

## 수원시 수계에 분포하는 식물플랑크톤의 종조성 및 영양단계

박정훈 · 문병렬 · 이옥민\*

(경기대학교 생물학과)

### The Phytoplankton Compositions and Trophic States at Several Lakes of Suwon-si, Korea

Jung Hoon Park, Byeong Ryeol Moon and Ok-Min Lee\*

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

Seasonal compositions, standing crops and trophic status of phytoplankton were investigated at 13 sites of Suwon-si, Gyeonggi-do from June, 2004 to March, 2005. Total of 304 taxa were found, and classified as 4 phylums 4 classes 13 orders 36 families 93 genera 246 species 47 varieties 8 forms and 3 unidentified species by Engler's classification system. Judged by standing crops of phytoplankton, algal blooming was observed at every sampling sites except Pajang reservoir, Hagwanggyo reservoir, Suwon-cheon and Woncheon-cheon throughout the whole study periods. While Hagwanggyo reservoir appeared to be in mesotrophic or oligomesotrophic status, most of the remaining sampling sites in Suwon-si were in eutrophic status according to trophic status index. In this study, the most abundant taxa revealed in eutrophic status were *Anabaena circinalis*, *Pandorina morum*, *Scenedesmus acuminatus*, and *S. quadricauda* as previously reported as the most abundant taxa in eutrophic status. But *Navicula cryptocephala* and *Cyclotella stelligera*, reported as the abundant taxa of mesotrophic and oligomesotrophic status, respectively, occurred in eutrophic status in this study.

**Key Words:** eutrophic status, phytoplankton, trophic status index

#### 서 론

도시 하천 및 호소는 인구 증가와 산업화에 따라 생활하수와 공장폐수 등의 오염물질의 유입량이 증가하고, 이로 인해 급속도로 부영양화 되어가고 있다. 이러한 수계의 부영양화는 식물플랑크톤의 종 다양성을 감소시키며, 오염종에 의한 녹조현상을 유발함으로써 환경문제를 야기하고 있다(국립환경연구원 1993). 식물플랑크톤은 수계의 1차생산자로서 수질의 변화에 따라 군집의 정량적인 변화를 나타낸다. 따라서 식물플랑크톤의 군집 변화는 수환경을 영양단계별로 지표하는 특성을 가지고 있다(Stoermer and Ladewski 1978; Trainor 1984). 식물플랑크톤의 분포는 수질의 오염원을 찾아내는데 도움이 되며, 특히 현존량은 수질변화 측정에 중요한 도구로서 사용될 수 있다(James 1979; Whitton 1979).

호소의 부영양화에 대하여 Vollenweider(1968, 1969, 1976)는 인의 농도에 따라 호소의 영양등급을 나누었고, Sakamoto(1966)와 Dillon and Rigler(1974)는 엽록소 *a*의 양과 인의 농도가 부영양화와 밀접한 관계가 있음을 입증하였다. Carlson(1977)은 총 인의 농도, 투명도, 엽록소 *a*의 양을 사용하여 TSI(Trophic Status Index)를 제안하였다. Yang and Dickman(1993)은 TSI와 Yoshimi(1987)의 MTSI(multiple parameter trophic status indices)를 기초로 하여 총 인, 투명도, 엽록소 *a*의 값을 사용한 LTSI(lake trophic status index)를 제안하였으며, 캐나다 온타리오 주에 위치한 50개 호소를 대상으로 한 연구에서 수질의 영양등급과 이를 대표하는 규조류의 지표종을 밝힌 바 있다.

국내의 연구를 살펴보면, 이와 김(1996)은 낙동강 수계 6개 호소의 영양단계를 분석하고 식물플랑크톤의 분포와의 상관관계에 대한 연구를 수행하였다. 또한 수질의 영양단계와 식물플랑크톤과의 관계에 대한 연구는 전국에 분포하는 10개 호소에 관한 연구(이 등 2002)와 경상북도 경산시 남매

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

**Table 1.** Limnological and geological features of 13 sampling sites in Suwon-si, Gyeonggi-do

Site	Watershed area / Reservoir surface area (km <sup>2</sup> )	Stream length (km)	Average width (km)	Storage volume (× 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
L1 (Geumgok res.)	0.28	.	.	7.0
L2 (Homaesil res.)	0.45	.	.	6.0
L3 (Ilwol res.)	2.37	.	.	29.9
L4 (Pajang res.)	1.44	.	.	45.1
L5 (Ilwang res.)	4.16	.	.	37.7
L6 (Seo res.)	20.66	.	.	67.8
L7 (Hagwanggyo res.)	1.06	.	.	7.0
L8 (Gwanggyo res.)	10.98	.	.	248.0
L9 (Shindae res.)	6.53	.	.	144.3
L10 (Woncheon res.)	8.96	.	.	198.8
S1 (Hwangguji-cheon)	85.63	18.15	4.70	.
S2 (Suwon-cheon)	25.37	16.00	1.58	.
S3 (Woncheon-cheon)	36.70	10.00	3.67	.

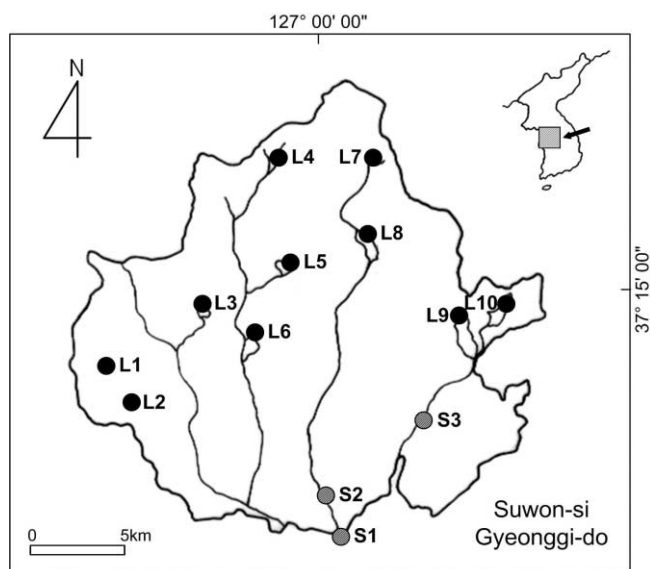
지(김 등 2003), 경상북도 경주시의 덕동호(김 1999), 경상북도 청도군 운문호(서 등 2003) 등을 대상으로 수행되었다.

본 연구는 경기도 수원시에 위치한 10개 호소와 3개 하천을 대상으로 식물플랑크톤의 종 분포 및 수질에 대한 이화학적 환경요인 분석하고, TSI와 LTSI를 통한 호소의 영양단계를 평가하며, 계절별 우점종과 주요종의 분포를 밝힘으로써 식물플랑크톤을 통한 수질 평가 모니터링을 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

본 연구에서는 경기도 수원시에 위치한 금곡저수지(L1)를 비롯한 10개의 호소와 황구지천 등 하천 수계로부터 3개 정점을 선정하여 2004년 6월부터 2005년 3월에 걸쳐서 계절별로 채집을 실시하였다(Table 1). L1-L10은 인공호소이며, S1-S3은 수원시를 통과하는 3개의 하천에 위치한다(Fig. 1).

수온 및 기온은 봉상온도계를 이용하여 측정하였으며, pH, 용존산소량(DO) 그리고 전기전도도(Cond.)는 Multi 340i(WTW, Germany)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 총인(T-P)과 총질소(T-N)의 측정은 자외선 흡광광도법과 아스코르빈산 환원법(환경부 1996)을 이용하여 측정하였으며, COD는 COD<sub>Cr</sub> 환원법으로 측정하였다(APHA 1998). 엽록소 *a*의 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(SCOR-Unesco 1966). 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,



**Fig. 1.** A map showing the 13 sampling sites in Suwon-si, Gyeonggi-do (L1: Geumgok res., L2: Homaesil res., L3: Ilwol res., L4: Pajang res., L5: Ilwang res., L6: Seo lake., L7: Hagwanggyo res., L8: Gwanggyo res., L9: Sindae res., L10: Woncheon res., S1: Hwangguji-cheon., S2: Suwon-cheon., S3: Woncheon-cheon).

상등액을 제거하고 남은 시료를 균일하게 섞어준 후 Sedgwick-Rafter chamber에 1 mL을 넣고 계수하였다. 이 때 각 시료 당 5회씩 반복하여 계수한 후 평균값을 산출하였다. 부착성 조류는 채집정점의 수생식물이나 물에 잠겨있는 돌과 육상식물 등을 훑어내는 방법에 의하여 채집하여 침전시킨 후 농축된 시료를 관찰하였다(Sournia 1978). 규조류는 Lee 등(1994)에 따라 시료를 전 처리 한 후 분석하였다.

호소 수질의 영양등급은 TSI(Carlson 1977; Kratzer and Brezonik 1981)와 LTSI(Yang and Dickman 1993)를 산출하여 평가하였으며, TSI에 의한 영양등급 판정 시에는 U.S. EPA

(2000)의 연구 결과를 적용하였다. 식물플랑크톤의 성장 제한 요인 분석은 엽록소 *a*, 투명도, 그리고 영양염류(T-P, T-N)의 TSI를 이용하여 계절별, 정점별로 실시하였다(Carlson 1992). 또한 하천수계에 대해서는 COD<sub>Cr</sub> 값(환경부 2004)을 적용하여 영양등급을 판정하였다.

우점종은 현존량의 10% 이상을 차지하는 분류군으로 선정하였으며, 주요종은 현존량의 1% 이상에서 10% 미만을 차지하는 분류군으로 선정하였다(김 1994).

본 연구에서 식물플랑크톤은 Engler의 분류체계(Melchoir and Wedermann 1954)에 따라 정리하였다. 남조식물문과 녹조식물문, 황갈조식물문은 Prescott(1962), Prescott 등(1975, 1981, 1982), Hirose 등(1977), John 등(2002)을 참조하였으며, 규조식물문은 Patrick and Reimer(1966, 1975)와 정(1993) 등을 참조하였다.

## 결과 및 고찰

### 이화학적 환경요인

본 연구의 13개 정점에서 조사된 수온, pH, 용존산소의 농도(DO), 투명도(SD), 총질소(T-N) 그리고 총인(T-P) 등의 이화학적 환경요인은 다음과 같다. 수온은 하계인 6월에 20.0-24.4°C로 나타났고, 추계인 9월에는 20.6-28.1°C를 나타냈으며, 동계인 12월에는 1.1-9.1°C, 춘계인 3월에는 6.0-12.5°C를 나타냈다. pH는 최저 6.2(12월, L1)에서 최고 9.6(3월, L3)으로 측정되었다. 전기전도도는 3월 황구지천(S1)에서 1,046  $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 가장 높은 값으로 나타났고 9월 파장저수지(L4)에서 35  $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 가장 낮은 값으로 나타났다. DO는 최저 1.5  $\text{mg L}^{-1}$ (12월, L8)에서 최고 21.3  $\text{mg L}^{-1}$ (6월, L5)로 측정되었다. 투명도는 탁도를 Secchi Disk 값으로 전환하는 방법으로(Davies-Colley and Smith 2001) 최저 0.39 m(6월, S3)에서 최고 6.74 m(9월, S3)로 나타났다.

총 질소의 농도는 3월 광교저수지(L8)의 0.43  $\text{mg L}^{-1}$ 가 최저값으로 나타났으며, 12월 수원천(S2)의 19.19  $\text{mg L}^{-1}$ 가 최고값으로 나타났다. 총 인의 농도는 12월 하광교소류지(L7)에서 측정된 2.11  $\mu\text{g L}^{-1}$ 가 최저치로 나타났으며, 3월 황구지천(S1)에서 측정된 1,526.32  $\mu\text{g L}^{-1}$ 가 최고치로 나타났다. N/P 비율은 12월 하광교소류지(L7)에서 736.25로 가장 높았으며, 3월 서호(L6)에서 2.32로 가장 낮았다.

COD<sub>Cr</sub>의 농도는 9월 하광교소류지(L7)의 1.0  $\text{mg L}^{-1}$ 가 최저값으로 나타났으며, 3월 황구지천(S1)의 39.8  $\text{mg L}^{-1}$ 가 최고값으로 나타났다. 엽록소 *a*의 농도는 9월 서호(L6)에서 451.05  $\text{mg m}^{-3}$ 로 최고값으로 나타났으며, 3월 파장저수지(L4)에서 3.12  $\text{mg m}^{-3}$ 로 최저값으로 나타났다(Table 2).

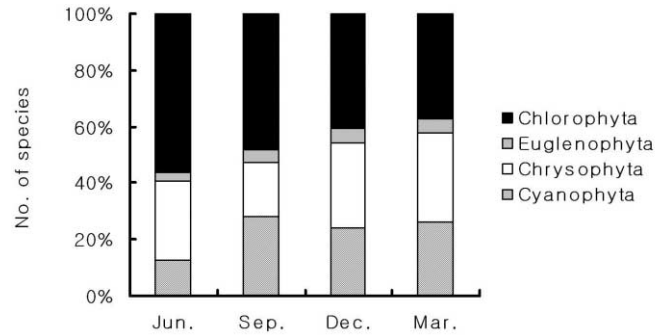


Fig. 2. The seasonal composition rates of each division of phytoplankton at 13 sampling sites in Suwon-si from June, 2004 to March, 2005.

### 출현 분류군의 종 조성

2004년 6월부터 2005년 3월까지 13개 정점으로부터 출현한 식물플랑크톤은 4문 4강 13목 5아목 36과 5아과 93속에 속하는 246종 1아종 47변종 8품종 3미동정종의 304분류군으로 밝혀졌다.

이들의 계절별 출현 양상을 살펴보면 하계(2004년 6월)에는 121분류군이 출현하였으며, 추계에는 182분류군, 동계에는 167분류군이 출현하였다. 그리고 춘계(2005년 3월)에는 156분류군이 출현하여 본 수역에서는 추계에 가장 많은 분류군이 출현하였다(Fig. 2).

본 연구 수역에서는 녹조식물이 가장 많이 출현하였으며, 추계인 9월을 제외한 세 계절에는 황갈조식물이 녹조식물 다음으로 많은 분류군 수를 보였다. 9월에는 남조식물이 녹조식물 다음으로 많은 분류군 수를 나타냈다(Fig. 2).

각 정점별 식물플랑크톤의 출현분류군 수를 살펴보면, 하계인 6월에는 일왕저수지(L5)에서 38분류군의 식물플랑크톤이 출현하여 전체 13개 정점 중 가장 많은 분류군이 출현하였으며, 9월에는 39분류군이 출현한 신대저수지(L9), 12월에는 46분류군이 출현한 일왕저수지(L5), 그리고 3월에는 35분류군이 일월저수지(L3)가 각 계절별 최대 출현분류군 수를 나타내었다. 또한 최소 출현분류군 수를 나타낸 정점은 6월에는 수원천(S2), 9월에는 파장저수지(L4)와 하광교소류지(L7), 12월에는 파장저수지(L4), 그리고 3월에는 파장저수지(L4)와 황구지천(S1)으로 나타났다(Fig. 3).

### 현존량

수원시 일원 13개 정점의 연평균 엽록소 *a*의 농도는 69.4  $\text{mg m}^{-3}$ 로 나타냈다. 특히 추계인 9월 서호(L6)에서는 451.1  $\text{mg m}^{-3}$ 의 엽록소 *a*의 농도를 나타냄으로써 최고치를 보였으며, 추계의 파장저수지(L4)에서 최저치(3.5  $\text{mg m}^{-3}$ )를 나타냈다. 연평균 가장 높은 엽록소 *a*의 농도를 나타낸 정점은 서호(L6)이고, 가장 낮은 엽록소 *a*의 농도를 나타낸 정점은 파장저수지(L4)로 나타났다(Fig. 4).

**Table 2.** Physico-chemical factors measured at 13 sampling sites in Suwon-si from June 2004 to March 2005

Date	Site	WT. (°C)	pH	DO (mg L <sup>-1</sup> )	Cond. ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ )	SD (m)	T-N (mg L <sup>-1</sup> )	T-P ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	N/P ratio	COD <sub>cr</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	Chl- <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> )
June 2004	L1	21.0	6.98	4.42	172	2.56	0.65	72.01	9.03	14	51.8
	L2	23.0	7.80	8.28	224	1.02	2.95	104.33	28.37	20	226.6
	L3	22.0	7.90	6.69	400	0.57	7.20	662.02	10.88	9.8	49.7
	L4	22.0	6.90	9.03	38	3.50	1.35	58.00	23.28	3.3	5.8
	L5	24.4	9.71	21.30	353	0.92	1.25	98.31	12.76	47	154.9
	L6	22.0	9.03	12.87	238	0.63	2.00	120.24	16.67	33	443.7
	L7	22.0	7.10	8.64	39	4.07	0.55	32.02	17.19	3.0	12.4
	L8	21.0	7.34	8.72	102	3.62	1.00	39.01	25.64	3.0	8.7
	L9	21.0	8.81	12.63	344	0.62	4.05	205.00	19.76	13.0	359.0
	L10	22.0	8.04	8.55	297	1.13	1.15	156.73	7.37	15.7	76.3
	S1	22.0	7.11	3.96	406	0.97	6.30	225.61	28.00	22	4.2
	S2	20.0	7.44	5.65	238	0.61	3.30	137.16	24.09	2.8	6.2
	S3	22.0	7.40	6.07	405	0.39	5.45	163.24	33.44	18	8.4
Sep. 2004	L1	22.6	7.29	4.16	146	1.97	3.94	13.63	288.81	5.0	4.4
	L2	25.8	7.02	8.21	175	2.14	1.86	134.55	13.85	7.4	9.0
	L3	28.1	8.93	10.22	187	1.14	3.44	140.69	24.44	34.3	136.4
	L4	24.3	7.39	6.93	35	4.75	0.67	22.37	30.07	2.6	3.5
	L5	25.7	8.92	13.63	193	0.93	5.39	39.93	137.92	26.5	83.8
	L6	24.1	8.91	12.97	329	0.41	6.76	163.72	41.27	39.8	451.1
	L7	20.6	7.52	10.06	39	4.95	2.30	15.76	145.89	1.0	6.2
	L8	22.6	9.39	14.74	68	0.97	1.83	55.37	55.37	17.6	77.4
	L9	24.5	9.27	18.27	255	2.48	8.34	24.00	347.59	6.9	13.1
	L10	24.4	6.96	10.44	207	1.68	2.50	69.70	35.88	10.8	9.3
	S1	22.6	7.55	7.71	532	0.94	1.86	1,340.48	1.38	38.3	45.6
	S2	22.2	8.52	16.62	391	6.74	7.04	251.94	27.93	3.4	4.3
	S3	24.2	7.34	7.87	402	2.87	5.17	113.02	45.71	9.5	5.4
Dec. 2004	L1	5.6	6.17	11.70	272	1.34	3.33	73.68	45.23	8.6	5.3
	L2	4.8	6.21	6.40	178	1.78	2.82	94.74	29.74	13.2	21.5
	L3	4.2	9.12	20.70	279	1.36	13.10	210.52	62.23	28.8	115.6
	L4	3.4	8.84	11.45	41	2.01	1.01	48.42	20.84	3.8	4.4
	L5	7.6	7.49	13.95	288	0.93	1.58	711.58	2.22	27.2	48.7
	L6	3.4	7.53	13.79	577	1.26	2.42	431.58	5.61	39.1	4.1
	L7	4.6	7.94	8.42	39	3.17	1.55	2.11	736.25	4.5	6.9
	L8	9.1	6.98	1.53	201	2.69	1.63	37.89	43.01	3.7	6.2
	L9	4.6	8.43	11.43	361	1.13	4.99	366.32	13.63	21.3	126.1
	L10	2.7	6.22	11.56	261	1.98	2.74	86.50	31.68	7.5	6.6
	S1	3.0	6.90	6.93	109	1.00	13.41	1,181.05	11.35	37.1	18.5
	S2	1.1	8.52	16.40	373	1.74	19.19	69.47	276.15	5.4	15.7
	S3	8.0	6.28	6.28	561	1.01	9.64	117.89	81.75	10.4	18.8
Mar. 2005	L1	9.7	8.1	10.24	304	0.71	1.96	110.53	17.73	16.2	11.9
	L2	8.8	7.5	7.60	196	0.96	3.43	221.05	15.52	13.2	5.1
	L3	7.9	9.6	16.59	352	1.25	0.70	268.42	2.61	35.2	96.3
	L4	7.9	7.6	11.47	41	2.70	0.48	105.26	4.51	4.9	2.1
	L5	12.5	8.3	14.38	373	0.99	0.52	73.68	6.99	28.6	43.9
	L6	10.0	9.0	14.64	671	0.72	1.56	673.68	2.32	39.2	442.5
	L7	6.1	7.3	10.94	45	3.42	1.83	21.054	86.93	3.9	3.1
	L8	6.0	7.3	11.12	115	3.47	0.43	15.79	27.23	8.2	3.6
	L9	7.6	9.1	16.60	445	1.17	4.26	1,205.26	3.53	39.6	137.6
	L10	8.0	7.0	4.34	332	1.68	13.96	473.68	29.47	14.3	19.6
	S1	11.2	7.6	9.8	1046	1.01	20.87	1,526.32	13.67	39.8	158.9
	S2	10.7	8.4	14.55	327	4.47	2.97	473.54	6.27	9.3	3.3
	S3	8.9	7.3	12.26	599	0.63	5.28	273.68	19.29	19.6	25.0

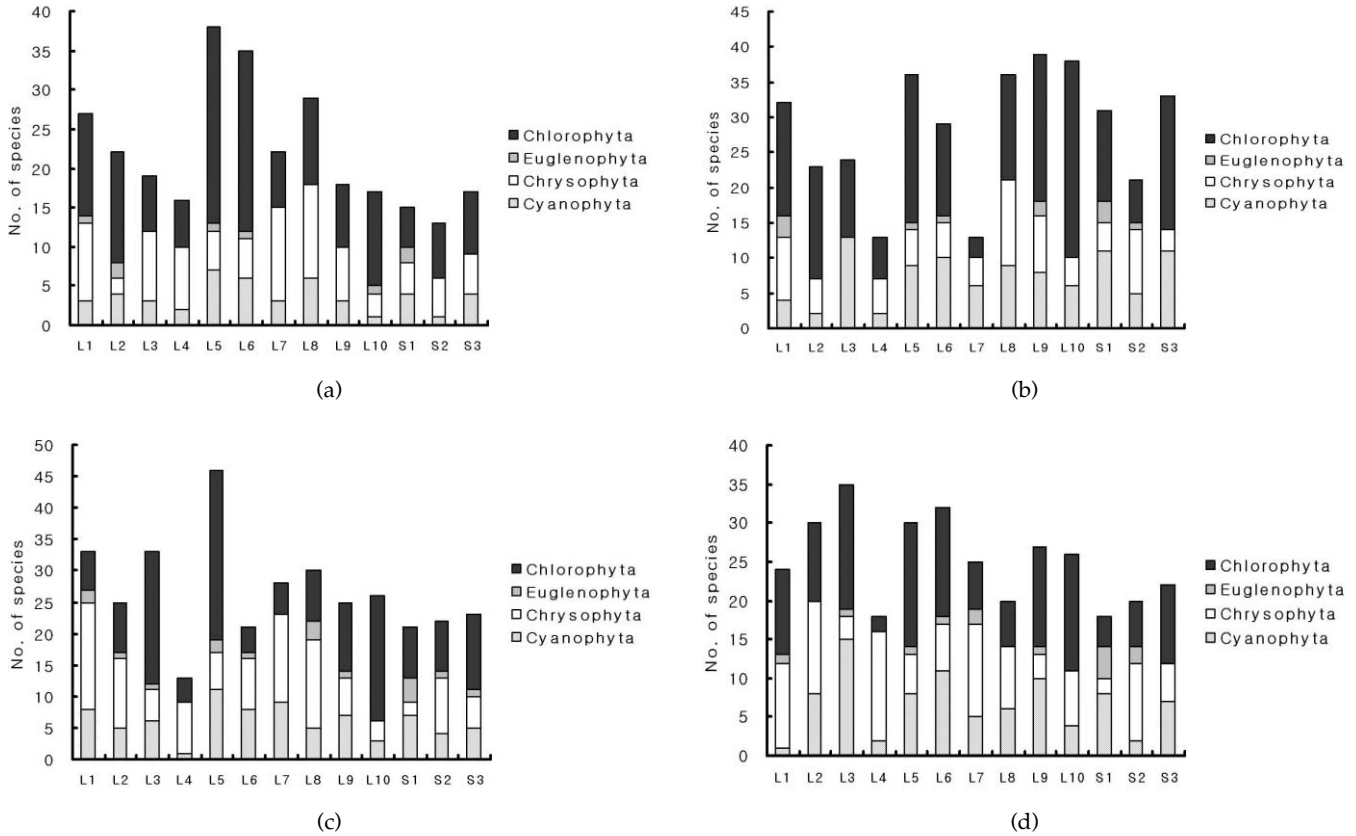


Fig. 3. The seasonal change of phytoplankton species composition at 13 sampling sites in Suwon-si from June, 2004 to March, 2005 (a: Jun. 2004, b: Sep. 2004, c: Dec. 2004, d: Mar. 2005).

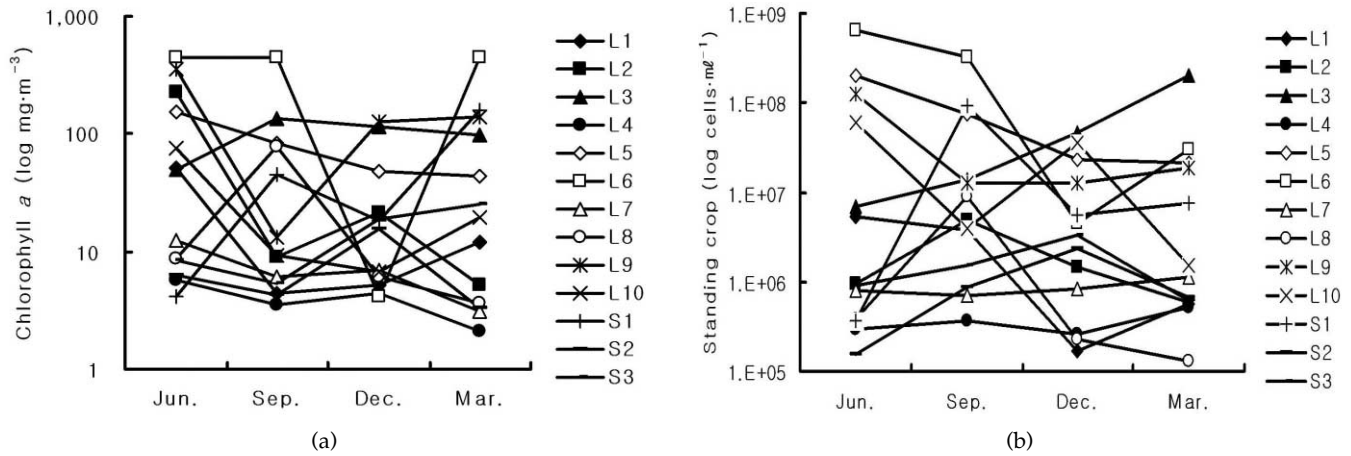


Fig. 4. Seasonal dynamics of chlorophyll-a concentration (a) and number of cells (b) of phytoplankton at 13 sites in Suwon-si from June, 2004 to March, 2005.

세포수 계수에 의한 현존량 측정결과의 평균값은  $38.9 \times 10^9$  cells mL<sup>-1</sup>로 나타났으며, 최고치는 하계(6월) 서호(L6)의  $648.1 \times 10^9$  cells mL<sup>-1</sup>로 나타났고, 최저치는 춘계(3월) 광교저수지(L8)의  $0.1 \times 10^9$  cells mL<sup>-1</sup>로 나타났다. 세포수 계수에 의한 현존량 측정 결과 연평균 식물플랑크톤의 개체수가 가장 높게 측정된 정점은 서호(L6)였으며, 가장 낮은

개체수가 측정된 정점은 파장저수지(L4)로 나타났다(Fig. 4).

녹조의 기준을  $5.0 \times 10^9$  cells mL<sup>-1</sup>로 볼 때(Horne and Goldman 1994), 본 연구수역 중 금곡저수지(L1), 호매실저수지(L2), 파장저수지(L4), 하광교소류지(L7), 광교저수지(L8), 수원천(S2) 그리고 원천천(S3)의 7개 정점은 녹조현상

을 나타내지 않았으나, 나머지 6개 정점에서는 연중 녹조현상을 나타냈다.

엽록소 *a*의 농도와 세포수 계수에 의한 현존량은 대체로 일치하였으나 특히 춘계에 가장 잘 일치 하였으며, 춘계에는 남조류의 비율이 10.9%로 다른 계절에 비해 낮았다. 남조류는 세포 체적 당 높은 엽록소 *a* 양을 가지며 동일종에서 수환경의 조건에 따라 엽록소 *a*의 함유량이 유동적이다(한 등 2002). 따라서 본 연구에서도 남조류의 비율이 낮을수록 세포수 계수에 의한 현존량과 엽록소 *a*의 농도가 일치함을 나타냈다. 또한 엽록소 *a*의 농도와 세포수 계수에 의한 현존량의 불일치는 세포 크기에 따라 엽록소 *a*의 양이 다르고 종에 따라 색소 조성 및 함량이 다르기 때문으로 해석되며(Jiménez *et al.* 1987), 현존량에 계수되지 않은 미소 플랑크톤의 영향으로 판단된다(Larsson and Hagstrom 1982).

#### 영양단계 평가

연구 정점 중 하천 수계인 정점 3개(S1, S2, S3)를 제외한 10개 정점을 대상으로 영양단계 평가를 실시하였다. 영양단계 평가는 각 정점의 총인의 농도, 엽록소 *a*의 농도 그리고 투명도를 측정 후 TSI(Trophic State Index) 값과 LTSI(Lake Trophic State Index) 값을 산출하여 실시하였다(Carlson 1977; Forsberg and Ryding 1980, Yang and Dickman 1993).

영양단계 평가 결과 2004년 6월에는 부영양화 단계로 나타난 3개 정점(L4, L7, L8)을 제외한 7개 정점이 과부영양화 단계로 나타났고, 9월에는 금곡저수지(L1), 파장저수지(L4), 그리고 하광교소류지(L7)의 3개 정점은 중부영양화 단계로 나타났으며, 호매실저수지(L2), 신대저수지(L9), 그리고 원천저수지(L10)의 3개 정점은 부영양화 단계로 나타났다. 그리고 일월저수지(L3), 일왕저수지(L5), 서호(L6), 광교저수지(L8)의 4개 정점은 과부영양화 단계로 나타났다. 동계인 12월에는 하광교소류지(L7)는 빈중영양화 단계로 나타났으며, 금곡저수지(L1)를 포함한 4개 정점은 부영양화 단계였으며, 그리고 호매실저수지(L2)를 포함한 5개 정점은 과부영양화 단계로 나타났다. 춘계인 2005년 3월에는 하광교소류지(L7)와 광교저수지(L8)는 중영양화 단계로 나타났으며, 부영양화 단계에 있는 것으로 나타난 파장저수지(L4)를 제외한 7개 정점은 과부영양화 단계로 나타났다(Table 3).

수원시 수역은 동계에 하광교소류지(L7)가 빈중영양화 단계를 나타낸 것을 제외하고 연중 대부분 부영양화 단계를 나타냈다. 특히 서호(L6), 일왕저수지(L5), 신대저수지(L9) 등은 심각한 녹조현상을 나타냈으며 따라서 수원시 수계가 전형적인 도시형 인공호소와 하천으로써 대부분 상당한 수질 오염이 진행된 것으로 사료된다.

#### 우점종과 주요종

2004년 6월부터 2005년 3월까지 수원시 수계 13개 정점으로부터 출현한 전체 식물플랑크톤 중 현존량의 10% 이상을 차지하는 우점종은 남조식물이 11분류군, 황갈조식물이 17분류군, 유글레나식물이 7분류군 그리고 녹조식물이 11분류군인 것으로 나타났다. 또한 현존량의 1% 이상 10% 미만을 차지하는 주요종은 남조식물이 10분류군, 황갈조식물이 18분류군, 유글레나식물이 6분류군 그리고 녹조식물이 27분류군인 것으로 나타났다. 따라서 각 식물플랑크톤 중 우점종으로는 황갈조식물군이 차지하는 비율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 주요종으로는 녹조식물군이 차지하는 비율이 가장 높은 것으로 나타났다(Appendix).

본 연구 결과 각 영양단계별로 출현한 우점종과 주요종들이 전의 연구(Yang and Dickman 1993, 김 1999, 이 등 2002, 김 등 2003, 서 등 2003)에서 발표된 지표종 또는 생태적인 집단과 비교해보면, 다수의 분류군들이 불일치함을 알 수 있다. *Navicula cryptocephala*는 본 연구에서는 부영양화 단계 수역(L1, L8)에서 출현하였지만 Yang and Dickman(1993)의 연구에서는 중영양화 단계 수역에서 출현하였다. 또한 *Cyclotella stelligera*는 Yang and Dickman(1993)의 연구에서는 빈중영양화 단계 수역에서 출현하였지만 본 연구(L5)와 이 등(2002)의 연구에서는 부영양화 단계 수역에서 주로 출현하였다.

그리고 *Tabellaria flocculosa*는 Yang과 Dickman(1993)의 연구에서 중부영양화 단계 수역의 출현종이지만 본 연구에서는 중영양화 단계 수역의 주요종으로 출현하였다. 본 연구는 전국의 10개 호소(이 등 2002)에 대한 연구 결과와 비교적 일치하였는데, *Anabaena circinalis*, *Scenedesmus acuminatus*, *S. quadricuda*, *Pandorina morum* 등이 부영양화 단계 수역의 우점종으로써 일치하였다. 이상의 연구 결과를 통하여 수질의 영양단계를 대표하는 지표종 선정은 식물플랑크톤 분포에 대한 더 많은 연구를 통하여 종합되어야 함을 알 수 있다.

본 연구 수역에서 하광교소류지(L7)만이 연중 빈중영양화 단계 또는 중영양화 단계를 나타냈으며, 대부분의 수역은 부영양화 단계를 나타냈다(Table 3). 녹조의 기준을  $5.0 \times 10^9$  cells mL<sup>-1</sup>로 볼 때(Horne and Goldman 1994), 본 연구수역 중 파장저수지(L4)와 하광교소류지(L7)는 비교적 낮은 현존량을 나타냈으나 나머지 정점에서는 연중 녹조현상을 나타냈다. 특히 서호(L6), 일왕저수지(L5), 신대저수지(L9)는 연중 심각한 녹조현상을 나타냈다. 또한 수원시의 비상상수원으로 사용되는 광교저수지(L8)에서도 위해 남조식물인 *Microcystis aeruginosa*와 *Anabaena circinalis*에 의한 녹조현상이 관찰되었다.

영양단계의 평가와 현존량을 통하여 살펴보면 수원시의 전반적인 담수 수계는 연중 부영양화 된 오염수역으로 판단

**Table 3.** Seasonal changes of TSI and LTSI from 10 sites in Suwon-si from June, 2004 to March, 2005

Season	Site	TSI (SD)		TSI (TP)		TSI (TN)		TSI (Chl- <i>a</i> )		TSI		LTSI	
Jun. 2004	L1	46.4	M	65.9	E	48.2	E	69.3	E	60.53	E	9.98	H
	L2	59.7	E	71.2	E	70.1	E	83.8	E	71.55	E	13.77	H
	L3	68.1	E	97.9	E	82.9	E	68.8	E	78.28	E	15.02	H
	L4	41.9	M	62.7	E	58.8	E	47.8	M	50.81	E	6.26	E
	L5	61.2	E	70.3	E	57.7	E	80.0	E	70.51	E	13.30	H
	L6	66.7	E	73.2	E	64.4	E	90.4	E	76.75	E	15.54	H
	L7	39.7	O	54.1	E	45.8	M	55.3	E	49.72	M	6.29	E
	L8	41.4	M	57.0	E	54.4	E	51.8	E	50.07	M	6.23	E
	L9	66.9	E	80.9	E	74.6	E	88.3	E	78.71	E	16.01	H
	L10	58.2	E	77.0	E	56.5	E	73.1	E	69.44	E	12.69	H
Sep. 2004	L1	50.2	E	41.8	O	74.2	E	45.0	M	45.70	M	4.72	ME
	L2	49.0	E	74.9	E	63.4	E	52.1	E	58.66	E	8.68	E
	L3	58.1	E	75.5	E	72.3	E	78.8	E	70.81	E	13.33	H
	L4	37.5	O	48.9	M	48.7	M	42.8	M	43.09	M	3.91	ME
	L5	61.0	E	57.3	E	78.8	E	74.0	E	64.13	E	11.22	H
	L6	72.9	E	77.7	E	82.0	E	90.5	E	80.30	E	16.58	H
	L7	36.9	O	43.9	O	66.5	E	48.4	M	43.09	M	4.15	ME
	L8	60.4	E	54.6	E	63.1	E	73.2	E	62.77	E	10.79	H
	L9	46.9	M	50.0	M	85.1	E	55.8	E	50.89	E	6.64	E
	L10	52.5	E	65.4	E	67.7	E	52.4	E	56.78	E	8.16	E
Dec. 2004	L1	55.8	E	66.2	E	71.8	E	46.8	M	56.27	E	7.76	E
	L2	51.7	E	69.8	E	69.4	E	60.7	E	60.72	E	9.65	H
	L3	55.6	E	81.3	E	91.6	E	77.2	E	71.35	E	13.42	H
	L4	49.9	E	60.1	E	54.6	E	45.2	M	51.74	E	6.41	E
	L5	61.0	E	98.9	E	61.0	E	68.7	E	76.21	E	14.42	H
	L6	56.7	E	91.7	E	67.2	E	44.5	M	64.27	E	9.94	H
	L7	43.4	M	14.9	O	60.8	E	49.4	M	35.90	OM	2.35	OM
	L8	45.7	M	56.6	E	61.5	E	48.4	M	50.25	E	6.14	E
	L9	58.2	E	89.3	E	77.7	E	78.0	E	75.19	E	14.55	H
	L10	50.1	E	68.5	E	69.0	E	49.1	M	55.92	E	7.77	E
Mar. 2005	L1	64.9	E	72.0	E	64.1	E	54.9	E	63.95	E	10.31	H
	L2	60.6	E	82.0	E	72.2	E	46.6	E	63.07	E	9.69	H
	L3	56.8	E	84.8	E	49.3	E	75.4	E	72.33	E	13.61	H
	L4	45.7	M	71.3	E	43.7	M	37.7	O	51.58	E	6.04	E
	L5	60.1	E	66.2	E	44.9	M	67.7	E	64.66	E	11.08	H
	L6	64.7	E	98.1	E	60.9	E	90.3	E	84.39	E	17.72	H
	L7	42.3	M	48.1	M	63.2	E	41.7	O	44.03	M	4.12	M
	L8	42.1	M	43.9	M	42.3	M	43.1	M	43.04	M	3.91	M
	L9	57.7	E	106.5	E	75.4	E	78.9	E	81.04	E	16.25	H
	L10	52.5	E	93.0	E	92.5	E	59.7	E	68.40	E	11.79	H

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

되며 따라서 수질오염 억제를 위한 다각도의 대책이 필요한 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2004년도 경기대학교 교내연구비와 한국과학재단(M1050804002-05N0804-00210)의 지원에 의하여 수행되었

다.

#### 참고문헌

- 국립환경연구원. 1993. 호소 만입부에서의 조류 대량증식 제어기술 개발(III). pp. 60-67.  
 김미경, 박정원, 이영욱. 2003. 남매지의 수환경 요인과 식물플랑크톤의 계절적인 변동. 한국육수학회지 36: 48-56.

- 김용재. 1994. 덕동호와 보문호의 식물플랑크톤 군집의 분류 및 생태학적 연구. 경북대 박사학위 논문.
- 김용재. 1999. 덕동호의 식물플랑크톤 군집과 LTSI에 의한 호소의 영양상태 평가. 한국조류학회지 **14**: 161-167.
- 서정관, 유재정, 이재정, 양상용, 정익교. 2003. 운문호의 식물플랑크톤 군집동태와 영양단계평가. 한국조류학회지 **18**: 135-143.
- 이정호, 김용재. 1996. 낙동강 수계 댐호의 부착규조 및 영양단계평가. 환경생물학회지 **14**: 18-28.
- 이정호, 박종근, 김은정. 2002. 국내 주요 호수의 식물플랑크톤 종 조성 및 영양단계 평가. 한국조류학회지 **17**: 275-281.
- 정준. 1993. 한국담수조류도감. 아카데미출판사. 서울.
- 한명수, 최영길, 김세화, 이경, 유광일, 이후량, 홍성수, 김영욱. 2002. 철원북방 DMZ 내의 중영양호 토교저수지의 생태학적 연구 5. 경안천(팔당호)과 토교저수지에서 식물플랑크톤의 크기별 현존량과 Chlorophyll *a*의 계절 변동. 환경생물학회지 **20**: 91-99.
- 환경부. 1996. 공정시험방법. 동화기술. 서울.
- 환경부. 2004. 환경백서. 서울.
- APHA. 1998. *Standard method. For the examination of water and wastewater*. 20th. New York. 1220 pp.
- Carlson R.E. 1977. A trophic status index for lakes. *Limnology and Oceanography* **22**: 361-369.
- Carlson R.E. 1992. Expanding the trophic state concept to identify non-nutrient limited lakes and reservoirs. In: *Enhancing the States' Lake Management Programs-monitoring and lake impact assessment*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. pp. 59-71.
- Davies-Colley R.J. and Smith D.G. 2001. Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A review. *Water Res.* **37**: 1085-1101.
- Dillon P.J. and Rigler F.H. 1974. The Phosphorus-chlorophyll Relationship in Lakes. *Limnol. and Oceanogr.* **19**: 767-773.
- Forsberg C. and Ryding V.H. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Arch. Hydrobiologie* **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. pp. 4-151.
- Horne A.J. and Goldman C.R. 1994. *Limnology*. McGraw-Hill, Inc. New York. pp. 457-475.
- James A. 1979. The value of biological indicators in relation to other parameters of water quality. In: Chap. 1. James A. and Evison L. (eds.), *Biological indicators of water quality*. John Wiley and Sons, USA. pp. 11-116.
- Jiménez 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. pp. 287-612.
- Kratzer C.R. and Brezonik P.L. 1981. A Carlson-type Trophic State Index for Nitrogen in Florida lakes. *Water Res. Bull. Assn.* **17**: 713-715.
- Larsson U. and Hagatrom A. 1982. Fractionated phytoplankton primary production in Baltic eutrophication gradient. *Marine Biology* **67**: 57-70.
- 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.
- Melchoir H. and Wedermann E. 1954. *Engler's syllabus der pflanzenfamilien. I. 12. Auf. 1. Band*. Gebruder, Berlin-Nicolasse. Germany. pp. 5-95.
- 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. pp. 99-644.
- Patrick R. and Reimer C.W. 1975. *The Diatoms of the United States Exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. 1 part 2*. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia. pp. 21-207.
- Prescott G.W. 1962. *Algae of the western great lakes area*. Otto Koeltz Science Publishers, Germany. pp. 65-386.
- Prescott G.W., Croasdale H.T. and Vinyard W.C. 1975. *A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 1*. Univ. Nebraska Press, Lincoln and London. pp. 16-99.
- Prescott G.W., Croasdale H.T. and Vinyard W.C. 1982. *A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 4*. Univ. Nebraska Press, Lincoln and London. pp. 88-367.
- Prescott G.W., Croasdale H.T., Vinyard W.C. and Bicudo C.E.M. 1981. *A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermae. Section 3*. Univ. Nebraska Press, Lincoln and London. pp. 25-351.
- Sakamoto M. 1966. Primary Production by the Phytoplankton Community in Some Japanese Lakes and Its Dependence on Lake Depth. *Arch. Hydrobiol.* **62**: 1-28.
- SCOR-Unesco. 1966. Determination of Photosynthetic pigments. In: Unesco (ed.), *Determination of photosynthetic pigments in sea water*. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology, 1. Paris, France. pp. 1-69.
- Sournia A. 1978. *Phytoplankton manual*. Unesco. UK. 337 pp.
- Stoermer E.F. and Ladewski T.B. 1978. *Phytoplankton associations in Lake Ontario during IFYGL*. Univ. Michigan, Great Lakes Res. Div. Spec. Rep. No. 62.
- Trainor F.R. 1984. Indicator algal assays: laboratory and field approach. In: Shubert L.E. (ed.), *Algae as ecological indicators*. Academic Press, Inc. London. pp. 213-233.
- U.S. EPA. 2000. *Nutrients criteria technical guidance manual river and streams*. Office of Water. Washington, D.C. Document EPA 822-B-00-002.
- Vollenweider R.A. 1968. *The scientific basis of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors*. Technical Report OAS/DSI/68.27. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris.
- Vollenweider R.A. 1969. Möglichkeiten und Grenzen der elementarer Modelle der Stoffbilanz von Seen. *Arch.*



- Hydrobiol.* **66**: 1-36.
- Vollenweider R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* **33**: 53-83.
- Whitton B.A. 1979. Plants as indicators of river water quality. Chap. 5. In: James A. and Evison L. (eds), *Biological indicators of water quality*. John Wiley and Sons, USA. pp. 51-534.
- Yang J.R. and Dicman M. 1993. Diatoms as indicators of lake trophic status in central Ontario, Canada. *Diatom Research* **8**: 179-193.
- Yoshimi H. 1987. Simultaneous construction of single parameter and multiparameter trophic status indices. *Water Research* **15**: 1505-1511.
- 
- Received 13 February 2006  
Accepted 28 April 2006

**Appendix.** Seasonal changes of dominant species and main species of 13 sampling sites in Suwon-si from June, 2004 to March, 2005

Site	Date	Dominant species (%)	Main species (%)
L1	Jun.	<i>Phacus curvicauda</i> (38.1)	<i>Anabaena circinalis</i> (1.7) <i>Ankistrodesmus falcatus</i> (4.6) <i>Coelastrum cambricum</i> (2.1) <i>Dactylococcopsis fascicularis</i> (4.8) <i>Scenedesmus spinosus</i> (4.8)
	Sep.	<i>Merismopedia glauca</i> (51.6) <i>Trachelomonas cervicula</i> (16.1)	<i>Dactylococcopsis fascicularis</i> (3.2) <i>Euglena spirogyra</i> (6.5)
	Dec.	<i>Navicula cryptocephala</i> (25.9) <i>Trachelomonas cervicula</i> (37.0)	<i>Gleionodinium oculacantum</i> (11.1)
	Mar.	<i>Trachelomonas cervicula</i> (71.8)	<i>Navicula cryptocephala</i> (2.4) <i>Synedra ulna</i> (7.8)
L2	Jun.		<i>Dactylococcopsis fascicularis</i> (8.5) <i>Euglena acus</i> var. <i>rigida</i> (8.5) <i>Phacus curvicauda</i> (9.8) <i>Scenedesmus arcuatus</i> (9.7) <i>S. quadricauda</i> (9.8) <i>Trachelomonas cervicula</i> (8.9)
	Sep.	<i>Scenedesmus acutus</i> (16.4) <i>S. denticulatus</i> (23.2)	<i>Actinastrum hantzschii</i> (8.9) <i>Scenedesmus soli</i> (9.1)
	Dec.	<i>Trachelomonas cervicula</i> (79.6) <i>T. similis</i> (15.6)	<i>Scenedesmus denticulatus</i> (1.5)
	Mar.	<i>Trachelomonas cervicula</i> (90.4)	<i>Chlamydomonas globosa</i> (1.1) <i>Synedra fasciculata</i> (4.3)
L3	Jun.	<i>Scenedesmus spinosus</i> (18.1) <i>S. quadricauda</i> (15.9)	<i>Aulacoseira ambigua</i> (4.8) <i>Scenedesmus quadricauda</i> var. <i>longispina</i> f. <i>regularis</i> (6.3) <i>S. spinosus</i> var. <i>bicaudatus</i> (6.3) <i>Synedra delicatissima</i> var. <i>angutissima</i> (3.8)
	Sep.	<i>Oscillatoria limnetica</i> (29.4) <i>Synechocystis pevalekii</i> (19.4)	<i>Scenedesmus arcuatus</i> (5.6) <i>Chroococcus disper</i> var. <i>minor</i> (1.3)
	Dec.	<i>Oscillatoria limnetica</i> (49.3) <i>Synechocystis pevalekii</i> (44.8)	<i>Scenedesmus acutus</i> f. <i>costulatus</i> (3.2)
	Mar.	<i>Oscillatoria limnetica</i> (93.5)	<i>Merismophdia glauca</i> (2.1)
L4	Jun.	<i>Aulacoseira distas</i> var. <i>alpigena</i> (16.2) <i>Cyclotella comta</i> (51.2)	
	Sep.	<i>Aulacoseira distas</i> var. <i>alpigena</i> (54.0)	<i>Coelastrum cambricum</i> (9.7)
	Dec.	<i>Aulacoseira distas</i> var. <i>alpigena</i> (55.0)	<i>Cyclotella comta</i> (2.5)
	Mar.	<i>Cyclotella comta</i> (70.9)	<i>Aulacoseira distas</i> var. <i>alpigena</i> (1.5) <i>Dinobryon divergens</i> (2.2)
L5	Jun.	<i>Microcystis wesenbergii</i> (47.8) <i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> (11.8)	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (1.1) <i>Oscillatoria profunda</i> (2.9)
	Sep.	<i>Oscillatoria limnetica</i> (58.3)	<i>Anabaena circinalis</i> (9.4) <i>Micractinium pusillum</i> var. <i>elegans</i> (1.2) <i>Microcystis aeruginosa</i> (9.4) <i>M. wesenbergii</i> (2.8) <i>Pediastrum simplex</i> (1.4)

## Appendix. (continued)

Site	Date	Dominant species (%)	Main species (%)
	Dec.	<i>Oscillatoria limnetica</i> (50.0) <i>Cyclotella stelligera</i> (29.4)	<i>Phacus caudatus</i> (3.1)
	Mar.	<i>Oscillatoria limnetica</i> (61.5)	<i>Micractinium pusillum</i> (1.2) <i>Scenedesmus ellipsoideus</i> (2.2)
L6	Jun.	<i>Microcystis aeruginosa</i> (59.5)	<i>Ananbaena circinalis</i> (4.4) <i>A. flos-aquae</i> (6.4) <i>Microcystis wesenbergii</i> (4.6)
	Sep.	<i>Microcystis aeruginosa</i> (47.7)	<i>Ananbaena circinalis</i> (3.7) <i>A. spiroides</i> var. <i>crassa</i> (1.3)
	Dec.	<i>Gomphonema parvulum</i> (17.6) <i>Oscillatoria limnetica</i> (73.6)	<i>Fragilaria crotonensis</i> (9.0)
	Mar.	<i>Chlamydomonas globosa</i> (46.5) <i>Merismopedia punctata</i> (14.6)	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (1.4)
L7	Jun.	<i>Aulacoseira distas</i> var. <i>alpigena</i> (34.8) <i>Tabellaria flocculosa</i> (3.4)	<i>Ceratinium hirundinella</i> (4.5)
	Sep.	<i>Dinobryon divergens</i> (26.3) <i>Trachelomonas pulcherrima</i> (27.5)	<i>Aulacoseira distas</i> var. <i>alpigena</i> (2.5) <i>Ceratinium hirundinella</i> (1.3)
	Dec.	<i>Cyclotella comta</i> (1.2) <i>Aulacoseira distas</i> var. <i>alpigena</i> (10.8)	
	Mar.	<i>Cyclotella comta</i> (34.5) <i>Westella botryoides</i> (11.1)	<i>Aulacoseira distas</i> var. <i>alpigena</i> (5.3) <i>Gomphonema angustum</i> (4.7)
L8	Jun.	<i>Gleionodinium oculacantum</i> (17.0) <i>Navicula cryptocephala</i> (18.3) <i>N. notha</i> (13.0)	
	Sep.	<i>Microcystis aeruginosa</i> (31.7) <i>Anabaena circinalis</i> (62.7)	<i>Microcystis wesenbergii</i> (2.8)
	Dec.	<i>Cyclotella comta</i> (31.4) <i>Navicula cryptocephala</i> (57.1)	
	Mar.	<i>Cyclotella comta</i> (34.5) <i>Navicula cryptocephala</i> (13.0)	<i>Gleionodinium oculacantum</i> (4.3)
L9	Jun.	<i>Chlorella vulgaris</i> (18.1) <i>Oscillatoria uncinata</i> (48.5)	<i>Ankistrodesmus bibraianus</i> (1.9) <i>Kirchneriella lunaris</i> (1.2) <i>Scenedesmus arcuatus</i> var. <i>capitatus</i> (2.3)
	Sep.	<i>Scenedesmus acutiformis</i> (13.5) <i>Synechocystis pevalekii</i> (27.6)	<i>Ankistrodesmus bibraianus</i> (6.5) <i>Pandorina morum</i> (7.9)
	Dec.	<i>Scenedesmus acutiformis</i> (16.8) <i>Synechocystis pevalekii</i> (41.1)	<i>Merismopedia glauca</i> (5.6)
	Mar.	<i>Chlamydomonas globosa</i> (42.0)	<i>Kirchneriella lunaris</i> (4.2) <i>Tetrastrum heterocanthum</i> (5.6) <i>Trachelomonas cervicula</i> (6.9)
L10	Jun.	<i>Synechocystis pevalekii</i> (41.8)	<i>Pandorina morum</i> (5.6) <i>Phacus orbicularis</i> var. <i>zmuadae</i> (3.6) <i>Scenedesmus spinosus</i> (4.3)
	Sep.	<i>Cyclotella comta</i> (16.7) <i>Merismopedia glauca</i> (33.3)	<i>Cosmarium granatum</i> (3.3) <i>Synedra acus</i> (3.3)

## Appendix. (continued)

Site	Date	Dominant species (%)	Main species (%)
	Dec.	<i>Cyclotella comta</i> (31.4) <i>Euglena elegans</i> (12.4) <i>Merismopedia glauca</i> (25.6)	<i>Scenedesmus armatus</i> (9.1)
	Mar.	<i>Chroococcus dispersus</i> var. <i>minor</i> (25.0) <i>Cyclotella comta</i> (33.3) <i>Synedra acus</i> (16.7)	
S1	Jun.	<i>Merismopedia glauca</i> (23.5) <i>Navicula cryptocephala</i> (11.6) <i>N. pupula</i> (14.7)	<i>Cyclotella comta</i> (5.9)
	Sep.	<i>Microcystis aeruginosa</i> (60.6) <i>Oscillatoria limnetica</i> (32.7)	<i>Scenedesmus opoliensis</i> (1.1) <i>Euglena chlamydomonada</i> (4.0)
	Dec.	<i>Oscillatoria limnetica</i> (50.9)	<i>Phacus caudatus</i> (3.1)
	Mar.	<i>Phacus caudatus</i> (85.5)	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (1.6) <i>Cyclotella comta</i> (3.2) <i>Gomphonema truncatum</i> (3.2)
S2	Jun.	<i>Cymbella affinis</i> (28.5) <i>Navicula pupula</i> (27.41)	<i>Gomphonema truncatum</i> (2.1)
	Sep.	<i>Navicula pupula</i> (40.1) <i>N. viridula</i> var. <i>rosellata</i> (47.1)	<i>Melosira varians</i> (1.4) <i>Scenedesmus acutus</i> (2.8)
	Dec.	<i>Nitzschia amphibia</i> (40.1) <i>Synedra delicatissima</i> var. <i>angustissima</i> (29.9)	<i>Cyclotella comta</i> (5.6)
	Mar.	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (12.6) <i>Euglena acutissima</i> (45.2) <i>Gomphonema truncatum</i> (10.0)	<i>Chlamydomonas angulosa</i> (3.5)
S3	Jun.	<i>Coelastrum microporum</i> (11.4) <i>Oscillatoria limnetica</i> (57.1)	<i>Cyclotella comta</i> (1.9) <i>Navicula tenelloides</i> (2.9) <i>Scenedesmus armatus</i> (1.9)
	Sep.	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (12.7) <i>Gomphonema parvulum</i> (10.4) <i>Melosira varians</i> (11.3) <i>Pediastrum tetras</i> (13.6)	<i>Aulacoseira ambigua</i> (2.0) <i>Micractinium pusillum</i> var. <i>elegans</i> (3.8)
	Dec.	<i>Oscillatoria quasiperforata</i> var. <i>crassa</i> (45.2)	<i>Cyclotella stelligera</i> (9.3)
	Mar.	<i>Cyclotella comta</i> (38.7)	<i>Chlamydomonas angulosa</i> (3.9) <i>Chodatella subsalsa</i> (1.3) <i>Scenedesmus arcuatus</i> (9.1) <i>Synedra ulna</i> (2.6)

\*Dominant species - over 10% of total standing crops

\*Main species - over 1% of total standing crops