

경기도 6개 호소의 수질 영양단계 및 지표종에 관한 연구

임안숙 · 이옥민*

(경기대학교 생물학과)

Water Trophic States and Biological Indicators of Phytoplankton at Six Reservoirs in Gyeonggi-do

An Suk Lim and Ok-Min Lee*

Department of Biology, Kyonggi University, Suwon, 443-760, Korea

From six reservoirs in Gyeonggi-do, we have collected the distribution and standing crop of phytoplankton since Nov. 2005 through Sep. 2006. As a result, the phytoplankton appeared totally 340 taxa belong to 7 classes, 15 orders, 5 suborders, 32 families, 4 subfamilies, 84 genera, 283 species, 43 varieties, 9 forms and 5 unidentified species. The standing crop was shown as minimum was 0.3×10^6 cells and maximum was $5,950 \times 10^6$. The relation of standing crop with TN, TP and Chl-a showed as positive. Total 12 taxa including 2 taxa of blue-green algae occurred to every seasons at six lakes, and it was thought that they distributed in mesotrophic state. Also, *Achnanthes minutissima*, *Aulacoseira granulata*, *Eudorina elegans*, *Gloeocystis ampla*, *Pandorina morum*, *Pediastrum simplex* var. *duodenarium*, *Scenedesmus ecornis* were regarded as the indicators of eutrophic state. From the estimation of LTSI and TSI, it was shown that the rest of lakes except for Idong reservoir of winter were eutrophic states.

Key Words: biological indicator, eutrophic state, mesotrophic state, standing crop

서 론

도시 주변에 존재하는 호소는 인간 활동에 의한 영향에 직접적으로 노출되어 있으며, 그에 따른 부영양화가 발생하고 있다. 이러한 호소의 부영양화는 식물플랑크톤의 수화현상을 일으키며, 그로 인하여 독소, 불쾌한 냄새 등의 여러 가지 피해를 야기 시킨다(Reynolds 1984). 식물플랑크톤은 수계의 1차 생산자로서 수계생태계의 중요한 위치를 차지하며 수질의 변화에 대해 민감한 반응을 나타낸다. 따라서 식물플랑크톤 군집의 정량적인 변화는 수환경을 평가하는데 중요한 자료로 이용되고 있다(Stoermer and Ladewski 1978). 또한 담수조류 중 선정된 생물 지표종을 이용하여 호소의 영양 상태를 지표 할 수 있다(Reynolds 1984, Yang and Dickman 1993).

호소의 영양단계에 대한 지표로서 Carlson(1977)은 총인 농도, 투명도, 엽록소 a의 양을 사용하여 TSI(Trophic

Status Index)를 제안하였다. Yang and Dickman(1993)은 single parameter만을 사용했던 TSI와 Yoshimi(1987)의 MTSI(Multiple parameter Trophic Status Index)를 기초로 하여 총인, 투명도, 엽록소 a의 값을 이용한 LTSI(Lake Trophic Status Index)를 제안하였다. 또한 이를 이용하여 캐나다 온타리오 주에 위치한 50개 호소를 대상으로 호소의 영양등급을 나누고 이를 대표하는 생물 지표종을 밝힌 바 있다(Yang and Dickman 1993).

국내에서 호소에서 식물플랑크톤의 변화와 영양단계 평가에 대한 연구는 부착 구조를 대상으로 한 낙동강 수계 6개의 호소에 대한 연구(이와 김 1996)와 전국에 분포하는 10개 호소를 대상으로 주요 식물플랑크톤 출현종에 대하여 생태형을 분류한 연구(Lee et al. 2002)가 이루어진 바 있다. 그리고 경기도 수원시 10개의 호소와 3개의 하천을 대상으로 한 연구(박 등 2006)와 경상북도 경주시의 덕동호(김 1999) 그리고 경상북도 청도군 운문호(서 등 2003)를 대상으로 한 연구가 수행된 바 있다.

본 연구에서는 경기도에 위치한 6개의 호소를 대상으로 이화학적 환경요인과 식물플랑크톤의 상관관계를 분석하고,

*Corresponding author (omlee@kyonggi.ac.kr)

Table 1. Limnological and geological features of six reservoirs in Gyeonggi-do

Character \ Reservoir	Gosam	Gicheon	Baekun	Eocheon	Wangsong	Idong
Location	Anseong-si	Hwaseong-si	Uiwang-si	Hwaseong-si	Uiwang-si	Yongin-si
Watershed area (ha)	2,970	268	7	200	542	2,156
Total pondage ($\times 10^{10}$ ton)	161	22	14	9	21	210

TSI와 LTSI를 이용하여 호소의 영양등급을 평가하며 그에 따른 종조성을 알아봄으로써 식물플랑크톤을 이용한 호소 수질 영양단계의 모니터링 기법 개발의 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 경기도 안성시에 위치한 고삼저수지와 용인시에 위치한 이동저수지, 의왕시에 위치한 백운저수지와 왕송저수지 그리고 화성시에 위치한 어천저수지와 기천저수지 등 6개의 호소를 대상으로 각 호소 당 2개의 정점을 선정하여 2005년 11월부터 2006년 9월에 걸쳐 계절별로 4회의 채집을 실시하였다(Table 1).

수온과 pH 그리고 DO는 Navi[®] D-55(Horiba, Japan)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 총인(TP)과 총질소(TN)의 측정은 자외선 흡광도법과 아스코르빈산 환원법(환경부 1996)을 이용하여 측정하였으며, COD는 COD_{Cr} 환원법으로 측정하였다(APHA 1998). 엽록소 a의 농도는 현장에서 채수한 시료를 냉장 처리한 후 200 mL의 시료를 Whatman GF/C Filter로 여과하고, 이 여과지를 막자사발로 마쇄하고, 아세톤으로 용해하여 색소를 추출한 후 파장 630 nm, 663 nm, 645 nm, 750 nm에서 흡광도를 측정하여 산출하였다(APHA 1998). 투명도(SD)는 탁도를 측정 후 전환하는 방법을 사용하였다(Davies-Colley and Smith 2001). 세포수 계수에 의한 현존량 측정을 위해 포르말린 20 mL로 처리한 시료 1 L를 24시간 이상 정치한 후, 상등액을 제거하고 남은 시료를 균일하게 섞어 준 뒤 Sedgwick-Rafter chamber에 1 mL을 넣고 도립현미경(Olympus IX 70, Japan)을 이용하여 400배 하에서 계수하였다. 이 때 각 시료 당 5회씩 반복하여 계수한 후 평균값을 산출하였다. 부착성 조류는 채집 정점의 수생식물이나 물에 잠겨있는 돌과 육상식물 등을 훑어내는 방법으로 채집하여 침전시킨 후 농축된 시료를 관찰하였다(Sournia 1978). 규조류는 Lee *et al.* (1994)에 따라 시료를 전처리한 후 분석하였다.

영양단계평가는 각 정점의 총인의 농도, 엽록소 a의 농도 그리고 투명도를 측정 후 TSI(Trophic Status Index) 값과 LTSI(Lake Tropic Status Index)를 산출하여 실시하였다(Carson 1977, Forsberg and Ryding 1980, Yang and Dickman 1993).

본 연구에서 규조강을 제외한 식물플랑크톤은 Hirose *et al.* (1977)에 따라 정리하였다. 규조강은 Simonsen(1979)의 분류체계에 따라 정리하였으며, Lee(1988)를 참고하였다. 각 식물플랑크톤의 동정은 정(1993), Hirose *et al.* (1977), John *et al.* (2002), Patrick and Reimer(1966, 1975), Prescott(1962)와 Prescott *et al.* (1981, 1982) 등을 참고하였다.

결과 및 고찰

이화학적 환경요인

본 연구의 12개 정점에서 조사된 수온, pH, 용존산소의 농도(DO), 투명도(SD), 총질소(TN) 그리고 총인(TP) 등의 이화학적 환경요인은 다음과 같다. 수온은 11월에는 8.8-11.3°C로 나타났고, 2월에는 4.3-6.7°C를 나타냈으며, 6월에는 23.6-28.9°C로 나타났고, 9월에는 21.5-26.1°C로 나타났다. pH는 최저 7.1(2월, 고삼저수지 #2와 백운저수지 #2)에서 최고 10.4(9월, 왕송저수지 #1)으로 측정되었다. DO는 최저 1.84 mg · L⁻¹(2월, 고삼저수지 #2)에서 최고 23.00 mg · L⁻¹(2월, 왕송저수지 #1)로 측정되었다. 투명도는 최저 0.01 m(9월, 왕송저수지 #2)에서 2.42 m(11월, 이동저수지 #1)로 나타났다(Table 2).

총질소의 농도는 2월 기천저수지 #1의 0.35 mg · L⁻¹가 최저값으로 나타났으며, 9월 왕송저수지 #2의 64.78 mg · L⁻¹가 최고값으로 나타났다. 총인의 농도는 11월 이동저수지 #1에서 측정된 10.95 µg · L⁻¹가 최저값으로 나타났으며, 11월 왕송저수지 #1에서 측정된 3,841.80 µg · L⁻¹가 최고값으로 나타났다. N/P 비율은 2월 기천저수지 #1에서 4.75로 가장 낮았으며 11월 이동저수지 #1에서 161.09로 가장 높았다. 또한 11월의 이동저수지 #1과 6월의 고삼저수지를 제외한 모든 저수지에서 N/P 비율이 100 이하로 나타났으며(Table 2), 이는 국내 호소의 N/P의 비가 대체로 100 정도로 나타나며 따라서 질소에 비해 인이 부족하다는 연구 결과(김 등 1997)와 일치하지 않았다. 본 연구 수역은 대도시에 위치하여 주변으로 부터 많은 오염물의 유입으로 인해 수중의 인의 함량이 매우 높은 것으로 사료된다.

COD_{Cr}의 농도는 2월 이동저수지 #2의 3.1 mg · L⁻¹가 최저값으로 나타났으며, 6월 왕송저수지 #2에서 84.4 mg · L⁻¹가 최고값으로 나타났다. 엽록소 a의 농도는 11월 이동저수지 #2에서 2.88 mg · m⁻³가 최저값으로 나타났으며, 9월 왕

Table 2. Physico-chemical factors measured at six reservoirs in Gyeonggi-do from Nov. 2005 to Sep. 2006

Date	Reservoir	WT (°C)	pH	DO (mg L ⁻¹)	SD (m)	T-N (mg L ⁻¹)	T-P (μg L ⁻¹)	TN/TP	COD _{Cr} (mg L ⁻¹)	Chl-a (mg m ⁻³)
Nov. 2005	Gosam #1	11.3	7.3	8.93	0.95	1.69	47.91	35.22	6.5	2.89
	Gosam #2	10.1	7.3	4.01	1.51	1.86	127.76	14.54	20.1	19.13
	Gicheon #1	10.4	7.7	8.74	1.01	0.87	156.73	5.56	8.0	11.62
	Gicheon #2	10.3	7.7	10.42	1.03	0.95	135.51	7.05	10.2	20.98
	Baekun #1	11.0	7.4	10.14	1.86	2.42	197.11	12.30	4.0	3.23
	Baekun #2	10.1	7.3	9.60	1.93	2.35	157.41	14.91	5.4	6.71
	Eocheon #1	8.8	8.3	11.53	0.68	3.37	635.13	5.30	11.8	42.22
	Eocheon #2	9.0	8.7	12.90	0.80	1.89	27.38	69.21	13.8	47.82
	Wangsong #1	10.5	9.3	13.11	0.03	37.50	3841.80	9.76	31.8	2363.59
	Wangsong #2	10.5	9.4	13.11	0.34	3.88	173.38	22.38	32.1	76.53
	Idong #1	9.0	7.2	3.44	2.42	1.76	10.95	161.09	11.0	4.33
	Idong #2	10.7	7.2	3.97	1.73	1.14	17.11	66.62	5.3	2.88
Feb. 2006	Gosam #1	4.8	7.4	1.96	1.55	1.60	47.29	33.88	3.7	2.94
	Gosam #2	5.0	7.1	1.84	1.30	3.47	131.64	26.38	4.0	3.21
	Gicheon #1	5.0	7.7	11.80	1.33	0.35	72.85	4.75	4.6	12.77
	Gicheon #2	4.7	7.4	11.70	1.64	2.42	111.19	21.76	4.9	13.95
	Baekun #1	6.0	7.4	12.10	1.32	3.12	135.47	23.05	5.5	5.96
	Baekun #2	6.7	7.1	11.30	1.78	5.87	180.20	32.58	4.1	8.63
	Eocheon #1	5.1	8.0	13.97	1.00	3.90	139.31	28.01	11.4	29.54
	Eocheon #2	5.1	7.9	13.80	1.01	2.00	218.54	9.15	14.5	31.57
	Wangsong #1	5.9	9.8	23.00	0.52	8.86	483.10	18.33	40.5	384.94
	Wangsong #2	6.4	9.7	21.50	0.49	5.79	401.30	14.44	31.8	215.84
	Idong #1	5.4	7.6	4.35	1.11	2.52	58.79	42.79	7.0	9.59
	Idong #2	4.3	7.0	4.80	1.72	4.61	155.92	29.56	3.1	3.27
June 2006	Gosam #1	27.9	9.1	10.11	1.42	2.07	16.61	124.68	17.5	12.54
	Gosam #2	26.7	9.2	10.12	1.33	2.01	19.17	104.89	11.1	11.67
	Gicheon #1	24.8	7.3	8.8	0.37	4.26	182.76	23.28	21.2	82.31
	Gicheon #2	25.0	9.1	10.79	0.54	1.88	46.65	40.26	18.7	54.08
	Baekun #1	25.6	8.9	10.81	1.19	2.22	23.00	96.69	9.7	16.86
	Baekun #2	24.6	8.3	11.78	0.46	4.11	60.71	67.73	15.2	27.46
	Eocheon #1	23.6	9.5	11.87	0.50	1.82	89.46	20.36	26.2	101.07
	Eocheon #2	24.0	9.6	12.91	0.45	6.97	77.96	89.38	34.5	139.61
	Wangsong #1	28.9	10.0	14.51	0.04	25.64	1141.29	22.47	41.7	1143.35
	Wangsong #2	28.4	9.3	10.88	0.09	7.62	456.26	16.69	84.4	496.31
	Idong #1	28.2	7.4	8.12	1.40	2.53	39.62	63.77	12.0	8.17
	Idong #2	26.6	7.5	8.18	0.49	0.97	28.12	34.38	12.7	18.99
Sep. 2006	Gosam #1	24.5	9.0	8.92	0.40	2.31	28.76	80.30	25.3	33.67
	Gosam #2	26.1	8.7	8.41	0.54	1.38	26.84	51.39	20.8	20.76
	Gicheon #1	21.9	9.0	9.62	0.69	0.89	23.00	38.90	13.5	37.56
	Gicheon #2	21.5	8.4	8.08	0.49	1.45	69.65	20.86	21.5	93.92
	Baekun #1	24.8	8.3	9.00	0.85	2.28	28.12	80.95	11.9	9.87
	Baekun #2	25.3	7.5	13.47	0.77	0.58	37.06	15.55	12.5	14.86
	Eocheon #1	23.5	8.4	10.48	0.81	2.29	58.15	39.46	16.5	53.91
	Eocheon #2	22.8	8.0	7.49	0.64	1.26	63.26	19.94	26.8	53.42
	Wangsong #1	25.8	10.4	19.99	0.07	11.76	480.54	24.46	43.8	684.51
	Wangsong #2	24.9	10.0	17.51	0.01	64.78	2885.81	22.45	80.4	2881.20
	Idong #1	24.8	7.8	11.29	0.48	1.27	23.00	55.23	8.9	7.96
	Idong #2	25.2	7.7	10.05	0.82	0.91	31.31	29.05	14.1	20.72

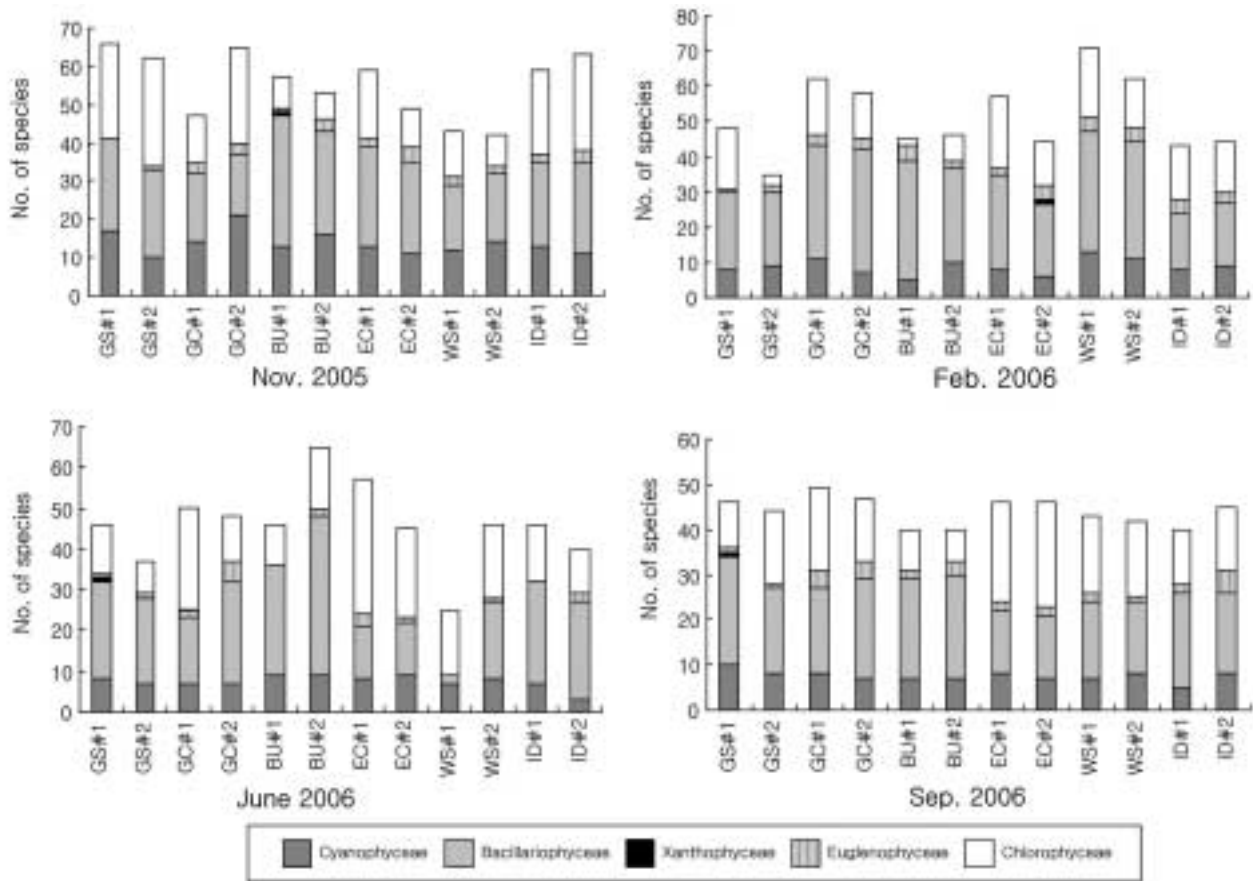


Fig. 1. The seasonal composition rates of each class of phytoplankton at the six reservoirs (GS: Gosam res., GC: Gicheon res., BU: Baekun res., EC: Eocheon res., WS: Wangsong res., ID: Idong res.) in Gyeonggi-do from Nov. 2005 to Sep. 2006.

송저수지 #2의 2,881.20 mg · m⁻³가 최고값으로 나타났다. 이 요인은 연중 남조류의 대발생이 일어났던 왕송저수지를 제외하고 각 저수지 간의 차이가 크게 나타나지 않았다.

출현 분류군의 종조성

경기도에 위치한 6개의 호소를 대상으로 한 본 연구에서 출현한 식물플랑크톤은 총 340 분류군으로 이는 7강 15목 5아목 32과 4아과 84속 283종 43변종 9품종 5미동정종으로 분류되었다(Appendix).

각 강별 출현종수는 규조강이 114 분류군, 녹조강이 125 분류군, 남조강이 80 분류군, 유글레나강이 15 분류군, 황색편모조강이 3 분류군, 황녹색조강이 2 분류군 그리고 와편모조강이 1 분류군으로 조사되었다. 각 계절별 식물플랑크톤의 최고와 최저 출현 분류군 수를 살펴보면, 11월에는 고삼저수지 #1에서 66 분류군이 나타났으며, 왕송저수지 #2에서 42 분류군이 나타났다. 2월에는 왕송저수지 #1에서 71 분류군이 나타났으며, 고삼저수지 #2에서 35 분류군으로 적은 분류군이 출현하였다. 6월에는 백운저수지 #2에서 65 분류군이 출현하였으며, 왕송저수지 #1에서는 25 분류군이 나타났다. 9월에는 기천저수지 #1에서 50 분류군이 출현하였으며,

백운저수지 #2에서 39 분류군이 나타났다(Fig. 1). 특히 왕송저수지의 경우 6월에 높은 현존량에 비해 출현한 분류군은 비교적 적은 수로 나타났으며, 이는 남조류인 *Synechocystis aquatilis*의 우점으로 인하여 다른 생물의 생장이 억제되었기 때문으로 추정된다.

조사 결과 호소들 중 가장 많은 분류군이 출현한 지점은 어천저수지 #1이며, 가장 적은 분류군이 출현한 지점은 백운저수지 #1로 나타났다. 각 호소들의 평균 출현 분류군은 127 분류군으로 나타났으며, 국내의 다른 호소들과 비교해 보았을 때 충주호(175 분류군)(김 등 1998), 안동호(1997년 115 분류군, 2003년 104 분류군)(박 등 2005)와 비슷한 분류군이 출현하였다. 팔당호의 391 분류군(Kim 1996)보다는 현저히 적은 분류군이 출현한 것으로 나타났으며, 영천댐의 72 분류군(김과 김 2004)보다는 더 많은 분류군이 출현하는 것으로 나타났다.

현존량

본 연구의 채집 정점 중 연평균 엽록소 a의 양이 가장 높았던 정점은 왕송저수지 #1으로 1,144.10 mg · m⁻³으로 나타났으며, 가장 낮았던 정점은 이동저수지 #1로 7.51 mg · m⁻³

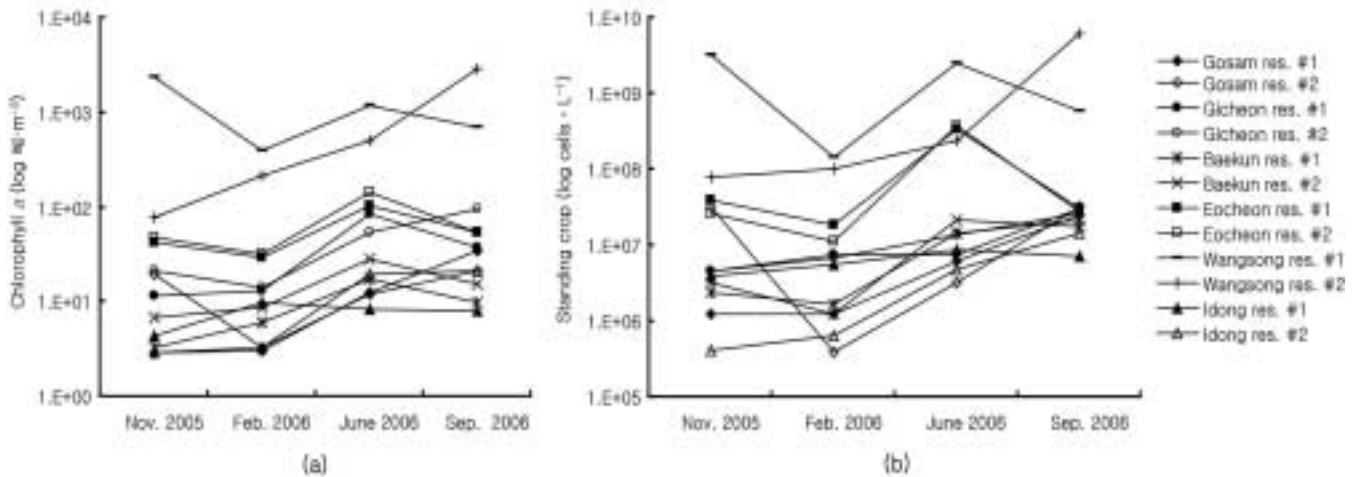


Fig. 2. Seasonal dynamics of chlorophyll-a concentration(a) and standing crops of phytoplankton(b) at six reservoirs in Gyeonggi-do from Nov. 2005 to Sep. 2006.

으로 나타났다(Fig. 2).

세포수 계수에 의한 현존량 측정결과 2월 조사에서 고삼저수지 #2가 최소인 $0.3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 현존량을 기록하였으며, 9월의 왕송저수지 #2에서 $5,950 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 최대치를 나타냈다. 연평균 식물플랑크톤의 개체수가 가장 높게 측정된 정점은 왕송저수지 #2로 연평균 $1,592 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 가 나타났으며, 가장 낮게 측정된 정점은 이동저수지 #2로 $5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 2). 온대지방 호소의 식물플랑크톤의 현존량의 계절적 변화는 봄부터 여름까지는 증가하고 겨울에는 감소하는 경향을 나타낸다(Horne and Goldman 1994). 본 연구 결과 또한 이와 유사한 경향을 나타내었으며, 박 등(2005)의 안동호와 김과 김(2004)의 영천댐에서도 이러한 현상을 나타내었다.

녹조현상의 기준을 $5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 볼 때(Horne and Goldman 1994), 본 연구수역 중 기천저수지, 어천저수지와 왕송저수지는 연중 녹조현상이 나타났으며, 백운저수지는 2005년 11월을 제외하고는 녹조현상이 나타났고, 고삼저수지 #1은 6월과 9월 중에 그리고 고삼저수지 #2는 9월과 11월 중에 녹조현상이 나타났다. 이동저수지 #1은 2005년 11월을 제외하고 연중 녹조현상이 나타났고, 이동저수지 #2는 6월과 9월 중에 녹조현상이 나타났다(Fig. 2). 이는 경기도 일대의 저수지 대부분이 연중 녹조현상을 나타낸다는 연구결과(문 등 2005; 박 등 2006)와도 일치하며 이 호소들도 전형적인 도시형 인공호소로 대부분 상당한 수질 오염이 진행된 것으로 사료된다.

현존량과 이화학적 요인의 상관관계

식물플랑크톤의 현존량과 이화학적 환경요인의 상관관계를 알아보기 위해 총인, 총질소, 엽록소 a의 농도 및 투명도를 이용하여 회귀분석을 실시하였다(SPSS 13.0).

Hutchinson and Viets(1969)는 호소의 부영양화에 직접적으로 영향을 끼치는 조류의 성장은 인의 농도와 밀접한 관계가 있음을 제안하였으며, Vollenweider(1968, 1975, 1976)도 호소의 영양등급에 있어서 인의 농도를 중요시 하였고, Carlson(1977)도 인의 농도가 조류의 성장에 영향을 미치는 것을 입증하였다. 인 이외에 호소의 부영양화의 원인이 질소의 농도에서도 기인한다고 판단하고 TSI(TN)가 제시된 바 있다(Kratzer and Brezonik 1981).

본 연구 결과에서도 총 식물플랑크톤의 현존량과 이화학적 환경요인과의 상관관계에 있어서 총질소와 현존량(세포수법)과는 $r = 0.99(p < 0.001, n = 48)$ 로 높은 상관관계를 나타냈으며, 총인과 현존량과는 $r = 0.88(p < 0.001, n = 48)$ 로 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다(Fig. 3). 이는 영양상태가 높은 호소에서는 엽록소 a의 농도와 총질소, 총인의 농도가 양의 상관성을 나타낸다는 연구 결과(Forsberg and Ryding 1980)와 일치하는 것으로, 총 인보다는 총질소가 현존량과 더 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 이는 빈영양 상태나 중영양 상태에서는 조류 성장이 인에 의해 제한되거나 부영양 상태에서는 질소가 제한이 될 수 있다는 연구(Forsberg and Ryding 1980)와 부합하는 결과이다.

또한 엽록소 a와 세포수에 의한 현존량 측정방법을 비교하기 위하여 이들의 상관관계를 살펴본 결과, $r = 0.97(p < 0.001, n = 48)$ 로 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다(Fig. 3). 이는 중영양호인 팔당호와 토교저수지에서 극소형($< 3 \mu\text{m}$)을 제외한 미세형($3-8 \mu\text{m}$)과 소형($> 8 \mu\text{m}$)의 개체들이 엽록소 a와 높은 상관관계를 보였던 연구(한 등 2002)와 일치하는 결과이다. 그러나 이전의 연구 결과에 따르면 엽록소 a의 함량은 세포크기에 따라 다르거나(Odate and Yanada 1993), 종에 따라 다르고, 환경적 조건에 따라 다르게 나타나기도 한다(Jim nez et al. 1987). 또한 엽록소 a와

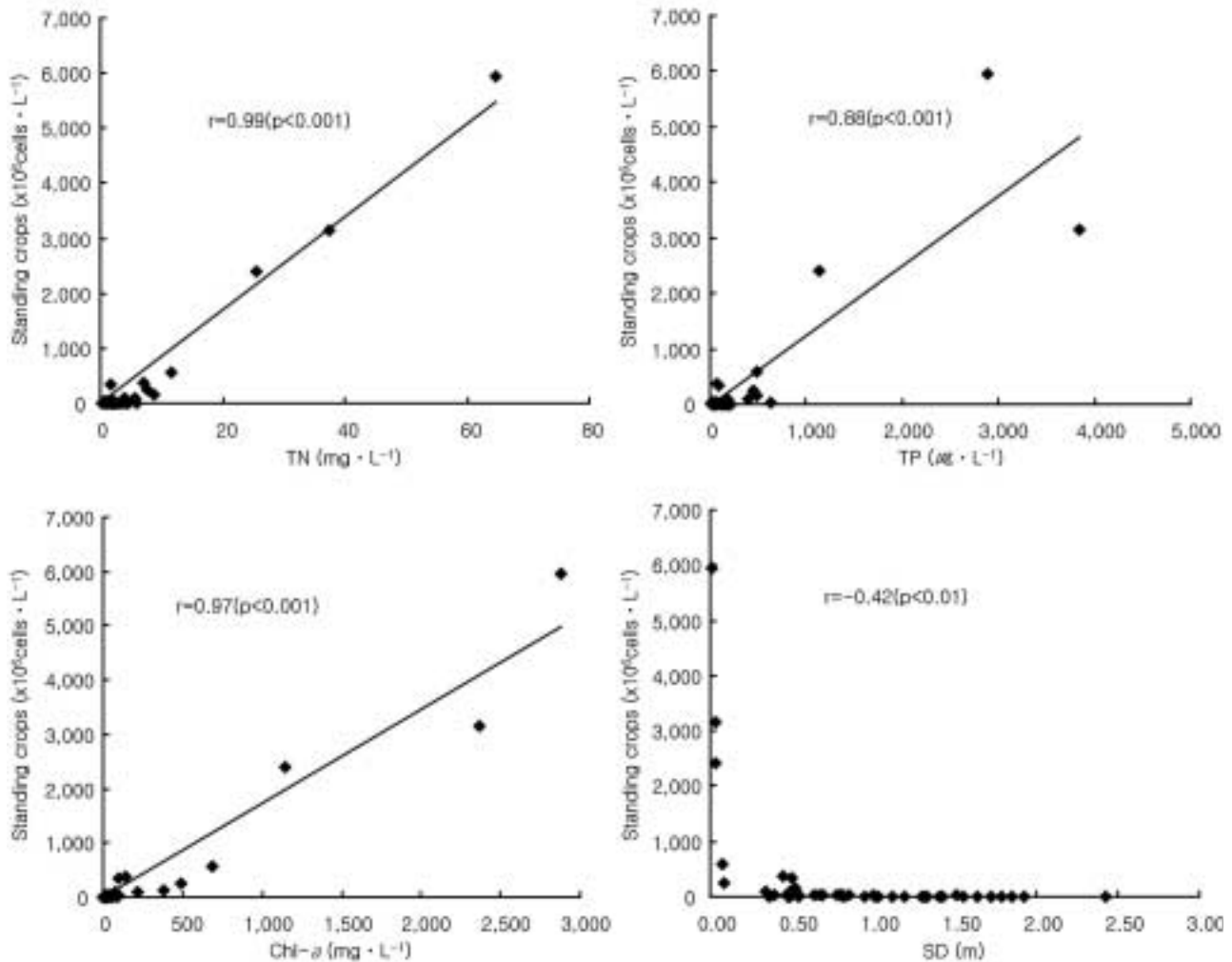


Fig. 3. Relationships between standing crops and physicochemical environmental factors at six reservoirs in Gyeonggi-do.

세포수 계수에 의한 현존량은 극소형에 있어서는 서로 일치하지 않음이 보고된 바 있다(Takamura and Yukihiro 1994).

본 연구에서는 극소형에서 소형 이상의 분류군이 모두 출현하였으며, 엽록소 a의 농도와 세포계수에 의한 현존량이 서로 일치하였다. 따라서 극소형에서 소형 이상의 분류군이 모두 출현하는 호소의 현존량을 측정하는데 있어서 두 방법이 모두 유용한 방법으로 사료된다.

투명도와 현존량 비교에서는 $r = -0.42(p < 0.01, n = 48)$ 로 음의 상관관계로 나타났다(Fig. 3). 박 등(2005)은 안동호에서 투명도가 강우와 식물플랑크톤의 현존량에 의해 큰 영향을 받는 것으로 보고한 바 있으며, 본 연구에서도 연중 수화현상에 의해 낮은 투명도를 나타낸 왕송저수지의 현존량이 가장 높은 것으로 나타났다.

식물플랑크톤의 현존량과 나머지 이화학적인 환경요인인 수온, pH, DO와의 상관관계를 살펴본 결과, 이들은 유의한 상관관계를 나타내지 않았다.

영양단계평가

본 연구에서 TSI와 LTSI에 의해서 영양단계를 평가한 결과, 2005년 11월에는 이동저수지 #1이 중영양화 단계(Mesotrophic)로 나타났으며, 이동저수지 #2가 중부영양화 단계(Mesoeutrophic)로 나타났다. 또한 고삼저수지 #1와 백운저수지는 부영양화 단계(Eutrophic)로 나타났으며 기천저수지를 포함한 나머지 7개의 정점은 과부영양화 단계(Hypereutrophic)로 나타났다. 2006년 2월에는 어천저수지와 왕송저수지가 과부영양화 단계로 나타났으며 나머지 호소에서는 모두 부영양화 단계로 나타났다. 6월에는 고삼저수지와 백운저수지 #1, 이동저수지 #1에서 부영양화단계를 보였으며 나머지 기천저수지를 포함한 8개의 정점은 과부영양화 단계로 나타났다. 9월에는 부영양화 단계로 나타난 백운저수지와 이동저수지를 제외한 모든 저수지가 과부영양화 단계로 나타났다(Table 3). 특히 왕송저수지의 경우 연중 심각한 녹조현상을 나타냈으며, 따라서 본 연구의 대상인 6개의 저

Table 3. Seasonal changes of TSI and LTSI at six reservoirs in Gyeonggi-do from Nov. 2005 to Sep. 2006

Date	Reservoir	TSI(SD)	TSI(Chl-a)	TSI(TP)	TSI(TN)	TSI		LTSI	
Nov. 2005	Gosam #1	60.76	40.99	59.97	62.00	53.91	E	6.84	E
	Gosam #2	54.05	59.52	74.12	63.38	62.57	E	10.12	H
	Gicheon #1	59.91	54.63	77.07	52.45	63.87	E	10.28	H
	Gicheon #2	59.58	60.43	74.97	53.78	64.99	E	10.86	H
	Baekun #1	51.09	42.06	80.38	67.22	57.84	E	8.00	E
	Baekun #2	50.53	49.25	77.13	66.76	58.97	E	8.64	E
	Eocheon #1	65.67	67.29	97.26	71.96	76.74	H	14.51	H
	Eocheon #2	63.28	68.51	51.90	63.67	61.23	E	10.15	H
	Wangsong #1	111.24	106.78	123.23	106.75	113.75	H	26.82	H
	Wangsong #2	75.44	73.12	78.53	74.02	75.70	H	14.47	H
	Idong #1	47.22	44.96	38.68	62.64	43.62	M	4.14	M
	Idong #2	52.12	40.94	45.12	56.36	46.06	M	4.64	ME
Feb. 2006	Gosam #1	53.69	41.15	59.78	61.25	51.54	E	6.18	E
	Gosam #2	56.24	42.02	74.55	72.42	57.61	E	7.93	E
	Gicheon #1	55.90	55.56	66.02	39.14	59.16	E	8.98	E
	Gicheon #2	52.90	56.42	72.12	67.20	60.48	E	9.39	E
	Baekun #1	56.05	48.09	74.97	70.88	59.70	E	8.80	E
	Baekun #2	51.65	51.71	79.09	79.99	60.82	E	9.28	E
	Eocheon #1	60.02	63.79	75.37	74.10	66.39	E	11.40	H
	Eocheon #2	59.82	64.44	81.87	64.45	68.71	E	12.09	H
	Wangsong #1	69.52	88.97	93.31	85.93	83.93	H	17.53	H
	Wangsong #2	70.22	83.29	90.64	79.80	81.38	H	16.55	H
	Idong #1	58.43	52.74	62.93	67.76	58.03	E	8.53	E
	Idong #2	52.15	42.19	77.00	76.50	57.11	E	7.80	E
June 2006	Gosam #1	54.93	55.38	44.69	64.96	51.67	E	6.84	E
	Gosam #2	55.90	54.67	46.76	64.53	52.44	E	7.03	E
	Gicheon #1	74.52	73.84	79.29	75.35	75.88	H	14.56	H
	Gicheon #2	68.85	69.72	59.59	63.55	66.05	E	11.57	H
	Baekun #1	57.50	58.28	49.39	65.99	55.06	E	7.93	E
	Baekun #2	71.06	63.07	63.39	74.85	65.84	E	11.21	H
	Eocheon #1	69.87	75.85	68.98	63.10	71.57	H	13.42	H
	Eocheon #2	71.67	79.02	67.00	82.46	72.56	H	13.84	H
	Wangsong #1	107.71	99.65	105.71	101.26	104.36	H	23.82	H
	Wangsong #2	95.12	91.46	92.49	83.75	93.02	H	20.23	H
	Idong #1	55.10	51.18	57.23	67.82	54.50	E	7.46	E
	Idong #2	70.35	59.45	52.28	53.96	60.69	E	9.59	H
Sep.	Gosam #1	73.32	65.07	52.61	66.53	63.67	E	10.68	H
	Gosam #2	68.92	60.33	51.61	59.09	60.29	E	9.51	H
	Gicheon #1	65.25	66.14	49.39	52.85	60.26	E	9.76	H
	Gicheon #2	70.42	75.13	65.37	59.84	70.31	H	13.03	H
	Baekun #1	62.33	53.03	52.28	66.32	55.88	E	7.93	E
	Baekun #2	63.70	57.04	56.27	46.50	59.00	E	9.00	E
	Eocheon #1	63.05	69.69	62.77	66.43	65.17	E	11.32	H
	Eocheon #2	66.46	69.60	63.98	57.80	66.68	E	11.75	H
	Wangsong #1	97.88	94.62	93.24	90.01	95.24	H	21.00	H
	Wangsong #2	121.70	108.72	119.10	114.64	116.51	H	27.69	H
	Idong #1	70.61	50.92	49.39	57.91	56.97	E	8.15	E
	Idong #2	62.95	60.30	53.84	53.08	59.03	E	9.15	E

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

Table 4. The phytoplankton taxa occurred in the eutrophic state

Species \ Reference	Kim (1996)	Lee et al. (2002)	Yang and Dickman (1993)	This study
<i>Achnanthes minutissima</i>	E	–	–	E
<i>Aulacoseira granulata</i>	E	E	E	E
<i>Eudorina elegans</i>	–	E	–	E
<i>Gloeocystis ampla</i>	–	E	–	E
<i>Pandorina morum</i>	–	E	–	E
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i>	–	E	–	E
<i>Scenedesmus ecornis</i>	–	E	–	E

수지들이 상당한 수질 오염이 진행된 것으로 사료된다.

주요종과 지표종

조사기간 동안 연중 모든 조사정점에서 출현한 분류군은 총 12 분류군으로 남조강의 2 분류군, 규조강의 8 분류군, 녹조강의 2 분류군으로 조사되었다. 남조강은 *Oscillatoria redekei*와 *O. tenuis*로 나타났으며, 규조강은 *Cymbella affinis*, *C. minuta* var. *silesiaca*, *Fragilaria capucina*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula cryptocephala*, *N. viridula*, *Nitzschia palea* 그리고 *Synedra ulna*로 나타났다. 녹조강은 *Scenedesmus acutus* f. *costulatus*, *S. spinosus*로 나타났다. John et al. (2002)에 따르면 이 중 *Oscillatoria redekei*는 심한 부영양화 호소에 분포하는 종이다. 또한 Palmer (1980)의 기준에 따르면 *Gomphonema parvulum*, *Navicula cryptocephala*, *N. viridula*, *Nitzschia palea*, *Oscillatoria tenuis* 그리고 *Synedra ulna*도 오염수역에 분포하는 종이다. Yang and Dickman (1993)의 연구에서는 *Gomphonema parvulum*, *Navicula cryptophala*, *Nitzschia palea*와 *Fragilaria capucina*를 포함한 4분류군은 중영양단계 이상의 수역에서 출현하였다. *Nitzschia palea*는 Lee et al. (2002)의 연구에서도 부영양화 단계의 수역에서 출현한 바 있다. 조사한 호소의 영양등급이 모두 중영양화 단계 이상이므로 모든 정점에서 출현한 12 분류군은 중영양단계 이상의 수역에서 출현하는 종으로 사료된다.

또한 이전의 지표종에 관한 연구들(Kim 1996; Lee et al. 2002; Yang and Dickman 1993)과 비교해 보았을 때 부영양화 이상의 수역에서만 공통적으로 출현한 *Achnanthes minutissima*, *Aulacoseira granulata*, *Eudorina elegans*, *Gloeocystis ampla*, *Pandorina morum*, *Pediastrum simplex* var. *duodenarium*, *Scenedesmus ecornis*의 7 분류군이 부영양화 단계를 지표할 수 있는 지표종으로 사료된다(Table 4).

왕송저수지는 악취를 동반한 연중 심각한 수화현상을 보였으며 그 원인종은 *Synechocystis aquatilis*로 밝혀졌다. 이 종은 John et al. (2002)에 따르면 상당한 부영양화 수역에 출현하는 분류군으로 간독소로 작용하는 microcystin을 분비하며(Magalhães et al. 2003), 면역억제 작용의 원인이 되는 물질을 생산하는 분류군이다(Effmert et al. 1991). 따라서 왕송

저수지는 부영양화된 수역으로써 특별한 수질 관리가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 과학재단(M1050804002-05N0804-00210)과 국립문화재연구소(06B001Y-00180-2006)에 의하여 지원되었으며, 감사드립니다.

참고문헌

- 김범철, 박주현, 황길순, 최광순. 1997. 한국의 대형 담수생태계의 부영양화. 한국육수학회지 30: 512-517.
- 김범철, 박주현, 임병진, 허우명, 황길순, 최광순, 채기숙. 1998. 국내 주요호수의 육수학적 조사(2): 합천호. 한국육수학회지 31: 312-327.
- 김숙찬, 김한순. 2004. 영천댐의 식물플랑크톤 군집과 환경요인의 동태. 한국조류학회지 19: 227-234.
- 김용재. 1999. 덕동호의 식물플랑크톤 군집과 LTSI에 의한 호소의 영양상태 평가. 한국조류학회지 14: 161-167.
- 문병렬, 남미라, 이옥민. 2005. 경기도 수원시와 평택시의 5개 담수호소의 식물플랑크톤 분포 및 현존량. 한국육수학회지 23: 32-46.
- 박재충, 박정원, 김대현, 신재기, 이희무. 2005. 안동호의 수역별 영양상태 평가 및 평가방법 간 상관성 비교. 한국육수학회지 38: 95-104.
- 박정훈, 문병렬, 이옥민. 2006. 수원시 수계에 분포하는 식물플랑크톤의 종조성 및 영양단계. 한국조류학회지 21: 217-228.
- 서정관, 유재정, 이재정, 양상용, 정익교. 2003. 운문호의 식물플랑크톤 군집 동태와 영양단계평가. 한국조류학회지 18: 135-143.
- 이정호, 김용재. 1996. 낙동강 수계 댐 호의 부착규조 및 영양단계 평가. 환경생물학회지 14: 18-28.
- 정준. 1993. 한국담수조류도감. 아카데미출판사. 서울. 96 pp.
- 한명수, 이후랑, 홍성수, 김영옥, 이경, 최영길, 김세화, 유광일. 2002. 철원북방 DMZ내의 중영양호 토교저수지의 생태학적 연구 V. 경안천(팔당호)과 토교저수지에서 식물플랑크톤의 크기별 현존량과 Chlorophyll a의 계절 변동. 환경생물학회지 20: 91-99.
- 환경부. 1996. 공정시험방법. 동화기술. 서울. 355 pp.
- APHA. 1998. Standard method. For the examination of water and wastewater. 20th. New York. 1220 pp.
- Carlson R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnol.

- Oceanogr.* **22**: 361-369.
- Davies-Colley R.J. and Smith D.G. 2001. Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A review. *Water Res.* **37**: 1085-1101.
- Effmert U, Mundt S, Teuscher E. 1991. Investigations of the immunomodulatory effect of cyanobacterial extracts. *Allerg Immunol (Leipzig)*. **37**: 97-102.
- Forsberg O. and Ryding S.O. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waterreceiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* **89**: 189-207.
- Hirose H.M., Akiyama T., Imahori K., Kasaki H. Kumano S., Kobayashi H., Takahashi E., Tsumura T., Hirano M. and Yamagishi T. 1977. *Illustrations of the Japanese freshwater algae*. Uchidarokakuho Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan. 932 pp.
- Horne A.J. and Goldman C.R. 1994. *Limnology*. McGraw-Hill, Inc. New York. pp. 457-475.
- Hutchinson G.L. and Viets F.G. 1969. Nitrogen Enrichment of Surface Water by Absorption of Ammonia Volatilized from Cattle Feedlots. *Science* **166**: 514-515.
- Jimenez F.J., Bautista R.B. and Rodriguez V. 1987. Relations between chlorophyll, phytoplankton cell abundance and biovolume during a winter bloom in Mediterranean coastal water. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **105**: 161-173.
- John D.M., Whitton B.A. and Brook A.J. 2002. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae*. Cambridge University Press and The Natural History Museum, Cambridge. 720 pp.
- Kim Y.J. 1996. Ecological Study of Phytoplankton Community and Trophic States Using Indicators in Lake Paltang. *Kor. J. Lim.* **29**: 323-345.
- Kratzer C.R. and Brezonik P.L. 1981. A Carlson-type Trophic State Index for Nitrogen in Florida lakes. *Wat. Res. Bull. Assn.* **17**: 713-715.
- Lee K. 1988. A Check-list of the freshwater diatoms in Korea. *Kor. J. Phycol.* **3**: 29-88.
- Lee H.W., Lee S.M., Lee J.W., Park S.S. and Kang H.M. 1994. A study on phytoplankton flora in Sannam Reservoir and Daeam lake. *Environ. Problems Res. Ins. Kyungnam Univ.* **16**: 53-61.
- Lee J.H., Park J.G. and Kim E.J. 2002. Trophic states and phytoplankton compositions of Dam Lakes in Korea. *Algae* **17**: 275-281.
- Magalhães V.F., Marinho M.M., Domingos P., Oliveira A.C., Costa S.M., Azevedo L.O., and Azevedo S.M.F.O. 2003. Microcystins (cyanobacteria hepatotoxins) bioaccumulation in fish and crustaceans from Sepetiba Bay (Brasil, RJ). *toxicol.* **42**: 289-295.
- Odate T. and Yanada M. 1993. Phytoplankton carbon biomass estimated from the size-fractionated Chl-a concentration and cell density in the Northern Coastal Waters from Spring bloom to summer. *Bull Plankton Soc. Japan.* **39**: 127-144.
- Palmer C.M. 1980. *Algae and water pollution*. Castle Publication Ltd., UK. 213 pp.
- Patrick R. and Reimer C.W. 1966. *The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii*, Vol. 1. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia. 688 pp.
- Patrick R. and Reimer C.W. 1975. *The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii*, Vol. II part 1. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia. 213 pp.
- Prescott G.W. 1962. *Algae of the western great lakes area*. Otto Koeltz Science Publishers, Germany. 976 pp.
- Prescott G.W., Croasdale H.T. and Vinyard W.E. 1982. *A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 4*. Univ. Nebraska Press, Lincoln and London. 700 pp.
- Prescott G.W., Croasdale H.T., Vinyard W.E. and Bicudo C.E.M. 1981. *A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 3*. Univ. Nebraska Press, Lincoln and London. 720 pp.
- Reynolds C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge Univ. Press, London. 384 pp.
- Simonsen R. 1979. The diatom system: Ideas on phylogeny. *Bacillaria* **2**: 9-71.
- Sournia A. 1978. *Phytoplankton manual*. Unesco. UK. 337 pp.
- Stoermer E.F. and Ladewski T.B. 1978. *Phytoplankton association in Lake Ontario during IFYGL (International Field Year for the Great Lakes)*. Univ. Michigan, Great Lakes Res. Div. Publ. 64 pp.
- Takamura N. and Yukihiro N. 1994. Picophytoplankton biomass in relation to lake trophic state and the TN:TP ratio of lake water in Japan. *J. Phycol.* **30**: 439-444.
- Vollenweider R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. *OECD Technical Report* **68**: 1-27.
- Vollenweider R.A. 1975. Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schweiz. Z. Hydrol.* **37**: 53-84.
- Vollenweider R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* **33**: 53-83.
- Yang J.R. and Dickman M. 1993. Diatoms as indicators of Lake Trophic Status in Central Ontario, Canada. *Diatom Res.* **8**: 179-193.
- Yoshimi H. 1987. Simultaneous construction of single parameter and multiparameter trophic states indices. *Water Research* **15**: 1505-1511.

Received 12 April 2007

Accepted 26 May 2007

Appendix. Continued

Species	Gosam #1		Gosam #2		Gicheon #1		Gicheon #2		Baekun #1		Baekun #2		Eocheon #1		Eocheon #2		Wangsong #1		Wangsong #2		Idong #1		Idong #2																
	N	F	J	S	N	F	J	S	N	F	J	S	N	F	J	S	N	F	J	S	N	F	J	S	N	F	J	S											
<i>Cosmarium pachydermum</i>																																							
<i>C. pycnochoandrum</i>					+											+																							
<i>C. quadrum</i> var. <i>minus</i>						+																																	
<i>C. rectangulare</i>																																							
<i>C. rectangulare</i> var. <i>africanum</i>																																							
<i>C. regnellii</i>																																							
<i>C. regnellii</i> var. <i>minimum</i>																																							
<i>C. sikhimensense</i>																																							
<i>C. subcostatum</i>																																							
<i>C. subturnidum</i> f. <i>minor</i>																																							
<i>C. tenue</i>																																							
<i>C. tinctum</i>																																							
<i>C. tinctum</i> var. <i>intermedium</i>																																							
<i>C. sp.</i>																																							
<i>Euastrum denticulatum</i> var. <i>rectangulare</i>																																							
<i>E. sp.</i>																																							
<i>Staurastum affine</i>																																							
<i>S. cyclacanthum</i>																																							
<i>S. hexacerum</i> var. <i>aversum</i>																																							
<i>S. longiradiatum</i>																																							
<i>S. punctulatum</i>																																							
<i>S. pseudosebaldi</i> var. <i>simplicium</i>																																							
<i>S. taylorii</i>																																							
<i>S. tetracerum</i>																																							
Total taxa: 400																																							
																								129	123	135	133	117	131	146	124	118	119	119	124	119	119	119	124

B: Blooming, ++: frequently occur, +: occur

