

## 광양만에서 식물플랑크톤증식의 제한영양염

이영식\* · 이재성 · 정래홍 · 김성수 · 고우진 · 김귀영 · 박종수<sup>1</sup>

국립수산진흥원 남해수산연구소

<sup>1</sup>국립수산진흥원 어장환경부

## Limiting Nutrient on Phytoplankton Growth in Gwangyang Bay

YOUNG SIK LEE\*, JAE SEONG LEE, RAE HONG JUNG, SOUNG SOO KIM, WOO-JIN GO,  
KUI YOUNG KIM, AND JONGSOO PARK<sup>1</sup>

South Sea Fisheries Research Institute, Yeosu Jeonnam 556-820, Korea

<sup>1</sup>Marine Environment Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Pusan 619-900, Korea

광양만에 있어 식물플랑크톤증식의 제한영양염을 검토하기 위하여 염분, 용존무기질소, 용존무기인, DIN/DIP비 및 현장식물플랑크톤을 이용한 생물실험을 하였다. 조사는 강우량이 적은 1999년 11월과 강우량이 많은 2000년 9월에 하였다. 강우량이 적은 1999년 11월의 경우, 광양만의 염분, 용존무기질소, 용존무기인, DIN/DIP비의 평균값은 각각 29.92 psu, 13.59  $\mu\text{M}$ , 3.41  $\mu\text{M}$ , 4.14이었으며, 강우량이 많은 2000년 9월의 경우에는 각각 24.62 psu, 27.77  $\mu\text{M}$ , 2.82  $\mu\text{M}$ , 9.79로 나타났다. 이번 조사에서 용존무기질소, 용존무기인의 농도가 득량만, 여자만, 가막만 또는 체서피크만이나 히로시마만보다 높게 나타났으며, 특히 용존무기인의 경우 최고 8배 높게 나타났다. 질소의 주요 유입원으로는 섬진강으로부터 담수유입으로 인한 공급과 산업폐수의 유입으로 생각되었으며, 인의 경우 담수유입보다는 광양만내에 강력한 점오염원이 있어 그 점오염원으로부터 유입되는 것으로 추측되었다. 강우량이 적은 1999년 11월의 식물플랑크톤증식의 제한영양염은 질소였다. 강우량이 많은 2000년 9월의 경우에도 1999년 11월과 같이 질소가 제한영양염으로 나타났다. 그 이유로는 질소에 비해 상대적으로 인의 농도가 높은 점오염원에 의해 많은 양의 인이 유입되었기 때문으로 생각된다. 광양만에서 그 제한영양염은 상당히 많은 양의 담수가 유입될 경우 섬진강 하구의 일부지역에서는 인으로 나타날 가능성이 있으나, 섬진강 하구를 제외한 광양만, 여수동부연안 및 돌산도 동부연안해역은 높은 농도의 용존무기인에 의해 많은 양의 담수가 유입될 경우에도 질소가 제한영양염으로 나타날 것으로 추정되었다.

Salinity, DIN, DIP, DIN/DIP and indigenous algal assay were determined to estimate the limiting nutrient for phytoplankton growth in Gwangyang Bay, South Sea of Korea. Seawater samples were collected at surface and bottom water in 4 November 1999 (dry season) and 2 September 2000 (after heavy rain). In 4 November 1999, the salinity, DIN, DIP and DIN/DIP were 29.92 psu, 13.59  $\mu\text{M}$ , 3.41  $\mu\text{M}$  and 4.14 respectively. In 2 September 2000, these values were 24.62 psu, 27.77  $\mu\text{M}$ , 2.82  $\mu\text{M}$  and 9.79 respectively. The DIN and DIP concentrations in this study were higher than Deukryang, Yeoja and Gamak Bay, South Sea of Korea. Especially, DIP concentration was 8 times high compared to Deukryang, Yeoja and Gamak Bay. The main sources of nitrogen seem to be freshwater runoff from Somjin River and industrial wastewater. But, the main sources of phosphorus seem to be industrial wastewater around Gwangyang Bay. The limiting nutrient was nitrogen at all station in 4 November 1999. The limiting nutrient was also nitrogen in 2 September 2000 in spite of heavy rain observed because of relatively much volume of phosphorus supplied from point sources than nitrogen. In case of below 20 psu in salinity by heavy rain, the limiting nutrient will be shift from nitrogen to phosphorus at some area of Somjin River estuary. But the limiting nutrient will be never shift to phosphorus throughout Gwangyang Bay, eastern coast of Yeosu and Dolsan because of much volume of phosphorus runoff from point source in coastal area of Gwangyang Bay.

### 서 론

식물플랑크톤증식의 제한영양염을 검토하므로써 부영양화 기작 또는 적조발생 기구 해명은 물론 효과적인 수질관리기술을 개발

하는데 있어 중요한 정보를 얻을 수 있다(이, 1997). 일반적으로 식물플랑크톤증식의 제한영양염은 육지에서는 인, 바다에서는 질소의 경우가 많다(Hecky and Kilham, 1988; Mahoney, 1989). 그러나, 육지의 영향을 받기 쉽고, 또 외양 해수와의 혼합이 어려운 연안 하구지역이나 내해의 경우, 해역임에도 불구하고 외양 해수와는 다르며, 시기별, 해역별 독특한 특성이 있다(Fisher *et al.*,

\*Corresponding author: lys@nfrdi.re.kr

1992; Graneli, 1987; Graneli *et al.*, 1990; Lee *et al.*, 1996b). 미국의 체서피크만(Chesapeake Bay)의 경우 하천유량이 적은 늦여름에는 질소, 눈이 녹아 하천유량이 많은 초봄에는 인이 식물플랑크톤증식의 제한영양염으로 밝혀졌으며(Fisher *et al.*, 1992), 염분농도가 7~13 psu인 발트해의 경우 식물플랑크톤증식의 제한영양염은 질소이나, 여름철의 시아노박테리아의 대량번식 시기에는 인이 제한영양염으로 밝혀졌다(Graneli *et al.*, 1990). 한편, 염분농도가 15~34 psu인 발트해의 입구 Kattegat해협에서는 식물플랑크톤증식의 제한영양염은 질소였다(Graneli, 1987). 이와 같이 식물플랑크톤증식의 제한영양염은 육지의 영향을 받기 쉽고, 또는 외양 해수와의 혼합이 어려운 연안 하구지역이나 내해의 경우, 해역임에도 불구하고 태평양이나 외양 해수와는 다르며, 해역별 특징이 있다.

광양만은 한국 남해연안에 위치한 폐쇄성 내만으로 남쪽에서는 쿠로시오의 지류인 대마난류의 영향을 받은 외해수가 유입되고, 북쪽에서는 유역면적 4,897 km<sup>2</sup>의 섬진강 담수가 연간 25억 8천 만톤이 유입되고 있다(김, 1968). 2000년 현재 만 주변에는 인구 13만 6천의 광양시와 26만 7천의 순천시가 있으며, 산업시설로는 광양만 북부에 광양제철소와 남부지역에는 여천국가산업단지가 있다. 따라서, 광양만은 평상시에는 생활하수 및 공단지역으로부터 폐수가 유입될 수 있으며, 호우시에는 많은 양의 담수가 유입되는 해역으로, 광양만에 있어 식물플랑크톤증식의 제한영양염이 담수 및 산업폐수 등의 유입으로 위에서 언급한 연안해역과 다를 가능성이 높다.

이 연구에서는 광양만에 있어 담수의 유입이 적은 시기와 담수의 유입이 많은 시기에 있어 식물플랑크톤증식의 제한영양염과 그 변동 특성에 관하여 검토하였다.

## 재료 및 방법

강우량은 순천시 지방기상대의 관측치를 이용하였다(KMAS, Korea, 1999~2000). 현장 조사 및 시료 채취는 강우량이 적은 1999년 11월 4일과 강우량이 많은 2000년 9월 2일에 각각 실시하였다(Fig. 1). 염분은 수질측정기(YSI, 600XL)로 현장에서 측정하였으며, 시료는 표층(0m)과 저층(바다에서 1m 위)에서 채수하였다. 암모니아질소(NH<sub>4</sub>-N), 질산질소(NO<sub>3</sub>-N), 아질산질소(NO<sub>2</sub>-N) 및 인산인(DIP)은 해양환경공정시험방법(해양수산부, 1998)에 따라 측정하였으며, DIN은 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 나타내었다.

식물플랑크톤증식의 제한영양염을 검토하기 위한 실험방법으로는 DIN/DIP비, Mesocosm실험, Nutrient turnover time, Alkaline phosphatase activity, Algal assay 등이 있다(Fisher *et al.*, 1992; Harrison *et al.*, 1990). DIN/DIP비에 의한 제한영양염의 검토는 가장 간단한 방법으로 많이 이용되고 있으나, 용존무기질소 및 용존무기인 농도가 아주 낮을 경우 측정오차로 인해 잘못된 해석을 내릴 수 있으며, 또한 현장에서 식물플랑크톤은 질소, 인 어느 한쪽의 영양염이 과량 존재할 경우 과량 존재하는 영양염을 과잉 흡수하며(Goldman *et al.*, 1979), 이러한 상태에서 남아 있는 질소, 인의 비로 제한영양염을 추정하는 것은 문제가 된다. 그러나, 제한영양염이 질소 또는 인으로 나타날 가능성이 높다 낮다라고

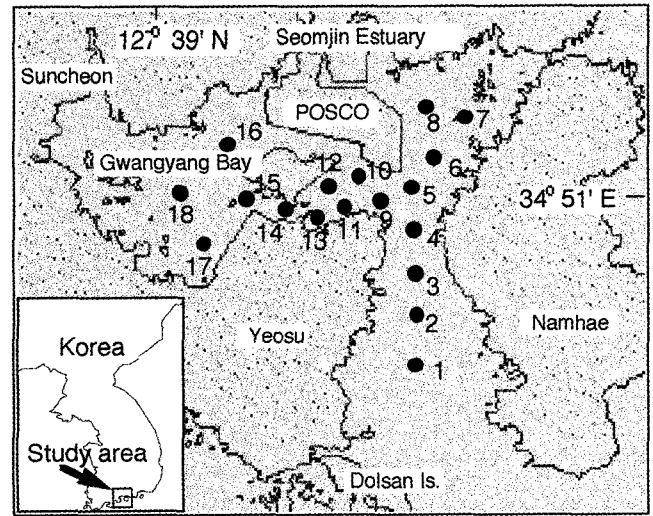


Fig. 1. Location of sampling stations at the Gwangyang Bay, South Sea of Korea.

어느 정도 추정하기에는 적절한 방법이라고 생각한다(이, 1997). 실험실 또는 현장에서 식물플랑크톤을 증식시키면서 질소, 인의 농도가 먼저 영에 도달하는지를 조사하는 Mesocosm실험(Harrison *et al.*, 1990) 큰 용기가 필요하며, 결국에는 낮은 농도에서 영양염을 정확히 측정할 수 있어야 한다. Nutrient turnover time, Alkaline phosphatase activity 실험은 일부 연구자에 의해 이용되고 있으나(Fisher *et al.*, 1992) 현재로서는 제한영양염을 검토하기 위한 일반적인 방법이라고 보기에는 어렵다. 가장 많이 사용되고 있는 Algal assay는 과거에는 배양하기 쉬운 특성의 식물플랑크톤을 이용하여 제한영양염을 검토하였으나, 현장의 상태를 충분히 반영하였다고 보기에는 어려운 점이 있어 최근에는 현장 식물플랑크톤을 이용한 Algal assay가(Fisher *et al.*, 1992; Harrison *et al.*, 1990) 널리 사용되고 있다. 그러나, 현장식물플랑크톤을 이용함으로써, 현장의 조건을 가장 잘 반영할 수 있는 장점이 있으나, 수온이 아주 낮은 겨울의 경우 식물플랑크톤을 현장의 수온으로 배양하였을 경우 증식하지 않을 경우도 있는 단점도 있어, 일반적으로 20°C 전후에서 배양하고 있다(Harrison *et al.*, 1990). 따라서, 이 연구에서는 DIN/DIP비로 제한영양염을 어느 정도 추정해 보고, 현장 식물플랑크톤을 이용한 Algal assay에 의해 제한영양염을 명확히 판단하기로 하였다.

현장 식물플랑크톤을 이용한 Algal assay는 표층해수를 Pore size가 100 μm인 나일론 여과막으로 대기압하에서 자연여과하여 동물플랑크톤을 제거하였다. 영양염 첨가계는 영양염을 첨가하지 않은 대조군(Control), 질소첨가계(+N), 인첨가계(+P) 및 식물플랑크톤의 증식을 확인하기 위하여 질소, 인를 함께 첨가한 계(+N + P)를 설정하였다. 질소첨가계는 80 mg NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>/L원액 0.2 ml 첨가하여, 첨가 후의 농도를 20 μM로, 인첨가계는 27 mg KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>/L원액 0.2 ml 첨가하여, 첨가 후의 농도를 2.0 μM로 하였다. 동물플랑크톤을 제거한 현장 식물플랑크톤이 있는 해수 20 ml를 영양염 첨가 후의 시험관에 분주하고 Silicon마개로 뚜껑을 하였다. 배양은 70 ml의 시험관(22 mmφ×200 mm)을 이용하였다. 온도는 20°C, 빛은 백색형광등을 이용하여 3,000 lux, 12시간 명·암의 조

건하에 정치배양하였다. 단, 매일 1회 시험관 교반기를 사용하여, 시험관 바닥에 침전한 식물플랑크톤을 교반시켰다(Lee *et al.*, 1996a). 증식량은 분광광도계(UVIKON 930: 660 nm)로 O.D. (Optical Density)를 측정하였다. 모든 배양은 동일시료에 대하여 3회 실시하여, 그 평균치를 결과로 하였다. 3회 실시결과 표준편차는  $\pm 0.003$  이하였으며, 제한영양염은 Fisher *et al.*(1992)의 판단 기준에 준하였다.

## 결 과

### 담수유입이 적은 경우의 광양만

담수유입이 적은 시기로 선택한 1999년 11월 4일의 경우, 10월 16일부터 11월 4일까지의 20일 간 순천지역의 총강우량은 25.5 mm였다(Fig. 2). 1999년 11월 4일의 광양만의 평균 염분은 표층, 저층에서 각각 29.48 psu, 30.35 psu였다(Fig. 3, Table 1). 표층에서 염분 분포는 남해도 서부연안해역에서 낮게 나타났다. 저층에서는 광양만 서남부해역에서 낮게 나타났으며, 광양만입구인 여수해만에서 비교적 높게 나타났다.

용존무기질소의 평균 농도는 표층, 저층에서 각각 16.33  $\mu\text{M}$ , 10.85  $\mu\text{M}$ 이었으며, 농도범위는 각각 4.46~68.03  $\mu\text{M}$ , 4.63~20.98  $\mu\text{M}$ 였다(Fig. 3, Table 1). 분포특성은 표층에서는 정점 13에서 아주 높게 나타났으며, 정점 13에서 거리가 멀어 질수록 낮아졌다. 저층에서는 정점 14, 15에서 비교적 높았으며, 정점 14, 15에서 거리가 멀어질수록 낮아졌다.

용존무기인의 평균 농도는 표층, 저층에서 각각 4.46  $\mu\text{M}$ , 2.35  $\mu\text{M}$ 이었으며, 농도범위는 각각 0.81~50.70  $\mu\text{M}$ , 0.72~10.88  $\mu\text{M}$ 였다(Fig. 3, Table 1). 분포는 표층에서는 용존무기질소와 같이 정점 13에서 아주 높게 나타났으며, 정점 13에서 거리가 멀어 질수록 낮아졌다. 저층에서는 정점 13에서 높았으며, 정점 13에서 거리가 멀어 질수록 낮아졌다.

DIN/DIP비의 평균값은 표층, 저층에서 각각 8.6, 5.8이었으며,

범위는 각각 1.3~22.1, 1.7~12.3이었다(Fig. 3, Table 1). 분포는 표층에서는 정점 4, 9에서 약간 높게 나타났으며, 광양만 서남쪽과 광양만 입구에서 낮게 나타났다. 저층에서는 정점 2에서 약간 높았으며, 용존무기질소 및 용존무기인의 농도가 가장 높았던 정점 13에서 아주 낮게 나타났다. 식물플랑크톤증식의 제한영양염을 DIN/DIP비로 추측해 보면, 표층의 정점 9에서 그비가 16(Redfield *et al.*, 1963)이상이었으나, 그 외 모든 정점에서 그비가 16이하로 질소가 식물플랑크톤증식의 제한영양염일 가능성이 높았다.

생물실험결과 섬모충이나 편모충에 의한 이상증식은 관찰되지 않았다. 모든 정점에서 인 첨가계의 증식량은 첨가하지 않은 대조군의 증식량과 비슷하게 나타났다(Fig. 5 A). 그러나, 질소 첨가계의 경우 첨가하지 않은 대조군(Control)보다 증식량이 20~50% 높았다. 그리고, 질소, 인 모두를 첨가한 시험구의 경우 첨가하지 않은 대조군 또는 인 첨가계보다 높았으며, 질소 첨가계와 비슷하였다. 따라서, 질소가 식물플랑크톤증식의 제한영양염으로 나타났다. 이러한 결과는 DIN/DIP비에서 추측한 것과 같은 결과였다.

### 담수유입이 많은 경우의 광양만

담수유입이 많은 시기로 선택한 2000년 9월 2일의 경우, 8월 14일부터 9월 2일까지의 20일 간 순천지역의 총강우량은 357 mm였다(Fig. 2). 특히, 8월 20일과 조사 직전인 8월 31일에 각각 72.5, 81 mm의 많은 강우가 관측되었다.

2000년 9월 2일 광양만의 평균 염분은 표층, 저층에서 각각 22.46 psu, 26.77 psu였다(Fig. 4, Table 2). 표층에서의 그 분포는 남해도 서북연안해역에서 가장 낮게 나타났다. 이것은 섬진강에서 담수가 유입된 후 남해대교쪽에서 염분이 높은 해수가 유입되었기 때문으로 생각된다. 저층에서는 광양만 서남부해역에서 낮게 나타났다. 평균농도를 담수유입이 적은 시기로 선택한 1999년 11월 4일의 평균값(표층 29.48 psu, 저층 30.35 psu)과 비교해보면, 표층은 7.02 psu, 저층은 3.58 psu 낮은 값이다.

용존무기질소의 평균 농도는 표층, 저층에서 각각 33.67  $\mu\text{M}$ , 21.87  $\mu\text{M}$ 이었으며, 농도범위는 각각 19.70~44.79  $\mu\text{M}$ , 16.61~38.38  $\mu\text{M}$ 였다(Fig. 4, Table 2). 분포특성은 표층에서는 염분이 가장 낮은 남해도 서북연안해역 정점 6에서 아주 높게 나타났다. 저층에서는 남해도 북쪽 연안해역의 정점 7에서 가장 높게 나타났다.

용존무기인의 평균 농도는 표층, 저층에서 각각 3.29  $\mu\text{M}$ , 2.34  $\mu\text{M}$ 이었으며, 농도범위는 각각 1.25~24.60  $\mu\text{M}$ , 1.14~6.82  $\mu\text{M}$ 였다(Fig. 4, Table 2). 분포는 표층에서는 정점 11에서 아주 높게 나타났으며, 정점 11에서 거리가 멀어 질수록 낮아졌다. 저층에서는 표층과 마찬가지로 정점 11에서 높았으며, 정점 11에서 거리가 멀어 질수록 낮아졌다.

DIN/DIP비의 평균값은 표층, 저층에서 각각 17.9, 11.2이었으며, 범위는 각각 1.6~17.9, 3.5~25.8이었다(Fig. 4, Table 2). 분포는 표층에서는 광양만 서남쪽과 남해도 서북부해역에서 높게 나타났으며, 용존무기인의 농도가 높았던 정점 11에서 낮게 나타났다. 저층에서는 남해도 북부해역에서 높았으며, 용존무기인의 농도가 가장 높았던 정점 11에서 아주 낮게 나타났다. 식물플랑크톤증식의 제한영양염은 표층에서는 정점 11 주변해역에서는 그비가 16(Redfield *et al.*, 1963) 이하로 질소일 가능성이 높게 나타났다. 그러나, 그 외 해역에서는 인일 가능성이 높았다. 저층에서는

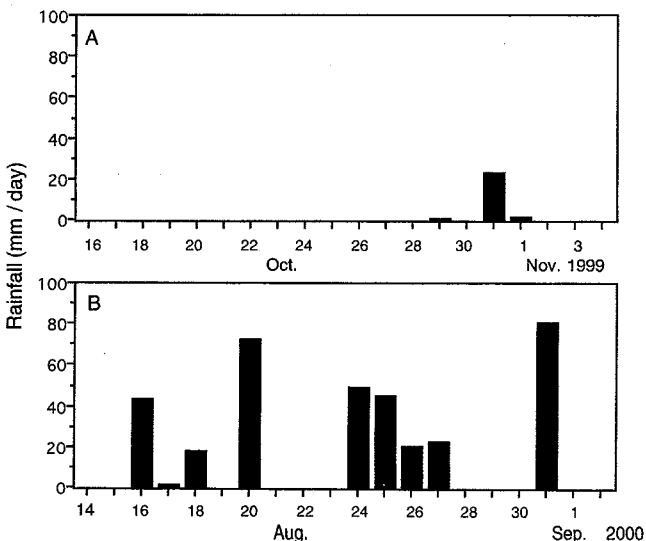


Fig. 2. Spatial variations of rainfall at Suncheon Area in 16 Oct. -4 Nov. 1999 (A) and 14 Aug. -2 Sep. 2000 (B).

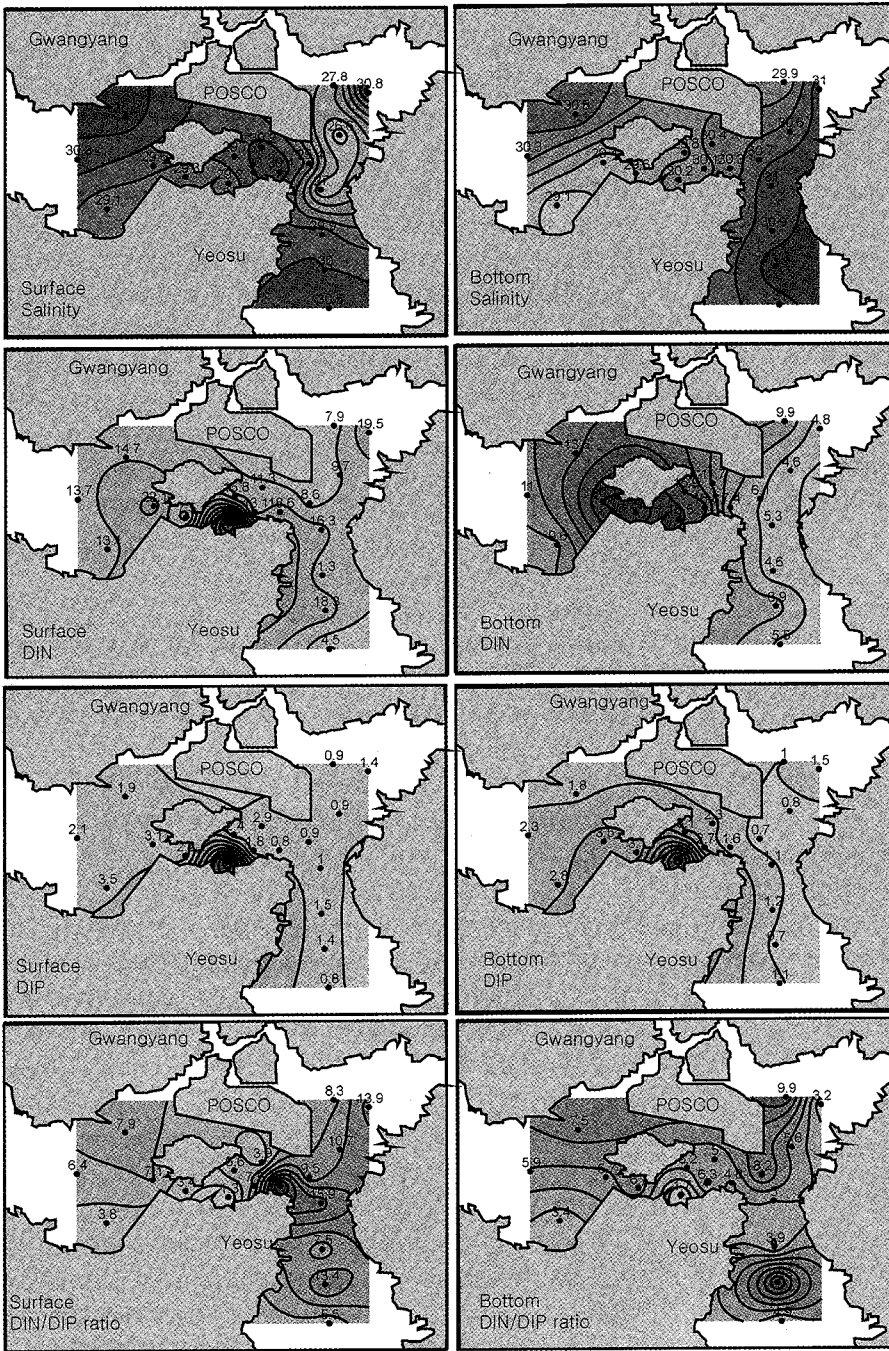


Fig. 3. Horizontal distributions of salinity (psu), DIN ( $\mu\text{M}$ ), DIP ( $\mu\text{M}$ ), and DIN/DIP ratio on 4 November 1999 at Gwangyang Bay, South Sea of Korea.

정점 2과 7에서 그 비가 16이상으로 인이, 그의 해역에서는 16 이하로 질소가 식물플랑크톤증식의 제한영양염일 가능성이 높았다.

생물실험결과 정점 3, 10, 16, 17에서는 인 첨가계의 증식량은 첨가하지 않은 계의 증식량과 비슷하거나 그 이하로 나타났다(Fig. 5 B). 그러나, 질소 첨가계의 경우 첨가하지 않은 대조군(Control) 또는 인첨가계보다 증식량이 높았다. 그리고, 질소, 인 모두를 첨가한 시험구의 경우 첨가하지 않은 대조군(Control) 또는 인첨가계보다 높았다. 따라서, 질소가 식물플랑크톤의 제한영양염으로 나타났다. 정점 6, 8, 13에서는 질소 또는 인 첨가에 의해 증식량의

명확한 차이가 없어 식물플랑크톤증식의 제한영양염을 판단하기는 어려웠다.

### 고찰

광양만의 과거(1989년~2000년) 평균염분은, 표층, 저층에서 각각 31.19 psu, 31.47 psu였다(Table 3). 이번 조사에서 담수유입이 적은 시기로 선택한 1999년 11월 4일의 경우, 그 값은 표, 저층에서 각각 29.48 psu, 30.35 psu(Fig. 3, Table 1)였으며, 이것은 과거의 값

**Table 1.** Salinity, nutrient concentration, and DIN/DIP Ratio at Gwangyang Bay.  
(surface water, 4 Nov. 1999)

Station	Salinity (psu)	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN/DIP
		(μM)					
1	30.54	1.28	1.07	2.10	4.46	0.81	5.5
2	29.99	1.40	1.89	14.99	18.27	1.37	13.4
3	29.93	1.57	2.25	7.47	11.29	1.51	7.5
4	27.00	1.71	1.85	12.79	16.34	1.03	15.9
5	29.44	1.48	1.65	5.42	8.55	0.90	9.5
6	26.60	0.97	1.87	6.90	9.74	0.91	10.7
7	30.78	1.82	1.97	15.75	19.54	1.40	13.9
8	27.80	1.24	2.05	4.57	7.86	0.94	8.3
9	30.43	1.35	1.42	15.80	18.57	0.84	22.1
10	30.18	3.66	3.41	4.22	11.29	2.93	3.9
11	29.97	4.37	2.18	6.59	13.14	1.76	7.5
12	29.73	3.93	3.04	8.84	15.81	2.41	6.6
13	29.16	53.93	9.36	4.74	68.03	50.70	1.3
14	29.33	3.38	2.63	1.52	7.53	2.23	3.4
15	29.61	4.60	3.74	13.73	22.06	3.09	7.1
16	30.80	2.59	3.34	8.75	14.67	1.87	7.9
17	29.07	4.78	3.48	4.83	13.09	3.48	3.8
18	30.28	2.77	3.33	7.57	13.67	2.13	6.4
Min.	26.60	0.97	1.07	1.52	4.46	0.81	1.3
Max.	30.80	53.93	9.36	15.80	68.03	50.70	22.1
Ave.	29.48	5.38	2.81	8.14	16.33	4.46	8.6

(bottom water, 4 Nov. 1999)

Station	Salinity (psu)	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN/DIP
		(μM)					
1	31.03	1.49	1.39	2.60	5.48	1.12	4.91
2	31.27	1.49	0.78	6.66	8.93	0.72	12.32
3	30.87	1.67	1.60	1.35	4.63	1.17	3.94
4	30.96	1.86	1.30	2.17	5.33	1.07	4.97
5	30.71	1.65	1.04	3.35	6.05	0.73	8.24
6	30.60	1.20	1.20	2.24	4.63	0.83	5.61
7	31.00	1.56	1.68	1.55	4.79	1.48	3.24
8	29.85	1.25	1.90	6.72	9.86	0.99	9.91
9	30.29	2.20	2.14	3.03	7.37	1.55	4.75
10	30.39	2.83	2.96	5.96	11.74	2.34	5.01
11	30.13	4.17	3.14	9.53	16.85	2.68	6.29
12	29.77	4.79	3.36	7.73	15.87	3.08	5.15
13	30.15	11.27	3.32	3.93	18.52	10.88	1.70
14	29.57	5.23	3.47	12.28	20.98	3.12	6.72
15	29.43	4.94	3.57	11.55	20.06	3.51	5.71
16	30.80	2.49	3.20	7.96	13.65	1.81	7.53
17	29.14	4.09	3.03	2.44	9.56	2.80	3.41
18	30.35	3.16	2.36	5.45	10.97	2.33	5.87
Min.	29.14	1.20	0.78	1.35	4.63	0.72	1.7
Max.	31.27	11.27	3.57	12.28	20.98	10.88	12.3
Ave.	30.35	3.19	2.30	5.36	10.85	2.35	5.8

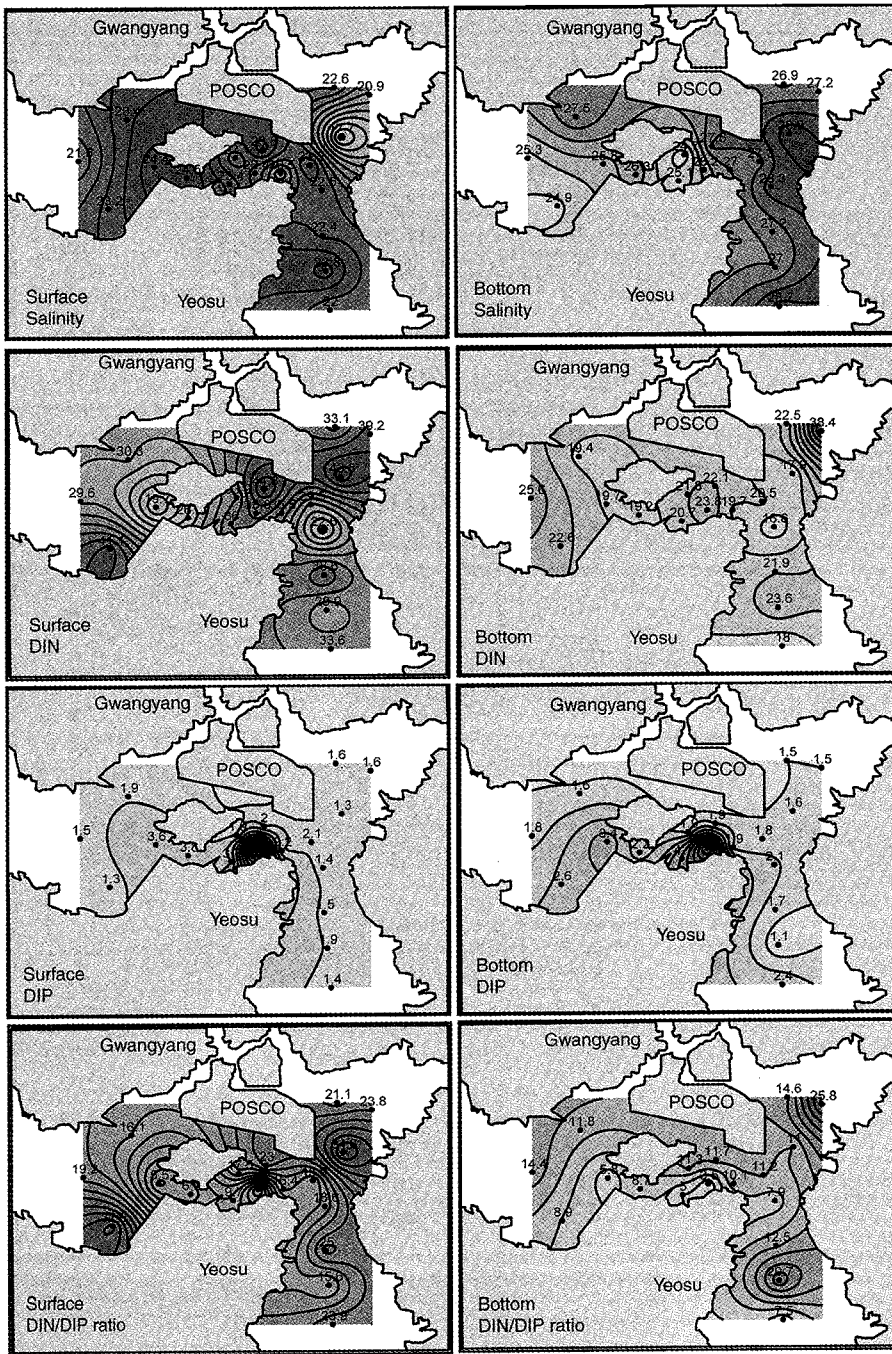


Fig. 4. Horizontal distributions of salinity (psu), DIN ( $\mu\text{M}$ ), DIP ( $\mu\text{M}$ ), and DIN/DIP ratio on 2 September 2000 at Gwangyang Bay, South Sea of Korea.

과 비슷하였다. 담수유입이 많은 시기로 선택한 2000년 9월 2일의 경우, 평균 염분은 표, 저층에서 각각 22.46 psu, 26.77 psu였으며(Fig. 4, Table 2), 과거의 표, 저층 값보다 각각 8.73 psu, 4.70 psu 낮았다.

이번 조사에서 담수유입이 적은 시기의 표층의 평균 용존무기 질소 및 용존무기인산의 농도는 각각 16.33  $\mu\text{M}$ , 4.46  $\mu\text{M}$ 였으며, 득량만, 여자만, 가막만에서는 용존무기질소는 4.30~7.25  $\mu\text{M}$ , 용존무기인은 0.60~0.92  $\mu\text{M}$  였으며, 득량만, 여자만, 가막만의 최대치보다 용존무기질소 농도는 2배이상 용존무기인산의 농도는 4배이상 높았다(Table 3). 담수유입이 많은 시기의 표층의 용존무기질소 및 용존무기인산의 농도는 각각 33.67  $\mu\text{M}$ , 3.29  $\mu\text{M}$ 였으며, 득량

만, 여자만, 가막만보다 용존무기질소는 4~8, 용존무기인은 3배 높았다. 미국 체서피크만의 경우 담수유입이 적은 시기의 표층 용존무기질소, 용존무기인산의 농도는 각각 4  $\mu\text{M}$ , 0.25  $\mu\text{M}$ 였으며, 담수유입이 많은 경우 20  $\mu\text{M}$ , 0.2  $\mu\text{M}$ 였다(Fisher *et al.*, 1992). 일본 히로시마만(Hiroshima Bay)의 경우, 평상시의 표층의 용존무기질소 및 용존무기인산의 농도는 각각 5  $\mu\text{M}$ , 0.4  $\mu\text{M}$ 였으며(이, 1997), 많은 양의 담수가 유입될 경우 각각 50, 0.8  $\mu\text{M}$ 였다(Lee *et al.*, 1996b). Laholm만에서는 표층 용존무기질소의 경우 최대치는 18.76  $\mu\text{M}$ 이나, 평균값은 4  $\mu\text{M}$ 였으며, 용존무기인산은 최대값은 1.52  $\mu\text{M}$ 이나 평균은 1.2  $\mu\text{M}$  정도였다(Graneli, 1987). 이번 조사

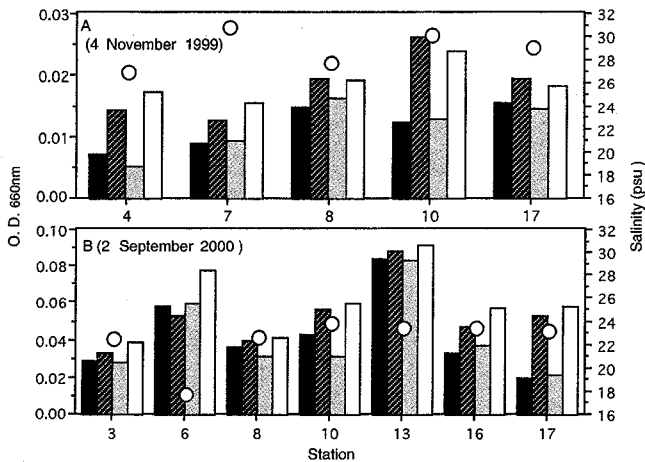
**Table 2.** Salinity, nutrient concentration, and DIN/DIP Ratio at Gwangyang Bay.  
(surface water, 2 Sept. 2000)

Station	Salinity (psu)	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN/DIP
1	21.95	3.78	1.92	27.92	33.62	1.41	23.9
2	23.84	5.13	2.33	22.47	29.92	1.91	15.6
3	22.42	10.32	1.74	26.58	38.64	1.55	25.0
4	22.49	2.67	1.71	18.23	22.62	1.37	16.6
5	23.20	4.27	2.19	23.07	29.53	2.13	13.9
6	17.68	2.29	1.54	39.71	43.54	1.25	34.8
7	20.88	5.35	1.75	32.13	39.23	1.65	23.8
8	22.56	3.68	2.00	27.46	33.14	1.57	21.1
9	20.50	4.90	2.14	28.42	35.45	2.16	16.4
10	23.77	9.05	2.06	33.68	44.79	1.95	23.0
11	22.40	10.28	2.54	26.10	38.93	24.60	1.6
12	22.10	5.12	2.30	26.46	33.88	1.93	17.5
13	23.39	3.61	4.30	28.09	36.00	3.73	9.7
14	24.49	5.07	2.74	18.34	26.15	3.79	6.9
15	24.44	2.83	2.24	14.63	19.70	3.58	5.5
16	23.41	4.67	2.50	23.12	30.30	1.89	16.1
17	23.18	12.29	1.95	26.82	41.05	1.26	32.6
18	21.49	3.43	2.30	23.87	29.61	1.55	19.2
Min.	17.68	2.29	1.54	14.63	19.70	1.25	1.6
Max.	24.49	12.29	4.30	39.71	44.79	24.60	34.8
Ave.	22.46	5.48	2.24	25.95	33.67	3.29	17.9

(bottom water, 2 Sept. 2000)

Station	Salinity (psu)	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DIN	PO <sub>4</sub> -P	DIN/DIP
1	28.68	5.58	1.70	10.70	17.98	2.39	7.53
2	27	7.68	2.00	13.88	23.55	1.14	20.66
3	27.24	6.35	1.79	13.71	21.85	1.74	12.53
4	28.28	4.41	1.52	10.69	16.61	2.10	7.90
5	27.32	4.70	2.17	13.65	20.52	1.84	11.18
6	28.86	3.91	1.75	12.24	17.90	1.62	11.03
7	27.22	22.97	2.05	13.36	38.38	1.49	25.84
8	26.92	5.18	2.11	15.25	22.54	1.54	14.63
9	27	3.09	1.93	14.65	19.68	1.95	10.11
10	27.58	3.59	1.99	16.48	22.05	1.88	11.72
11	26.2	3.36	2.32	18.10	23.78	6.82	3.49
12	24.7	2.28	2.24	17.25	21.77	1.93	11.30
13	25.1	2.42	2.36	15.87	20.65	4.11	5.03
14	26.31	2.36	2.30	14.57	19.23	2.21	8.71
15	25.76	2.80	2.35	14.51	19.66	3.39	5.80
16	27.52	3.66	2.30	13.46	19.42	1.65	11.79
17	24.94	3.21	2.14	17.26	22.61	2.55	8.85
18	25.26	4.64	2.71	18.22	25.57	1.77	14.40
Min.	24.70	2.28	1.52	10.69	16.61	1.14	3.5
Max.	28.86	22.97	2.71	18.22	38.38	6.82	25.8
Ave.	26.77	5.12	2.09	14.66	21.87	2.34	11.2





**Fig. 5.** The temporal variations of salinity (○) and effects on biomass production of laboratory-incubated surface water with the indigenous phytoplankton assemblage ( $n = 3$ ). control = no additions (■); +N = nitrate addition (▨); +P = phosphate addition (▩); +N+P = nitrate, and phosphate additions (□).

에서 담수유입이 적은 시기의 표층 용존무기질소 및 용존무기인은 체서피크만, 히로시마만, Laholm만보다 3배정도 높게 나타났다. 담수유입이 많은 시기에는 표층 용존무기질소는 체서피크만보다는 높게, 히로시마만보다 낮게 나타났으며, 용존무기인은 체서피크만이나 히로시마만보다 3배이상 높게 나타났다. 즉, 용존무기질소, 용존무기인의 농도가 득량만, 여자만, 가막만 또는 체서피크만이나 히로시마만보다 높게 나타났으며, 특히 용존무기인의 경우 아주 높게 나타났다.

이번조사 결과를 검토해 보면, 질소의 경우 담수유입이 적은 경

우 표층에서는 정점 13에서 가장 높게 나타났으며, 저층의 경우 묘도 주변에서 비교적 높았다. 담수유입이 많은 경우 표층에서는 염분이 가장 낮은 정점 6, 여수반도 북쪽의 정점 17, 묘도 동부연안해역에서 높았으며, 저층에서는 남해도 북쪽연안해역에서 높게 나타났다. 따라서, 질소의 주요 유입원으로는 섬진강으로부터 담수유입으로 인한 공급과 정점 13 부근에서의 유입으로 생각된다.

인의 경우 담수유입이 적은 경우 정점 13의 표층, 담수유입이 많은 경우 정점 11의 표층에서 아주 높게 나타났으며, 그 농도는 담수유입이 적은 시기에 더 높았다. 일반적으로 담수에서 용존무기인의 농도는 용존무기질소에 비하여 상대적으로 낮으며(Choi and Park, 1986), 이번 조사결과에서도 염분이 낮은 2000년 9월의 정점 6에서 1.25로 가장 낮게 나타났다. 즉, 인의 경우 담수유입 보다는 정점 11와 13부근에 강력한 점오염원(Point Source)이 있어 그 점오염원으로부터 표층해수로 유입되는 것으로 추측된다. 이번 조사의 정점 11, 13 부근에는 여천국가산업단지내 남해화학이 있다. 남해화학에서는 1977년 7월부터 인산비료를 생산하고 있으며, 복합비료 또는 인산제조용으로 요르단, 모로코, 중국으로부터 수입한 인광석을 사용하고 있다(<http://www.namhaechem.com>). 복합비료 또는 인산제조용으로 사용한 후의 석고를 모아두는 석고 야적장이 정점 11, 13 남쪽에 있으므로, 용존무기인이 석고 야적장 또는 인광석을 사용하는 화학공정과정에서 광양만으로 직접 유입된 것으로 생각해 볼 수 있다. 또 과거 10년간의 용존무기인의 농도가 다른 해역에 비하여 높게 나타난 것(Table 3)도 인광석의 사용으로 인한 것으로 생각된다.

DIN/DIP비는 이번 조사에서 담수유입이 적은 1999년 11월에는 4.14였다. 담수유입이 많은 2000년 9월에는 9.79였으며, 표층에서는 10.23으로 담수유입량이 많아지면서 그 비가 다소 증가하였다. 이들 값은 득량만, 여자만, 가막만과 비슷하였다(Table 3).

**Table 3.** Summary of salinity, DIN, DIP concentration, and DIN/DIP ratio data for variety Bay, South Sea of Korea.

Site	Depth	Salinity (psu)	DIN ( $\mu\text{M}$ )	DIP ( $\mu\text{M}$ )	DIN/DIP	Ref.
Dungyang Bay	S	32.25	4.30	0.60	7.17	SSFRI
	B	32.25	3.70	0.70	5.29	
	Ave.	32.25	4.00	0.65	6.23	
Yeoja Bay	S	31.77	6.29	0.74	8.50	SSFRI
	B	32.07	6.91	0.83	8.33	
	Ave.	31.92	6.60	0.79	8.41	
Gamak Bay	S	32.40	7.25	0.92	7.88	SSFRI
	B	32.60	7.00	0.81	8.64	
	Ave.	32.50	7.13	0.87	8.26	
Gwangyang Bay	S	31.19	8.90	1.55	5.74	SSFRI
	B	31.47	12.73	1.62	7.86	
	Ave.	31.33	10.82	1.59	6.80	
Gwangyang Bay (4 Nov. 1999)	S	29.48	16.33	4.46	3.66	in this study
	B	30.35	10.85	2.35	4.62	
	Ave.	29.92	13.59	3.41	4.14	
Gwangyang Bay (2 Sep. 2000)	S	22.46	33.67	3.29	10.23	in this study
	B	26.77	21.87	2.34	9.35	
	Ave.	24.62	27.77	2.82	9.79	

SSFRI: average value during the period of 1989–2000



히로시마만의 경우 염분이 23 psu이하에서는 완벽하게 그 비가 16이상으로 나타났다(이, 1997). 이번 조사에서는 평균 염분이 가장 낮은 2000년 9월 표층의 경우 평균 염분은 22.46 psu이었으며 그때의 그 비는 10.23으로 나타났다. 이것은 히로시마만보다 낮은 값이다. 즉, 광양만의 경우 담수유입이 많아 염분이 22.46 psu이었음에도 불구하고 득량만, 여자만, 가막만과 비슷하거나, 히로시마만보다 그 비가 낮게 나타난 것은 질소, 인 양자가 점오염원으로부터 많은 양이 유입되거나 질소보다 상대적으로 많은 양의 인이 유입되었기 때문으로 생각된다.

생물실험결과 담수유입이 많았던 2000년 9월의 정점 7, 9, 14에서는 식물플랑크톤 증식의 제한영양염을 정확히 판단하기 어려웠으나, 그 외 모든 시기 및 정점에서 질소가 제한영양염으로 나타났다. 제한영양염을 DIN:DIP비로 판단해 볼 경우 1999년 11월의 경우 모두 생물실험과 일치하였다. 그러나, 2000년 9월의 경우 제한영양염이 일치하지 않은 경우도 있었다. 이것은 이(1997)가 보고한 것처럼 해수 중에 질소에 비하여 상대적으로 많이 존재하는 인을 과량섭취한 후, 과량섭취한 인을 이용하여 어느 정도 증식하였기 때문으로 생각된다(Goldman *et al.*, 1979).

식물플랑크톤 증식의 제한영양염은 미국 체서피크만의 경우 하천유량이 적은 늦여름(염분: 5~25 psu)에는 질소, 인이 녹아 하천 유량이 많은 초봄(염분: 0~15 psu)에는 인이 식물플랑크톤 증식의 제한영양염으로 밝혀졌다(Fisher *et al.*, 1992). 히로시마만의 경우 평상시에는 질소가 호우에 의해 담수유입이 많아 염분이 20 psu 이하에서는 인이 식물플랑크톤의 제한영양염으로 나타났다(Lee *et al.*, 1996b; Lee *et al.*, 1996c). 평균 염분이 16 psu인 Laholm만의 경우 질소가 제한영양염이었다(Graneli, 1987). 질소, 인의 유입비의 변동에 따라 염분이 6.5 psu이하인 연못에서는 인이, 염분이 31 psu이상인 연못에서는 질소가 제한영양염이었다(Caraco *et al.*, 1987). 이상에서 염분이 아주 높거나 담수의 유입이 없는 평상시에는 질소가 제한영양염이며, 염분이 아주 낮거나 일시적으로 많은 양의 담수가 유입될 경우 인이 제한영양염이다. 광양만의 경우 담수유입이 적은시기에는 질소가 제한영양염으로 위의 내용과 같았다. 그러나, 담수의 유입이 가장 많았던 2000년 9월 정점 7의 표층에서는 염분이 17.68 psu이었으며, 식물플랑크톤의 제한영양염이 명확히 인으로 나타나지 않았다. 또 여수시 돌산도 동부연안해역에서는 일시적으로 담수의 유입이 많아 염분이 19.26 psu까지 낮아졌지만 그 제한영양염은 질소였다(미 발표). 즉 히로시마만의 경우 염분이 20 psu이하에서는 그 제한영양염이 인이었으나 광양만의 2000년 9월 정점 7 표층의 경우 염분이 17.68 psu, 여수시 돌산도 동부연안해역은 염분이 19.26 psu 임에도 불구하고 인으로 나타나지 않았다. 위에서 언급한 것처럼 질소에 비해 상대적으로 인의 농도가 높은 점오염원 때문에 많은 양의 담수가 유입되었음에도 불구하고 명백히 인으로 나타나지 않은 것으로 생각되며, 극히 많은 양의 담수가 유입될지라도 심진강 하구를 제외한 광양만과 여수 동부연안 및 돌산도 동부연안해역은 정점 11, 13 부근에서 유출되는 많은 양의 용존무기인에 의해 늘 질소가 제한영양염으로 나타날 것으로 생각된다. 그러나, 2000년 9월 정점 7의 표층의 조사결과로부터 극히 많은 양의 담수가 유입될 경우 심진강 하구의 일부지역에서는 그 제한영양염이 인으로 나타날 가능성도 배제할 수 없을 것으로 생각된다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산진흥원 남해적조조사 사업비로 수행되었습니다. 논문을 심사하여 주신 최중기 교수님, 양한섭 교수님께 깊이 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김광식, 1968. 10대강 유역의 물수지. 한국기상학회지, **4**: 1-7.
- 이영식, 1997. 히로시마만에 있어서 부영양화의 원인. 대한환경공학회지, **19**: 371-380.
- 해양수산부, 1998. 해양환경공정시험방법. 316 pp.
- Caraco, N., A. Tamse, O. Boutros and I. Valiela, 1987. Nutrient limitation of phytoplankton growth in brackish coastal ponds. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.*, **44**: 473-476.
- Choi, Y.C. and C.K. Park. 1986. Eutrophication in the downstream of Nakdong River. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **19**: 339-346.
- Fisher, T.R., E.R. Peele, J.W. Ammerman and L. Harding, 1992. Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **82**: 51-63.
- Goldman, J.C., J.J. McCarthy and D.G. Peavey, 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters. *Nature*, **279**: 210-215.
- Graneli, E., 1987. Nutrient limitation of phytoplankton biomass in a brackish water bay highly influenced by river discharge. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **25**: 555-565.
- Graneli, E., K. Wallstrom, U. Larsson, W. Graneli and R. Elmgren. 1990. Nutrient limitation of primary production in the Baltic Sea Area. *AMBIO*, **19**: 142-151.
- Harrison P.J., Hu M.H., Yang Y.P. and Lu X. 1990. Phosphate limitation in estuarine and coastal waters of China. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **140**: 79-87.
- Hecky, R.E. and P. Kilham, 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. and Oceanogr.*, **33**: 796-822.
- Korea Meteorological Administration Seoul, Korea, 1999-2000. Monthly Weather Report. Oct. 1999-Sep. 2000, Seoul, Korea.
- Lee, Y.S., T. Mukai, K. Takimoto and M. Okada, 1996a. Estimation of limiting nutrient by algal assay procedure with indigenous phytoplankton assemblage. *Jpn. Soc. Water Environ.* **19**: 373-380.
- Lee, Y.S., T. Yamada, T. Seiki, T. Mukai, K. Takimoto and M. Okada, 1996b. Effect of freshwater due to heavy rain on phytoplankton growth in Hiroshima Bay. *Jpn. Soc. Water Environ.*, **19**: 995-1003.
- Lee, Y.S., T. Seiki, T. Mukai, K. Takimoto, and M. Okada, 1996c. Limiting nutrients of phytoplankton community in Hiroshima Bay, Japan. *Wat. Res.*, **30**: 1490-1494.
- Mahoney, J.B., 1989. Algal assay of relative abundance of phytoplankton nutrients in northeast United States coastal and shelf waters. *Wat. Res.*, **23**: 603-615.
- Redfield, A.C., F.A. Ketchum and B. H. Richards, 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. In: *The Sea*, 2, edited by Hill, M.N., Wiley Interscience, New York, pp. 26-77.

SSFRI, 2000a. Report on the Coastal Environment in the South Sea of Korea, February 2000. Coastal Environment Report, No 13, pp. 44.

SSFRI, 2000b. Report on the Coastal Environment in the South Sea of Korea, May 2000. Coastal Environment Report, No 14, pp. 54.

SSFRI, 2000c. Report on the Coastal Environment in the South Sea of Korea, August 2000. Coastal Environment Report, No 15, pp. 50.

SSFRI, 2000d. Report on the Coastal Environment in the South Sea of Korea, November 2000. Coastal Environment Report, No 16, pp. 60.

---

2001년 4월 11일 원고접수

2001년 6월 16일 수정본 채택

담당편집위원: 나기환