

서낙동강의 계절별 식물성플랑크톤 군집 구조 및 특성에 관한 연구

환경조사과

정재원 · 조정구

Study on seasonal population structure and character of Phytoplankton at the Seonakdong River

Environmental Research Division

Jae-Won Jeong · Jeong-Gu Jo

Abstract

Seasonal changes of the phytoplankton community were investigated from January 2003 to December 2003 at three stations in the Seonakdong River. The value of correlation coefficient between chlorophyll-a concentration and chemical oxygen demand(COD) was 0.7065, and between chlorophyll-a concentration and phytoplankton standing crops was 0.6354. The phytoplankton standing crops varied from 50cells/ml at Daejeo-sumun in July to 7.17×10^4 cells/ml at Noksan-sumun in May 2003. Of those, the diatoms and green algae were present during the investigation periods more frequently than other taxa. The major dominant species were *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*, *Eudorina elegans*, *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira granulata*, *Melosira varians*, *Anacystis (Microcystis) aeruginosa*.

Key Words : Phytoplankton, Correlation coefficient, Standing crops, Seonakdong River

I. 서 론

서낙동강은 낙동강의 지류천으로 상류부는 대저수문에 의하여 낙동강 본류와 차단되어 있고 하류부는 녹산배수갑문에 의해 담수지를 형성함으로써, 평상시는 광활한 김해평야의 농업용수 공급원으로 사용되고, 홍수시는 유수지의 역할을 하고 있다(부산광역시, 2002). 그러나 이러한 반복쇄적 수계의 특징은 하천 흐름의 정체가 하천 자정작용 저하의 원인이 되고 수질 부영양화를 심화시켜 갈수기에는 수질이 더욱 악화되고, 홍수시에는 저지대 농경지 침수 피해 원인이 되고 있다.

또한 유역주변으로부터의 유입부하와 퇴적물로부터의 내부생산부하에 의해 오염이 가속화되고, 이러한 하상퇴적물의 오염은 하절기에 무산소 수괴층을 형성함으로써 인산염인과 같은 영양염류의 용출로 식물플랑크톤의 대량번식을 야기시킨다.

수생태계는 영양성분인 질소와 인의 농도에 따라 그 생산력이 주로 결정되며, 농도가 높을 경우 부영양화 수계, 낮을 경우 빈영양화 수계라 하며, 호소의 경우 빈영양호→중영양호→부영양호로 점진적으로 변화한다. 이것을 호소의 '부영양화 현상'이라 하고 호소생태계의 자연적 생태천이 과정이다. 그러나, 인간활동이 활발해지면서 유역으로부터 상당한 양의 영양물질이 수계로 유입되어 수생태계의 천이 속도가 빨라지게 된다. 이를 일컫어 인위적 또는

문화적 부영양화라 한다. 부영양화는 현재 인류가 직면한 가장 심각한 수질오염 중 하나이다. 최근 WHO의 보고에 의하면, 전체 담수계 중 부영양화한 수계의 비율은 아시아-태평양권에서 54%, 유럽권 53%, 아프리카권 28%, 북아메리카권 48%, 남아메리카권에서 41%에 이른다(Chorus and Bartram 1999).

부영양화 수계에서 식물플랑크톤은 빛, 수온 등의 환경 조건이 적당하게 되면 갑자기 활발하게 성장하게 되고 이 때 물 색깔을 변화시킬 정도로 식물플랑크톤이 크게 증식하여 대발생하게 된다. 이러한 현상을 수화(水華, algal bloom)라 하고, 특히 온대지방의 부영양화한 담수계는 수온이 높은 계절에 남조류가 극도로 증식하여 수표면에 집적되는 수화현상을 빈번히 나타내고 있다.

서낙동강에서 보고된 식물플랑크톤의 대발생은 겨울철과 여름철의 두번에 걸쳐 일어나는데, 겨울철에는 규조류인 *Stephanodiscus*에 의해, 여름철에는 남조류인 *Microcystis*에 의한 것이다. *Stephanodiscus*보다 *Microcystis*에 의한 대발생이 더욱 심각한 것은 *Microcystis*가 생산하는 간독소 Microcystin 때문이다. Microcystin은 화학적으로 매우 안정하며, 60~70 μ g/kg LD₅₀의 독성을 나타내는 것으로 보고되어 있다. 또한 남조류 수화가 발생하면 심미적으로 경관이 나빠짐은 물론이고, 불쾌한 맛과 곰팡이 냄새를 나게 하여 수자원으로서의 가치를 떨어뜨리며, 대량 발생한 남조류가 사멸하

여 분해되는 과정에서 빈산소 수괴가 형성되는 경우가 많다. 이에 따라 어패류의 폐사가 발생하는 등 생태계가 교란된다.

서낙동강에서의 남조류에 의한 수화현상은 매년 하절기마다 만성적인 현상으로 보고되고 있으며, 특히 1997년도에는 농업용수뿐만 아니라 생활용수로도 사용이 불가할 정도의 대발생으로 그 심각성이 대두되어, 우리 원에서는 1998년도부터 하절기를 중심으로 식물성 플랑크톤조사를 실시해 오고 있다.

서낙동강의 식물성 플랑크톤에 대한 연구는 김과 이(1991), 조 등(1993), 서와 정(1993), 정 등(1994), 이(1994) 등에 의해 이루어졌고, 그 후 서낙동강의 규조류(이 등 1995), *Stephanodiscus*속 규조(조 1995), *Cyclotella*속 규조(조 1996), *Microcystis*속 남조(이 등 1997), *Aulacoseira*속 규조(조 1999)에 대한 분류학적 연구가 뒤를 이었으며, 최근에는 남조류의 독성 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구는 농업용수, 여가공간 등으로 이용가치가 높아지고 있는 서낙동강의 수질 변화추세를 파악하고, 또한 수중 생태계의 저차 생산구조를 담당하고 있는 식물플랑크톤의 현존량과 Chlorophyll-a량, 군집의 종조성 및 우점종 등을 조사하여 물리화학적 수질 환경의 변화에 따른 식물플랑크톤 군집의 계절적 변동 및 그에 따른 생태학적 특성을 알아 봄으로써, 부영양화에 따른 하절기 수화현상(Algal bloom)의 제어 방법을 모색코자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지 개황

서낙동강은 낙동강 본류로부터 분기된 (동경 128°59', 북위 35°13' 지점) 유로연장 18.5km의 파천으로, 부산광역시 강서구와 경상남도 김해시 일원에 위치한다. 서낙동강은 1934년에 농업용수의 이용과 치수를 위하여 대저수문과 녹산배수갑문이 설치된 이후 호소형 하천의 수문 특성을 나타낸다. 서낙동강은 상부의 일부를 제외한 거의 전체 하천이 낙동강 철새도래지(천연기념물, 국가지정문화재 제179호)에 포함되는 수역으로 상부에 운하천(대감천), 예안천, 주중천, 신어천이 유입되고, 하부에 조만강과 지사천이 유입된다. 유역면적은 303.09km²이며, 평균 수면적 7.8km², 저수량 1,840만m³이며, 연중 대부분의 기간동안 수괴가 정체되어 있다(건설교통부 2001). 서낙동강의 주변은 농경지와 화훼단지 등으로 이용되고 있으며, 김해 하수처리장이 1999년부터, 강동하수처리장이 2003년 5월부터 가동되고 있으나, 고도처리가 되지 않기 때문에 N, P의 영양염류는 그대로 방류된다. 더욱이 처리효율을 높이기 위하여 분뇨의 합병처리로 하수처리 전보다 N, P의 함량이 더 높은 방류수가 서낙동강에 유입되고 있다. 또한 서낙동강의 하상 저질이나 내수면 양식장에서 발생하는 내부 발생원의 부하량도 수질오염에 크게 작용한다(조 2002).

우리 원에서는 서낙동강에 대해 1992년 도부터 대저수문(서낙동강시발점), 김해교(서낙동강상류), 강동교(서낙동강중류), 시만교(신어천유입부), 조만교(조만강유입부), 녹산수문(하류)등 6개 지점의 수질을 모니터링해 왔으며, 그 중 대저수문, 강동교, 녹산수문의 3개 지점을 서낙동강 수질 대표지점으로 선정하여 본 연구사업을 수행하였다(Fig. 1).

2. 시료채취

시료채취는 2003년 1월부터 12월까지 월 1회(하절기 7~9월엔 월 2회) 총 15회

실시하였으며, 하이로드채수기를 사용해 표층수를 채취하였다.

3. 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, 1996)에 의거하여 분석하였으며, 각 항목별 분석방법은 Table 1과 같다. 또한 수질항목간 및 식물플랑크톤 현존량 등과의 상관관계 도출을 위하여 Microsoft Excel program을 사



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

Table 1. The analysis methods of samling water

Item	Method
Water Temperature	Thermometer(YSI-556MPS)
pH	pH meter(YSI-556MPS)
DO	DO meter(YSI-556MPS)
Conductivity	Conductivity meter(YSI-556MPS)
COD	Acid KMnO ₄ Method
BOD	Winkler Method Azide Modification
T-N	Ultraviolet Spectrophotometric Method
T-P	Ascorbic Acid Method

용하여 Pearson's correlation analysis를 실시 하였다.

부, 2001)에 따라 동정하였다.

4. 식물플랑크톤 조사

식물플랑크톤의 생체량 조사를 위해 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 2l의 시료를 Lugol solution으로 고정한 후 식물플랑크톤의 양에 따라 농축하거나 그대로 사용하여 1ml의 세즈워-라프터 챔버를 이용하여 저배율(×200)에서 계수하였고, 정성분석은 중·고배율(×400, ×1000)에서 분리·동정하였다. 식물플랑크톤 종의 동정은 한국담수조류도감(정준, 1993), 일본담수조류도감(Hirose and Yamagishi, 1977) 및 수질오염공정시험방법 부록 I. 담수조류분류표(환경

III. 결과 및 고찰

1. 수질 및 환경요인

부산지역의 2003년도 평균 기온은 최저 2.5℃(1월)~최고 24.1℃(8월)로서 평년대비 다소 낮았고(기상청 2003), 수온은 최저 3℃(1월, 강동교)~최고 30℃(8월)였으며, 대저수문지점의 평균 수온은 17.6℃, 강동교지점은 17.2℃ 및 녹산수문지점이 16.8℃로서 대저수문이 약간 높고 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 2).

서낙동강의 수온은 8월에 최대를, 1월에 최저를 나타내어 계절적 특성을 반영하고 있으나, 2003년의 6~7월이 전년과 비교하여 4~5℃이상 낮았으며, 이러한 수온의 저하는 뒤에 언급될 내용인 Chlorophyll-a 농도 및 식물플랑크톤의 총세포수 등에 큰 영향을 미친 것으로 나타났다.

서낙동강 하절기 수온저하의 원인은 울

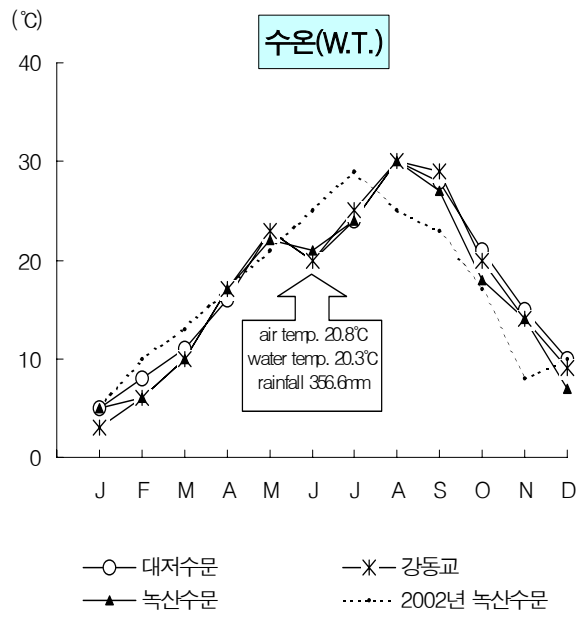


Fig. 2. Seasonal changes of Water Temperature(°C) in the Seonakdong River.

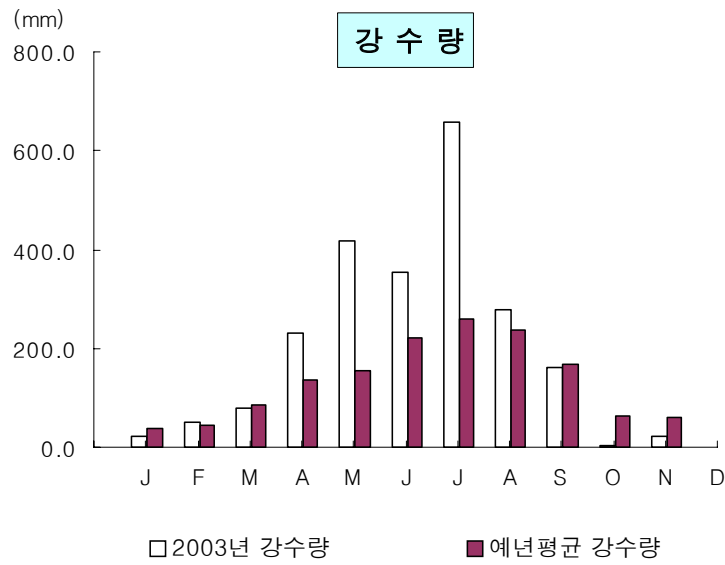


Fig. 3. Seasonal changes of Rainfall(mm) in the Seonakdong River.

해 특히 잦았던 강우의 영향으로, 2003년도의 강수량은 7월에 657.7mm로 최다였으며, 10월에 2.5mm로 최저를 나타냈다.

12월 현재 올해의 총 강수량은 2,256.4mm로서 평년 강수량인 1,492mm보다 훨씬 많은 양의 강우가 있었음을 알 수 있다(Fig. 3).

pH의 변화는 대저수문지점이 6.9~8.4, 강동교지점은 6.9~9.1, 녹산수문지점이 7.1~9.4였으며, 평균 pH는 대저수문지점이 7.6, 강동교지점이 7.7, 녹산수문지점이 8.2로 하류로 갈수록 높아지는 추세로서 DO 농도와 유사성이 크게 나타났다. 매년 하절기에는 고농도 식물성플랑크톤의 광합성작용 등에 의해 pH가 계속 높게 측정되었으나, 2003년도에는 역시 6~7월에 낮은 pH를 나타냈다(Fig. 4).

DO(용존산소) 농도의 변화는 대저수문지점이 2.9(9월)~16.5mg/l(1월), 강동교지점은 4.2(7월)~18.2mg/l(2월), 녹산수문지점은 5.4(8월)~17.9mg/l(1월)였으며, 평균 DO 농도는 대저수문이 9.1mg/l, 강동교 10.1mg/l, 녹산수문이 11.3mg/l로서 하류로 갈수록 높아지는 추세였다(Fig. 5). DO(용존산소) 농도는 1~2월의 겨울철에 최고농도를, 7~9월의 여름철에 최저치를 나타내었는데, 2002년도의 4월에 최저치를 나타냈던 것과 대조적이다. DO는 수온 분포와 역상관을 보이는데, 겨울철에는 수온 저하에 따른 포화 용존산소량의 증가로 DO가 높아지며, 또한 식물성플랑크톤중 규조류종의 대발생이 DO 농도 증가

의 원인으로 작용한다.

전기전도도는 대저수문 지점이 154~624 μ S/cm, 강동교 지점은 195~7,901 μ S/cm, 녹산수문 지점은 467~9,364 μ S/cm의 범위였으며, 평균은 각각 341 μ S/cm, 1,767 μ S/cm, 3,152 μ S/cm로서 하류로 갈수록 염수에 의해 높아지는 경향을 보였다. 대저수문 지점의 전기전도도는 변화폭이 크지 않았으나, 녹산수문 지점은 변동폭이 매우 컸으며, 강동교 지점은 10월부터 높게 나타났다. 강동교 지점은 갈수기 유량 감소의 원인이 크게 작용하고, 녹산수문 지점은 강우에 의한 변동이 큰 것으로 생각된다. 6~7월, 9월의 많은 강우가 전기전도도를 급감시킨 것으로 나타났으며, 10월 이후의 갈수기 유량 감소시에는 서낙동강 하류지역의 염수가 중류의 강동교 부근까지 영향을 미치는 것으로 나타났다(Fig. 6).

생물화학적 산소요구량(BOD)는 대저수문, 강동교, 녹산수문지점의 평균값이 각각 2.8mg/l, 3.7mg/l, 4.6mg/l로서, 하류로 갈수록 유기물 오염부하량이 높아짐을 알 수 있었고, 화학적 산소요구량(COD)의 평균값은 6.0mg/l, 6.7mg/l, 7.7mg/l로 COD값이 BOD값의 약 2배를 나타냈다(Fig. 7).

BOD 및 COD값은 5월의 녹산수문 지점이 7.9mg/l, 10.0mg/l로 가장 높았으며, 10월 강동교 지점의 BOD가 1.3mg/l, 11월 대저수문 지점의 COD가 4.0mg/l으로 최저치를 나타냈다. 5월의 장마기에 BOD

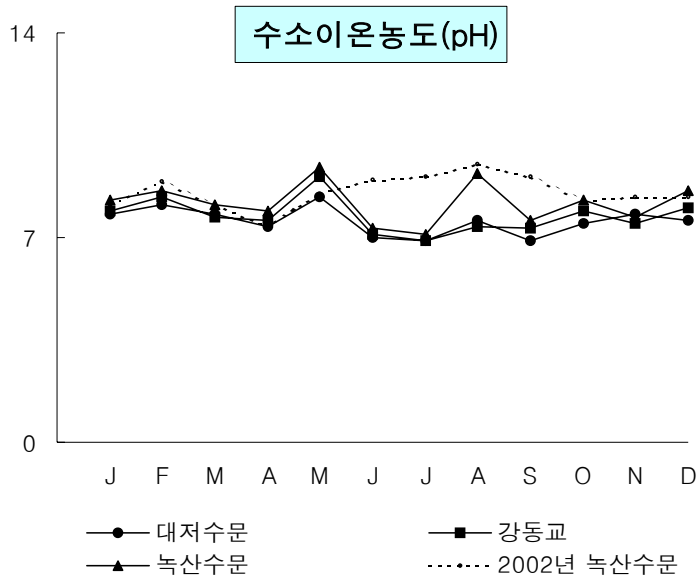


Fig. 4. Seasonal changes of pH in the Seonakdong River.

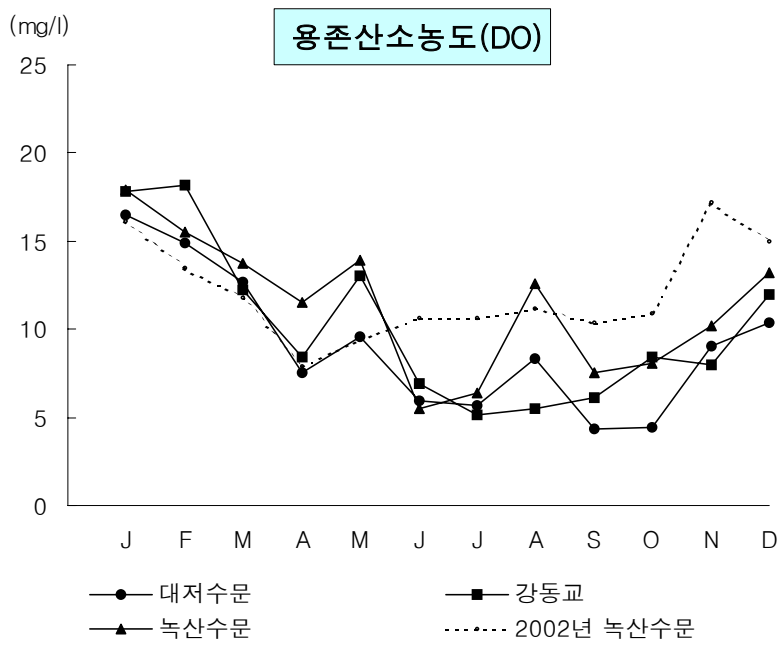


Fig. 5. Seasonal changes of Dissolved Oxygen(mg/ℓ) in the Seonakdong River.

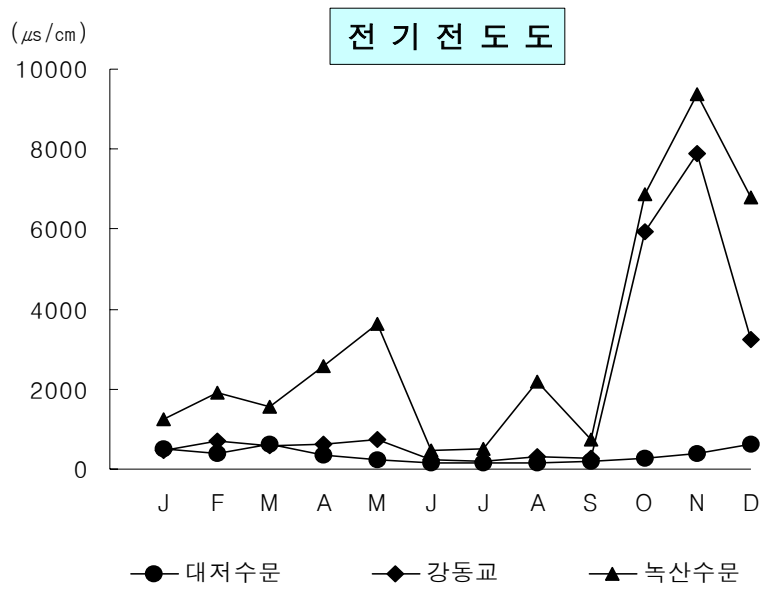


Fig. 6. Seasonal changes of Conductivity(μS/cm) in the Seonakdong River.

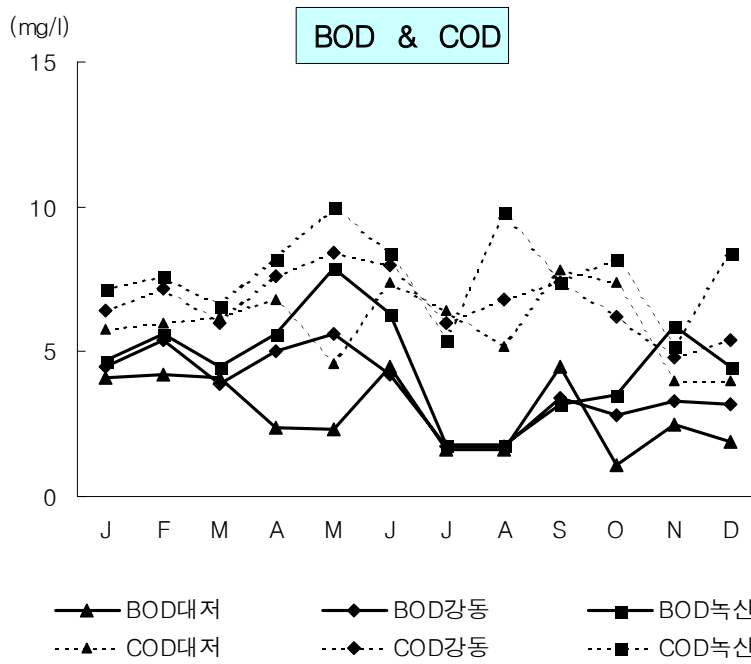


Fig. 7. Seasonal changes of BOD(mg/l) and COD(mg/l) in the Seonakdong River.

및 COD의 값이 가장 높은 것은 강우에 의한 하천주변 비점오염원들(지표상 퇴적 오염물, 대기 강하물, 하수관 월류수 등)로부터의 유기물 오염부하량 증가때문으로 사료되며, 집중 강우기에는 강우유출수의 하천 직접 유입을 억제할 수 있는 방안을 강구해야 할 것이다.

수체의 유기물 오염의 대표적 지표인 BOD 농도는 서낙동강 3개 지점에서 1.1~7.9mg/l의 변화 범위를 나타냈고, 겨울에서 봄까지 계속 상승하다 하절기엔 감소하여 갈수기의 서낙동강 수질 악화 추세를 반영하였으며, 반면 COD 농도는 4.0~10.0mg/l의 범위로서 상대적으로 BOD에 비해 변화폭은 작고, 갈수기와 하절기에 높은 농도를 나타냈다. COD/BOD 비로 나타내면 동절기에는 1.3~1.5, 하절기에는 2.3~4.6으로 하절기에 생물학적 난분해성의 유기물량이 높게 나타나는데, 이는 식물플랑크톤 중에서 남조류의 비율이 높은 것과 관련이 있다(조 2002).

평균 T-N(총질소) 농도는 각각 3.077mg/l, 3.138mg/l, 3.058mg/l로 강동교지점이 높고, 녹산수문지점이 낮았으며, 2월의 강동교가 4.295mg/l로 최고치를, 8월1차의 대저수문이 2.017mg/l로 최저치를 나타내었다(Fig. 8). T-N 농도의 연변화 추세는 동절기에 대체로 높고 하절기에 낮게 나타났으며, 이는 여름철 고수온기에 저질 퇴적층으로부터의 NH₄의 용출에 기인하며, NH₄의 높은 농도는 질화작용을 억제

시켜 NO₃의 현저한 감소를 유도하며, 하절기 남조류(*Microcystis*)의 대발생을 일으킨다(Paerl, 1988).

T-P(총인)의 평균 농도는 각각 0.182mg/l, 0.145mg/l, 0.140mg/l로서 대저수문지점이 높고 녹산수문지점이 낮았으며, 7월1차의 대저수문이 0.545mg/l로 최고치를, 3월의 대저수문이 0.026mg/l로 최저치를 나타내었다. T-N과 T-P의 지점별 평균 농도를 보면, 하류인 녹산수문 지점이 가장 낮은데, 이는 N과 P가 식물플랑크톤의 증식에 의해 세포내로 흡수되었기 때문이다(Table 2). T-P는 집중 강우기였던 8월의 데이터를 제외하고 보면, T-N의 연변화 추세와는 달리 동절기보다 하절기에 더 높게 나타났는데, 이는 수온증가에 따른 하천 저질내의 무기인의 용출에 의한 것이다. PO₄³⁻ 용출은 온도가 상승함에 따라 지수적으로 증가하였고, 이러한 경향성은 DO 농도가 낮을 때 더욱 증가한다(정 등 2003). 또한 이러한 PO₄³⁻의 높은 용출률은 하절기 식물플랑크톤 대발생 현상의 주요 원 인 인자이며(송 등, 1995; 조와 신, 1996) 고수온기의 여름철에 하천 저질로부터의 무기 영양염의 용출을 제어하는 방안이 바로 하절기 녹조현상 억제의 방안이 될 것이다. 현재 검토중인 질소, 인 부하량 저감 대책으로는 인공 습지 조성, 점축산화시설, 하수처리장의 소규모화 및 고차처리, 저질퇴적층의 준설 등이 있다.

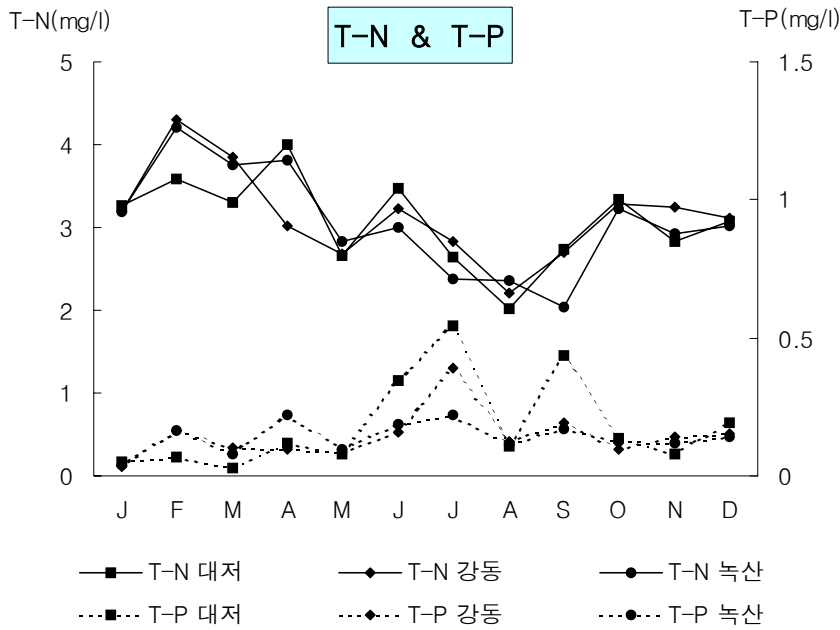


Fig. 8. Seasonal changes of T-N(mg/l) and T-P(mg/l) in the Seonakdong River.

Table 2. The physicochemical Factors in the Seonakdong River in 2003

	W.T. (°C)	pH	DO (mg/l)	전기전도도 (μS/cm)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	Chl-a (mg/m ³)
대저수문	17.6	7.6	9.1	341	2.8	6.0	3.077	0.182	15.2
강 동 교	17.2	7.7	10.1	1,767	3.7	6.7	3.138	0.145	32.3
녹산수문	16.8	8.2	11.3	3,152	4.6	7.7	3.058	0.140	55.4

2. Chlorophyll-a

3지점의 chlorophyll-a 평균농도는 각각 15.2mg/m³, 32.3mg/m³, 55.4mg/m³로 대저수문 <강동교<녹산수문의 순으로 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 양상이었고, 5월의 녹산수문지점이 128.1mg/m³로 최고치를, 7월의 대저수문지점이 1.4mg/m³로 최저치를

나타내었다(Table 2, Fig. 9). Chlorophyll-a 농도의 연중 변동은 겨울철 규조류와 여름철 남조류의 번성시에 증가하는 것으로 보고되어 있으나, 올해의 서낙동강의 경우는 봄철에 증가패턴을 보였고 겨울과 여름에는 예년보다 낮은 농도를 나타내었다. Chlorophyll-a 농도의 월변화 추세는 4월부

터 증가하기 시작하여 5월과 8월에 최대 peak를 보이고, 장기 집중호우기였던 6~7월에는 최저 농도를 보였으며, 8월에 다시 증가하다 태풍이 있었던 9월부터 다시 감소추세를 나타내었다.

1991년부터 2000년까지의 서낙동강의 평균 chlorophyll-a 농도가 91mg/m³였다고 보고된 바(조 2002), 2003년도의 chlorophyll-a 농도는 매우 작았음을 알 수 있다.

대저수문 지점의 chlorophyll-a는 최저 1.4mg/m³(7월)~최고 23.5mg/m³(2, 9월)의 농도 범위를 보였으며, 강동교 지점은 최저 9.8mg/m³(11월)~최고 57.4mg/m³(5월)의 범위를, 녹산수문 지점은 최저 14.7mg/m³(7월)~최고 128.1mg/m³(5월)를 나타냈다.

Chlorophyll-a 농도는 부영양화 판정 지표로 자주 이용되는데, Forsberg & Riding(1980)에 의한 판정법에 의하면, T-N 0.6~1.5mg/l, T-P 0.025~0.1mg/l, Chl-a 7~40mg/m³일 때가 Eutropic(부영양), T-N 1.5mg/l 이상, T-P 0.1mg/l 이상, Chl-a 농도가 40mg/m³이상일 땐 Hypertropic(과영양)상태인데, 이에 따르면 서낙동강 수질은 연중 내내 부영양 상태이며, 동절기의 녹산 지점은 과영양상태를 나타내고 있다.

또한 Chlorophyll-a 농도 변화는 COD 농도 변화와 유사한 패턴을 보이며, 이는 생물학적 난분해성의 유기물이 바로 식물플랑크톤에 의한 자생 유기물임을 나타내고 있다.

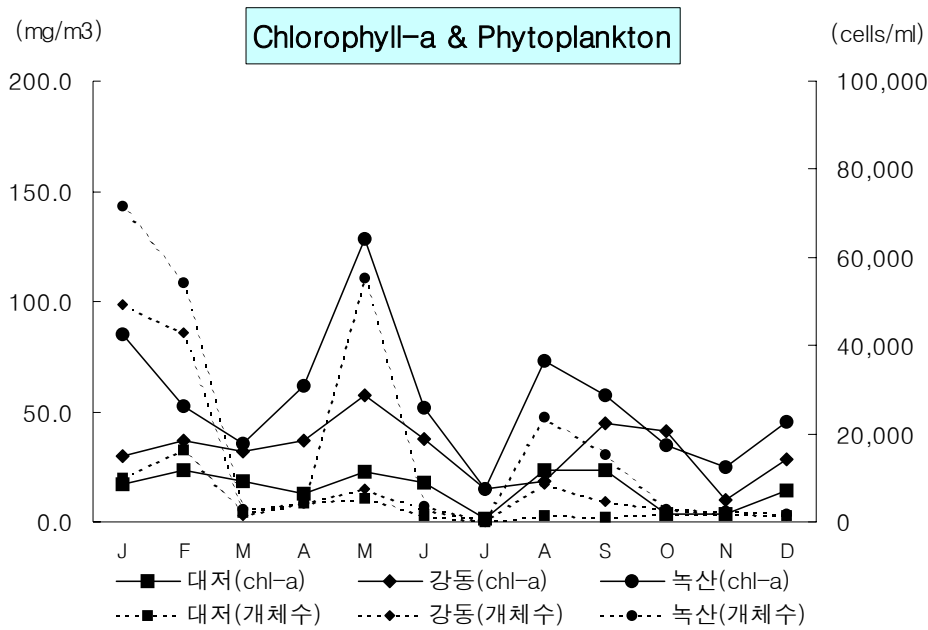


Fig. 9. Seasonal changes of chlorophyll-a concentration(mg/l) and biomass of phytoplankton in the Seonakdong River.

3. Chlorophyll-a 농도와 식물플랑크톤 현존량

식물성플랑크톤의 총 개체수는 대저수문지점이 50~16,340cells/ml이었고, 강동교지점이 115~49,240cells/ml, 녹산수문 지점은 330~71,760cells/ml의 범위였으며, 평균 총 개체수가 각각 3.9×10^3 cells/ml, 1.1×10^4 cells/ml, 2.0×10^4 cells/ml로서 하류지점으로 갈수록 식물플랑크톤 개체수가 많아짐을 알 수 있었다(Fig. 9).

chlorophyll-a 농도와 현존량의 크기가 거의 일치하였으며, 1월 및 5월의 높은 현존량은 겨울철 우점종인 규조류 *Stephanodiscus sp.*에 의한 것이며, 8월의 현존량은 여름철 우점종인 남조류 *Anacystis(Microcystis) sp.*에 의한 것이다. 전반적으로 봄과 가을에는 세포 현존량은 감소하고 종 풍부도는 높아지는 경향이 있으며, 겨울과 여름에는 현존량은 높아지고 종 풍부도는 낮아지는 경향을 보이는데(조, 2002), 2003년도의 서낙동강에서는 여름철의 식물플랑크톤 현존량이 겨울~봄까지의 현존량보다 낮았으며, 종 풍부도는 겨울에 비해 높게 나타났다. 또한 5월에 예년보다 약간 높은 수온의 영향으로 chlorophyll-a 농도와 식물플랑크톤의 개체수가 매우 높게 나타났으며, 6월~7월에는 많은 강우의 영향으로 식물플랑크톤의 개체수가 매우 낮았다. 매년 6월부터 10월까지의 하절기동안 서낙동강에서는 *Anacystis(Microcystis)*의 개체수가 수 십만~백만 cells/ml 이상으로 “조류경보”와 “조류대발생”의 수준이었으나,

국제행사가 많아 특별 수질 관리하였던 2002년도에는 최대밀도가 2.5×10^5 cells/ml이었으며, 강우와 태풍으로 유량이 많고 수온이 낮았던 2003년도에는 최대 2.4×10^4 cells/ml 정도였다.

4. 상관성 분석

수질 항목간의 상관성 검토 결과는 Table 4와 같다.

상관성이 가장 높게 나타난 수온과 DO 농도($r^2 = -0.75$)는 수온이 낮아질수록 산소의 수중 포화량이 높아지므로 나타난 결과이고, 수온과 T-N 농도간에 높은 역상관성을 나타냈는데($r^2 = -0.71$), 이는 여름철 고수온기에 저질 퇴적층으로부터의 NH_4 의 용출에 기인하며, NH_4 의 높은 농도는 질화작용을 억제시켜 NO_3 의 현저한 감소를 유도하기 때문이며, 또한 고농도의 NH_4 는 하절기 남조류(*Microcystis*)의 대발생을 일으킨다(Paerl, 1988).

그 외에 클로로필-a 농도가 높아짐에 따라 BOD와 COD 농도도 증가하였으며($r^2 = 0.62, 0.71$), 반면 높은 상관성이 기대되었던 T-N, T-P 농도와의 분석에서는 상관성을 나타내지 않았다. 식물플랑크톤에 있어서 영양염류와의 상관성을 살펴 보기 위해서는, T-N, T-P 농도보다는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 세분화된 성분으로 분석하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 클로로필-a농도와 식물플랑크톤 현존량은 양의 상관관계($r^2 = 0.64$)를 나타내었으나, 상관도는 그리 높지 않았으며, 이는 식물플랑크톤 우점종

Table 3. The correlation values between physicochemical and Biological Factors in the Seonakdong River

	W.T.	pH	DO	BOD	COD	T-N	T-P	Chl-a
W.T.	1.0000							
pH	-0.2569	1.0000						
DO	-0.7496	0.6946	1.0000					
BOD	-0.3712	0.4041	0.4708	1.0000				
COD	0.2351	0.3899	0.0631	0.4759	1.0000			
T-N	-0.7063	0.1142	0.4313	0.3798	0.0346	1.0000		
T-P	0.4121	-0.5672	-0.5636	-0.2002	0.0694	-0.1483	1.0000	
Chl-a	0.0317	0.6705	0.4127	0.6230	0.7065	-0.0338	-0.2634	1.0000
식물플랑크톤 현존량	-0.3730	0.5397	0.6805	0.4421	0.3345	0.2184	-0.2949	0.6354

의 종류에 따라 현존량의 증감이 일정하게 나타나지 않았기 때문이다. 금년에는 많은 강우의 영향으로 수질은 예년에 비해 양호하였으나, 수체는 매우 불안정하여 수질 항목과 수중 생물체간의 전형적인 순환 유형을 나타내지 않았다.

5. 식물플랑크톤의 계절적 변화 및 군집특성

2003년도 서낙동강 3개 지점에서 조사된 주요 식물플랑크톤 군집은 120여종이었다. 지금까지 서낙동강 수계에서 약 200여종의 식물플랑크톤이 관찰되었음이 보고된 바, 2003년의 식물플랑크톤 종다양성은 매우 낮았으며, 예년보다 낮은 수온분포의 영향으로 사료된다.

조사지점의 식물성플랑크톤 우점종을 살펴보면, 1월~5월까지 규조류종이 우점하

였고, 6·7월에는 규조류와 녹조류, 8·9월에는 남조류, 10월에는 남조류, 규조류, 11·12월에는 규조류가 우점하였으며, 이는 Sommer *et al.*(1986)와 김 등(2003)의 연구에서도 설명된 PEG(Plankton Ecological Group) 모델과도 일치한다. PEG 모델은 봄철에 소형 규조류의 번성 후, 여름에는 영양염류와 수온 증가 등의 영향으로 외편모조류나 남조류로 종 조성이 바뀌게 되며, 수온 감소와 더불어 가을철에는 규조류가 다시 우점하고, 겨울철에는 생물량이 감소하는 것으로 설명되고 있다(Table 4).

출현종 수는 8월의 강동교 지점에서 55종류로 가장 많이 출현하였고, 7월의 대저수문 지점이 12종으로 가장 적게 출현하였다. 계절별로는 여름철에 가장 많이 출현하고 동계에 비교적 적은 수가 출현하였으나, 2003년 9월 초순에 있었던 태풍의

Table 4. 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>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
M	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
J	<i>Eudorina</i> sp.	<i>Eudorina</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.
J	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Eudorina</i> sp.	<i>Eudorina</i> sp.
A	<i>Aulacoseira</i> sp.	<i>Eudorina</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.
S	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.
O	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.
N	<i>Synedra</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Synedra</i> sp.
D	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	<i>Stephanodiscus</i> sp.

영향으로 9월 중순이후 서낙동강의 수질은 탁도가 심한 흙탕물이었으며, 그 시기에는 거의 식물플랑크톤을 찾아 볼 수 없었다. 첫째, 흙탕물이 부유성 조류들을 침강시키는 역할을 하였을 것이고, 둘째 높은 탁도가 조류의 광합성을 방해하여 거의 증식이 불가능하게 되었기 때문이다. 이러한 현상은 수체가 안정되고 일사량이 증가하자 곧 바로 원상회복이 되었다.

서낙동강의 3개지점에서 겨울~봄철에 걸쳐 우점하는 규조는 *Stephanodiscus hantzchii* f. *tenuis*로서 세포크기는 폭이 약 5~30 μ m, 길이 약 10 μ m 정도의 중심형 규조로서, 색깔은 황갈색이며 부영양호에서 자주 출현하는 종이다(Cox, 1996). 보통 단독 세포로 부유하나 때로는 최대 12세

포의 군체를 형성하여 특정시기에는 대부분 사슬형 군체를 형성하기도 한다. 세포의 각면 가장자리에 매우 긴 강모가 방사상으로 발달하는 경우가 많은데, 강모는 세포의 부유력을 높이는 역할을 하는 것으로 추정된다(조 1995).

*Stephanodiscus*는 낙동강 하류를 중심으로 중상류 전역 뿐 아니라 겨울 갈수기에는 한강, 금강, 영산강 및 섬진강 등 5대강과 소하천 등과 호수 등 전국 수계에서 높은 밀도로 관찰되고 있으며, 금년 서낙동강에서 1월~5월까지 우점하였다.

6월에는 대저수문과 강동교 지점은 녹조류인 *Eudorina elegans*, 녹산수문 지점은 *Stephanodiscus*가 우점하였으며, 8월의 강동교 및 9월 중순의 대저수문과 강동교

지점에서 *Eudorina elegans*가 우점하였다. *Eudorina elegans*는 녹색의 계란형 세포로 크기는 약 10~20 μm 정도이며, 16~32개의 군체를 이룬다. 주로 초여름과 초가을에 우점을 이루며, 대발생시 물의 색이 녹색으로 변하고, 이취미를 유발하기도 한다(Hirose and Yamagishi 1977). 특히 *Eudorina*는 장마 또는 비가 온 직후에 대발생한다고 보고되었는데(조 2001), 올해도 역시 6, 8월의 집중호우 및 9월의 태풍“매미”후에 우점함이 관찰되었으며, 대발생은 오래 지속되지 않고 곧 남조 등 다른 조류로 대체되었다.

7월과 8월의 대저수문 지점에서는 *Aulacoseira(Melosira) ambigua*가 우점하였으며, *Aulacoseira(Melosira)* 종은 서낙동강 전 지점에서 조사시마다 꾸준히 발견되었으며, 그 종 또한 다양하였다. 1~4월은 *Melosira varians* 및 *Aulacoseira granulata*가 주로 발견되었으며, 5~8월엔 *Aulacoseira(Melosira) ambigua*가 많이 보였다.

Aulacoseira(Melosira) 종은 황갈색의 폭 4~30 μm , 길이 약 5~20 μm 정도의 원통형의 세포로서 긴 사슬모양 군체를 형성한다. 0~30 $^{\circ}\text{C}$ 의 다양한 수온 범위에 출현하고 호소에서 습지까지 폭넓게 분포하며, 중·부영양호에서 주로 출현한다(Cox, 1996). 특히 *Aulacoseira ambigua*는 최근 서낙동강 일원에서 증가 추세에 있으며 비가 온 뒤 물의 탁도가 높은 시기에 고밀도로 발생한다고 한다(조 2001).

8월~10월의 3지점 모두 *Anacystis*

(*Microcystis) aeruginosa*의 우점을 보였는데, 올해는 강우와 태풍의 영향으로 수화(algal bloom)현상은 일으키지 않았다. 여름철 대표적인 수화원인 남조류인 *Anacystis (Microcystis) aeruginosa*는 3~6 μm 크기의 청록색 구형세포로서 수백~수천개체의 군체를 형성한다. 봄에 출현하기 시작하여 늦여름에 최대 현존량을 보이고 초가을부터 감소하기 시작하는데, 대발생시 물의 pH가 9 이상으로 상승되며 풀냄새의 이취미를 유발한다(Hirose and Yamagishi 1977).

Anacystis(Microcystis) 종은 1992년 7월 낙동강 하류에서 단기간 폭발적으로 나타났다 소멸된 것이 보고되어 있으며, 그 후 1994년부터 매년 수화(algal bloom)를 일으켜 왔다(조 2001). *Anacystis (Microcystis)*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 감소하였다.

11월에는 강동교 지점은 *Anacystis (Microcystis) aeruginosa*가 우점하였고, 대저수문과 녹산수문 지점은 규조류인 *Synedra acus*가 우점하였는데, *Synedra acus*는 폭 4~6 μm , 길이 90~180 μm 의 바늘모양의 황갈색 조류로서, 영양염 농도가 높은 정체수역에서 자주 출현하는 종이다. 수온이 낮아진 12월의 서낙동강은 다시

규조류종인 *Stephanodiscus hantzchii* f. *tenuis*가 우점하였으며, *Synedra acus*와 *Asterionella formasa*도 다수를 차지하여 거의 규조군집형으로 계절적 천이가 일어났음을 알 수 있었다.

한편 우점종은 아니었으나, 연중 지속적으로 많이 나타난 출현종으로 은편모조류종인 *Cryptomonas* sp.가 있는데, 이는 길이 20~80 μ m의 황갈색 계란형 편모조류로서, 대량 증식시 물색을 갈색으로 보이게 하고 비린내를 유발시킨다(Hirose and Yamagishi 1977).

최근에는 겨울철 규조류 *Stephanodiscus* 대신에 은편모조류인 *Cryptomonas* sp.의 세력이 증가하고, 특히 하수처리장 방류수의 영향이 큰 곳이나 생활하수가 유입되는 곳에서 많이 발견되었다는 보고가 있다(조 2002).

식물플랑크톤을 지표로 이용해 생물학적 평가를 해 보면, 주요 우점종이었던 *Stephanodiscus*, *Aulacoseira*, *Anacystis* (*Microcystis*), *Cryptomonas* sp. 등은 모두 오염지표성 조류들이며, 그 빈도 및 수도가 매우 높아 서낙동강 수계의 부영양화 정도를 잘 반영하고 있다.

각 조사 지점별로 계절별 우점종의 변이 과정을 살펴 보면, 대저수문 지점은 1~5월 규조류(*Stephanodiscus*) → 6월 녹조류(*Eudorina*) → 7·8월 규조류(*Aulacoseira*) → 9·10월 남조류(*Microcystis*) → 11·12월 규조류(*Stephanodiscus*)로의 군집 변화를 보였고, 여름철 녹조류에서 남조류로의 천이 사

이에 규조류의 우점이 나타나는, 타 지점과는 약간 다른 양상을 띠었으며, 식물플랑크톤 현존량이나 종 다양성도 가장 낮게 나타났다. 강동교 지점은 1~5월 규조류(*Stephanodiscus*) → 6~8월 녹조류(*Eudorina*) → 9~11월 남조류(*Microcystis*) → 12월 규조류(*Stephanodiscus*)로의 천이과정을 나타내었으며, 하절기 동안 많은 녹조류종과 남조류종이 출현하였다. 녹산수문 지점은 1~6월 규조류(*Stephanodiscus*) → 7월 녹조류(*Eudorina*) → 8~10월 남조류(*Microcystis*) → 11·12월 규조류(*Stephanodiscus*)로의 천이과정을 나타내어 규조류의 우점률이 높았고, 녹조류는 잠시 출현한 후 남조류의 우점이 나타났다.

대저수문 지점에서는 중·하류 지점보다 우점종의 변화가 더 자주 일어났으며, 연중 주요 우점종은 규조류였다. 녹조류 및 남조류의 우점률이 상대적으로 낮은 것은 중·하류 지점보다 평균 수온이 낮고, 낙동강 본류수의 영양을 많이 받은 것으로 사료된다. 강동교 지점은 녹조류 우점기간이 길고, 이 기간동안 종 다양도가 가장 높았으며, 남조류 또한 11월까지 우점하는 등 수체의 안정 및 수질의 부영양화와 관련이 깊은 양상을 나타내었다. 녹산수문 지점은 규조류의 우점기간이 상대적으로 길고, 남조류 종이 다소 빠른 우점을 나타낸 후 11월부터 다시 규조류가 우점하는 양상으로 보아, 수질 항목중 염분과 관련이 깊을 것으로 사료되며, 채수 지점인 녹산수문 지점은 타지점보다 바람

이 센 지점으로 부유성이 큰 남조류종에 대한 영향이 다소 있을 것으로 사료된다.

본 조사기간 동안의 식물플랑크톤 군집에 대한 조사에 의하면, 식물플랑크톤 군집은 기온, 강우, 수온, 바람 등의 물리환경 요인과 pH, 염분농도, 영양염류 농도 등의 화학적 환경요인의 영향을 크게 받으며, 이러한 요인들이 모두 충족되면 식물플랑크톤의 대발생이 일어나고, 한가지라도 충족되지 못하면 수화현상은 일어나지 않게 됨을 알 수 있었다. 서낙동강에서의 식물플랑크톤 군집 조사의 궁극적인 목적은 생물종의 종다양성을 풍부하게 유지시키며, 특정종(특히, 여름철 독소형 남조류)인 *Microcystis aeruginosa*에 의한 수화를 방지하는 것이므로, *Microcystis aeruginosa*가 대발생하는 조건에 대한 연구가 충분히 있어야 할 것이다. 현재까지 이 등의 연구에 의하면 *Microcystis*는 수온이 30℃ 전후, pH 10정도일 때 최대성장을 나타내며, 질소원으로 NH₄를 선택적으로 이용하는 것으로 알려져 있으며, 저질 퇴적층으로부터 용출되는 PO₄와 NH₄가 주요 발생요인이 된다. 특히 서낙동강은 평균 수심이 2m 이하이며, 바닥에 저질이 10~60cm범위의 두꺼운 퇴적층을 이루고 있고, 물의 체류시간이 길어 저질 퇴적층이 수질에 미치는 영향이 매우 큰 곳이다. 서낙동강 수계의 저질에서 무기 N과 P의 용출량은 매우 높은 수준이어서 궁극적으로 서낙동강의 수질을 개선시키기 위해서는 저질 퇴적층 제거가 필수적인 과제일

것이다(정과 조, 2003).

6. 수문과 수질

서낙동강의 수질 및 유량 조절을 위해 대저수문과 녹산수문을 적절히 개방하고 있으며, 강우량이 많은 하절기에는 홍수 피해 방지를 위해 일시적으로 녹산수문을 개방하여 하천수를 방류하고, 동절기와 갈수기에는 수질 개선을 위해 대저수문을 열어 낙동강수를 유입한다. 2003년에는 대저수문은 60회 정도 개방하였고, 녹산수문은 월 평균 10~15회 정도 개방하였으며, 11월 이후로 갈수기에 접어들자 오염부하량 감소 및 유량 확보를 위해 다시 대저수문 개방시간을 늘이고 있다. 11월~4월까지가 갈수기간임에도 서낙동강의 유기물 오염지표인 BOD나 COD 농도가 5~6월보다 높지 않은 이유는 갈수기간의 수문개방에 의한 낙동강수의 유입에 의한 것이다. 또한 하류지점의 오염부하량 증가 및 오염물질 퇴적을 막기 위해 매일 1회 1시간이상 녹산수문도 개방하고 있으며, 그로 인해 하류지점의 염분농도 및 전기전도도가 높게 나타난다.

그러나 이러한 상·하 수문의 주기적이고 적절한 개폐에도 불구하고, 서낙동강 수역내 수괴의 장기간 정체는 해결되지 않고 있으며, 하상에 퇴적된 오니가 흐름에 의해 이송되지 않으므로 계속적으로 영양염류, 중금속류 등의 오염원이 누적되고, 봄~여름까지 재용출과 함께 녹조 발생 등 전반적인 수질 악화의 원인이 된다.

서낙동강내에서 일정한 유속을 확보하여 오염원의 퇴적을 방지하는 것이 수질 개선의 한 방도이며, 유속 확보를 위해서는 대저수문과 녹산수문의 시스템적 연계 운영 방식과 더불어, 조수간만의 차이에 의한 자연적 유입, 유출량 조절 뿐만 아니라 강제 배수펌프 등의 설치를 통한 인위적인 유량조절 체계를 마련해야 할 것이다.

IV. 결론

1. 2003년도 서낙동강의 기본현황은 수온이 3℃~30℃로서 예년보다 낮았고, 총강수량은 2,256mm로서 평년보다 30% 이상 증가하였다. pH는 6.9~9.4의 범위로 하절기에 높게 나타났고, DO농도는 2.9~18.2mg/l로 동절기에 높았다. 전기전도도는 154~9,364μS/cm의 범위로 갈수기 하류지점에서 높게 나타났다.
2. 유기물 오염도는 하류지점이 대체로 높았으며, BOD가 1.1~7.9mg/l의 범위로 5월 장마기와 갈수기에 높았고, COD는 4.0~10.0mg/l의 범위로 식물성플랑크톤의 거동과 관련을 보였다.
3. 무기영양염류의 농도는 하류로 갈수록 낮아지며, T-N 농도는 2.017~4.295mg/l의 범위로 동절기에 높고 하절기에 낮은 경향을 나타냈으며, T-P 농도는 0.026~0.545mg/l로서 하절기에 높은 것으로 나타났다. 하절기의 고수온이 저질내의 무기염인 NH₄와 PO₄의 용출을 증가시키고 식물성플랑크톤중 남조류를 대발생시키게 되므로, 수계내 질소·인 부하량의 저감 대책이 바로 남조류 수화 억제 대책이 될 것이다.
4. 식물성플랑크톤 생체량의 지표인 클로로필-a 농도는 1.4~128.1mg/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.
5. 수온과 DO 농도 및 T-N 농도가 음의 상관(-0.7469, -0.7063)을 나타냈고, 클로로필-a 농도와 pH, COD 및 식물성플랑크톤현존량과 양의 상관(0.6705, 0.7065, 0.6354)을 나타냈으며, 높은 상관을 나타낼 것으로 기대했던 클로로필-a 농도와 T-P는 상관성을 나타내지 않았다.
6. 식물성플랑크톤 총개체수는 대저수문 지점이 50~16,340cells/ml, 강동교 지점이 115~49,240cells/ml, 녹산수문 지점은 330~71,760cells/ml의 범위였으며, 하류로 갈수록 그 개체수가 많아졌다. 동정된 식물성플랑크톤은 약 120여종이었으

며, 규조류가 가장 많이 발견되었고, 녹조류, 남조류 종의 순이었으며, 그 외에 유글레나조류, 황갈조류, 와편모조류 등이 조사되었다. 1월~5월까지 규조류인 *Stephanodiscus sp.*가 우점하였으며, 6·7월에는 녹조류인 *Eudorina sp.*와 규조류인 *Aulacoseira sp.*가 우점하였고, 8~10월에는 남조류 *Anacystis (Microcystis) sp.*가, 11·12월에는 규조류인 *Stephanodiscus sp.*가 다시 우점하여 계절적 천이가 뚜렷하였다.

7. 낙동강 본류수 유입지점인 대저수문은 수체가 불안정하여 식물플랑크톤의 현존량 및 종다양도가 낮았으며, 중류인 강동교 지점은 종다양도가 가장 높았고, 하류인 녹산수문 지점은 규조류의 우점이 많고 염수의 영향을 받는 것으로 나타났다. 2003년도의 식물플랑크톤 군집조사에서는 강우 및 태풍 등 자연적인 환경요인에 의해 예년의 만성적이고 주기적인 남조류의 대발생 현상을 관찰할 수 없었으며, 하절기의 수화 현상을 막기 위해서는 저질 퇴적층의 제거가 필수적인 과제로 사료된다.
8. 서낙동강의 수질 개선 및 유량 조절을 위해 대저수문과 녹산수문을 연계 운영하여 자연적인 유입·유출을 유도하고 있으나, 흐름의 정체, 오염원 퇴적, 녹조 발생 등의 수질 악화 원인이 제거되지 않고 있으며, 보다 효과적인 수

질개선을 위해서는 강제 배수펌프 설치 등의 인위적인 유량조절 시스템이 조속 도입되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 김종원, 이학영. 1991. 낙동강 하구 저수지의 식물플랑크톤 군집에 관한 연구.
2. 김호섭, 박제철, 황순진. 2003. 수심이 얕은 부영양 인공호(일감호)의 동·식물플랑크톤 동태학.
3. 부산광역시. 2002. 낙동강하류·회동수원지수계 물관리 연구.
4. 서정관, 정익교. 1993. 낙동강 하류 담수역에서 부유식물상.
5. 정준, 김한순, 김용재. 1994. 낙동강 하구댐의 식물플랑크톤 군집구조.
6. 정하영, 조경제. 2003. 낙동강 하류 수계에서 저질퇴적층의 SOD와 영양염 용출.
7. 조경제 등. 2002. 서낙동강-조만강 수질 부영양화에 따른 오염양상과 수질 개선에 대한 고찰. 인제대학교 부설 낙동강유역환경연구센터 심포지움 논문집. I: 32-37.
8. 조경제, 정익교, 이진애. 1993. 낙동강 하구 식물플랑크톤 군집의 계절 동태.
9. 조경제. 1995. 낙동강 담수규조 *Stephanodiscus hantzchii f. tenuis*와 *S. parvus*의 미세구조.
10. 조경제, 신재기. 1998. 낙동강 하류에

- 서 동하계 무기 N, P 영양염류와 식물플랑크톤의 동태.
11. 조경제. 2001. 낙동강 하류의 식물플랑크톤과 수질 부영양화. 한국의 조류 생태와 응용. 아카데미서적
 12. 환경부. 2001. 수질오염공정시험방법.
 13. Hirose and Yamagishi. 1977. 일본담수 조류도감
 14. Cho K.J. 1996. Fine morphology of some *Cyclotella* species from the freshwater zone of the Nakdong River. *Algae* 11: 9-21.
 15. Cho K.J. and Shin J.K. 1999. Population dynamics of diatom genus *Aulacoseira* in the Nakdong River. *Algae* 14: 247-253
 16. Cox E.J. 1996. Identification of freshwater diatoms from live material. Chapman & Hall, London.
 17. Lee J.A., Choi A.R. and Watanabe M. 1997. Taxonomic implications of the genus *Microcystis*(Cyanophyceae) from the Nakdong River.
 18. Paerl, H.W. 1988. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters. *Limnol. Oceanogr.*, 33: 823-847.
 19. 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