

주암호 조류 분포의 계절별 변화에 관한 연구

정 진 · 조영관 · 김종선 · 이진중**

광주광역시 수질연구소 · 전남대 생물학과* · 전남과학대학 환경공학과**

Studies on Seasonal Variation of Algae Distribution in the Chuam Reservoir

Jeong Jin · Young-Gwan Cho · Jong-Sun Kim* · Jin-Chong Lee**

Water Quality Research Institute of Water Works Kwangju · Dept. of Biology, Chonnam National Univ.* ·
Dept. of Environmental technology, Chunnam Techno college**

Abstract

Seasonal variation of algae distribution were studied in the Chuam reservoir from August 1996 to July 1997. As a result, 127 taxa were observed, representing 6 classes, 14 orders, 5 suborders, 29 families, 2 subfamilies, 54 genus, 118 species, 7 varieties and 2 formula. The majors of them are Chlorophyceae(59 taxa), Bacillariophyceae(39 taxa) and Cyanophyceae(20 taxa). The number of species was that 35 and 31 taxa were occurred in August 1996 and April 1997, 11 and 17 taxa in July 1997 and October 1996 respectively at Dam station, 53 taxa were occurred in September, 18 taxa in November at Munduck station.

The biomass composition of occurrence species were as fallowes ; Cyanophyceae are 80 %, Bacillariophyceae 14 % and Chlorophyceae 5 % at Dam station and Cyanophyceae are 90 %, Bacillariophyceae 1.3 % and Chlorophyceae 0.4 % at Munduk station. At Munduk station, water bloom occured by Cyanophyceae(99.9 %, 3.7×10^7 cells/L) in November 1996 and the major causing algae was *Microcystis aeruginosa*.

Microcystis aeruginosa was dominant species(dominant index : 0.72~0.99) during summer and autumn, *Fragilaria crotonensis* and *Asterionella formosa* (DI: 0.33~0.74) during winter and spring.

The water quality factors of the Chuam reservoir were that the values of water temperature ranged of 3.6~31.4°C, pH 6.7~9.0, conductivity 69.6~118.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$, and turbidity 1.0~22.5 NTU, and the proper temperature of water for algae growth was 15 and 16.7 °C in April and November. Also the concentration of dissolved oxygen(DO) ranged of 6.8~15.5mg/L, total nitrogen(T-N) 0.54~1.78 mg/L, total phosphorus (T-P) 0.003~0.034 mg/L, and chlorophyll-a 0.9~23.2mg/m³. The concentration of Chlorophyll-a was in inverse proportion T-N/T-P ratio.

I. 서론

주암호는 광주 및 전남 서남해안의 생활용수 및 공업용수의 공급과 전력생산, 홍수조절 등의 다목적 댐으로 축조되었다. 담수 7년이 넘는 주암호는 남조류에 의한 수화현상(Water bloom) 등 장애현상들이 나타나고 있어 용수관리에 어려움을 야기시키고 있다.

담수조류는 호소생태계에서 생산자로서 역할을 하기 때문에 호소의 생산성과 생태계를 이해하는데 중요할 뿐만아니라, 담수생태계의 환경요인의 변화와 수질에 따라 종조성이나 현존량이 차이가 있고, 질소나 인 등의 영양염이 많아지면 남조류의 대량번식으로 각종 문제들이 일어난다¹⁾.

주암호의 경우처럼 상수원으로 이용되고 있는 호소는 조류의 종류에 따라 곱팡이냄새, 풀냄새 등을 일으키는 조류의 번식이나, 정수처리과정의 여과지를 폐쇄하는 등의 장애를 일으켜, 수돗물을 생산관리하는데 막대한 지장을 초래하고, 처리비용 또한 증가하게 되어 경제적인 손실도 가져온다^{2, 3)}.

조류 번식에 대한 제어를 위해서는 조류분포의 년중현황과 현존량의 변화, 이화학적 수질조건에 따른 조류조성의 변화 등을 토대로 호소내에서 다양한 방지 조치를 취하여야 하는데, 조류의 분포나 현존량 등의 조사는 필수적이다.

국내 대부분의 호소의 경우 소위 녹조현상이라고 불리는 남조류에 의한 수화현상이 일어난 바 있고⁴⁻⁷⁾, 주암호의 경우도 매년 남조류의 대량번식에 의한 수화현상이 우려되고 있어 조류에 대한 체계적이고 정기적인 조사 연구가 요구되고 있다.

주암호의 조류에 관한 연구로는 최 등⁸⁾, 이⁹⁾, 이와 송¹⁰⁾에 의한 식물성플랑크톤 분포에 관한 논문이 있다.

본 연구에서는 주암호에 서식하고 있는 담수조류의 계절적인 분포와 현존량, 군집분석 그리고 이화학적인 수질과의 상관관계를 조사하였다.

II. 연구방법

1. 조사지역의 개황 및 기간

주암호는 1985년 9월에 착공하여 1990년 3월에

담수를 시작한 다목적 인공댐으로 광주 및 전남 서남해안지역의 용수의 안정적 공급과 전력공급의 역할을 하고 있다.

주암댐의 유역면적은 1,010 km², 댐 높이가 57 m, 총유효저수량 35,200만톤, 이용수심은 85 m로 광주, 전남북에서 가장 규모가 큰 댐이다.

주암호는 섬진강의 지류인 보성강의 순천시 주암면 대광리에 댐이 위치하고, 담수지역은 순천시와 보성군, 화순군에 위치한다.

취수탑은 주암댐이 위치한 우측호안의 안쪽에 위치하며, 수심이 40~50 m로 깊고, 상류로부터 30 km 이상 떨어져 비교적 오염원이 적다. 반면에 문덕교는 전남 보성군 문덕면의 문덕교가 위치한 곳으로서 보성강 본류와 화순군쪽의 지류인 동북천이 합류되는 주암호 중상류에 위치하여 상류유역에서부터 각 중 오염원이 유입되어 가장 먼저 도달하는 곳으로 조류의 대발생 등 수질 변화가

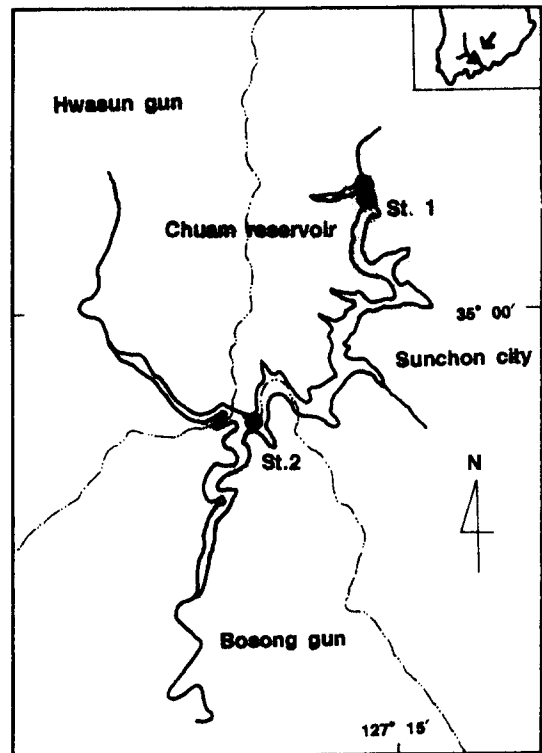


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the Chuam reservoir.

자주 일어난 곳이다.

조사는 1996년 8월부터 1997년 7월까지 1년간 매월 주암호내 취수탑(St. 1)과 문덕교(St. 2)의 2개 정점에서 조사하였다(Fig. 1).

2. 연구방법

이화학적수질로서 수온과 용존산소는 Oxygen Meter(YSI Model 58)로 현장에서 측정하였으며, 수소이온농도는 pH meter(Orion Model 290A)로, 전기전도도는 전기전도도계(Hach co.)로, 탁도는 탁도계(Hach co.)로, 투명도는 Secchi Disk를 이용하여 현장에서 측정하였고, 총인, 총질소, 화학적산소요구량, 엽록소a는 수질오염공정시험법¹¹⁾을 따랐다.

조류의 채집은 플라크톤 채집망(Mueller gaze, No. 25)으로 수평 예망을 하였으며, 정량채집을 위하여 수표면의 물 10 l를 채수하여 동일한 채집망으로 60 mL로 농축하여 3~5% 포르말린 용액으로 고정 시킨후 실험실로 운반하였다.

포르말린으로 고정시킨 시료는 24시간 이상 정치하여 침전시킨 다음 검경시 잘 혼합하여 광학현미경(Carl Zeiss사 Model Jenaval, 1,000 ×, DIC)으로 관찰하여 종을 동정한 후 생물량(Cell/L)은 Sediwick - Rafter Chamber를 이용하여 구하였다.

분류체계는 Hirose 등¹²⁾과 Simonsen¹³⁾의 체계를 따랐고, 한국동식물도감¹⁴⁾, 한국담수조류도감¹⁵⁾, 일본담수조류도감¹⁶⁾, 수도조류분류해설¹⁷⁾, 일본의 수도생물¹⁸⁾을 참고하여 동정 분류하였다.

조류의 우점종은 현존량을 근거로 선정하였으며, 우점도지수는 Naughton's dominance index¹⁹⁾로 산출하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 조류의 분포

주암호에서 조사기간동안 출현한 담수조류는 6강 14목 5아목 29과 2아과 54속 118종 7변종 2품종으로 모두 127분류군이 출현하였다. 이 중 녹조류가 59종류로 가장 많고, 규조류 39종류, 남조류 20종류의 순이었고 황색편모조류 4종류, 유글레나

류가 3종류, 와편모조류가 2종류였다(Table 1).

최 등⁸⁾이 1992년 하계(6~9월)에 조사한 주암호 조류는 총 130분류군으로 6강 10목 7아목 23과 55속 116종 13변종 1품종으로 발표한 결과와 거의 유사하였으나 남조류는 약간 증가하고 규조류는 감소하는 경향을 보였다. 또한 이⁹⁾와 이와 송¹⁰⁾의 조사에서는 주암호의 조질지대인 상사호에 2개정점이 포함되었고, 호소의 호안에서 부착조류를 포함한 조사여서 정확한 비교는 어렵지만 종수가 각각 180분류군과 175분류군으로 나타나 본 연구 결과보다 많은 종이 출현하였다.

조사정점별로는 취수탑(St. 1)에서 83종류로 녹조류가 31종류 37%, 규조류가 29종류 35%, 남조류가 15종류 18%, 황색편모조류가 4종류 5%, 와편모조류와 유글레나류가 각각 2종류 2.5%였고, 문덕교(St. 2)에서는 113종으로 녹조류가 51종류 45%, 규조류가 38종류 34%, 남조류가 15종류 13%, 황색편모조류가 4종류 4%, 유글레나류가 3종류 3%, 와편모조류가 2종류 2% 출현하였다.

Microcystis aeruginosa, *Fragilaria crotonensis*, *Melosira granulata*, *Navicula* sp.가 매월 출현한 종으로 이와 송¹⁰⁾의 조사와 유사하였으나, 본 연구에서는 *Microcystis aeruginosa*가 높은 현존량을 보인 반면 *Eudorina*는 출현빈도가 매우 낮아졌다. 따라서 주암호에는 빈영양성인 종과 부영양성인 종이 공존하여 서식하고 있지만 남조류의 현존량이 많아지는 것으로 보아 부영양화되어가는 것으로 판단된다. 또한 최 등⁸⁾이 주암호 주요종으로 보고한 *Ceratium hirundinella*, *Eudorina elegans*, *Coelastrum microporum*은 출현 빈도가 낮아졌고, *Anabaena flos-aquae*와 *Coelashaerium kuetzingianum*은 출현하지 않아 *Microcystis aeruginosa*의 우점도 집중에 따른 다른 종의 출현 빈도가 점차 약해지고 있는 단계에 이르고 있다. 수면에 부상한 남조류는 CO₂를 획득할 수 있는 유리한 조건을 가지고 있어 광합성 속도가 매우 빠르게 진행되어 수화를 형성하게 되고, 하층으로 도달하는 빛의 투과를 방해하여 다른 조류나 생물의 광합성 속도를 저해하며 우점종으로서 경쟁력을 갖는다²⁰⁾.

월별 조류의 종수는 취수탑에서는 8월에 35종

Table 1. The list of freshwater algae in the Chuam reservoir

Class	Species \ Month	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
Cyanophyceae	<i>Chroococcus</i> sp.	-											
	<i>C. minor</i> .		-										
	<i>C. turgidus</i>		-	-									
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	+	*	++	**	*	++	-	-	-	-	-	-
	<i>M. wesenbergii</i>	-	+	+	++		-		-				
	<i>Lyngbya lutea</i>	-											
	<i>L. martensiana</i>	-											
	<i>Anabaena</i> sp.						-						
	<i>Merismopedia elegans</i>										-		
	<i>M. puncta</i>						-						
	<i>M. glauca</i>												-
	<i>Oscillatoria limnetica</i>	-	-	-									
	<i>O. anna</i>	-	-	-			-	-	-	-	-		
	<i>O. planctonica</i>		-							-			
	<i>O. princeps</i>		-	-	-			-	-			-	
	<i>O. curviceps</i>					-							
	<i>O. sp.</i>						-	-	-			-	-
	<i>Phormidium mucicola</i>	-	+										
	<i>P. tenue</i>	-											
	<i>Spirulina</i> sp.		-										
Chrysophyceae	<i>Dinobryon cylindricum</i>						-	++	-	-		-	
	<i>D. serturalis</i>							-		-			
	<i>D. bavaricum</i>						-	-	-				
	<i>D. divergens</i>						-		-			-	-
Dinophyceae	<i>Peridinium</i> sp.	-	-		-		-	-	-	-	-	-	-
	<i>Ceratium hirundinella</i>	-	-	-	-					-		-	-
Euglenophyceae	<i>Trachelomonas</i> sp.		-		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Phacus</i> sp.				-								-
	<i>Euglena</i> sp.		-										
Chlorophyceae	<i>Eudorina elegans</i>	-	-		-					-	-	-	-
	<i>Pandrina morum</i>	-	-										-
	<i>P. californica</i>												-
	<i>Gloeocystis</i> sp.												-
	<i>Golenkinia radiata</i>	-											
	<i>Micractinium pusillum</i>												-
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	-	-										
	<i>Tetraedron</i> sp.					-							
	<i>T. planctonicum</i>		-								-		
	<i>T. trigonum</i> var. <i>gracile</i>		-										
	<i>T. gracile</i>		-										
	<i>Kirchneriella obesa</i>		-										-
	<i>Oocystis</i> sp.												-
	<i>O. parva</i>		-		-	-							-

Table 1. Continued.

Class	Species \ Month	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>				-								
	<i>A. spiralis</i>		-										
	<i>Pediastrum duplex</i>	-	-	-				-		-	-	-	-
	<i>P. simplex</i>	-	-						-	-		-	-
	<i>P. simplex</i> var. <i>duodenarium</i>	-	-							-	-		
	<i>P. simplex</i> var. <i>radians</i>		-										
	<i>P. biwae</i>		-		-								
	<i>P. tetras</i>	-	-									-	-
	<i>Coelastrum cambricum</i>	-	++	+	-							-	-
	<i>C. microporum</i>	-	-	-	-	-						-	-
	<i>Scenedesmus denticulatus</i>	-										-	-
	<i>S. ecornis</i>	-	-			-							-
	<i>S. bernardii</i>									-			
	<i>S. dimorphus</i>												-
	<i>S. acuminatus</i>									-			
	<i>S. brasiliensis</i>									-			
	<i>S. opoliensis</i>									-			
	<i>S. perforatus</i>		-										-
	<i>S. platydisca</i>		-										
	<i>S. quadricauda</i>	-	-	-		-	-		-	-	-	-	-
	<i>S. quadricauda</i> var. <i>longispina</i> f. <i>granulatus</i>									-			
	<i>Arthrodesmus gibberulus</i>	-											
	<i>Closterium moniliferum</i>												-
	<i>Cosmarium</i> sp.	-											
	<i>Clamidomonas</i> sp.	-	-										-
	<i>Coccomyxa</i> sp.		-										
	<i>Chodatella chodati</i>												-
	<i>Elakatothrix gelatinosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Oedogonium</i> sp.	-											
	<i>Gonatozygon monotaenium</i>	-	-										
	<i>Dimorphococcus lunatus</i>		-										
	<i>Crucigenia lauterbornii</i>	-											
	<i>Staurastrum sebaldi</i>		-										
	<i>S. biwaensis</i>		-										
	<i>S. senarium</i>	-	-		-								
	<i>S. asteriodeum</i>	-	-		-								
	<i>S. chaetoceros</i>				-								
	<i>S. gracil</i>		-										-
	<i>S. gracil</i> var. <i>ornatum</i>												
	<i>S. dorsidentiferum</i> var. <i>ornatum</i>	-	-	-	-	-	-		-	-			-
	<i>S. avicula</i> var. <i>subarcuatum</i>				-	-						-	

Table 1. Continued

Class	Species \ Month	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
	<i>Stigeoclonium</i> sp.		-										
	<i>Spirogyra</i> sp.		-										
	<i>S. inflata</i>											-	
	<i>Spaerocystis schroeteri</i>											-	
	<i>Quadrigula recustris</i>												-
Bacillariophyceae	<i>Cyclotella</i> sp.				-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>M. italica</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Melosira granulata</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	<i>M. granulata</i> var. <i>angustissima</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>M. granulata</i> var. <i>angustissima</i> f. <i>spiralis</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>M. solida</i>			-	-	-				-			
	<i>M. varians</i>			-	-							-	
	<i>Fragilaria crotonensis</i>		-	-	-	++	+	+	-	+	-	-	-
	<i>F. construens</i>				-				-	-		-	
	<i>F. intermedia</i>			-									
	<i>Synedra acus</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>S. ulna</i>					-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>S. rumpens</i>									-			
	<i>Asterionella formosa</i>				-	+	-	+	-	+	-	+	-
	<i>Rhizosolenia longiseta</i>		-	-	-	-				-			
	<i>Attheya zachariasi</i>		-	-	-							-	-
	<i>Cymbella</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Gomphonema</i> sp.		-		-					-		-	
	<i>Gyrosigma</i> sp.		-	-	-	-	-				-	-	-
	<i>G. spencerii</i>									-			
	<i>G. nodiferum</i>							-					
	<i>Nitzschia acicularis</i>									-			
	<i>N. linearis</i>									-			
	<i>N. actinastroides</i>												-
	<i>N. frustulum</i>									-			
	<i>Navicula</i> sp.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>N. rhyncocephala</i>									-			
	<i>N. cryptocephala</i>									-			
	<i>N. pupula</i>									-			
	<i>Cocconeis pediculus</i>									-			
	<i>Pinnularia</i> sp.				-								
	<i>P. gibbs</i>					-							
	<i>P. nobilis</i>							-	-	-			
	<i>P. gentilis</i>									-			
	<i>Surirella</i> sp.		-	-	-	-	-	-					
	<i>S. ovata</i>							-	-				
	<i>S. robusta</i>								-	-			
	<i>S. robusta</i> var. <i>splendida</i>			-									
	<i>Tabellaria fenestrata</i>												-

- 1,000< + 1,000~5,000 ++ 5,000~25,000 +++ 25,000~50,000 * 50,000~250,000 **250,000 > (×10cells/l)

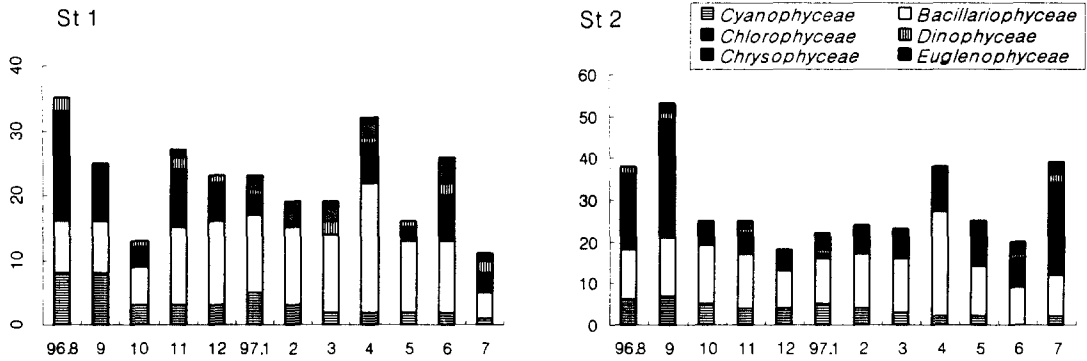


Fig. 2. Monthly composition in the numbers of algal species each station in the Chuam reservoir.

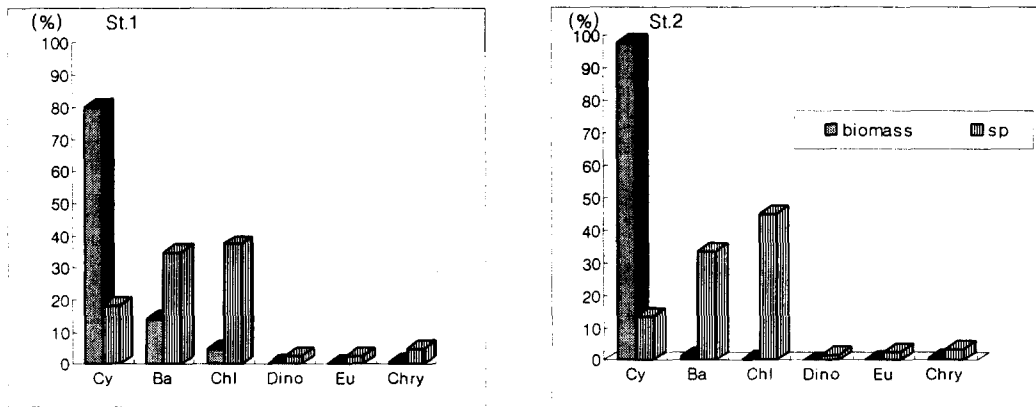


Fig. 3. A composition in the numbers of species and biomass each algae taxa in the Chuam reservoir from Aug. 1996 to Jul. 1997.

류로 가장 많았고, 4월에 32종류로 많았으나 7월과 10월에 각각 11종류와 13종류로 적었다. 문덕교에서는 9월에 53종류로 가장 많았고, 7월에 39종류, 8월에 35종류, 4월에 38종류였고, 12월에 18종류로 가장 적어 늦여름에서 가을철 그리고 봄철인 4월의 기온의 변화가 있을 때 조류의 종도 다양한 것으로 나타났다.

종수의 월별구성비는 규조류가 96년 10월부터 97년 7월까지 즉 가을, 겨울, 봄철까지 가장 많은 종이 출현한 분류군으로 취수탑에서 4~20종류로 전체의 36~69%이었고, 문덕교에서는 9~25종류로 전체의 45~66%이었다. 녹조류는 여름철에 가장 종수가 풍부한 분류군으로 취수탑에서 8, 9월에는 9~17종류

36~49%로, 문덕교에서는 7~9월에 18~28종류 47~56%이었다. 남조류는 8, 9월에 8종이었고, 그 외는 대부분 1~3종류로 매우 적었다(Fig. 2).

2. 현존량의 월별변화

현존량은 취수탑에서 남조류가 80%, 규조류가 14%, 녹조류가 5%였고, 문덕교에서 남조류가 98%로 압도적으로 높았으며, 규조류가 1.3%, 녹조류가 0.4%였다. 와편모조류, 유글레나류, 황색편모조류는 1% 미만이었다(Fig. 3). 문덕교에서 종수와 현존량이 많은 것은 주암호 상류에 위치하여 보성강 본류와 화순의 동복천이 합류되는 정점으로 상류유역에서 각 종 오염원의 유입이 용이하고 정체수역이 시작되는 특성 때문에 서식환경이 유

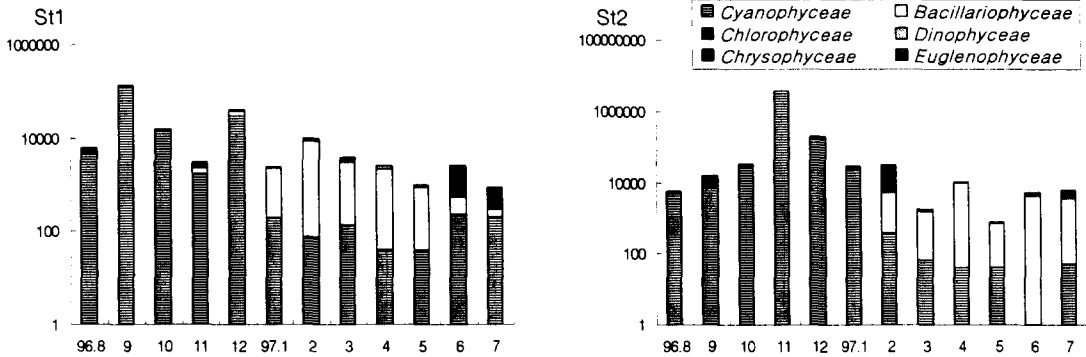


Fig. 4. Monthly composition in the numbers of algal biomass each station in the Chuam reservoir.

리한 남조류의 현존량이 높게 나타났다.

현존량에서는 분류군별 우점현상이 뚜렷하여 남조류가 8~12월과 1월에는 구성비율이 70% 이상이었으며, 96년 11월에 문덕교에서는 99.9%, $3,766,325 \times 10 \text{ cells/L}$ 가 남조류였고 그 대부분이 *Microcystis aeruginosa*로 뚜렷한 수화를 형성하였다. 남조류는 생장이 안정화됨에 따라 느린속도로 지속적으로 성장하게 되어 환경의 변화에 영향을 적게 받게되고, 낮은 CO_2 의 농도와 높은 pH에 적응성을 가지고 있어 주야의 광량의 변화에 대해 상하로 이동하므로, 초여름에 발생하기 시작하여 늦가을까지 우점하여 출현한다²¹⁾. 규조류는 1월부터 6월까지 조류 전체 현존량이 감소하는 관계로 1,469 ~ $2,835 \times 10 \text{ cells/L}$ 로 많은 양이 아닌데도 구성비에서는 80% 이상을 차지했다. 6, 7월에는 전체조류의 현존량이 875 ~ $2,545 \times 10 \text{ cells/L}$ 로 극히 적은 가운데 취수탑에서만 녹조류가 6월에 $500 \times 10 \text{ cells/L}$, 7월에 $1,455 \times 10 \text{ cells/L}$ 로 각각 57%의 구성비를 보였다(Fig. 4).

3. 주요종의 현존량 변화

남조류중에서 *Microcystis aeruginosa*는 취수탑에서 9월에 $120,000 \times 10 \text{ cells/L}$ 로 가장 많이 출현하였으며, 문덕교에서는 11월에 $3,750,000 \times 10 \text{ cells/L}$ 로 수화현상을 일으켰고, 12월과 1월에 각각 $175,000 \times 10 \text{ cells/L}$ 과 $21,750 \times 10 \text{ cells/L}$ 로 주로 8~12월 사이에 높은 출현을 보였고, 2~7월까지 200 $\times 10 \text{ cells/L}$ 이하의 낮은 출현율을 보였

다. *Oscillatoria anna*는 소수이지만 취수탑에서 9월에 $100 \times 10 \text{ cells/L}$, 10월에 $250 \times 10 \text{ cells/L}$ 으로 평소보다 2~8배 높게 출현하였고, 문덕교에서는 8월에만 $133 \times 10 \text{ cells/L}$ 으로 출현하였다. 또한 *Oscillatoria princeps*는 취수탑과 문덕교에서 공히 9, 10월에 $100 \times 10 \text{ cells/L}$ 이상 출현하였다.

규조류에 속하는 *Fragilaria crotonensis*는 연중 지속적으로 출현하였고, 특히 12월에 취수탑에서 $6,750 \times 10 \text{ cells/L}$, 문덕교에서 $10,500 \times 10 \text{ cells/L}$ 으로 주로 겨울철에 출현율이 높았다. *Dinobryon cylindricum*은 1~3월에 집중적으로 출현하였고, 특히 2월에는 문덕교에서 $23,200 \times 10 \text{ cells/L}$ 으로 매우 높은 현존량을 보였으나 7~12월 사이에는 전혀 출현하지 않아 큰 대조를 이루었다. *Asterionella formosa*는 주로 겨울철과 봄철에 출현율이 높았으며, 문덕교에서 12월에 $5,200 \times 10 \text{ cells/L}$, 2월에 취수탑과 문덕교에서 $2,200 \times 10 \text{ cells/L}$ 이상, 6월에 문덕교에서 $3,000 \times 10 \text{ cells/L}$ 의 현존량을 보였으나 7~10월까지는 전혀 출현하지 않았다. *Melosira granulata*는 매월 지속적으로 출현하였고 뚜렷한 계절적 성향을 나타내지는 않았다. *Coelastrum cambricum*은 5~11월 사이에 출현하였으며, 8~10월 사이 집중적으로 출현하였고 9월에 취수탑 $5,800 \times 10 \text{ cells/L}$, 문덕교 $5,375 \times 10 \text{ cells/L}$ 로 출현율이 가장 높았다. *Navicula* sp.는 매월 출현하였으나 9~12월 사이에 평소보다 현존량이 많았고 특히 취수탑에서 9월에 $3,375 \times 10 \text{ cells/L}$ 로 가장 높았다. *Synedra acus*는 6월

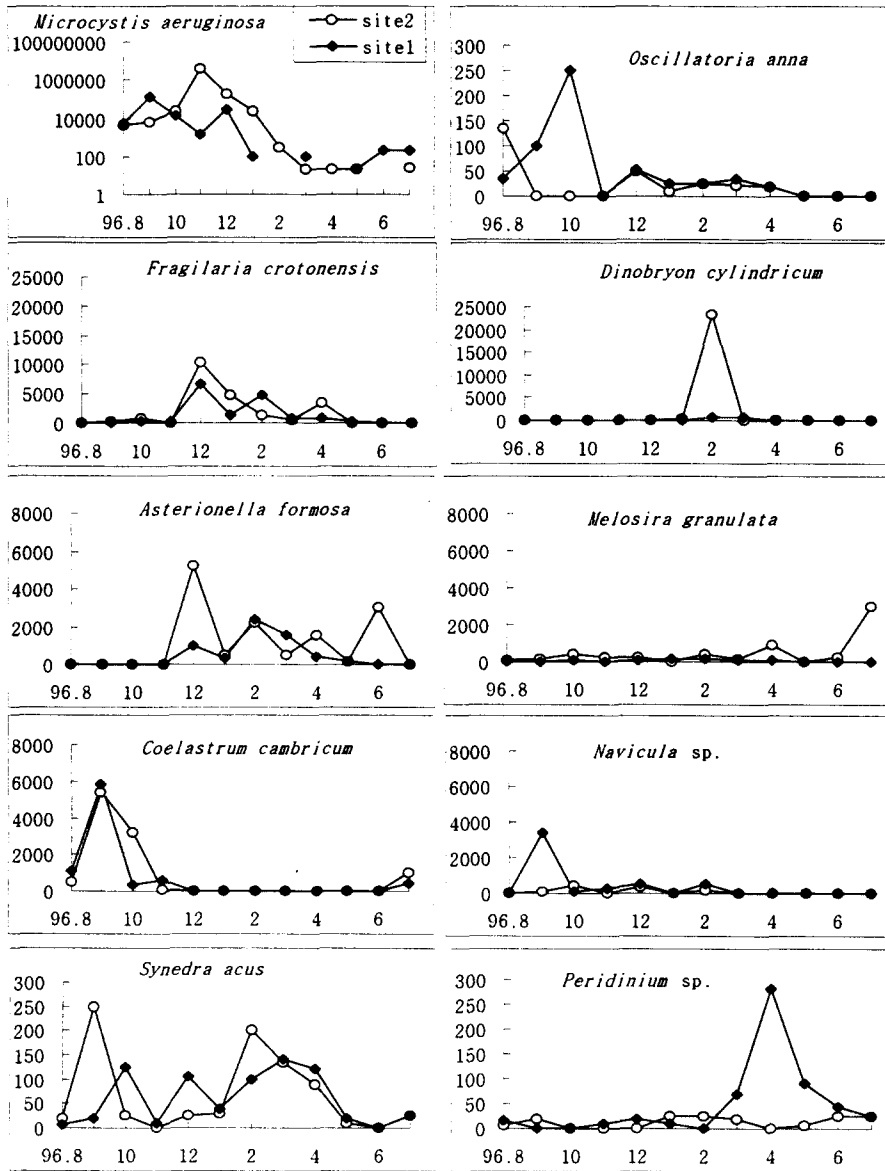


Fig. 5. The monthly variation of biomass($\times 10\text{cells}/\ell$) each algal species.

을 제외하고는 매월 출현하였으며 현존량은 $250 \times 10 \text{ cells}/\text{L}$ 이하로 소수였다. 한편모조류에 속하는 *Peridinium* sp.는 소수이기는 하지만 9, 10월을 제외하고는 매월 출현하였으며, 취수탑에서 3~5월 사이에 $70 \sim 280 \times 10 \text{ cells}/\text{L}$ 으로 다른계절에 비해 많았으나, 문덕교에서는 매우 소수인 25

$\times 10 \text{ cells}/\text{L}$ 이하로만 출현하였다(Fig. 5).

조류의 계절간 현존량의 변화는 수온과 햇빛의 변화에 따른 영향이 크게 작용한 결과이며, 수온의 경우 남조류는 $15 \sim 25^\circ\text{C}$, 녹조류는 광범위하지만 주로 20°C 이상의 여름철에 활발히 번식하며, 규조류는 겨울철과 봄철의 $5 \sim 15^\circ\text{C}$ 에 활발히 번식¹⁸⁾하

는 특성이 반영된 것이고, 9~11월의 수화형성은 여름철에 집중강우에 따른 영양염류의 유입에 따른 영향도 복합적으로 작용한 것으로 판단된다⁵⁾.

4. 우점종 및 우점도지수

우점종은 취수탑과 문덕교에서 모두 *Microcystis aeruginosa*가 96. 8월부터 12월까지 우점하여 여름철부터 초가을까지 우점도지수 0.72~0.99의 매우 높은 우점율을 보였다. 특히 96. 11월 문덕교에서는 우점도지수 0.99로 수표면을 완전히 덮을 만큼 bloom이 형성되었다.

97. 1~5월까지 겨울, 봄철에는 규조류인 *Fragilaria crotonensis*와 *Asterionella formosa*가 우점도지수 0.33~0.74로 우점하였다. 6월에는 녹조류인 *Sphaerosystis schroteri*와 와편모조류인 *Dinobryon divergens*가 우점도지수 0.62로 취수탑에서 우점하였다(Table 2).

주암호의 조류는 여름철과 가을철에는 남조류에 의해 우점되고, 겨울철과 봄철에는 규조류에 의해 우점되는 계절변화의 특성이 뚜렷이 나타나고 있고, 96년 11월에 문덕교에서의 수화형성은 *Microcystis aeruginosa*가 우점하여 일어났으며, 계절의 변화에 따른 수온의 상승과 강우에 의해 유입된 질소, 인 등의 영양염류 영향도 작용한 것으로 판단된다.

*Microcystis aeruginosa*는 대량번식하여 수화를 형성하는 특징이 있고, 세포에 한천질 막이 둘러싸여 있어 물표면에 스크름을 형성하는 원인이 되고^{4, 5)}, 최근에는 독성물질인 microcystin을 유발한다는 보고²²⁾와 국내의 많은 호소에 우점종으로 보고^{23, 24)}되어 있어 이종에 대한 번식생태, 제어방안에 대해 많은 관심이 있는 종이다.

최 등⁸⁾이 보고한 녹조류 중심의 phytoplankton assemblages와 *Staurastrum paradoxum* var. *longipes*의 높은 출현은 본 연구에서 나타나지 않았다.

Table 2. Dominant species and dominant indices

Station	St 1		St 2	
	Dominant species	DI	Dominant species	DI
96.8	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Coelastrum cambricum</i>	0.95	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Coelastrum cambricum</i>	0.88
9	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Coelastrum cambricum</i>	0.94	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Coelastrum cambricum</i>	0.73
10	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Oscillatoria princeps</i>	0.89	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Microcystis wesenbergii</i>	0.83
11	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Coelastrum cambricum</i>	0.72	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Microcystis wesenbergii</i>	0.99
12	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>	0.94	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>	0.97
97.1	<i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Asterionella formosa</i>	0.74	<i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>	0.96
2	<i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Asterionella formosa</i>	0.74	<i>Dinobryon cylindricum</i> <i>Asterionella formosa</i>	0.86
3	<i>Asterionella formosa</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>	0.61	<i>Asterionella formosa</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>	0.52
4	<i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Asterionella formosa</i>	0.44	<i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Asterionella formosa</i>	0.46
5	<i>Asterionella formosa</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>	0.33	<i>Asterionella formosa</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>	0.43
6	<i>Sphaerocystis schroteri</i> <i>Dinobryon cylindricum</i>	0.62	<i>Asterionella formosa</i> <i>Cymbella</i> sp.	0.68
7	<i>Coelastrum cambricum</i> <i>Microcystis aeruginosa</i>	0.74	<i>Melosira granulata</i> <i>Coelastrum cambricum</i>	0.66

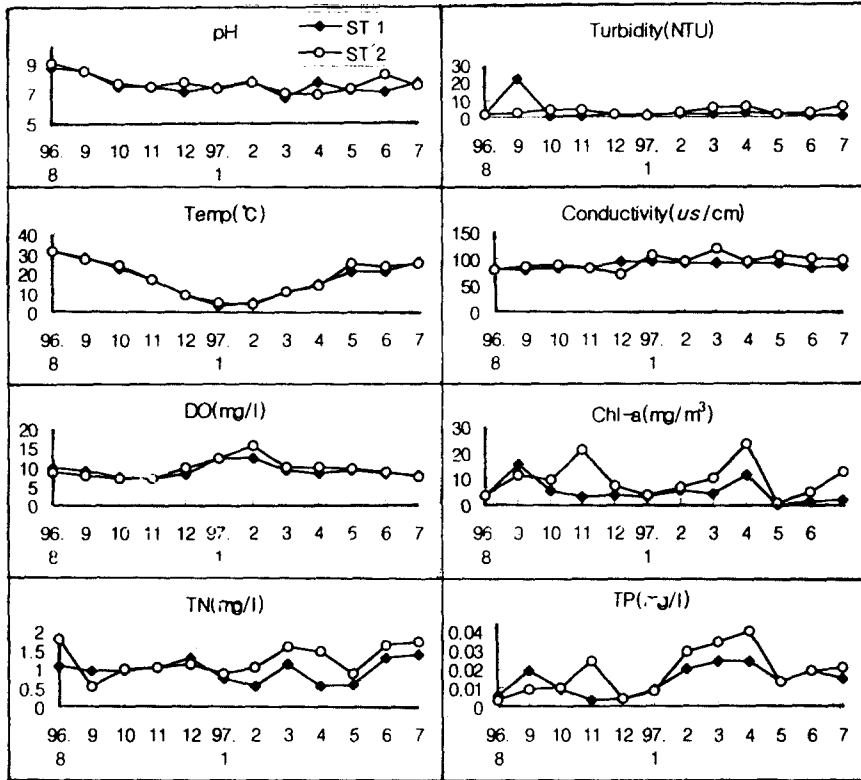


Fig. 6. The variation of water quality in the Chuam reservoir.

5. 이화학적 수질과의 관계

이화학적 수질은 조류의 성장에 영향을 미치는 요인과 조류의 성장에 따라 농도가 변화하는 요인이 있다. 수온의 상승으로 수중에 녹아 있는 CO₂ 농도는 낮아지고 광합성작용으로 인한 CO₂의 소비는 수중의 pH를 상승시켜 이에 적응된 남조류가 성장할 수 있는 유리한 조건을 제공하게 된다^{21, 23}. 주암호의 pH는 6.7~9.0으로 기온이 높은 8, 9월에 8.4~9.0으로 높아 이 기간 중에 조류의 성장이 왕성하였음을 나타냈고^{25, 26}, 조류의 현존량 구성에서도 70~99%가 남조류였다.

수온은 조류의 분포에 많은 영향을 미치는 요인¹⁸으로 주암호의 수온은 지점에 관계없이 계절의 변화에 따라 5~10월까지 20°C 이상이었고, 11월에 16.6~16.7°C로 이 기간에는 주로 남조류가 우점종으로 나타났고, 3, 4월에 10~15°C, 12월과 1, 2월에는 10°C 이하로 주로 규조류가 우점종으

로 나타났다.

조류의 양을 평가하는데 이용되는 엽록소a는 취수탑에서 9월에 15.9 mg/m³로 가장 높고, 4월에 11.4 mg/m³였으며, 그외 계절에는 5.5 mg/m³ 이하로 낮았고, 특히 5월에는 0.1 mg/m³로 매우 낮았다. 문덕교에서는 취수탑보다 훨씬 높은 농도로서 11월과 4월에 각각 21.3 mg/m³, 23.2 mg/m³로 높았고, 10월과 7월에 11.4 mg/m³, 12.6 mg/m³ 이었고, 그외는 6.8 mg/m³이하였다.

탁도는 1.0 ~ 22.5 NTU로 9월에 취수탑에서 22. NTU로 가장 높았고, 대부분 문덕교에서의 탁도가 취수탑에서 보다 높게 나타났다. 전기전도도는 취수탑에서 78.5~95.4 us/cm, 문덕교에서 69.6~118.2 us/cm로 문덕교에서 계절간 변화가 있었고, 취수탑에서는 변화폭이 크지 않았다. 용존산소는 취수탑에서 6.8~12.4 mg/L, 문덕교에서 6.9~15.5 mg/L로 정점간 차이는 거의 없고, 겨울철에 10 mg/L이

상으로 높고 늦가을에 6.8~6.9 mg/L로 낮았다.

COD는 취수탑에서 2.0~3.3 mg/L으로 늦가을에 높아졌고, 문덕교에서는 2.9~4.5 mg/L로 대부분 3.0 mg/L을 넘었다.

총인은 취수탑에서 0.003~0.024 mg/L, 문덕교에서 0.003~0.034 mg/L이었고, 총질소는 취수탑에서 0.54~1.39 mg/L, 문덕교에서 0.56~1.78 mg/L이었고, TN/TP의 비율은 취수탑에서는 4월에 22.5로 최저였고, 최고는 8월에 178.3이었다. 문덕교에서는 3월에 최저 35.8에서 8월에 최고 598.3 이었다 (Fig. 6).

총질소대 총인(N/P)의 비율은 엽록소a의 농도와 대체적으로 반비례하는 양상을 보였다.

남조류가 수화를 일으킨 96. 11월의 경우 수온이 16.7℃, pH가 7.4, DO가 7.0 mg/L, 총인이 0.024 mg/L, 총질소가 1.03 mg/L, 총질소와 총인의 비율이 42로 낮아 *Microcystis aeruginosa* 등 남조류가 서식하기 유리한 조건을 유지하였고, 수화 형성의 결과로 탁도 4.8 NTU, 엽록소a가 21.3 mg/m³로 높아졌다.

IV. 요약

주암호에서 96년 8월부터 97년 7월까지 출현한 담수조류는 6강 14목 5아목 29과 2아과 54속 118종 7변종 2품종으로 모두 127분류군이 출현하였다. 이중 녹조류가 59종류로 가장 많고, 규조류 39종류, 남조류 20종류의 순이었다.

월별 조류의 종수는 취수탑에서는 96년 8월과 97년 4월에 각각 35종류와 32종류로 많았고, 97년 7월과 96년 10월에 각각 11종류와 13종류로 적었다. 문덕교에서는 96년 9월에 53종류로 가장 많았고, 96년 12월에 18종류로 가장 적었다.

분류군별 현존량은 취수탑에서 남조류가 80%, 규조류가 14%, 녹조류가 5%였고, 문덕교에서 남조류가 98%로 압도적으로 높았으며, 규조류가 1.3%, 녹조류가 0.4%였다. 96년 11월에 문덕교에서는 99.9%, 3.7×10^7 cells/L가 남조류로, 그 대부분이 *Microcystis aeruginosa*로서 뚜렷한 수화를 형성하였다.

우점종은 *Microcystis aeruginosa*가 여름철부터 초가을까지 우점도지수 0.72~0.99의 매우 높은 우점율을 보였다. 겨울과 봄철에는 규조류인 *Fragilaria crotonensis*와 *Asterionella formosa*가 우점도지수 0.33~0.74로 우점하였다.

수질요인으로 수온은 3.6~31.4℃, pH는 6.7~9.0, 전기전도도는 69.6~118.2 μs/cm, 탁도는 1.0~22.5NTU로서, 4월과 11월에는 조류가 성장하기 적합한 수온인 15~16.7℃를 유지하였다. 또한 용존산소는 6.8~15.5mg/L, 총질소는 0.54~1.78mg/L, 총인은 0.003~0.034mg/L, 엽록소a는 0.9~23.2 mg/m³이었다. 엽록소a의 농도는 총질소와 총인의 비율과 대체적으로 반비례하는 양상을 보였다.

감사의 글

이 논문은 1996년도 교육부 학술연구조성비지원 자유공모과제로 이루어졌으며 이에 감사드립니다. 또한 현장조사를 도와준 광주광역시 수질연구소 직원 여러분께도 감사드립니다.

참고 문헌

1. Happer, D.: Eutrophication of freshwaters principles, problems and restoration, Chapman and Hall, London, UK, 327, 1992.
2. Brook, A. J.: Plankton algae as indicators of lake types with special reference to Desmidiaceae, *Limnol. & Oceanogr*, 10, 403-411, 1965.
3. AWWA: Introduction to water treatment, principles and practices of water supply operations, AWWA, 2, 8-17, 1984.
4. 허우명, 김범철, 조규송: 소양호 부영양화에 따른 N/P비의 변화와 남조류 Bloom, *육수지*, 24(4):283~288, 1991.
5. 오희목, 김도한: 대청호의 남조류 수화발생에 대한 단기적 예측, *육수지*, 28(2):127~135, 1995.
6. 오광철, 오희목, 이진환, 맹주선: 대청호 식물 플랑크톤의 일주성 수직이동, *육수지*, 28(4)

- :437~446, 1995.
7. 오회목, 박준홍, 윤무환, 맹주선 : 대청호 수화 발생시 수중 인농도와 cyanobacteria의 다중 인산염 분포 관계, 육수지, 30(2):97~106, 1997.
 8. 최민규, 김백호, 정연태, 위인선 : 주암호의 식물성플랑크톤의 출현과 동태, 육수지, 27(1): 79~91, 1994.
 9. 이육민 : 주암호의 연간('92) 식물성플랑크톤의 분포 및 현존량의 동태, 육수지, 27(4):327~337, 1994.
 10. 이육민, 송호영 : 주암호의 연간('93) 식물성플랑크톤의 분포 및 현존량의 동태, 육수지, 28(4):427~436, 1995.
 11. 환경부 : 수질오염공정시험법, 435, 1991.
 12. Hirose, H., M. Akyama, T. Iriya, K. Imahori, H. Kasaki, K. Tsumura, M. Hirano and T. Yamajishi. : Illustrations of Japanese freshwater algae, Uchidarokakuho Publ., Tokyo, 931, 1981.
 13. Simonsen, R. : The Diatom System, Ideas on phylogeny, *Bacillaria*, 2, 9~71, 1979.
 14. 정영호 : 한국동식물도감, 문교부, 573, 1968.
 15. 정 준 : 한국담수조류도감, 아카데미출판사, 496, 1993.
 16. 水野壽彦 : 日本淡水藻類圖鑑, 353, 1993.
 17. 川北西郎 : 水道藻類分類解説, 日本水道協會, 152, 1993.
 18. 日本水道協會 : 日本の水道生物, 271, 1993.
 19. McNaughton, S. J. : Relationship among functional properties of California Grassland, *Nature*, 216, 168~169, 1967.
 20. Paerl H. W., J. F. Ustach : Blue-green algae Scums : An explanation for their occurrence during freshwater blooms, *Limnol. & Oceanogr.*, 27(2), 212~217, 1982.
 21. 藤田善彦, 大城 香 : ラン藻という生きもの, 東京大學出版會, 130, 1993.
 22. 김범철, 김은경, 표동진, 박호동, 허우명 : 국내 호수에서의 남조류 독소발생, 한국수질보전학회지, 11(3), 231~237, 1995.
 23. 김명운, 김민호, 조장천, 김상종 : Cyanobacteria의 증식에 따른 대청호 생태계내의 생물군집 변화, 육수지, 28(1), 1~8, 1995.
 24. 김 민, 최영길 : 경기도 5개 저수지에 우점하는 남조류의 순수분리, 육수지, 25(2), 113~119, 1992.
 25. Reynolds, C. S. : Phytoplankton periodicity : Interactions of function and environmental variability, *Freshwater. Bio.*, 14, 111~142, 1984.
 26. Wetzel. R. G. : *Limnology*, 2nd ed, Saunders Coll. Publ., New York, 767, 1983.