

영천댐의 식물플랑크톤 군집과 환경요인의 동태

김속찬* · 김한순¹

(경상북도 보건환경연구원, ¹경북대학교 생물학과)

Dynamics of Phytoplankton Community and the Physico-chemical Environmental Factors in Youngchun Dam

Sook Chan Kim* and Han Soon Kim¹

Institute of Public Health & Environment, Kyungsangbook Do, Taegu 702-702 and

¹Department of Biology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

A study on the dynamics of phytoplankton community and the physico-chemical environmental factors was performed biweekly from April 1998 to March 1999 in Youngchun Dam. A total 72 phytoplankton taxa was identified and dominant taxa were blue-green algae and diatoms. The highest value of phytoplankton standing crop ($24,826 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$) was observed in September 7, 1998, the blooming period of blue-green algae *Phormidium* sp., while the lowest ($318 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$) was measured in June 18, 1999. The phytoplankton communities were dominated by blue-green algae of *Anabaena planktonica*, *Microcystis aeruginosa* and *Phormidium* sp. during the summer and autumn periods and were dominated by diatoms of *Synedra acus* and *Aulacoseira* spp. during the spring and winter periods. Secchi disc transparency, chlorophyll-*a*, total nitrogen, total phosphorus and silicate concentration were varied in the ranges of 0.4-2.5 m, $2.4\text{-}32.2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, $0.845\text{-}2.352 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $0.005\text{-}0.093 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $0.2\text{-}15.7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, respectively. The trophic status of Youngchun Dam were estimated eutrophic according to Lake Trophic States Index (LTSI).

Key Words: Lake Trophic Status Index (LTSI), phytoplankton community, standing crop, Youngchun Dam

서 론

우리나라는 용수공급의 대부분을 지표수 즉 호소나 하천에 의존하고 있기 때문에 원활한 용수공급과 효율적인 수자원의 관리를 위하여 하천을 막아 댐을 조성하여 전국적으로 10개의 다목적 댐과 13개의 용수전용댐이 건설되었으며 앞으로 많은 댐이 건설될 예정이다(한국수자원공사 1998). 이러한 댐 건설은 경제적 면에서 농·공업용수와 상수원의 확보에 많은 이익을 주었지만 정체성 수역을 형성함으로써 화학적, 생물학적 변화를 야기하고, 산업의 발달과 인구의 증가로 인한 각종 폐수와 하수의 유입과 호수내의 유·무기물질의 분해 등 직·간접적인 원인에 의해 저수지의 물은 빠른 속도로 부영양화 되고 있다. 호소의 부영양화는 식물플랑

크톤의 종조성과 현존량에 중요한 영향을 미치고 있으며, 남조류의 bloom은 일반적으로 늦여름에서 가을에 나타나고 있다(Horn and Goldman 1994). 남조류는 다른 생물뿐 아니라 사람에게도 유해한 독성물질을 분비하고 있다(Lawton and Codd 1991). 이러한 현상은 레크레이션 장소로서의 가치 저하와 함께 수영, 보트, 낚시와 같은 행위에 부정적 영향을 미치고 있다. 식물플랑크톤의 높은 밀도의 출현 특히 남조류에 의한 수화발생은 물의 색, 여과지 폐쇄, 이취미의 유발로 정수장에서 처리비용을 증가시키고 있다(Persson 1980; Hayes and Burch 1989).

따라서 최근 수질관리나 정수처리공정의 목표가 식물플랑크톤 제어방안에 초점이 맞추지는 것이 당연한 수순이며, 이에 대한 식물플랑크톤 기초조사와 모니터링은 계속 수행되어야 한다. 또한 식물플랑크톤이 수중 생태계의 일차 생산자로서 수질 환경 변화에 어떤 생물군보다 민감하게 변화하기 때문에 수계 환경의 지표성에 있어 중요하게 활용되고 있

*Corresponding author (kimhsu@knu.ac.kr)

다(Lund and Lund 1996). 그러므로 특정 수역에 있어서 현재는 물론 장래의 수계환경 변화양상을 파악하기 위해서 뿐만 아니라 수계생태계 보전을 이해하기 위해서도 당연히 식물플랑크톤의 면밀한 조사연구가 요구되어진다.

지금까지는 식물플랑크톤 군집구성의 천이 또는 부영양화 상태, 엽록소(Chl-*a*) 농도 등에 대한 연구가 주로 대규모 다목적 댐 위주로만 진행되어져 왔고 소형 댐에 대한 관심과 투자는 적었다. 경상북도 내 4대 댐의 하나인 영천댐은 금호강 상류 영천시에 위치하고 있으며, 포항시와 영천시의 생활·공업용수를 공급하기 위해 1980년에 건설된 뒤 그 동안 계속된 오염물의 축적으로 수질이 악화되어 상수원으로서의 질이 떨어져 가고 있는 실정이다.

또한 금호강의 유지용수를 확보하기 위한 영천댐과 임하댐간의 도수로 공사 완공 후 영천댐 수질변화에도 큰 관심이 집중되고 있다. 이에 본 연구에서는 영천댐의 연간 식물플랑크톤 군집의 특성을 조사하고 그에 따른 이화학적 수질 환경 요인을 분석하여 상수원 수질 관리 대책수립에 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

조사지 개황

영천댐(N 129°02', E 36°05')은 경상북도 영천시 자양면 성곡리에 있으며, 댐 규모는 댐 높이 42.0 m, 길이 300 m, 평균 수심 20.6 m, 만수면적 5 km², 유역면적 235 km², 유효 저수량은 81.4 × 10⁶ m³이다. 총 용수공급량 29.4 × 10⁶ m³·day⁻¹ 중 포항종합제철과 그 연관 단지의 생활·공업 용수로 가장 많이 공급하고 있으며, 기타 댐 하류 지역의 관개용수 및 하천유지수로 공급하고 있다.

상류 지역의 주거 인구는 4,377명이고 산업폐수는 유입되지 않으며, 46.14 m³·day⁻¹ 정도의 축산 폐수가 발생되어 밭에 직접 살포되거나 퇴비사로 이용된 후 댐으로 유입되고 있다. 토지 이용 현황을 보면, 전 11.062 km², 답 6.99 km², 임야 203.34 km² 및 기타 이용 분을 합쳐 총 232.93 km²의 토지가 이용되고 있다(한국수자원공사 1998).

환경 기초시설로는 입암 오수정화처리장에서 하수와 폐수를 97년 3월부터 시설용량 73 m³·day⁻¹로 미생물처리법에 의해 처리하고 있다. 이러한 현황을 근거로 보면, 영천댐 유역의 생활하수, 축산폐수와 농경지 유출수 등의 비점오염원이 지류천으로 유입되어 수질을 오염시킬 우려가 있다. 영천댐은 유입수의 90% 정도가 하구천과 자호천에서 유입되고 그 밖에 상신천에서 유입되고 있다(Fig. 1).

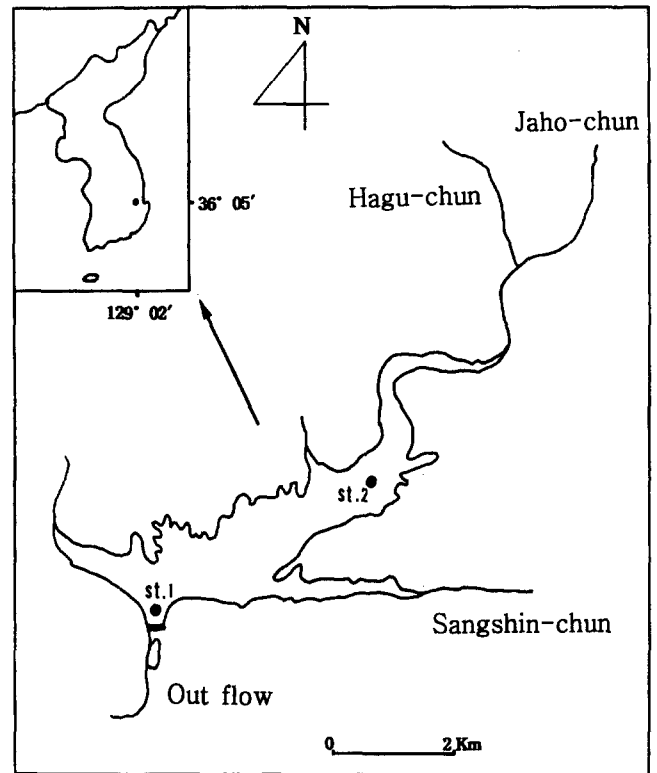


Fig. 1. Map showing the sampling stations of Youngchun Dam.

재료와 방법

식물플랑크톤과 이화학 분석

1998년 4월부터 1999년 3월까지 영천댐의 2개 지점에서(Fig. 1), 월 2회 15일 간격으로 채집·조사하였다. 식물플랑크톤의 채집은 시간적인 오차를 줄이기 위하여 오전 11-12시 사이에 선박을 이용하여 실시하였다.

식물플랑크톤의 정성 분석은 plankton net(mesh size 20 μm)를 사용하였고 정량 분석을 위한 시료는 폴리에틸렌병을 사용하여 표층수를 채수하였으며, 채집한 시료는 현장에서 즉시 포르말린이나 Lugol 용액으로 고정하였다. 정량 채집한 시료는 48시간 이상 침전시킨 후 50 ml-100 ml로 농축하고, 농축한 시료는 잘 혼합하여 1 ml를 Sedgwick-Rafter chamber에 넣어 세포수로 계수하여 현존량을 산출하였다. *Microcystis* 속은 개체 밀도 산정이 어려워 군체의 수를 크기로 구별하고 이를 세포수로 다시 환산하였다.

출현종은 광학 현미경으로 600배 하에서 Abbe 묘화 장치로 스케치하거나, 현미경 사진을 촬영하여 동정하였다. 종의 동정에는 Chung(1993), Hirose and Yamagishi(1977), Prescott(1962) 등을 이용하였고 종의 분류는 Smith(1950) 분류체계를 따랐다. 규조류의 경우는 KMnO₄(Hendey 1974)를 처리하여 Pleurax로 봉입한 후 영구 표본을 제작하고 1,000배 하에서 우점종을 동정하였다.

Table 1. The physico-chemical factors in Youngchun Dam

Factors Months	W.T (°C)	pH	DO (mg·l ⁻¹)	EC (μs·cm ⁻¹)	SD (m)	SiO ₂ (mg·l ⁻¹)	Chl- <i>a</i> (mg·m ⁻³)	TN (mg·l ⁻¹)	TP (mg·l ⁻¹)	TN/TP
1998 Apr. 02	9.2	7.6	12.3	98.0	1.5	7.8	7.1	1.464	0.025	59
Apr. 17	14.0	8.4	10.5	91.0	1.1	10.0	15.4	1.687	0.031	54
May 04	17.0	8.9	11.3	96.6	1.0	4.2	20.9	1.683	0.009	187
May 19	20.0	8.8	10.2	95.3	1.6	1.4	15.1	1.707	0.016	107
Jun. 08	23.0	7.9	8.9	97.2	2.5	0.2	5.9	1.660	0.093	18
Jun. 23	22.0	8.8	9.0	86.8	2.0	0.7	7.8	1.487	0.008	186
Jul. 07	22.0	8.1	8.1	91.8	1.6	4.2	12.6	1.579	0.230	7
Jul. 21	25.0	8.2	9.1	90.5	1.9	5.6	10.4	1.397	0.020	70
Aug. 04	25.0	7.4	8.7	86.1	1.2	9.8	7.4	1.291	0.024	54
Aug. 19	24.0	6.9	7.2	71.9	0.4	15.7	3.9	1.646	0.048	34
Sep. 07	26.0	9.0	9.6	78.5	1.4	13.6	12.0	1.013	0.025	41
Sep. 25	24.0	7.7	7.9	77.4	1.6	13.8	13.5	1.087	0.027	40
Oct. 09	22.5	9.0	11.1	75.1	1.1	11.4	32.2	1.502	0.035	43
Oct. 23	20.0	6.8	8.1	66.8	1.7	12.1	14.6	1.205	0.136	9
Nov. 06	17.0	6.9	8.5	68.1	1.7	12.5	12.8	1.153	0.019	61
Nov. 24	12.0	6.9	9.1	72.5	1.4	7.8	16.1	1.579	0.077	21
Dec. 08	9.0	7.0	9.0	80.5	1.7	7.6	4.9	2.117	0.086	25
Dec. 22	9.0	6.6	10.0	72.7	2.3	8.9	2.4	1.915	0.010	192
1999 Jan. 06	6.0	7.7	11.0	80.1	2.1	9.4	3.6	2.139	0.005	428
Jan. 22	4.0	7.3	12.0	80.3	2.1	9.2	6.3	2.352	0.010	235
Feb. 08	3.0	7.4	13.0	81.9	1.8	8.4	8.0	1.541	0.005	308
Feb. 25	5.0	7.6	13.3	81.4	2.0	8.1	10.2	0.845	0.010	85
Mar. 08	5.0	7.4	13.1	82.7	1.7	9.1	9.7	1.848	0.005	370
Mar. 25	7.0	7.4	12.7	85.2	1.6	8.9	10.9	1.800	0.015	120

이화학 요인 중 수온, pH, 전기전도도는 각각 수온 온도계, pH meter(ORION 290A)와 EC meter(ORION 126)를 사용하여 측정하였으며, 투명도, Chlorophyll-*a*, 용존 산소, 총 질소, 총 인은 각각 Secchi Disk, 흡광광도법, 윙클러 아지드화나트륨변법, 흡광광도법(Varian, CARY-1E), 아르코빈산 환원법으로 수질오염공정시험법(환경부 1995)을 따랐으며, SiO₂는 Standard methods의 Molybdosilicate method를 따라 측정하였다(APHA 1985).

수질영양단계 평가방법

호소 영양상태의 평가는 여러 가지 기준 중에서 Carlson (1977)의 Trophic State Index(TSI), Forsberg and Ryding (1980), OECD의 호수의 영양상태기준(1982)과 Yang and Dickman(1993)의 LTSI(Lake Trophic State Index) 지수를 구하여 평가하였으며, LTSI 지수를 구하는 관계식은 다음과 같다.

$$LTSI = 1.37 \ln \left(1 + \frac{Chl a \cdot TP}{SD} \right)$$

Chl *a*: Chlorophyll *a* (μg·l⁻¹)

TP: Total Phosphorus (μg·l⁻¹)

SD: Secchi Depth (m)

(Mesotrophic, 3.01-4.2; Meso-Eutrophic, 4.21-5.4; Eutrophic, 5.41-9.5; Hypertrophic, 9.51<)

결과와 고찰

이화학 환경요인

1998년 4월에서 1999년 3월까지 월 2회로 조사한 이화학 요인을 Table 1에 나타내었다. 수온은 식물플랑크톤의 생리 활성을 촉진하거나 지연시키기 때문에 개체군의 계절 주기에 영향을 미치며, 수중 생태계의 구조와 기능에 중요한 역할을 하는 요인이다. 표층수온은 1999년 2월에 최저 3.0°C에서 1998년 9월의 최고 26.0°C의 범위를 나타내었는데 수온이 최고일 때 식물플랑크톤의 현존량이 가장 많았고, 수온이 25.0°C 전후에 남조류가 우점 분류군으로 출현하였다. pH의 변화는 탄소원(H₂CO₃, HCO₃⁻, CO₃²⁻)의 변화와 관련이 있어서 하계의 경우 식물플랑크톤은 광합성에 필요한 용존 HCO₃를 흡수함으로써 pH가 높아진다. 현존량이 높은 9월 7일과 10월 9일에 pH는 9.0으로 최고를 나타내었는데 이는

*Anabeana planktonica*와 *Phormidium* sp. 등의 남조류의 활발한 광합성에 의한 것으로 생각되고, 최저치는 10월 23일에 6.8로 나타났다. 용존 산소는 8월 19일 최저 7.2 mg·l⁻¹에서 2월 8일 13.3 mg·l⁻¹의 범위로 나타났으며, 대기온도가 감소하는 겨울철에 높아지는 경향을 보였으며, 수온과 높은 상관성을 나타내었다. 전기전도도는 전해질의 농도를 신속하게 평가 할 수 있는 항목으로 10월 23일 최저 66.8 μs·cm⁻¹에서 4월 2일 최고 98.0 μs·cm⁻¹의 범위로 나타났다. 봄과 겨울보다 현존량이 높은 여름에 전기전도도가 낮은 경향을 보였다. 투명도는 0.4m에서 2.5m로 나타났으며, 8월 4일에 최저 0.4 m까지 떨어진 것은 비 온 다음 날 바로 측정된 결과이며, 6월 8일에 최고 2.5m로 나타났다.

규조류는 세포벽이 규소성분으로 되어 있어 물 속의 Orthosilicic acid [Si(OH)₄]의 형태로 규소를 이용하는데 봄철의 규조류 대발생시에 물 속의 규소를 고갈시키고 그 이후에는 규소를 필요로 하지 않는 종으로 대체된다. 그 규소의 양을 대표하는 SiO₂ 농도는 6월 8일에 최저 0.2 mg·l⁻¹에서 8월 19일에 15.7 mg·l⁻¹의 범위로 나타났다. *Synedra acus*가 우점하는 4월에서 6월까지 SiO₂ 농도는 최고 10.0 mg·l⁻¹에서 최소 0.2 mg·l⁻¹로 감소하는 양상을 나타내었다. 영양염과는 달리 규소는 대부분이 용존상이 아닌 입자상으로 호수의 수체로 유입된다. 규조 피각과 입자상 규소의 빠른 침강으로 인해 표수층의 규소가 규조의 생육에 이용될 수 있는 시간은 한계를 가지고, 표수층에서의 규소 농도의 감소는 규조류의 증식에 직접적인 영향을 미치게 된다. 영천댐에서 6월 이후의 규소 농도의 감소가 *Synedra acus*의 생육에 강한 제한요인으로 작용한 것으로 생각된다. SiO₂ 농도가 8월 19일 15.7 mg·l⁻¹로 높은 농도를 나타낸 것은 여름철의 집중 강우로 인해 상류로부터 많은 유입이 있었으나 규조류 개체군에 의해 아직 수체내 규소를 소비하지 못한 결과로 추정된다(Sze 1993).

Chl-*a*는 종간의 양적 차이가 있기는 하나 광합성을 하는 식물플랑크톤에는 모두 함유되어 있어 조류 현존량 뿐만 아니라 부영양화 상태를 평가하는데 사용되어져 왔다. 영천댐에서는 12월 22일 최저 2.4 mg·m⁻³에서 10월 9일 최고 32.2 mg·m⁻³의 범위로 나타났으며, 현존량과의 상관성이 0.57로 예상과 달리 높지 않았다. Chl-*a*는 일반적으로 세포체적으로 산출된 현존량과 높은 상관관계를 보이나, 본 실험방법인 세포수 계수에 의한 현존량 산출방법은 식물플랑크톤 종간의 심한 세포크기 차이로 상관성이 낮게 나온 것으로 사료된다(Reynolds 1984).

호수에서 조류증식의 제한 영양염으로 작용하는 총질소는 2월 25일 최저 0.845 mg·l⁻¹에서 1월 22일 최고 2.352 mg·l⁻¹의 범위로 나타났다. 총인은 2월 8일과 3월 8일 최저 0.093 mg·l⁻¹에서 6월 8일 13.3 mg·l⁻¹의 범위로 나타났다.

총인은 부영양화를 일으키는 중요한 수질 오염원으로 특히 남조류는 영양염류 중에서 인이나 질소의 농도에 따라 생장이나 종의 구성이 결정된다(국립환경연구원 1997).

남조류 발생과 밀접한 관계가 있는 영천댐의 연평균 질소/인 비(TN/TP)의 범위는 7에서 428 사이였으며 그 비율로 보면 인산 제한성이 된다. 그러나 영천댐의 총 질소와 총 인의 연평균 농도로 보아 식물플랑크톤이 이용할 질소와 인은 충분하다고 생각된다. 조사기간 중 강우량이 많고 남조류가 우점하는 시기(7-11월)의 식물플랑크톤 증식의 제한인자로 인보다 질소가 고려될 수 있다. 이것은 집중강우가 내리는 시기로 빗물에 의해 질소농도는 희석으로 낮아지는 반면 인의 농도는 증가하여 질소/인 비가 다른 기간 보다 상대적으로 낮게 나타났으며, 특히 공기 중의 질소를 고정하는 *Anabaena* 속이 증가하고 있다는 점에서 이점을 뒷받침해 주고 있다.

Smith(1986)는 표층의 질소/인 비가 29 이하일 때 남조류가 우점하고, 수온과 양(+)의 상관성을 보인다고 보고하였으며, 영천댐의 경우 수온과는 양의 관계를 나타내었으며, 7월에서 11월 사이 5개월간의 질소/인 비가 평균 40.5로 높음에도 남조류가 우점하였다. 그리고 영천댐의 경우 질소와 인의 영양분이 충분하고 5개월간의 수온이 거의 20°C 이상인 상태에서의 남조류 생육은 질소/인 비, 체류시간, 수온변화, 기타 각종 요인들이 복합적으로 식물플랑크톤 군집천이나 성장에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

수질영양상태평가

호수의 영양단계는 TN, TP, Chl-*a*와 투명도로 평가할 수 있다. 본 조사에서는 현재 대표적으로 사용되고 있는 종합적인 수질평정방법인 Carlson(1977)의 Trophic State Index (TSI), Forsberg and Ryding(1980)의 기준, OECD의 호수의 영양상태기준(1982), 그리고 Yang and Dickman(1993)의 LTSI를 이용하여 비교평가하였다.

Carlson(1977)는 수중 광의 감소를 부유성 조류에 의한 것으로 보고 영양상태지수를 제안하였으나, 영천댐과 같은 인공호의 경우 강우집중으로 흙탕물 또는 광물성 미세입자 유입의 영향을 현저히 받고 있어 적용상 한계점을 가지고 있다. 따라서 영천댐의 특성에 맞는 지수를 찾기 위해서는 여러 가지 영양상태지수를 적용해 보는 것이 타당하다고 생각된다.

TSI(SD, 53.2), TSI(Chl-*a*, 54.1) 또는 TSI(T-P, 57.5)로 살펴본 영천댐의 영양단계는 중영양상태(40-60)로 판정되었으며, TN, TP, Chl-*a* 또는 투명도를 이용한 Forsberg and Ryding(1980)가 제시한 기준으로는 연평균 총질소만 과영양상태(>1,500 gN·l⁻¹)를 나타내며, 나머지는 부영양상태로 나타났다. 또한 OECD의 이화학적 수질에 의한 영양단계에서

Table 2. Monthly changes of TSI and LTSI values in Youngchun Dam

Sampling Day	TSI(SD)	TSI(Chl- <i>a</i>)	TSI(TP)	LTSI
1998 Apr.	56.4 M	53.5 M	52.2 M	7.5 E
May	56.6 M	58.8 M	40.0 M	7.1 E
Jun.	48.4 M	49.4 M	51.8 M	6.1 E
Jul.	52.0 M	54.5 M	65.0 E	8.4 E
Aug.	65.3 E	47.1 M	55.0 M	7.7 E
Sep.	54.2 M	55.5 M	51.5 M	7.4 E
Oct.	55.5 M	61.3 E	65.2 E	7.6 E
Nov.	53.7 M	56.2 M	56.7 M	8.1 E
Dec.	50.2 M	42.7 M	52.9 M	5.5 E
1999 Jan.	49.3 M	45.9 M	32.4 O	6.6 E
Feb.	50.8 M	52.2 M	32.4 O	4.9 ME
Mar.	52.7 M	53.5 M	32.4 O	5.5 E
Mean	53.2 M	54.1 M	57.5 M	6.9 E

O, Oligotrophic; M, Mesotrophic; ME, Mesoeutrophic; E, Eutrophic; H, Hypereutrophic.

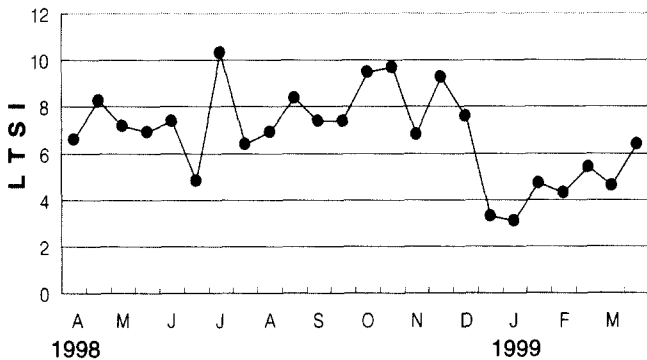


Fig. 2. Monthly changes of LTSI during the survey period.

도 총인, Chl-*a*, 투명도의 각 항목 모두가 부영양상태로 나타났다(Table 2).

그리고 LTSI에 의한 영양상태는 3.1에서 10.3의 범위로 나타났다으며, 수층이 안정되어 LTSI 값 3.0-4.2의 중영양상태를 나타낸 12월 말과 1월 초의 기간을 제외한 전 조사기간 동안 연평균 6.9로 나타나 1994년 가을의 8.0(김과 이 1996)에 비해 다소 낮게 나타났으나 전반적으로 부영양에서 과영양상태로 조사되었다. 특히 1998년 7월 초에 지수 9.51를 초과한 과영양상태를 나타낸 것은 집중호우로 인한 높은 영양염류(총인)의 유입에 의한 것으로 추정되고, 10월에 최고값인 10.3의 과영양상태를 나타낸 것은 식물플랑크톤의 왕성한 활동으로 인한 Chl-*a*의 증가에 기인한 것으로 판단된다(Fig. 2).

식물플랑크톤 군집

식물플랑크톤 군집구성: 본 연구 기간에 영천댐에서 출현한 식물플랑크톤은 총 72 taxa로 조사되었으며, 이들은 남조

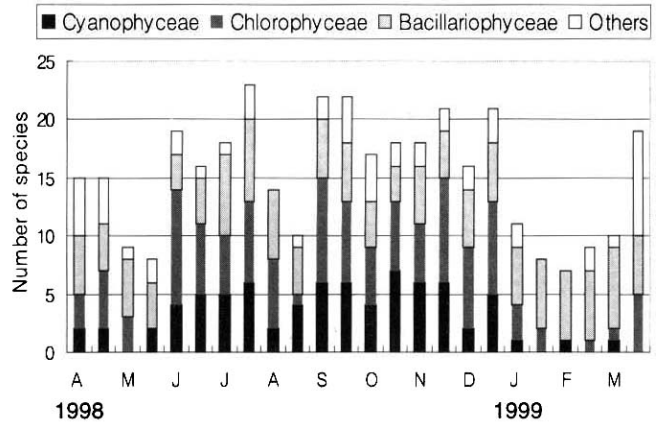


Fig. 3. Seasonal variations of the species number during the survey period.

류 6속 13종(18.1%), 녹조류 19속 28종(38.9%), 규조류 11속 16종(22.2%), 황색편모조류 3속 5종(6.9%), 갈색편모조류 2속 2종(2.8%), 유글레나류 2속 4종(5.5%), 와편모조류가 2속 2종(2.8%)으로 조사되었다.

계절별 출현종수의 변화는 여름철에 가장 많은 종이 출현하였으며, 99년 2월 초에 출현종수가 가장 적었다. 그리고 규조류가 우점하는 5월과 집중강우가 많았던 8월말에 출현종수가 적었다. 분류군별 구성종수의 변화는 대체로 여름에는 남조류와 녹조류가 많이 출현하였으며, 봄과 겨울에는 규조류가 출현종의 대부분을 차지하였다(Fig. 3). 계절별 출현종수와 출현종의 분류군별 구성은 국내 다른 댐과 유사하게 조사되었으나 총 출현종수는 상당히 적었으며(김 1999; 김 등 1997; 김 등 1998), 특히 영천댐에서 1994년 9월 김과 이(1996)의 조사에서 출현한 89 taxa에 비해서도 출현종수가 적은 특징을 나타내었다.

조사기간 동안 남조류의 *Microcystis* spp.와 *Anabaena planktonica*, 규조류의 *Synedra acus*, *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*, *A. distans*, 그리고 녹조류의 *Monoraphidium contortum*과 *Cryptomonas ovata* 등이 출현빈도가 높게 조사되었다.

현존량과 우점종 변화: 총 현존량은 6월 23일에 318 cells·ml⁻¹로 가장 낮았으며, 9월 7일에 24,826 cells·ml⁻¹로 가장 높게 조사되었다(Fig. 4A). 현존량의 최고치를 나타낸 9월은 높은 영양염과 25°C 이상의 높은 수온이 유지되는 남조류 증식의 호조건을 유지하여 남조류의 구성비가 65%를 차지하고 있으나 국내 다른 댐에서 남조류의 최대 증식 때와 비교해 볼 때 현존량의 구성비가 상대적으로 낮게 나타났다(김 1995; 국립환경연구원 1997; 김 1998). 이는 이 시기에 잦은 강우로 인한 수층의 불안정으로 남조류의 생육이 저해되고 집중 강우로 인한 표수층에 있던 남조류가 여수로를 통해 끌려 내려갔기 때문인 것으로 사료된다.

분류군별 현존량 구성의 계절적 변화는 7월에서 12월 초

Table 3. Changes of the dominant species of the phytoplankton community in Youngchun Dam

Sampling Day	Dominant Species	Abundance (%)	Subdominant Species	Abundance (%)
1998 Apr. 02	<i>Synedra acus</i>	66.6	<i>Monoraphidium contortum</i>	6.10
Apr. 17	<i>Synedra acus</i>	80.5	<i>Monoraphidium contortum</i>	5.5
May 04	<i>Synedra acus</i>	97.7	-	
May 19	<i>Synedra acus</i>	97.1	-	
Jun. 08	<i>Synedra acus</i>	51.5	<i>Phormidium</i> sp.	14.1
Jun. 23	<i>Synedra acus</i>	69.5	<i>Aulacoseira ambigua</i>	9.4
Jul. 07	<i>Phormidium</i> sp.	40.3	<i>Microcystis aeruginosa</i>	11.6
Jul. 21	<i>Aulacoseira granulata</i>	33.8	<i>Phormidium</i> sp.	27.6
Aug. 04	<i>Aulacoseira granulata</i>	27.7	-	
Aug. 19	<i>Phormidium</i> sp.	35.8	<i>Anabaena</i> sp.	32.9
Sep. 07	<i>Phormidium</i> sp.	53.0	<i>Anabaena planktonica</i>	12.0
Sep. 25	<i>Anabaena planktonica</i>	61.1	<i>Rhodomonas</i> sp.	13.3
Oct. 09	<i>Anabaena planktonica</i>	78.1	<i>Volvox globator</i>	16.3
Oct. 23	<i>Microcystis aeruginosa</i>	25.7	<i>Anabaena planktonica</i>	24.5
Nov. 06	<i>Anabaena planktonica</i>	36.1	<i>Aulacoseira granulata</i>	21.9
Nov. 24	<i>Microcystis aeruginosa</i>	72.1	<i>Aulacoseira granulata</i>	16.9
Dec. 08	<i>Aulacoseira granulata</i>	50.8	<i>Anabaena planktonica</i>	12.1
Dec. 22	<i>Rhodomonas</i> sp.	17.6	<i>Aulacoseira distans</i>	14.4
1999 Jan. 06	<i>Aulacoseira distans</i>	45.2	<i>Aulacoseira granulata</i>	13.6
Jan. 22	<i>Aulacoseira distans</i>	73.4	-	
Feb. 08	<i>Aulacoseira distans</i>	76.0	-	
Feb. 25	<i>Aulacoseira distans</i>	69.0	-	
Mar. 08	<i>Aulacoseira distans</i>	45.2	-	
Mar. 25	<i>Aulacoseira distans</i>	47.5	-	

Table 4. The correlation coefficients of algal taxa to physico-chemical factors

	W.T	pH	DO	EC	SD	SiO ₂	Chl- <i>a</i>	T-N	T-P	TN/TP	Total standing crops
Total standing crops	0.45	0.40	-0.14	-0.31	-0.25	0.37	0.57	-0.46	0.09	-0.27	1.00
Cyanophyceae	0.44	0.49	-0.09	-0.33	-0.23	0.40	0.55	-0.54	0.03	-0.25	0.99
Bacillariophyceae	-0.25	0.21	0.46	0.35	-0.02	-0.35	0.20	-0.01	-0.30	0.32	-0.08
Chlorophyceae	0.31	0.34	-0.02	-0.30	-0.18	0.25	0.70	-0.18	0.08	-0.20	0.64
The others	0.32	-0.13	-0.40	-0.49	-0.04	0.48	0.36	-0.40	0.15	-0.21	0.23

사이에 남조류가 전체 현존량의 25.7-78.1%를 차지하였으며, 98년 4월에서 6월 사이와 99년 1월에서 3월 사이의 수온이 낮은 시기에 규조류가 총 현존량의 45.2-97.7%의 높은 구성비를 차지하여 영천댐의 식물플랑크톤 군집은 여름과 가을의 남조류와 겨울과 봄의 규조류로 대별되는 특징을 나타내었다(Fig. 4B). 연간 식물플랑크톤의 현존량과 각 분류군별 현존량과의 상관계수 또한 남조류($r = 0.99$)와 규조류($r = 0.64$)가 가장 높게 나타나 영천댐의 식물플랑크톤 군집은 남조류와 규조류에 의해 지배되는 것으로 조사되었다(Table 4).

우점종의 계절 변화는 4월에서 6월까지의 규조류의 *Synedra acus*가 전체 현존량의 51.5-97.7%를 차지하는 높은 우점도를 보였으며, 7월에서 12월 초까지는 *Phormidium* sp.와 *Anabaena planktonica* 그리고 *Microcystis aeruginosa*의 남조류가

우점하였다. 12월에서 3월까지의 다시 규조류 *Aulacoseira distans*로 대체되어 영천댐에 나타난 식물플랑크톤 우점종의 계절 변화는 일반적으로 온대 지역 부영양호에서 여름에 남조류가 증가하는 전형적인 천이유형과 우리나라의 인공 다목적 댐에서 여름에 남조류가 우점하고 있는 현상과 유사하게 나타났다(Table 3). 그러나 높은 수온을 유지하는 7월말과 8월초에 규조류의 *Aulacoseira granulata*가 우점으로 출현하였으며, 갈색편모조류인 *Rhodomonas* sp.는 12월 22일, 녹조류의 *Monoraphidium contortum*과 *Volvox globator*는 각각 4-5월 초와 10월 9일에 일시적으로 우점 또는 아우점종으로 출현하는 특징적인 양상을 나타내었다. 특히 주요 우점종 중의 *Aulacoseira* 속은 봄에는 *Aulacoseira ambigua*, 여름에는 *A. granulata*, 겨울에는 *A. distans*가 우점하는 종 천이를 보여 주었다(Fig. 5).

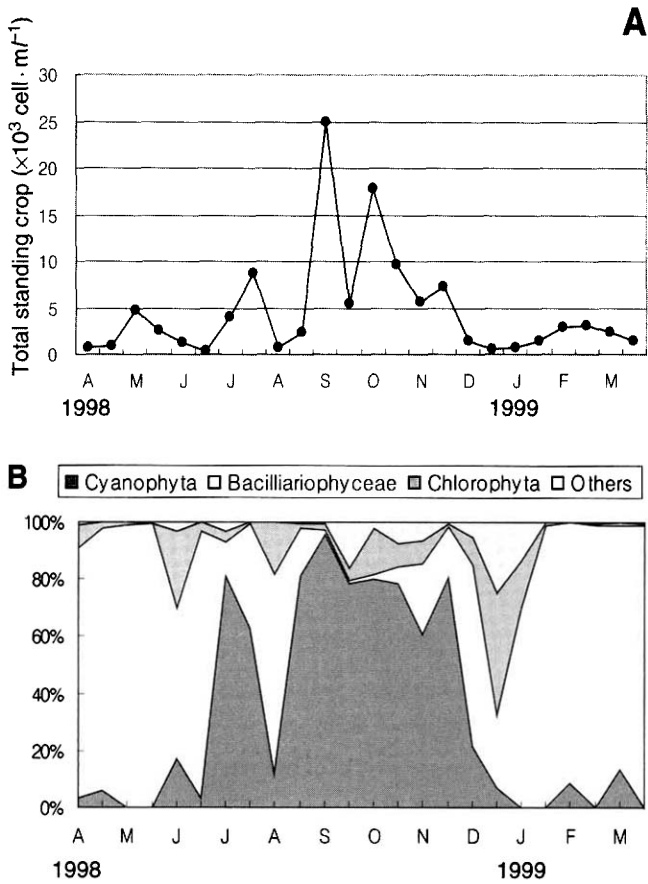


Fig. 4. Seasonal variations of the total standing crop (A) and relative percentage of algal group (B) during the survey period.

식물플랑크톤군집과 이화학 환경요인과의 상관성: 수온과 식물플랑크톤 총 현존량의 상관관계는 $r = 0.45$ 로 나타났으며, 수온과 규조류 현존량은 역의 상관관계($r = -0.25$)를 나타내었으나 나머지 각 분류군의 현존량과 수온과의 상관관계는 정의 관계를 나타내었다($r = 0.31-0.45$). Chl-*a*와 총 현존량과의 관계는 다른 이화학 환경요인보다 높은 상관관계($r = 0.57$)를 나타내었다. Chl-*a*와 식물플랑크톤 각 분류군별 현존량과의 관계는 녹조류($r = 0.70$), 남조류($r = 0.55$), 기타조류($r = 0.36$), 규조류($r = 0.20$) 순으로 나타났다.

총 질소와 총 현존량과의 상관관계($r = -0.47$)는 역의 관계로 나타났으며, 특히 남조류 현존량과의 관계는 $r = -0.54$ 로 총 현존량보다 높게 나타났다. 총 인과 총 현존량과의 상관관계는 $r = 0.09$ 로 매우 낮게 나타났으며, SiO_2 와 규조류 현존량과의 상관관계는 $r = -0.35$ 로 나타났다. 위에서 언급한 상관계수는 1년간의 결과치로서 각 식물플랑크톤에 대한 보다 정확한 상관성을 보기 위해서는 계절별 혹은 식물플랑크톤 bloom 기간의 짧은 주기로 조사되어야 될 것으로 생각된다(Table 4).

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 영천댐의 식물플랑크톤 군

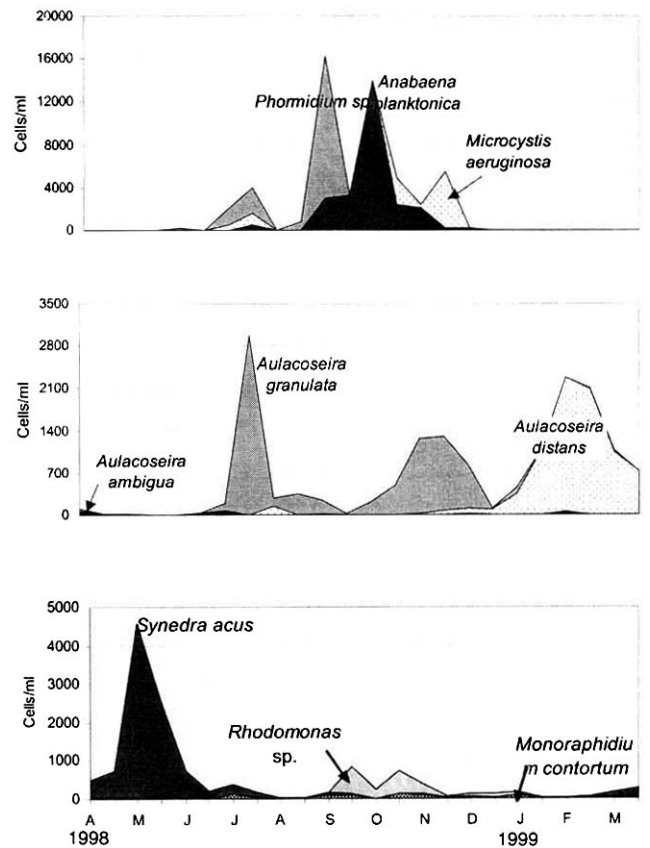


Fig. 5. Seasonal changes of the major dominant species of phytoplankton community in Youngchun Dam.

집은 수온과 질소에 의해 가장 큰 영향을 받고 있는 것으로 추정할 수 있으며, 영천댐의 부영양화 정도는 더욱 심화하여 매년 여름과 가을철의 남조류출현으로 댐의 오염을 가중시킬 것으로 판단된다. 또한 LTSI에 의한 영천댐의 수질영양단계가 부영양에서 과영양 상태에 있어 수자원 보호를 위해서 유입수의 수질관리나 댐내 영양염류 제거방안을 도출해야 할 것으로 판단되며, 원수수질 관리나 정수공정에서의 식물플랑크톤 제어방안에 관한 장기적 조사연구가 병행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 국립환경연구원. 1997. 상수원에서의 이취미 발생 원인 및 대책에 관한 연구(1). 106 pp.
- 김용재. 1999. 덕동호의 식물플랑크톤 군집과 LTSI에 의한 호소의 영양상태평가. *Algae* 14: 161-167.
- 김용재, 이정호. 1996. 낙동강 수계의 6개 댐호의 식물 플랑크톤 군집구조 비교. *한국육수학회지* 29: 347-362.
- 김용재, 최재신, 김한순. 1997. 인하호에서의 식물성플랑크톤 군집구조. *한국육수학회지* 30: 307-324.
- 김한순, 최재신, 김용재. 1998. 가창댐의 식물플랑크톤 군집의 동태. *한국육수학회지* 31: 337-344.
- 정준. 1993. 한국담수조류도감. 아카데미서적. 496 pp.

- 한국수자원공사 수도관리처. 1998. 수도관리연보. 320 pp.
- 환경부. 1995. 수질오염공정시험법. 성문기술. 서울. 310 pp.
- APHA, AWWA, WPCF. 1985. *Standard methods for the examination of water and examination*. 16th ed. APHA. New York. 4: 184-187.
- Carlson R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* **22**: 361-369.
- Forsberg C. and Ryding S.O. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* **89**: 189-207.
- Hayes K.P. and Burch M.D. 1989. Odorous compounds associated with algal blooms in South Australian waters. *Wat. Res.* **23**: 115-121.
- Hendey N.I. 1974. The permanganate method for cleaning fresh gathered diatoms. *Microscopy* **32**: 423-426.
- Hirose H. and Yamagishi T. 1997. *Illustration of the Japanese freshwater algae*. Uchida Rokakuhe Publishing Co. Tokyo. 933pp.
- Horn A.J. and Goldman C.R. 1994. *Limnology*. 2nd ed. McGraw-Hill, Inc. 576pp.
- Lawton L.A. and Codd G.A. 1991. Cyanobacterial (blue-green algal) toxins and their significance in U.K. and European waters. *J. Inst. water Environ. Manag.* **5**: 460-465.
- Lund H.C. and Lund J.W. 1996. *Freshwater algae - Their microscopic world explored*. Biopress Ltd, Bristol. 360pp.
- Persson P.E. 1980. Muddy odours: a problem associated to extreme eutrophication. *Hydrobiology* **86**: 161-164.
- Sze P. 1993. *A biology of the algae*. 2nd ed. 258 pp.
- Presscott G.W. 1962. *Algae of the Western Great Lakes area*. Wm.C Brown Comp. Iowa. 977 pp.
- Reynolds C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge. 384 pp.
- Smith W. H. 1986. Prediction the proportion of blue-green algae in lake phytoplankton. *Can. J. Fish. Aquatic Sci.* **43**: 148-153.
- Yang J.R. and Dickman M. 1993. Phosphorus loading and efficiency of biomanipulation. *Verh Internat. Verein. Limnol.* **24**: 2482-2488.

Received 7 September 2004

Accepted 24 September 2004