

박성배, 하경, 홍정희, 박재림¹, 주기재
 부산대학교 생물학과, ¹신라대학교 환경학과

1. 서론

낙동강은 중·상류지역에 7개의 댐과 하구둑을 가진 전형적인 조절하천으로서, 지난 30여년간 진행된 집수역의 물리적인 변화가 수생생태계의 변화 및 부영양화를 촉진시켰다. 낙동강 하구는 동양최대의 철새도래지로서 잘 발달된 삼각주와 다양한 생물들이 서식하는 지역으로 알려져 있었으나, 87년 하구둑 축조이후 하구둑 상·하부의 염분 농도 변화와 서식처 파괴로 많은 생물들의 변화를 초래하였다 (Joo *et al.*, 1997). 천연기념물 제 179호로 지정된 낙동강 하구는 집수역의 산업화, 배립 및 준설 공사와 중·상·하류지역 전반에 걸친 각종 오페수의 방류로 하천의 물리·화학적 환경이 변화하고 있다. 90년 이후 낙동강 하류지역은 심각한 부영양화로 조류의 대거 번성과 같은 심각한 수질오염문제가 연중 야기되고 있다 (Ha *et al.*, 1998, Kim *et al.*, in press).

낙동강 하구둑 상, 하부 지역 중 서낙동강 지역은 수괴의 정체가 심하여 그 오염정도가 본류에 비해 심각한 것으로 알려져 있으나, 서낙동강 지역 및 낙동강 하구둑 상부 (10 km 내외) 지역에 대한 생물상의 정량적인 조사가 비교적 적게 이루어졌다. 낙동강 수계내의 식물플랑크톤에 대한 연구는 비교적 빈번히 수행되어져 왔으나, 동·식물플랑크톤 및 박테리아 동태가 동시에 수행된 적이 없어 상호연관관계 파악에 어려움이 있었다. 따라서, 본 연구는 낙동강 하구지역 중 하구둑 상부의 이·화학적 특성을 조사하고, 동·식물플랑크톤의 종조성, 분포현황 및 박테리아의 밀도 등을 파악하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 간격

본 연구는 낙동강 본류의 물금, 구포, 하구연의 3개 지점과 서낙동강의 김해교, 녹산에서 1998년 1월에서 12월까지 2개월 간격으로 조사를 실시하였다.

2.2. 조사항목

가. 물리·화학적 특성

수온, pH, 용존산소, 전기전도도, 탁도, 알칼리도 및 기본적인 수질항목을 측정했다. 영양염류 중 TN, TP의 농도는 원수를 냉장보관해 두었다가 Wetzel과 Likens (1991)에서 제시된 방법을 이용하여 측정하였다.

나. 동·식물플랑크톤

동물플랑크톤은 수심 1 m에서 32 μm (Wildco[®]) 망목을 사용하여 조사지점당 원수 8 L를 필터한 후 10% 중성포르말린으로 고정하고 도립현미경하에서 ($\times 100$, $\times 400$) 2회 이상 동정하였으며, 동물플랑크톤 계수는 1 ml용 Sedwick-Rafter 계수판에 적하여 도립현미경하에서 총 3회 반복 계수하여 평균값을 1 L당 개체수로 환산하여 계산하였다. 식물플랑크톤 채집은 수표

면으로부터 수심 1 m의 시료를 채수하여 원수 100 ml을 Lugol's 용액으로 고정시킨 후, 암소에 보관하였다. 이중 5 ml을 24시간 동안 settling chamber (체적: 5 ml, 직경: 2.5 cm)에 침전시킨 후, Zeiss IM 도립현미경 (x 400)하에서 20 field 이상 계수 하였고, 세포수는 1 ml당 총 개체수로 나타냈다. 클로로필 함량은 Monochromatic Method (Wetzel and Likens 1991)에 따라 측정하였다. 식물플랑크톤은 G. M. Smith의 분류체계에 의거 동정했으며 Prescott (1982), Forged (1978), Cassie (1989) Round *et al.* (1990), 정 (1993) 등의 도감을 참고하였다.

다. 박테리아

시료는 현장에서 glutaraldehyde solution (4%)으로 고정시키고 실험실로 운반하여 1 ml을 Sudan Black B로 미리 염색된 polycarbonate membrane filter (0.2 μ m pore size)로 여과하고, DAPI로 10분간 염색한 후 형광현미경으로 20 fields를 무작위로 검경하여 총 박테리아 수를 계산하였다.

3. 결과

3.1. 이·화학적 특성

조사기간 동안의 이·화학적 항목들을 평가해보면 서낙동강 지점들 (녹산, 김해교 지점)에서 거의 모든 이·화학적 항목들이 본류의 지점들 (물금, 구포, 하구둑 지점) 보다 높게 나타나, 서낙동강 유역의 부영양화 정도가 더 심한 것으로 조사되었다. 영양염류의 경우, 연평균 TN 농도는 서낙동강의 녹산 (4.5 mg/L)과 구포 (4.4 mg/L)지점에서 상대적으로 높은 값을 보였으나, 다른 조사지점의 경우는 물금, 김해교, 하구둑 지점에서는 상대적으로 낮은 값 (물금: 4.0 mg/L, 김해: 4.1 mg/L, 하구둑: 4.1 mg/L)을 보였다. 총인 (Total Phosphorous)의 경우는 강우가 집중되었던 8월에는 집수역의 유기인의 유입으로 인하여 모든 지점에서 상대적으로 높은 값의 인이 측정되었다. 조사기간 동안의 평균 총인량을 비교하면 김해교 지점이 0.17 mg/L로 가장 높았고, 물금에서 0.12 mg/L로 가장 낮았으며, 나머지 3개 지역은 거의 비슷한 값 (구포: 0.14 mg/L, 녹산: 0.15 mg/L, 하구둑: 0.14 mg/L)을 나타내었다.

3.2. 식물플랑크톤

조사기간동안 총 6 phyla, 90 taxa가 동정·분류되었으며 분류군 별로는 Chlorophyta 34종, Chrysophyta 1종, Chyptophyta 31종, Cyanophyta 15종, Euglenophyta 3종, Pyrrophyta 3종이 동정되었다. 각 지점별로 출현하는 식물플랑크톤의 군집별 구성비율의 대부분을 녹조류와 규조류가 차지하였다. 본류의 경우 물금에서는 2월-4월에 규조류가 전체군집의 구성비의 거의 대부분을 차지하였고, 6월에는 녹조류 25%, 규조류 70%, 남조류 2%로 나타났고 여름인 8월에는 남조류가 우점하였다. 10월에는 녹조류 40%, 규조류 56%, 남조류 4.5%, 12월에는 규조류가 우점하는 경향을 나타내었다. 구포 지점에서도 녹조류와 규조류가 주요 출현군집으로 규조가 우점하는 양상을 보였다. 2월에는 규조류인 *Stephanodiscus hantzschii*가 높은 비율로 총 밀도의 96%를 차지하였고 상대풍부도가 낮은 녹조류는 2월에 3%, 4월에는 12%, 6월에는 10%, 10월에는 17%, 12월에는 10% 정도였다. 하구둑 지점의 경우 규조류가 여름을 제외하고 연중 우점하는 양상을 보였다.

서낙동강 김해교에서의 출현종 대부분은 규조류로 시기별로 다소 차이는 있었으나 56~96%로 나타났다. 2월에는 *Stephanodiscus hantzschii*가 2.8×10^4 cells/ml를 기록하여 조사기간 중 최

고치를 나타내었으며, 4월과 6월에는 *Synedra acus*가 우점하였다. 녹조류는 2월과 4월에는 10% 이하로 낮은 비율을 보였으나 6월에 28%로 증가한 후 10월과 12월에는 다시 감소하였다. 하류 지점인 녹산은 다른 4개 조사 지점과는 다른 종조성을 보여주었다. 이 지역은 하류쪽이 녹산수문으로 차단되어 있어 물의 정체가 심하고 주변 농경지와 주거지로부터 영양염류가 지속적으로 유입되어 남조류가 매년 크게 발생하고 있으며 본 조사에서도 남조류의 수화현상이 관찰되었다. 1998년 6월과 10월의 *Microcystis* spp.는 각각 99% (7.6×10^4 cells/ml), 99% (4.2×10^5 cells/ml) 이상 발생하여 표면에 전체적으로 남조류가 덮고 있었다. 2월에는 규조류인 *Synedra acus*가 86%로 크게 우점하였고 4월에는 Chrysophyta의 *Cryptomonas erosa*가 98%를 차지하였다.

3.3. 동물플랑크톤

조사기간 동안 전 지점에서 윤충류가 우점하였으며 지각류 및 요각류가 차지하는 비중은 매우 낮았다. 출현 시기에 있어서는 다소 차이가 있었으나 모든 조사지점에서 *Keratella cochlearis*, *Polyathra* spp., *Brachionus calyciflorus*, *Filinia longiseta* 등이 우점종으로 나타났고 윤충류가 동물플랑크톤 군집구성 비율의 80% 이상을 차지하였으며 지각류 및 요각류는 상대적으로 비율이 낮게 나타났다. 지각류의 경우 주로 소형 지각류인 *Bosmina longirostris* 및 *Bosminopsis deitersi*가 관찰되었다. 요각류의 경우 출현빈도 및 종수가 낮았으며 유생 및 cyclopid 계열의 요각류가 출현종의 대부분을 차지하였다.

동물플랑크톤의 지점별 종조성은 계절적인 차이는 있었으나 대체적으로 유사하게 나타났다. 동물플랑크톤 밀도는 본류의 물금 지점과 서낙동강의 김해교, 녹산 지점이 높은 밀도를 나타내었고 본류의 구포와 하구둑은 상대적으로 낮은 밀도를 나타냈다. 김해교와 녹산의 평균 개체수는 각각 1,810 마리/L와 1,927 마리/L인데 비해 구포와 하구둑의 경우는 각각 164 마리/L와 321 마리/L로 그 차이가 크게 나타났다.

계절별 동물플랑크톤의 밀도변화는 지점간에 다소 차이가 있었다. 본류 최상부 지점인 물금 지점의 경우 6월에 최대 밀도를 보이고 8월 이후 밀도가 급격히 감소한 반면 나머지 하부 지점들은 4월과 10월에도 비교적 높은 밀도를 유지하였다. 8월의 경우 계속되는 강우로 인해 박테리아 및 식물플랑크톤의 생체량이 크게 감소하였고 동물플랑크톤 역시 그 밀도가 감소한 것으로 사료된다.

3.4. 박테리아

본 조사의 5개 지점에서의 평균 박테리아 밀도는 녹산, 김해교, 하구, 구포, 물금 순으로 감소하였다. 조사기간동안 8월과 10월에 각각 녹산과 김해교 지점에서 최대값을 나타냈으며, 물금 지점을 제외한 모든 조사지점에서 8월보다는 10월에 총 박테리아의 수가 증가했다. 1998년 8월의 경우 지속된 강우로 인해 조사기간 전후로 유량이 크게 증가하여 박테리아의 밀도가 줄어 들었다. 10월에는 유량의 감소와 수체의 안정으로 인해 박테리아의 수가 증가하였다.

4. 결론

본 조사에서 본류 보다 서낙동강 유역의 부영양화 정도가 더 심한 것으로 조사되었다. 각 지점별로 출현하는 식물플랑크톤의 군집별 구성비율에서 규조류가 높은 비율을 차지하였고 동물플랑크톤은 윤충류가 우점하였으며 지각류 및 요각류가 차지하는 비중은 매우 낮았다. 5개 조사 지점에서의 평균 박테리아밀도는 녹산, 김해교, 하구, 구포, 물금 지점의 순이었고, 8월과 10월에

높은 수를 보였다.

식물플랑크톤은 강 생태계내의 중요한 1차 생산자로서 먹이사슬의 기초를 이루고 있다. 그러나, 유속이 느리고 연중 영양염류의 농도가 높으며 유량이 부족한 낙동강과 같은 강에서 갈수기 동안 식물플랑크톤의 과도한 번성은 원수자체의 질을 떨어뜨려 수자원으로써의 가치를 하락시키고 있다. 90년 이후 낙동강은 조사기간인 98년과 같이 여름동안 많은 비가 내렸던 한, 두 해를 제외하고는 매년 여름에는 남조, 겨울에는 규조가 수화현상을 일으키고 있다.

수문학적 기초자료 축적과 강우량의 변화, 댐 방류 등에 따른 유량과 유속의 변화, 장기적인 수문학적 환경변화에 대한 생물군집의 반응 등이 앞으로 진행되어야 할 연구 분야들이다. 또한, 하구둑 상, 하부에서 동시에 수질변화를 파악할 수 있는 자동수질측정망의 구축, 고정점 확립 및 장기모니터링 체계의 확립 등으로 보다 체계적인 낙동강의 수질 관리가 가능해질 것으로 예상된다.

참고문헌

- 정 준, 1993, 한국남수조류도감. 아카데미 서적. 496p.
- Foged, E., 1978, Diatoms in Eastern Australia. J. Cramer. 243p.
- Godlewska- Lipowa, W. A. 1976. Bacteria as indicators of degree of eutrophication and degradation of lakes. *Pol. Arch Hydrobiol.* 23:341-156
- Ha, K., H. W. Kim and G. J. Joo, 1998a, The phytoplankton succession in the lower part of hypertrophic Nakdong River (Mulgum), South Korea, *Hydrobiologia* 369/370 : 217-227.
- Joo, G. J., H. W. Kim, K. Ha and J. K. Kim, 1997, Long-term trend of the eutrophication of the Lower Nakdong River, *Korean Journal of Limnology*, 30: 472-480.
- Kim, H. W., K. Ha, G. J. Joo, 1998, Eutrophication of the lower Nakdong River after the construction of an estuarine dam in 1987. *International Review on Hydrobiology* 83: 65-72.
- Prescott, G.W., 1973, Algae of the western Great Lakes area. Revised Edition. Otto Koeltz Science Publishers. 977p.
- Round, F. E., R. M. Crawford and D. G. Mann 1990, The diatoms. Cambridge University press. 747p.
- Wetzel, R.G., 1983. Limnology. Saunders College Publishing
- Wetzel, R.G., and G. E. Likens, 1991, Limnological Analyses (Second Edition)
- Kim, H. -W., S. -J. Hwang, and G. -J. Joo, Zooplankton grazing on bacteria and phytoplankton in a regulated large river (Nakdong River, Korea), *J. Plankton Res.*, (in press)