

## 영일만 수질의 시·공간 변동에 미치는 담수유입의 효과

김 영 숙\* · 김 영 섭

동해수산연구소 포항분소

## The Effect of Freshwater Inflow on the Spatio-temporal Variation of Water Quality of Yeongil Bay

Young Sug Kim\* and Young Seop Kim

East Sea Fisheries Research Institute Pohang Laboratory

**Abstract** - In order to determine the effect of fresh water inflow from the Heongsan river on the changes of water quality in the Yeongil Bay (Korea), the seasonal changes of water temperature, salinity, chemical oxygen demand (COD), dissolved inorganic nitrogen(DIN) and phosphate phosphorus (PO<sub>4</sub>-P) concentrations were examined using the data set obtained five fixed points of Yeongil Bay from 1998 to 2000. The distributions and changes of COD and concentrations of total inorganic phosphorous (TIP) and nitrogen (TIN) at three points Heongsan river, were also compared with those of Yeongil Bay. Based on the correlations of DIN and PO<sub>4</sub>-P, it was found that the inflow of freshwater affected on the water quality of Yeongil Bay. Such a compli-cacy was confirmed by the prominent differences in a few water quality measures between Site 1(the innermost area) and Site 5 (the mouth of the bay). The negative correlations in ΔN/ΔP at sites 1, 2 and 3 of the inner-part of the bay also indicated a large effect of freshwater inflow on the water quality of the bay. The extremely low atomic ratio of an average of 6.4 in ΔN/ΔP compared to the Redfield ratio suggested that the DIN was depleted in the overall bay system. In contrast, it was inferred that the excessive PO<sub>4</sub>-P concentration was due to the inflow of freshwater from the Heongsan river.

**Key words** : Yeongil Bay, Heongsan river, water quality, inorganic nutrients, seasonal and spatial variation, source of nutrients

### 서 론

영일만은 동해안에 위치한 만으로 그 넓이가 120 km<sup>2</sup>에 달해 산업적으로 중요할 뿐만 아니라 각종 어패류의

서식 및 산란장으로서 수산업측면에서도 매우 중요한 해역이다. 최근 해양오염 관련 보고서들은 한반도 대부분의 연안해역이 각종 생활하수, 산업폐수 및 어패류양식에 의한 자가 오염현상 등에 의해 부영양화가 급속히 진행되고 있음을 지적하고 있다. 그러나 영일만은 다른 내만에 비하여 수질이 양호하고 어패류 및 해조류의 서식환경이 양호하여 수산생물의 생산성이 높았으나, 근래에 와서는

\* Corresponding author: Young Sug Kim, Tel. 054-232-5433, Fax. 054-232-5436, E-mail. youngsuk@nfrda.re.kr

만 내로 유입하는 각종 오·폐수량의 증가로 인하여 수질이 점차 악화되고 있는 실정이다(국립수산진흥원 1989).

영일만 내로 유입하는 오·폐수의 대부분은 형산강 수역을 통하여 유입되는데, 형산강은 울주군 두서면 내와리에서 발원하여 경주시 및 포항시를 지나 영일만 해안으로 유입되는 총 연장 62.2km로, 수량이 부족하고 하상의 경사도가 매우 급하기 때문에 하천수가 빠르게 영일만으로 흘러 들어가 유하거리가 28.1시간(평수기 기준)으로 짧다. 이는 하천의 자정능력을 떨어지게 하여 오염물질 유입시 형산강 오염에 크게 영향을 줄 수 있다(포항시 1999).

낙동강유역 수질오염원 기초조사(낙동강환경관리청 1999)에 의하면, 형산강은 낙동강권역의 주요 유역 15개 배수구역 중 하나로서, 배출업소는 554개소가 있다. 1일 하·폐수의 발생량은 161,901 m<sup>3</sup>이고, 배출량은 160,700 m<sup>3</sup>이다. 발생량의 구성비율을 보면, 생활하수 86.5%, 산업폐수 11.6%, 축산폐수 1.9%로 되어 있어, 대부분이 생활하수인 것으로 나타났다. 또한 생물화학적산소요구량(biochemical oxygen demand, BOD)의 배출부하량은 포항국가산업단지가 위치한 형산강 유역이 24,207 kg day<sup>-1</sup>로 낙동강 권역에서는 큰 비중을 차지하고 있었으며, 총질소(Total nitrogen, TN)의 배출부하량은 5,691 kg day<sup>-1</sup>이고, 총인(Total phosphorus, TP)은 926 kg day<sup>-1</sup>로 나타났다. 이러한 오염원인 하·폐수의 발생량 및 배출량은 1993년 이후 지속적으로 증가하고 있다.

만약 매일 배출되는 5,691 kg(TN), 또는 926 kg(TP)의 영양염류가 형산강의 짧은 유하거리를 통하여 영일만에 유입된다면, 담수가 영일만 수질에 미치는 영향은 실로 치명적이라는 것을 예측할 수 있으나 실제 이러한 문제에 대한 연구는 보고 되어있지 않다.

현재까지 영일만에 대한 연구로는 항류와 조류의 분포(Sung *et al.* 1993), 냉수의 특징에 대한 연구(Son 1977), 영일만 저어류 종조성의 계절변동(Lee 1999) 등이 보고되어 있으며, 영일만의 환경특성과 해양세균분포(Kang *et al.* 1999)에 관한 연구 등 수질오염과 관련한 보고가 있지만, 형산강으로부터 유입되는 담수에 의한 영일만 수질의 영향을 명확히 밝히기는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 최근 3년간(1998~2000년)의 해양환경 측정망 조사자료와 대구지방환경청에서 보고한 형산강의 수질자료를 이용하여 영일만과 접한 형산강 수역과 영일만 해역의 수질을 비교 분석하고, 형산강으로부터 유입되는 담수가 영일만 수질에 미치는 영향과 영일만 해역의 시·공간적인 수질변화 양상을 파악하고자 한다.

## 재료 및 방법

영일만 해양환경의 계절변동과 환경특성을 파악하기 위해 국가 해양환경측정망의 일환으로 수행한 동해해양환경 측정망 사업의 자료를 이용하였으며 1998년부터 2000년까지 매년 4회(2, 5, 8, 11월)에 5개의 조사정점에 대한 표층과 저층의 자료를 이용하였다(Fig. 1). 수온과 염분은 다기능수질측정기(YSI 6000)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 측정하였고, 인산인은 ascorbic acid method로, 질산질소는 Cu-Cd 칼럼을 이용한 환원법으로, 아질산질소는 산성하에서 sulfanilamide와 반응시켜 diazo화하고  $\alpha$ -NED 제2염산염으로 발색시키는 방법으로, 그리고 암모니아질소는 indophenol법에 의한 비색정량하였다(해양수산부 1998). 형산강의 수질자료는 대구지방환경청에서 형산강 상류 수역인 경주시 모아리(HR1)와 중류인 용곡공단(HR3) 그리고 하류인 포항시의 강동대교(HR2)의 총 3정점에 대해 1998년부터 2000년까지 2, 5, 8, 11월에 조사한 분석자료를 이용하였다.

형산강의 평균유속과 유량은 낙동강홍수통제소에서 유속계와 봉부자로 측정된 자료(건설교통부 낙동강홍수통제소 1998~2000)를 이용하였으며, 강우량은 포항기상대에서 보고한 포항 강우량의 자료를 사용하였다.

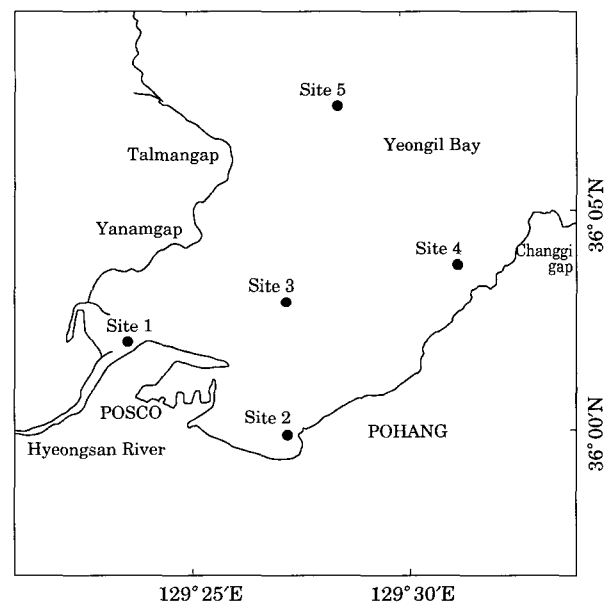


Fig. 1. Map showing the sampling stations in Yeongil Bay.

결과 및 고찰

1. 계절별 수온 및 염분의 변동

1998년에서 2000년까지 표층과 저층의 분기별(2, 5, 8, 11월), 정점별 수온과 염분의 변화추이를 Fig. 2와 3에 나타내었다. 수온 변화를 보면, 2월과 11월에는 기온 하강에 의해 표층수가 저온화 되어 표, 저층 및 만 내·외측의 수온 차가 대체적으로 3°C 이하로 비교적 균일한 수온 분포를 보였다. 5월과 8월에는 표층수온이 만 내측(정점 1, 2와 3)과 만 외측(정점 4와 5)이 비슷하였지만, 저층수온은 만 외측에서는 낮고 만 내측으로 갈수록 점차 높아졌다. 표·저층의 수온차도 5~7°C로 만 외측에서는 비교적 뚜렷하나, 만 내측에서는 미약함을 보였다. 이것은 만 외측의 저층으로부터 유입되는 냉수가 수심이 비교적 깊은 만 외측(20m 내외)을 거쳐, 얕은 만 내측(10m 내외)으로 올수록 그 세력이 차츰 약하여 지는 현상을

나타내었다. 반면에 영일만의 냉수 출현시기는 여름(7, 8월)으로 그 세력이 가장 강할 때에는, 만 외측에서와 같은 세력의 냉수가 만 내측에까지 미치게 되어 이때는 표층수도 냉수대의 영향을 받을 수 있다는 Son (1977)의 보고내용과는 일치하였다.

염분의 경우 2, 5, 11월에는 표·저층에서 31.99~33.72로 층별·시기별 차가 적었으나, 8월에는 표층 평균값이 27.62로 다른 계절에 비해 약 4 정도 낮았고, 저층은 31.86으로 약 2 정도 낮았다(Fig. 3). 이처럼 8월에 염분농도가 특히 낮은 것은 강우량의 증가로 인한 담수의 유입량이 많기 때문이라고 판단된다. 이는 포항의 월별 강우량의 자료에서도(Fig. 4) 유입되는 담수의 영향을 추측할 수 있는데, 연도별로 다소 차는 있으나 6월에서 9월 사이에 다량의 강우를 나타내고 있었다.

그리고 8월 염분값이 만 외측에서 가장 높고 만 내측으로 갈수록 점차 낮아져, 정점 5의 표층에서는 정점 1과 2의 염분농도보다 약 5.4 정도 높게 나타나 영일만 내 수

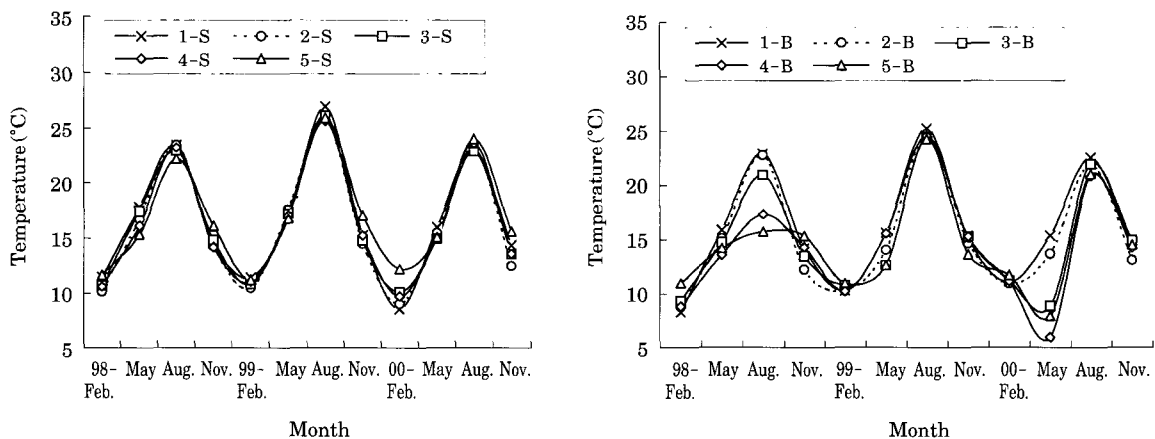


Fig. 2. Seasonal variations of water temperature at the surface and bottom layers in Yeongil Bay. \* S : surface, B : bottom

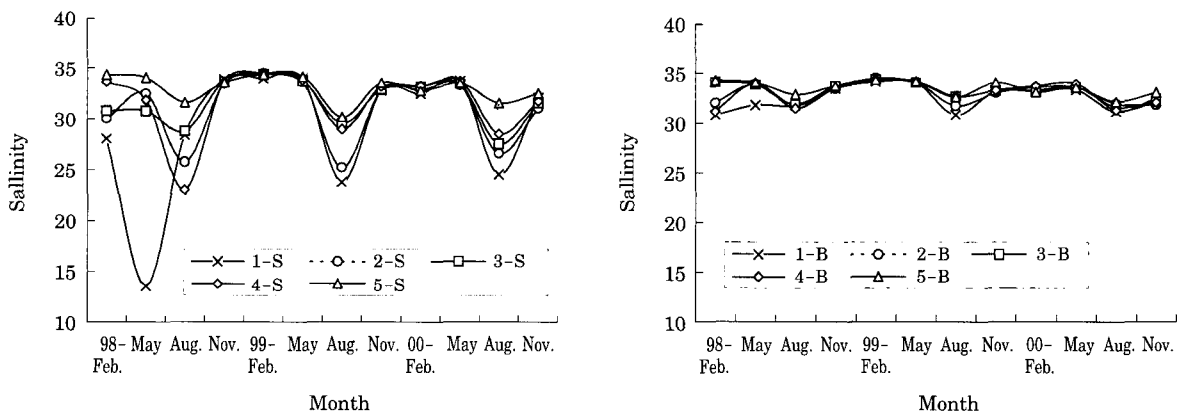


Fig. 3. Seasonal variations of salinity at the surface and bottom layers in Yeongil Bay. \* S : surface, B : bottom

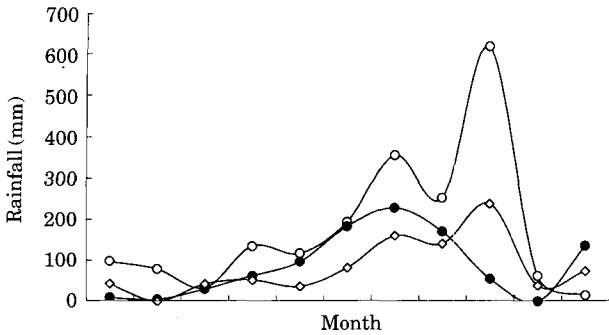


Fig. 4. Seasonal variations of rainfall (○: 1998, ●: 1999, ◇: 2000) in Pohang city.

역에 비하여 강우량에 의한 담수유입의 영향이 비교적 적게 나타났다. 반면 저층의 경우는 모든 정점에서 그 차이가 1.3 이하로 낮게 나타나 전반적으로 유사한 염분 값을 보였는데, 이는 표층의 해수유동 ( $5.0 \sim 18.7 \text{ cm s}^{-1}$ )이 저층 ( $2.2 \sim 7.0 \text{ cm s}^{-1}$ )에 비하여 빠르기 때문에 나타나는 해수이류의 효과를 단편적으로나마 보여줌을 알 수 있었다 (Lee et al. 1995).

2. 영일만 수질의 계절변동

1) 화학적산소요구량

영일만의 해수유동은 만의 서쪽해안과 만 입구의 중앙부를 통해 만 내로 유입하였다가 반 시계 방향으로 회전하면서 만의 동쪽해안을 따라 만 외로 유출한다 (Lee et al., 1995). 그래서 본 연구에서는 해수유동의 흐름에 따라서, 위치적으로 비교적 중간해역으로 보여지는 정점 2

를 기준으로 각 정점의 변화추이를 비교하였다 (Figs. 5-7).

COD의 정점별, 분기별 변동을 Fig. 5에 나타내었다. 2월은 표층평균  $0.46 \sim 0.77 \text{ mg L}^{-1}$  (저층  $0.45 \sim 0.74 \text{ mg L}^{-1}$ ), 5월은  $0.76 \sim 1.10 \text{ mg L}^{-1}$  (저층  $0.61 \sim 1.16 \text{ mg L}^{-1}$ ), 8월은  $1.51 \sim 1.88 \text{ mg L}^{-1}$  (저층  $1.05 \sim 1.34 \text{ mg L}^{-1}$ ), 그리고 11월은  $1.38 \sim 1.78 \text{ mg L}^{-1}$  (저층  $0.49 \sim 1.60 \text{ mg L}^{-1}$ )로 2월이 가장 낮았고 8월에 가장 높았다. 이는 수온의 상승에 따라 증가한 해수내의 부유물질에 기인한다고 보고되어 있으며 (Kim et al. 1976), 실제로 수온이 높은 8월에 해양의 미소생물의 분포량이 많고 적조의 발생 또한 빈번하게 일어나고 있다 (Shim et al. 1985; Kang et al. 1999). 11월에도 높은 농도를 보였는데, 이는 낮은 수주 안정도에 기인한 저층 퇴적물 또는 저층에 축적된 부유물질의 재부유에 의한 증가에 기인한다고 생각할 수 있다.

모든 시기에서 정점별로는 표층은 COD의 농도는 정점 2가 다소 높은 경향을 나타냈으나, 저층에서는 정점 1에서 5월을 제외한 모든 분기에서 높은 농도를 나타내었다. 표·저층 모두 전반적으로 정점별 농도의 변화 폭이 크게 나타났다. Kang et al. (1999)의 보고에 의하면, 영일만에서는 COD가 높은 시기에 염분이 낮아 강우 또는 담수유입이 영일만내의 COD상승 요인으로 보고되어, 만 내측보다 외측으로 갈수록 COD가 낮을 것으로 추측되나 본 연구에서는 이러한 특징을 나타내지는 않았다.

2) 영양염

DIN의 정점별, 분기별 변동을 Fig. 6에 나타내었다. 표층수의 DIN 농도는 8월에  $5.50 \sim 22.92 \mu\text{M}$  (1998), 1.36

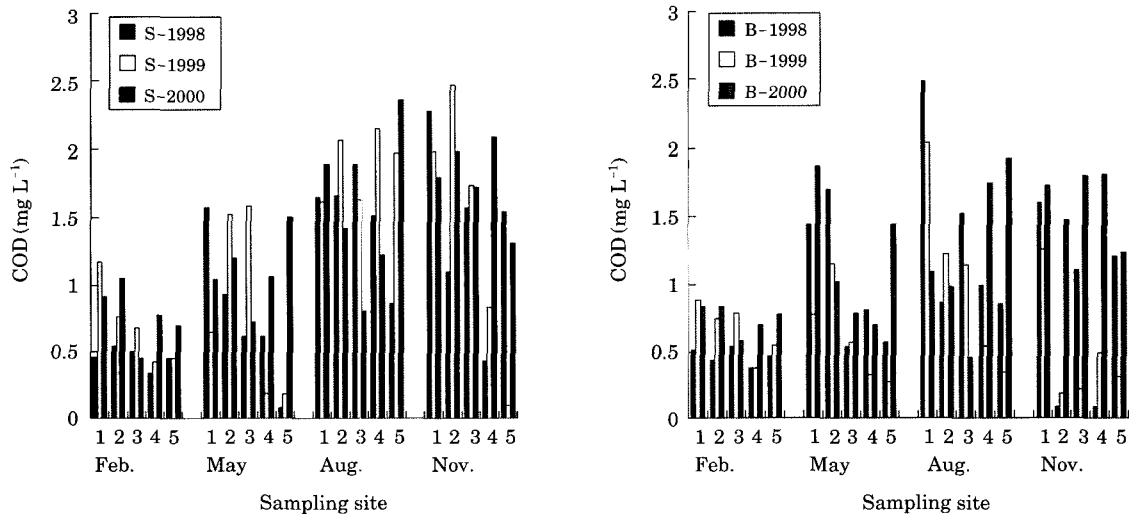


Fig. 5. Sampling site changes and seasonal variations of COD at the surface and bottom layers in Yeongil Bay. \* S : surface, B : bottom

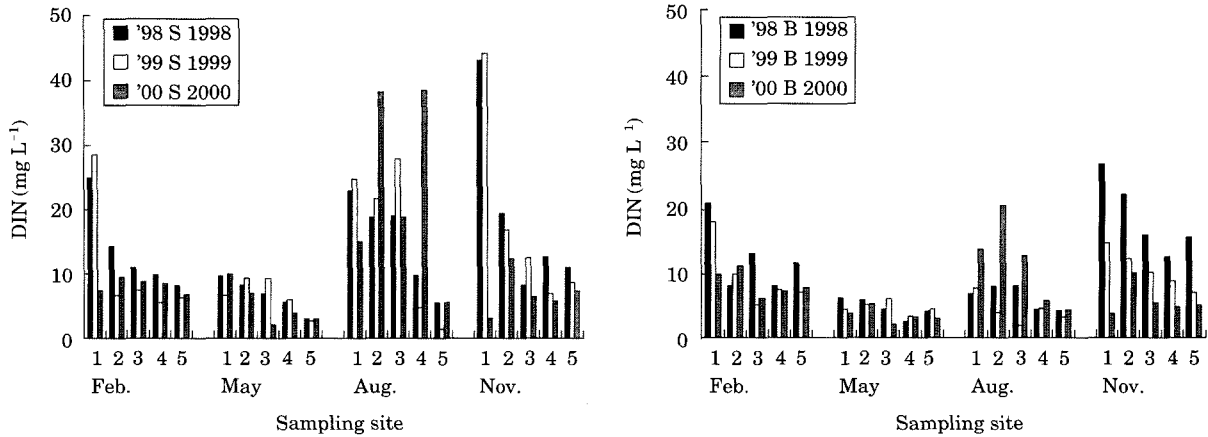


Fig. 6. Sampling site changes and seasonal variations of DIN at the surface and bottom layers in Yeongil Bay.

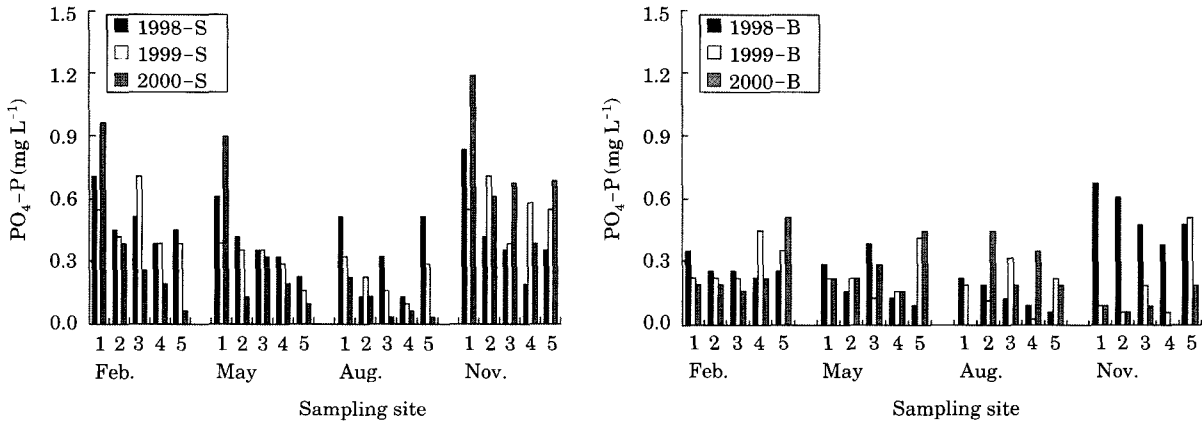


Fig. 7. Sampling sites change and seasonal variation of PO<sub>4</sub>-P at the surface and bottom layers in Yeongil Bay.

~24.78 μM (1999), 5.50~38.34 μM (2000)로 정점별 차이도 가장 크고 평균농도 역시 15.25~23.23 μM의 범위로 가장 크게 나타내었으나, 5월에는 3.00~9.71 μM (1998), 2.64~9.35 μM (1999), 2.07~10.00 μM (2000)로 정점별 농도 차이도 가장 낮고 평균농도(5.26~6.84 μM)의 범위 역시 가장 낮았다. 2월과 11월에는 평균농도가 각각 8.18~13.72 μM, 6.86~18.83 μM으로 8월보다 약 4.40 μM 이상 낮았다.

저층수의 DIN 평균농도는 2월과 8월에 각각 8.26~12.18 μM, 5.52~18.18 μM으로 높게 나타났으며, 정점별 차이는 8월에 3.90~7.82 μM (1998), 1.68~7.52 μM (1999), 4.13~20.22 μM (2000)으로 가장 크게 나타내었다. 5월에는 표층과 같이 2.43~6.14 μM (1998), 3.21~5.93 μM (1999), 2.00~5.14 μM (2000)로 정점별 농도 차이도 가장 낮고 평균농도(3.33~4.54 μM)의 범위 역시 가장 낮았다. 표층과 비교시 저층수의 농도는 약 2.30 μM

이하의 적은 차를 보였으나 8월에는 약 5.05 μM 이하로 높게 나타내었다.

정점별로는 표·저층 모두 5월을 제외하고 정점 1에서 가장 높은 농도를 보였고 대체로 만 외측으로 갈수록 점차 농도가 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 만 내에 유입되는 형산강 담수에 의한 영향을 잘 나타내고 있는 것으로 판단된다.

Yang et al. (1995)에 의하면, 하계에는 수온과 일사량의 증가로 식물플랑크톤이 대폭 증가하여 만으로 유입되는 DIN의 양보다 식물플랑크톤에 의한 소비속도가 상대적으로 크기 때문에 고갈된 농도분포를 보이고, 반면에 동계에는 높은 농도 범위를 나타낸다고 하였지만 본 연구의 표층에서는 상이하게 하계인 8월에 가장 높은 수치를 나타내는 결과가 얻어졌다. 물론 해역마다 특징이 다르며, 특히 득량만 같이 담수의 유입이 거의 없는 해역과는 상이한 결과가 예상되지만 본 연구에서는 DIN의 각 성

분에 따른 양적 분석이 고려되지 않았기 때문에 원인에 대한 보다 상세한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

인산 인 ( $\text{PO}_4\text{-P}$ )의 각 정점별, 분기별 농도 변화를 Fig. 7에서 나타내었다. 표층수의  $\text{PO}_4\text{-P}$  평균농도는 2월에  $0.38\sim 0.53\ \mu\text{M}$ 으로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 8월에  $0.14\sim 0.32\ \mu\text{M}$ 으로 가장 낮게 나타내었다. 동계기간 중 해수내의  $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 함량이 증가하고 춘계에 감소한다는 것은 이미 보고되어 있는데 (Reymont 1963), 이는 수온의 상승과 함께 증가하는 식물플랑크톤으로 인한 인산인의 소모에 의해서 나타나는 현상으로 설명할 수 있다.

분기별 농도범위 역시 8월과 11월에 가장 크게 차를 나타내고 5월에는 그 차가 가장 작았는데, 이는 6월부터 9월 사이에 나타나는 집중호우 (Fig. 4)의 영향으로 고려된다.

정점별로는 정점 1에서 현저히 높은 농도를 나타내며 만 중앙정점인 3, 그리고 만 바깥쪽인 4로 갈수록 점차 낮아졌다. 이는 형산강으로부터 만 내측으로 유입되는 담수의 영향이 수심이 비교적 깊은 만 외측으로 갈수록 그 세력이 점차 약하여지는 현상으로도 설명할 수 있으며, 또한 영일만에 유입되는 담수는  $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 농도를 증가시키는 것을 알 수 있었다. 정점 2에서는 다소 벗어나는 경향을 보였는데, 이는 다른 정점에 비하여 해수유동이 정제되어 있기 때문에 나타나는 현상으로 생각할 수 있다.

저층수는 11월에 평균농도가  $0.14\sim 0.53\ \mu\text{M}$ 으로 비교적 낮은 농도를 나타내었으며, 8월을 제외한 모든 계절에서  $0.46\pm 1.90\ \mu\text{M}$  범위에서 나타내었다. 정점별로는 표층과는 상이하게 정점 5와 정점 1에서 높은 농도를 나타냈으며, 매년 대체적으로 만 내측인 정점 1에서 높은 농도

로 시작하여 점차 낮아져 정점 5에서 다시 높은 농도를 나타내는 U자 곡선을 형성하였다. 이는 정점 1의 경우에는 형산강으로부터 유입되는 담수의 영향으로 기인되며, 외 해역에 접한 정점 5에서는 저층의 성층화로 인하여 농도가 높게 나타나는 현상으로 생각할 수 있다. 그리고 강우량이 많은 8월에서는 정점별 농도의 차가 크게 나타났다. 층별로는, 표층 ( $0.39\ \mu\text{M}$ )에 비하여 저층수 ( $0.24\ \mu\text{M}$ )의 평균농도가 약 2배 낮게 나타났다.

### 3. 형산강 수질의 계절변동

형산강 상류 수역인 경주시 모아리 (HR1)와 중류인 용강공단 (HR3) 그리고 하류인 포항시의 강동대교 (HR2)의 3정점에서 1998년에서 2000년까지 분기별 변동을 Table 1에 나타내었다.

1998년에서 2000년까지 평균한 분기별 농도의 범위를 보면, COD의 경우에는 2월과 5월이 각각  $4.70\sim 19.83\ \text{mg L}^{-1}$ ,  $6.90\sim 17.40\ \text{mg L}^{-1}$ 로써 비교적 높은 값을 나타내었다. 전반적으로 8월과 11월에 낮은 농도범위를 보였는데, 각각  $4.57\sim 9.47\ \text{mg L}^{-1}$ ,  $4.23\sim 15.47\ \text{mg L}^{-1}$ 로 나타났다. 총 질소 (Total Nitrogen, TN)의 경우도 COD와 비슷한 양상을 보였는데, 2월과 5월이 각각  $409.29\sim 802.15\ \mu\text{M}$ ,  $385.72\sim 733.58\ \mu\text{M}$ 으로 높게 나타났으며, 8월과 11월에 각각  $264.29\sim 533.58\ \mu\text{M}$ ,  $295.00\sim 585.72\ \mu\text{M}$ 으로 낮게 나타났다. 반면 총 인 (Total Phosphorous, TP)의 경우에는 2월  $6.77\sim 26.23\ \mu\text{M}$ , 5월에는  $4.58\sim 22.87\ \mu\text{M}$ 으로 각각 낮게 나타났으며, 8월과 11월에서 각각  $5.06\sim 26.32\ \mu\text{M}$ ,  $8.32\sim 32.00\ \mu\text{M}$ 으로 대체적으로 높은 범위로 나타났다. 정점별로는 HR3에서 COD (약 3.0배), TN (약 1.9배), TP (약 4.2배) 모두 현저히 높은 수치

**Table 1.** Values of COD, TN and TP in the surface layer from Heongsan river

Dates	Stations									
	HR1			HR2			HR3			
	COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	TN ( $\mu\text{M}$ )	TP ( $\mu\text{M}$ )	COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	TN ( $\mu\text{M}$ )	TP ( $\mu\text{M}$ )	COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	TN ( $\mu\text{M}$ )	TP ( $\mu\text{M}$ )	
1998	Feb.	3.7	445.5	5.4	3.6	491.2	4.1	19.4	849.9	19.8
	May	6.2	357.1	5.6	19.0	353.6	3.9	19.0	1294.5	47.5
	Aug.	4.1	282.2	6.0	10.2	206.8	4.3	10.2	649.5	39.0
	Nov.	4.6	312.9	9.3	20.1	366.5	10.2	20.1	673.9	42.4
1999	Feb.	5.9	379.4	6.6	23.7	537.2	8.1	23.7	747.1	20.2
	May	5.6	516.4	7.9	14.8	332.7	6.2	14.8	129.7	5.2
	Aug.	4.0	287.9	8.5	8.9	255.9	6.8	8.9	316.5	14.8
	Nov.	3.7	230.6	8.8	14.0	242.5	9.2	14.0	655.1	32.8
2000	Feb.	6.6	408.0	8.3	16.4	353.3	8.0	16.4	806.7	38.1
	May	8.9	572.2	4.2	18.4	465.2	3.5	18.4	780.5	15.4
	Aug.	8.5	468.4	10.8	9.3	330.9	3.9	9.3	633.7	24.5
	Nov.	4.4	339.6	6.6	12.3	370.8	8.1	12.3	430.1	20.0

를 보였다.

낙동강홍수통제소의 평균유속과 유량은 HR1부터 HR3 사이의 경우, 평균유속은 1998년 2월과 5월에는 각각  $0.01 \sim 0.04 \text{ m sec}^{-1}$ ,  $0.01 \sim 0.02 \text{ m sec}^{-1}$ 로 나타내었으며 8월은  $0.07 \sim 1.03 \text{ m sec}^{-1}$ 로 가장 높은 값을 나타내었다. 그리고 1999년과 2000년에도 각각  $0.75 \sim 1.14 \text{ m sec}^{-1}$ ,  $0.44 \sim 0.84 \text{ m sec}^{-1}$ 로 1998년과 유사하게 8월에 가장 높게 나타내었다. 평균유량은 2월에  $1.16 \sim 30.03 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ , 5월은  $0.92 \sim 15.96 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ , 그리고 8월은  $9.48 \sim 1303.9 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ 로 각각 나타나 5월에 가장 적게 8월에 가장 많은 유량을 나타내었다. 1999년과 2000년에도 8월에 각각  $378.64 \sim 989.43 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ ,  $54.26 \sim 1896.45 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ 로 가장 높게 나타내었다. 이 중 유속은 3정점 모두 유사한 경향을 보였지만, 유량의 경우는 특히 8월에 HR2에서  $1303.9 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$  (1998),  $989.43 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$  (1999),  $186.45 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$  (2000)으로 가장 높은 값을 나타냈다.

한편 형산강유역에서의 하·폐수배출량과 발생량을 보면 각각  $160,700 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ ,  $161,901 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ 로 나타나는 데 (낙동강환경관리청 1999) 수역에서의 오염물질은 형산강의 유량이 가장 적은 5월이 가장 높고, 유량이 가장 많은 8월에 가장 낮을 것으로 생각할 수 있으며 실제 COD와 TN의 농도는 분기별로 5월이 가장 높고 8월이 가장 낮은 범위를 나타내었다.

반면 TP의 경우는 2월과 5월이 낮고 8월과 11월이 높은 양상을 보였는데, 이는 배출 및 발생하는 오염원의 구성에 따라 다르게 생각할 수 있는데, 오염원의 구성비율을 보면 생활하수 86.5%, 산업폐수 11.6%, 축산폐수 1.9%로 되어 있으며, 생활폐수가 높은 비율을 차지한다 (낙동강환경관리청 1999). 여기에서 86.5%를 차지하는 생활하수가 주된 공급원이 되는 TP (Meybeck *et al.* 1982)는 년 중 발생량이 배출량에 비해 상당히 클 것으로 고려되며, 따라서 증가하는 유량과 함께 배출량 역시 증가할 것으로 생각할 수 있다. 낙동강 환경관리청에서 보고한 일일 배출량 및 발생량은 년 평균한 수치로, 월별에 따른 분석이 고려되지 않았기 때문에 원인에 대한 보다 상세한 검토가 필요한 것으로 판단되나, 형산강 유역에서 나타나는 COD, 또는 TN과 TP의 시기별 농도의 차이는 강우에 의한 유량에 크게 좌우됨을 알 수 있었으며 가장 많은 유량을 나타내는 8월에 영일만의 수질의 변화에 미치는 영향도 가장 클 것으로 판단된다.

한편 용강공단이 위치하고 있는 HR3에서는 특히 TN과 TP의 농도가 높았는데, 이는 폐수배출업소에서 발생하는 산업폐수가 수질의 오염에 영향을 미침을 알 수 있었다.

#### 4. 영양염류 공급원

영일만 표층수의 영양염류 공급원이 정점에 따라 어떻게 달라지는지를 알아보기 위하여, 1998년에서 2000년까지의 전 분기에서 크게 분산되는 2점을 제외한 모든 농도를 이용하여 (Number of data = 10) DIN과  $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 상관관계를 Table 2에서 나타내었다.

DIN과  $\text{PO}_4\text{-P}$ 와의 관계를 보면, 정점 1과 2, 3에서는 부(-)의 상관성을 나타내 유입되는 담수의 영향이 큼을 알 수 있었다. 반면에 정점 5에서는 정(+ )의 상관성을 보였다. 농도의 기울기 ( $\Delta N/\Delta P$ )는 평균 6.4로써 Redfield ratio의 수치에서 크게 벗어나며, 지금까지 동해에 보고된  $12.5 \sim 13.4$  (Chung *et al.* 1989)와도 다른 양상을 나타내었다. 상관계수 또한 대체적으로 0.5 이하의 낮은 수치를 나타내었는데, 이는 영일만에서는 만 입구 쪽에서 유입되는 외해수의 영향과 형산강에서 유입되는 담수가 상호 복잡하게 영향을 미치기 때문에 동해 연안에 비하여 유의한 상관관계의 도출이 어려운 것으로 생각할 수 있다.

동해안의 영양염류의 수평분포에서  $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 모든 계층을 평균하여  $0.57 \mu\text{M}$ , DIN은  $6.58 \mu\text{M}$ 로 각각 나타냈다 (Kim *et al.* 1999). 일반적으로 외 해측보다 만 내에서 생물생산이 활발 (Yoon 1989)함에도 불구하고, 영일만 5개소 정점에서 평균한 농도를 동해안에서 나타내는 농도와 비교하였을 때, DIN은  $12.07 \mu\text{M}$  (1998)로 약 2배 높게 나타나고 반면에  $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 영일만에서도 만 내측에 비하여 만 외측의  $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 농도가 현저히 낮기 때문에 약 2배 낮은  $0.26 \mu\text{M}$  (1998)로 나타내었다.

해양에서 영양염류가 충분할 경우 식물플랑크톤 중 N/P의 원자비는 16이 된다고 알려져 있으며, 질산염이 고갈될 경우는 식물플랑크톤 중 N/P 원자비가 2~3배 정도의 변화 폭을 보인다고 한다 (Goldberg *et al.* 1979). 본 연구에서는 N/P 원자비가 낮게는 0.03까지 나타나 대체적으로 질산염이 고갈된 상태를 나타내었다. 이는 만 내에서, 영양염류는 활발한 생물생산으로 소비되기는 하나 DIN에 비하여  $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 경우에는 소비농도에 비하여

**Table 2.** Results of statistical analysis for the surface layer of Yeongil Bay

Stations	Regression equation	Correlation coefficient ( $r^2$ )
1	$\text{DIN} = -0.033\text{PO}_4\text{-P} + 0.031$	0.5
2	$\text{DIN} = -18.56\text{PO}_4\text{-P} + 0.426$	0.5
3	$\text{DIN} = -7.49\text{PO}_4\text{-P} + 0.251$	0.5
4	$\text{DIN} = 2.55\text{PO}_4\text{-P} + 0.062$	-
5	$\text{DIN} = 3.31\text{PO}_4\text{-P} + 0.043$	0.5

잉여되는 양이 극히 큼을 알 수 있었다. 비록  $PO_4$ -P에 비해 질산염이 생물체에 보다 효과적으로 흡수동화 되기는 하지만(Ryter *et al.* 1971),  $PO_4$ -P는 생활하수가 주된 공급원으로 형산강으로부터 유입되는 담수의 영향을 고려하면 극히 낮게 나타난 N/P의 원자비는 가능한 것으로 생각할 수 있다.

## 적 요

1998년에서 2000년까지 2월과 5월, 8월, 11월 각 분기별로 영일만과 형산강의 수질의 변화에 대하여 조사하였다. 그리고 형산강에서 영일만으로 유입되는 담수가 영일만 수질에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

수온은 5월과 8월에 높은 기온과 냉수대의 영향으로 표층수는 저층수보다 수온이 높으며, 염분은 형산강으로부터 유입되는 담수의 영향으로 만 내측이 특히 낮은 특징을 나타내었다. 그리고 표·저층수의 염분차는 만 외측이나 만 중앙부에 비하여 만 내측이 크게 나타났다.

COD는 8월과 11월에 각각 높게 나타났으며, 2월이 가장 낮은 농도를 나타내었다. 정점별로는 표·저층 모두 대체적으로 영일만 내측에서 외측으로 갈수록 점차 낮아지는 경향을 보였으며 그 차는 크게 나타났다.

DIN의 평균농도는 8월에 가장 높고, 5월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 정점별로는 표·저층수 동일하게 5월을 제외하고 정점 1에서 가장 높았으며, 대체로 만 외측으로 갈수록 점차 낮아지는 경향을 보였다.  $PO_4$ -P의 평균농도는 2월에 가장 높았고 8월에 가장 낮았다. 정점별로는 정점 1에서 현저히 높았고 만 중앙부에 위치한 정점 3, 그리고 만 바깥쪽인 정점 4에서 점차적으로 낮아지는 경향을 보였다. 저층수에서는 11월에 높은 농도를 나타내었으며, 정점별로는 표층과는 상이하게 정점 5와 정점 1에서 높은 농도를 나타내었다.

분기별 형산강수질의 변동에서, COD는 2월과 5월이 각각 높았으며, 전반적으로 유량이 큰 8월이 가장 낮았으나 영일만 수질의 변화와의 비교에서 영일만에 미치는 영향은 가장 크게 나타내었다. TN의 농도범위는 COD와 비슷한 양상을 보였는데, 2월과 5월이 높았고 8월이 가장 낮았다. 반면 TP의 경우에는 2월과 5월에 낮았다.

DIN과  $PO_4$ -P사이의 상관관계에서, 전반적으로 영일만 내의 외 해수 유입과 담수의 유입이 상호 복잡하게 영향을 미쳐 상관성이 낮은 수치( $r^2=0.5$  이하)를 나타내었으며, 이는 만의 가장 내측인 정점 1과 만입구쪽인 정점 5에서의 상이한 양상으로도 알 수 있었다. 또한 만 내측인 정점 1, 2 및 3에서 나타난  $\Delta N/\Delta P$ 의 부(-)의 상관

관계에서도 유입되는 담수의 영향이 큼을 알 수 있었다.

영일만에서는 대체적으로  $\Delta N/\Delta P$  원자비가 Redfield ratio 평균 6.4로 낮게 나타나 전 해역에서 DIN이  $PO_4$ -P의 농도에 비하여 상대적으로 고갈된 상태를 나타내었으며, 반면에 과잉된 상태의  $PO_4$ -P는 유입되는 형산강 담수가 공급원으로 작용함을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 논문을 정성껏 심사하여 주시고 여러 가지로 많은 도움을 주신 오봉철 박사님 외 두 분 심사위원님께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부 낙동강 홍수통제소. 1998. 형산강수계 유량측정 조사보고서. pp.38-43.
- 건설교통부 낙동강 홍수통제소. 1999. 형산강수계 유량측정 조사보고서. pp.49-59.
- 건설교통부 낙동강 홍수통제소. 2000. 형산강·태화강수계 유량측정 조사보고서. pp.121-124.
- 국립수산진흥원, 1989. 한국 연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구, 사업보고. 84:347.
- 포항시 환경위생과. 1999. 환경백서. 412pp.
- 해양수산부. 1998. 해양환경공정시험방법. pp.33-54.
- 환경부 낙동강환경관리청, 1999. 낙동강권역 수질오염원 조사 보고서. 345pp.
- Chung CS, JH Shim, YC Park and SG Park. 1989. Primary productivity and nitrogenous nutrient dynamics in East Sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* 24:52-61.
- Goldberg JC, JJ McCarthy and DG Peavey. 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters. *Nature* 279:210-215.
- Kang YS, KY Kim, JM Shim, KT Sung, JI Park and JY Kong. 1999. Environmental characteristics and distributions of marine bacteria in Yongil Bay. *Nat. Fish Res. Dev. Inst. Korea* 57:175-184.
- Kim JM, SJ Han and JW Lee. 1976. Environmental studies on Masan Bay 1. Physical factors and chemical contents, *J. Oceanol. Soc. Korea* 11:25-33.
- Kim KY, KT Sung, JM Shim and YS Kang. 1999. Distributional characteristics of nutrients in the euphotic zone of the East Sea. *Bull. Nat. Fish Res. Dev. Korea* 57: 185-193.
- Lee JS, CK Kim, JH Kim and KB Lim. 1995. Current structures and diffusion characteristics in Yongil Bay, *J. Oceanol. Soc. Korea* 30:467-479.



- Lee TW. 1999. Seasonal Variation in species composition of demersal fish in Yongil bay, East Coast of Korea, J. Korean Fish. Soc. 32:512-519.
- Meybeck M. 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. American J. Science 282:401-450.
- Raymont JEG. 1963. Plankton and productivity in the oceans. Pergamon press, London, 660pp.
- Ryter JH and WM Dunstan. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment in the coastal marine environment. Science 171: 1008-1013.
- Shim JH and SJ Bae. 1985. The distribution of phytoplankton in Yongil Bay, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea 20:49-60.
- Son SJ. 1977. A study on the characteristics of cold water in Youngil Bay, Bull. Nat. Fish Res. Dev. Inst. Korea 18:23-28.
- Sung KT, KB Lim and SC Lee. 1993. The distribution of currents in Yongil Bay, Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency 47:1-7.
- Yang HS, SS Kim, GB Kim. 1995. Spatio-temporal distribution of nutrients in the surface waters of Deukrang Bay, J. Korean Fish. Soc. 28:475-488.
- Yoon YH. 1989. Environmental analysis of phytoplankton growth in the Inland Sea of Japan, with special reference to the occurrence of red tide. Ph. D. thesis, Hiroshima Univ. 361pp.

Manuscript Received: August 27, 2003

Revision Accepted: November 1, 2003

Responsible Editorial Member: Bong-Chul Oh  
(NFRDI)