

광주천의 식물플랑크톤과 부착조류의 동태

조혜경 · 정명화 · 김규만 · 심성순 · 이학영*

전남대학교 자연과학대학 생물학과

Dynamics of Phytoplankton and Periphyton in Gwangju Stream

Hye Kyung Cho, Myoung Hwa Jung, Gyu Man Kim,
Sung Sun Shim and Hak Young Lee*

Department of Biological Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

Abstract – The distributions of planktonic and periphytic algae were studied from April 2003 to February 2004 at Gwangju Stream. A total of 274 species, belongs to 8 classes, 19 orders, 6 suborders, 35 families, 4 subfamilies, 79 genera, was identified as algal flora of Gwangju Stream. The most diverse phytoplankton flora was observed at Bangrim bridge and Yangdong market sites with 137 species, and followed by Yuchon bridge site (118 species). The richness of phytoplankton fluctuated throughout the studied period from all the sampled sites. The precipitation was a major factor affected the richness of phytoplankton. The diatoms predominated the phytoplankton of Gwangju Stream with 57.7~77.0% of total phytoplankton. The maximum cells of phytoplankton was observed at Yuchon bridge site with 23,792 cells mL⁻¹ in August 2003, and minimum at Jeungsimsa site with 82 cells mL⁻¹ in April 2003. The periphyton of Gwangju Stream was predominated by the diatoms. In February 2004, all the periphyton of Yuchon bridge site were diatoms. Other sites also showed the predominance of diatoms throughout the studied period. The standing crops of phytoplankton were highly correlated with chlorophyll-*a* concentration with R=0.795. TN and TP also showed high relationships with phytoplankton standing crops in Yangdong market site with R=0.796 and R=0.760, respectively. The rains of 7-days ago showed high relationships with phytoplankton standing crop at Dongsan tower site with R=0.810. However, other climatic factors showed no clear relationships with phytoplankton cells.

Key words : Gwangju stream, phytoplankton, periphyton, standing crop

서 론

대도시를 관류하는 하천의 생태적 상황은 도시의 규모와 인구 및 인간 활동의 양식과 밀접한 관계를 이루면서 조절된다(Barnes and Mann 1991; Harper 1992). 산

업화 시대 이후 전 세계적인 도시화에 따른 환경 오염 문제가 호수뿐만 아니라 하천에서도 대두됨에 따라 하천 수질의 중요성이 크게 부각되고 있다(Wetzel 1999).

광주광역시의 중심부를 관통하는 광주천은 오·폐수의 무단 투기와 하수관거의 미비로 하천수 수질환경이 매우 열악하였었지만 하수관리의 정비와 하수 종말 처리장의 가동으로 많은 개선이 이루어지고 있다(송 1987; 김과 양 2004).

*Corresponding author: Hak Young Lee, Tel. 062-530-3401, Fax. 062-530-3409, E-mail. haklee@chonnam.ac.kr

최근에는 광주의 거대한 하수구처럼 유지되었던 광주천을 정화하고, 생태와 문화, 인간과 조화를 이루는 자연 하천으로 조성하기 위한 광주시와 시민들의 지속적인 관심과 노력이 이루어지고 있어 자연생태형 하천으로의 옛 모습을 찾을 수 있을 것으로 생각된다.

광주천은 호남의 대표적인 대형 하천인 영산강의 수질에 큰 영향을 미치는 중요한 지류이다. 따라서 영산강의 수환경 복원과 유지를 위해서는 광주천의 정화가 절실하며 장기적인 모니터링을 통해 수환경에 대한 조사가 지속적으로 이루어져야 하는 수계이다.

하천의 기능을 복원하기 위한 수환경 조사에서 우선적으로 선정되어야 할 생물요소는 조류(algae)상이다. 이는 조류가 수중 생태계의 1차 생산자로서 에너지 흐름의 기초를 이루고 있으며, 수중의 물리화학적 서식환경의 변화에 따라 직접적인 반응을 나타내기 때문이다(Descy 1979; Choi *et al.* 1985). 또한 조류는 수중환경을 잘 반영하여 수중의 영양염류가 풍부하게 되면 이상증식과 함께 녹조 및 적조 현상을 일으키며, 독성 물질을 분비하여 어류나 가축 및 인간에게 치명적인 영향을 미친다(Shubert 1984). 이러한 특성들로 인하여 조류는 수질 판정의 생물학적 접근이나 다른 생물군과의 관계 등에 관한 다양한 정보를 제공한다(Shubert 1984).

국내에도 강이나 호수와 같은 담수환경에서 환경요인이나 영양물질, 또는 점오염원에 따른 조류 군집의 변동에 관한 많은 연구결과가 발표되었다(김 등 1995; 이와윤 2002; 한 등 2002; 김과 황 2004; 김 등 2004; 전과 조 2004). 하지만 대부분의 연구가 팔당호, 대청호, 임진강, 낙동강하구를 대상으로 하고 있다. 국내의 주요 수계에서 식물플랑크톤 군집에 대한 연구로는 한강 수계에서 정 등(1965)의 연구를 시작으로 Lee and Yoon(1996), 이와장(1997) 및 김(1998) 등에 의한 연구가 있으며, 금강(Shim and Yang 1982; 정 등 1985; 김 등 1995; 오 1998; Mun *et al.* 2001), 낙동강(김과 이 1996; 신과 조 1999), 영산강(김 등 1987; Choi *et al.* 1985; Choi 1988) 및 섬진강(이와윤 1999) 등에서 수행된 것들이 있다. 그러나 광주천의 경우, AGP에 관한 연구(위 등 1990)나 물리적, 화학적 연구(송 1987; 위 등 1994; 김 등 1999; 김 등 2002; 김과 양 2004; 이 등 2004) 등이 이루어진 바 있으나 광주천 조류의 동태에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

광주천의 조류에 관한 연구가 자연형 하천으로 거듭나기 이전과 이후 생태계의 변화 연구에 대한 기초 자료로써 꼭 필요하며, 식물플랑크톤의 성장은 다른 수생물들의 생존의 기본이 되고 연속하여 수계 생태계 전체를 연결하는 에너지 흐름의 기초가 되므로 이들의 성

장양상을 파악하는 것은 담수에서 일어나는 생명현상의 패턴 분석에 유용하다(Barnes and Mann 1991; Kalf 2002). 또한 광주천 자체의 식물플랑크톤의 종 구성과 그 다양성 그리고 환경요인과의 관계에 대한 이해를 위해서도 중요한 자료로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 앞으로 광주천의 식물 플랑크톤의 종조성이 어떻게 변화하는 지와 수계 환경의 변화에 대한 이해를 위한 연구는 반드시 필요할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 광주천에 서식하고 있는 조류 군집의 생태학적 특성을 밝히기 위하여 부유조류와 부착조류의 종 구성 및 계절적 분포, 상대 생물량의 월별 및 계절적 변동, 우점종의 동태, 그리고 그 군집구조의 동태 등을 파악하여 광주천의 생태계 변화를 비교·분석하는 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사 대상 하천

광주천은 무등산의 용추계곡을 흘러 제2수원지에 모였다가 주류가 되는 흐름에 무등산 서쪽의 여러 골짜기 물이 합쳐진 중심사천이 합류하여 광주시가지의 중심부를 흐르면서 동계천, 용봉천, 극락천 등의 지류와 만나 시의 서부지역인 유덕동에서 영산강으로 유입한다.

광주천 유역은 영산강 수계내 중·상류부 동쪽인 동경 126° 49' 46" ~ 127° 00' 17", 북위 35° 04' 10" ~ 35° 13' 06"에 위치하며 지방하천 11.8 km를 포함한 유로연장 22.8 km, 유역 면적은 106.47 km²이다. 본 연구를 위한 조사지점은 5개 지점으로 본류구간 4개지점, 중심사천 1개지점으로 되어 있다(Fig. 1).

2. 조사방법

1) 부유조류 조사

본 연구를 위한 채집과 이화학적 조사는 2003년 4월부터 2004년 2월까지 2개월마다 1~2회씩 실시하였다.

부유조류의 종조성을 파악하기 위하여 부유 조류는 재료수 1 L를 채수하여 Lugol's Iodine solution으로 고정된 후 24시간 이상 암소에 정치하여 침전시킨 뒤 상등액 900 mL를 siphon으로 제거하고 남은 100 mL의 재료수를 잘 교반하여 slide glass에 적하한 후 400배와 800배의 현미경하에서 종을 동정하였다.

부유조류 현존량(standing crop) 조사는 재료수 10 mL를 settling chamber에 부어 24시간 동안 침전시킨 후 Inverted microscope(CK400-F200, Olympus)과 light micro-

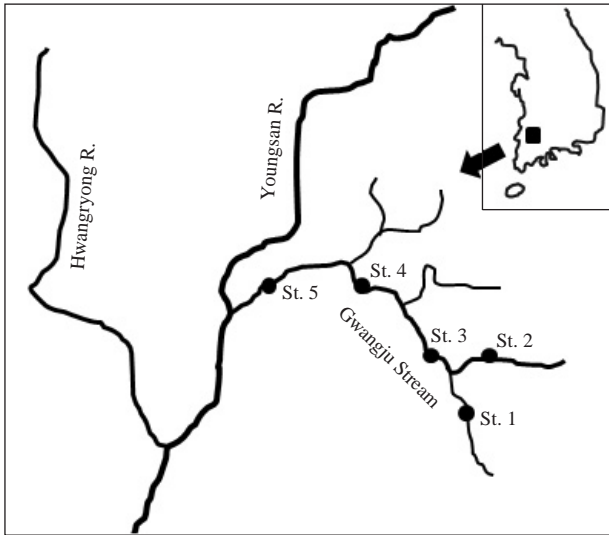


Fig. 1. The map showing the studied sites in Gwangju Stream. St. 1: Dongsan Tower, St. 2: Jeungsimsa, St. 3: Bangrimgyo, St. 4: Yangdong Market, St. 5: Yuchongyo.

scope (Axiolab, Zeiss)에서 200배와 400배의 배율하에서 대각선으로 20~40 fields를 계수한 후 mL당 전체의 개체수로 환산하였다 (Utermöhl, 1957). 개체수가 적은 지점에서는 조류종 동정을 위해 농축한 시료 2mL를 Sedge-wick-Rafter Chamber에 넣어 잘 퍼지게 한 후 계수하였다. 현존량이 전체 출현종의 10% 이상을 차지하거나 가장 높은 빈도로 출현하는 종을 우점종으로 하였다.

2) 부착 조류 조사

부착 조류 시료 채집은 수중에 존재하는 돌 중 수심 10~30 cm에 있는 지름 5~10 cm의 정도의 돌을 수 개 선정하여 일정한 면적의 편평한 부분을 연한 칫솔로 긁어 모으고 증류수로 최종 부피가 50 mL가 되게 한 후 동정과 상대 출현빈도, 개체수 산정 등의 시료로 사용하였다.

3) Chlorophyll a 조사

Chlorophyll a의 농도를 측정하기 위한 시료 500 mL를 0.45 µm membrane filter로 여과한 다음 건조, 보관 후 filter를 screw capped tube에 넣고 90% Acetone 10 mL를 넣어 4°C의 암소에서 24시간 정도 용출하였다 (Wetzel and Likens, 2000). 용출 시료를 4,000 rpm에서 10분간 원심분리 한 후 상등액의 일부를 취하여 cuvette에 옮겨 검액으로 하였다. 검액은 UV-Visible Spectrophotometer에서 663 nm, 645 nm, 750 nm, 630 nm, 665 nm에서 Optical density를 측정하여 chlorophyll a 농도를 계산하였다.

4) 기후요인 조사방법

기후요인은 광주지방의 일기상통계표(광주지방 기상

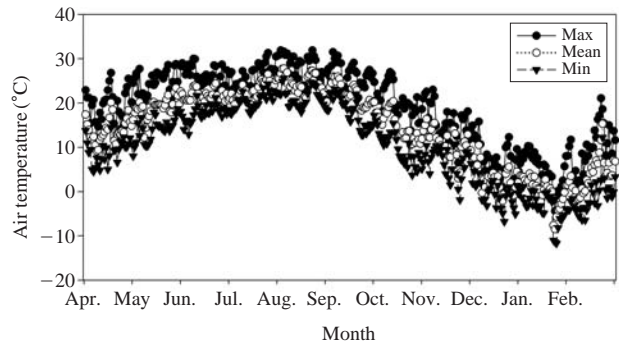


Fig. 2. Variation of air temperature at Gwangju city from May 2003 to February 2004.

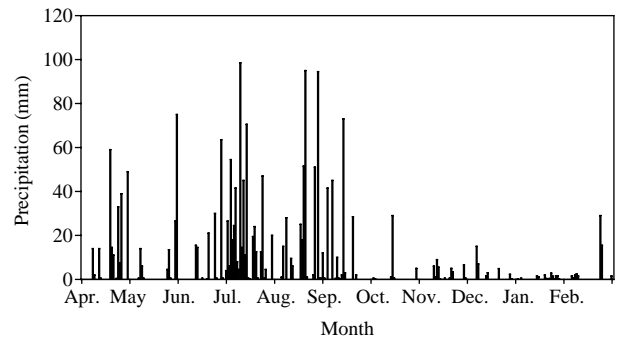


Fig. 3. Precipitation in Gwangju city from April 2003 to February 2004.

청, 2003~2004)를 이용하여 최고, 평균 및 최저 기온(Air temperature), 강수량(Precipitation)의 항목을 조사하였다.

5) 영양염류 조사

영양염류 조사를 위한 시료는 냉동 운반한 후 수소는 농도(pH), 용존산소량(DO), BOD, COD TN, TP의 각 항목을 Parsons *et al.* (1984)이 제시한 방법과 공정시험법(1992)에 따라 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 기상요인

조사기간 동안 광주지역의 월 평균 기온은 -4~26.5 °C의 범위로 나타났다(Fig. 2). 월평균 최고 기온은 7월에 나타났고 1월에 가장 낮았다.

강수량은 14.0(2004년 1월)~564.9 mm(2003년 7월)이었다(Fig. 3). 전체적으로 몬순기후지역에 위치한 특성상 하계의 집중 강우가 뚜렷하였는데, 이와 같은 강우 패턴은 광주천의 수서생태계 특성에 중요한 조절요인이

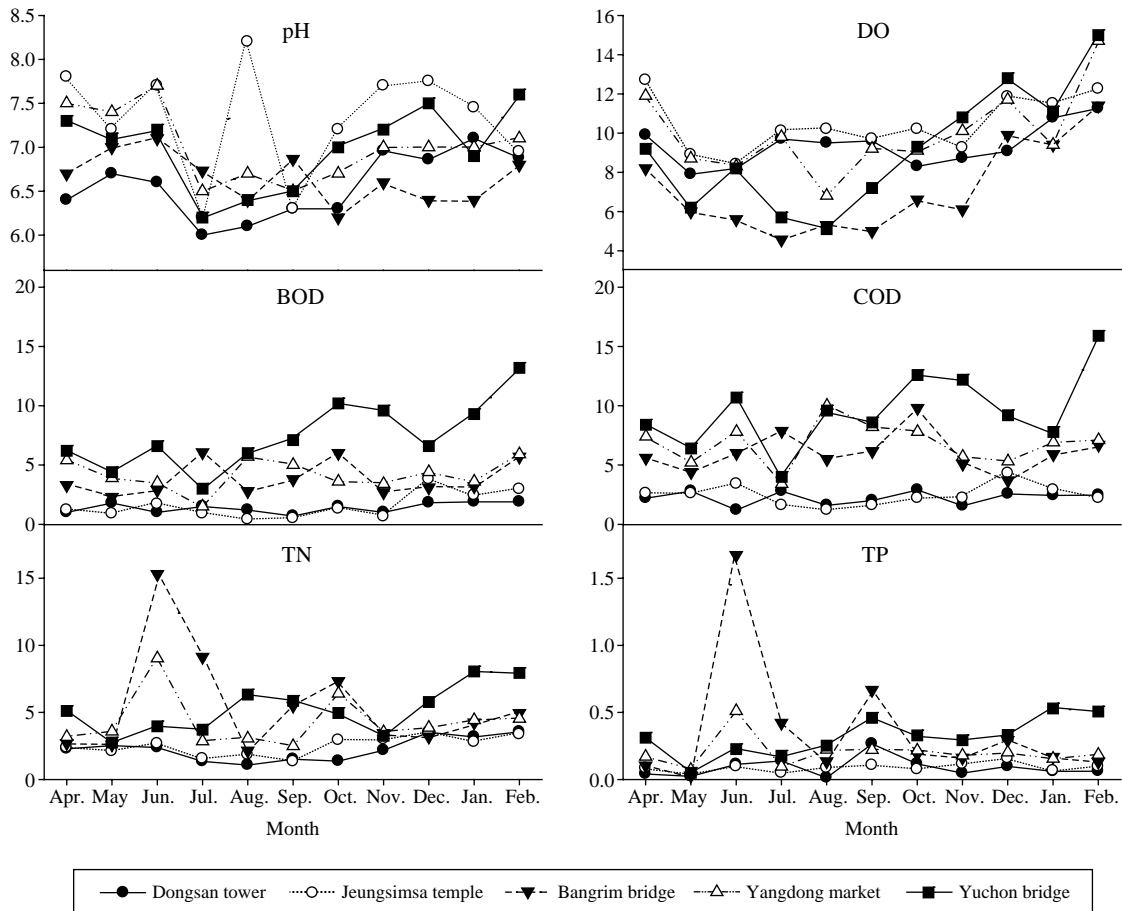


Fig. 4. Monthly variations of physico-chemical factors in Gwangju Stream from April 2003 to February 2004.

될 것으로 예상되었다.

2. 이화학적 요인

pH는 6.0(2003년 7월 정점 1)~8.2(2003년 8월 정점 2)의 범위로 분포하였으며 평균 6.84로 거의 중성을 나타내었다(Fig. 4).

DO는 4.6(2003년 7월 정점 3)~15.0 mg L⁻¹(2004년 2월 정점 5)로 분포하였고, 평균 9.15 mg L⁻¹였으며, 상류에 해당하는 정점 1, 2에서는 4월에는 높았으나 5월이 되면서 낮아진 뒤 6월부터 다시 높아져 여름철에는 비교적 높은 수치인 10 mg L⁻¹ 범위를 유지하였고 9월 이후 더욱 높은 수준으로 올라갔다(Fig. 4). 그러나 하류로 내려갈수록(정점 3, 4, 5) 여름철로 접어드는 6월부터는 점점 낮아지다 8월에 최저의 농도를 나타낸 뒤 9월 이후 점점 증가하는 양상을 보였다.

BOD 농도는 0.40(2003년 8월 정점 2)~13.20 mg L⁻¹(2004년 2월 정점 5)로 분포하였으며 평균 4.14 mg L⁻¹이었다(Fig. 4). 월별 평균 BOD는 1.73(2003년 7월)~8.27

mg L⁻¹(2004년 2월)이었다. 정점별 비교에서는 정점 1과 2는 낮은 수준을 유지하였지만 광주천 하류에 해당하는 정점 5의 경우는 높은 값을 유지하였으며 9월부터 10월 까지 상승하다 11월에 잠시 낮아졌으나 2월에 다시 큰 폭으로 상승하였다.

COD는 1.20(2003년 8월 정점 2)~15.90 mg L⁻¹(2003년 2월 정점 5)로 분포하고 평균 농도는 6.05 mg L⁻¹이었다(Fig. 4). 월 평균 COD는 2.95(2003년 7월)~9.90 mg L⁻¹(2004년 2월)이었으며 하반기(10월~2월)에는 상반기보다 높은 값을 유지하였고, 정점별로는 정점 1과 2는 2.17과 2.21로 비슷하게 낮은 수치를 나타냈지만 정점 3에서 5로 갈수록 점점 높아지는 경향을 보였다. 전체적으로 BOD와 비슷한 양상이었다.

TN은 1.072(2003년 8월 정점 1)~15.313 mg L⁻¹(2003년 6월 정점 3)의 범위였고, 평균 농도는 4.02 mg L⁻¹였으며, 월 평균 2.362(2003년 7월)~6.672 mg L⁻¹(2003년 6월)로 나타났고, 정점별로는 정점 1, 정점 2, 정점 4, 정점 3, 정점 5 순이었다(Fig. 4). 4월에 증가한 TN은 6월

Table 1. Taxonomic composition of algae in Gwangju Stream

Class	Order	Suborder	Family	Subfamily	Genus	Species
Cyanophyceae	3	2	4		8	20
Chrypsophyceae	2		2		2	3
Bacillariophyceae	2	3	7		23	127
Xanthophyceae	1		1		1	1
Rhodophyceae	2		2		2	2
Dinophyceae	3		3		3	4
Euglenophyceae	1	1	1		4	12
Chlorophyceae	5		15	4	36	105
Total number	19	6	35	4	79	274

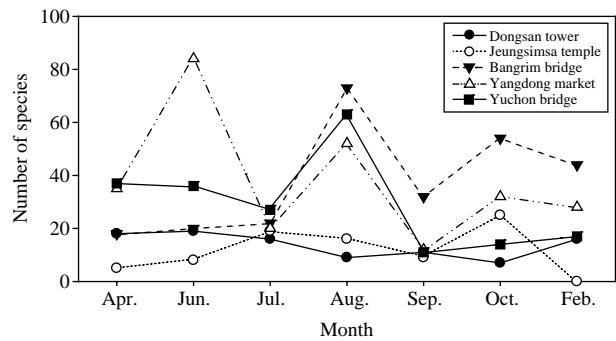
에 최대값을 보인 뒤 7월까지 감소하고 여름철에 낮은 후 다시 겨울철에 상승하였다. 특히 정점 3에서는 6월에 15.313 mg L⁻¹로 가장 높은 값을 보였다.

TP는 0.012(2003년 8월 정점 1)~1.673 mg L⁻¹(2003년 6월 정점 3)의 분포를 보였고 평균 농도는 0.22 mg L⁻¹이었으며 월 평균 0.04(2003년 5월)~0.52 mg L⁻¹(2003년 6월)이었다(Fig. 4). TP의 농도는 대부분 정점에서 5월에서 6월에 증가한 뒤 이후 감소하여 0.5 mg L⁻¹ 이하의 범위를 나타냈으나 정점 5의 경우만 겨울철에도 증가하여 높은 농도를 나타냈다.

3. 조류 분포의 특성

광주천에서 조사기간(2003년 4월~2004년 2월)에 출현한 부유 및 부착 식물플랑크톤은 총 8강 19목 6아목 35과 4아과 79속 274종으로 분류되었는데(Table 1), 1년간의 조사 결과로는 매우 다양한 종조성을 보인 것으로 판단된다(영산강수질검사소 2000, 2001; Kalff 2002). 본 조사에서는 출현빈도가 극히 낮고 분류학적 판정이 어려운 분류군은 출현종 목록에서 보류시켰기 때문에 전체 출현종 수는 이보다 많을 것으로 예상된다. 또한 green coccoids는 지점에 따라 우점종이 되기도 하였으나 이 표에는 포함시키지 않고 전체 개체수에는 포함시켰다. 식물플랑크톤의 군집 구조는 규조류, 녹조류, 남조류 등이 주를 이루고 있었는데, 이는 광주천이 일반적인 담수 환경에서의 조류분포 특성(Horne and Goldman 1994; Kalff 2002)과 다르지 않다는 것을 의미한다.

본 조사기간 동안 전체 조사지역에 출현한 광주천의 보편 부유조류 종은 *Achnanthes brevipes* var. *intermedia*, *Achnanthes exigua*, *Chlamydomonas* sp., *Chlorella* sp., *Cocconeis* sp., *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella stelligera*, *Cymbella ventricosa*, *Fragilaria construens*, *Gomphonema olivaceum*, green coccoids, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula pupula*, *Navicula* sp., *Nitzschia kutzingiana*, *Nitzschia palea*, *Phormid-*

**Fig. 5.** Distributions of species numbers of phytoplankton in Gwangju Stream.

ium sp., *Synedra ulna*로 총 20종이었다. 이들은 대부분 규조류(16종)였으며 녹조류(3종)와 남조류(1종)는 많지 않았다. 부유종으로 조사된 종의 대부분은 부착성의 종이었는데, 이는 광주천의 부유조류가 물리적 자극에 의해 부착조류가 탈리되어 형성된 것임을 의미한다(Wetzel 1999).

부착조류로서 분포가 보편적인 종은 *Achnanthes brevipes* var. *intermedia*, *Achnanthes exigua*, *Achnanthes hungarica*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Cocconeis placentula* var. *klinoraphis*, *Cyclotella stelligera*, *Cymbella affinis*, *Cymbella minuta* var. *silesiaca*, *Fragilaria construens*, *Fragilaria rumpens*, *Gomphonema olivaceum*, *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema pseudoaugur*, *Gomphonema quadripunctatum*, *Melosira varians*, *Meridion circulare* var. *constrictum*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula pupula*, *Navicula viridula* var. *rostellata*, *Nitzschia frustulum* var. *perpucilla*, *Nitzschia kutzingiana*, *Nitzschia palea*, *Surirella angusta*, *Synechocystis aquatilis*, *Synedra ulna*로 총 26종이었는데 *Synechocystis aquatilis*를 제외하고 모두 규조류였고, 녹조류는 한 종도 보편종으로 나타나지 않았다.

부유조류의 분포양상은 상류에 해당하는 정점 1에서

는 4, 6월에 가장 많은 18, 19종을 나타냈고 8, 9월에 9종, 10월에 7종이 조사되어 여름에 출현종 수가 증가한 다른 지점들과는 다른 양상을 보여주었다(Fig. 5).

증심사 정점에서는 10월에 25종으로 가장 많은 종을 나타냈는데 이는 규조류 다양성의 급격한 증가 때문이었다. 방림교 정점에서는 봄철을 제외한 8, 9, 10, 2월에 74, 32, 55, 44종으로 높은 다양성을 보였으며 8월에는 전분류군의 출현종 수가 증가하였다. 양동시장 정점은 6월에 84종으로 전체 출현종 수 중 가장 높은 다양성을 나타냈는데 이 때 규조류가 52종으로 대부분을 차지하였다. 조사정점 중 가장 하류에 해당하는 유촌교 정점에서는 계절에 따른 뚜렷한 출현종의 변화가 관찰되었다. 4월엔 녹조류의 다양도가 가장 높았으나 6월엔 규조류가 더 높게 나타났고 다시 8월엔 녹조류가 최고의 다양도를 나타냈다. 9월 이후엔 규조류가 가장 높은 다양도를 나타냈다.

월별 출현종 분포현황에서 가장 큰 폭의 변화를 보이는 지점은 양동시장 정점으로 최대 84종(2003년 6월)과 최소 12종(2003년 9월)으로 그 편차는 72종이었으며 거의 변화가 없었던 지점은 동산타워 정점으로 최대 19종(2003년 6월)과 최소 7종(2003년 10월)으로 12종의 편차를 나타냈다. 출현종 수는 계절에 따라 뚜렷한 변화의 양상을 나타냈는데 평년에 비해 비가 자주 내렸던 4월과 6월(봄)에 대부분의 지점에서 40종 이하의 낮은 다양도를 나타냈고, 강우가 집중되었던 7월(장마철)에는 출현종 수가 가장 적었다가 8월에(여름) 출현종 수가 급격히 증가하여 가장 많은 출현종 수를 보였고 9월(가을)에 다시 감소하였다가 강수량이 적었던 10월에 다시 약간 증가한 뒤 기온이 낮은 2004년 2월(겨울)에 약간 감소한 다양도를 나타냈다. 이는 광주천이 부영양의 온대 수역에서 나타나는 전형적인 종 다양성의 변화 양상과는 약간의 차이를 보이는데(Reynolds 1986; Wetzel 1999), 이는 강우에 의한 씻김효과 때문인 것으로 보인다. 씻김효과는 규모가 큰 강에서는 종수와 개체수의 증가를 유도하기도 하지만 소규모 하천에서는 감소시키는 효과가 있다.

지점별 총출현종 수는, 방림교와 양동시장 정점에서 총 137종이 채집되어 가장 다양한 부유조류 분포를 나타냈고, 유촌교 정점에서 118종이 출현하였다. 상류에 해당하는 동산타워 정점에서는 50종이 출현하였으며, 증심사 정점에서는 43종이 출현하였는데, 2003년 4월부터 2004년 2월까지 조사에서 총출현종 수로는 증심사 정점이 가장 적었다.

부착조류의 출현종수는 조사시기에 따라 큰 폭으로 변동하였다(Fig. 6). 증심사 정점에서 6월의 31종에서 2월

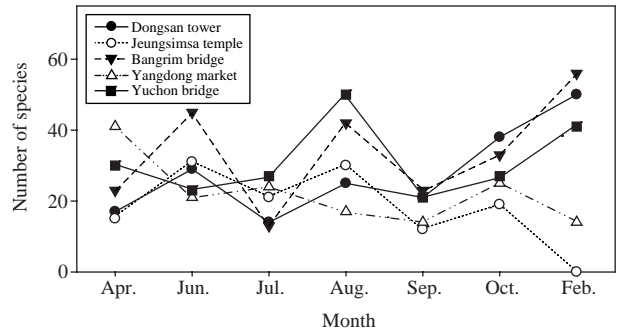


Fig. 6. Distributions of species numbers of periphyton in Gwangju Stream.

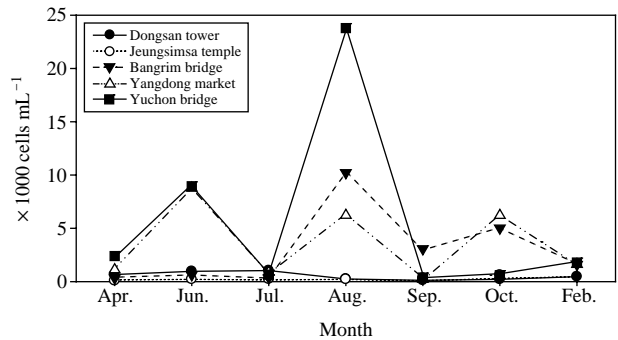


Fig. 7. Variations of total phytoplankton cells in Gwangju Stream.

의 2종까지 변동하였고, 방림교 정점에서는 2월의 56종에서 6월의 12종 사이의 분포를 보여주었으며, 양동시장 정점에서는 4월의 41종에서 9월의 13종의 범위를 보여주었다.

정점별 부착 조류의 출현종 분포는, 유촌교 정점이 106종으로 가장 많았고, 방림교, 동산타워, 양동시장, 그리고 증심사 정점의 순이었다.

조사기간 동안 최대의 부유조류 출현 개체수는 유촌교 정점에서 8월에 23,792 cells mL⁻¹을 기록하였고, 최저는 증심사에서 4월에 82 cells mL⁻¹로 나타났다(Fig. 7).

동산타워 정점에서는 1,034 cells mL⁻¹(7월)에서 121 cells mL⁻¹(9월)의 범위로 나타났고, 증심사 정점에서 최고는 621 cells mL⁻¹(10월)에서 82 cells mL⁻¹(4월)의 범위를 보여주었으며, 방림교 정점에서는 10,218 cells mL⁻¹(8월)에서 330 cells mL⁻¹(4월)의 범위로 변동하였다. 양동시장 정점은 8,768 cells mL⁻¹(6월)에서 224 cells mL⁻¹(9월), 유촌교 정점은 23,792 cells mL⁻¹(8월)에 381 cells mL⁻¹(9월)로 변동하였다. 월별로는 각 지점에서 6월, 8월, 10월에 개체수가 증가하는 경향을 보였다. 출현 개체수 분포가 우리나라를 비롯한 온대 수역의 일반적인 경향인 춘계의 peak와 추계의 또 다른 peak에다 하계의 최대 peak

가 나타난 것은 광주천에서 여름(8월)에 녹조류가 다수 출현했기 때문이었다.

부착 조류의 분류군별 출현비에서는 전 조사기간 동안 부유조류와 마찬가지로 규조류가 가장 높은 비율을 차지하였다. 특히, 규조류는 2004년 2월 양동시장 정점에서 전체 출현종의 100%를 차지하기도 하였고, 7월과 2월의 동산타워 정점, 4월의 방림교 정점, 8월의 양동시장 정점과 4월의 유촌교 정점의 경우는 95% 이상에 달하기도 하였다.

각 지점에서의 전체 출현 개체수에 대한 분류군들의 양상을 구체적으로 살펴보면, 동산타워 정점에서는 전 기간 동안 80% 이상을 규조류가 차지하였으나 녹조류가 증가한 8월과 10월엔 약간 감소하는 경향을 보였고 남조류는 4월과 9월에 잠시 출현하였다. 특히 6월, 7월, 2월은 규조류가 90%가 넘었는데 이때 나타난 주요종은 6월과 7월에는 *Melosira varians*가 55.8%와 41.2%를 차지하였고 2월에는 *Fragilaria construens*가 44.1%를 차지하였다. 중심사 정점에서는 4월부터 6월까지 남조류의 증가와 기타조류의 출현 상대비가 높아져 규조류의 상대비는 약 50%로 다른 지점에 비해 비교적 낮았지만 6월 초부터 증가하기 시작하여 8월에 90%까지 높아진 후 9월엔 93%에 이르렀으나 점점 감소하였다. 남조류는 규조류와 반대되는 경향을 나타냈는데 규조류가 급격히 증가한 6월에 최고의 점유율을 보이다 규조류가 높은 점유율을 차지하는 기간 동안은 감소하였으며 규조류가 감소되는 9월 시점부터 남조류는 증가하는 경향을 나타냈다. 녹조류는 전체 기간 동안 전체 출현 개체수의 10% 이하로 낮은 점유율을 나타냈다. 규조류가 93.2%를 차지한 9월에 나타난 주요종은 *Achnanthes lanceolata*로 전체의 47.5%를 차지하였고 남조류의 비율이 가장 높았던 6월에는 *Oscillatoria formosa*가 전체 37.5% 중 21.5%를 차지한 주요종으로 나타났다. 방림교 정점에서의 출현종들에 대한 상대비는 규조류가 4월에 99.8%로 우점하였으나 녹조류가 점점 증가하기 시작하면서 규조류의 비율은 감소하기 시작하였다. 규조류는 9월에 83.5%로 높아진 후 10월에 약간 감소하였으나 다시 증가하였다. 규조류와 반대의 패턴을 보인 녹조류는 규조류가 우점하는 시기인 4월, 9월, 2월에는 낮은 비율을 보였으나 6~8월과 10월엔 높은 상대비를 기록하였다. 남조류는 6월~9월까지 10% 내외를 기록하였으나 그 이후엔 점점 낮아졌다. 규조류가 거의 100%에 달했던 4월 26일에 주요종은 *Fragilaria construens*로 33.5%를 차지하였고 *Nitzschia palea*가 27.7%, *Nitzschia amphibia*가 23%를 차지하였다. 양동시장 정점은 대부분의 기간에 규조류가 75% 이상의 상대비로 우점하였는데, 녹조류가 17%로 증

가한 6월엔 조금 감소(-4%)하여 79.8%를 기록하였고 남조류가 75%로 우점한 10월엔 급격히 감소하여 18%에 불과하였다. 그러나 그 후 다시 급속히 증가하여 2004년 2월에 100%를 차지하였다. 녹조류는 방림교 정점과 비슷한 양상으로 규조류가 우점하는 시기인 7월, 8월, 2월엔 낮은 상대비를 나타냈으며 남조류가 우점한 10월엔 그 영향으로 8%의 비율을 보인 뒤 점점 감소하였다. 방림교 정점에서 특이적인 양상은 10월에 규조류와 남조류의 상대적인 비율의 반전이다. 즉, 조사한 전 지점과 전 기간 동안에 약 70%를 넘는 높은 우점율을 보였던 규조류가 17.8%로 감소되고 이에 반해 1~8%의 비율을 보이던 남조류가 74.7%까지 증가한 점이다. 이때 출현한 주요 남조류로 *Phormidium* sp.가 52.7%, *Oscillatoria* sp.가 22%를 차지하였다. 7월과 8월 및 2월에 90%가 넘었던 규조류의 주요 종은 7월에는 *Nitzschia palea*가 32.6%였고, 8월에는 *Fragilaria construens*가 33.1%였으며 규조류가 100%였던 2004년 2월엔 *Navicula cryptotenella*가 68.4%에 달하였다. 유촌교 정점의 부착조류의 점유율은 규조류가 4월에 97%로 높은 비율을 기록하였으나 점점 감소하여 8월엔 8%로 급락하였는데 이는 기타조류의 우점때문이었다. 규조류가 9월에 다시 80%까지 상승하였지만 남조류의 증가로 2004년 2월까지 약 50%를 차지하는데 그쳤다. 녹조류는 4~10월까지 3~15%의 범위에서 변동하였으나 10월부터 점점 감소하였다. 유촌교 정점에서 특이적인 사항은 다른 지점과 다른 기타 조류의 우점인데, 전 조사기간 동안 거의 출현하지 않던 기타조류가 8월에만 61.2%의 우점율을 보였다는 점이다. 남조류는 4월엔 출현하지 않다가 점점 증가하여 6월엔 25%에 이르러 규조류의 우점율을 낮추게 하였고 8월엔 기타조류의 출현으로 9.6%까지 낮아졌으나 다시 증가하기 시작하여 2004년 2월엔 50%로 규조류(45%)보다 우점하였다. 4월에 97.2%였던 규조류의 주요종은 *Nitzschia palea*로 73.5%였고, 8월에 급격히 증가하였던 기타조류의 주요종은 *Peridinium tubulatum*으로 61.2%였으며 2004년 2월에 높았던 남조류의 주요종은 *Pleurocapsa minor*로 36.5%를 차지하였다.

각 지점에서 주요 우점분류군은 동산타워 정점에서는 6월 조사 때까지 규조류가 절대 우점 분류군이었으나 7월에는 *Oscillatoria ivanoffiana*의 성장으로 인해 남조류가 우점하였고, 8월과 9월에는 녹조류가 우점하였으나 10월엔 규조류와 남조류가 우점하였고 2004년 2월엔 규조류가 최우점 분류군으로 나타났다. 중심사 정점에서도 규조류가 6월을 제외한 조사기간 동안 전반적으로 우점하였고 특히 10월에는 85%에 달하는 높은 우점도를 나타냈다. 남조류는 4월에 규조류(59%) 다음의 우점도(41%)

Table 2. Correlation coefficient between physicochemical parameters and cell density of phytoplankton in Gwangju Stream

	Dongsan tower	Jeungsimsa temple	Bangrim bridge	Yangdong market	Yuchon bridge
Rain 3-days ago	0.545	-0.288	-0.417	-0.432	-0.356
Rain 7-days ago	0.810*	-0.638	-0.652	-0.348	-0.259
Temp.	0.008	-0.384	0.312	0.171	0.440
Humidity	0.129	-0.113	-0.139	-0.651	-0.308
chl- <i>a</i>	0.541	0.937	0.768*	0.826*	0.943**
pH	0.015	-0.275	-0.649	0.368	-0.258
SS	0.190	-0.377	0.479	-0.655	-0.157
DO	-0.085	-0.318	-0.248	-0.574	-0.432
BOD	0.112	0.076	-0.252	-0.091	-0.218
COD	-0.088	-0.124	-0.031	0.461	0.009
TN	0.224	0.337	-0.467	0.796*	0.153
TP	-0.155	-0.045	-0.346	0.760*	-0.367

* $p < 0.01$, ** $p < 0.05$

를 나타냈는데, 6월에는 61%로 가장 우점하였으며 이때 녹조류도 36%를 차지해 규조류(8%)보다 더 높은 우점도를 보였다. 6월부터 8월까지의 녹조류가 제2의 우점을 유지하지만 9월부터는 여름철에 사라졌던 남조류가 증가하여 두 번째 우점분류군이 되었다. 방림교 정점에서는 10월의 조사 때를 제외하면 규조류의 우점도가 높지 않았고, 8월에는 녹조류(40%)가 우점하였으나 규조류(32%), 남조류(24%)와 큰 차이를 보이지 않다가 9월엔 *Oscillatoria* sp.의 성장으로 남조류(78%)가 규조류(13%)와 녹조류(8%)보다 더 높은 우점도를 나타냈다. 10월 이후엔 규조류가 최우점 분류군으로 나타났다. 양동시장 정점에서는 규조류가 6월(97%)과 10월(70%)에 절대 우점하였으나 대다수 분류군들의 개체수가 큰 폭으로 감소한 7월에는 남조류가 우점하였으며 8월에는 녹조류가 우점하였고 출현 종들의 개체수가 두 번째로 감소한 9월부터는 다시 규조류가 우점하였다. 유촌교 수역에서는 본 조사기간 동안 두 번의 peak가 나타났는데 하나는 6월로 녹조류의 우점에 의한 것이었고, 또 하나는 8월로 가장 많은 개체수(23,792 cells)가 조사되었던 peak로 이 역시 녹조류의 우점과 다른 분류군들의 개체수 증가에 의한 것이었다. 10월에도 녹조류가 우점하였다. 규조류는 녹조류가 우점하지 않았던 4, 7, 9, 2월에 우점하였는데 4월엔 93%로 매우 높은 우점 분류군이 되었다.

광주천 조류의 성장과 관련한 요인들의 상관성 분석에서 조류의 총 개체수와 가장 높은 상관성을 보인 요소는 클로로필 *a* (평균 $R=0.795$)의 농도로 나타났다(Table 2). 이것은 조류의 성장의 한 표현이 클로로필 *a*의 농도이기 때문이다(Shubert 1984; Sze 1998; Graham and Wilcox 2009).

조류 성장에 중요한 영양염류인 TN($R=0.796$)과 TP($R=0.760$)도 양동시장 정점에서 상관관계가 높은 것으로 나타났으며, 기상요인으로는 7일전 강우가 총 개체수

와 상관성이 비교적 높게 나타났는데 광주천의 상류인 동산타워 정점에서 $R=0.810$ 으로 나타났다. 기온, 습도는 조류의 개체수와 거의 상관관계를 보이지 않았고, BOD와 COD, DO, PH, SS도 낮은 상관관계를 나타냈다.

요인별로 구체적인 상관성을 살펴보면, 3일 전 강우는 거의 상관관계를 보이지 않았으며 일부 지점에서는 음의 상관도를 나타냈다. 7일전 강우는 동산타워 정점에서 가장 높은 상관관계를 보였으며 증심사와 방림교 정점에서는 높은 음의 상관관계를 보였다. 이것은 상류 지역 일수록 강우에 총 개체수가 더 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다는 사실(Lampert and Sommer 1997; Wetzel 1999)과 차이가 있음을 의미한다. 기온과 습도는 식물플랑크톤 세포수와 상관도가 거의 없었고, BOD와 COD, DO와 pH도 매우 낮은 상관도를 나타냈다. 조류 자체가 구성성분이 되는 SS는 일부 지점에서는 높게 나왔으나 유촌교와 동산타워지점에서는 매우 낮았다.

본 조사를 통해 광주천은 조류의 분포에 근거한 수환경 분석에서 다양한 종을 수용하는 비교적 양호한 상태인 것으로 나타났다. 그러나 광주천이 좀 더 깨끗하고 쾌적한 환경의 도심자연형 하천이 되기 위해서는 수질관리를 통해 탁도와 유기물의 농도를 높이는 요인을 제거하는 방안을 강구해야 할 것으로 판단된다. 또한 장기적인 생물상의 모니터링을 통해 수환경 변화의 동태를 파악해야 할 것이다.

적 요

광주천의 5개 지점에서 2003년 4월부터 2004년 2월 까지 부유 및 부착 조류를 조사한 결과 총 8강 19목 6아목 35과 4아과 79속 274종이 동정되었다. 군집 구조는 규조류가 절대우점하는 가운데, 녹조류와 남조류 등

이 포함된 다양한 종조성을 나타냈다. 조사기간 동안 부유조류는 방림교정점과 양동시장정점에서 총 137종이 채집되어 가장 다양한 부유조류 분포를 나타냈고, 유촌교정점에서 118종이 출현하였으며 동산타워정점에서는 50종이, 증심천정점에서는 43종이 출현하였다. 월별 출현종 변화는 양동시장정점에서 가장 컸고 동산타워정점에서 가장 작았으며 강우가 출현종 변이의 큰 요인이었다. 부착조류도 구조류가 가장 높은 비율을 차지하였다. 광주천 조류의 성장에 영향을 미치는 요인의 분석에서 조류의 총 개체수와 상관성을 가장 크게 보인 요소는 클로로필 *a* (평균: $R=0.795$)의 농도인 것으로 나타났다. 조류 성장에 중요한 영양염류인 TN과 TP도 양동시장정점에서 상관성이 높은 것으로 나타났으며, 기상요인으로는 7일 전 강우와 총 개체수 사이에 비교적 높은 상관성이 나타났는데 광주천의 상류인 동산타워정점에서 $R=0.810$ 의 상관도를 기록하였다. 기온과 습도는 거의 상관관계를 보이지 않았고, BOD와 COD, DO, pH의 경우도 미미한 상관관계를 나타냈다. 총 개체수에 영향을 미치는 여러 가지 요인들에 대한 상관관계를 지점별로 살펴보면, 동산타워정점에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 조사시점의 7일 전 강우로 상류에서 하류로 갈수록 그 영향력이 감소되었다. 클로로필 *a*의 농도와 개체수의 상관성은 개체수가 점차로 증가하는 하류에서 그 상관성이 높았으며, 이 두 가지 요인을 제외한 나머지 pH, DO, BOD, COD, SS, TN, TP 등은 모두 가장 하류인 유촌교정점에서보다 양동시장정점에서 더 높은 상관관계를 나타냈다.

참 고 문 헌

- 공정시험법. 1992. 수질오염 · 폐기물 · 토양오염. 공정시험방법. 동화기술. p. 669.
- 국립환경연구원. 영산강수질검사소. 2000. 주암호 기초생산성 및 동 · 식물플랑크톤 연구. p. 124.
- 국립환경연구원. 영산강수질검사소. 2001. 영산강수계 상수원 수질조사. p. 237.
- 김광용, 최철일. 1988. 영산호의 식물플랑크톤 현조량. 한국조류학회지. 3:183-192.
- 김명운, 김민호, 조장천, 김상중. 1995. Cyanobacteria의 증식에 따른 대청호 생태계내의 생물군집 변화. 한국육수학회지. 28:1-9.
- 김백호, 최지영, 황순진, 한명수. 2004. 몇가지 영양염 결핍이 팔당댐의 식물플랑크톤군집에 미치는 영향. 한국육수학회지. 37:47-56.
- 김용재. 1998. 팔당댐호의 식물플랑크톤 군집의 생태적 특성. 한국육수학회지. 31:225-234.
- 김용재, 이정호. 1996. 낙동강 수계의 6개 댐호의 식물 플랑크톤 군집구조 비교. 한국육수학회지. 29:347-362.
- 김용준, 이재성, 이수원, 박완철. 2002. 아질산성질소 측정용 FIA의 제작 및 용용에 관한 연구(광주광역시 광주천 시료를 대상으로). 수질보전. 18:283-291.
- 김종일, 양해근. 2004. 도시화에 수반되는 광주천 유역의 물수지 변화. 한국지역지리학회지. 10:192-106.
- 김주용, 고영구, 정철환, 오강호, 문정준, 유경아. 1999. 광주부근 영산강과 광주천의 하상퇴적물의 중금속 오염. 한국지구과학회지. 20:96-101.
- 김철수, 박경양, 송태곤. 1987. 영산호 수질의 이화학적 특성. 목포대학교 연안환경연구소 연안환경연구. 4:109-117.
- 김호섭, 황순진. 2004. 부영양 저수지에서 식물플랑크톤 성장에 대한 제한영양염과 질소/인 비의 영향. 한국육수학회지. 37:37-46.
- 송인성. 1987. 광주시와 광주천정비. 도시문제. 22:40-53.
- 신재기, 조경제. 1999. 낙동강 하구에서 환경요인과 담수조류의 일변화. 한국육수학회지. 32:341-348.
- 오인혜. 1998. 대청호의 생태학적 연구('97). 한국육수학회지. 31:79-87.
- 위인선, 정미랑. 1990. 광주천 수계의 AGP(Algal Growth Potential)에 관한 연구 한국육수학회지. 23:289.
- 위인선, 주현수, 정미랑. 1994. 광주천 수계에 있어서의 AGP에 관한 연구. 환경생물. 12:125-137.
- 이 경, 윤숙경. 1999. 섬진강 중류 수역에 있어서 식물플랑크톤과 부착조류 군집의 계절적 변화. 한국육수학회지. 32: 319-330.
- 이 경, 윤숙경. 2002. 임진강 수계의 식물플랑크톤 군집의 계절적 변화. 한국육수학회지. 35:111-122.
- 이공범, 김용구, 박성천. 2004. 광주천의 하천유지유량의 유입수질농도 결정에 관한 연구. 수처리기술. 12:67-75.
- 이진환, 장 만. 1997. 한강하류의 환경학적 연구 II. 식물플랑크톤의 동태. 한국육수학회지. 30:193-202.
- 전승일, 조경제. 2004. 서낙동강에서 식물플랑크톤의 1차 생산성. 한국육수학회지. 37:57-63.
- 정영호, 심재형, 이민재. 1965. 한강의 Microflora에 관한 연구(제1보). 한강하류의 식물성 plankton과 해수의 영향. 한국식물학회지. 8:47-65.
- 정영호, 이옥민, 노경희. 1985. 금강 감조수역 식물성플랑크톤의 연간(1984~85) 동태. 자연보존연구보고서. 7:17-25.
- 한명수, 홍성수, 어윤열. 2002. 팔당호의 생태학적 연구 4. 경안천 하류의 영양염 및 입자태 유기물 거동과 식물플랑크톤의 천이. 한국육수학회지. 35:1-9.
- Barnes RSK and KH Mann. 1991. Fundamentals of Aquatic Ecology. Blackwell Scientific Publications. Oxford. U.K.
- Choi CI. 1988. Limnological studies of Lake Yongsan, Korea. II. Nutrient, Plant pigment contents and primary productivity of a newly formed lake in an estuary. Korean J. Limnol. 21:181-192.
- Choi CI, YH Chung, IS Wui, SK Baik, JB Lee and SI Yang.

1985. Limnological studies on Lake Yongsan, Korea. I. General consideration and some physical conditions of a newly formed lake in an estuary. *Korean J. Limnol.* 18:15-26.
- Descy JP. 1979. A new approach to water quality estimation using diatoms. *Nova Hedwigia.* 64:305-323.
- Graham LE and LW Wilcox. 2009. *Algae*. Prentice Hall, New York.
- Harper D. 1992. *Eutrophication of Freshwaters-Principles, Problems and Restoration*-Chapman and Hall. London. U.K.
- Horne AJ and CR Goldman. 1994. *Limnology*. 2nd Ed. McGraw-Hill, Inc. New York. U.S.A.
- Kalff J. 2002. *Limnology*. Prentice Hall, New Jersey.
- Lampert W and U Sommer. 1997. *Limnoecology-The Ecology of Lakes and Streams*-Oxford University Press. Oxford. U.K.
- Lee K and SK Yoon. 1996. A study on the phytoplankton in the Paldang Dam Reservoir. III. The changes of diatom community structure. *Algae* 11:277-283.
- Mun JJ, SW Lee, SJ Hwang and IH Oh. 2001. Seasonal fluctuation of chlorophyll *a* concentration in the size fractionation of phytoplankton in Daechung Reservoir. *Korean J. Limnol.* 34:277-284.
- Parsons TR, T Maita and CM Lalli. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, 489pp.
- Shim JH and JS Yang. 1982. The community structure and distribution of phytoplankton of the Kum River estuary. *J. Oceanol. Soc. Korea* 17:1-11.
- Shubert LE. 1984. *Algae as Ecological Indicators*. Academic Press. London. U.K.
- Sze P. 1998. *A Biology of the Algae*. 3rd Ed. WCB McGraw-Hill. Boston. U.S.A.
- Utermöhl H. 1957. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.* 9:1-38.
- Wetzel RG and GE Likens. 2000. *Limnological Analyses*. Springer. New York, U.S.A.
- Wetzel RG. 1999. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd Ed. Academic Press, San Diego. U.S.A.

Manuscript Received: March 26, 2010

Revision Accepted: April 25, 2010

Responsible Editor: Han Soon Kim