

## 대청호에서 강우와 식물플랑크톤 군집의 관계

정승현 · 안치용 · 최애란 · 장감용<sup>1</sup> · 오희목\*

한국생명공학연구원 환경생명공학연구소, <sup>1</sup>건양대학교 의과대학

### Relation between Rainfall and Phytoplankton Community in Daechung Reservoir

Seung-Hyun Joung, Chi-Yong Ahn, Aeran Choi, Kam-Yong Jang<sup>1</sup> and Hee-Mock Oh\*

Environmental Biotechnology Laboratory, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Daejeon, Korea

<sup>1</sup>College of Medicine, Konyang University, Daejeon, Korea

**Abstract** – The phytoplankton community, environmental factors, and rainfall were investigated from July to October in 2001 and 2003 on Dam site in Daechung Reservoir. The monthly average rainfall in the investigated period were 91.3 and 265.3 mm in 2001 and 2003, respectively. The maximum chlorophyll *a* concentration was observed higher at 131.5  $\mu\text{g L}^{-1}$  in 2003 than at 45.4  $\mu\text{g L}^{-1}$  in 2001. The cyanobacterial number in 2001 was counted up to over 200,000 cells  $\text{mL}^{-1}$ , which was much higher than the maximum number of 49,000 cells  $\text{mL}^{-1}$  in 2003. The relative abundance of cyanobacteria in the phytoplankton community was about 97% in 2001 and 74% in 2003. *Microcystis* spp. were absolutely dominant species in 2001, while a couple of cyanobacteria such as *Oscillatoria* spp., *Phormidium* spp. *Chroococcus* spp. and *Microcystis* spp. were dominant species in 2003. Consequently, it seemed that rainfall affected the diversity of phytoplankton species and decreased the density of bloom-forming cyanobacteria.

**Key words** : phytoplankton community, rainfall, cyanobacteria

## 서 론

호소의 부영양화는 수계내 영양염류의 유입으로 인하여 발생하는 현상으로 하절기에 식물플랑크톤(조류)의 대규모 증식 현상이 나타난다. 하절기 수화현상을 일으키는 종으로 알려진 남조류는 양분 축적과 부력조절 능력을 가지고 있어서 다른 종에 비하여 우점 가능성이 높다(Reynolds 1987; Watson *et al.* 1997).

대청호에서 수화현상을 일으키는 남조류로 *Anabaena* spp., *Microcystis* spp., *Oscillatoria* spp. 등이 알려져 있다(오와 김 1995; Ahn *et al.* 2002). 일반적으로 부영양화된 호소에서의 우점종은 규조류나 남조류로 알려져 있고, 빈영양상태의 호소에서는 녹조류나 편모류가 우점종으로 알려져 있다(Negro *et al.* 2000). 조류의 수화현상은 영양염류의 농도뿐만 아니라 수온, 광량, 강우량 등의 환경요인에 의해서 영향을 받는다. 오와 김(1995)의 연구에 의하면 조류의 대량 발생은 강우시기 및 강우량, 수온, 일사량 등의 기상 조건에 의해서 영향을 받는다고 하였다. 식물플랑크톤의 종 조성 변화는 영양염 농도, 계

\* Corresponding author: Hee-Mock Oh, Tel. 042-860-4321, Fax. 042-860-4594, E-mail. heemock@kribb.re.kr

절 변화에 따른 수온상승, pH, 동물플랑크톤에 의한 포식 등의 여러 가지 요인이 복합되어 나타난다(허 등 1992). 우리나라는 아시아 몬순 기후의 직접적인 영향을 받아 하절기에 연평균 강우량의 약 50~60%가 집중되고 있다(An and Jones 2000). 이러한 하절기 집중강우는 식물플랑크톤의 최적 성장과 밀접한 관련이 있는 수온을 변화 시킨다(Moss *et al.* 2003). 주변 환경의 시간적, 공간적 변화는 호소에서 식물플랑크톤군집의 변화를 가져오며, 계절적 기후 변화는 순환적인 생태계 다양성을 보여준다(Tryfon and Moustaka-Gouni 1997; Figueredo and Giani 2001). 호소의 경우 기후의 계절적 변화 특히 강우량에 의해서 영향을 받고 수체의 물리, 화학적 특성 변화를 가져온다. 지금까지 우리나라의 호소를 대상으로 한 연구 중에서 하절기에 남조류에 의한 수화현상을 연구한 논문(김 등 1995; 오와 김 1995; 김과 김 1997; 이 등 2003)은 많이 발표가 되어 왔지만, 강우량에 따른 식물플랑크톤 군집 변화에 관련된 연구는 미미한 실정이다.

본 연구의 목적은 강우량의 차이를 나타내었던 2001년과 2003년 사이의 식물플랑크톤 군집 변화를 알아보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지역 및 시기

금강의 중류에 위치하고 있는 대청호는 호안이 복잡하고 정체수역이 나타나는 수지형 호수로서, 형성과정과 물의 흐름 및 수질 등을 기준으로 하여 본류수역과 정체수역으로 구분할 수 있다. 정체수역인 대청댐 인근 선착장을 조사지점으로 선정하였다. 본 조사지점은 호안으로부터 약 20 m 떨어져 있는 부유 선착장으로 수심은 약 10 m 이다. 조사 시기는 2001년 7월 9일부터 10월 22일, 2003년 7월 15일부터 10월 14일까지 1~2주 간격으로 표층에서 시료 채취 및 수질 분석을 실시하였다.

### 2. 조사 방법

수온, 전기전도도, pH, 용존산소 등은 현장에서 수질분석기(YSI meters, 63/100 and 95/100 FT, YSI Inc., Yellow Springs, OH)를 이용하여 측정하였다. 채취한 시료는 저온 냉장 상태로 실험실로 운반하여 Chl. *a* 및 영양염류 농도를 측정하였다. 강우량과 일사량에 대한 자료는 기상청 자료 중 대전지역을 기준으로 이용하였다.

### 3. 시료 분석

Chl. *a*의 경우는 chloroform-methanol (2:1, v/v)로 추출하였고, fluorometer (Turner 450, Barnstead/Thermolyne, Dubuque, IA)로 측정하였다(Wood 1985). 식물플랑크톤의 종 동정 및 개체수 계수는 Fuchs-Rosenthal counting chamber (Paul Marienfeld GmbH & Co., Lauda-Königshofen, Germany)를 이용하여 광학현미경 (Microphot FXA, Nikon Corp., Tokyo, Japan) 하에서 실시하였다.

영양염류 분석 중 총질소(total nitrogen, TN)와 총용존질소(total dissolved nitrogen, TDN)는 persulfate법에 따라 질소를 질산염으로 산화시킨 후 분석하였다(D'Elia *et al.* 1977). 총질소는 spectrophotometer (UV-160A, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 230, 225, 220 nm에서 흡광도를 측정하여 농도를 산정하였다(Crumpton *et al.* 1992). 총용존질소는 시료를 Whatman GF/C 여과지로 여과한 후에 총질소와 동일한 방법으로 농도를 산정하였다.

총인(total phosphorus, TP)과 총용존인(total dissolved phosphorus, TDP)은 persulfate법에 따라 인을 무기 인산염(orthophosphate)으로 산화시킨 후 분석하였다(Menzel and Corwin 1965). 총인과 Whatman GF/C 여과지로 여과한 총용존인의 경우 spectrophotometer를 이용하여 885 nm에서 흡광도를 측정하여 농도를 산정하였다.

## 결 과

### 1. 환경요인 변화

2001년과 2003년의 조사 기간동안 강우량이 가장 큰 차이를 나타내었다. 7월부터 10월까지 조사 기간 동안의 월평균 강우량은 2001년과 2003년 각각  $91.3 \pm 60.3$ ,  $265.3 \pm 230.6$  mm를 기록하였으며, 2003년이 약 3배 많은 강우량을 기록하였다(Fig. 1A). 2001년과 2003년의 경우 7월부터 10월까지 각각 49, 67일 간 강우를 기록하였다. 강우일수에 의한 영향으로 일사량에 영향을 주었으며, 월 평균 일사량은  $477.1 \pm 83.6$ ,  $408.9 \pm 30.8$  MJ m<sup>-2</sup>로 조사되었다(Fig. 1B). 조사 기간동안의 각각 월별 평균 일사량은 2001년에는 7월, 2003년에는 10월이 가장 높게 나타났다.

2001년 및 2003년의 평균수온은 각각  $26.5 \pm 4.0$ ,  $24.5 \pm 1.8$ °C를 나타내었고, 2001년이 약 2~3°C 정도 높게 조사되었다(Fig. 2A). 그러나 2001년과 2003년의 수온 변화는 비슷한 경향을 나타내었으며 8월초에 각각 30.9, 27.8°C로 가장 높게 조사되었다.

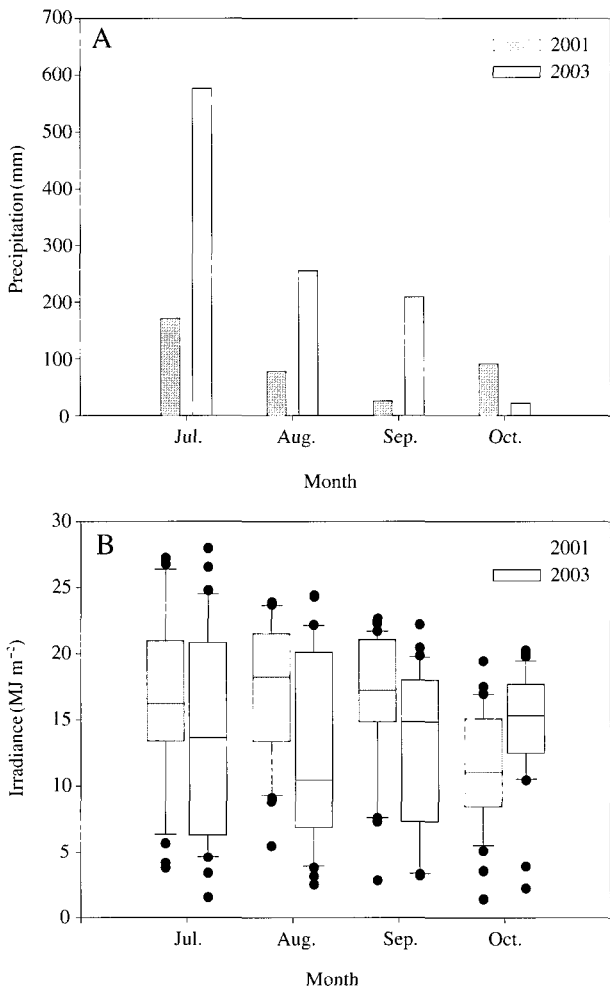


Fig. 1. Monthly sum precipitation (A) and irradiance (B) patterns in 2001 and 2003.

pH의 경우 2001년, 2003년 평균  $8.4 \pm 1.0$ ,  $8.9 \pm 0.9$ 로 조사되었고, 2001년의 경우 8월 20일에 9.6으로 가장 높게 조사되었고, 2003년에는 8월 12일에 10.0으로 가장 높게 조사되었다(Fig. 2B).

용존산소의 경우 2001년 pH가 가장 높았던 시기에 가장 높은 값인  $12.9 \text{ mg L}^{-1}$ 로 조사되었고, 이후에 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 2C). 2003년의 경우에는 8월 5일에 가장 높은 값인  $13.4 \text{ mg L}^{-1}$ 로 조사되었다. 2001, 2003년도 평균 용존산소는  $10.3 \pm 1.3$ ,  $10.0 \pm 1.5 \text{ mg L}^{-1}$ 로 조사되었다.

## 2. 영양염류의 변화

2001년 및 2003년의 총질소 농도는 각각  $1.5 \pm 0.2$ ,  $1.3 \pm 0.4 \text{ mg L}^{-1}$ 로 2001년이 조금 높게 조사되었지만, 2003년 9월 2일에  $2.6 \text{ mg L}^{-1}$ 로 2001년 9월 3일에 가장

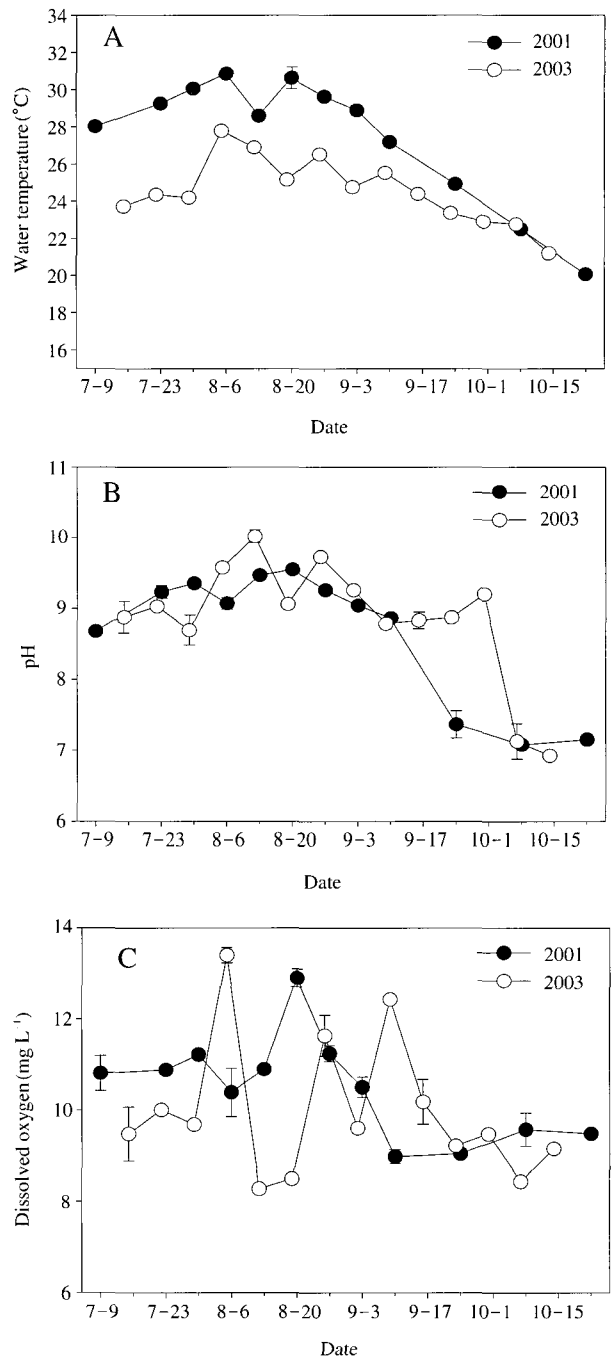


Fig. 2. Changes of water temperature (A), pH (B) and dissolved oxygen (C) in 2001 and 2003.

높게 조사된  $1.8 \text{ mg L}^{-1}$ 보다 높았다(Fig. 3A). 총용존질소의 평균 농도는 각각  $1.5 \pm 0.2$ ,  $1.0 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$ 로 2001년이 높게 조사되었다. 총입자성질소는 총질소가 가장 높게 조사된 2001년 9월 3일과 2003년 9월 2일에 가장 높게 나타났다.

총인 농도는 2001, 2003년 평균  $13.4 \pm 5.9$ ,  $45.7 \pm 33.2$

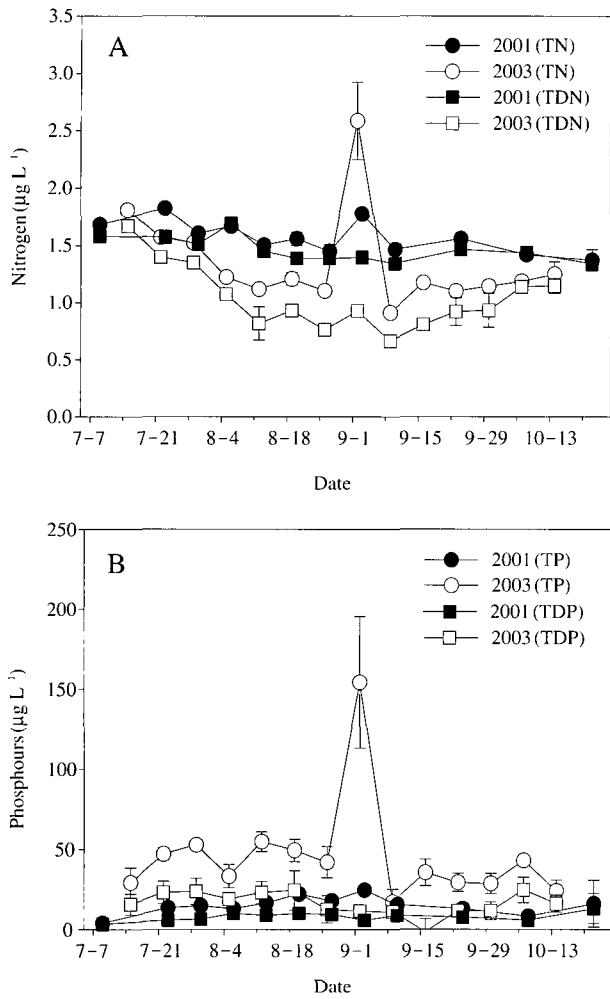


Fig. 3. Concentrations of nitrogen (A) and phosphorus (B) during the study period in 2001 and 2003.

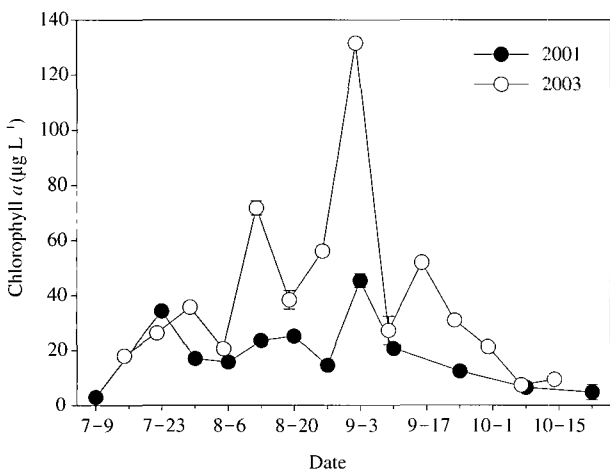


Fig. 4. Temporal variation of Chlorophyll *a* concentration in 2001 and 2003.

$\mu\text{g L}^{-1}$ 로 2003년이 약 3배 정도 높은 농도로 조사되었고, 2001년과 2003년 모두 질소 농도가 가장 높았던 시기에 총인 농도도 24.6, 154.6  $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높게 조사되었다 (Fig. 3B). 총용존인의 경우에는 평균  $7.4 \pm 2.5$ ,  $16.2 \pm 7.4 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 2003년이 약 2배 정도 높게 조사되었고, 총입자성인도 총인농도가 가장 높았던 시기에 가장 높은 18.8, 142.7  $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 조사되었다.

### 3. Chlorophyll *a* 변화

Chl. *a*의 경우 조사 기간동안의 평균 농도는 2001년, 2003년 각각  $16.3 \pm 12.0$ ,  $39.0 \pm 32.2 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 조사되었다 (Fig. 4). 가장 높게 조사된 시기는 인 농도가 가장 높았던 2001년 9월 3일과 2003년 9월 2일로 각각 45.4,

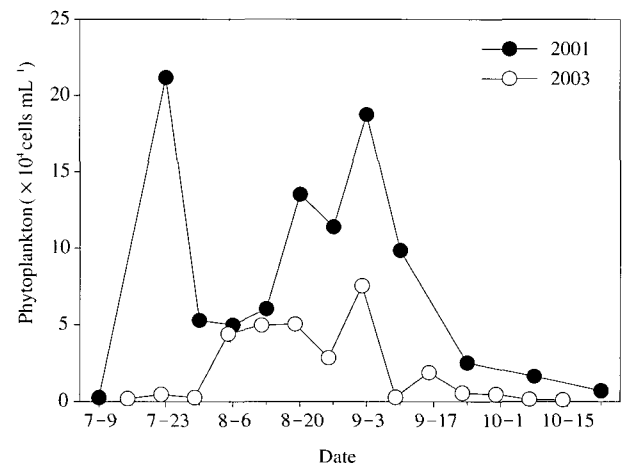


Fig. 5. Standing crops of the phytoplankton in 2001 and 2003.

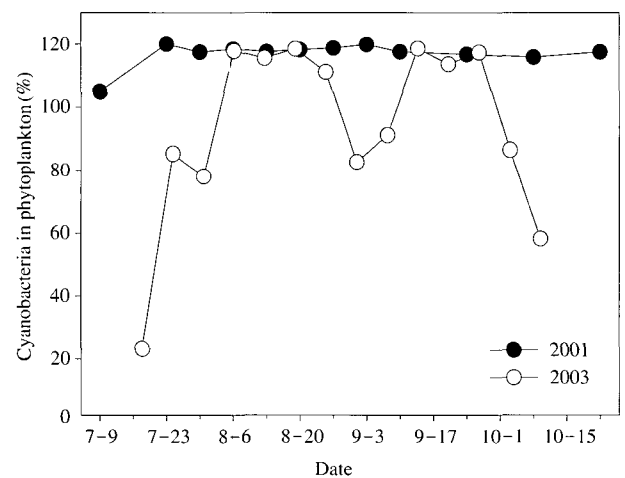


Fig. 6. Cyanobacterial proportion of phytoplankton standing crops during the study period in 2001 and 2003.

131.5  $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 조사되었다.

4. 식물플랑크톤 군집 변화

조사 기간동안의 식물플랑크톤 현존량은 2001년의 경우 7월 23일에 가장 많은 약 210,000 cells  $\text{mL}^{-1}$ 로 조사되었고, 2003년의 경우 9월 2일에 약 80,000 cells  $\text{mL}^{-1}$ 로 조사되었다(Fig. 5). 조사 기간동안의 평균 세포 수는 2001년이 약 80,000 cells  $\text{mL}^{-1}$ 로 2003년 약 20,000 cells  $\text{mL}^{-1}$ 보다 약 4배 높은 현존량을 보였다. 2001, 2003년

모두 9월 2, 3일을 정점으로 해서 감소하는 경향을 나타내었다. 식물플랑크톤 군집 구성은 2001년의 경우 조사 기간동안 남조류가 전체 세포 수의 97% 이상을 차지하였고, 2003년의 경우에는 다양한 분류군이 출현하여 평균 74%를 차지하였다(Fig. 6).

2001년 식물플랑크톤 우점종은 조사기간 전반에 걸쳐 남조류가 우점하였다. 2003년에는 시기별로 우점종 변화를 나타내었고, 조사 초기인 7월 15일에는 규조류, 7월 22일부터 10월 7일까지 남조류가 우점을 나타내었고, 이후에 규조류가 우점을 나타내었다. 남조류 우점 기간 중의 우점종은 2001년의 경우 전 기간동안 *Microcystis* spp.가 우점종으로 조사되었고, 2003년에는 조사 기간에 따라 *Oscillatoria* spp., *Phormidium* spp., *Chroococcus* spp. 그리고 *Microcystis* spp.가 우점종으로 조사되었다(Fig. 7).

고 찰

대청호의 경우 거의 매년 하절기 마다 남조류에 의한 수화현상이 발생하고 있다(오 등 1997). 남조류에 의한 조류 대발생은 하절기에 발생하는 집중 호우에 의한 영양염류의 유입과 이후의 적절한 수온 및 일사량에 의해서 남조류 성장에 좋은 조건이 형성되어 발생한다(오와 김 1995). An and Jones (2000)에 의하면 우리나라의 경우 몬순 기후의 영향에 의해 조류 중 구성, 조류 대발생의 빈도 및 정도를 결정한다고 보고하였다. 2001년과 2003년의 조사 기간 동안 가장 큰 차이를 보인 환경요인 중 하나는 강우량이었다. 강우량의 경우 2001년은 평년 월평균 강우량에 못 미치는 수치를 나타내었고 2003년의 경우에는 2001년보다 약 3배 정도의 높은 평균 강우량을 기록하였다(Fig. 1A). 평균 일사량의 경우 강우량이 적은 2001년이 높은 일사량을 나타내었다(Fig. 1B). 이러한 결과는 강우에 의한 영향으로 사료되며, 조사 기간동안의 강우일수는 각각 49, 67일을 기록하였다. Brian *et al.* (2003)은 강우와 같은 날씨 변화는 식물플랑크톤의 최적 성장을 위해 밀접한 관련이 있는 수온을 변화시킨다고 보고하였는데, 본 결과에서도 강우량이 적었던 2001년이 2003년에 비하여 평균 약 2~3°C 높은 수온을 나타내었다(Fig. 2A). 조류 성장조건 중 중요한 요인으로 알려져 있는 인 농도의 경우 OECD(Organization for Economic Cooperation and Development)에서 제시한 영양단계 기준에 의하면 평균적으로 2001년은 중영양단계(Mesotrophic), 2003년은 부영양단계(Eutrophic)로 조사되어 2003년이 2001년보다 높은 농도로 조사되었고(Fig. 3B), 이러한 결과는 강우에 의한 영향으로 사료되

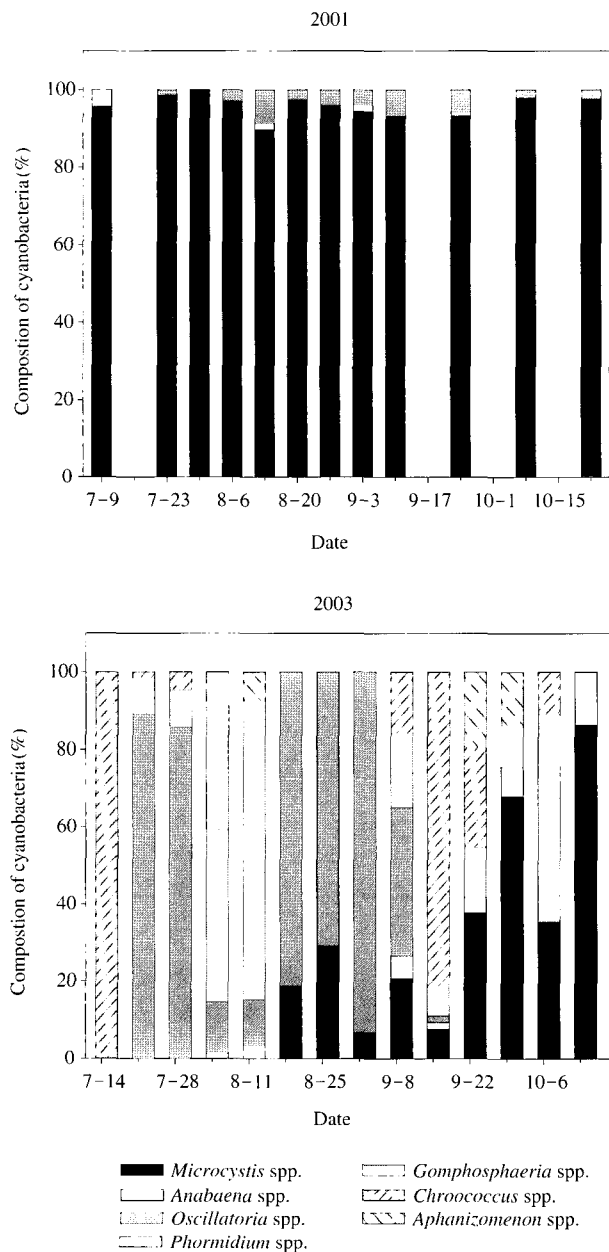


Fig. 7. Proportion of cyanobacteria in 2001 and 2003.

며, An (2000)에 의하면 호소로 유입되는 인의 농도는 강우의 강도에 의해서 결정된다고 보고하였고, 김과 김 (2004)에 의하면 인 농도는 연간 1~3회의 큰 강우에 영향을 받는다고 보고하였다.

식물플랑크톤의 생물량을 알아보기 위해서 이용되는 Chl. *a*의 경우 2003년이 평균적으로 높은 농도를 나타내었고 (Fig. 4), 두 기간 모두 총인 농도가 가장 높았던 시기에 가장 높은 농도를 나타내었다. 이러한 결과는 Zhang and Prepas (1996)의 연구에 의한 총인의 농도는 식물플랑크톤 생물량에 밀접한 관계가 있다는 결과와 상응하는 결과를 나타내었다. 그러나 2001년의 평균 세포수가 2003년에 비하여 많은 수를 기록하였는데도 불구하고 낮은 Chl. *a* 농도를 기록하였다. 총인과 Chl. *a* 농도와의 상관분석을 한 결과 높은 상관관계 ( $P < 0.01$ )를 나타내었고, 이러한 결과는 2001년과 2003년의 종 구성 차이 및 영양염 농도 차이에 의한 세포의 크기, 양분 농도 등에 의한 결과로 사료되며, Felip and Catalan (2000)에 의하면 Chl. *a*의 농도는 세포의 크기, 우점종의 변화, 식물군집 구조에 의해서 영향을 받는다고 보고하였다. 강우량의 차이를 나타내었던 1993, 1994년을 대상으로 연구를 실시한 An *et al.* (2001)에 의한 결과에 의하면 강우량이 많았던 1993년도에 더 높은 Chl. *a*의 농도를 나타내었고, 총인과의 상관관계를 나타내었다.

2001년과 2003년은 몬순 기후의 영향에 대한 강약의 차이를 보이고 있고, 식물플랑크톤 군집 조사 결과 약한 몬순 기후의 영향을 받은 2001년의 경우 조사 전반에 걸쳐서 남조류가 전체의 97%를 차지하였고, 그 중에서도 *Microcystis* spp.가 우점종으로 조사되었다. 그러나 강한 몬순의 영향을 받은 2003년의 경우에는 2001년과 많은 차이를 나타내었다. 조사 기간동안 남조류의 우점은 약 74%를 차지하였고, 남조류 우점종도 *Oscillatoria* spp., *Phormidium* spp., *Chroococcus* spp. 그리고 *Microcystis* spp.로 기간에 따라서 우점종 변화를 나타내었다 (Fig. 7). An and Jones (2000)의 연구에 의하면 약한 몬순과 강한 몬순의 영향에 의해서 남조류 우점도가 차이를 나타낸다고 보고를 하였고, Figueredo and Giani (2001)에 의하면 강우기간의 불안정한 수체는 우점종의 빠른 변화를 가져온다고 보고하였다. 또한 Kanoshina *et al.* (2003)은 남조류는 다른 식물플랑크톤에 비하여 높은 수온을 요구하며 수온은 남조류 우점에 가장 중요한 요인이라고 하였다. 2001년의 경우에는 전체적으로 남조류가 가장 많은 비중을 차지하였고, 그 중에서 *Microcystis* spp.가 우점종으로 조사되었다. 2003년의 경우 많은 강우량을 기록한 조사 기간 초기에는 남조류가 아닌 규조류가 우점을 나타내었고, 그 이후에 남조류가 우점종으로 조사되

었지만 녹조류 및 편모조류도 약간의 비율을 차지하였다. Tryfon and Moustaka-Gouni (1997)에 의하면 규조류는 불안정한 수체 및 낮은 수온에서 높은 경쟁력을 가진다고 보고하였고, 김 등 (1995)은 규조류에서 남조류로의 우점종 변화 이유로 수체 안정성이 가장 큰 요인으로 작용한다고 보고하였고, 수체의 안정성은 강우 및 인위적 방류에 의해서 영향을 받는다고 하였다. 결론적으로 2001년과 같이 적절한 강우량은 수체로 영양염류를 유입시켜 강우 이후의 수온 상승과 일사량 증가에 의해 남조류 생장에 적합한 환경을 제공하여 남조류 우점에 의한 식물플랑크톤 종 다양성의 감소를 가져 왔지만, 2003년의 경우와 같이 강한 몬순 기후에 의한 지속적인 강우는 높은 농도의 영양염류 유입에도 불구하고 수온 및 일사량 감소 그리고 수층의 불안정 등이 원인이 되어 남조류 생장에 적합한 환경을 제공하지 못함으로써, 남조류 세포 밀도 감소에 의한 다른 식물플랑크톤 생장의 결과로 사료된다. 본 연구결과와 같이 지속적인 강우에 의한 수온 및 일사량의 감소, 그리고 수층의 불안정은 식물플랑크톤 군집 변화에 중요한 요인으로 사료된다.

## 적 요

2001, 2003년의 7월부터 10월까지 대청호에 위치한 댐 지역에서 식물플랑크톤 군집, 환경요인 및 강우량을 조사하였다. 조사 기간동안의 월평균 강우량은 2001, 2003년 각각 91.3, 265.3 mm로 조사되었다. 최대 Chl. *a*의 농도는 2001, 2003년 각각 45.4, 131.5  $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 조사되었다. 남조류 세포수는 2003년 최대 49,000 cells  $\text{mL}^{-1}$ 로 조사되었고, 2001년은 최대 200,000 cells  $\text{mL}^{-1}$  이상으로 조사되었다. 그리고 식물플랑크톤 군집에서 남조류의 상대 풍부도는 2001년 97%, 2003년 74%였다. 2001년은 *Microcystis* spp.가 조사기간동안 우점종으로 조사되었고, 2003년은 *Oscillatoria* spp., *Phormidium* spp., *Chroococcus* spp. 그리고 *Microcystis* spp. 순으로 우점종의 변화를 보여줬다. 결론적으로 강우량은 식물플랑크톤의 종 다양성 및 수화현상을 일으키는 남조류 세포 밀도에 영향을 주었다.

## 사 사

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 및 KRIBB 기관과유사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- 김명운, 김민호, 조장천, 김상중. 1995. Cyanobacteria의 증식에 따른 대청호 생태계내의 생물군집 변화. 한국육수학회지. 28:1-9.
- 김명운, 김상중. 1997. 대청호 cyanobacteria 대발생 지역에서 환경요인의 일일변화 및 탄소의 흐름. 한국육수학회지. 30:1-7.
- 김범철, 김윤희. 2004. 아시아 몬순지역의 대형담(소양호)에서의 인순환과 2차모델의 적용. 한국육수학회지. 37:205-212.
- 오희목, 김도한. 1995. 대청호의 남조류 수화발생에 대한 단기적 예측. 한국육수학회지. 28:127-135.
- 오희목, 박준홍, 윤무환, 맹주선. 1997. 대청호 수화발생시 수중 인농도와 cyanobacteria의 다중인산염 분포 관계. 한국육수학회지. 30:97-106.
- 이정준, 이정호, 박종근. 2003. 대청호의 남조류 수화 발달과 환경요인 변화와의 상관 관계. 한국육수학회지. 36:269-276.
- 허우명, 김범철, 조규송. 1992. Enclosure 실험에 의한 환경요인이 소양호 식물플랑크톤 군집변화에 미치는 영향 연구. 한국육수학회지. 25:131-137.
- Ahn CY, AS Chung and HM Oh. 2002. Rainfall, phycocyanin, and N : P ratios related to cyanobacterial blooms in a Korean large reservoir. *Hydrobiologia* 474:117-124.
- An KG. 2000. Monsoon inflow as a major source of in-lake phosphorus. *Kor. J. Limnol.* 33:222-229.
- An KG and JR Jones. 2000. Factors regulating bluegreen dominance in a reservoir directly influenced by the Asian monsoon. *Hydrobiologia* 432:37-48.
- An KG, J Seo and SS Park. 2001. Influences of seasonal rainfall on physical, chemical and biological conditions near the intake tower of Taechung Reservoir. *Kor. J. Limnol.* 34:327-336.
- Brian M, D Mckee, D Atkinson, SE Collings, JW Eaton, AB Gill, I Harvey, K Hatton, T Heyes and D Wilson. 2003. How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *J. Appl. Ecol.* 40:782-792.
- Crumpton WG, TM Isenhardt and PD Mitchell. 1992. Nitrate and organic N analyses with second derivative spectroscopy. *Limnol. Oceanogr.* 37:907-913.
- D'Elia CF, PA Stuedler and N Corwin. 1977. Determination of total nitrogen in aqueous samples using persulfate digestion. *Limnol. Oceanogr.* 22:760-764.
- Felip M and J Catalan. 2000. The relationship between phytoplankton biovolume and chlorophyll in a deep oligotrophic lake: decoupling in their spatial and temporal maxima. *J. Plankton Res.* 22:91-105.
- Figueredo CC and A Giani. 2001. Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia* 445:165-174.
- Kanoshina I, U Lips and JM Leppänen. 2003. The influence of weather conditions (temperature and wind) on cyanobacterial bloom development in the Gulf of Finland (Baltic Sea). *Harmful Algae* 2:29-41.
- Menzel DW and N Corwin. 1965. The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fraction of persulfate oxidation. *Limnol. Oceanogr.* 10:280-282.
- Negro AI, CD Hoyos and JC Vega. 2000. Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaiso reservoir (NW Spain). *Hydrobiologia* 424:25-37.
- Reynolds CS. 1987. Cyanobacterial water-blooms. *Adv. Bot. Res.* 13:67-143.
- Tryfon E and M Moustaka-Gouni. 1997. Species composition and seasonal cycles of phytoplankton with special reference to the nanoplankton of Lake Mikri Prespa. *Hydrobiologia* 351:61-75.
- Watson SB, E McCauley and JA Downing. 1997. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of differing nutrient status. *Limnol. Oceanogr.* 42:487-495.
- Wood LW. 1985. Chloroform-methanol extraction of chlorophyll *a*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42:38-43.
- Zhang Y and EE Prepas. 1996. Regulation of the dominance of planktonic diatoms and cyanobacteria in four eutrophic hardwater lakes by nutrients, water column stability, and temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:621-633.

Manuscript Received: October 18, 2004

Revision Accepted: December 22, 2004

Responsible Editorial Member: Hwan-Goo Yeo  
(Hanseu Univ.)