

대청호의 남조세균 수화 발달 특성

박 종 근

한국수자원공사 수자원연구원 국제수돗물종합검사센터

Developmental Characteristic of Cyanobacterial Bloom in Lake Daecheong

Jong-Geun Park

International Drinking Water Center, KIWE, KOWACO, Daejeon 306-711, Korea

Abstract - The occurrence of cyanobacterial bloom in Korean lakes of the summer is generalized. The characteristic of cyanobacterial community was explored. And the developmental stage of cyanobacterial bloom was divided into three phases, 'preparatory phase', 'bloom phase' and 'extinction phase'. Cyanobacterial bloom started during the end of June at site 1, transition zone of Lake Daecheong. The period of water bloom in normal year was about 60~70 days at site 4, lacustrine zone, but it was unusually 11 days from July 19 in 1999. *M. aeruginosa* first occurred in June, had a peak of standing crop curve from the end of August to the beginning of September in 1998 and 2002 and the end of July in 1999 and 2001. The standing crop of *M. aeruginosa* occupied 68.1% of phytoplankton, 74.2% of cyanobacteria and 88.8% of genus *Microcystis*. *Anabaena* spp. first occurred in April, was above 10,000 cells mL⁻¹ from the end of August to about the middle of September in 1998. The effect of rainfalls on cyanobacterial bloom was different according to the phases. The rainfalls of preparatory phase assist the growth of cyanobacteria, but accelerate the decrease of cyanobacteria in extinction phase. In bloom phase, the heavy rainfalls reduce the development of the bloom, while the slight ones display only a little effects.

Key words : Lake Daecheong, cyanobacteria, *Microcystis*, *Anabaena*, water bloom, preparatory phase, bloom phase, extinction phase, growth rate

서 론

우리나라의 많은 댐저수지에서는 여름철에 남조세균(cyanobacteria) 수화가 반복하여 발생하고 있는 것이 현실이다. 남조세균 수화(water bloom)는 호소 영양단계 상승에 따른 부영양화의 상징적 현상으로, 심한 이취미

를 유발시키며 독성물질을 생성하는 등, 수자원으로서의 가치와 전체 수중생태계의 균형과 질서를 파괴한다(Horne and Goldman 1994). 남조세균 수화는 기본적으로 부영양화된 수체가 지닌 환경요인과 *Microcystis* 속이 가진 생리·생태적 특성에 기인한다. 여름철 댐저수지의 남조세균 수화 발생의 주요 원인은 질소와 인을 중심으로 한 영양염의 작용, 수온 상승으로 인한 수온성층 형성, 혼합층(mixing zone)과 유광대(euphotic zone)간의 상호관계 변화 등으로 대변될 수 있다(Fay 1983;

* Corresponding author: Jong-Geun Park, Tel. 042-629-2042, Fax. 042-629-2079, E-mail. gogun@kowaco.or.kr

Klapper 1991; Pearl 1996; Mur *et al.* 1999).

대청호에서 남조세균 수화 발생에 대한 보고는 김 등 (1984)에 의해 최초로 보고되어진 이래, 남조세균과 생물군집 또는 환경요인과의 관계(김 등 1995; 이 등 1996; 김과 김 1997; 오 등 1997; 이 등 2003; Ahn *et al.* 2003; 이 등 2005), 남조세균의 일주성 수직이동과 성장 억제에 관한 연구(오 등 1998; 김과 이 2000) 등이 보고되었다. 이 외에도 남조세균 수화에 대한 연구로는 조사 대상지를 국내 댐저수지로 하여 다양한 접근법과 관점을 가지고 연구하거나, 물리·화학적 제어 방법에 관한 연구도 있다(Park and Kim 1995; 박과 권 1998; 김 등 2000; 박 등 2000; 이 2004; 정 등 2004).

매년 여름철에 남조세균 수화 발생을 겪고 있는 우리나라에서는 인공호의 수화 원인 생물인 식물플랑크톤을 중심으로 생태계의 구조와 균형에 대한 거시적인 조사가 필요하다. 또한 각각의 조사항목을 유기적으로 연관시키면서 전체적인 관점에서 고찰할 필요성이 있다. 그러나 현재까지 남조세균을 대상으로 하는 현장연구의 대부분은 조사시간을 1년으로 하거나, 1년 중에 남조세균 수화 발생 기간만을 설정하여 연구되었다. 따라서 개괄적인 남조세균 수화 현황 및 우점종 규명, 환경요인과의 상관성 분석 등의 성과가 있었으나, 1년 이상의 축적된 자료를 통한 연도별 남조세균 변화 양상 및 수화 기작에 대한 고찰은 부족한 실정이다. 또한 계절에 따른 식물플랑크톤 변화 및 남조세균 수화 양상은 매년 다르며, 다양하고 복잡한 환경요인들은 수화 발달 시기에 따라 그 영향도가 다를 수 있다. 따라서 인공호의 수질관리를 위한 남조세균 수화 제어 방안 수립을 위해서는 다년간의 조사를 통한 개별적인 연중 변화와 세부적인 남조세균 수화 발달 단계를 이해하는 것이 필요하다.

본 연구는 대청호의 영양 단계와 식물플랑크톤 군집 발달과 소멸, 특히 남조세균 수화 기작에 대한 이해를 목표로 시작하였다. 이를 위해 1997년 3월부터 2002년 10월까지(2000년 제외) 월 2~4회 이상 조사·분석한 자료를 바탕으로 남조세균 군집 특성을 이해하고자 하였다. 또한 남조세균 수화 발달 단계를 *Microcystis aeruginosa* 세포수와 순간성장률을 바탕으로 3단계로 구분하여, 수질 환경요인과의 관련성을 파악하였다.

재료 및 방법

대청호는 금강 수계에 대청댐을 건설하면서 생성된 인공호로, 동경 127° 25'~127° 40', 북위 36° 20'~36° 30'에 위치한다. 대청호는 전라북도 장수군 신무산을 발원

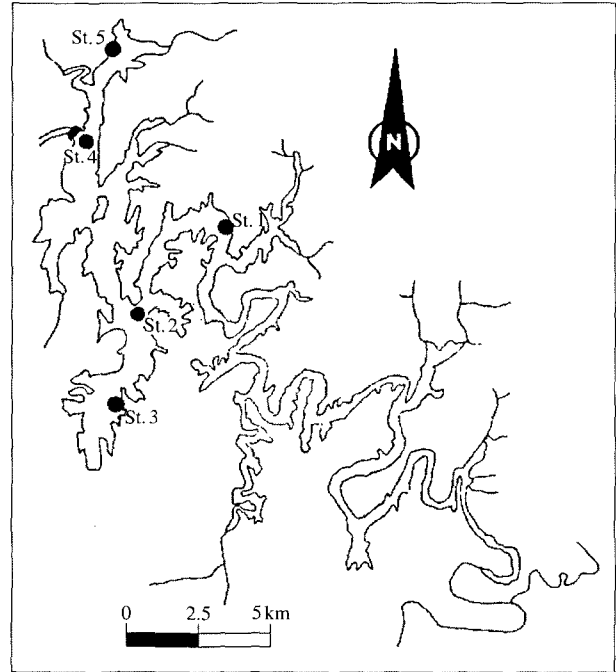


Fig. 1. Map showing the sampling sites in Lake Daecheong.

Table 1. Sites and schedule of annual investigation

Year	Site					Period	Frequency	The number of fieldwork
	1	2	3	4	5			
1997	○	○	○	-*	○	Mar.~Sep.	Monthly	7
1998	○	-	○	○	○	Jan.~Oct.	2~4/Monthly	32
1999	○	-	○	○	○	Jan.~Oct.	2~4/Monthly	30
2001	○	○	○	○	○	Jun.~Oct.	2~4/Monthly	18
2002	○	○	○	○	○	Jan.~Oct.	2~4/Monthly	30

Jan: January, Mar: March, Jun: June, Sep: September, Oct: October, *: not investigated.

으로 하여 3도 12군에 걸쳐 있으며, 유역 면적은 4,314 km², 유로 총 길이는 251 km이고, 대청댐의 저수용량 14 억9천만 m³이다.

현장조사는 대청호 내 5개의 조사정점(Fig. 1)을 대상으로 1997년 3월부터 2002년 10월까지(2000년 제외) 조사하였다. 조사빈도는 여름철에는 주 1회, 그 이외의 기간에는 월 2회 조사를 기본으로 하였고, 세부 일시 및 정점은 Table 1에 정리 하였다. 식물플랑크톤 현존량을 구하기 위한 정량시료는 수심 30 cm 전·후에서 채수하여 루골(Lugol) 용액으로 고정한 후 자연침강법을 사용하여 농축하였다. 정성시료는 망목 20µm 크기의 식물플랑크톤 네트로 채집한 시료를 포르말린으로 고정하였고, 동정 시에는 농축한 정량시료를 함께 사용하였다. 정량 분석은 Sedgwick-Rafter chamber와 혈구계수기(hemocytometer)를 사용하여 계수하였다(Schoen 1988). 식물플

랑크톤의 동정은 Prescott (1962)와 Komárek (1999)의 기준을 준수하였다.

남조세균 수화 발달 단계는 6월부터 10월까지 월 2회 이상(총 14~18회) 현장조사를 실시한 1998, 1999, 2001, 2002년의 *Microcystis aeruginosa*의 현존량 자료와 순간 성장률을 적용하여 준비기, 수화기, 소멸기의 3단계로 구분하였다.

상관성 분석 및 고찰에 사용한 환경요인 중 수문 및 강수량 자료는 대청댐 관리연보 자료를 근거로 작성하였다(대청댐사무소관리단 1997; 대청댐관리단 1998, 1999, 2001; 한국수자원공사 2002). 수질 환경요인 중 수온, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 전기전도도, 투명도는 현장에서 다항목수질측정기 YSI 6000 UPG (Yellow Springs Instruments Inc., USA)와 Secchi 투명도판을 사용하여 측정하였다. 질소, 인, 탄소 계열 및 엽록소 *a*의 수질분석은 수질오염공정시험법(환경부 1995, 2000)과 Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA *et al.* 1995)를 준하였다. 구리(Cu), 아연(Zn), 망간(Mn) 그리고 철(Fe)은 Inductively Coupled Plasma-mass Spectrometer (ICP-MS) Elan 6000 (PerkinElmer, USA)을 사용하였고, 마그네슘(Mg)과 칼슘(Ca)은 Atomic Absorption Spectrometer (AAS) SpectrAA-300 (Varian, Australia)을 이용하여 측정하였다.

자료에 대한 평균, 표준편차, 표준오차, 최대값, 최소값 등의 기본 통계 값은 Microsoft® Excel 2002 SP-2, '통계 데이터분석/기술통계법'을 이용하였다. 상관관계 분석은 '통계데이터분석/상관분석'을 사용하여 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 구하였다.

결 과

1. 남조세균의 군집 특성

남조세균이 등장하는 시기는 연도별로 약간의 차이가 있으나, 4월에서 6월 사이에 출현하기 시작하였다(Fig. 2). 조사기간 동안 각 연도별 남조세균이 최초 출현한 정점과 종, 현존량 등은 다음과 같다.

1997년 4월 25일, *Aphanizomenon flos-aquae*, 1.2×10^2 cells mL⁻¹, 정점 1

1998년 3월 23일, *Pseudanabaena limnetica*, 1.6×10^3 cells mL⁻¹, 정점 3

1999년 4월 14일, *Anabaena planctonica*, 7.2×10 cells mL⁻¹, 정점 1; *Anabaena planctonica*, 4.9×10^2 cells mL⁻¹, 정점 5

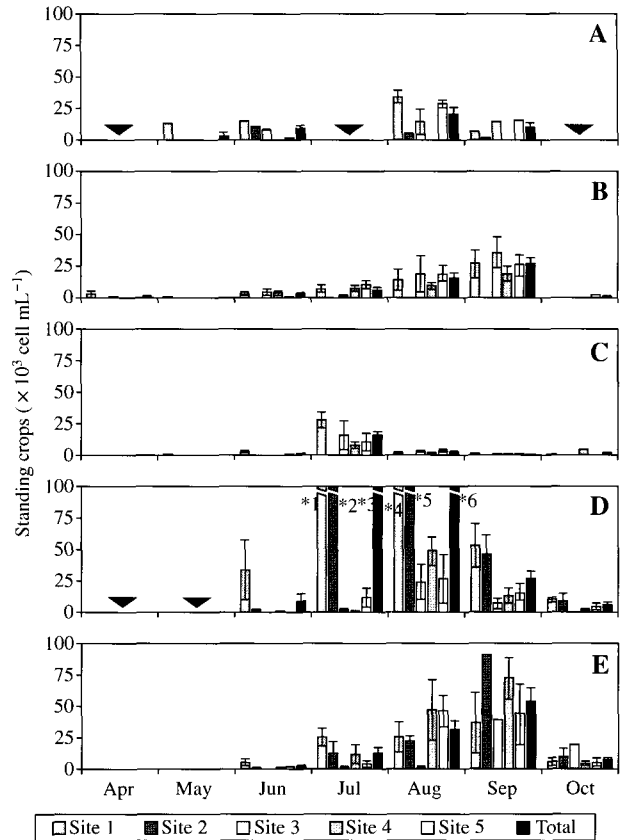


Fig. 2. Monthly mean values of cyanobacteria standing crops in Lake Daecheong from April to October. A: year 1997, B: year 1998, C: year 1999, D: year 2001, E: year 2002, ▼: not investigated, *1: 4.4×10^5 cells mL⁻¹, *2: 3.2×10^5 cells mL⁻¹, *3: 1.4×10^5 cells mL⁻¹, *4: 6.1×10^5 cells mL⁻¹, *5: 4.4×10^5 cells mL⁻¹, *6: 2.0×10^5 cells mL⁻¹.

2002년 5월 06일, *Pseudanabaena limnetica*, 정성 분석, 정점 4

2002년 6월 17일, *Anabaena planctonica*, 3.6×10^3 cells mL⁻¹, 정점 1; *Anabaena planctonica*, 4.0×10^2 cells mL⁻¹, 정점 5

남조세균 현존량이 가장 높았던 시기는 2001년 8월로 평균 현존량이 2.0×10^5 cells mL⁻¹ (SD: 4.1×10^5)이었다. 조사시기별로 평균 현존량이 1,000 cells mL⁻¹을 넘는 시기는 5월부터 7월사이로, 1997년에는 5월이었으며 1998, 2001, 2002년에는 6월, 1999년에는 7월에 넘어섰다. 정점별로 남조세균의 출현 양상을 보면, 정점 1이 다른 정점보다 일찍 출현하고 현존량도 더 높은 것으로 나타났다. 조사기간 동안 정점 1의 평균 현존량은 3.9×10^4 cells mL⁻¹ (SD: 9.8×10^4), 정점 2는 3.0×10^4 cells mL⁻¹ (SD: 7.3×10^4)이었으며, 다른 정점은 $6.6 \times 10^3 \sim 7.3 \times 10^3$ cells mL⁻¹이었다.

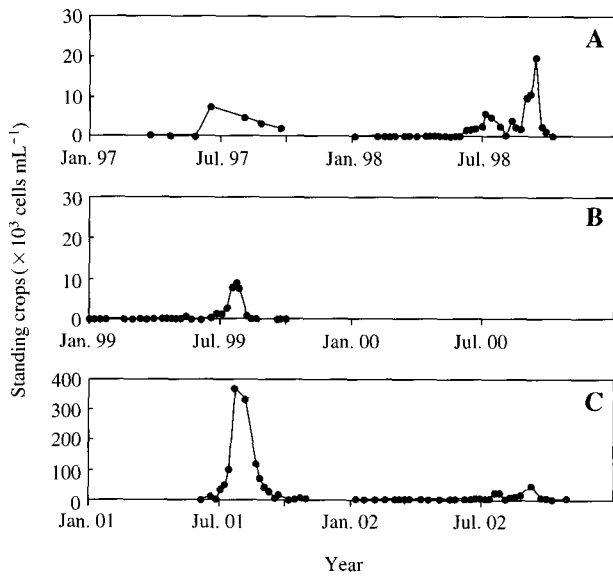


Fig. 3. Fluctuation of *Microcystis aeruginosa* mean values in Lake Daecheong. A: year 1997~1998, B: year 1999, C: year 2001~2002, year 2000: not investigated.

2001년은 예년에 비해 남조세균 출현량이 높았다. 특히 정점 1에서는 6월 22일 조사부터 남조세균 현존량이 5.4×10^4 cells mL⁻¹로 10,000 cells mL⁻¹ 넘기 시작하여 7월 9일에는 2.0×10^5 cells mL⁻¹로 증가하였다. 이후 7월 24일과 8월 6일에는 각각 1.4×10^6 cells mL⁻¹, 1.5×10^6 cells mL⁻¹로 다른 연도의 최고 값보다 20배 이상 높은 수치였다. 남조세균이 소멸하기 시작한 시기는 8월 27일부터였으며, 9월 3일은 8월 27일의 1/2 수준으로 분석되었다. 10월 5일 이후부터는 평균 현존량이 10,000 cells mL⁻¹ 이하로 분석되었다.

Microcystis 속 중, 대정호에서 출현이 확인된 종은 *M. aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *M. ichthyoblabe*, *M. novacekii*, *M. viridis*, *M. wesenbergii*이었다. *M. aeruginosa*는 6월에 출현하기 시작하여, 1998년과 2002년은 8월 말에서 9월 초에 절정을 이룬 반면에, 1999년은 7월 30일에 절정을 이룬 후 8월 9일에서는 급속히 감소하였다. 2001년의 경우는 7월말부터 8월초에 절정을 이루었다(Fig. 3).

*M. aeruginosa*의 구성비는 식물플랑크톤 총현존량에 대해서는 68.1%, 남조세균에 대해서는 74.2%, *Microcystis* 속에 대해서는 88.8%이었다. 남조세균 대비 구성비를 연도별로 보면, 1998년 30.3%, 1999년 34.6%, 2001년 94.4%, 2002년 42.9%이었다. *M. aeruginosa*의 총현존량에 대한 구성비를 월별과 지점별로 세분화하여 분석하였을 경우에는, 2001년 7월과 8월에는 각각 96.8%와 96.1%이었다. 특히 2001년 7월 정점 2에서는 98.6%인 반면에 정점 4는 13.5%이었다. 그러나 2001년 8월에는

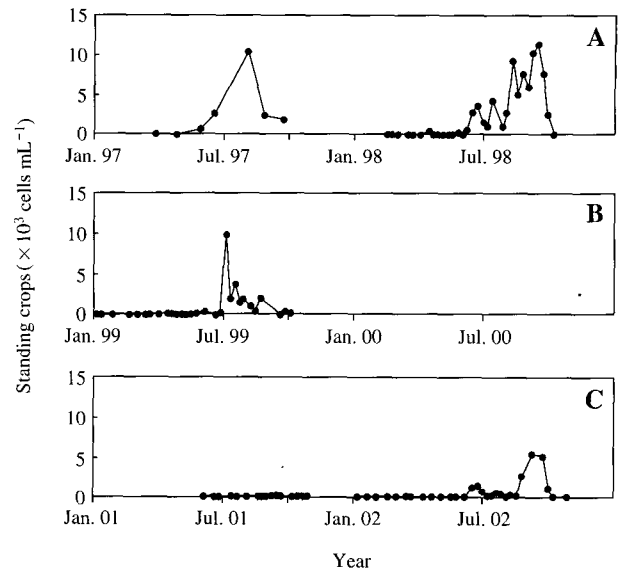


Fig. 4. Fluctuation of *Anabaena* spp. mean values in Lake Daecheong. A: year 1997~1998, B: year 1999, C: year 2001~2002, year 2000: not investigated.

정점 4도 *M. aeruginosa* 현존량 1.3×10^5 cells mL⁻¹로 총현존량의 94.3%의 구성비로 상승하였다. 2001년을 제외한 7월과 8월의 전체 정점을 대상으로 식물플랑크톤 총현존량에 대한 *M. aeruginosa*의 구성비는 12.8~55.9%이었다.

1998년은 조사기간 동안 *Anabaena* 속 현존량이 가장 많고 오랜 기간 동안 출현한 연도로, 주요 종은 *A. planctonica*와 *A. spiroides* var. *crassa*이었다(Fig. 4). *A. planctonica*는 5월 25일 정점 1에서 8.3×10^2 cells mL⁻¹로 출현하기 시작하여 7월 13일까지 우점종 또는 아우점종으로 출현하였다. *A. spiroides* var. *crassa*의 경우는 7월 28일 정점 3에서 6.2×10^3 cells mL⁻¹로 처음 출현하여, 9월 28일까지 우점종 또는 아우점종으로 분석되었다. 이후 10월 8일부터는 *Anabaena* 속의 출현은 확인되지 않았다.

조사기간 동안 *Anabaena* 속 현존량이 가장 높았던 경우는, 1999년 7월 6일 조사에서 정점 1로, 그 현존량은 3.9×10^4 cells mL⁻¹이었고 우점종은 *A. planctonica*이었다. 그러나 정점 1에서만 7월 6일부터 7월 19일 사이에 10,000 cells mL⁻¹ 이상의 출현량을 보였다. 1997년에는 8월 초에 정점 1과 5에서 *A. spiroides* var. *crassa*의 현존량이 10,000 cells mL⁻¹ 이상으로, 평균 현존량은 1.0×10^4 cells mL⁻¹ (SD: 7.8×10^3)로 절정을 이루었다. 2001년은 *Anabaena* 속이 예년에 비해 적게 출현하였으며, 7월부터 9월까지 월별 평균 현존량은 $2.2 \times 10 \sim 7.2 \times 10$ cells mL⁻¹이었다. 2002년 6월 17일부터 7월 2일 사이에는 정점 1에서만 주로 *A. planctonica*에 의해서 $2.6 \times 10^3 \sim$

4.5×10^3 cells mL⁻¹로 출현하였으며, 9월에는 모든 정점에서 *A. planctonica*와 *A. spiroides* var. *crassa*에 의해 $1.0 \times 10^3 \sim 9.0 \times 10^3$ cells mL⁻¹로 출현하였다.

Oscillatoria 속은 7월부터 출현하기 시작하여 8월에 현존량이 높았고, 주요 종은 *O. limosa*이었다. 조사기간 동안 *O. limosa*의 현존량이 50,000 cells mL⁻¹ 전·후로 분석된 경우는 총 3번으로, 1998년 8월 11일 정점 3과 9월 7일 정점 5, 1999년 7월 30일 정점 3이었다. 이외에도 현존량이 10,000 cells mL⁻¹ 이상인 조사시기는 1997년 8월 28일, 1998년 9월 1일과 9월 14일, 2002년 8월 27일이었다.

*Aphanizomenon flos-aquae*는 2002년에만 여름철 월 평균 현존량이 1,000 cells mL⁻¹을 넘었다. 1997년에는 8

월과 9월에 정점에 따라 $6.1 \times 10^2 \sim 2.1 \times 10^3$ cells mL⁻¹로 출현하였고, 1998년은 정점 5에서만 8월 17일에 7.9×10^2 cells mL⁻¹로 1회 분석되었다. 이후 1999년과 2001년에도 7월부터 10월까지 월 평균 $1.3 \times 10 \sim 5.5 \times 10^2$ cells mL⁻¹의 적은 현존량을 보였다. 2002년에 가장 높은 월 평균 현존량은 4.6×10^3 cells mL⁻¹ (SD: 5.6×10^3)로 9월이었으나, 정점 1에서는 7월 15일부터 7월 22일 조사에서 각각 1.1×10^4 cells mL⁻¹, 1.2×10^4 cells mL⁻¹로 절정을 이룬 후 감소하였다.

2. 남조세균 수화 발달 단계

남조세균의 수화 발달 단계 중, 준비기 (preparatory phase)는 남조세균이 본격적으로 출현하는 6월부터 수

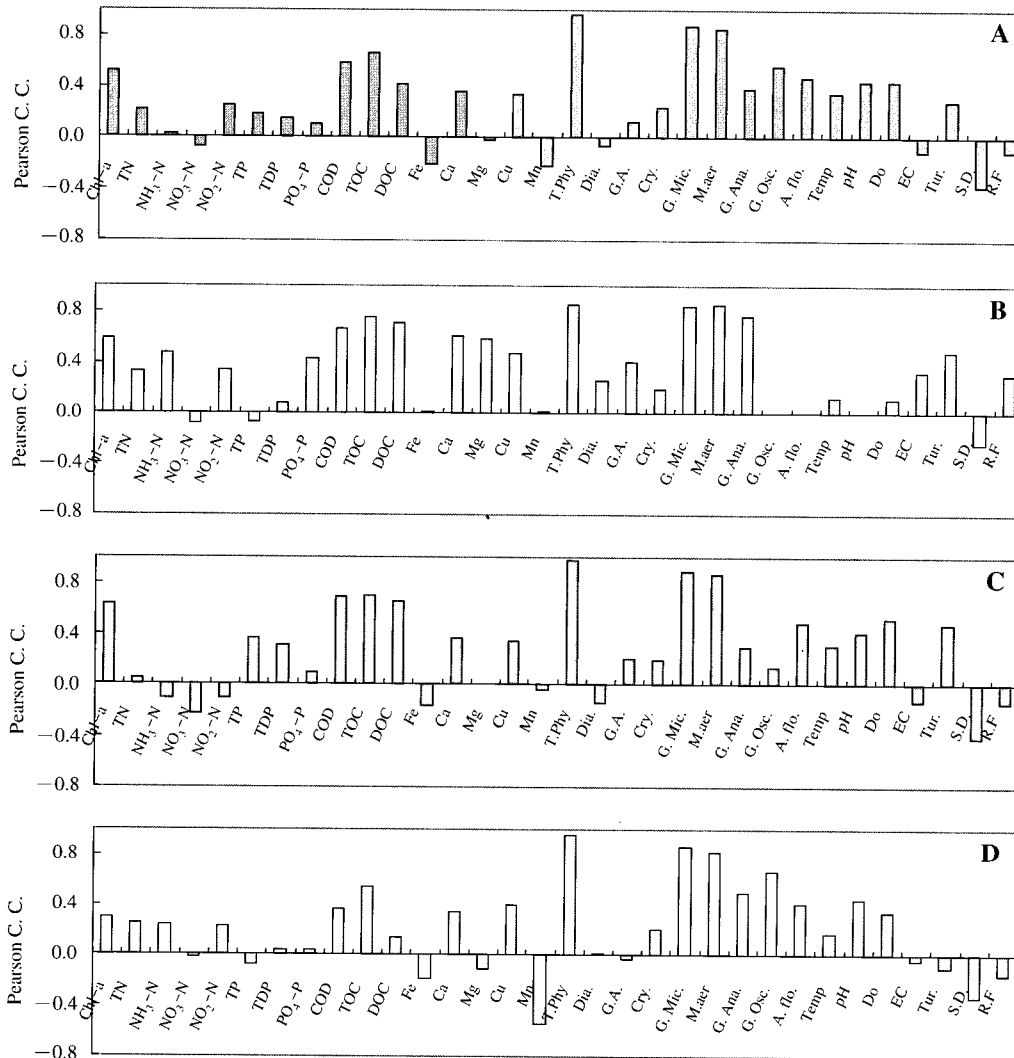


Fig. 5. Pearson correlation coefficient of cyanobacteria about other factors at all the site. A: from June to October, B: preparatory phase, C: bloom phase, D: extinction phase, T. phy: total phytoplankton, G.A: green algae, Cry: *Cryptomonas et al.*, G. Mic: *Microcystis* spp., G. Ana: *Anabaena* spp., S.D.: Secchi depth, R.F.: rainfall.

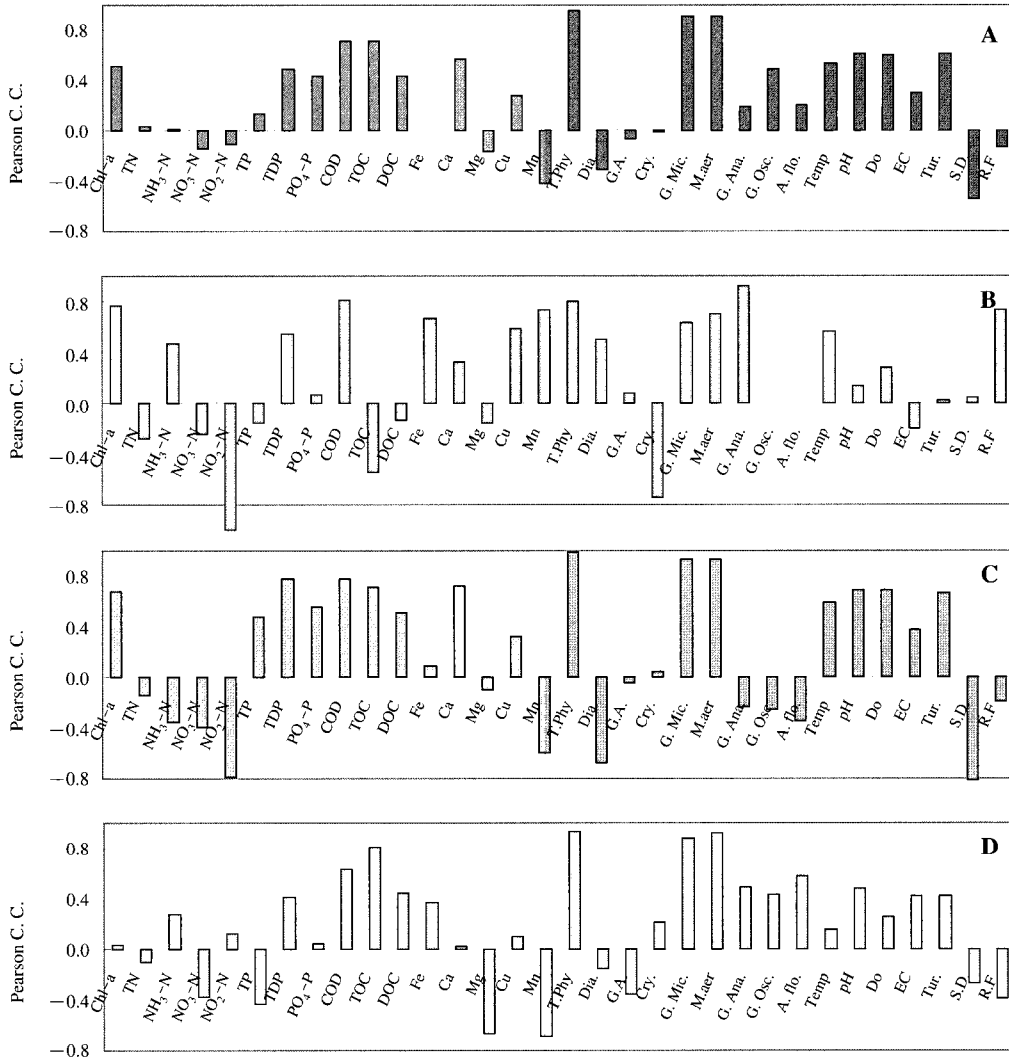


Fig. 6. Pearson correlation coefficient of cyanobacteria about other factors at the site 1. A: from June to October, B: preparatory phase, C: bloom phase, D: extinction phase, T. phy: total phytoplankton, G.A.: green algae, Cry: *Cryptomonas et al.*, G. Mic: *Microcystis* spp., G. Ana: *Anabaena* spp., S.D.: Secchi depth, R.F.: rainfall.

화기 이전까지로 정하였다. 수화기는 *M. aeruginosa*의 세포수가 5,000 cells mL⁻¹ 이상이고, 순간 성장률이 0.3 이상을 기준으로 구분하였다. 이에 따르면 수화기 기간은 1998년은 6월 22일, 1999년은 7월 12일, 2001년은 7월 4일, 2002년은 7월 2일부터 소멸기 이전까지이다. 소멸기는 모든 조사정점에서 순간 성장률이 음의 값으로 나오는 것을 기준으로 구분하였다. 이에 따르면 1998년은 9월 22일, 1999년은 7월 30일, 2001년은 9월 3일, 2002년은 9월 24일부터 소멸기에 해당한다.

6월부터 10월까지 모든 조사정점을 대상으로 남조세균 현존량과 다른 환경요인의 양 또는 농도 간의 피어슨 상관계수를 분석한 결과, 0.4 이상을 보인 항목은 pH, 용존산소 (DO), 엽록소 *a*, 화학적산소요구량 (COD), 총유

기탄소 (TOC), 용존유기탄소 (DOC), 식물플랑크톤 현존량, *M. aeruginosa*와 *Microcystis* spp., *Oscillatoria* spp., *Aphanizomenon flos-aquae*이었다 (Fig. 5A). 이 중, 상관계수 0.6 이상인 항목은 COD, TOC, 식물플랑크톤 현존량, *M. aeruginosa*와 *Microcystis* spp.이었다. 상관계수 -0.4 이하인 항목은 없었다. 정점 1만을 대상으로 하는 경우에는 모든 조사정점을 대상으로 하는 경우 보다 절대값이 높은 항목이 늘어났다 (Fig. 6A). 그 중, 투명도와 망간 (Mn)의 경우는 상관계수 -0.4 이하의 값으로 계산되었고, *Aph. flos-aquae*는 0.4 이하의 값을 보였다.

6월부터 10월까지의 기간을 준비기, 수화기, 소멸기로 구분하여 피어슨 상관계수를 구하는 경우는, 각각의 수화 발달 단계와 6월부터 10월까지로 계산한 값, 그리고

정점 1만을 대상으로 계산한 값들은 서로 차이가 있었다 (Figs. 5, 6). 모든 조사정점을 대상으로 준비기 동안 남조세균과 다른 32 가지 인자 간의 상관계수 중, 15 항목에서 0.4 이상을 보였다. 이러한 상관계수 0.4 이상인 항목은 수화기는 11 항목, 소멸기는 8 항목으로 줄었다. 준비기와 수화기에서는 -0.4 이하인 항목이 없었지만, 소멸기에서는 망간 항목이 -0.4 이하였다. 정점 1만을 대상으로 하는 경우는 절대 값이 0.4 이상인 항목이 모든 정점을 대상으로 하는 경우보다 증가하였다. 상관계수 -0.4 이하인 값은 준비기에 3 항목, 수화기에 4 항목, 소멸기에 3 항목으로 증가하였으며, 상관계수 0.4 이상인 항목도 13~15 항목으로 증가하였다.

COD, TOC, DOC와 같은 탄소계열과 남조세균 간의 상관계수는 모든 경우에 대부분 0.4 이상의 값으로, 그 값의 크기는 정점 1만을 대상으로 하는 경우가 높았다 (Figs. 5, 6). 다만 TOC와 DOC의 경우에는, 정점 1만을 대상으로 한 준비기에는 -0.54 와 -0.13 으로, 모든 정점을 대상으로 한 준비기 상관계수 0.75와 0.71과는 많은 차이를 보였다.

질소와 인과 같은 수질요인과 남조세균 간의 상관계수는 대부분 절대 값 0.4 이하의 값을 보였으나, 암모니아성질소와 용존총인(TDP)에서는 0.4 이상의 값을 보였다. 암모니아성질소는 준비기에서만 모든 정점과 정점 1인 경우 각각 0.48과 0.47이었고, 용존총인은 정점 1만을 대상으로 하는 경우만 준비기, 수화기, 소멸기 각각 0.55, 0.78, 0.42의 값으로 계산되었다.

남조세균 현존량과 *Microcystis* spp., *Anabaena* spp., *Oscillatoria* spp., *Aphanizomenon flos-aquae* 현존량 간의 상관계수를 보면, *Microcystis* spp.는 모든 경우에 0.64~0.93의 값을 보인 반면, 다른 항목들은 수화 단계와 정점의 구분에 따라 달랐다. 정점 1만을 대상으로 하는 경우에 *Anabaena* spp., *Oscillatoria* spp., *Aphanizomenon flos-aquae*는 수화기에는 각각 -0.24 , -0.25 , -0.34 의 값으로 분석되었고, 소멸기에는 각각 0.49, 0.44, 0.58이었다. 준비기의 *Anabaena* spp.는 모든 정점일 경우 0.77, 정점 1일 경우 0.92의 값을 보였다.

남조세균 현존량과 표층수온 간의 상관계수는 정점 1만을 대상으로 하는 경우에만 준비기와 수화기에서 0.57과 0.59의 값을 보였고, 그 이외의 경우에는 0.4 이하의 값으로 계산되었다. 투명도의 경우는 대부분 음의 값을 보였고, 그 중 정점 1만을 대상으로 한 수화기에는 -0.81 로 계산되었다. 강수량 간의 상관계수는 준비기인 경우에는 모든 정점을 대상으로 하면 0.31, 정점 1만을 대상으로 하면 0.73의 값이었으나, 수화기와 소멸기에는 음의 값을 보였다.

고 찰

일반적으로 남조세균의 생육에 적절한 수온은 20~30°C이며, 수화를 유발하는 *Microcystis* 속 등의 남조세균의 최대 성장률을 보이는 수온은 25°C 이상이다 (Mur et al. 1999). 대청호에서 표층 수온이 25°C 이상인 기간은 연도 별로 차이는 있으나, 6월 10일 이후 또는 7월 초에 넘기 시작하여 79~102일 동안 지속 되었다. 연도 별로 *M. aeruginosa*의 등장 후에 현존량이 증가하는 시기는 1998년은 6월 22일, 1999년은 6월 28일, 2001년은 7월 4일 그리고 2002년은 6월 25일로 모두 표층 수온이 25°C를 넘는 시기였다. 남조세균 수화의 절정도 연도마다 2~3회의 변동이 있으나, 그 최고 값은 1998년과 2002년은 수온이 25°C 이하로 내려가기 이전인 9월 초에 발생하였고, 1999년과 2001년은 수온이 27.2~32.9°C였던 7월 또는 8월이었다. 수화기 동안 *Microcystis aeruginosa* 현존량이 급속히 증가하는 시기의 순간성장률은 0.27~0.40으로, 시기적으로 1998년은 8월말, 1999, 2001, 2002년은 7월 중순이었다. 이러한 자료를 바탕으로 보면, *M. aeruginosa*를 비롯한 남조세균 수화는 수온이 25°C 이상인 시기에 급속히 성장하여, 최대 절정을 이루는 것을 알 수 있었다.

남조세균 수화 발생에 대한 객관화된 기준은 아직 확립되지 않았으나, 단지 Horne and Goldman (1994)이 제시한 남조세균 세포수가 5,000 cells mL⁻¹ 이상이라는 기준이 일반적으로 사용되고 있다. 이 기준에 따라 대청호의 수화 발생 기간을 댐축 앞 지점인 정점 4를 기준으로 분석하는 경우, 2001년은 7월 24일부터의 약 60일이었으며, 2002년도는 7월 22일부터 73일로 간주되었다. 1998년의 경우도 7월 13일부터 약 72일로 예년과 발생 기간이 비슷한 반면에, 1999년의 경우는 7월 19일부터 7월 30일 조사까지 11일로 그 기간이 짧은 것은 매우 이례적인 현상이나, 그 이유를 유추하지 못했다.

남조세균 수화 발생 시 강우의 영향은 크게 나타날 수 있다. 일반적으로 강우에 의해 수화가 저해될 수 있는 영향은 첫째 표층수에 집적되는 남조세균의 생태적 특성으로 인해 직접적 flushing 효과가 있다. 둘째로 유입수의 급증으로 인한 수온성층의 교란 효과와, 셋째로 부유물질의 증가로 인한 남조세균의 광합성 저하 등이 있다 (Henderson-Seller and Markland 1987). 이와 반대로 강우에 의해 수화가 촉진되는 영향은 영양염류의 유입을 들 수 있다. 2001년 6월의 강우는 6월 18일 49.2 mm와 6월 19일 21.3 mm로 대청호 유입량이 약 5 CMS (cubic meter per second: m³ s⁻¹) 이하에서 50 CMS 이상으

로 변화하였다. 이후 6월 24일 63.6 mm의 집중 강우로 인하여 6월 25일 유입량이 422.5 CMS로 증가하였다. 이 시기의 *M. aeruginosa*의 현존량은 6월 22일 3.5×10^3 cells mL⁻¹이었다가, 6월 27일에는 7.5×10^2 cells mL⁻¹로 감소하였다. 이런 결과로 보면 6월 18일과 19일의 강우에 의한 50 CMS 정도의 유입에 의해 남조세균 성장에 필요한 영양염류 등의 공급이 이루어지고, 6월 24일의 집중 강우에 의한 400 CMS 이상의 유입은 정점 1 지역에 flushing 효과로 작용된 것으로 사료된다. 2002년도에도 남조세균 수화기에 많은 양의 강우가 있었지만, 수화 발생 중반 시기인 8월 6일에는 100 mm의 이상의 강우에 의하여 유입량 12.3 CMS에서 159.3 CMS로 증가하였으며, 남조세균 현존량도 3.1×10^3 cells mL⁻¹로 수화 발생 기준인 5,000 cells mL⁻¹을 (Horne and Goldman, 1994) 넘지 못하였다. 이와 같은 강우 조건에 따라 대청호 남조세균 수화 발달 추이에 영향이 있음을 이미 보고된 바 있다 (Ahn *et al.* 2003; 정 등 2005). 즉 남조세균 수화 발달 과정 또는 형성되어 있는 기간에 집중 강우가 있을 경우, 유입과 방류 등에 의한 수체의 흐름으로 남조세균의 상당수가 씻겨 나가게 된다. 그 이후 새로운 남조세균 군집이 씻겨나간 남조세균 군집을 대체하는 효과가 있었다.

이와 같은 flushing 효과 이후에 남조세균 현존량이 그 이전 수준으로 회복하는 데에는 약 1주일 이내의 시간이 필요한 것으로 사료된다. 2001년 대청호의 정점 1에서 6월 24일의 집중강우로 인한 flushing 효과에 의해 사라진 *M. aeruginosa*가 7월 조사 뒤인 7월 4일에서는 1.2×10^5 cells mL⁻¹로 수화를 형성하였다. 6월 27일 조사를 보면 TN 농도는 5.1 mg N L⁻¹, TP 농도는 104.6 µg P L⁻¹로 충분한 영양염이 공급된 상황이었다. 또한 7월 16일 정점 1에서 남조세균 현존량은 5.5×10^4 cells mL⁻¹로 감소된 상황이었는 데, 8일 뒤인 7월 24일 조사에서는 1.4×10^6 cells mL⁻¹로 증가하였다. 그러나 경우에 따라서는 다시 회복하지 못하고 수화가 일정 수준 이하로 유지되다 소멸하는 양상도 나타나곤 했다.

*M. aeruginosa*에 의해 집중 되어 나타난 2001년 대청호 남조세균 수화는 과거 대청호의 수화와는 전혀 다른 양상이었다. 2001년 8월 6일 정점 1의 남조세균 현존량은 1.5×10^6 cells mL⁻¹로, 다른 연도의 남조세균 최대 현존량 $4.3 \times 10^4 \sim 5.8 \times 10^4$ cells mL⁻¹보다 20배 이상의 수준이었다. 이러한 원인 중의 하나는 2001년도 여름철 강수량이 예년에 비해 적었기 때문으로 사료된다. 2001년은 7월 하순부터 8월 초순까지 장마철에만 다소의 강우가 있는 이후, 9월 중순까지는 유입량을 변동시킬 만한 많은 양의 강우는 없었다. 2001년의 수화기로 구분한 7

월 4일부터 9월 2일까지의 강우량은 총 212.9 mm로, 2002년의 수화기인 7월 2일부터 9월 24일의 총 강수량 712.2 mm의 3분의 1이다. 더욱이 2001년 8월부터 9월 초순까지는 일일 10.0 mm 이상의 강우는 없었다. 연간 강수량을 보면 2001년 강수량은 794.6 mm로 다른 연도의 1,189.9~1,608.1 mm에 비하면 66.8~49.4%이다. 따라서 남조세균 수화를 저해할 수 있는 집중 강우가 없었기 때문에, 예년에 비해 남조세균 수화 발달 정도가 큰 것으로 해석되었다. 또한 연간 남조세균 현존량에 대비한 *M. aeruginosa*의 구성비를 보면, 2001년은 94.4%로 다른 연도의 30.3~42.9% 비하면 2배 이상의 값을 보였다. 남조세균 수화 발생기에 집중강우와 같은 생장에 대한 교란이 없을 경우에는 대청호의 남조세균 수화는 *Microcystis* 속에 의해 진행될 것으로 사료된다.

남조세균의 발생은 정점 1부터 시작하는 것으로 해석되었다. 남조세균 현존량 5,000 cells mL⁻¹를 기준으로 정점 1과 정점 4를 비교하면 20~30일의 시간차를 보였다. 조사기간 동안 남조세균 현존량의 절정을 보이는 시기도 정점 1이 정점 4보다 7~20일 이른 시기인 것으로 분석되었다. 그러나 2002년도는 그 시기가 7월 22일과 8월 27일로 2번의 절정을 보이면서 유사한 변동 양상을 보였다. 세분화하여 정점 1과 2에 대한 *M. aeruginosa*의 출현 양상을 비교하는 경우에도, 정점 1이 정점 2보다 일찍 출현하고 현존량도 더 높은 것으로 나타났다. 정점 1과 2에서 *M. aeruginosa* 현존량이 5,000 cells mL⁻¹ 이상인 시기를 보면, 2001년은 정점 1에서는 6월 22일 (3.5×10^4 cells mL⁻¹), 정점 2에서는 7월 4일 (8.9×10^3 cells mL⁻¹)로 12일 간의 시간 차이를 보였다. 2002년도의 경우는 정점 1에서는 7월 2일 (5.7×10^3 cells mL⁻¹), 정점 2는 7월 29일 (3.2×10^4 cells mL⁻¹)이었다.

대청호에서는 정점 1에서 먼저 발생한 남조세균 수화는 강우에 의해 하류 지역으로 확산되는 경향이 있었으나, 2001년도에는 정점 1에서 발생한 남조세균 대발생에 대한 확산 효과는 일부에서만 보였다. 2001년 7월 9일 정점 1에서 2.0×10^5 cells mL⁻¹이었던 남조세균 현존량이 7월 16일에는 5.6×10^4 cells mL⁻¹로 낮아진 반면에, 정점 2에서는 4.4×10^5 cells mL⁻¹로 상대적으로 높은 남조세균 현존량을 보였다. 이는 7월 12일부터 15일까지의 강우에 의한 150 CMS 이상의 유입에 따른 정점 1의 남조세균 수화가 정점 2에 영향을 주었기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 정점 4에서는 8월 6일까지 2.7×10^4 cells mL⁻¹ 이하의 값을 보였다.

수체의 정체가 심화 되면 물보다 비중이 큰 식물플랑크톤 대부분의 종은 침강에 의한 생육 제한으로 현존량 감소가 일어나게 된다 (Sze 1993; Horne and Goldman

1994). 그러나 *Microcystis* 속은 위공포 (pseudovacuole or arotope)를 형성하여, 수 표면에 부유하거나 또는 적당한 깊이까지 침강하는 수직 일주 운동이 가능하다 (Carmichael 1994). 또한 *Microcystis* 속은 다른 조류에 비해 영양염의 제한을 상대적으로 적게 받기 때문에 낮은 질소 농도에서도 개체군 생장이 양호하다고 알려져 있다 (Hecky and Kilham 1998). 이러한 특성들로 인하여 *Microcystis* 속은 표층수 부근에 집중적으로 모여 다른 조류와의 경쟁이 없는 환경에서 증식이 가능하다 (Henderson-Sellers and Markland 1987).

남조세균 현존량과 *Microcystis* 항목 간의 상관관계수만이 모든 경우에 0.64 이상의 값으로 분석된 것으로 보아, 남조세균의 수화는 *Microcystis* 속의 종에 의해서 결정되는 것으로 사료된다. 대청호 상류지역에서도 7월 이후에는 *Microcystis* 속의 대량증식이 관찰된다는 보고 (김 등 1995)를 더하면, 대청호 수계에서는 *Microcystis* 속에 의한 수화가 전반적인 현상으로 판단된다. 대청호에서는 총질소(TN)와 남조세균 수화와의 직접적인 관계를 유추하기 어려웠는데, 이는 조사기간 동안 정점 1의 TN의 평균 농도는 $1.97 \pm 0.59 \text{ mg N L}^{-1}$ (표준오차 = 0.04)로 수화 발생이 가능한 최저 농도 0.3 mg N L^{-1} 을 6배 이상 상회하는 농도 (Klapper 1991)였기 때문으로 사료된다.

대부분의 호수에서는 암모니아와 질산염이 식물플랑크톤 성장기에는 표층수에서 점차 감소한다. 조류군집에서 질소의 고갈은 *Anabaena* 속 등의 질소고정 남조세균의 군집 내 구성비가 높아지는 중요한 인자로서 작용한다 (Fay 1983). 준비기 동안 남조세균 현존량과 *Anabaena* spp. 항목 간의 상관관계수 값이 0.77 또는 0.92로 상대적으로 높은 값을 보였고, 소멸기에는 *Anabaena* spp., *Oscillatoria* spp., *Aphanizomenon flos-aquae* 항목 간의 상관관계수 값이 0.4 이상인 것으로 보아, 이들도 남조세균 수화 추이에 한 축을 담당하고 있는 것으로 판단된다. 소멸기 동안 *Anabaena* spp., *Oscillatoria* spp., *Aph. flos-aquae*가 *M. aeruginosa*의 소멸을 대신하여 현존량이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 증가는 전 조사정점에서 발생하였다. 다만 *Aph. flos-aquae*는 수화기 동안 정점 1만을 대상으로 하는 경우는 상관관계수 -0.34이었으나, 모든 정점을 대상으로 하는 경우에는 0.49인 것으로 보아 정점 1 이외의 지역에서는 수화기 동안에도 *Aph. flos-aquae*의 증가가 이루어지는 것을 알 수 있었다.

남조세균 현존량과 강수량 간의 상관관계수는 준비기 동안, 정점 1만을 대상으로 하면 0.73이었으나, 수화기와 소멸기에는 각각 -0.19, -0.38로 음의 값으로 분석되었다. 즉 준비기의 강우는 영양염의 운반 등을 통한 남

조세균 성장을 돕지만, 소멸기의 강우는 수온의 급속한 저하 등의 원인이 남조세균의 소멸을 가속화 하였다. 남조세균 수화기에 내린 강수량은 남조세균 수화와 별다른 관련성이 없는 것으로 분석되었다. 이는 잦은 강우와 강수량의 차를 피어쓴 상관관계수라는 단순한 계산에 의해서는 결정하지 못하기 때문이라고 사료된다. 즉 적당한 강수량은 남조세균 수화 발달을 돕지만, 많은 강수량은 수온성층의 파괴, flushing 효과 등에 의해 수화 발달을 저해한다. 이러한 수화기 동안 강수량과 남조세균의 관계식은 수질 모델링 기법 연구와 같은 심도 있는 연구를 통해서 규명될 수 있다고 사료 된다.

본 연구에서 조사된 지역만을 한정하여, 남조세균 수화 특성에 대해 다음과 같이 정리하였다. 회남교 부근인 정점 1부터 댐축 앞 지점인 정점 4까지의 수계에서 남조세균 수화는 6월 하순부터 강과 호소의 중간 성향을 가진 정점 1부터 발생하였다. 정점 1의 상류 지역인 옥천천 등, 지류에서의 수화 발생 시기는 이와는 다를 수 있다. 남조세균의 수화는 *Microcystis* 속의 종에 의해 결정되었다. *Anabaena* 속은 *Microcystis* 속과 대등한 경쟁을 하지만, 수화 초기와 말기에 우세하였다. *Aph. flos-aquae*와 *Oscillatoria* 속은 수화 말기에 우세하였다. 정점 1에서 발달한 남조세균 수화가 수심이 깊어지고 수역이 넓어지기 시작하는 정점 2까지 발달하는 데는 약 2주 정도의 시간이 소요될 것으로 사료된다. 정점 1에서 집중강우에 따른 남조세균 수화가 씻겨 사라지는 현상인 flushing 효과는 약 1주일 이내로 지속되었다. 이후 충분한 영양염이 공급되면 남조세균 수화는 수온에 따라 다시 발생할 수 있다. 강우의 영향이 미진할 경우에는 정점 1에서 남조세균 수화가 발생하여도 수심이 가장 깊은 댐축 앞 지점인 정점 4까지 발달하는 데는 상당한 기간이 요구될 것으로 사료된다. 또한 그 발달 정도도 매우 낮을 가능성이 있다. 수화가 가장 심하게 발달하는 중심 시기는 7월 초부터 8월 초까지이며, 이와 같은 시기는 강우 조건에 의해서 크게 달라질 수 있다. 남조세균 수화는 9월 하순부터 급속히 감소하였다.

적 요

대청호 남조세균 수화 기작에 대한 이해를 돕고자, 1997년부터 2002년까지 (2000년 제외)의 조사 자료를 바탕으로 남조세균 군집 특성을 해석하고 수화 발달 단계를 3단계로 구분하여 환경요인과의 관련성을 파악하였다. 남조세균 수화의 시작은 6월 하순부터 시작하며, 강과 호소의 중간 성향을 가진 정점 1부터 발생하였다.

대청호의 수화 발생 기간은 댐축 앞 지점인 정점 4를 기준으로 하는 경우, 약 60~70일이었으나, 1999년의 경우는 7월 19일부터 11일로 이례적인 현상이었다. *Microcystis aeruginosa*은 6월에 출현하기 시작하여 1998년과 2002년은 8월 말에서 9월 초, 1999년과 2001년은 7월 말에 절정을 이루었다. *M. aeruginosa*의 현존량이 처음 증가하는 시기는 1998년은 6월 22일, 1999년은 6월 28일, 2001년은 7월 4일 그리고 2002년은 6월 25일로 모두 표층 수온이 25°C를 넘는 시기였다. *M. aeruginosa*의 구성비는 식물플랑크톤 현존량에 대해서는 68.1%, 남조세균에 대해서는 74.2%, *Microcystis* 속에 대해서는 88.8%이었다. *M. aeruginosa*의 연도별 남조세균 대비 구성비는 1998년 30.3%, 1999년 34.6%, 2001년 94.4%, 2002년 42.9%이었다. 1998년 *Anabaena* spp.는 4월부터 출현하기 시작하여 8월 하순부터 9월 중순까지 정점에 따라 1.0×10^4 cells mL⁻¹ 이상으로 분석되었다. *Anabaena* 속은 준비기에 남조세균 수화 추이에 한 축을 담당하고 있었다. 소말기에서는 *Anabaena* spp., *Oscillatoria* spp., *Aphanizomenon flos-aquae*가 *M. aeruginosa*의 소멸을 대신하여 현존량이 증가하는 것으로 나타났다. 남조세균 수화에 미치는 강우의 영향은 시기별로 달라, 준비기의 강우는 남조세균 성장을 돕고, 소말기의 강우는 남조세균의 소멸을 가속화하는 것으로 해석되었다. 수화기에는 강우의 양이 많을 경우에는 수화 발달을 저해하였으나, 적을 경우에는 그 영향력이 낮았다.

사 사

본 연구는 한국수자원공사 연구사업(1997~2002)에 의해 수행하였으며, 연구에 참여해 주신 모든 연구원과 자료수집 및 현장조사에 도움을 주신 한국수자원공사 직원에게 깊은 감사를 드립니다. 논문 교정에 수고를 아끼지 않으신 심사위원들께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 김동근, 서윤수, 송준상, 이문호, 최재덕, 박진현, 최광수. 1984. 대청호 부영양화에 관한 종합연구. 국립환경연구소. 192pp.
- 김명운, 김민호, 조장천, 김상중. 1995. Cyanobacteria의 증식에 따른 대청호 생태계내의 생물군집 변화. 한국육수학회지. 28:1-9.
- 김명운, 김상중. 1997. 대청호 cyanobacteria 대발생 지역에서 환경요인의 일일 변화 및 탄소의 흐름. 한국육수학회지. 30:1-7.
- 김철호, 이정호. 2000. 대청호 하루에서 환경요인과 *Anabaena cylindrica* 생장억제세균의 계절적 분포 변화. 한국육수학회지. 33:128-135.
- 김호섭, 김범철, 최은미, 황순진. 2000. 부영양호수에서 남조류 bloom이 동물플랑크톤 군집변화에 미치는 영향. 한국육수학회지. 33:366-373.
- 대청담사무소담관리단. 1997. 대청다목적담관리연보: 1997. 한국수자원공사. 417pp.
- 대청담관리단. 1998. 대청다목적담관리연보: 1998. 한국수자원공사. 451pp.
- 대청담관리단. 1999. 대청다목적담관리연보: 1999. 한국수자원공사. 425pp.
- 대청담관리단. 2001. 대청다목적담관리연보: 2001. 한국수자원공사. 393pp.
- 박정원, 권덕기. 1998. 합천호에서 남조류 수화현상(녹조현상)의 초기 발생에 대한 연구, I. 수계에서 *Microcystis aeruginosa* Kütz.의 현존량 증가와 K⁺, Na⁺, Mg²⁺ 및 Ca²⁺ 농도와의 상관관계. 한국육수학회지. 31:97-102.
- 박혜경, 정원화, 권오상, 류재근. 2000. 팔당호에서 남조류 및 남조류생산 독성물질의 계절 변동. Algae. 15:29-35.
- 오희목, 박준홍, 윤무환, 맹주선. 1997. 대청호 수화발생시 수중 인농도와 cyanobacteria의 다중인산염 분포 관계. 한국육수학회지. 30:97-106.
- 오희목, 이석준, 박정호, 맹주선. 1998. 대청호 성층파괴시 cyanobacteria의 수직분포 및 세포내 인의 조성. 한국육수학회지. 31:54-61.
- 이기중, 이일규, 한석균, 안태영. 1996. 대청호의 세균분포에 미치는 환경요인. 환경생물. 14:169-176.
- 이정준, 이정호, 박종근. 2003. 대청호의 남조류 수화 발달과 환경요인 변화와의 상관관계. 한국육수학회지. 36:269-276.
- 이정호. 2004. 댐저수지의 남조류 수화에 대한 간헐식 폭기 장치의 효과. Algae. 19:23-30.
- 이지민, 이정준, 박종근, 이정호, 장천영, 윤성명. 2005. 대청호 남조류 대발생기의 동물플랑크톤상 및 *Microcystis aeruginosa*와 물벼룩류 개체군 변동의 상관관계. 한국육수학회지. 38:146-159.
- 정승현, 안치용, 최애란, 장감용, 오희목. 2005. 대청호에서 강우와 식물플랑크톤 군집의 관계. 환경생물. 23:57-63.
- 정원화, 전은형, 안태영. 2004. 물리·화학적 방법을 이용한 Cyanobacteria와 식물플랑크톤 제어. 한국환경복원녹화기술학회지. 7:75-84.
- 한국수자원공사. 2002. 대청다목적담관리연보: 2002. 한국수자원공사. 419pp.
- 환경부. 1995. 수질오염공정시험방법. 환경부고시 제95-91호.
- 환경부. 2000. 수질오염공정시험방법. 환경부고시 제99-208호.
- Ahn CY, HS Kim, BD Yoon and HM Oh. 2003. Influence of

- rainfall on cyanobacterial bloom in Daechung Reservoir. Korean J. Limnol. 36:413-419.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) and WEF (Water Environment Federation). Eaton AD, LS Glesceri and AE Greenberg eds. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. American Public Health Association, Washington D.C. 1325pp.
- Carmichael WW. 1994. The toxins of cyanobacteria. Sci. Am. 270:64-72.
- Fay P. 1983. The blue-green. Edward Arnold, London. 88pp.
- Henderson-Sellers B and HR Markland. 1987. Decaying lakes: The origins and control of cultural eutrophication (principles and techniques in the environmental science). John Wiley & Sons, Chichester. 264pp.
- Hecky RE and P Kilham. 1988. Nutrients limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. Limnol. and Oceanogr. 33:796-822.
- Horne AJ and CR Goldman. 1994. Limnology. McGraw-Hill, New York. 480pp.
- Klapper H. 1991. Control of eutrophication in inland waters. Ellis Horwood, New York. 337pp.
- Komárek J and K Anagnostidis. 1999. Süßwasserflora von Mitteleuropa Cyanoprokaryota 1 Teil Chroococcales. Gustav Fisher, Germany. 548pp.
- Mur LR, OM Skulberg and H Utkilen. 1999. Cyanobacteria in the environment. pp. 15-40. In Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management (Chorus I and J Bartram eds.). E & FN Spon, London.
- Park SK and JH Kim. 1995. Cross correlation analysis of environmental factors affecting water-bloom of *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyta). Korean J. Limnol. 28:381-391.
- Pearl HW. 1996. A comparison of cyanobacterial bloom dynamics in freshwater, estuarine and marine environments. Phycologia 35:25-35.
- Prescott GW. 1962. Algae of the western great lakes area with an illustrated key to the genera of desmids and freshwater diatoms. Wm. C. Brown Company Publisher, Dubuque. 977pp.
- Schoen S. 1988. Cell counting. pp.16-22. In Experimental phycology: a laboratory manual (Lobban CS, DJ Chapman and BP Kremer eds.). Cambridge University Press, New York.
- Sze P. 1993. A biology of the algae. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque. 125pp.

Manuscript Received: June 20, 2005

Revision Accepted: July 30, 2005

Responsible Editorial Member: Joo Rae Jo
(KOWACO)