

탐진강댐 상류하천에서 수환경과 담수조류

신재기 · 조경제

인제대학교 환경시스템학부

Water Environment and Freshwater Algae in the Upstream of the Tamjin River Dam

Shin, Jae-Ki · Cho, Kyung-Je

School of Environmental Science and Engineering, Inje University

Abstract

Water environment and freshwater algae were studied in the upstream of the Tamjin River Dam. Among the environmental factors, DO concentration in the Tamjin River ranged from 9.0 mg O₂/l to 9.2 mg O₂/l, pH from 7.0 to 7.1 and conductivity from 98 μS/cm to 100 μS/cm. Average concentration of NH₄ and NO₃ ranged from 40 μg N/l to 56 μg N/l and from 489 μg N/l to 611 μg N/l, respectively. NO₃ was more plentiful above 9~15 fold than that of NH₄. Average concentrations of soluble reactive phosphorus and soluble reactive silicon were 2 μg P/l and 1.6 mg Si/l, respectively. Particularly, Si nutrient increased by heavy rain events during summer season. The ratios of N/P and Si/P ranged from 248 to 261 and from 640 to 740, respectively. It is assumed that P would be limiting nutrient on the freshwater algal growth. Average content of planktonic chlorophyll-a ranged from 5 μg/l to 13 μg/l. Mean contents of chlorophyll-a, phaeo-pigment and ash-free dry matter of periphyton were 50.3 mg/m², 11.9 mg/m², 11.5 g/m² in the main stream and 30.1 mg/m², 5.6 mg/m², 7.8 g/m² in the tributary. By comparison of the epilithon biomass, the main stream was higher with 1.5~2.1 fold than the tributary. The important algae were composed of diatom *Achnanthes linearis*, *A. minutissima*, *Fragilaria crotonensis*, *Gomphonema gracile*, *Tabellaria flocculosa* and blue-green algae *Microcystis aeruginosa*. In the relative abundance of the phytoplankton and epilithon, the serial dominance were diatom > green algae > blue-green algae, and diatoms were very abundant in comparison with other algal phylum.

Keyword: Tamjin River, Water quality, Phytoplankton, Periphyton

I. 서론

인공 저수지는 제한된 수자원을 생활, 농업, 공업, 발전 및 하천 유지유량 등 각종 용수를 포함하여 효율적이고 다목적으로 이용하기 위하여 개발되고 있다(Thornton, 1990). 하천은 댐건설로 인해 저수지화됨에 따라 수표면적, 수심 및 정체성의 증가 등 수문을 포함한 지형 변화를 가져오고, 유수(lotic)에서 정수(lentic)생태계로 전환되는 과정을 겪게된다(Thornton, 1990). 이러한 과정은 생태계의 구조와 기능적 변화를 초래할 뿐만 아니라 담수 후 춘계~추계에 수온, DO 성층화, 우기의 집중강우에 의한 탁수유입과 밀도류(density current) 형성 및 유입하천의 영향이 큰 상류(riverine zone)와 저수지의 하류(lacustrine zone)간에 영양염 농도 등 계절적 특성이 뚜렷한 차이를 보이게 된다(Cole and Hannan, 1990; Ford, 1990; Kennedy and Walker, 1990).

저수지는 만곡부 형성 등의 지형과 유역의 제반조건에 따라 수질오염의 전개양상이 다양하게 나타나고 있다. 현재까지는 수자원의 양적인 확보를 위하여 수량에 치중되어 왔으나, 부영양화로 인한 환경문제가 심화되어 최근 들어 수질관리에 대한 다각적인 노력이 기울여지고 있다(환경부, 1999). 담수 후 수질의 점진적인 악화는 여러 경우로 볼 수 있으나 강우의 계절적 편중에 의한 자연적인 요인과 점 또는 비점오염원의 영향이 큰 비중을 차지하고 있으며, 하수처리시설을 지속적으로 확충함에도 불구하고 수질 향상에 대한 기대효과는 매우 미흡한 실정에 있다(신 등, 1999; 신 등, 2000). 우리나라는 저수지를 중심으로 유역에 산재된 오염원의 대책 수립이 미흡하여 담수 후 수질의 오염도가 날로 증가하게 되고 그 양상은 규조류(가을~봄철)와 남조류(여름철)의 주요 식물플랑크톤 발생량 또는 그 수준과 밀접한 관련성을 보이고 있다(신 등, 1999).

소하천은 수심이 얇고 유속이 관찰되는 수환경

으로서 부유생물보다 부착생물의 미소생태계가 잘 발달되어 있다(Allan, 1995). 부착생물 중 다양한 기질을 이용하여 생물막을 형성하는 부착조류는 수중생태계에서 식물플랑크톤 및 수생식물과 더불어 주요한 유기물 생산자로서 먹이연쇄의 기반을 이루고 있으며 하천의 물질대사 측면에서 그 기여도가 지대하다(Bold and Wynne, 1985). 부착조류 중에서 소하천에 널리 분포하는 돌부착조류(epilithic algae)는 광합성의 광포화점이 높아 고광에도 잘 적응하는 생리생태적 특성을 보일 뿐만 아니라 수온, 초식생물의 섭식, 기질의 종류, 영양염, 유속 및 유량 등에 의해 생물량 증감의 계절적인 특성이 뚜렷하다(Allan, 1995; Bott, 1983; Hili et al., 1995; McIntire, 1968; Lamberti, 1993; Lamberti and Steinman, 1997). 식물은 수중에서 환경요인 중 생장에 요구되는 영양염이 풍부할수록 이용도가 높아져 그 영향이 생물량 유지에 지배적일 수 있다. 또한 부착조류는 수환경 변화에 대해 민감하고 기질에 장기간 부착함으로써 수질오염의 지표생물로 가치가 높아 육수생태학에서 하천의 건강성을 평가하는데 널리 활용되고 있다(Allan, 1995; Horne and Goldman, 1994; Watanabe, 1990).

국내의 경우, 저수지 개발 전·후에 실시된 기존의 생태계 조사에서 담수조류의 종조성과 분포 등 현황 파악에만 치중된 것이 많으나 수질을 포함한 환경생태학적 접근은 매우 미흡하였다(신, 1999a). 본 연구는 저수지의 담수 전에 수질과 담수조류를 중심으로 수환경을 평가하고 상호 관련성을 파악하여 담수 후 수질오염과 담수조류 전개양상을 가늠하는데 유용한 생태학적 자료로 활용하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

탐진강댐 상류하천은 전라남도 장흥군 유치면에 위치하고 있다(Fig. 1). 하천의 경사는 완만하

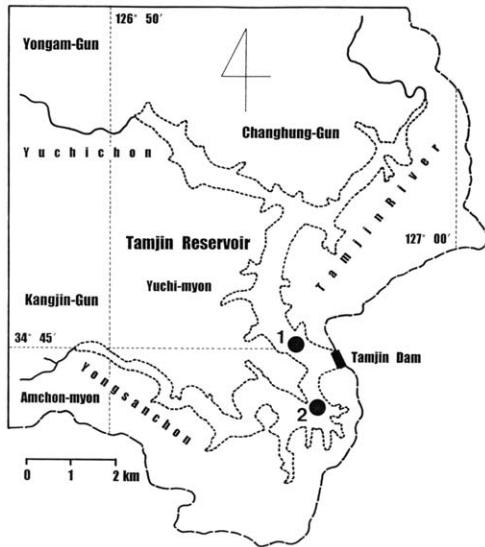


Fig. 1. Map showing sampling locations for the survey of water environment and freshwater algae in the Tamjin River Dam from April to August, 2000. Dotted line indicate a reservoir area after the dam construction.

고 하상은 돌과 자갈로 덮였으며 부착조류가 번무하는 전형적인 소하천이다. 조사지점의 유황은 전기와 우기에 따라 큰 차이를 보이지만 유수 폭이 18~31m, 깊이가 16~55cm 범위인 평지로서 여름철 우기를 제외하고는 비교적 유량이 적은 (< 0.5 m³/s) 우리나라에서 흔히 볼 수 있는 하천형이다.

본 연구는 탐진강댐 부근 상류하천의 본류(정점 1)와 영산천 지류(정점 2)의 각각 1개지점에서 월간격으로 수행하였다. 조사일시와 횟수는 2000년 4월 14일, 5월 6일, 6월 12일, 7월 9일 및 8월 6일로서 총 5회였다.

수환경 요인 중 무기 N·P 및 Si 영양염은 시료를 Whatman GF/F에 여과 후 Rump and Krist(1988)와 APHA(1992)의 방법에 따라 분석하였다. DIN(dissolved inorganic nitrogen)은 NH₄와 NO₃의 합으로 계산하였다. 담수조류 조사는 부유조류(phytoplankton)와 부착조류(epilithic algae)로 구분하였다. 부유조류는 시료 2를 Lugol 용액으

로 고정하여 1주일동안 침강시켜 농축시킨 후 S-R chamber를 이용하여 계수하였고 ml당 세포수로 정량하였다. 부착조류는 유속측정 지점 주변에서 2~3개의 평편한 돌 상부표면을 치솔로 깨끗이 긁어내어 정용하였다. 정용한 시료는 chl-a와 유기물(ash-free dry matter, AFDM) 함량을 정량하는데 사용하였고, 일부는 Lugol 용액과 formalin 용액으로 고정하여 조류를 검경하는데 이용하였다.

부유성 엽록소a(chl-a) 분석은 시료를 여과한 Whatman GF/F filter에 90% 에탄올을 첨가하여 비등추출하는 Nusch(1980)법으로, 부착성은 일정한 시료를 Whatman GF/C에 여과한 후 chl-a와 불활성 색소를 동시에 측정할 수 있는 Lorenzen(1967)의 방법으로 구분하여 정량하였다. AFDM은 550°C 전기로에서 2시간 태웠을 때 그 감량으로 계산하였다(APHA, 1992). 부착조류 현존량은 단위면적(m²)당 chl-a 함량을 총생물량으로 보았고, AFDM으로 유기물 양을 추정하였다. 담수조류 조사와 동시에 하천에서 수온(YSI 57 meter), pH(Orion 230A), 전기전도도(Conduktometer LF191, WTW), 유속(Valeport 104, U.K.) 및 유량 등을 측정하였다.

규조류 검경을 위한 시료는 산(HNO₃ + K₂Cr₂O₇)처리 후 Pleurax 봉입제로 영구표본을 만들어 동정하였다(APHA, 1992). 부착 규조류는 시료당 500~1,000개체를 2회 계수 후 평균값을 이용하여 종별 상대도수를 백분율로 산출하였다. 조사지점의 규조류 종별 세포 각을 계수하여 해당 종의 군집내 우점도는 10% 이상으로 보았고 기질의 단위면적당 정량은 어렵기 때문에 상대 우점도를 산출하였다. 남조류와 녹조류 등은 다른 전처리 없이 현미경으로 검경하였고, 점액질 또는 유기물과 섞여있어 정량 관찰이 어려워 출현종을 관찰하는데 그쳤다. 담수조류 분류 및 동정과정에서 규조류는 Jensen(1984), Krammer and Lange-Beralot(1986, 1988, 1991a, 1991b)를, 규조류

이외 다른 분류군은 Hegewald and Silva(1988), Hirose et al.(1977) 및 Prescott(1982) 문헌을 참고하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 환경 요인

탐진강 본류(정점 1)와 영산천 지류(정점 2)에서 주요 수환경 요인의 평균값과 표준편차를 정리한 것은 Table 1과 같다. 본류와 지류에서 수온의 평균값은 각각 19.2°C, 20.8°C로서 계절에 따른 영향이 뚜렷하였고 그 범위는 13.0~25.0°C였다. DO의 평균값은 9.0~9.2 mg O₂/l로서 수온에 대한 포화 수준이었다. pH는 평균값은 7.0~7.1 범위였고 강우가 집중되었던 8월에만 6.8으로 조금 낮았고 대체적으로 중성을 유지하였다. 전기전도도는 평균값이 98~100 μS/cm 범위로서 본류와 지

류의 차이가 거의 없었다.

수중 무기영양염은 질소 성분 중 NH₄가 본류와 지류에서 평균이 40~56 μg N/l 범위이었고, NO₃는 489~611 μg N/l 범위로서 NO₃가 NH₄보다 9~15배정도 많았다(Fig. 2). SRP(soluble reactive phosphorus)는 본류와 지류에서 평균 농도가 2 μg P/l 수준으로 큰 차이가 없었고, SRSi(soluble reactive silicon)는 평균 농도가 1.6 mg Si/l로서 6~8월이 4~5월보다 조금 많았고 다른 영양염에 비해 풍부하였다(Fig. 2).

담수조류의 생물량을 간접적으로 나타내는 지표인 엽록소 a 함량은 부유조류의 경우, 평균값이 5~6 μg/l 범위였고, 본류에서 5월에 13 μg/l, 지류에서 7월에 12 μg/l로 비교적 높았다(Fig. 3). 반면에, 부착조류의 경우 본류에서 엽록소 a, 불활성 색소 및 유기물 함량의 평균값은 각각 50.3 mg/m², 11.9 mg/m² 및 11.5 g/m²였고, 지류에서는 30.1 mg/m², 5.6 mg/m², 7.8 g/m²으로서 본류가 지류보다 1.5~2.1배 높았다(Fig. 3).

Table 1. The average values of water quality in the upstream of the Tamjin River from April to August 2000.
± : standard deviation.

Factors\Sampling stations	April ~ August 2000	
	Tamjin River	Yongsanchon
Water temperature(°C)	19.2±4.7	20.8±4.7
Dissolved oxygen(mg O ₂ /l)	9.2±0.9	9.0±0.9
pH	7.1±0.3	7.1±0.3
Conductivity(μS/cm)	98±7.5	100±11.2
Phytoplanktonic chl-a(μg/l)	5±4.6	6±3.9
Epilithic algal chl-a(mg/m ²)	50±7.8	30±26.5
Phaeo-pigment(mg/m ²)	12±3.3	6±5.4
Ash-free dry matter(g/m ²)	12±4.3	7.8±5.2
Ammonium(μg N/l)	40±42.2	56±45.0
Nitrate(μg N/l)	611±450.1	489±387.9
Phosphorus(μg P/l)	2.5±2.4	2.2±2.0
Silicon(mg Si/l)	1.6±0.3	1.6±0.3
DIN/SRP ratio	261	248
SRSi/SRP ratio	640	741

Note : chl-a(chlorophyll a), DIN(dissolved inorganic nitrogen, NH₄+NO₃), SRP(soluble reactive phosphorus) and SRSi(soluble reactive silicon).

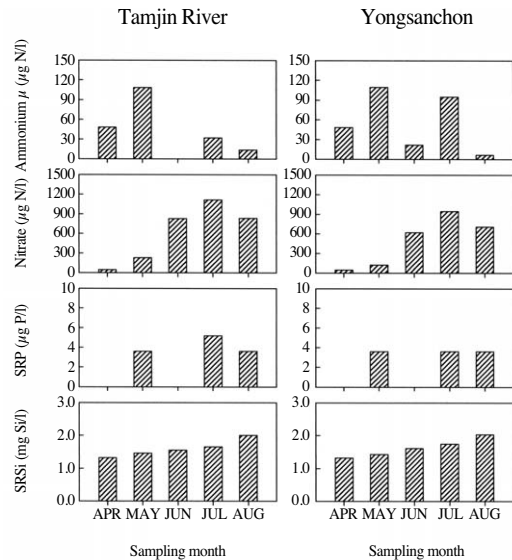


Fig. 2. Monthly variations of ammonium, nitrate, nitrite, soluble reactive phosphorus(SRP) and soluble reactive silicon(SRSi) concentration in the Tamjin River Dam from April to August, 2000.

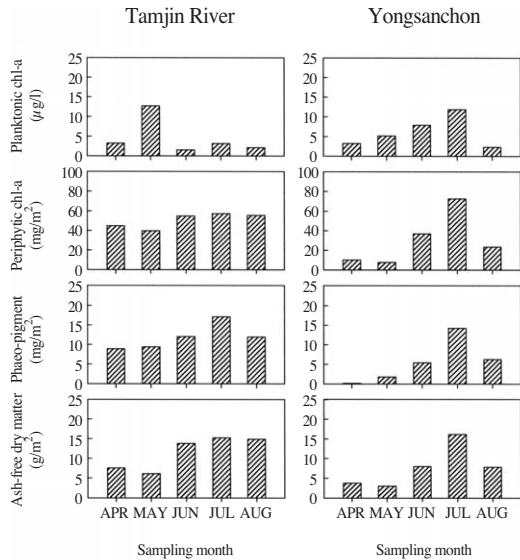


Fig. 3. Monthly variations of planktonic and periphytic chlorophyll-a, phaeo-pigment and ash-free dry matter content in the Tamjin River Dam from April to August, 2000.

2. 담수조류

1) 식물플랑크톤

조사기간동안 관찰된 부유조류의 시기별 종조성과 밀도를 나타낸 것은 Tables 2~3과 같다. 부유조류는 분류에서 29속 42종, 지류에서 29속 41종으로 정리되었다. 탐진강 본류와 영산천에서 관찰된 분류군은 규조류가 각각 36%, 41%로서 가장 풍부하였고 녹조류가 각각 33%, 34%를, 남조류가 21%, 17%를 차지하였다.

세포밀도가 ml당 100 세포를 초과한 조류를 우점종으로 볼 때, 탐진강 본류에서는 4월에 규조류 *Achnanthes linearis*(400 cells/ml), *A. minutissima*(100 cells/ml), *Fragilaria crotonensis*(1,200 cells/ml) 및 *Nitzschia palea*(100 cells/ml), 5월에 규조류 *Cymbella ventricosa*(100 cells/ml), *F. crotonensis*(200 cells/ml), *Melosira varians*(200 cells/ml), *Tabellaria flocculosa*(450 cells/ml) 및 홍조류 *Compsopogon oishii*(200 cells/ml), 6월에 규조류 *A.*

minutissima(100 cells/ml), *F. crotonensis*(100 cells/ml), *Gomphonema olivaceum* var. *minutissima*(100 cells/ml) 및 *N. palea*(200 cells/ml), 7월에는 세포밀도가 100 cells/ml 이상을 보인 조류군은 관찰되지 않았고, *Scenedesmus eornis* 를 포함한 녹조류의 출현 빈도가 증가하였다(Table 2). 8월에는 남조류 *Microcystis aeruginosa*(530 cells/ml), *M. viridis*(250 cells/ml) 및 녹조류 *Pandorina morum*(125 cells/ml)이 다량 관찰되었다. 반면에 영산천 지류에서는 4월에 규조류 *A. linearis*(400 cells/ml), *A. minutissima*(100 cells/ml), *F. crotonensis*(1,200 cells/ml) 및 *N. palea*(100 cells/ml), 5월에 규조류 *F. crotonensis*(100 cells/ml)와 *G. gracile*(300 cells/ml), 6월에 규조류 *Synedra acus*(150 cells/ml), *T. flocculosa*(258 cells/ml), 남조류 *M. aeruginosa*(800 cells/ml) 및 녹조류 *Actinastrum. hantzschii*(150 cells/ml), 7월에는 본류와 마찬가지로 세포밀도가 빈약하였고, 8월에는 남조류 *M. aeruginosa*(250 cells/ml)만이 해당하였다(Table 3). 탐진강댐 상류 하천에서 우점하였던 부유조류 중 규조류와 홍조류는 대부분 부착조류에 기인하는 중에 해당하여 전형적인 부유조류 종은 많지 않았다.

분류와 지류의 종조성은 유사하였으나 이질적인 면도 관찰되었다. 그 예로서 본류에서 관찰되지 않은 *S. acus*가 6월에 지류의 영산천에서 다량 관찰되었는데, 이것은 조사지 상류는 약 2m 높이의 수중보가 설치된 소규모 저류지로서 어느 정도 정체성을 유지해 줄 수 있기 때문에 이에 의한 영향으로 추정되었다(신, 1999a).

탐진강댐 상류는 현재 소하천에 해당하므로 수온의 상승으로 인한 종조성의 변화와 강우에 의한 유량의 증가로 출현종이 다소 빈약하였던 경향이 관찰되기도 하였다(신과 조, 2000). 담수조류 식물상은 인근 주암호, 상사호(한수공, 1990: 1991: 1994b; 1998)와 1998년에 조사된 나주호, 장성호, 광주호, 담양호 및 동북호(신재기, 미발표자료)의 결과와 유사하였다. 종조성의 변화(천이)양

Table 2. The species composition and standing crops of the phytoplankton observed in the main river near Tamjin River Dam. r: rare, 1: 1~50, 2: 51~100, 3: 101~500, 4: 501~1,000, 5: 1,001~5,000 cells/ml, respectively.

Species name\Sampling period	2000				
	April	May	June	July	August
	Bacillariophyceae				
<i>Achnanthes linearis</i>	3	1	.	.	.
<i>Achnanthes minutissima</i>	2	1	2	.	.
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	1	1	1	1	.
<i>Cyclotella atomus</i>	.	.	.	1	.
<i>Cyclotella stelligera</i>	.	.	.	1	.
<i>Cymbella affinis</i>	1	1	1	1	.
<i>Cymbella tumida</i>	.	.	.	1	.
<i>Cymbella ventricosa</i>	1	2	1	1	.
<i>Fragilaria crotonensis</i>	5	3	2	.	.
<i>Gomphonema gracile</i>	1	1	1	.	.
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissima</i>	1	1	2	.	.
<i>Melosira varians</i>	1	3	1	1	.
<i>Nitzschia palea</i>	2	1	3	.	.
<i>Synedra delicatissima</i> var. <i>angustissima</i>	.	.	.	1	.
<i>Tabellaria flocculosa</i>	1	3	.	1	.
	Cyanophyceae				
<i>Anabaena</i> sp.	r	.	.	.	.
<i>Batrachospermum</i> sp.	.	r	.	.	.
<i>Chroococcus cohaerens</i>	.	.	.	.	1
<i>Chroococcus palidus</i>	1	.	.	.	.
<i>Homoeothrix varians</i>	.	1	.	.	.
<i>Microcystis aeruginosa</i>	.	.	.	.	4
<i>Microcystis viridis</i>	.	.	.	.	3
<i>Phormidium</i> sp.	.	r	.	.	.
<i>Stigeoclonium tenue</i>	.	r	.	.	.
	Chlorophyceae				
<i>Actinastrum hantzschii</i>	.	r	.	.	.
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	.	.	.	r	.
<i>Coelastrum sphaericum</i>	.	.	.	1	1
<i>Cosmarium contractum</i>	r	.	.	.	.
<i>Eudorina elegans</i>	.	.	.	.	r
<i>Koliella concortica</i>	.	.	.	1	.
<i>Pandorina morum</i>	.	.	.	.	3
<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>reticulatum</i>	.	.	.	.	1
<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>rugulosum</i>	r	.	.	.	.
<i>Scenedesmus acutus</i> var. <i>acutus</i>	1	.	.	.	.
<i>Scenedesmus ecornis</i> var. <i>disciformis</i>	.	.	.	.	2
<i>Scenedesmus ecornis</i> var. <i>ecornis</i>	.	1	.	1	1
<i>Scenedesmus longus</i>	r	.	.	.	.
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	1	.	1	.
	Euglenophyceae				
<i>Euglena</i> sp.	.	.	1	.	.
	Other algal class				
<i>Audouinella chalybea</i> var. <i>chalybea</i>	.	2	.	.	.
<i>Compsopogon oishii</i>	.	3	.	.	.
<i>Peridinium</i> sp.	.	.	.	.	1

Table 3. The species composition and standing crops of the phytoplankton observed in the tributary near Tamjin River Dam. r: rare, 1: 1~50, 2: 51~100, 3: 101~500, 4: 501~1,000, 5: 1,001~5,000 cells/ml, respectively.

Species name\Sampling period	2000				
	April	May	June	July	August
Bacillariophyceae					
<i>Achnanthes linearis</i>	3	1	.	.	.
<i>Achnanthes minutissima</i>	2	1	.	.	.
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	.	.	.	1	.
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	1	.	.	.	.
<i>Cyclotella atomus</i>	.	.	1	.	.
<i>Cyclotella stelligera</i>	.	.	.	1	.
<i>Cymbella affinis</i>	1	.	.	.	.
<i>Cymbella ventricosa</i>	1	.	.	.	.
<i>Fragilaria crotonensis</i>	5	2	.	.	.
<i>Gomphonema gracile</i>	1	3	.	.	.
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissima</i>	1	.	.	.	.
<i>Gomphonema parvulum</i>	.	1	.	.	.
<i>Gyrosigma spencerii</i>	.	.	.	.	r
<i>Melosira varians</i>	1	1	.	1	1
<i>Nitzschia palea</i>	2	.	.	.	.
<i>Synedra acus</i>	.	1	3	1	.
<i>Tabellaria flocculosa</i>	1	.	3	1	.
Cyanophyceae					
<i>Anabaena</i> sp.	r	.	.	.	.
<i>Chroococcus palidus</i>	1	.	.	.	.
<i>Merismopedium glaucum</i>	.	.	1	2	.
<i>Microcystis aeruginosa</i>	.	.	4	1	3
<i>Microcystis</i> sp.	.	.	2	.	.
<i>Oscillatoria neglecta</i>	.	.	.	.	1
<i>Rivularia</i> sp.	.	.	.	r	.
Chlorophyceae					
<i>Actinastrum hantzschii</i>	.	.	3	.	.
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	.	1	1	1	1
<i>Cosmarium contractum</i>	r	.	.	.	.
<i>Cosmarium</i> sp.	.	.	.	.	1
<i>Eudorina elegans</i>	.	.	.	1	1
<i>Pandorina morum</i>	.	.	.	1	1
<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>rugulosum</i>	r	.	.	.	.
<i>Scenedesmus acutus</i> var. <i>acutus</i>	1	.	.	.	.
<i>Scenedesmus arcuatus</i> var. <i>arcuatus</i>	.	1	.	.	.
<i>Scenedesmus bernardii</i>	.	1	.	.	.
<i>Scenedesmus ecornis</i> var. <i>ecornis</i>	.	.	1	.	1
<i>Scenedesmus longus</i>	r	.	.	.	.
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	.	.	.	.
<i>Trachelomonas</i> sp.	.	.	.	.	1
Euglenophyceae					
<i>Euglena</i> sp.	.	.	.	1	.
Cryptophyceae					
<i>Rhodomonas</i> sp.	.	.	1	.	.
Other algal class					
<i>Dinobryon cylindrica</i>	.	.	1	.	.

상은 규조류→녹조류→남조류 순으로 전개되었고 전술한 댐저수지 이외에도 보령호(한수공, 1994a; 1997a), 부안호(한수공, 1997b), 옥정호(신, 1999b) 및 대청호(신 등, 1999)에서 조사한 결과와 비교하여 큰 차이가 없었으며 출현시기도 비슷하였다. 또한 현재 전국적으로 주요 상수원에서 춘계와 추계에 정수처리에서 여과지 폐색으로 문제가 되고 있는 규조류 *Synedra acus*도 영산천 지류의 수증보가 설치된 소형 저류지에서 상당량(150 cells/ml) 관찰되고 있어 이에 대한 지속적인 관찰이 요구되었다.

2) 부착조류

부착조류의 시기별 종조성과 출현빈도를 나타낸 것은 Tables 4~5와 같다. 부착조류는 탐진강 본류에서 22속 56종, 영산천에서 21속 60종으로 정리되었다. 정정1과 정정2에서 분류군의 출현종수도로 볼 때 규조류가 각각 75%, 92%로서 가장 풍부하였고 남조류가 각각 5%, 8%를, 녹조류가 20%, (-)%를, 차지하였다.

부착조류 중 비교적 풍부하였던 개체군은 본류에서 규조류 *Achnanthes*속(6종), *Cymbella*속(5종), *Gomphonema*속(6종), *Navicula*속(4종), *Nitzschia*속(4종), *Synedra*속(4종) 및 녹조류 *Scenedesmus*속(8종)이었고, 지류에서는 규조류 *Achnanthes*속(6종), *Amphora*속(4종), *Cymbella*속(5종), *Gomphonema*속(5종), *Navicula*속(6종), *Nitzschia*속(4종), *Synedra*속(8종) 및 남조류 *Phormidium*속(3종)을 중심으로 *Cyclotella*속, *Fragilaria*속 및 *Suirella*속 규조류가 각각 3종씩 출현하여 비교적 높은 빈도를 보였다.

분류군 중에서 출현빈도가 10%이상 차지하는 종을 우점종으로 볼 때, 조사 시기별로 보면 본류에서 4월에 *A. linearis*(90%), 5월에 *A. linearis*(98%), 6월에 *A. minutissima*(83%), 7월에 *A. linearis*(72%) 및 8월에 *A. linearis*(42%), *C. ventricosa*(12%), *G. clevei*(13%) 및 *G. parvulum*

(11%)였고, 지류에서는 4월에 *A. linearis*(77%), 5월에 *A. linearis*(47%), 6월에 *A. linearis*(69%), *G. angustum*(24%), 7월에 *A. linearis*(37%), *G. angustum*(54%) 및 8월에 *A. linearis*(54%), *G. clevei*(15%)가 해당하였다(Tables 4~5). 부착조류 군집 변동에서 규조류 *A. linearis*가 4~8월동안 장기간 우점하였고, 본류와 지류에서 본 종의 밀도가 다소 적었던 4월과 7월에는 각각 *A. minutissima*와 *G. angustum*이 출현하여 이 시기에 일시적으로 대체되었다(Fig. 4). 또한 이 들 조류가 우점하였던 시기에는 엽록소 a와 유기물 함량이 다른 시기에 비해 많았던 것과도 일치하였다(Fig. 3 참조).

부착조류에서 부유조류가 관찰된 경우도 있었다. 이것은 상류 저류지에서 발생한 것이 유하하면서 침적된 것으로 추정되어진다. 영산천의 경우 4~5월에 규조류 *Stephanodiscus*속 조류가 부

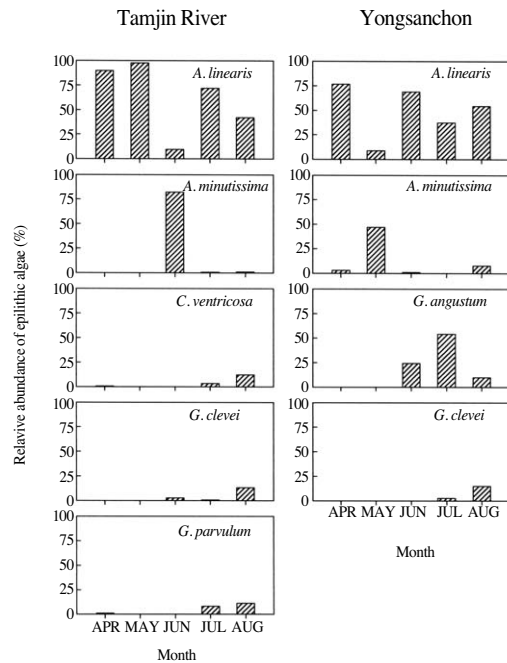


Fig. 4. Monthly variations of important species of epilithic algae by relative abundance in the Tamjin River Dam from April to August, 2000.

Table 4. The species composition and relative frequency of the epilithic algae observed in the main river near Tamjin River Dam.
r: rare, 1: <10%, 2: 11~25%, 3: >25%, respectively.

Species name\Sampling period	2000				
	April	May	June	July	August
Bacillariophyceae					
<i>Achnanthes lanceolata</i>	.	r	1	1	1
<i>Achnanthes lemmermanni</i>	.	.	.	1	.
<i>Achnanthes linearis</i>	3	3	1	3	2
<i>Achnanthes minutissima</i>	.	.	3	1	1
<i>Achnanthes</i> sp.	.	.	.	1	.
<i>Achnanthes</i> sp.	.	.	.	.	1
<i>Actinocyclus normanii</i>	.	.	.	1	.
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	1	1	1	1	1
<i>Cyclotella comta</i>	.	.	.	.	1
<i>Cymbella affinis</i>	1	1	1	1	1
<i>Cymbella sinuata</i>	.	1	1	.	.
<i>Cymbella tumida</i>	r	r	.	1	1
<i>Cymbella turgida</i>	1	r	r	1	.
<i>Cymbella ventricosa</i>	1	1	1	1	2
<i>Eunotia bilunaris</i>	.	.	.	r	.
<i>Eunotia minor</i>	.	r	1	.	.
<i>Fragilaria crotonensis</i>	.	.	r	r	.
<i>Fragilaria</i> sp.	.	.	r	r	.
<i>Gomphonema angustum</i>	.	.	.	1	1
<i>Gomphonema clevei</i>	r	r	1	1	2
<i>Gomphonema gracile</i>	r	1	r	1	.
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissima</i>	r	1	r	1	.
<i>Gomphonema parvulum</i>	1	r	r	1	2
<i>Gomphonema trugatum</i>	r	.	r	.	.
<i>Melosira varians</i>	1	r	.	r	r
<i>Meridion circulare</i>	r	r	.	.	.
<i>Navicula cali</i>	.	.	r	.	.
<i>Navicula gregaria</i>	r	r	r	1	1
<i>Navicula protracta</i>	.	.	.	.	1
<i>Navicula rhyncocephala</i>	.	.	r	.	.
<i>Nitzschia fruticosa</i>	r	r	r	.	r
<i>Nitzschia palea</i>	1	1	r	1	.
<i>Nitzschia pusilla</i>	.	.	r	1	1
<i>Nitzschia romana</i>	.	1	.	r	.
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	r	r	.	.	.
<i>Surirella angustata</i>	r	.	.	.	.
<i>Surirella ovata</i> var. <i>pinnata</i>	r	.	.	.	.
<i>Synedra rumpens</i>	r	.	1	1	.
<i>Synedra rumpens</i> var. <i>fragilarioides</i>	1	.	1	1	.
<i>Synedra ulna</i>	1	r	r	r	r
<i>Synedra vaucheriae</i>	.	.	.	1	.
<i>Tabellaria flocculosa</i>	r	.	.	.	.
Cyanophyceae					
<i>Homoeothrix varians</i>	.	.	.	.	+
<i>Phormidium ambigum</i> var. <i>ambigum</i>	.	.	+	+	+
<i>Phormidium retzii</i>	.	.	.	.	+
Chlorophyceae					
<i>Chaetophora</i> sp.	.	+	.	.	.
<i>Cladophora crispata</i>	.	+	.	.	.
<i>Scenedesmus abundans</i> var. <i>abundans</i>	+	.	.	.	.
<i>Scenedesmus acutus</i> var. <i>acutus</i>	+	.	.	.	.
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	+	.	.	.	.
<i>Scenedesmus javanensis</i>	+	.	.	.	.
<i>Scenedesmus longus</i>	.	.	.	.	+
<i>Scenedesmus maximus</i>	+	.	+	.	.
<i>Scenedesmus microspina</i>	.	.	+	.	.
<i>Scenedesmus quadrispina</i>	+	.	.	.	.
<i>Selenastrum westii</i>	+	.	.	.	.

Table 5. The species composition and relative frequency of the epilithic algae observed in the tributary near Tamjin River Dam. r: rare, 1: <10%, 2: 11~25%, 3: >25%, respectively.

Species name/Sampling period	2000				
	April	May	June	July	August
Bacillariophyceae					
<i>Achnanthes convergens</i>	.	r	.	.	.
<i>Achnanthes delicatula</i>	.	.	.	r	.
<i>Achnanthes lanceolata</i>	1	.	.	r	r
<i>Achnanthes lemmermanni</i>	.	r	.	.	.
<i>Achnanthes linearis</i>	3	1	3	3	3
<i>Achnanthes minutissima</i>	1	2	1	1	1
<i>Amphora laevis</i>	r	.	.	.	.
<i>Amphora libyca</i>	.	.	r	.	.
<i>Amphora veneta</i>	r	.	.	.	.
<i>Amphora</i> sp.	.	.	.	.	r
<i>Caloneis silicula</i>	r	.	.	.	.
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	1	r	1	1	1
<i>Cyclotella comta</i>	.	.	.	r	.
<i>Cyclotella pseudostelligera</i>	.	r	1	.	.
<i>Cyclotella stelligera</i>	.	r	r	.	.
<i>Cymbella affinis</i>	r	.	1	r	r
<i>Cymbella sinuata</i>	1	.	r	.	r
<i>Cymbella tumida</i>	r	.	.	r	.
<i>Cymbella turgida</i>	r	.	.	r	r
<i>Cymbella ventricosa</i>	1	1	r	1	1
<i>Epithemia adnata</i>	r	.	.	.	.
<i>Eunotia minor</i>	r	1	r	.	.
<i>Fragilaria crotonensis</i>	.	.	r	r	.
<i>Fragilaria</i> sp.	r	.	.	.	.
<i>Fragilaria</i> sp.	r	.	.	.	.
<i>Gomphonema angustum</i>	r	r	2	3	1
<i>Gomphonema clevei</i>	.	.	.	1	2
<i>Gomphonema gracile</i>	r	1	.	.	.
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissima</i>	1	.	.	.	.
<i>Gomphonema parvulum</i>	r	.	r	1	r
<i>Melosira varians</i>	r	.	.	r	r
<i>Meridion circulare</i>	.	.	.	.	r
<i>Navicula bacillum</i>	.	r	.	.	.
<i>Navicula cali</i>	.	.	1	.	.
<i>Navicula contenta</i>	r	.	.	.	.
<i>Navicula gregaria</i>	1	.	r	.	1
<i>Navicula protracta</i>	.	.	.	r	.
<i>Navicula</i> sp.	r	1	.	.	.
<i>Nitzschia fruticosa</i>	r	.	.	r	.
<i>Nitzschia palea</i>	1	1	1	1	1
<i>Nitzschia pusilla</i>	.	r	1	.	.
<i>Nitzschia romana</i>	r	.	.	.	.
<i>Rhicosphenia abbreviata</i>	r	1	.	.	.
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> f. <i>tenuis</i>	r	r	.	.	.
<i>Surirella ovata</i>	.	.	.	.	r
<i>Surirella ovata</i> var. <i>pinnata</i>	r	.	.	.	.
<i>Surirella</i> sp.	.	.	.	.	r
<i>Synedra acus</i>	.	r	r	r	.
<i>Synedra delicatissima</i> var. <i>angustissima</i>	.	.	r	.	.
<i>Synedra pulchella</i>	.	.	r	.	.
<i>Synedra rumpens</i>	r	.	.	.	.
<i>Synedra rumpens</i> var. <i>fragilarioides</i>	r	.	r	.	.
<i>Synedra ulna</i>	r	.	r	.	1
<i>Synedra vaucheriae</i>	r	.	.	.	.
<i>Synedra vaucheriae</i> var. <i>capitellata</i>	1	r	.	.	.
Cyanophyceae					
<i>Homoeothrix varians</i>	.	.	.	+	+
<i>Oscillatoria</i> sp.	+	.	+	.	.
<i>Phormidium ambigum</i> var. <i>ambigum</i>	.	.	+	.	.
<i>Phormidium marchica</i>	.	.	+	.	.
<i>Phormidium retzii</i>	+	+	+	+	+

유조류에서 관찰되지 않았으나 부착조류에서 관찰되어 그 이전의 시기에 다량 발생하였을 가능성을 짐작하게 하였다. *Stephanodiscus*속 조류는 현재 우리나라 대부분 수계에서 관찰되는 분류군으로서 수질오염을 평가할 수 있는 지표종(조 등, 1998)으로 부각되고 있을 뿐만 아니라 *Synedra*와 더불어 정수처리 공정에서 장기간 막대한 영향을 미칠 수 있는 조류(신, 2000)에 해당하므로 댐 건설 이후에도 이에 대한 모니터링이 있어야 할 것으로 판단된다.

3. 수환경 평가

부유 및 부착조류의 엽록소 a 함량은 평균값이 각각 4.5~6.1 $\mu\text{g/l}$, 30.1~50.3 mg/m^2 범위였고, 작열감량으로 본 유기물 함량은 7.8~11.5 g/m^2 범위로서 Vollenweider and Kerekes(1982)와 Biggs(1995)의 기준을 적용할 때, 중영양과 부영양의 중간에 해당되었다. 출현조류의 종조성으로 볼 때, 4~5월에 규조류 *Stephanodiscus*와 6~8월에 남조류 *Microcystis*가 다량 관찰됨에 따라 담수 후조류에 의한 수질 문제는 제기될 것으로 전망되었다.

끝으로, 조류의 대발생은 수온, 일사량 등 자연환경 인자와 함께 수중에 존재하는 영양염의 수준에 의해 그 정도가 결정될 수 있다(신, 1999b; 신과 조, 2000). 부영양 수질에서는 무엇보다도 유입되는 영양염의 농도 뿐만 아니라 양적인 측면을 면밀하게 분석하여 이를 감소시켜야 할 것으로 보며 댐 건설 초기부터 고도의 하수처리를 통한 유입 N·P 농도를 줄이는 것이 조류 발생을 저감하는데 무엇보다 중요하다. 탐진강댐 상류 하천의 수중 영양염 비율로 볼 때, N/P 비와 Si/P 비의 평균값이 각각 248~261, 640~740으로서 그 비가 매우 높아 P가 조류의 생장에 대한 제한인자로 볼 수 있기 때문에 P를 저감시키는 방향으로 노력해야 할 것이다.

IV. 적 요

탐진강댐 상류 하천의 본류와 지류에서 부유조류 및 부착조류를 중심으로 조사하였다. DO는 9.0~9.2 $\text{mg O}_2/\text{l}$ 범위였고, pH와 전기전도도는 각각 7.0~7.1, 98~100 $\mu\text{S/cm}$ 범위였다. 수중 무기영양염 중 NH_4 와 NO_3 는 평균값이 각각 40~56 $\mu\text{g N/l}$, 489~611 $\mu\text{g N/l}$ 범위로서 NO_3 가 NH_4 보다 9~15배 더 풍부하였다. SRP와 SRSi의 평균농도는 각각 2 $\mu\text{g P/l}$, 1.6 mg Si/l 로서 특히 Si는 강우가 집중된 하계에 다소 많았다. N/P 및 Si/P의 비는 각각 248~261, 640~740 범위로서 담수조류의 생장에 P가 제한영양염으로 추정되었다. 부유조류의 chl-a는 평균값이 5~13 $\mu\text{g/l}$ 범위였다. 부착조류의 chl-a, 불활성색소 및 유기물 함량의 평균값은 본류에서 각각 50.3 mg/m^2 , 11.9 mg/m^2 및 11.5 g/m^2 이었고, 지류에서 각각 30.1 mg/m^2 , 5.6 mg/m^2 및 7.8 g/m^2 로서 본류가 지류보다 1.5~2.1배 높았다. 담수조류의 개체밀도로 본 주요 종조성은 규조류 *Achnanthes linearis*, *A. minutissima*, *Fragilaria crotonensis*, *Gomphonema gracile* 및 *Tabellaria flocculosa*였고 남조류는 *Microcystis aeruginosa*가 해당하였다. 분류군별 비율에서 식물플랑크톤과 부착조류는 규조류>녹조류>남조류의 순이었고 다른 분류군에 비해 규조류가 월등히 많았다.

참고문헌

1. 신재기, 1999a. 계천과 유동천에서 부착조류 생물량 조사. 한국육수학회 춘계학술발표논문집.
2. 신재기, 1999b. 옥정호에서 환경요인과 담수조류의 계절변동. 한국육수학회 춘계학술발표논문집.
3. 신재기, 2000. 정수처리 공정별 조류현존량의 평가. 대한환경공학회 춘계학술발표논문집.

4. 신재기, 조경제. 2000. 소하천 수질평가를 위한 부착생물 조사. 한국환경영향평가학회지, 9: 109-117.
5. 신재기, 조경제, 오인혜. 1999. 대청호에서 수환경 요인과 식물플랑크톤의 변동. 한국환경생물학회지, 17: 529-541.
6. 신재기, 조주래, 황순진, 조경제. 2000. 경안천-팔당호에서 부영양화와 수질오염 특성. 한국육수학회지, 33: 387-394.
7. 조경제, 신재기, 광승국, 이윅희. 1998. 담수산 *Stephanodiscus*속 규조류의 오염지표성 평가. 한국육수학회지, 31: 204-210.
8. 한국수자원공사(한수공). 1990. 주암다목적댐 건설사업 환경관리조사(3차) 보고서. pp. 135-229.
9. 한국수자원공사(한수공). 1991. 주암다목적댐 건설사업 환경관리조사(4차) 보고서. pp. 105-157.
10. 한국수자원공사(한수공). 1994a. 보령다목적댐 건설사업 환경관리조사(1차). pp. 109-135.
11. 한국수자원공사(한수공). 1994b. 주암다목적댐 환경관리조사 보고서(7차). pp. 75-99.
12. 한국수자원공사(한수공). 1997a. 보령댐 환경영향조사 보고서(4차). pp. 157-177.
13. 한국수자원공사(한수공). 1997b. 부안다목적댐 건설사업 사후환경영향조사. pp. 87-126.
14. 한국수자원공사(한수공). 1998. 주암호 수질관리 전략개발에 관한 연구. pp. 96-118.
15. 환경부. 1999. 환경백서. 653pp.
16. APHA, AWWA, WPCF. 1992. Standard methods for for the examination of water and wastewater, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
17. Allan, J.D. 1995. Stream ecology - Structure and function of running waters. Chapman and Hall. pp. 83-108.
18. Biggs, B.J.F. 1995. The contribution of disturbance, catchment geology and land use to the habitat template of periphyton in stream ecosystems. *Freshwater Biol.*, 22: 209-231.
19. Bold, H.C. and M.J. Wynne. 1985. Introduction to the algae. 2nd ed. Prentice-Hall Inc. New Jersey. 720pp.
20. Bott, T.L. 1983. Primary productivity in streams. In, Barnes, J.R. and G.W. Minshall, (eds.), *Stream ecology*. Plenum, New York. pp. 29-53.
21. Cole, T.M. and H.H. Hannan. 1990. Dissolved oxygen dynamics. In, Thornton, K.W., B.L. Kimmel and E.P. Forrest. *Reservoir limnology - Ecological perspectives*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 71-107.
22. Ford, D.E. 1990. Reservoir transport processes. In, Thornton, K.W., B.L. Kimmel and E.P. Forrest. *Reservoir limnology - Ecological perspectives*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 15-41.
23. Hegewald, E. and P.C. Silva. 1988. Annotated catalogue of *Scenedesmus* and nomenclaturally related Genera, including original descriptions and figures. J. Cramer. 587pp.
24. Hili, W.R., M.G. Ryon, and E.M. Schilling. 1995. Light limitation in a stream ecosystem : Responses by primary producers and consumers. *Ecology*, 76: 1297-1309.
25. Hirose, H., M. Akiyama, T. Iriya, K. Imahori, H. Kasaki, S. Kumana, H. Kobayashii, E. Takahashi, K. Tsumura, M. Hirano and T. Yamagishi. 1977. Illustrations of the Japanese freshwater algae. Uchidarokakuho Publ. Co. Ltd. Tokyo. 927p.
26. Horne, A.J. and C.R. Goldman. 1994. *Limnology*. 2nd edition. McGRAW-Hill. pp. 226-264.
27. Jensen, N.G. 1984. The pennate diatoms; A translation of Hustedt's "Die Kieselalgen, 2. Teil" published by Jensen, N.G. Strauss & Cramer GmbH. 918pp.

28. Kennedy, R.H. and W.W. Walker. 1990. Reservoir nutrient dynamics. In, Thornton, K.W., B.L. Kimmel and E.P. Forrest. Reservoir limnology - Ecological perspectives. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 109-131.
29. Krammer, K. and H. Lange-Beralot. 1986. Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. VEB Gustav Fischer Verlag. 876pp.
30. Krammer, K. and H. Lange-Beralot. 1988. Bacillariophyceae, 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. VEB Gustav Fischer Verlag. 596pp.
31. Krammer, K. and H. Lange-Beralot. 1991. Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. VEB Gustav Fischer Verlag. 576pp.
32. Krammer, K. and H. Lange-Beralot. 1991. Bacillariophyceae, 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula*(Lineolatae) und *Gomphonema* Gesamtliteraturver zeichnis Teil 1-4. VEB Gustav Fischer Verlag. 437pp.
33. Lamberti, G.A. 1993. Grazing experiments in artificial streams. J. N. Am. Benthol. Soc., 12: 337-343.
34. Lamberti, G.A. and A.D. Steinman. 1997. A comparison primary production in stream ecosystems. J. N. Am. Benthol. Soc., 16: 95-104.
35. Lorenzen, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: Spectrophotometric equations. Limnol. Oceanogr., 12: 343-346.
36. McIntire, C.D. 1968. Structural characteristics of benthic algal communities in laboratory streams. Ecology, 49: 520-537.
37. Nusch, E.A. 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. Arch. Hydrobiol. Beih.(Ergebn. Limnol.), 14: 14-36.
38. Prescott, G.W. 1982. Algae of the Western Great Lakes Area with an illustrated key to Genera desmids and freshwater diatoms. Otto Koeltz Science Publishers. 977pp.
39. Rump, H.H. and H. Krist. 1988. Laboratory manual for the examination of water, wastewater, and Soil. VCH Verlagsgesellschaft, Publ., New York, NY(USA). 190pp.
40. Thornton, K.W. 1990. Perspectives on reservoir limnology. In, Thornton, K.W., B.L. Kimmel and E.P. Forrest. Reservoir limnology - Ecological perspectives. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 1-13.
41. Vollenweider, R.A. and J.J. Kerekes. 1982. Eutrophication of waters: Monitoring, Assessment and Control. OECD, Paris, France.
42. Watanabe, T. 1990. Attached diatoms in Lake Mashuu and its value of the diatom assemblage index of organic water pollution(DAlpo). Diatom, 5: 21-31.