

## 국내 주요 호수의 식물플랑크톤 종조성 및 영양단계 평가

이정호 · 박종근<sup>1</sup> · 김은정<sup>2</sup>

(대구대학교 생물교육과, <sup>1</sup>한국수자원공사, <sup>2</sup>국립환경연구원)

### Trophic States and Phytoplankton Compositions of Dam Lakes in Korea

Jung Ho Lee, Jong Gun Park<sup>1</sup> and Eun Jung Kim<sup>2</sup>

Department of Biology Education, Daegu University, Kyungbuk 712-714,

<sup>1</sup>Korea Water Resources Cooperation, Daejeon 305-390 and

<sup>2</sup>National Environmental Research Institute, Incheon 404-170, Korea

Trophic states and species compositions of phytoplankton communities of the ten dam lakes in Korea were determined in the study. Samples were collected seasonally on February, May, August and October in 1998. Total 198 phytoplankton taxa were collected and classified into 17 varieties and 181 species and belonged to 83 genera. Over all dominant species were diatoms in February. However in August blue green algae, mainly *Microcystis* species, dominated in almost all the lakes. The algal blooms were recorded at the Lake Paldang only in February, at two Lakes of Paldang and Kwangdong in May. However, the blooms were observed in seven lakes in August and eight lakes in October; especially the algal bloom in Lake Paldang was observed for the whole studying periods. The range of the average LTSI (Lake Trophic Status Index, Yang and Dickman 1993) in the entire study periods for the ten dam lakes was 4.1 to 8.0 and included 1 mesotrophic, 3 mesoeutrophic and 6 eutrophic lakes. Lake Andong was only a mesotrophic lake of 4.1 average LTSI value. Lake Kwangdong, Chungju and Unmun were assessed into mesoeutrophic lakes with the range of 4.9 to 5.2 LTSI value. The rest 6 lakes such as Lake Paldang, Daechung, Imha, Angye, Sayeun and Namgang were eutrophic with the LTSI over 5.41.

**Key Words:** algal bloom, dam lakes, phytoplankton, trophic states

#### 서 론

효율적인 수자원 관리와 이용을 목적으로 국내에는 현재 대청호를 비롯한 10개의 다목적댐저수지와 13개의 용수전용 댐호수가 조성되어 있다(한국수자원공사 1996). 이와 같은 댐호수에 의한 수자원 확보에는 그 부작용으로 수질의 부영양화가 뒤따르게 되며, 그 결과 식물플랑크톤의 대발생에 의한 수화현상 등으로 인해 원수의 수질관리는 물론 정수공정에도 많은 어려움이 초래되고 있다(이와 김 1996; 이 등 1998).

그러나 국내 주요 댐호수들의 영양상태 및 식물플랑크톤 발생 현황에 대해서는 일부 호수에 대한 조사가 개별적으로 이루어져 왔을 뿐, 전체 호수에 대한 개괄적인 종합 조사는

거의 이루어지지 않은 실정이다(김과 정 1993; 이와 조 1994; 정 1995; 한 등 1996; 장과 전 1996; 이 1999).

본 연구에서는 국내 댐호수 중 10개 주요 호수를 선정하여 식물플랑크톤의 종조성과 수화 발생 현황을 조사 비교하고, Multi-parameter Trophic State Index 방법을 이용하여 각 호수들의 수질 영양단계를 평가하였다(Yang and Dickman 1993). 특히 주요 식물플랑크톤 출현종에 대하여 수질 영양단계를 기초로 한 생태형을 분류하여, 향후 식물플랑크톤을 이용한 호수 수질영양단계의 모니터링 기법 개발의 기초자료로 활용하고자 하였다.

#### 재료 및 방법

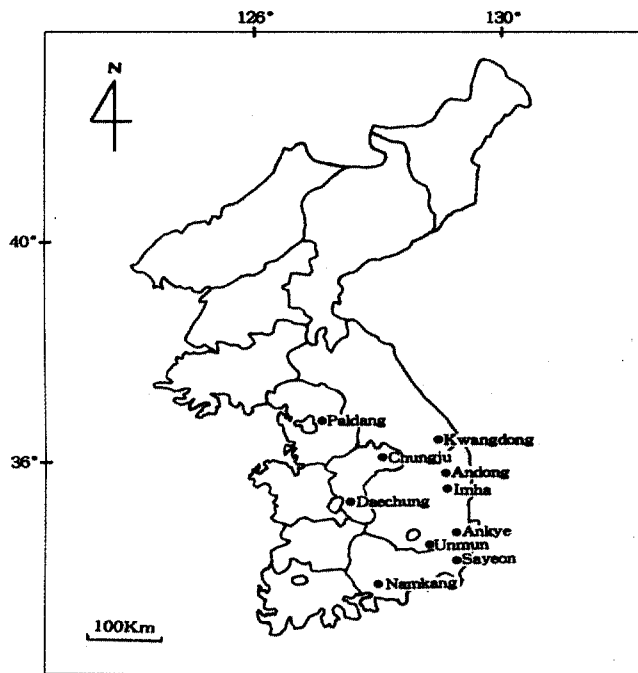
##### 조사지 개황

본 조사는 팔당호, 광동호, 충주호, 대청호, 안동호, 임하호, 운문호, 안계호, 사연호, 남강호 등 10개 댐호수를 대상

\*Corresponding author (jungho@taegu.ac.kr)

**Table 1.** Limnological and geological features of ten dam lakes in 1998.

Lakes	Waters-hed area (km <sup>2</sup> )	Surface area (km <sup>2</sup> )	Lake volume (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	Completion date (year)	Utilization
Kwangdong	125	1.04	11	1989	irrigation
Paldang	23,800	36.5	7,718	1989	irrigation
Chungju	6,648	97.0	3,380	1978	multipurpose
Daechung	4,134	72.8	1,230	1975	multipurpose
Andong	1,584	51.5	926	1977	multipurpose
Imha	1,361	26.4	592	1992	multipurpose
Unmun	301	7.8	135	1994	irrigation
Ankye	7	1.4	17	1971	irrigation
Sayeon	125	1.9	25	1965	irrigation
Namkang	2,285	28.2	1,416	1969	multipurpose



**Fig. 1.** Map showing the locations of ten dam lakes.

으로 실시하였다. 조사지는 Fig. 1과 같으며 조사지 개황은 Table 1과 같다.

**식물플랑크톤과 환경요인 분석**

팔당호를 포함한 10개 댐호수를 대상으로 1998년 2월과 5월, 8월, 10월 등 계절별로 총 4회 채집 조사하였다. 식물플랑크톤과 이화학적 요인 분석을 위한 모든 시료는 댐측 인접 지점의 수심 10-20cm 범위의 표층수를 채수하였다.

식물플랑크톤 채집은 정량 시료는 1 l용 플라스틱 채수병을 사용하였고, 정성 시료는 plankton net(Rhigosha NXXX25)를 사용하였으며, 채집한 시료는 즉시 Lugol's solution으로 고정하였다. 규조류 동정은 Hendey(1974) 방

법에 따라 시료를 세정하고 Pleurax로 봉입하여 영구표본을 제작한 후 현미경으로 1000배 하에서 동정하였다. 식물플랑크톤은 정량 채집한 시료를 24시간 이상 침전시켜 50-100 ml로 농축시킨 후 Sedgwick-Rafer Chamber를 사용하여 세포를 계수 하였다.

이화학적 요인 분석을 위한 시료는 Van Dorn 채수기를 사용하여 채수하였다. 클로로필 a는 500 ml의 시료를 GF/F 유리섬유여과지로 여과하여 아세톤으로 24시간 추출한 후 흡광광도계로 측정하였다 (환경부 1996). 총질소(TN)는 자외선 흡광광도법으로 측정하였고 총인(TP)은 아스코르빈산 환원법으로 분석하였다 (환경부 1996). 수온, pH 및 용존산소는 YSI 6000을 사용하였으며, 투명도(SD)는 직경 30cm의 Secchi Disc를 사용하여 현장에서 측정하였다.

**수질영양단계 평가**

호수 영양단계는 Yang and Dickman(1993)의 호수영양단계지수(Lake Trophic Status Index: LTSI) 값을 구하여 평가하였으며 이를 위한 관계식은 다음과 같다.

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

Chl a: Chlophyll a (μg · l<sup>-1</sup>)

TP: Total Phosphorus (μg · l<sup>-1</sup>)

SD: Secchi Depth (m)

**결과 및 고찰**

**이화학적 요인 조사**

본 조사에서 나타난 환경요인의 변화는 Table 2와 같다. 수온은 최저 2.1°C에서 최고 28.1°C의 범위를 나타냈으며, 팔당호가 년중 평균 13.9°C로 가장 낮았고 조사지 중에서 가

Table 2. Environmental factors of ten dam lakes in 1998.

Lakes	Month	WT(°C)	SD(m)	pH	DO(mg/l)	T-N(mg/l)	T-P(mg/l)	N/P ratio	chl a ( $\mu\text{g/l}$ )
Kwagdong	February	2.1	2.2	7.5	14.3	3.079	0.007	440	5.4
Paldang		3.9	2.3	8.8	13.1	2.114	0.015	141	10.9
Chungju		5.3	2.5	8.0	12.3	2.456	0.007	351	8.3
Daechung		5.4	3.1	7.3	12.2	1.677	0.038	44	5.4
Andong		5.2	3.4	7.1	13.0	1.740	0.020	87	1.7
Imha		4.5	2.0	7.2	12.6	2.174	0.006	362	7.5
Unmun		4.9	2.5	7.4	13.2	0.960	0.007	137	2.2
Ankye		4.5	1.5	7.8	14.2	1.930	0.027	71	5.3
Sayeon		5.3	2.5	7.5	14.3	1.518	0.029	52	6.7
Namkang		9.0	1.0	7.4	11.8	1.746	0.031	56	8.9
Kwagdong	May	18.1	3.0	8.8	10.5	2.351	0.007	336	3.0
Paldang		19.8	2.5	8.8	10.2	2.778	0.031	90	16.4
Chungju		21.2	5.0	8.5	11.6	2.540	0.006	423	1.7
Daechung		18.7	3.7	8.0	9.1	1.406	0.072	20	2.5
Andong		18.0	3.2	9.0	10.8	2.307	0.013	177	8.5
Imha		12.5	1.0	8.2	7.1	3.333	0.020	476	13.3
Unmun		18.8	3.3	8.4	11.1	1.847	0.007	142	4.8
Ankye		16.7	1.4	8.5	11.0	2.130	0.013	142	3.1
Sayeon		17.8	1.4	8.5	11.3	2.473	0.015	41	3.9
Namkang		18.8	0.9	7.9	11.1	1.769	0.060	33	16.9
Kwagdong	August	19.2	1.7	8.8	9.4	2.977	0.054	51	3.7
Paldang		24.5	1.8	9.0	8.8	2.249	0.058	34	14.5
Chungju		25.7	3.0	9.5	13.2	2.505	0.066	84	15.5
Daechung		26.2	1.2	7.4	8.2	2.900	0.030	242	13.0
Andong		24.8	2.5	8.8	6.8	1.504	0.012	58	12.3
Imha		22.6	1.2	8.3	10.2	1.699	0.026	44	10.7
Unmun		24.9	2.0	8.7	9.6	2.232	0.039	59	8.0
Ankye		26.6	1.3	7.8	10.9	1.778	0.038	23	20.6
Sayeon		26.4	2.1	9.3	10.7	1.285	0.079	58	4.8
Namkang		28.1	1.1	9.2	13.3	0.965	0.022	42	15.2
Kwagdong	October	16.0	1.4	7.4	10.1	3.160	0.023	44	9.6
Paldang		21.4	1.4	8.8	9.2	2.244	0.072	150	17.8
Chungju		21.0	1.4	8.4	11.3	0.414	0.015	7	14.7
Daechung		23.4	1.6	7.8	9.6	1.583	0.059	264	25.1
Andong		22.1	3.5	7.2	7.7	1.867	0.006	43	4.5
Imha		21.0	1.0	8.0	7.9	1.861	0.043	103	17.1
Unmun		21.4	1.0	8.6	8.5	0.664	0.018	28	8.7
Ankye		22.4	1.3	6.9	7.4	1.120	0.024	30	22.9
Sayeon		22.3	0.3	7.4	7.3	1.087	0.037	29	11.3
Namkang		21.4	0.7	8.1	8.6	1.656	0.038	44	2.4

장 남쪽에 위치한 남강호가 평균 19.3°C로 가장 높게 나타났다. 투명도는 대부분의 호소에서 2월과 5월에 높고 8월과 10월에 낮았으나, 충주호와 안동호에서는 8월과 10월에 오히려 투명도가 높게 나타났다. pH는 최저 6.9에서 최고 9.5까지의 범위를 보였다. 용존산소 농도는 전체적으로 7.1-14.3 mg·l<sup>-1</sup>의 범위를 보였으며 특히 2월에 모든 댐저수지에서 11.8 mg·l<sup>-1</sup> 이상의 높은 농도로 조사되었다. 총질소는 전 조사지에서 계절에 따른 일정한 경향성을 보이지 않았으며

입하호가 5월에 3.333 mg·l<sup>-1</sup>로 가장 높았고 충주호가 10월에 0.414 mg·l<sup>-1</sup>로 가장 낮았다.

본 조사에서는 대체적으로 총질소 농도가 낮을 때 남조류가 우점하고 반대로 총질소 농도가 높을 때는 규조류가 우점하는 경향을 나타냈다. 이는 질소 농도가 낮아지거나 결핍될 때 타 조류군에 비해 질소고정 능력이 있는 남조류가 번무하는 육수학적 특성에 기인한 결과로 이해될 수 있다 (Schindler 1977; Horne and Goldman 1994). 총인은 조사

Table 3. Seasonal change of LTSI values from ten dam lakes in 1998.

Lakes	February	May	August	Ocotober	Mean
Kwangdong	4.0 M	2.8 OM	6.5 E	6.9 E	5.1 ME
Paldang	5.9 E	7.3 E	8.4 E	9.3 E	7.7 E
Chungju	4.4 ME	1.5 O	8.0 E	6.9 E	5.2 ME
Daechung	5.8 E	5.3 ME	7.9 E	9.4 E	7.1 E
Andong	3.3 M	4.9 ME	5.6 E	3.0 OM	4.2 M
Imha	4.3 ME	7.7 E	7.5 E	9.0 E	7.1 E
Unmun	2.7 OM	3.3 M	6.9 E	6.9 E	5.0 ME
Ankye	6.3 E	4.6 ME	8.8 E	8.3 E	7.0 E
Sayeon	6.0 E	5.1 ME	7.1 E	9.9 H	7.0 E
Namkang	7.7 E	9.6 H	7.8 E	6.7 E	8.0 E

\*Lake trophic categories; O: Oligotrophic, OM: Oligomesotrophic, M: Mesotrophic, ME: Mesoeutrophic, E: Eutrophic, H: Hypereutrophic.

시기 및 호수별로 차이가 비교적 크게 나타났는데, 안동호를 제외한 나머지 호수들은 8월과 10월에 총인의 농도가 2월과 5월에 비해 높았다. 대부분의 호수에서 여름철과 가을철에 총인의 농도가 증가하는 것은 초여름의 장마철의 집중강우로 인해 유역으로부터 영양염 유입이 크게 증가하는 것이 그 원인으로 추정된다(Harper 1992).

### 호수 영양단계 평가

본 연구에서 각 조사대상 호수의 영양단계지수, 즉 1998년의 LTSI(Lake Trophic Status Index, Yang and Dickman 1993)의 연간 평균값은 4.1에서 8.0의 범위를 보였는데, 평균 LTSI 값을 기준으로 10개 호수 중 중영양호(mesotrophic) 1개소, 중부영양호(mesoeutrophic) 3개소, 그리고 나머지 6개소는 부영양호(eutrophic)로 평가되었다(Table 3).

본 연구에서 안동호는 LTSI의 년중 평균값이 4.1로 유일한 중영양호로 평가되었으며, 광동호와 충주호, 운문호는 평균 LTSI값이 4.9에서 5.2까지의 범위를 보여 중부영양호였다. 나머지 팔당호와 대청호, 임하호, 안계호, 사연호, 남강호 등 6개 호수는 평균 LTSI값이 5.4 이상으로 모두 부영양호로 조사되었다 (Table 3).

남강댐을 제외한 나머지 호수들은 모두 2월과 5월보다 8월과 10월에 영양단계가 높게 나타났다. 특히 본 조사에서는 안동호를 제외한 9개 호수는 고수온기인 8월에는 모두 대단히 높은 LTSI 값으로 부영양 단계로 평가되었다(Table 3).

### 식물플랑크톤 조사

#### 우점종 비교

겨울철인 2월 조사에서는 갈색편모조강의 *Rhodomonas* sp.가 우점인 임하호와 역시 갈색편모조강인 *Cryptomonas*

*ovata*가 우점종인 사연호를 제외한 나머지 호수 모두에서 규조류가 우점종으로 조사되었다. 팔당호는 *Stephanodiscus invisitatus*가, 그리고 충주호는 *Stephanodiscus hantzschii*가 우점종이었으며, 광동호와 안동호는 *Synedra acus*, 대청호와 남강호는 *Aulacoseira distans* var. *alpigena*, 안계호와 운문호는 각각 *Aulacoseira ambigua*와 *Asterionella formosa*가 우점종으로 조사되었다(Table 4).

봄철인 5월 조사에서는 각 호수의 우점종은 남조강과 규조강 혹은 녹조강이나 갈색편모조강 등 대단히 다양하게 나타났다. 팔당호와 사연호에서는 *Rhodomonas* sp.가 우점하는 것으로 조사되었으며, 광동호와 안동호는 남조류인 *Pseudanabaena limnetica*가 우점종이었다. 임하호는 규조류인 *Synedra acus*가, 그리고 충주호와 대청호, 안계호, 남강호 역시 각각 규조류인 *Cyclotella bodanica*와 *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa*, *Aulacoseira distans* var. *alpigena*가 우점종이었으며, 운문호는 유일하게 녹조류인 *Dictyosphaerium pulchellum*이 우점으로 조사되었다(Table 4).

여름철인 8월 조사에서는 팔당호가 *Rhodomonas* sp., 그리고 충주호가 녹조강인 *Volvox prolificus*가 우점종이었던 것을 제외하곤 나머지 호수 모두 남조류인 *Pseudanabaena limnetica*(광동호, 사연호)와 *Oscillatoria limosa*(대청호), *Microcystis ichthyoblabe*(임하호, 안동호), *Microcystis aeruginosa*(남강호), *Coelasphaerium naegelianum*(안계호) 등이 우점종이었다(Table 4).

가을철인 10월 조사에서는 5월의 조사 결과와 유사하게 녹조강과 남조강, 규조강, 갈색편모조강 등이 호수별로 매우 다양하게 나타났다. 팔당호는 규조류인 *Aulacoseira granulata*가 우점종이었으며, 광동호와 충주호, 안동호, 임하호, 운문호, 안계호 등은 모두 남조류가 우점하는 것으로 나타났다. 대청호와 남강호는 녹조류인 *Eudorina elegans*와

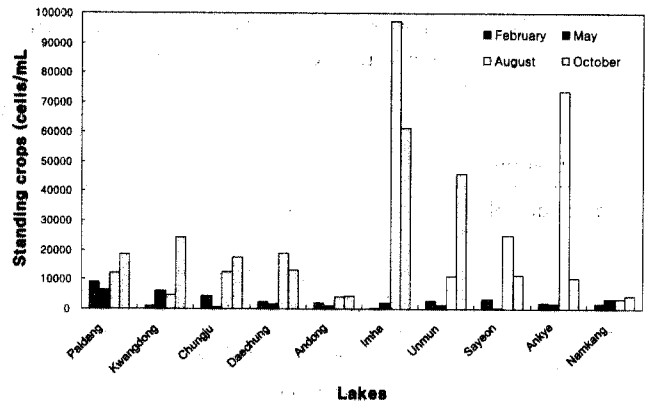
**Table 4.** Seasonal changes of dominant species of phytoplankton in ten dam lakes in 1998.

Lakes	Season	Dominant species
Kwangdong	February	<i>Synedra acus</i>
	May	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
	August	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
	October	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
Paldang	February	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>
	May	<i>Rhodomonas</i> sp.
	August	<i>Rhodomonas</i> sp.
	October	<i>Aulacoseira granulata</i>
Chungju	February	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>
	May	<i>Cyclotella bodanica</i>
	August	<i>Volvox prolificus</i>
	October	<i>Microcystis aeruginosa</i>
Daechung	February	<i>Aulacoseira distans</i> v. <i>alpigena</i>
	May	<i>Fragilaria crotonensis</i>
	August	<i>Oscillatoria limosa</i>
	October	<i>Eudorina elegans</i>
Andong	February	<i>Synedra acus</i>
	May	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
	August	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>
	October	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>
Imha	February	<i>Rhodomonas</i> sp.
	May	<i>Synedra acus</i>
	August	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>
	October	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>
Unmun	February	<i>Asterionella formosa</i>
	May	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>
	August	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>
	October	<i>Microcystis aeruginosa</i>
Ankye	February	<i>Aulacoseira ambigua</i>
	May	<i>Asterionella formosa</i>
	August	<i>Coelasphaerium naegelianum</i>
	October	<i>Coelasphaerium naegelianum</i>
Sayeon	February	<i>Cryptomonas ovata</i>
	May	<i>Rhodomonas</i> sp.
	August	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
	October	<i>Rhodomonas</i> sp.
Namkang	February	<i>Aulacoseira distans</i> var. <i>alpigena</i>
	May	<i>Aulacoseira distans</i> var. <i>alpigena</i>
	August	<i>Microcystis aeruginosa</i>
	October	<i>Actinastrum hantzschii</i>

*Actinastrum hantzschii*가 각각 우점종이었다(Table 4).

**식물플랑크톤의 현존량**

본 조사에서는 모든 조사 지점에서 고수온기인 8월과 10월에 현존량이 급증하는 양상을 나타냈으며, 5월 조사에서 사연호가 최소인 239 cells·ml<sup>-1</sup>의 현존량을 기록하였으며, 8월의 임하호가 97,272 cells·ml<sup>-1</sup>인 최대치를 보였다(Fig. 2).



**Fig. 2.** Standing crops of phytoplankton communities of ten dam lakes.

겨울철인 2월 조사에서는 팔당호가 9,024 cells·ml<sup>-1</sup>로 가장 높은 현존량을 보였는데, 이는 일반적인 수화 발생 기준인 5,000 cells·ml<sup>-1</sup>를 상회하는 수치로서(Horne and Goldman 1994), 이미 동절기에도 수화가 발생하고 있음을 나타내는 결과이다. 특히 이 시기의 팔당댐의 우점종은 오염에 내성이 강한 소위 호오염성 규조류인 *Stephanodiscus invistatus*로서(Watanabe et al. 1990), 팔당호의 수질오염이 상당히 진행된 것으로 나타났다.

광동호와 임하호, 남강호를 제외한 나머지 호수들의 현존량은 2월에 비해 5월 조사에서는 다소 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 이 시기가 호수의 청수기(clear water phase)에 해당했기 때문에 추측된다(Horne and Goldman 1994).

8월에는 광동호와 안동호, 남강호를 제외한 나머지 호수들의 식물플랑크톤 현존량은 Horne and Goldman(1994)이 제시한 수화 발생 기준인 5,000 cells·ml<sup>-1</sup>를 상회하는 것으로 조사되었다. 특히 8월의 조사에서는 대부분 호수의 식물플랑크톤 현존량이 세포 지름이 매우 작은 *Microcystis*속의 급증에 의해 클로로필 농도에 비해 과도하게 나타나는 경향을 보였다 (Fig. 2).

대부분의 호수들이 8월에 이어 10월에도 높은 현존량을 보였는데, 이는 광동댐이 16°C인 것을 제외하고 나머지 호수 모두가 10월의 조사시기의 수온이 8월 조사와 유사하게 20°C를 상회하는 데 따른 결과로 보인다. 또한 본 조사의 채집 지점이 거의 댐체 부근으로 설정된 관계로 호수의 상류로부터 하절기 동안 발생하였던 식물플랑크톤 중 일부가 유하하여 댐체 부근의 하류부에 집적된 영향도 있는 것으로 추측된다.

**수화 발생 현황 및 원인증**

수화의 기준을 Horne and Goldman(1994)이 제시한 식물플랑크톤 현존량 5,000 cells·ml<sup>-1</sup> 이상으로 간주 할 경우,

**Table 5.** The most abundant phytoplankton taxa from ten dam lakes and their ecological groups used X index\* to classify species according to their respective trophic states.

Phytoplankton taxa																																							
Mesotrophic	<i>Tribonema affine</i> (4.0)*																																						
Mesoeutrophic	<i>Asterionella formosa</i> (5.4) <i>Cyclotella radiosa</i> (4.7) <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (5.3) <i>Synedra ulna</i> (5.0)																																						
Eutrophic	<table border="0"> <tr> <td><i>Anabaena circinalis</i> (8.4)</td> <td><i>Euglena</i> sp. (7.0)</td> </tr> <tr> <td><i>Anabaena macrospora</i> (7.1)</td> <td><i>Fragilaria crotonensis</i> (6.7)</td> </tr> <tr> <td><i>Anabaena planctonica</i> (6.5)</td> <td><i>Glenodinium</i> sp. (6.4)</td> </tr> <tr> <td><i>Anabaena</i> sp. (8.1)</td> <td><i>Gloeocystis ampla</i> (7.5)</td> </tr> <tr> <td><i>Anabaena spiroides</i> var. <i>crassa</i> (8.6)</td> <td><i>Mallomonas</i> sp. (8.3)</td> </tr> <tr> <td><i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (8.5)</td> <td><i>Micractinium pusillum</i> (9.1)</td> </tr> <tr> <td><i>Aulacoseira ambigua</i> (6.1)</td> <td><i>Microcystis aeruginosa</i> (7.7)</td> </tr> <tr> <td><i>Aulacoseira distans</i> var. <i>alpigena</i> (6.0)</td> <td><i>Microcystis ichthyoblabe</i> (8.1)</td> </tr> <tr> <td><i>Aulacoseira granulata</i> (7.1)</td> <td><i>Microcystis wesenbergii</i> (7.9)</td> </tr> <tr> <td><i>Ceratium hirundinella</i> (8.4)</td> <td><i>Nitzschia intermedia</i> (7.6)</td> </tr> <tr> <td><i>Coelaspherium naegelianum</i> (8.7)</td> <td><i>Nitzschia palea</i> (7.8)</td> </tr> <tr> <td><i>Cryptomonas ovata</i> (7.1)</td> <td><i>Pandorina morum</i> (6.7)</td> </tr> <tr> <td><i>Cyclotella asterocostata</i> (5.7)</td> <td><i>Pediastrum simplex</i> (8.9)</td> </tr> <tr> <td><i>Cyclotella stelligera</i> (6.6)</td> <td><i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i> (8.1)</td> </tr> <tr> <td><i>Eudorina elegans</i> (8.6)</td> <td><i>Peridinium unbonatum</i> (8.4)</td> </tr> <tr> <td><i>Pseudanabaena limnetica</i> (6.8)</td> <td><i>Rhodomonas</i> sp. (6.7)</td> </tr> <tr> <td><i>Scenedesmus acuminatus</i> (7.3)</td> <td><i>Scenedesmus ecornis</i> (7.9)</td> </tr> <tr> <td><i>Scenedesmus quadricauda</i> (7.1)</td> <td><i>Stephanodiscus invisitatus</i> (6.5)</td> </tr> <tr> <td><i>Synedra acus</i> (5.9)</td> <td><i>Tetraedron minimum</i> (8.2)</td> </tr> </table>	<i>Anabaena circinalis</i> (8.4)	<i>Euglena</i> sp. (7.0)	<i>Anabaena macrospora</i> (7.1)	<i>Fragilaria crotonensis</i> (6.7)	<i>Anabaena planctonica</i> (6.5)	<i>Glenodinium</i> sp. (6.4)	<i>Anabaena</i> sp. (8.1)	<i>Gloeocystis ampla</i> (7.5)	<i>Anabaena spiroides</i> var. <i>crassa</i> (8.6)	<i>Mallomonas</i> sp. (8.3)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (8.5)	<i>Micractinium pusillum</i> (9.1)	<i>Aulacoseira ambigua</i> (6.1)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (7.7)	<i>Aulacoseira distans</i> var. <i>alpigena</i> (6.0)	<i>Microcystis ichthyoblabe</i> (8.1)	<i>Aulacoseira granulata</i> (7.1)	<i>Microcystis wesenbergii</i> (7.9)	<i>Ceratium hirundinella</i> (8.4)	<i>Nitzschia intermedia</i> (7.6)	<i>Coelaspherium naegelianum</i> (8.7)	<i>Nitzschia palea</i> (7.8)	<i>Cryptomonas ovata</i> (7.1)	<i>Pandorina morum</i> (6.7)	<i>Cyclotella asterocostata</i> (5.7)	<i>Pediastrum simplex</i> (8.9)	<i>Cyclotella stelligera</i> (6.6)	<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i> (8.1)	<i>Eudorina elegans</i> (8.6)	<i>Peridinium unbonatum</i> (8.4)	<i>Pseudanabaena limnetica</i> (6.8)	<i>Rhodomonas</i> sp. (6.7)	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (7.3)	<i>Scenedesmus ecornis</i> (7.9)	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (7.1)	<i>Stephanodiscus invisitatus</i> (6.5)	<i>Synedra acus</i> (5.9)	<i>Tetraedron minimum</i> (8.2)
<i>Anabaena circinalis</i> (8.4)	<i>Euglena</i> sp. (7.0)																																						
<i>Anabaena macrospora</i> (7.1)	<i>Fragilaria crotonensis</i> (6.7)																																						
<i>Anabaena planctonica</i> (6.5)	<i>Glenodinium</i> sp. (6.4)																																						
<i>Anabaena</i> sp. (8.1)	<i>Gloeocystis ampla</i> (7.5)																																						
<i>Anabaena spiroides</i> var. <i>crassa</i> (8.6)	<i>Mallomonas</i> sp. (8.3)																																						
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (8.5)	<i>Micractinium pusillum</i> (9.1)																																						
<i>Aulacoseira ambigua</i> (6.1)	<i>Microcystis aeruginosa</i> (7.7)																																						
<i>Aulacoseira distans</i> var. <i>alpigena</i> (6.0)	<i>Microcystis ichthyoblabe</i> (8.1)																																						
<i>Aulacoseira granulata</i> (7.1)	<i>Microcystis wesenbergii</i> (7.9)																																						
<i>Ceratium hirundinella</i> (8.4)	<i>Nitzschia intermedia</i> (7.6)																																						
<i>Coelaspherium naegelianum</i> (8.7)	<i>Nitzschia palea</i> (7.8)																																						
<i>Cryptomonas ovata</i> (7.1)	<i>Pandorina morum</i> (6.7)																																						
<i>Cyclotella asterocostata</i> (5.7)	<i>Pediastrum simplex</i> (8.9)																																						
<i>Cyclotella stelligera</i> (6.6)	<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i> (8.1)																																						
<i>Eudorina elegans</i> (8.6)	<i>Peridinium unbonatum</i> (8.4)																																						
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (6.8)	<i>Rhodomonas</i> sp. (6.7)																																						
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (7.3)	<i>Scenedesmus ecornis</i> (7.9)																																						
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (7.1)	<i>Stephanodiscus invisitatus</i> (6.5)																																						
<i>Synedra acus</i> (5.9)	<i>Tetraedron minimum</i> (8.2)																																						

\*  $X = \sum P_i (X_i) / \sum P_i$ ; Where X is the weighted mean of the trophic status of phytoplankton taxon,  $P_i$  is the standing crops of this taxon of  $i$ -th lake, and  $X_i$  is the value of the LTSI of  $i$ -th.

Eutrophic (E): optimum distribution in eutrophic lakes,  $X > 5.40$ ,

Mesoeutrophic (ME): optimum distribution in mesoeutrophic lakes,  $X = 4.21 - 5.40$ ,

Mesotrophic (M): optimum distribution in mesotrophic lakes,  $X = 3.01 - 4.20$ ,

Oligomesotrophic (OM): optimum distribution in oligomesotrophic,  $X = 1.81 - 3.00$ ,

Oligotrophic (O): optimum distribution in oligotrophic lakes,  $X < 1.80$ .

본 조사에서는 2월에는 팔당호만이, 그리고 5월 조사에서는 팔당호와 광동댐에서 수화가 발생하였다(Fig. 2). 고수온기인 8월에는 전체의 70%인 7개 호수가, 가을철인 10월에는 무려 전체의 80%인 8개 호수에서 수화가 발생한 것으로 조사되었다(Fig. 2).

특히 팔당호는 유일하게 4차례 조사 모두에서 5,000 cells·ml<sup>-1</sup> 이상의 현존량을 보여 년중 수화 상태에 있는 것으로 나타났다. 그러나 팔당호는 짧은 체류시간의 영향으로 남조류 발생량이 상대적으로 높지 않아 고수온기인 8월과 10월에는 타 호수들에 비해 식물플랑크톤 현존량 증가는 그다지 크지 않았다(이 등 1998).

수화의 원인종은 팔당호의 경우 2월은 *Stephanodiscus invisitatus*, 5월과 8월은 갈색편모조강인 *Rhodomonas* sp.가, 그리고 10월은 규조강인 *Aulacoseira granulata*였다. 특히 팔

당호는 다른 조사대상지와 달리 8월과 10월의 고수온기에도 남조류가 아닌 갈색편모조강과 규조강의 종들이 이례적으로 수화의 원인종으로 조사되었는데, 이 역시 남조류의 생육에 불리하게 작용하는 상대적으로 짧은 체류시간에 의한 결과로 생각된다(Horne and Goldman 1994).

여름철인 8월의 수화 원인종은 팔당호와 충주호가 각각 *Rhodomonas* sp.와 *Volvox prolificus*인 것을 제외하고는 모두 남조류였으며, 10월에는 강별로 대단히 다양하게 조사되었다(Fig. 2).

수화의 집중 발생기인 8월과 10월에 전체 조사대상지에서 1회 이상 수화를 유발시킨 것으로 조사된 종은 *Rhodomonas* sp.와 *Aulacoseira granulata*, *Pseudanabaena limnetica*, *Volvox prolificus*, *Oscillatoria limosa*, *Eudorina elegans*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis ichthyoblabe*,

*Microcystis aeruginosa* 등 9종이었다.

#### 주요 식물플랑크톤의 수질 영양단계에 따른 생태형 분류

전체 조사대상 호수의 각 조사 시기별 식물플랑크톤 군집에서 현존량이 전체의 0.1% 이상을 차지하는 43종을 주요종으로 선정하였으며, 이들이 출현한 각각의 지점과 시기의 총 인과 투명도, 클로로필 *a*를 기초로 한 Yang and Dickman (1993)의 방법에 의하여 영양단계에 따른 각 출현종의 생태형을 분류하였다. 그 결과 중부영양성(mesoeutrophic)으로 분류된 *Asterionella formosa*와 *Cyclotella radiosa*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Synedra acus* 등 4종과 중영양성인 *Tribonema affine*를 제외한 나머지 38종 모두는 부영양성 생태형으로 평가되었다(Table 5). 이와 같은 결과는 조사대상 호수의 식물플랑크톤 군집의 대부분이 부영양성 생태형의 종들에 의해 구성되어 있으며, 이는 국내 댐저수지의 대부분이 이미 매우 우려할 수준의 부영양 단계에 있음을 의미하는 것이다. 따라서 향후 국내 댐저수지들에 대한 수질관리에 더 많은 관심과 노력이 요구되며, 또한 식물플랑크톤의 생태형 분류에 의한 호수 영양단계의 모니터링이 매우 유효하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 사 사

본 연구는 2000년도 대구대학교 학술연구비 지원과 한국수자원공사 수자원연구소의 지원에 의해 수행되었음. 논문 교정에 수고를 아끼지 않으신 익명의 심사위원들께 감사드립니다.

#### 참고문헌

김용재, 정준. 1993. 임하호의 식물성 플랑크톤 군집 분석. 한국육

- 수학회지 26: 175-196.
- 이은주, 조규송. 1994. 소양호 식물성플랑크톤의 연간변화. 한국육수학회지 27: 9-22.
- 이정호. 1999. 대청호의 년중 식물플랑크톤 군집 동태. 한국육수학회지 32: 358-366.
- 이정호, 김용재. 1996. 낙동강 수계 댐호의 부착규조 및 영양단계 평가. 한국환경생물학회지 14: 18-28.
- 이정호, 김도한, 박종근. 1998. 취수원 조류군집 특성에 관한 연구 (1차년도). 한국수자원공사 보고서(WRRI-ES-98-2). 수자원연구소, 대전. 166 pp.
- 장윤경, 전숙례. 1996. 팔당댐 담수지역의 식물플랑크톤에 관한 연구 2. 식물플랑크톤 종조성 변화. *Algae* 11: 217-229.
- 정상진. 1995. 대청호의 식물플랑크톤상에 관한 연구. 한국환경생물학회지 13: 83-106.
- 한국수자원공사. 1996. 수자원 백서. 수자원연구소, 대전. 579 pp.
- 한명수, 어윤열, 유재근, 유광일, 최영길. 1995. 팔당호의 생태학적 연구 2. 식물플랑크톤의 군집구조의 변화. 한국육수학회지 28: 335-344.
- 환경부. 1996. 공정시험방법. 동화기술, 서울. 683 pp.
- Harper, D. 1992. Eutrophication of freshwater: principles, problems and restoration. Chapman & Hall London, UK. 327 pp.
- Hendey, N.I. 1974. The permanganate method for cleaning freshly gathered diatoms. *Microscopy* 32: 423-426.
- Horne, A.J. and Goldman C.R. 1994. Limnology. McGraw-Hill, Inc., New York. 576 pp.
- Schindler, D.W. 1977. Evolution of phosphorus limitation in lake. *Science* 195: 260-262.
- Watanabe, T., Asai K. and Houki A. 1990. Numerical simulation of organic pollution in flowing waters. *Encyclopedia Environmental Control Technology* 4: 251-281.
- Yang, J.R. and Dickman M. 1993. Phosphorus loading and efficiency of biomanipulation. *Verh Internat. Verein. Limnol.* 24: 2482-2488.

Accepted 20 November 2002