, 1982. The chemistry of the Delaware estuary. General considerations. *Limnol. Oceanogr.*, **27**: 1015-1028.  
 Sin, Y., R.L. Wetzel and I.C. Anderson, 1999. Spatial and temporal

- characteristics of nutrient and phytoplankton dynamics in the York River Estuary, Virginia: Analyses of long-term data. *Estuaries*, **22**: 260–275.
- Steeman-Nielsen, E., 1952. The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Perma. Int. Explor. Mer.*, **18**: 117–140.
- Wafer, M.V.M., P. Le Corre and J.L. Birrien, 1983, Nutrients and primary production in permanently well-mixed temperate coastal water. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **17**: 431–446.
- Winkler, L.W., 1888. The determination of dissolved oxygen in water. Berlin. *Deut. Chem. Ges.*; **21**: 2843–2855.
- Yang, H.C., 1977. Diatom of Yeosu coasts of Korea in spring. Thesis Collect. *Yeosu Fish Tech. Coll.*, **11**: 71–81.
- Zwolsman, J.J.G., 1994. Seasonal variability and biogeochemistry of phosphorus in the Scheldt Estuary, South-west Netherlands. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **39**: 227–248.
- 

2005년 5월 25일 원고접수

2005년 8월 19일 수정본 채택

담당편집위원: 서해림