

# 해수 유입량 변동으로 인한 경포호 식물플랑크톤 군집의 변화; 1998년과 2012년도의 비교

이은주\* · 이규송<sup>1</sup>

한국플랑크톤생태연구소, <sup>1</sup>강릉원주대학교 생물학과

**Changes of Phytoplankton Community with Inflow of Sea Water in Gyoungpo Lake; Comparison between 1998 and 2012. Lee, Eun Joo\* and Kyu Song Lee<sup>1</sup> (Institute of Korean Algaetech, Gangneung 210-793, Korea; <sup>1</sup>Department of Biology Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea)**

**Abstract** Weekly changes of water environments and phytoplankton community with the salinity gradients were investigated at Gyoungpo Lake from April to November in 1998 and 2012. Underwater crossam in Gyoungpo Lake was removed in 2004. Thereafter, average salinity of Gyoungpo lake increased from 7.5 ppt in 1998 to 20 ppt in 2012. A total of 99 and 80 species of phytoplankton was observed from the sampled in 1998 and 2012, respectively. The number of common species during the 2 separate years was 40. Transparency, SS, NO<sub>3</sub>-N concentration and N/P ratio in 2012 were lower than those in 1998. During the period of water shortage (April, May) of 2012 transparency decreased due to decreased salinity and increased SS and Chl. *a*. Correlation coefficients between species and community scores of DCA ordination based on data matrix of the phytoplankton revealed larger variation among sampling seasons in 1998 than in 2012. The increase of seawater inflow and conversion rates following the removal of the underwater crossbeam might explain such a differential variation. *Gymnodium* sp., *Peridinium* sp., *Prorocentrum* sp., *Nitzschia longissima*, *Schroederia setigera*, *Lyngbya* sp., *Asterococcus limneticus*, *Asterococcus superbus* and *Cyclotella meneghiniana* were found to well adapt at the high salinities in 2012. Comparatively, *Asterionella formosa*, *Nitzschia frustulum*, *Chlorella ellipsoidea*, *Scenedesmus bijuga* and *Scenedesmus ellipsoideus* were observed at lower salinities in 1998. Two quite contrasting phytoplankton communities were found in the two seasons of a year, spring with limited precipitation and summer, the flood season.

**Key words:** phytoplankton, salinity gradient, environmental factors

## 서 론

동해안의 석호는 최후 빙하기 이후 해수면의 상승으

로 형성된 자연호로서 담수와 해수의 유통 여부와 유입량에 따라 수질이 시공간적으로 달라진다. 지난 세기에 석호의 면적은 크게 줄어들었는데, 주요한 원인은 농지 확보를 위한 인간의 매립과 자연식생의 천이로 인한 육화이다. 석호 생태계에서 가장 중요한 것은 수질의 변화이다. 석호에서 수질은 해수와 담수의 섞임 정도 그리고 유역으로부터의 오염원 부하량의 영향을 많이 받는다.

Manuscript received 4 June 2013, revised 16 October 2013, revision accepted 31 October 2013

\* Corresponding author: Tel: +82-33-640-2311,

E-mail: ejlee86@hanmail.net

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

특히 갯터짐이라고 부르는 해수의 유통 여부와 유통규모는 석호의 수질에 결정적인 영향을 미치고, 그에 따라 생태계의 구성 생물이 크게 달라질 수 있다. 경포호는 강릉시를 대표하는 상징물로서 자연 보전과 이용이라는 양면적 가치가 충돌하는 대표적인 석호이다. 따라서 경포호와 그 유역은 시대에 따라 다양한 변화를 겪어왔다. 경포호의 수질에 영향을 줄 수 있는 경포호와 그 유역에서의 주요 변화 과정은 1) 지난 백년 간 호수의 매립으로 인하여 면적이 약 55%로 줄었고, 2) 경포호로 유입되던 경포천 일부와 안현천이 경포호 바깥으로 돌려져 담수 유입량이 줄어들었으며, 3) 경포호와 그 유역에 대한 개발과 인구의 증가로 인하여 오염원의 부하량이 증가하였고, 4) 호수면 확보와 수질 개선을 위해 1990년대 중반의 준설이 있었으며, 5) 2004년 해수의 유입량을 조절하던 경호교 하단에 설치된 보의 철거로 인한 해수의 유입량이 많아졌고, 6) 2010년대 초반 경포호에 인접한 농경지의 매입 후 홍수조절을 위한 습지복원으로 경포호 배후에 담수 습지가 조성되었다. 이러한 변화들은 시공간적으로 경포호의 수질 특히 염분도의 공간 분포와 계절적 변화에 큰 영향을 주었다고 판단된다. 이 중 경포호의 수질에 가장 크게 영향을 준 것은 2004년 보 철거로 해수위의 변동에 따른 해수의 대량 유입과 수체의 전환속도가 빨라진 것이다. 경호교 보의 철거 이후 수질은 해수에 보다 가까운 염분도를 나타내고, 수중 영양염류의 농도가 낮아졌다. 그럼에도 저토에 쌓인 영양염류가 많고, 담수의 유입이 적은 갈수기나 바람이 많이 불어 저토의 영양염류가 표면으로 올라오면 수체의 영

양염류 농도가 높아질 수 있다. 따라서 간혹 호소 내에서 해양성 녹조류인 파래류의 대발생이 일어나기도 한다. 경호교 보의 철거는 수질뿐만 아니라 구성 생물도 담수나 기수성에서 해양성에 보다 가깝게 변화시켜서 경호교 보의 철거 전과 후는 수생태계의 구조와 기능을 바꾸었을 것으로 판단된다(Shin, 2011). 따라서 경포호는 수질의 변화에 따른 석호 생태계의 구조와 기능의 변화를 연구하기에 적합한 장소이다. Lee *et al.* (2000)은 경호교 보의 철거 전인 1998년도에 일주일 간격으로 수질과 식물플랑크톤 군집을 조사한 바 있다. 본 연구에서는 경호교 보를 철거해 해수성 생태계로 바뀐 시점의 전과 후인 2012년도 및 1998년에 주기적으로 식물플랑크톤 군집을 조사 비교하여, 경포호의 급격한 수질 변화에 따른 식물플랑크톤 군집의 반응을 밝히고자 하였다.

### 재료 및 방법

Fig. 1은 경포호에서 1998년과 2012년도에 조사가 이루어진 장소를 나타낸 것인데, 결과의 비교를 위하여 같은 지점에서 조사를 수행하였다. 경포호의 유역은 35.4 km<sup>2</sup>으로 동해안의 석호 중에서 유역면적이 가장 크고, 유역 내의 거주 인구나 유동인구가 가장 많다. 과거에 경포호로 유입된 안현천은 바다로 바로 흐르고 경포천은 경포호의 하구에서 만나 해수와 만나 경포호로 유입될 수 있다. 주요 하천이 바다로 연결되었고 주변 농경지와 농수로를 경과한 일부의 물이 경포호로 유입될 수

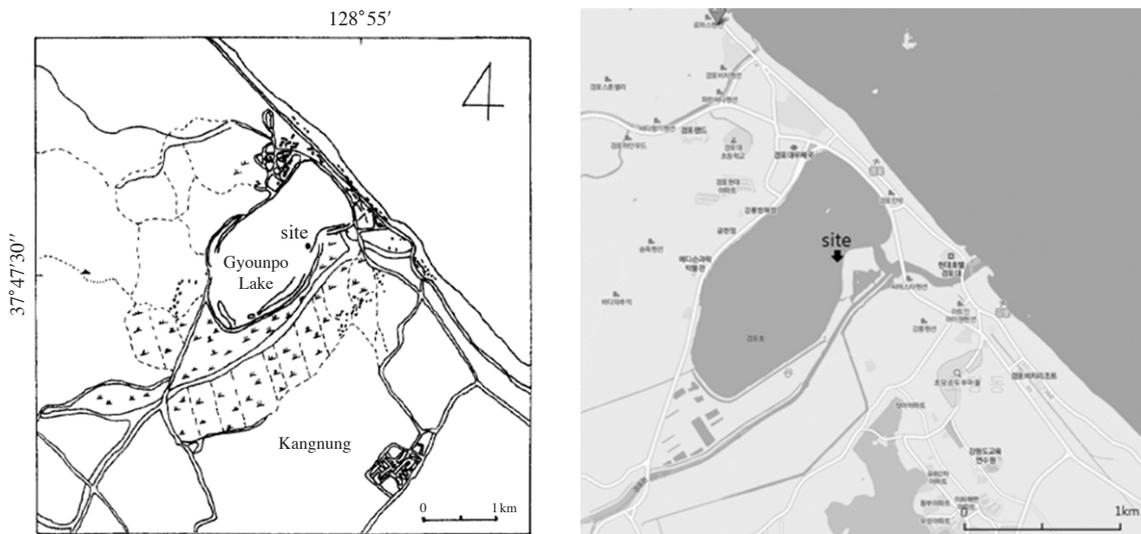


Fig. 1. Two Maps showing the same sampling site in Gyoungpo Lake (left: 1998 (Lee *et al.*, 2000), right: 2012).

있으므로 해수에 비해 유입되는 담수는 매우 적고 강수량이 많은 시기에 주로 담수가 유입된다. 이에 비해 하구가 완전하게 열려 있기 때문에 해수는 해수위의 변동에 따라 수시로 유통할 수 있다. 따라서 경포호의 수질은 유역내 강수량과 해수위의 변동에 따라 변화한다. 1998년과 2012년 사이의 가장 큰 환경변화는 경호교에 설치된 보의 철거이다. 1998년도에는 해수의 유입량이 제한되고 담수로 유입된 수체의 정체기간이 길었던 반면 2012년도에는 보의 철거로 해수의 유통이 자유롭고, 유통량도 많아서 수체의 정체기간도 1998년도에 비해 짧아진 것으로 판단된다.

기온과 강수량은 강릉기상청, 조수위 높이는 묵호항의 자료를 비교하여 본 결과 1998년과 2012년도의 연평균 기온은 각각 14°C와 12.6°C로 1998년도가 다소 높았다. 강수량은 1998년도가 2012년도보다 많았는데, 특히 1998년도 7월의 강수량은 501.1 mm로 2012년도에 비해 많았다. 2012년도에는 5월, 6월, 10월 및 11월의 강수량이 특히 적었다. 평균 해수위는 1998년과 2012년에 각각 19.7 cm와 23.5 cm로 2012년도에 높았다. 월별 평균 해수위는 7월과 8월에 높아졌고, 1월부터 4월까지가 낮았다.

식물플랑크톤은 매주 1회씩 표층수를 채수하여 500 mL 폴리에틸렌 시료병에 담아 Lugol 용액으로 현상 고정 후 약 2주일 이상 침강 시켰다(APHA · AWWA · WPCF, 1989). 이 시료를 SIPHON으로 상등액을 뽑아 농축시켰다(SUKHANOVA, 1978). 세포의 계수는 SEDWICK RAFTER cell counting chamber를 사용하였으며, 광학현미경을 이용하여 400~1000배에서 검경하였다. 종 동정은 Mizuno (1964), 그리고 Hirose and Yamagishi (1977)에 따랐다.

수온, 용존산소, 염분 · 전도도, pH (YSI 556 MPS)는 현장에서 측정하였다. SS는 수질오염 · 폐기물 공정시험법에 따랐다. Chlorophyll *a* 농도는 Lorenzen (1967)의 방법을 사용하여 계산하였다. 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub>-N)는 흡광광도법(인도페놀법), 아질산성 질소(NO<sub>2</sub>-N)는 흡광광도법(디아조화법), 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N)는 자외선흡광도법을 사용하였으며 인산염 인(PO<sub>4</sub>-P) 실험은 염화제일주석환원법을 사용하여 정량하였다.

1998년도 4월 9일부터 11월 16일까지 약 일주일 간격으로 조사한 수질(32회) 그리고 식물플랑크톤 군집(27회) 조사 자료와 2012년도 4월 10일부터 11월 14일까지 약 일주일 간격으로 수질과 식물플랑크톤 군집(29회)을 조사한 자료이다. 자료분석은 1998년도와 2012년도의 수질과 식물플랑크톤 군집의 속성을 비교하기 위

한 T검정과 요인간의 상관분석은 SYSTAT 10.0 프로그램을 이용하였다. DCA Ordination 분석은 CANOCO 4.5 프로그램을 이용하였다. 식물플랑크톤 군집의 DCA ordination을 위하여 중요치가 높은 52종을 선정하였다. 식물플랑크톤 종의 선정을 위하여 1998년도와 2012년도에 각 플랑크톤별 출현빈도와 밀도를 이용하여 상대 중요치를 구하였고, 각각의 조사년도에 중요치 0.5 이상인 종을 선별하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 수체환경 요인

Table 1은 1998년도와 2012년도의 4월부터 11월까지의 수체환경 요인을 비교한 것이다. 계절에 따른 변동이 있어서 두 해의 수질 요인의 차이가 상쇄되기도 하지만 1998년과 2012년도 사이에는 통계적으로 유의한 수질간의 차이가 확인되었다. 가장 뚜렷한 차이를 나타내는 요인은 염분도로서 1998년과 2012년도의 평균 염분도는 각각 7.5와 20.0 ppt로 매우 큰 차이를 보였다. 그러나 7월~9월 사이에 경포호 유역에 큰 비가 내릴 경우에는 2012년도에도 염분도가 10 ppt 이하로 내려가는 경우가 있었고 1998년도에는 해수위가 높아지는 여름 시기에 10 ppt 이상으로 올라가는 경우가 확인되었다. 염분도 외에 1998년도와 2012년도에 통계적으로 유의한 차이를 보이는 수질 요인은 pH, 투명도, SS, NO<sub>3</sub>-N 그리고 N/P 비로 1998년도에 비해 pH는 다소 낮아졌고, 투명도는 커졌으며, SS, NO<sub>3</sub>-N 그리고 N/P 비는 낮아졌다. 즉, 경호교 아래의 보의 철거로 해수 유통을 원활하게 한 조치는 해수로 인한 염분도를 증가시키고 정체시간을 줄여 부유물질과 영양염류 함량을 낮춤으로써 호소가 보다 투명하게 되었다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 2012년도에도 해수위가 낮아지고 갈수기로서 담수의 유입이 적은 봄 시기(4월과 5월)에는 상대적으로 염분도와 N/P 비는 낮아지고, PO<sub>4</sub>-P, SS 및 Chl. *a*의 함량이 높아져 호소의 투명도가 낮아지는 경향이 뚜렷하였다(Figs. 2, 3). 이러한 현상은 1998년도에는 상대적으로 질소원의 부하량이 많았다는 것을 의미한다. 또한 봄 시기의 높은 탁도는 이 지역에서 봄 시기에 부는 강한 바람에 의한 저토의 부유현상과 수체가 뒤집히는 현상과도 연관이 있을 것으로 판단된다(Fig. 4).

동해안 기수호에서의 육수학적 연구는 조등에 의해 영양호의 육수학적 연구부터 시작되어 지금까지 이어지고 있다(Hong *et al.*, 1969; Cho *et al.*, 1969, 1975; Mita-

**Table 1.** Water quality parameters between 1998 and 2012 in Gyoungpo Lake.

Parameter	1998		2012		p value*
	N	Mean ± SD	N	Mean ± SD	
Temperature (°C)	32	20.9 ± 5.0	29	19.9 ± 5.3	0.443
Salinity (ppt)	32	7.5 ± 2.6	29	20.0 ± 5.5	0.000
pH	32	8.43 ± 0.56	29	8.05 ± 0.53	0.009
Transparency (cm)	32	36.8 ± 3.6	7	52.9 ± 21.4	0.006
SS (mg L <sup>-1</sup> )	32	53.8 ± 17.0	7	31.4 ± 19.3	0.004
Chl. <i>a</i> (mg L <sup>-1</sup> )	32	34.8 ± 29.9	7	30.3 ± 24.5	0.716
PO <sub>4</sub> -P (mg L <sup>-1</sup> )	32	0.012 ± 0.016	7	0.010 ± 0.006	0.707
NO <sub>2</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	32	0.022 ± 0.055	7	0.006 ± 0.007	0.469
NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	32	0.664 ± 0.422	7	0.063 ± 0.094	0.001
NH <sub>4</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	32	0.045 ± 0.048	7	0.062 ± 0.024	0.376
N/P ratio**	32	292.6 ± 329.6	7	18.6 ± 19.5	0.036
TN (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	7	0.957 ± 0.394	-
TP (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	7	0.111 ± 0.052	-
COD (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	7	7.3 ± 2.7	-
Turbidity (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	29	18.8 ± 15.1	-

\*p value of the T-test between 1998 and 2012

\*\*N/P ratio: (NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub>)/PO<sub>4</sub>

mura *et al.*, 1984; Lee *et al.*, 1987; Heo *et al.*, 1999, 2011; Lee *et al.*, 2000; Moon and Lee, 2002). 동해안의 경포호를 비롯한 6개 석호를 조사한 연구에서는 모든 호수가 부영양화가 매우 심한 상태라는 연구도 있었다(Heo *et al.*, 1999).

## 2. 식물플랑크톤 군집

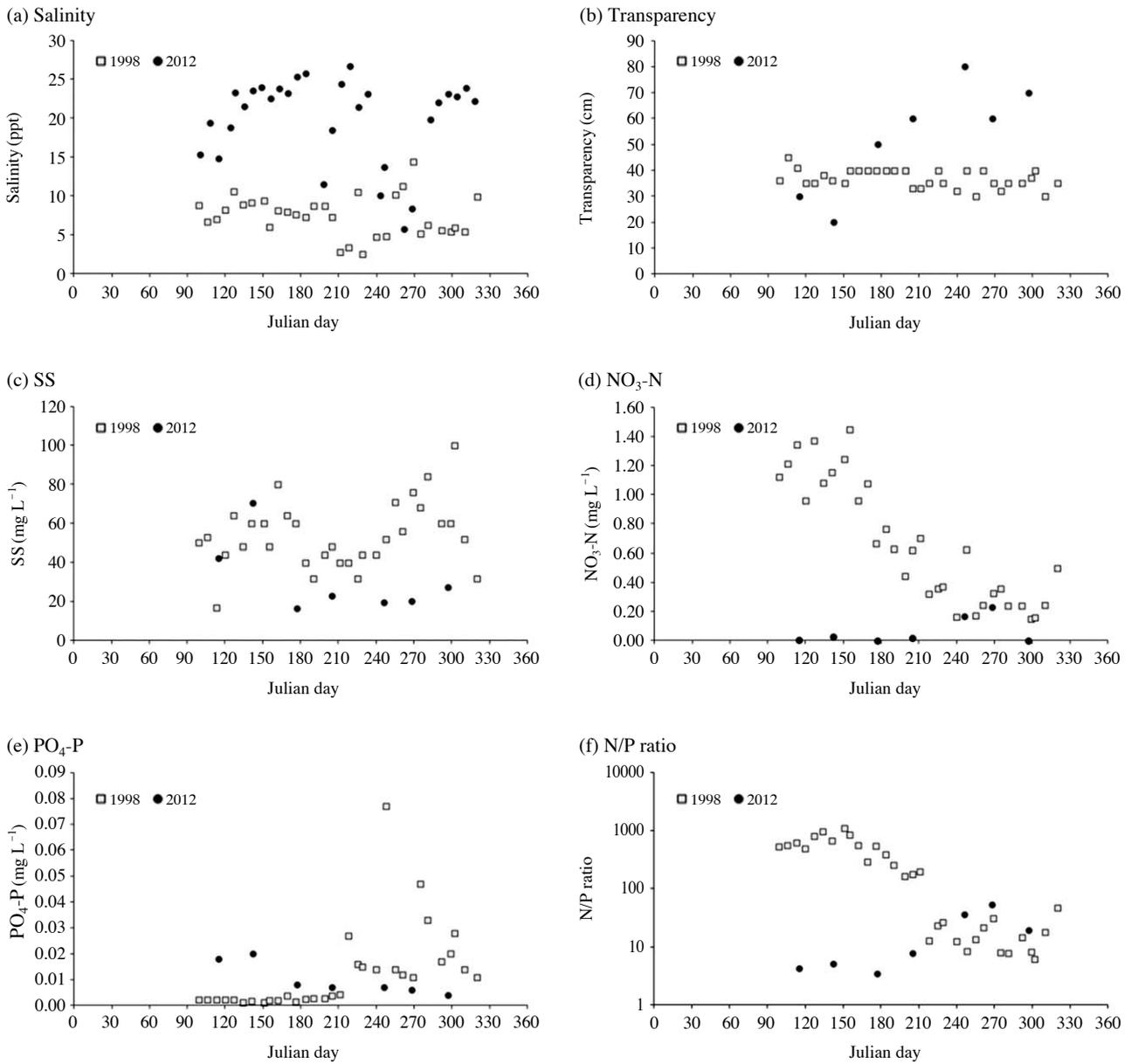
### 1) 출현종 및 종다양성

1998년 4월부터 11월까지 출현한 식물플랑크톤은 총 49속 99종으로 Chrysophyceae 1속 1종, Cryptophyceae 2속 2종, Euglenophyceae 3속 5종, Cyanophyceae 6속 9종, Bacillariophyceae 28속 68종 그리고 Chlorophyceae 9속 14이었다. 2012년 4월부터 11월까지 경포호에서 출현한 식물플랑크톤은 총 44속 80종으로 Cryptophyceae 1속 1종, Dinophyceae 3속 3종, Euglenophyceae 2속 2종, Cyanophyceae 5속 5종, Bacillariophyceae 23속 55종 그리고 Chlorophyceae 10속 14종 이었다. 2012년이 1998년도의 같은 시기에 비하여 19종 적게 출현하였다. 1998년과 2012년도의 4월부터 11월까지 출현한 식물플랑크톤 중 공통적으로 출현한 식물플랑크톤은 40종으로 1998년도와 2012년도에 출현한 식물플랑크톤 군집의 유사도 지수는 0.465로서 현저하게 다른 군집이라고 할 수 있다. 즉, 경호교 보의 제거로 인한 경포호 수체환경요인의 변화는 경포호 식물 플랑크톤 군집의 조성을 완전히 다른 군집으로 바꾸었다고 할 수 있다.

총 종수는 1998년도가 조사시기마다 큰 변이를 나타낸 반면에 2012년도에는 평균치를 중심으로 다소 적은 편차를 나타내는 경향이 있었다. 2012년의 총세포수는 봄에서 가을로 갈수록 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 종 다양성 지수는 1998년도와 2012년도 모두 조사 시기에 따라 큰 변이를 나타내어 조사시기마다 식물플랑크톤 군집이 매우 상이하게 변화하였다. 식물플랑크톤의 종다양성지수는 중-약한 부영양화 수체에서는 높고, 빈영양이나 강한 부영양화수역에서는 낮아진다는 연구가 있다(Ogawa and Ichimura, 1984). 경포호에서는 대체적으로 봄 시기보다는 6월 이후에 종 다양성이 높게 나타나는 시기가 많았다(Figs. 5, 6).

### 2) 우점종 분포

1998년도와 2012년도에 출현한 식물 플랑크톤 군집을 비교한 것이다. 각 년도에 출현한 식물플랑크톤의 빈도와 밀도를 고려하여 상대 중요치를 구하였고, 상대중요치 0.5 이상의 종만을 선별하였다. 1998년도의 우점종은 *Chlamydomonas* sp., *Cryptomonas* sp. 및 *Nitzschia frustulum*으로 이들의 상대 중요치는 각각 29.4, 15.0 및 13.4이었는데, 이들은 2012년도에도 출현하였지만 상대 중요치는 각각 4.1, 4.2 및 1.6으로 크게 감소하였다. 특히 *Chlamydomonas* sp.와 *Cryptomonas* sp.는 1998년과 2012년도의 거의 모든 조사시기에서 출현한 것으로 보아 수체 환경 변화에 대한 가장 내성 범위가 큰 종들이임을 확인할 수 있다. *Chlamydomonas* 종은 동물플랑크톤



**Fig. 2.** Variation of salinity, transparency, SS, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P and N/P ratio from April and November between 1998 and 2012 in Lake Gyoungpo.

인 *Daphnia magna*의 훌륭한 먹이원이라는 논문(Mitchell *et al.*, 1992)도 있어 이 종들의 경포호에서의 연중 분포는 수생태계의 먹이사슬에 있어서 매우 중요한 의미를 가지고 있다고 할 수 있다. *Cryptomonas*종은 깊은 호수에서 중층의 플랑크톤 중 약 60% 이상을 차지하며 밤에 황이 많은 수체에 쌓인다는 논문이 있다(Gasol *et al.*, 1992, 1993). 수심이 얕고 바닥에 메탄성분이 있는 경포호에서 이 종의 연중 분포하고 있었다. 염분도가 높아진 2012년도의 경포호의 우점종은 *Aphanocapsa* sp.,

*Prorocentrum* sp. 및 *Schroederia setigera*로서 이들의 상대중요치는 각각 32.6, 11.7 및 10.7이었는데, 이들은 1998년도에는 전혀 출현하지 않은 종들이었다. 이중 *Aphanocapsa* sp.는 밀도가 가장 컸지만 출현빈도가 4 회로 낮아서 특정 시기에 적응한 종인 반면 *Prorocentrum* sp.와 *Schroederia setigera*는 2012년도의 거의 전 조사시기에 나타난 것으로 보아 염분도가 높아진 경포호에서 이들 두 종이 가장 내성범위가 넓은 종임을 알 수 있다. *Peridinium* sp.와 *Nitzschia longissima*도 2012

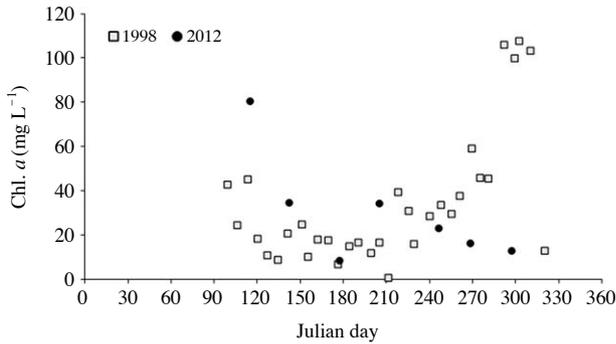


Fig. 3. Variation of Chl. *a* from April and November between 1998 and 2012 in Lake Gyoungpo.

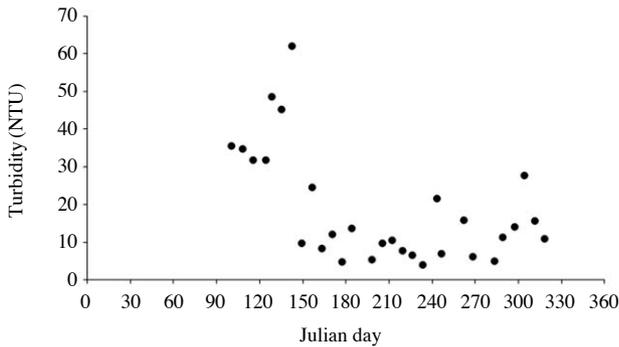


Fig. 4. Seasonal variation of turbidity in 2012, Lake Gypungpo.

년도의 경포호에서 출현빈도가 아주 높고, 1998년도에는 출현하지 않은 것으로 보아 염분도가 높아진 경포호에 잘 적응한 종들이라고 할 수 있다. *Peridinium* 종은 화진포에서도 염분도가 높을 때 출현하였다는 보고가 있었다(Hong, 1969). 상대중요치 0.5 이상인 종중에서 1998년도에만 출현한 종들은 14종이었고, 2012년도에만 출현한 종들은 9종이었다.

### 3) 군집분포

1998년도와 2012년도의 식물플랑크톤 군집의 변화를 파악하기 위하여 1998년과 2012년도에 출현한 종들의 빈도와 밀도를 고려하여 구한 상대 중요치 0.5 이상을 나타내는 52종을 선정하여 각 종별 조사시기별 세포수를 로그 변환한 자료에 근거하여 DCA ordination을 수행한 결과를 나타내었다(Fig. 7). DCA ordination 1축과 2축의 아이겐 값은 각각 0.432(전 분산의 43.9%)와 0.273(전 분산의 27.1%)으로 1축과 2축으로의 집중율이 높아서 1축과 2축이 전 분산의 71.0%를 설명하였다. 1998년도의 식물플랑크톤 군집과 2012년도의 식물플랑크톤 군집은 1축을 따라서 확연하게 둘로 구분되었

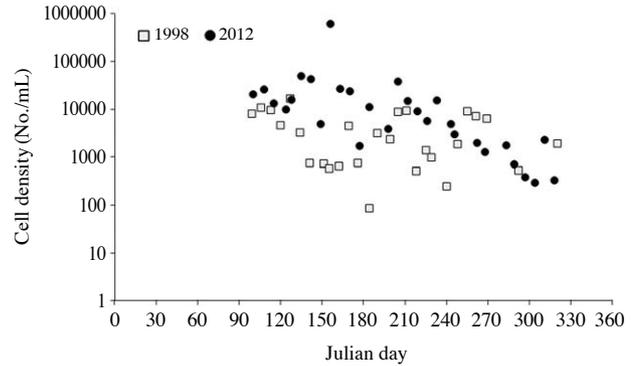


Fig. 5. Seasonal variation of cell density from April and November between 1998 and 2012 in Lake Gyoungpo.

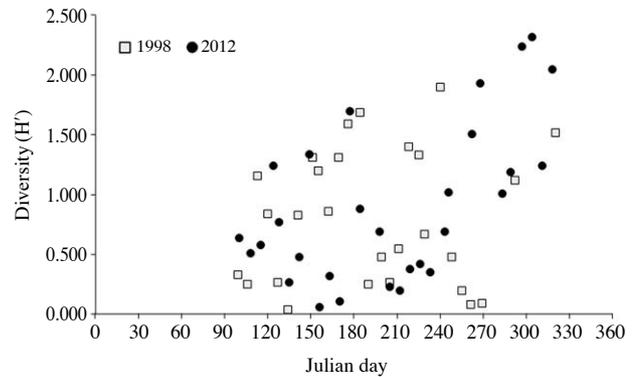


Fig. 6. Seasonal variation of diversity index from April and November between 1998 and 2012 in Lake Gyoungpo.

는데, 2012년도 군집은 오른쪽으로 뭉쳐서 분포하였고 1998년도의 군집은 1축의 왼쪽에서 2축 상에서 흩어져 분포하였다. 이로 미루어보아 2012년도 군집은 1998년도 군집에 비하여 계절적인 변화가 상대적으로 적은 안정한 군집을 이루는 반면 1998년도 군집은 계절에 따른 변이가 더욱 큰 군집이라는 것을 알 수 있다. DCA ordination의 1축은 경포고 아래 보의 철거로 인한 환경요인의 변화에 대한 군집의 반응이 반영되었다는 것을 그리고 DCA ordination 2축은 계절에 따라 변동하는 환경요인에 대한 식물 플랑크톤 군집의 반응이라고 할 수 있다. Table 2는 DCA ordination 1축 그리고 2축과 수체 환경 요인간의 상관관계를 나타낸 것이다. DCA 1축은 염분도 및 투명도와 정의 상관관계를 나타내었고, NO<sub>3</sub>-N 및 N/P 비와 부의 상관관계를 나타내었다. 2004년 경포고 보의 철거로 인한 해수의 유입을 증가시킨 후 염분도가 증가하고 NO<sub>3</sub>-N와 N/P비가 줄어든 것에 대한 반응으로 1998년과 2012년도의 식물플랑크톤 군집이 완전히 바뀌었다는 것을 의미한다. DCA 2축은 태양력 일과 정의

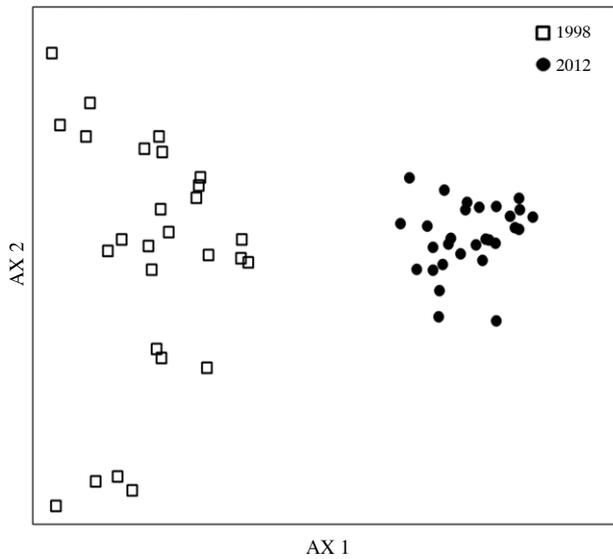


Fig. 7. DCA ordination based on data matrix of the phytoplankton in Lake Gyoungpo in 1998 and 2012.

Table 2. Correlation coefficients between water quality parameters and community scores of DCA ordination based on data matrix of the phytoplankton in Gyoungpo Lake.

Parameter	AX1	AX2
Julian day	0.157	0.429*
Salinity (ppt)	0.764***	-0.027
Temperature (°C)	-0.052	0.271
Transparency (cm)	0.544***	-0.118
pH	-0.083	-0.002
SS (mg L <sup>-1</sup> )	-0.337	0.077
Chl. <i>a</i> (mg L <sup>-1</sup> )	0.037	0.029
PO <sub>4</sub> -P (mg L <sup>-1</sup> )	-0.020	0.069
NO <sub>2</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	-0.064	-0.174
NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	-0.595***	-0.433*
NH <sub>4</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	0.113	-0.070
N/P ratio (mg L <sup>-1</sup> )	-0.421*	-0.282

significant level \*(0.05), \*\*(0.01), \*\*\* (0.001)

상관을 나타내었고, NO<sub>3</sub>-N과 부의 상관을 나타내었다. 2012년도 군집은 DCA 2축 상에서 변화가 적고, 1998년도 군집은 DCA 2축 상에서 큰 변이를 나타내고 있는데, 주로 NO<sub>3</sub>-N이 많은 초봄시기의 군집과 여름이후의 군집으로 분리된다고 할 수 있다. *Gymnodium* sp., *Peridinium* sp., *Prorocentrum* sp., *Nitzschia longissima*, *Schroederia setigera*, *Lyngbya* sp., *Asterococcus limneticus*, *Asterococcus superbus* 및 *Cyclotella meneghiniana*는 DCA 1축과 강한 정의 상관을 나타내어 2012년도의 염분도가 높은 경포호의 수체에 잘 적응하는 종임을 확

Table 3. Correlation coefficients between species and community scores of DCA ordination based on data matrix of the phytoplankton in Gyoungpo Lake.

Species	AX1	AX2
<i>Cryptomonas</i> sp.	0.178	0.432***
<i>Gymnodinium</i> sp.	0.451***	0.042
<i>Peridinium</i> sp.	0.657***	0.180
<i>Prorocentrum</i> sp.	0.688***	0.183
<i>Euglena</i> sp.	0.350*	0.028
<i>Trachelomonas cucurbitiformis</i>	-0.290*	-0.375**
<i>Trachelomonas</i> sp.	-0.353*	0.163
<i>Aphanocapsa ruvularis</i>	-0.323*	0.235
<i>Aphanocapsa</i> sp.	0.304*	-0.050
<i>Chroococcus</i> sp.	-0.194	-0.227
<i>Lyngbya</i> sp.	0.417**	0.185
<i>Oscillatoria</i> sp.	-0.308*	0.328*
<i>Achnanthes brevipes</i>	-0.034	-0.141
<i>Achnanthes delicatula</i>	0.352**	0.106
<i>Achnanthes exigua</i>	0.096	-0.053
<i>Amphora normani</i>	-0.048	-0.081
<i>Asterionella formosa</i>	-0.400**	-0.430***
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	0.258	0.050
<i>Ceratoneis arcus</i>	-0.251	-0.459***
<i>Cocconeis placentula</i>	0.307*	0.299
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	0.412**	-0.064
<i>Cymbella graciles</i>	-0.226	0.261
<i>Cymbella turgida</i>	-0.051	-0.042
<i>Cymbella ventricosa</i>	0.327*	0.035
<i>Fragilaria construens</i>	0.128	-0.355**
<i>Fragilaria crotonensis</i>	0.302*	0.149
<i>Gomphonema gracile</i>	-0.060	0.151
<i>Gomphonema olivaceum</i>	-0.245	0.330*
<i>Gyrosigma acuminata</i>	0.002	0.135
<i>Melosira varians</i>	-0.172	-0.448***
<i>Navicula anglica</i>	-0.033	-0.113
<i>Navicula cryptocephala</i>	0.312*	-0.067
<i>Navicula placentula</i>	0.303*	0.054
<i>Navicula radiosa</i>	-0.225	0.243
<i>Neidium affine</i>	0.268	0.151
<i>Nitzschia frustulum</i>	-0.406**	-0.444***
<i>Nitzschia longissima</i>	0.863***	0.085
<i>Rhoicosphenia curvata</i>	0.153	-0.241
<i>Synedra acus</i>	0.048	0.069
<i>Synedra ulna</i>	-0.017	-0.051
<i>Synedra ulna</i> var. <i>impressa</i>	-0.193	-0.074
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	-0.053	0.244
<i>Ankistrodesmus spiralis</i>	-0.328*	0.374**
<i>Asterococcus limneticus</i>	0.403**	0.175
<i>Asterococcus superbus</i>	0.397**	-0.027
<i>Chlamydomonas</i> sp.	-0.286*	-0.546***
<i>Chlorella ellipsoidea</i>	-0.377**	-0.643***
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	-0.252	0.183
<i>Scenedesmus bijuga</i>	-0.397**	0.434***
<i>Scenedesmus ellipsoideus</i>	-0.360**	0.349*
<i>Schroederia setigera</i>	0.843***	0.043
<i>Selenastrum gracile</i>	-0.212	-0.145

인할 수 있다. *Prorocentrum*, *Cyclotella*종 등은 일본에서 기수호에서 8년동안 연구한 결과에서도 염분도와 큰 상관관계를 보이는 것으로 연구되었다(Kondo *et al.*, 1990). 동물플랑크톤 출현종과 염분도와 관계는 영양호와 광포호에서 연구된 바 있다(Cho *et al.*, 1975). 또한 *Asterionella formosa*, *Nitzschia frustulum*, *Chlorella ellipsoidea*, *Scenedesmus bijuga* 및 *Scenedesmus ellipsoideus*는 DCA 1축과 강한 부의 상관을 나타내어 상대적으로 염분도가 낮은 1998년도의 경포호의 수체에 잘 적응한 종들이라는 것을 확인할 수 있다. DCA 1축과의 상관계수가 0.6 이상으로 1998년도와 2012년도의 염분도가 다른 수체를 구분하는 데 유용한 종은 *Peridinium* sp., *Prorocentrum* sp., *Nitzschia longissima* 및 *Schroederia setigera*의 4종으로 이들은 모두 2012년도에의 염분도가 높아진 경포호에서만 출현하는 종이였다. DCA 2축은 1998년도 경포호 수체에서 영양 염류가 많은 갈수기의 봄 시기와 여름 이후의 시기로 구분되었는데, *Cryptomonas* sp., *Ankistrodesmus spiralis*, *Scenedesmus bijuga* 등은 DCA 2축과 강한 정의 상관을 나타내어 상대적으로 여름 이후의 영양염류가 낮은 수체에 적응한 종임을 알 수 있었고, *Trachelomonas cucurbitiformis*, *Asterionella formosa*, *Ceratoneis arcus*, *Fragilaria construens*, *Melosira varians*, *Nitzschia frustulum*, *Chlamydomonas* sp. 및 *Chlorella ellipsoidea*는 DCA 2축과 강한 부의 상관을 나타내어 상대적으로 영양염류가 높은 수체에 적응한 종임을 알 수 있었다. 이 중에서 DCA 2축과 상관계수가 0.5 이상으로 1998년도의 계절에 따른 수체환경의 변화와 가장 강하게 영향을 받는 종들은 *Chlamydomonas* sp.와 *Chlorella ellipsoidea*이었다(Table 3). 결론적으로 2012년도의 식물플랑크톤 군집은 1998년도의 군집에 비해 연중 변화가 덜한 안정된 군집을 형성하는 데 그 이유는 수체환경의 변이가 적은 보다 안정한 수체를 형성하기 때문이라고 할 수 있다. 또한 경포호에서 해수의 유입으로 인한 염분도 변화와 계절에 따른 수체환경 특히 갈수기인 봄 시기와 담수유입이 많아지는 여름시기의 영양염류 변화가 경포호 식물플랑크톤 군집의 구성과 변화의 주요 요인이라고 할 수 있다.

## 적 요

동해안 석호 생태계에서 식물플랑크톤 군집은 시공간적인 수체의 환경요인의 변화에 매우 빠르게 반응하여 변한다. 경호교에 설치한 보의 철거로 해수의 유통이 되

기 전과 후인 1998년도와 2012년도의 식물플랑크톤 군집의 변화를 밝히기 위하여 두 해의 4월부터 11월까지 일주일 간격으로 수체 환경요인과 식물플랑크톤 군집을 조사 비교하였다. 1998년과 2012년도의 4월부터 11월까지 출현한 식물플랑크톤은 각각 99종과 80종이었고, 공통적으로 출현한 식물 플랑크톤은 40종이었으며 1998년과 2012년도 식물플랑크톤 군집의 유사도 지수는 0.465로 수체환경요인의 변화로 식물플랑크톤 군집이 크게 변한 것을 알 수 있었다. 1998년도와 2012년도의 수질은 통계적으로 유의한 차이를 나타내었는데, 특히 2012년도는 1998년도 보다 염분도가 증가해 해수성 수질로 바뀌었고 1998년도에 비해 pH는 다소 낮아졌고, 투명도는 증가하였으며, SS, NO<sub>3</sub>-N 그리고 N/P비는 낮았다. 그러나 2012년도에도 갈수기인 4월과 5월에는 상대적으로 염분도가 낮아지고 영양염류 함량이 증가해 SS와 Chl. *a*의 함량이 높아져 투명도가 낮은 경향을 나타내었다. 식물플랑크톤 군집을 구성하는 주요 종을 대상으로 ordination을 시행한 결과 1998년도 군집이 조사 시기에 따라 보다 큰 변동을 한 반면 2012년도에는 상대적으로 안정적인 상태의 군집을 나타내었다. 그 이유는 2012년도에는 보의 철거로 인하여 해수의 유통량 증가와 전환속도의 증가로 인한 수체환경의 안정성이 증가하기 때문으로 판단된다. *Gymnodium* sp., *Peridinium* sp., *Prorocentrum* sp., *Nitzschia longissima*, *Schroederia setigera*, *Lyngbya* sp., *Asterococcus limneticus*, *Asterococcus superbus* 및 *Cyclotella meneghiniana*는 2012년도의 염분도가 높은 경포호의 수체에 잘 적응하는 종임을 확인할 수 있다. 또한 *Asterionella formosa*, *Nitzschia frustulum*, *Chlorella ellipsoidea*, *Scenedesmus bijuga* 및 *Scenedesmus ellipsoideus* 상대적으로 염분도가 낮은 1998년도의 경포호의 수체에 잘 적응한 종들이라는 것을 확인할 수 있다. 1998년도와 2012년도의 염분도가 다른 수체를 구분하는 데 유용한 종은 *Peridinium* sp., *Prorocentrum* sp., *Nitzschia longissima* 및 *Schroederia setigera*의 4종으로 이들은 모두 2012년도에의 염분도가 높아진 경포호에서만 출현하는 종이였다. 경포호에서 식물플랑크톤 군집이 크게 상이하게 변하는 시기는 담수의 유입량이 적고 해수위가 낮아져 수체에 영양염류 함량이 높아지는 봄철과 홍수로 인하여 유역으로부터 유입되는 담수의 양이 증가하는 시기인 여름이라고 할 수 있다. 따라서 봄철에는 수체환경의 관리가 집중되어야 하고, 홍수기에는 담수의 대량 유입에 따른 식물플랑크톤 군집의 변동에 유의하여야 한다.

## 사 사

본 연구는 강원녹색환경센터의 연구비지원 (과제번호 12-2-70-76)을 받아 수행되었습니다. 또한 강릉원주대학교 자연과학연구소의 일부 지원을 받아 수행되었습니다. 2012년도 일부 환경요인을 측정하여 제공한 강원대학교 삼척캠퍼스 환경공학과 허우명 교수님과 야외조사를 도와 준 한국플랑크톤생태연구소 김남순과 김은숙씨 그리고 강릉원주대학교 생태학 연구실의 정연인, 오상혁, 최승호, 강현구씨에게 감사를 포함합니다.

## REFERENCES

- APHA · AWWA · WPCF. 1989. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 17th ed. APHA, N.Y.
- Cho, K.S. and Y.S. Park. 1969. Limnological studies of the Young-nang lake. *Korean Journal of Limnological Society* **2**: 51-65.
- Cho, K.S., S.U. Hong and K.H. Ra. 1975. The comparative study of limnological conditions and plankton fauna of brackish water in the east coast of Korea. *Korean Journal of Limnological Society* **8**: 25-37.
- Gasol, J.M., G.C. Josefine, R. Massana, R. Guerrero and P.A. Carlos. 1993. Physiological ecology of a metalimnetic *Cryptomonas* population : relationships to light, sulfide and nutrients. *Journal of Phytoplankton* **15**(3): 255-275.
- Gasol, J.M., R. Guerrero and P.A. Carlos. 1992. Spatial and temporal dynamics of a metalimnetic *Cryptomonas* peak. *Journal of Phytoplankton* **14**(11): 1565-1579.
- Heo, W.M., B. Kim and M.S. Jun. 1999. Evaluation of eutrophication of lagoons in the eastern coast of Korea. *Korean Journal of Limnological Society* **21**(2): 141-151.
- Heo, W.M., S.G. Choi, S.J. Kwak, B.D. Bhattarai and E.J. Lee. 2011. The study of water environment variations in lake Hwajinpo. *Korean Journal of Limnological Society* **44**(9): 9-21.
- Hirose, H. and T. Yamagishi. 1977. Illustrations of the Japanese fresh-water algae Uchidarokakuno Publishing Co.
- Hong, S.U., K.S. Cho and K.H. Ra. 1969. Studies on the chemical conditions and plankton in the Hwajin-po lake. *Korean Journal of Limnological Society* **2**: 35-41.
- Kondo, K., Y. Seike and Y. Date. 1990. Relationships between phytoplankton occurrence and salinity or water temperature in brackish lake nakanoumi, 1979-1986. *Japan Journal of Limnology* **51**(3): 173-184.
- Lee, E.J., H.S. Kim and K.S. Lee. 2000. Seasonal variation of phytoplankton and Environmental Factors in Kyungpo Lake. *Korean Journal of Environmental Biology* **18**(1): 95-104.
- Lee, J.H. and H. Kwak. 1987. Environmental studies on the Youngrang lake. *Korean Journal of Limnological Society* **20**(1): 39-48.
- Mitamura, O. and K.S. Cho. 1984. Urea, DOC, DON and DOP in two brackish lagoons on the eastern coast of Korea. *Korean Journal of Limnological Society* **17**: 73-80.
- Mitchell, S.F., F.R. Trainor, P.H. Rich and C.E. Goulden. 1992. Growth of *Daphnia magna* in the laboratory in relation to the nutritional state of its food species, *Chlamydomonas reinhardtii*. *Journal of Phytoplankton* **14**(3): 379-391.
- Mizuno, T. 1964. Illustrations of the freshwater plankton of Japan. Hoikusa publishing co., LTD.
- Moon, B. and O.M. Lee. 2002. The Distribution and standing crop of phytoplankton of lagoons in the east coast of Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **20**(4): 325-338.
- Ogawa, Y. and S. Ichimura. 1984. Phytoplankton diversity in inland waters of different trophic status. *Japan Journal of Limnology* **45**(3): 173-177.
- Shin, E.J. 2011. Changes of phytoplankton community with the salinity gradients in Gyeongpo stream and Gyeongpo lake. Gangneung-Wonju National Univeristy, Gangneung.
- Sukhanova, I.N. 1978. Settling without the inverted microscope. 'Phytoplankton Manual', UNESCO.