

서낙동강에서의 동물플랑크톤의 출현과 분포에 관한 연구(I)

환경조사과

정재원 · 장은화 · 정승열

Study on Appearance and Distribution of Zooplankton at Seonakdong River(I)

Environmental Research Division

Jae-Won Jeong · Eun-Hwa Jang · Seung-Ryeol Jeong

Abstract

In order to investigate relationship of appearance and distribution characteristic of zooplankton community, the present study was carried out every months from Jan. 2004 to Dec. 2004 at three stations in the Seonakdong River.

The range of variation of water environmental conditions in the Seonakdong River were follows ; 5-32 °C for water temperature, 7.1-9.9 for pH, 4.7-20.8 mg/L for dissolved oxygen, 0.09-3.88 ‰ for salinity and 7.0-462.2 mg/m³ chlorophyll a.

The major dominant species of phytoplankton were *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*, *Microcystis(Anacystis) aeruginosa*, *Eudorina elegans*, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira granulata*, *Cryptomonas erosa*, *Volvox tertius*.

The dominant species of zooplankton were *Strombilidium sp.*, *Tintinnidium sp.*, *Euplotes sp.*, *Polyarthra sp.* in winter and *Bosmina sp.*, *Brachionus sp.*, *Keratella sp.* and Nauplius in summer.

The concentrations of inorganic nutrients in pore water of sediment were the highest in summer, pH values were the highest in winter.

Algal growth potential(AGP) bioassay was conducted to assess the water quality and fertility, and AGP values were the highest at the kang-dong-kyo.

Key Words : zooplankton, phytoplankton, pore water, AGP, Seonakdong River

서론

서낙동강은 농업용수의 이용과 치수를 위하여 대저수문과 녹산배수문이 설치된 이후 호소형 하천의 수문 특성을 나타내며, 중·하류부의 화목하수처리장과 강동하수처리장으로부터 N, P의 함량이 높은 방류수가 유입되는데다, 퇴적물로부터의 내부생산부하에 의해 오염이 가속화되고, 이러한 하상퇴적물의 오염은 하절기에 무산소수괴층을 형성함으로써 인산염과 같은 영양염류의 용출로 식물플랑크톤의 대량번식이 해마다 발생하고 있다. 식물플랑크톤의 대발생은 자생유기물 생산성이 높아 또 다른 내부생산부하 오염물질로서 수질악화의 원인이 되고 있다.

수생태계는 빛에너지를 이용하여 광합성을 수행하는 생산자와 이를 먹이로 하는 동물플랑크톤 등의 소비자, 그리고 영양염류의 순환에 기여하는 분해자로서의 세균 군집 등 각 영양단계(trophic level)가 서로 유기적 관계로 연결되어 먹이사슬(food chain)을 이루고, 이들이 망처럼 얽혀서 먹이그물(food web)을 형성한다. 따라서 하천생태계의 다양성이나 단순성은 먹이사슬의 복잡성으로 측정될 수 있기 때문에 먹이사슬은 하천생태계의 기능을 규명하기 위한 주요 관심사항일 뿐만 아니라 하천생태계의 환경을 평가하는 지표가 되기도 한다 (Barnes and Minshall, 1983).

동물플랑크톤의 계절적인 천이는 자연 환경 요인과 주요먹이원인 식물플랑크톤의

종 구성과 풍부도, 동물플랑크톤 중간 경쟁 및 어류의 섭식활동을 통해 나타나며, 이 중에서 먹이로 이용되는 식물플랑크톤 천이는 동물플랑크톤의 군집 변화를 야기하는 중요한 원인이 된다(김 등, 2000).

일반적으로, 담수생태계에서는 해양에 비하여 동물플랑크톤의 종류가 적고 세균이나 작은 크기의 편모충류를 섭식하는 지각류가 주로 분포하는 것으로 알려져 있다(김 등, 1995). 그러나 *Micricystis*와 같은 독성 남조류가 번성할 때에는 chain을 형성하거나 scum과 같은 군집을 이룸으로써 구강크기가 작은 지각류에 의해 섭식되는 것을 피하며, 이에 따라 식물플랑크톤 군집이 남조류로 천이하면 동물플랑크톤 조성도 큰 크기의 요각류로 변화하는 것으로 알려져 있다(Richman *et al.*, 1990; Cerny and Bytel, 1991).

우리나라 담수동물플랑크톤에 관한 연구는 영산호의 동물플랑크톤 군집의 생태학적 연구(임, 1986), 소양호에 있어 동물플랑크톤의 수직적 분포에 관한 연구(박, 1988), 담양호의 동물 플랑크톤 군집의 구조와 동태에 관한 연구(유, 1989), 팔당호에서 동물플랑크톤 군집구조와 생물량의 계절적 천이(유와 임, 1992), 소양호 동물플랑크톤의 수직 및 계절적 변동(김과 조, 1995) 등 주로 대형 인공호수를 대상으로 다수 진행되었으며, 그 밖에 낙동강에서의 동물플랑크톤 군집에 관한 연구(김, 1996; 임 등, 1997) 등이 있다. 최근에는 남조류 bloom이 동물플랑크톤 군집변화에 미치는

영향(김 등, 2000), 여과 섭식성 패류가 동·식물플랑크톤 군집에 미치는 영향(김 등, 2004) 등, 영양단계가 다른 군집간의 상호 역할 및 반응 특성에 관한 연구가 진행되고 있다.

또한 식물플랑크톤은 수체의 영양상태에 따라 현존량을 달리하기 때문에, 수중 무기 영양염류의 농도는 중요한 지표이며, 유속이 느린 수계의 저층은 각종 유입 오염물의 침전지로 작용할 뿐만 아니라, 퇴적물의 분해에 의해 수층으로 질소와 인을 용출함으로써 영양염을 재공급하는 역할을 하며 (Salomons *et al.*, 1987; Forsberg, 1989), 특정 환경조건하에서의 급격한 용출량 증가로 부영양화가 더욱 심해지기도 한다.

그 외에 미세조류가 성장할 수 있는 이용 가능한 영양염의 풍부성 정도를 평가하는 조류성장잠재력(Algal Growth Potential) 측정은 시험조류를 이용하는 생물검정법의 일종으로, 수체의 영양상태를 파악하는데 처음 사용되었고, 국외에서는 미국 환경보호청(EPA)을 중심으로 수질오염과 부영양화 문제를 해결하기 위해 1970년대 초반부터 폭넓게 적용되고 있다(Maloney *et al.*, 1973; Miller *et al.*, 1974; Lehmusluoto, 1978).

본 조사에서는 호소형 하천이자 부영양화가 갈수록 심해지고 있는 서낙동강에서의 영양단계가 다른 대표적인 두 군집, 즉 동물플랑크톤과 식물플랑크톤의 분포와 군집변화 등을 살펴봄으로써 두 생물군의 상호연관성 및 수질과의 상관성을 파악하고

자 하였으며, 더불어 서낙동강 저질층으로부터의 영양염류 용출 정도를 추정하여 식물플랑크톤 대발생 현상에 대한 기여도를 평가하며, 각 지점에서의 조류성장잠재력을 살펴 보아 수질 부영양화 정도를 파악함으로써 서낙동강 수질관리 및 부영양화 대책의 기초자료를 제공코자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 기간

대저수문(DJ), 강동교(KD), 녹산수문(NS)의 3개 지점을 서낙동강 수질 대표지점으로 선정하여(Fig. 1), 2004년 1월부터 12월까지 월 1회 채수하였으며, 채수기를 사용해 표층수를 채취하였다.

2. 이화학적 수질조사

수질의 이화학적 성분을 위한 조사로서, 수온, pH, DO, 전기전도도 등은 현장 측정기(YSI-556MPS)를 이용하여 현장에서 바로 측정하였고, COD, BOD, T-N, T-P 항목을 수질오염공정시험방법(환경부, 2001)에 의거하여 분석하였으며, 또한 수질항목 간 및 식물플랑크톤 현존량 등과의 상관관계 도출을 위하여 Microsoft Excel program을 사용하여 Pearson's correlation analysis를 실시하였다.

3. 동·식물플랑크톤 조사

식물플랑크톤의 생체량 조사를 위해



Fig. 1. A map of sampling stations in the Seonakdong River

chlorophyll-a 농도를 측정하였고, 현미경 검경을 통해 총세포수, 우점종 및 그 세포수 등을 측정하였다.

chlorophyll-a는 시료를 유리섬유여지로 여과하여 마쇄한 후, 90% 아세톤에 넣어 냉암소에서 하룻밤 방치하여 원심분리 후 그 상등액의 흡광도를 측정하였으며, 식물플랑크톤의 정량분석은 2 L의 시료를 Lugol solution으로 고정한 후 식물플랑크톤의 양에 따라 농축하거나 그대로 사용하여 1 mL의 세즈워-라프터 챔버를 이용하여 저배율($\times 200$)에서 계수하였고, 정성분석은 중·고배율($\times 400$, $\times 1000$)에서 분리·동정하였다. 식물플랑크톤 종의 동정은 한국

담수조류도감(정준, 1993), 일본담수조류도감(Hirose and Yamagishi, 1977) 및 수질오염공정시험방법 부록 I. 담수조류분류표(환경부, 2001)에 따라 동정하였다.

동물플랑크톤의 정량 분석은 2 L의 시료를 20 mL로 농축한 후, 1 mL의 세즈워-라프터 챔버를 이용하여 저배율($\times 200$)에서 계수하여 단위 체적당 개체수(inds/L)로 환산하였다.

종의 동정은 한국담수동물플랑크톤도감(조규송, 1993)의 분류체계를 따랐으며, 섬모충류의 분류를 위해 Lynn and Small (2000)의 체계를 참고하였다.

4. 저질에서의 영양염류의 용출

저질에서의 영양염류의 용출정도를 파악하기 위한 실험으로, 각 지점별 분기 1회씩 채니기를 이용해 저질표층을 채취하였으며, 채취한 시료는 P.E병에 담아 실험전까지 4 °C에 보관하였다.

저질 시료는 5,000 rpm에서 20분간 원심분리하여 공극수(porewater)를 추출하여 COD, NH₃-N, PO₄-P, SiO₂ 항목을 수질오염공정시험방법(환경부, 2001)에 의거 분석하였다.

5. 조류생장잠재력(AGP) 시험

수질 시료의 조류생장잠재력을 알아 보기 위하여, 분기 1회 AGP시험을 시행하였으며, 시험방법은 OECD guidelines for testing of chemicals(OECD, 1988)에 따랐으며, 시험조류로는 녹조류 *Selenastrum capricornutum*을 국립환경연구원에서 분양받아 사용하였다.

각 지점별 수질 시료를 0.45 μm GF/C filter로 여과하여 초기농도가 mL당 10,000 세포가 되도록 시험조류를 접종한 후, 23 °C, 4000Lux, 12 hr-light/12 hr-dark의 조건에서 72 hr 배양하였다. 24시간마다 세포밀도 계수기를 이용해 성장률을 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 환경요인 및 수질현황

조사기간중 월별 수온, pH, DO 등의 환

경요인과, Chl-a 농도 및 BOD 등의 수질현황은 Fig. 2에서 보는 바와 같으며, 부산지역의 2004년도 평균 기온은 최저 2.8 °C(1월)~최고 25.2 °C(8월)로서 평년대비 약간 높았고(기상청 2004), 12월 현재 올해의 총 강수량은 1,385.5 mm로서 평년 강수량인 1,492 mm보다 적었다.

서낙동강의 수온은 최저 5 °C(1·2월, 대저수문)~최고 32 °C(8월, 강동교)로서 계절적 특성을 반영하고 있으며, 대저수문 지점의 평균 수온은 17.8 °C, 강동교지점은 18.0 °C 및 녹산수문지점이 17.3 °C로서 강동교지점이 가장 높고 녹산수문지점이 가장 낮았다(Fig. 2).

pH의 변화는 대저수문지점이 pH 7.3(5월)~9.2(2월), 강동교지점은 pH 7.3(12월)~9.9(8월), 녹산수문지점이 pH 7.1(12월)~9.9(8월)였으며, 2월의 대저수문지점은 겨울철 규조류의 번성이 있었고, 8월의 강동교와 녹산수문지점은 여름철 남조류의 번성에 의한 것이다(Fig. 2).

DO(용존산소) 농도의 변화는 대저수문지점이 4.7(8월)~18.0 mg/L(1월), 강동교지점은 4.8(9월)~20.8 mg/L(2월), 녹산수문지점은 5.8(9월)~16.6 mg/L(4월)로서, 남조류의 번성시기인 8~9월에 수중 용존산소 농도가 가장 낮았고, 규조류 번성시기인 겨울~봄철에 용존산소 농도가 높은 것은 식물플랑크톤 군집별 생태학적 차이에 의한 것이며, 또한 겨울철 수온 감소에 따른 포화 용존산소량의 증가도 중요한 원인이 된다(Fig. 2).

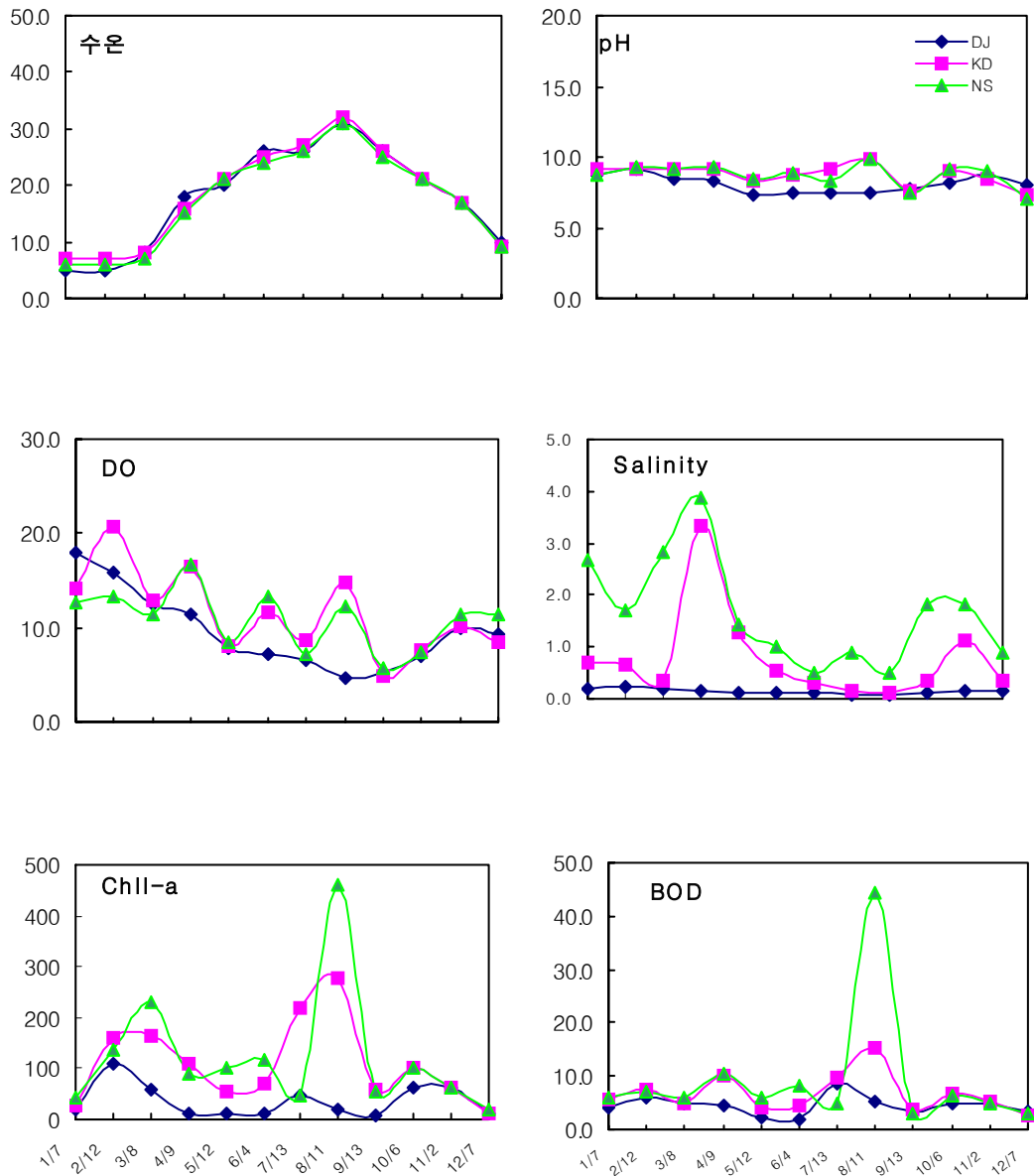


Fig. 2. The physicochemical factors in Seonakdong River during the study period
(DJ:대저수문, KD:강동교, NS:녹산수문지점)

또한 서낙동강의 염분농도(Salinity)는 0.09 ‰(8·9월)~0.22 ‰(2월), 강동교지점은 0.10 ‰(9월)~3.34 ‰(4월), 녹산수문지점이 0.49 ‰(9월)~3.88 ‰(4월)의 변화폭을 보였으며, 겨울~봄사이의 갈수기에 강동 및 녹산지점에서의 염분농도가 매우 높았으며, 대저수문지점은 변화폭이 크지 않았다(Fig. 2).

식물플랑크톤 현존량을 알 수 있는 클로로필-a 농도를 살펴 보면, 대저수문지점이 7.0(9월)~107.4 mg/m³(2월), 강동교지점은 12.6(12월)~276.1 mg/m³(8월), 녹산수문지점은 18.9(12월)~462.2 mg/m³(8월)로서, 대저수문지점은 규조류가 번성한 2월에 최대량을, 강동 및 녹산지점은 남조류가 번성한 8월에 최대를 나타내었다(Fig. 2).

생물화학적 산소요구량(BOD)은 대저수문, 강동교, 녹산수문지점의 평균값이 각각 4.5, 6.7, 9.1 mg/L로서, 하류로 갈수록 유기물 부하량이 높아짐을 알 수 있었고, 화학적산소요구량(COD)의 평균값은 7.3, 10.2, 11.9 mg/L로서 BOD 증가 경향과 유사하게 나타났다(Fig. 2).

BOD 및 COD값은 8월의 녹산수문 지점이 44.3 mg/L, 41.0 mg/L로 가장 높았는데 이는 클로로필-a 농도의 최대시점과 일치하였으며, 대체로 BOD 및 COD값의 증감 곡선은 클로로필-a의 증감추세와 유사하게 나타났다. 6월 대저수문 지점이 1.7 mg/L, 5.2 mg/L로 최저치를 나타내었으며, 5~6월은 강우 빈도가 잦고, 강우량도 많았으며, 계절적으로 특정 조류종의 우점현상이

없는 시기로서 조류 발생량이 적었기 때문에 BOD 및 COD의 값이 가장 낮은 것으로 사료된다. 이러한 경향을 보았을 때, 서낙동강의 BOD 및 COD 부하는 외부오염원보다는 수체내의 조류(algae)에 의한 내부생산 부하가 더 큰 비중을 차지함을 알 수 있었다.

3지점의 chlorophyll-a 평균농도는 각각 35.3 mg/m³, 109.6 mg/m³, 123.0 mg/m³로 대저수문<강동교<녹산수문의 순으로 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 양상이었고, 8월의 녹산수문지점이 462.2 mg/m³로 최고치를, 9월의 대저수문지점이 7.0 mg/m³로 최저치를 나타내었다. Chlorophyll-a 농도의 연중 변동은 여름에는 대체로 감소하고, 갈수기인 가을과 봄에는 증가하는 것으로 보고되어 있으나(조, 2002), 금년의 서낙동강은 봄과 여름에 두 번의 증가패턴을 보였다. 봄철의 증가 peak는 규조류의 번성으로, 여름철의 peak는 남조류의 대번성에 의한 것으로 이러한 두 차례의 특정군집에 의한 우점현상은 서낙동강수계의 특성이라 할 수 있다.

T-N(총질소) 및 T-P(총인) 평균농도는 대저수문지점에서 각각 3.093 mg/L, 0.120 mg/L, 강동교지점이 3.110 mg/L, 0.155 mg/L 그리고 녹산수문지점에서 3.655 mg/L, 0.177 mg/L로서 하류로 갈수록 높아지는 경향이었고, 총질소는 남조류 번성시기인 8월의 녹산수문 지점에서 10.032 mg/L로 최고치를, 총인은 조류(algae)가 가장 적은 4월의 강동교지점이 0.422 mg/L로

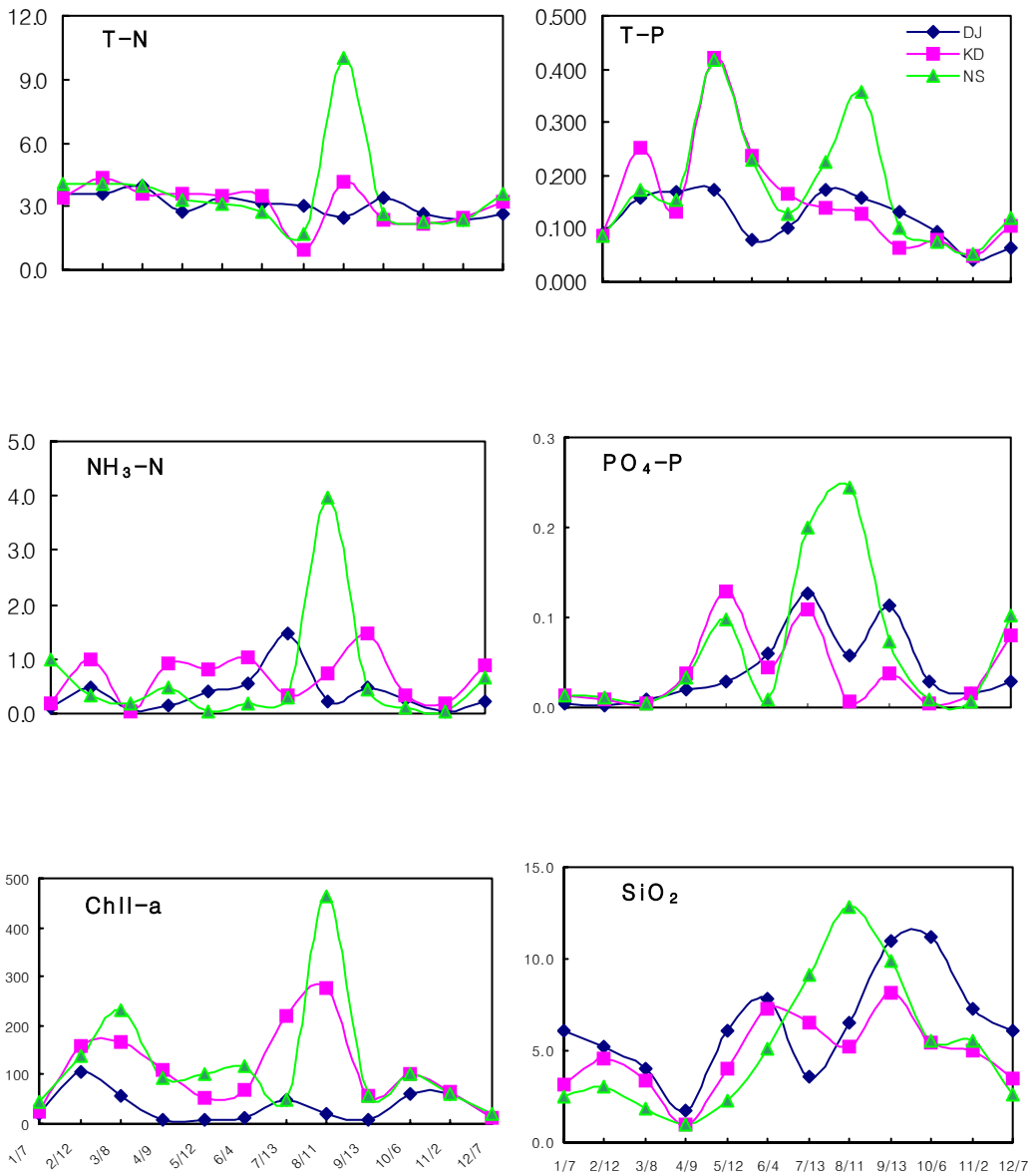


Fig. 3. Monthly variation of nutrients in Seonakdong River
(DJ:대저수문, KD:강동교, NS:녹산수문지점)

최고치를 나타내었다(Fig. 3). 남조류가 크게 번성하였던 8월에 T-N과 T-P의 값도 같이 높았는데 이는 조류세포의 분해에 따른 결과이며, 그 외에 T-N, T-P 농도와 클로로필-a 농도의 변화추세는 상관성이 거의 없었다.

NH₃-N(암모니아성질소) 및 PO₄-P(인산염인)은 수중에 용해되어 있는 영양염류로서 식물플랑크톤의 생장에 1차적인 영향을 미치는데, 규조류가 많은 겨울~봄철엔 농도가 낮고, 남조류가 많은 여름~가을철엔 두 성분의 농도가 높은 경향을 보였다. 이는 수온의 증감에 따른 바닥 퇴적층으로부터의 용출량의 변화에 따른 것으로 사료되며, 하절기의 남조류 대발생은 이러한 영양염류의 높은 용출률에서 기인하는 것으로 여겨지고 있다.

SiO₂(규산염) 또한 식물플랑크톤의 주요 성장요소이며, 특히 겨울철에 대번성하는 규조류의 특징적인 피각 조성성분으로서 중요하다. SiO₂(규산염)도 바닥 퇴적층으로부터 주로 용출되며, 수온이 높아질수록 용출률도 높아지는 것으로 알려져 있다. 봄철의 규조류 대번성 시기에 SiO₂(규산염)의 농도가 현저히 낮아지는 것을 볼 수 있었다.

2. 수질항목간의 상관성 분석

수질 항목간의 상관성 검토 결과는 Table 3과 같다.

클로로필-a 농도와 BOD 값의 상관성이 가장 높게 나타나($r^2 = 0.8469$), 식물플랑크톤의 증식이 BOD 부하의 가장 큰 요인임을 다시 한 번 확인할 수 있었고, 식물플

Table 1. The physicochemical Factors in the Seonakdong River in 2003 and 2004

	yr.	W.T. (°C)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μ S/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
대저수문	2003	17.6	7.6	9.1	341	2.8	6.0	3.077	0.182	15.2
	2004	17.8	8.1	9.6	298	4.5	7.3	3.093	0.120	35.3
강 동 교	2003	17.2	7.7	10.1	1,767	3.7	6.7	3.138	0.145	31.5
	2004	18.0	8.8	11.5	1,713	6.7	10.2	3.110	0.155	109.6
녹산수문	2003	16.8	8.2	11.3	3,152	4.6	7.7	3.058	0.140	51.2
	2004	17.3	8.7	11.0	3,168	9.1	11.9	3.655	0.177	123.0

랑크톤의 광합성은 수질의 pH를 증가시킴으로써 높은 상관성($r^2 = 0.7112$)을 나타내었다.

클로로필-a 농도와 영양염류간의 상관도를 비교해 보면, $NH_3-N(r^2=0.5649) > PO_4-P(r^2=0.2534) > SiO_2(r^2=0.1408)$ 의 순이었으며, 식물플랑크톤 현존량과 영양염류와는 $NH_3-N(r^2=0.6324) > PO_4-P(r^2=0.4166) > SiO_2(r^2=0.2860)$ 로서 더 높은 상관성을 나타냈다. 클로로필-a 농도나 식물플랑크톤 현존량의 값이 영양염류와 기대했던 만큼의 상관도를 보이지 않는 것은 특이하다. 이는 서낙동강의 영양염 공급이 지속적인 과잉상태로서, 식물플랑크톤 번식에 제한인자로서의 작용 능력을 상실했음을 의미한다. 식물플랑크톤 발생 원인인 수온, 영양염류 등의 기여도는 낮았고, pH, BOD,

COD, 클로로필-a 등의 발생 결과만 확대되어 나타났다.

그리고 환경요인과 영양염류 사이에는 낮은 값이지만 약간의 경향을 알 수 있는데, 수온과는 세가지 염류가 모두 양의 상관도를 나타내어 고수온기에 저질층으로부터 용출됨을 알 수 있으며, PO_4-P 와 SiO_2 는 DO 농도와 음의 상관도를 나타내어 역시 고수온기에 저질층으로부터 용출가능성이 높음을 나타냈다.

3. 식물플랑크톤의 군집변화

식물플랑크톤의 총 개체수는 대저수문지점이 1,500~97,000 cells/mL이었고, 강동교지점이 3,500~1,200,000 cells/mL, 녹산수문 지점은 7,400~1,500,000 cells/mL의 범위였으며, chlorophyll-a 농도와 현존량의

Table 2. The correlation values between physicochemical and biological factors in the Seonakdong River

	pH	DO	Salinity	BOD	NH ₃ -N	PO ₄ -P	SiO ₂	Chl-a
DO	0.6489							
Salinity	0.4144	0.3707						
BOD	0.5326	0.2284	0.1407					
NH ₃ -N	0.1161	0.0367	0.0187	0.7989				
PO ₄ -P	-0.2125	-0.3801	-0.1193	0.4783	0.5996			
SiO ₂	-0.1620	-0.4496	-0.4956	0.2686	0.3140	0.4077		
Chl-a	0.7112	0.3047	0.1891	0.8469	0.5649	0.2534	0.1408	
식물플랑크톤 현존량	0.5508	0.1751	-0.0274	0.8662	0.6324	0.4166	0.2860	0.8948

크기가 거의 일치하였다(Fig. 4).

2~3월의 높은 현존량은 규조류 *Stephanodiscus sp.*에 의한 것이며, 7~8월의 높은 peak는 여름철 우점종이었던 남조류 *Anacystis(Microcystis) sp.*에 의한 것이다. 전년과 달리 평균 기온이 다소 높아지고 강수량도 약간 줄어 남조류의 대발생이 약 한달간 지속되었으며, 이 때는 세포 현존량은 매우 높았고, 종 풍부도는 감소하였다. 규조류 우점시기에는 식물플랑크톤의 개체수에 비해 chlorophyll-a 농도가 높은 편이고, 남조류 우점시기에는 chlorophyll-a 농도에 비해 식물플랑크톤의 개체수가 훨씬 높게 나타나는데, 이는 겨울철 우점 규조류인 *Stephanodiscus sp.*가 주로 단독세포이며, 군집을 이루는 남조류 세포보다 훨씬 크기 때문이다.

초겨울에서 늦봄까지의 우점종인 규조류는 규산질의 단단한 껍질로 둘러싸여 민물과 바닷물에 널리 분포하는 단세포 식물플랑크톤으로, 서낙동강에서 우점하는 종은 중심규조목인 *Stephanodiscus hantzchii f. tenuis*이다. 이 종은 최대성장온도가 13°C인 저온성 규조류로서, 유속이 느린 수역이나 유량이 감소하는 기간에 발생하여 군집을 이루는 것으로 알려져 있으며, 수질 부영양화의 지표종으로도 알려져 있어 서낙동강 전역에서의 장기간의 우점현상은 우려할 만하다(Moss B. 1989, Moss B. and H. Balls 1989). 조사기간중 대저수문지점에서는 1~3월까지 *Stephanodiscus sp.*가 우점하였고, 4~5월에는 편모조류인 *Cryptomonas*

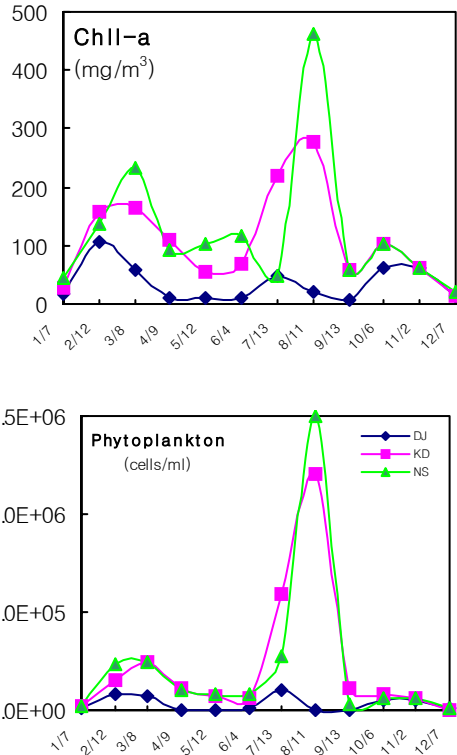


Fig. 4. Monthly variation of Chlorophyll-a and standing crops of phytoplankton in Seonakdong River (DJ:대저수문, KD:강동교, NS:녹산수문지점)

sp., 6~9월까지의 녹조류(*Volvox sp.*, *Eudorina sp.*)를 비롯한 다양한 종들이, 10~12월에는 *Stephanodiscus sp.*의 규조류가 다시 우점하는 양상이었다(Table 3).

강동교 및 녹산수문지점은 1~6월까지 *Stephanodiscus sp.*가, 7~9월까지의 남조류인 *Microcystis sp.*가, 10월 이후로는 다시 *Stephanodiscus sp.*가 우점하는 등 연중 하절기를 제외하고는 규조류가 계속적으로

Table 3. The dominant populations of phytoplankton in the Seonakdong River

	대저수문	강 동 교	녹산수문
J	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
F	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
M	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
A	<i>Cryptomonas</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
M	<i>Cryptomonas</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
J	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
J	<i>Volvox</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.
A	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.
S	<i>Eudorina</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Eudorina</i> sp.
O	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
N	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
D	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.

우세하였다. 이는 강동교 및 녹산수문지점의 수질정체 및 부영양화가 대저수문지점보다 심각한 수준임을 시사한다.

PEG(Plankton Ecological Group) 모델은 온대호수에서 봄철에 소형 규조류의 번성 후, 여름에는 영양염류와 수온 증가 등의 영향으로 와편모조류나 남조류로 종 구성이 바뀌게 되며, 수온 감소와 더불어 가을철에는 규조류가 다시 우점하고, 겨울철에는 생물량이 감소하는 것으로 설명되고 있다(Sommer *et al.*, 1986, 김 등, 2003). 상·하류부가 수문으로 막혀 있는 호소형 하천인 서낙동강에서도 식물플랑크톤의 계절적 천이가 PEG 모델과 일치하는 경향을 보이며,

대저수문지점에서는 여름철에 남조류의 대발생 현상이 없었는데, 이는 수문 개방으로 낙동강 본류수를 자주 유입시킴으로써 수질정체를 방지하였기 때문으로 사료된다.

Microcystis(Anacystis) 종은 1992년 7월 낙동강 하류에서 단기간 폭발적으로 나타났다가 소멸된 것이 보고되어 있으며, 그 후 1994년부터 매년 수화(algal bloom)를 일으켜 왔다(조 2001). *Microcystis(Anacystis)*의 대발생은 기온, 수온, 일사량, 강수량 등의 영향을 크게 받는데, 8월의 기온이 높고 강수량이 적었던 1994년부터 1996년까지 남조류 발생량이 크게 증가하고 수화현상이 장기간 지속된 반면, 강수량이 비교적

많았던 1998년 이후로는 남조류의 발생량과 그 빈도가 감소하여 2003년에는 남조류 수화가 없었으나, 금년에는 다시 장기간 발생하였다. 강동교와 녹산수문지점에서 7월부터 우점현상을 보이기 시작하여 8월 내내 1백만 cells/ml 이상의 높은 밀도를 유지하다, 9월 중순이후부터 개체수가 감소하였다. 하절기 *Microcystis(Anacystis)*에 의한 대발생 현상 또한 강동교 및 녹산수문지점의 수질정체 및 부영양화가 심각함을 나타내는 것으로, 서낙동강 수질악화의 주요 문제점이라 하겠다.

강동교지점 이후의 수질 정체는 대저수문 및 녹산수문을 이용한 수질 조절기능이 서낙동강 수질정화에 크게 영향을 못 미침을 나타내며, 하류지점에 강제 배수펌프장이 가동되고 대저수문으로 낙동강 본류수가 더욱 많이 유입된다면, 수질 악화는 다소 나아질 것으로 기대되고 있다. 또한 서낙동강의 부영양화는 김해시가지로부터의 신어천, 호계천 등 오염부하가 높은 소하천의 유입과 저질 퇴적층으로부터 PO_4 와 NH_4 의 재용출 등에 기인하는 것으로, 김해시 및 주변 농지로부터의 N, P 부하가 높은 배수 유입을 근원적으로 차단하고, 퇴적층이 두꺼운 지점부터 시급히 준설되어야 할 것이다.

서낙동강 수질악화에 매우 큰 영향을 미치는 또 하나의 인자로 조류(algae)에 의한 자생 BOD(내부생산 BOD)가 있는데, 조류 번성이 심해질수록 그 부하도가 점점 커지고 있다.

금년의 경우, 남조류의 대발생이 있었던 8월에 녹산수문의 BOD값은 44.3 mg/L로서, 연평균 BOD인 9.1 mg/L의 약 5배에 이른다. 오염물질의 부하가 수질 부영양화를 가져오고, 부영양화는 조류(algae) 대발생을 야기시키며, 이는 다시 수질을 악화시켜 부영양화를 가중시키는 오염의 악순환이 계속되는 것이다. 작년(2003년)의 예를 본다면, 기온이 낮거나, 수질의 교란이 심하거나, 외부로부터 유입수가 많거나 하여, 단 하나의 조건이라도 충족되지 않으면 조류 대발생 현상은 나타나지 않고 수질 또한 매우 양호하였다. 즉, 상류수문 개방에 의한 낙동강수 유입과 배출시스템만 원활히 진행되어도 상당한 효과를 기대할 수 있을 것이다.

4. 동물플랑크톤의 동태

동물플랑크톤은 섬모충류, 윤충류, 지각류 및 요각류가 다양하게 분포하였으나, 개체수는 식물플랑크톤에 비해 매우 적었으며, 계절별, 지점별로 변화가 심하였다. 총 개체수는 대저수문지점이 780~9,500 inds/L이었고, 강동교 지점이 700~5,300 inds/L, 녹산수문 지점은 650~4,500 inds/L로서, 대저수문에서 가장 많이 출현하였다. 2~4월과 7~8월에 개체수가 증가하였으며, 5~6월, 9월에는 매우 낮은 값을 나타내어, 식물플랑크톤 대발생 시기와 높은 상관성을 보였으며, 먹이인 식물플랑크톤이 감소하면 동물플랑크톤 또한 감소함을 알 수 있었다(Fig. 5).

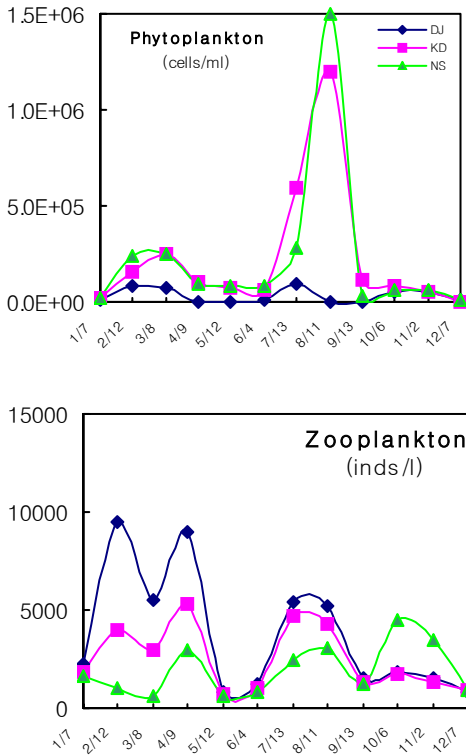


Fig. 5. Monthly variation of zooplankton biomass in Seonakdong River
(DJ:대저수문, KD:강동교, NS:녹산수문지점)

지점별 우점종은 Table 4에 나타내었다. 겨울철에는 *Strombolidium sp.* 등의 섬모충류와 *Polyarthra sp.* 등의 윤충류가 전 지점에서 대부분 출현하였고, 3월부터 *Brachionus sp.*, *Keratella sp.* 등의 큰 윤충류가 보이기 시작하여 4~6월동안 계속 우점하였으며, 6월에는 요각류의 유생인 Nauplius가 많이 보였다. 수온이 높아진 7월에는 *Bosmina sp.* 등의 지각류 및 성충 요각류가 많이 보였으며, 남조류의 대발생 시기인 8월에는 윤충류가 다시 우점하였다.

9월에는 다시 지각류(*Bosmina sp.*)와 요각류(*Cyclops sp.*)가 많이 나타났으며, 수온이 낮아진 10월 이후로는 다시 윤충류가 적은 개체수로 출현하였다. 대체로 전 지점에서 윤충류의 생물량이 현저하였으며, 일반적으로 윤충류가 지각류나 요각류에 비하여 오염에 내성이 강한 종류가 풍부하고, 먹이의 선택에 크게 제한을 받지 않는다고 알려져 있다(임, 1992). 실제로 8월의 남조류 대발생 시기에는 윤충류인 *Asplanchna sp.*와 *Brachionus sp.*만 거의 출현하여, 남조류 독성에 어느 정도의 내성을 가지고 있을 것으로 사료된다.

지각류 및 요각류의 점유율은 대체로 20~30% 정도였으므로, 지각류 및 요각류가 우점하였을 시기인 7월과 9월에는 동물플랑크톤의 종 다양도가 매우 높았으며, 섬모충류 및 윤충류의 점유율은 평균 50% 이상으로서 그 우점도가 매우 높았다. Fig. 5의 개체수 증가 경향을 보았을 때, 단세포성 규조류가 우점할 때 동물플랑크톤의 개체수가 가장 많았으며, 남조류 우점 시기에는 상대적으로 증가폭이 작아 남조류 독소에 의한 제어 효과 때문으로 사료된다. 동물플랑크톤의 먹이로는 규조류 및 녹조류가 주로 많이 이용되었으며, 규조류가 많은 시기에는 윤충류가, 녹조류가 많은 시기에는 지각류 및 요각류가 번성하였고, 남조류 우점 시기에는 다시 윤충류가 많았는데, 이는 먹이인 식물플랑크톤의 종류에 따른 천이로 볼 수는 없으며, 수온의 영향이 더 큰 것으로 사료된다. 수온과 식물플

Table 4. The dominant species of zooplanktons in Seonakdong River

	대저수문	강동교	녹산수문
1월	<i>Strombolidium sp.</i>	<i>Tintinnidium sp.</i>	<i>Euplotes sp.</i>
2월	<i>Strombolidium sp.</i>	<i>Polyarthra sp.</i>	<i>Euplotes sp.</i>
3월	<i>Vorticella sp.</i>	<i>Tintinnidium sp.</i>	<i>Brachionus sp.</i>
4월	<i>Brachionus sp.</i>	<i>Brachionus sp.</i>	<i>Keratella sp.</i>
5월	<i>Keratella sp.</i>	<i>Keratella sp.</i>	<i>Keratella sp.</i>
6월	<i>Keratella sp.</i>	<i>Keratella sp.</i>	<i>Keratella sp.</i>
7월	<i>Brachionus sp.</i>	<i>Bosmina sp.</i>	<i>Bosmina sp.</i>
8월	<i>Brachionus sp.</i>	<i>Asplanchna sp.</i>	<i>Asplanchna sp.</i>
9월	<i>Bosmina sp.</i>	<i>Keratella sp.</i>	<i>Brachionus sp.</i>
10월	<i>Tintinnopsis sp.</i>	<i>Brachionus sp.</i>	<i>Polyarthra sp.</i>
11월	<i>Strombolidium sp.</i>	<i>Polyarthra sp.</i>	<i>Polyarthra sp.</i>
12월	<i>Strombolidium sp.</i>	<i>Strombolidium sp.</i>	<i>Euplotes sp.</i>

랑크톤 중 및 현존량에 따라 동물플랑크톤의 출현과 번식이 영향을 받는 것은 확실하지만, 동물플랑크톤에 의해 식물플랑크톤의 증감이 영향을 받는 것으로는 나타나지 않았는데, 이는 식물플랑크톤의 증가량이 동물플랑크톤의 먹이 섭취량보다 훨씬 크기 때문이다. 이러한 결과는 서낙동강의 수생태계가 먹이그물상에서의 피이드백 효과에 의한 자발적 조절기능을 상실했음을 시사한다.

5. 저질 공극수의 영양염류

수온변화에 따른 저질중 무기영양염류의

용출 변화를 파악하기 위해 매 분기마다 지점별 저질을 채취하여 공극수내 성분을 조사한 결과는 Table 5와 같다.

저질 공극수의 pH는 7.3~7.9의 범위였으며, 5월 21일 채취한 2분기 저질 시료의 pH가 가장 낮았고, 2월 25일 채취한 1분기 저질 시료의 pH가 가장 높았다.

저질 공극수의 COD는 3분기(9월 1일 채취)에 높게 나타났으며, 그 중 강동교 지점에서 가장 높았다. 저질 내 무기영양염류 또한 3분기 시료에서 가장 높았으며, NH₄-N 및 PO₄-P는 녹산수문 지점에서, SiO₂는 강동교 지점에서 높게 나타났다. 1

Table 5. The nutrient concentration of the sediment porewater in Seonakdong River

구 분	pH	COD (mg/g,dry)	NH ₄ -N (mg/kg)	PO ₄ -P (mg/kg)	SiO ₂ (mg/kg)	
대저수문	1분기	7.8	2.04	0.256	0.025	6.21
	2분기	7.3	2.31	0.303	0.022	2.18
	3분기	7.5	4.32	0.479	0.053	5.81
	4분기	7.9	2.25	0.198	0.032	6.15
강동교	1분기	7.9	2.56	0.267	0.028	6.32
	2분기	7.7	5.54	0.352	0.043	3.84
	3분기	7.8	8.21	0.838	0.112	8.33
	4분기	7.9	3.14	0.213	0.039	6.22
녹산수문	1분기	7.8	2.58	0.340	0.033	7.58
	2분기	7.7	3.25	0.356	0.188	6.83
	3분기	7.4	6.84	0.921	0.155	7.74
	4분기	7.6	3.37	0.214	0.035	6.78

분기(2월 25일)와 4분기(11월 10일)의 시료에서 상대적으로 낮았는데, 이는 저질층의 수온과 DO 농도 등과 깊은 연관이 있을 것으로 사료된다. 저질에서 무기 영양염의 용출에 영향을 미치는 요인은 다양하며, 온도, pH, 산화환원전위 또는 혐기성 정도, 유기물 함량, 미생물이나 저서동물 등과 같은 생물 요인, 저질내 무기물의 화학적 특성 등에 따라 크게 변화하게 되는 것으로 알려져 있다(Jansson *et al.*, 1988). 이러한 하절기 저질층 영양염류의 상대적으로 높은 용출률은 하절기 남조류 대발생의 기작을 뒷받침해 주며, 수문에 의해 막혀 있는 녹산수문 저질층의 주기적인 제거가 필요하다 하겠다.

6. 조류성장잠재력(Algal Growth Potential) 측정

*Selenastrum capricornutum*를 이용하여 측정된 AGP 시험 결과는 강동교 지점의 잠재력이 가장 크고, 대저수문 지점에서 가장 낮았다(Fig. 6). 1·2분기에는 강동교와 녹산수문 지점의 잠재력이 비슷하게 나타났으나, 3·4분기에는 강동교 지점의 잠재력이 더 크게 나타났다.

적 요

서낙동강의 동물플랑크톤 및 식물플랑크톤의 분포와 군집변화 등을 살펴봄으로

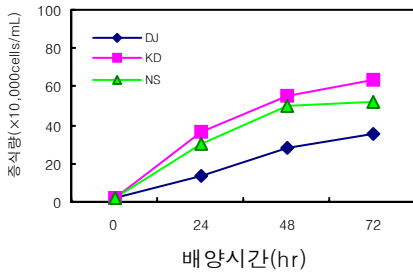


Fig. 6. The average distribution of AGP test in Seonakdong River

(DJ:대저수문, KD:강동교, NS:녹산수문지점)

써 두 생물군의 상호연관성 및 수질과의 상관성을 파악하기 위하여 대저수문, 강동교, 녹산수문지점에 대하여 2004년 1월부터 12월까지 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 2004년도 서낙동강의 기본현황은 수온이 5℃~32℃로서 작년보다 높았고, 총강수량은 1,385.5 mm로서 평년보다 감소하였다. pH는 7.1~9.9의 범위로 하절기에 높게 나타났고, DO농도는 4.7~20.8 mg/L로 동절기에 높았다. 염분농도는 0.09~3.88 ‰의 범위로서 갈수기 하류지점에서 높게 나타났다.
2. 유기물 오염도는 하류지점이 대체로 높았으며, BOD가 1.7~44.3 mg/L의 범위로 하절기에 높았고, COD는 5.2~41.0 mg/L의 범위로 식물플랑크톤의 거동과 관련을 보였다. 무기영양염류의 농도는 하류로 갈수록 낮아지며, T-N 농도는 0.924~10.032 mg/L의 범위로 봄철에 낮고 하절기에 높은 경향을 나타냈으며,

T-P 농도는 0.053~0.422 mg/L로서 동절기에 낮고 하절기에 높은 것으로 나타났다. 하절기의 고수온이 저질내의 무기염인 NH₄와 PO₄의 용출을 증가시키고 남조류 대발생의 중요한 요인으로 작용하는 것으로 나타났다.

3. 식물플랑크톤 생체량의 지표인 클로로필-a 농도는 7.0~462.2 mg/m³의 범위를 나타내었고, 하류로 갈수록 증가하고, 하절기에 높게 나타났다. 클로로필-a 농도를 부영양화 판정지표로 이용하였을 때, 서낙동강은 연중 내내 부영양 상태이며, 동절기의 녹산수문 지점은 과영양 상태를 나타냈다. 클로로필-a 농도와 BOD 값의 상관성이 가장 높게 나타나 ($r^2 = 0.8469$), 식물플랑크톤의 증식이 BOD 부하의 가장 큰 요인임을 다시 한번 확인할 수 있었고, 식물플랑크톤의 광합성은 수질의 pH를 증가시킴으로써 높은 상관성($r^2 = 0.7112$)을 나타내었다.
4. 식물플랑크톤의 총 개체수는 대저수문 지점이 1,500~97,000 cells/mL이었고, 강동교 지점이 3,500~1,200,000 cells/mL, 녹산수문 지점은 7,400~1,500,000 cells/mL의 범위였으며, chlorophyll-a 농도와 현존량의 크기가 거의 일치하였다. 대저수문지점에서는 1~3월까지 *Stephanodiscus sp.*가 우점하였고, 4~5월에는 편모조류인 *Cryptomonas sp.*, 6~9월까지의 녹조류(*Volvox sp.*, *Eudorina sp.*)를 비롯한 다양한 종들이, 10~12월에는 *Auracoseira*

sp. 등의 규조류가 다시 우점하는 양상이었다.

강동교 및 녹산수문지점은 1~6월까지 *Stephanodiscus sp.*가, 7~9월까지의 남조류인 *Microcystis sp.*가, 10월 이후로는 다시 *Stephanodiscus sp.*가 우점하는 등 연중 하절기를 제외하고는 규조류가 계속적으로 우세하였다.

5. 동물플랑크톤은 섬모충류, 윤충류, 지각류 및 요각류가 다양하게 분포하였으나, 개체수는 식물플랑크톤에 비해 매우 적었으며, 계절별, 지점별로 변화가 심하였다. 총 개체수는 대저수문지점이 780~9,500 inds/L 이었고, 강동교 지점이 700~5,300 inds/L, 녹산수문 지점은 650~4,500 inds/L로써, 대저수문에서 가장 많이 출현하였다. 2~4월과 7~8월에 개체수가 증가하였으며, 5~6월, 9월에는 매우 낮은 값을 나타내어, 식물플랑크톤 대발생 시기와 높은 상관성을 보였으며, 먹이인 식물플랑크톤이 감소하면 동물플랑크톤 또한 감소함을 알 수 있었다. 겨울철에는 *Strombolidium sp.* 등의 섬모충류와 *Polyarthra sp.* 등의 윤충류가 전 지점에서 대부분 출현하였고, 3월부터 *Brachionus sp.*, *Keratella sp.* 등의 큰 윤충류가 보이기 시작하여 4~6월동안 계속 우점하였으며, 6월에는 요각류의 유생인 *Nauplius*가 많이 보였다. 수온이 높아진 7월에는 *Bosmina sp.* 등의 지각류 및 성충 요각류가 많이 보였으며, 남조류의 대발생 시기인 8월에는 윤충류가 다시 우점하였다. 9월에는 다시

지각류(*Bosmina sp.*)와 요각류(*Cyclops sp.*)가 많이 나타났으며, 수온이 낮아진 10월 이후로는 다시 윤충류가 적은 개체수로 출현하였다.

6. 저질 공극수의 COD는 3분기(9월 1일 채취)에 높게 나타났으며, 무기영양염류 또한 3분기 시료에서 가장 높았다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 녹산수문 지점에서, SiO_2 는 강동교 지점에서 높게 나타났으며, 1분기(2월 25일)와 4분기(11월 10일)의 시료에서 상대적으로 낮았다.
7. *Selenastrum capricornutum*를 이용하여 측정한 AGP 시험 결과는 강동교 지점의 잠재력이 가장 크고, 대저수문 지점에서 가장 낮게 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김명운, 김민호, 조장천, 김상종, 1995. Cyanobacteria의 증식에 따른 대청호 생태계내의 생물군집 변화, 한국육수학회지, 28(1)
2. 김영진, 조규송, 1995. 소양호 동물플랑크톤의 수직 및 계절적 변동, 한국육수학회지 28(2)
3. 김종원, 이학영. 1991. 낙동강 하구 저수지의 식물플랑크톤 군집에 관한 연구.
4. 김호섭, 김범철, 최은미, 황순진. 2000. 부영양호수에서 남조류 bloom이 동물플랑크톤 군집변화에 미치는 영향, 한국육수학회지 33(4)
5. 김호섭, 박제철, 황순진. 2003. 수심이

- 얕은 부영양 인공호(일감호)의 동·식물플랑크톤 동태학
6. 김호섭, 공동수, 황순진. 2004. 여과 섭식성 패류가 동·식물플랑크톤 군집에 미치는 영향, 한국육수학회지 37(3)
 7. 김호섭, 황순진. 2004. 부영양저수지에서 식물플랑크톤 성장에 대한 질소/인비의 영향
 8. 문은영, 2002, 팔당호의 섬모충플랑크톤의 분류 및 생태학적 연구
 9. 박영춘, 1988. 소양호에 있어 동물플랑크톤의 수직적 분포에 관한 연구, 강원대학교 석사학위논문
 10. 부산광역시. 2002. 낙동강하류·회동수원지수계 물관리 연구
 11. 서정관, 정익교. 1993. 낙동강 하류 담수역에서 부유식물상
 12. 유광일, 임병진, 1992. 팔당호에서의 동물플랑크톤 군집구조와 생물량의 계절적 천이, 한국육수학회지 25(2)
 13. 유형빈, 1989. 담양호의 동물플랑크톤 군집의 구조와 동태에 관한 연구, 전남대학교 박사학위논문
 14. 임병진, 1986. 영산호의 동물플랑크톤 군집의 생태학적 연구, 한양대학교 석사학위논문
 15. 정준, 1993, 한국담수조류도감
 16. 정준, 김한순, 김용재. 1994. 낙동강 하구둑의 식물플랑크톤 군집구조
 17. 정하영, 조경제. 2003. 낙동강 하류 수계에서 저질퇴적층의 SOD와 영양염 용출
 18. 정하영, 조경제. 2003. 낙동강 하류 수계에서 저층수 및 저질퇴적층의 환경
 19. 조경제 등. 2002. 서낙동강-조만강 수질 부영양화에 따른 오염양상과 수질개선에 대한 고찰. 인제대학교 부설 낙동강유역환경연구센터 심포지움 논문집. I: 32-37.
 20. 조경제, 정익교, 이진애. 1993. 낙동강 하구 식물플랑크톤 군집의 계절 동태
 21. 조경제. 1995. 낙동강 담수규조 *Stephanodiscus hantzchii* f. *tenuis*와 *S. parvus*의 미세구조
 22. 조경제, 신재기. 1998. 낙동강 하류에서 동하계 무기 N, P 영양염류와 식물플랑크톤의 동태
 23. 조경제. 2001. 낙동강 하류의 식물플랑크톤과 수질 부영양화. 한국의 조류 생태와 응용. 아카데미서적
 24. 조규송, 1993, 한국담수동물플랑크톤도감
 25. 환경부. 2001. 수질오염공정시험방법
 26. 강양미, 송홍규, 2000, 팔당호 수변부 퇴적물이 수층의 산소소모에 미치는 영향
 27. 신재기, 조경제, 1999, 낙동강에서 AGP에 의한 수질평가
 28. 박제철, 2003, 부영양호 퇴적층으로부터 용존유기물의 용출특성
 29. 박석순, 박선영, 2001, 국내 주요 호수에서 관측된 조류 성장에 관한 경향 분석
 30. Anderson, A. and D.O.Hessen, Carbon, nitrogen and phosphorus contents of freshwater zooplankton. *Hydrobiology*, 1991

31. Barnes, J.R. and G.W.Minshall. 1983. Stream ecology, Application and Testing of general ecological theory. Plenum Press, p. 399
32. Cerny, M. and J. Bytel, 1991. Density and size distribution of *Daphnia* populations at different fish predation levels. *Hydrobiologia*, 225 : 199-208
33. Cho K.J. 1996. Fine morphology of some *Cyclotella* species from the freshwater zone of the Nakdong River. *Algae* 11: 9-21
34. Cho K.J. and Shin J.K. 1999. Population dynamics of diatom genus *Aulacoseira* in the Nakdong River. *Algae* 14: 247-253
35. Cox E.J. 1996. Identification of freshwater diatoms from live material. Champman & Hall, London.
36. Hirose and Yamagishi. 1977. 일본담수 조류도감
37. Jansson, M., M. Enell, S. Fleischer, R. Gachter, P. Keldrlmann, S. Lofgren, G. Nurnberg, A. Provini and A. Sinke. 1988. Phosphorus release from sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 30:90-93
38. John D. Wehr and Robert G. Sheath, Freshwater Algae of North America. 2003
39. Kai Sand-Jensen and Jens Borum, Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. *Aquatic Botany*, July 2003
40. Lee J.A., Choi A.R. and Watanabe M. 1997. Taxonomic implicayions of the genus *Microcystis*(Cyanophyceae) from the Nakdong River
41. Niederlehner, B.R. and John Cairns, Jr, Effects of ammonia on periphytic communities. *Environmental Pollution*, July, 2003
42. OECD, OECD guidelines for testing of chemicals, 1988
43. Paerl, H.W. 1988. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters. *Limnol. Oceanogr.*, 33: 823-847
44. Richman, S., D.K. and M. Huber, 1990. Impact of zooplankton grazing on phytoplankton along a trophic gradient
45. Sommer, U., Z.M. Gliwicz, W. Lampert and A. Duncan. 1986. The PEG model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Arch. Hydrobiol.* 106: 433-471
46. Vanni, M.J. and J. Temte, Seasonal patterns of grazing and nutrient limitation of phytoplankton in a eutrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 1990