

환경요인에 따른 동북호에서의 식물성플랑크톤 계절적 분포

정진 · 조영관

광주광역시 상수도사업본부 수질검사소

The Seasonal Distribution of Phytoplankton by Environmental Factors in Dongbok Reservoir

Jeong Jin, Young-Gwan Cho

Water Quality Research Institute of Kwangju Water Works

Abstract

The taxa of phytoplankton in the Dongbok reservoir consisted of 6 classes, 9 orders, 4 suborders, 21 families, 42 genus, 86 species, 4 varieties and 1 formula; totally 91 taxa appeared. It contained 3 major groups that is Chlorophyceae 51taxa(56.0% the most high rate), Bacillariophyceae 23taxa(25.2%), Cyanophyceae 10taxa(10.9%). The most abundant with 47 taxa was in December, the least with 11 taxa was in March during research every month.

The component ratio of biomass each main groups, Bacillariophyceae(51%, the most high rate), Cyanophyceae(38.9%), Chlorophyceae(9.8%). The most abundant class at the biomass component ratio were Cyanophyceae which contained 82.6~98.0% of it in May and September, Chlorophyceae 79.0% in August, and Bacillariophyceae increased continuously, specially in winter and autumn.

The seasonal dominant groups were *Microcystis aeruginosa* belong to Cyanophyceae in spring and autumn, some species of Chlorophyceae in summer and *Melosira granulata* belong to Bacillariophyceae in winter and late autumn. Dominant index ranged from 0.33 to 0.95. The season of the lowest index was autumn and the highest was spring. Species diversity indices ranged from 1.09 to 3.99.

The water environmental factors of the Dongbok reservoir were that the values of water temperature ranged between 2.4~28.9°C, pH 7.2~8.3, conductivity 77.0~105.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and transparency 1.2~2.8m, also the concentration of dissolved oxygen(DO) ranged of 6.9~14.6mg/L, total nitrogen(T-N) 0.38~1.84mg/L, total phosphorus (T-P) 0.011~0.028mg/L, and chlorophyll-a 7.0~29.9mg/m³. In this research the proper temperature of water for algae growth, 15-20°C, was maintained in April, May, November and December.

The number of species that induced water color were 14 species, that caused taste-and-odor problems were 3 species and that caused filter clogging were 5 species. Among them, the bloom of *Anabaena macrospora* that caused odor problem occurred in May and of *Microcystis aeruginosa* and *M. wensenbergii* that caused filter clogging in May and September.

I. 서론

식물성 플랑크톤은 질소와 인, 수온, 용존산소 등의 이화학적 수질변화에 따라 종구성이나 번식의 정도에 차이가 있고, 그에 따라 pH, 용존산소, 엽록소-a, 탁도, 부유물질, 투명도 등의 변화를 초래하며, 특정종이 대량번식하면 수화현상이나 이취미를 유발하게 된다¹⁻⁵⁾.

국내의 식물성플랑크톤조사는 한강수계⁶⁻⁸⁾와 경상도지역의 저수지⁹⁻¹⁰⁾에서 활발하게 이루어져 있다. 광주근근지역에서는 이¹¹⁾ 및 최등¹²⁾의 주암호에 관한 조사와 최등¹³⁾의 영산강 상류에 관한 자료 등이 있다. 동북호에서의 조사는 주¹⁴⁾에 의한 연구가 있고, 85년 저수용량을 9,200만톤으로 확장한 이후에는 상수도본부 자료¹⁵⁾와 김등¹⁶⁾의 연구결과가 있다.

동북호는 광주광역시시의 중요한 상수원으로서 역할을 하며, 상수원 관리를 위해 주기적으로 또는 식물성플랑크톤의 동태에 따라서 살조제를 살포하는 인위적인 조절이 행해지고 있다.

본 연구에서는 동북호를 대상으로 이화학적 수질과 계절변화에 따른 식물성플랑크톤의 종조성, 현존량, 종다양도지수, 우점종 및 우점도 지수, 그리고 주요 수질항목과의 관계를 규명하였다.

II. 재료 및 방법

상수원수를 취수하는 동북호 취수탑부근의 반경

50m이내에 1개의 조사정점을 선정하여, 환경요인은 1995년 1월부터 12월까지 매월 조사하였고, 식물성 플랑크톤조사는 계절의 변화를 고려하여 1, 3, 5, 7~12월에 걸쳐 총 9회 실시하였다.

동북수원지는 우리나라의 서남부인 북위 35° 05' 과 동경 127° 07' 에 댐이 위치하며, 행정구역상 전라남도 화순군과 담양군에 속한다. 동북수원지는 섬진강의 지류인 동북천 수계의 일부로서 유역면적이 189km², 유입하천의 유로연장이 약 110km이다. 총 유효저수량은 9,200만톤이며, 저수지면적은 6.61km², 이용수심이 24.2m이다(Fig. 1).

수질은 표층을 대상으로 수온과 용존산소는 용존산소계(YSI Model 57A)로, pH는 pH meter(Orion model 290A)로, 전기전도도는 Hach사 전도도계로, 투명도는 Secchi Disk로 현장에서 측정하였고, 부유물질량, 엽록소-a, 총질소, 총인은 수질오염공정시험법¹⁷⁾에 의하여 조사하였다.

식물성플랑크톤의 채집은 선박을 이용하여 플랑크톤 채집망(Muller gaze, No.25)으로 하였으며, 정량 채집은 수표면의 물 10L를 채수하여 같은 채집망으로 200ml로 농축하여 3~5% 포르말린 용액으로 고정하였다. 시료는 24시간이상 침전시킨 다음, 동정시 잘 혼합하여 광학현미경(Carl Zeiss Jenaval, 1000×)으로 관찰하여 종을 동정한 후 개체수(cells/l)는 Sediwick-Rafter Chamber¹⁸⁾를 이용하여 산정하였다. 분류체계는 Hirose등¹⁹⁾과 Simonsen²⁰⁾의 체계를 따랐고, 한국동식물도감²¹⁾, 한국담수조류도감²²⁾, 일본

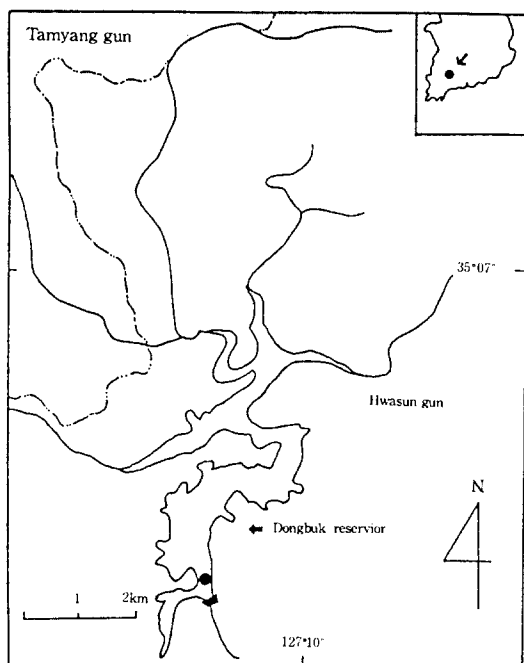


Fig. 1. Sampling site in the Dongbok reservoir.

담수조류도감²³⁾, 수도조류 분류해설²⁴⁾, 일본의 수도생물²⁵⁾을 참고하여 동정분류하였다.

종다양도지수는 Shannon-wiener의 방법²⁶⁾에 의하여 산출하였으며, 우점종은 개체수를 근거로 선정하였으며, 우점도 지수는 Naughton's dominance index²⁷⁾로 산출하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식물성플랑크톤의 계절별 분포

동북호에서 출현한 식물성플랑크톤은 6강 9목 4아목 21과 42속 86종 4변종 1품종으로 총 91분류군이 있었다(Table 1). 각 분류군별로는 녹조류(Chlorophyceae)가 52분류군으로 56.0%를 차지하여 가장 많았고, 규조류(Bacillariophyceae)가 23분류군으로 25.2%, 남조류(Cyanophyceae)가 9분류군으로 10.9%, 유글레나류(Euglenophyceae)가 4분류군으로 4.4%, 와편모조류(Dinophyceae)가 2분류군으로 2.2%, 황색편모조류(Chrysophyceae)가 1분류군으로 1.1%순이었다(Fig. 2.A).

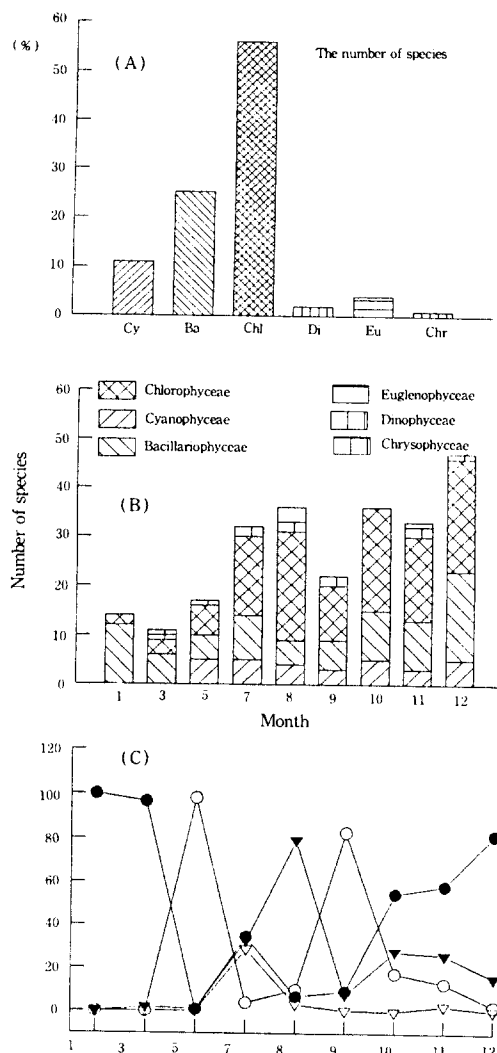


Fig. 2. A composition in the number of species of phytoplankton in the Dongbok reservoir. (A) The percentage of total number of species, (B) The number of species each taxa and month, (C) The monthly variation of number of species
○ Cyanophyceae(Cy),
● Bacillariophyceae(Ba),
▽ Dinophyceae(Di),
▼ Chlorophyceae(Chl), Euglenophyceae (Eu), Chrysophyceae(Chr)

Table 1. The list of the Phytoplankton in the Dongbok reservoir from Jan. to Dec. 1995

Class	Species	Month									
		1	3	5	7	8	9	10	11	12	
Cyanophyceae	<i>Chroococcus minor</i>				-	-		-			
	<i>C. turgidus</i>					-					
	<i>C. sp.</i>				-						
	<i>Microcystis aeruginosa</i>			**	+	+	**	++	-	+	
	<i>M. wesenbergii</i>			+		+	*	++	-	-	
	<i>Anabaena macrospora</i>			+++	-			-	-	-	
	<i>Oscillatoria tenuis</i>									-	
	<i>Phormidium mucicola</i>			++	-		-				
	<i>P. tenue</i>				-					-	
Chrysophyceae	<i>Dinobryon sertularia</i>		+								
Dinophyceae	<i>Ceratium hirundinella</i>				-	-	-		-		
	<i>Peridinium sp.</i>		-	-	+++	+	-		-	-	
Euglenophyceae	<i>Phacus tortus</i>					-					
	<i>P. longicauda</i>					-					
	<i>P. trypanon</i>					-					
	<i>P. sp.</i>						-	-	-		
Chlorophyceae	<i>Eudorina elegans</i>			-	-	++	++		-	-	
	<i>Gleocystis sp.</i>					-	-				
	<i>Sphaerocystis schroeteri</i>			-		++	-				
	<i>Westella botryoides</i>					-				-	
	<i>Golenkinia radiata</i>				-	-		-			
	<i>Micractinium pusillum</i>						-			-	
	<i>Treubaria globosa</i>				-	-		+	-	-	
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>				-	-	+	-	-	-	
	<i>Tetraedron planctonicum</i>	-				-	-	-			
	<i>Kirchneriella contorta</i>					-		+	-		
	<i>K. obesa</i>				-			+			
	<i>K. lunaris</i>									+	
	<i>Oocystis lacustris</i>					-				-	
	<i>O. parva</i>								-		
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>				-	-	-	+		-	
	<i>Selenastrum gracile</i>							+	-	++	
	<i>S. blbralanum</i>									-	
	<i>Pediastrum duplex</i>				-	-		-	-	-	
	<i>P. simplex</i>		-	-	-	-		+	-	-	
	<i>P. tetras</i>							-	-	-	
	<i>Coelastrum cambricum</i>						-	+	-	-	
	<i>C. microporum</i>							-		-	
	<i>C. sp.</i>				-	-		-		-	
	<i>Scenedesmus ecornis</i>					-	-	-	+	-	
	<i>S. quadricuada</i>						-				
	<i>S. q. var. maximus</i>					-	-		-	-	
	<i>S. acuminatus</i>									-	
	<i>S. denticulatus</i>								+	-	
<i>S. ovalternus</i>							+		+		

Class	Species	Month									
		1	3	5	7	8	9	10	11	12	
Chlorophyceae	<i>S. quadrispina</i>										
	<i>S. opoliensis</i>					-					
	<i>S. brasiliensis</i>					-					
	<i>S. bijuga</i>	-		-							
	<i>S. sp.</i>	-		-							
	<i>Arthrodesmus octocornis</i>										-
	<i>A. f. var. mirabilis</i>										-
	<i>Closterium aciculane</i>										-
	<i>C. sp.</i>					-					
	<i>Cosmarium formosulum</i>					-					
	<i>C. punctulatum</i>								-		
	<i>C. portianum</i>								-		
	<i>C. suberenatum</i>									-	
	<i>C. sp.</i>		-		-				-		
	<i>Spondylosium planum</i>		-								
	<i>S. lutkemuleri</i>		-								
	<i>Staurastrum leptocanthum</i>						+				
	<i>S. gracile</i>									-	
	<i>S. gracile var. ornatum</i>						-				
	<i>S. senarium</i>								++		
	<i>S. sebaldi</i>						-				
<i>S. dorsidentiferum var. ornatum</i>							-	+	-		
<i>S. sp.</i>				+					-	-	
Bacillariophyceae	<i>Cyclotella stelligera</i>	-									-
	<i>C. meneghiniana</i>										-
	<i>C. sp.</i>	++	-		-	-		-	-	-	-
	<i>Melosira distans</i>	++	+					+	+++	+	
	<i>M. italica</i>	+									+
	<i>M. granulata</i>	++	-	-	-	-	++	++	+	+	+
	<i>M. g. var. angustissima</i>	+					++	++	-	-	-
	<i>M. g. v. a. f. spiralis</i>	-							-	-	-
	<i>M. solida</i>										*
	<i>M. varians</i>	-									
	<i>Diatoma sp.</i>										-
	<i>Fragilaria crotonensis</i>	+	+	-	++	+				-	-
	<i>Synedra acus</i>	++	*		++	-	++	++	-	+	+
	<i>S. ulna</i>	+							-		-
	<i>Asterionella formosa</i>	**	*	+	-					-	++
	<i>Rhizosolenia eriensis</i>								+	-	
	<i>R. longiseta</i>			-	-		-	+	-	-	-
	<i>Attheya zachariasii</i>				-				-	-	+
	<i>Achnanthes sp.</i>				-	-					
	<i>Cymbella aspera</i>			-							-
	<i>Gyrosigma spencerii</i>										-
<i>Nitzschia actinastroides</i>					-					-	
<i>N. aciculais</i>										-	

** : 2,000이상 * : 500~2,000 +++ : 250~500 ++ : 50~250 + : 10~50 - : 10이하(x 10³ cells/L)

93년 조사¹⁶⁾에서 남조류가 11속 26종류, 녹조류가 30속 73종류, 규조류가 9속 12종류이었는데, 본 연구에서는 남조류와 녹조류가 각각 5속 9종류와 21속 52종류로 감소되었고, 규조류가 12속 23종류로 2배 정도 증가하였다. 이는 94년 이후 계속되는 가뭄으로 이취미 현상이 발생함에 따라 살조제 살포로 인위적인 제어를 가한 점과 가뭄으로 인한 수질변화 등 조사시기의 차이로 생각되나 장기간의 연구결과가 요구된다.

월별 변화로는 1월에서 5월까지 20종류이하, 7, 8, 10, 11월에는 30종류이상 그리고 12월에 47종류로 가장 많은 종이 출현하였다(Fig. 2.B).

분류군별로 규조류는 겨울철인 12월에 18종류로 가장 많았고, 5월과 8월에 각각 5종류로 가장 적었다. 녹조류는 8, 10, 12월에 각각 21종류이상으로 많았고, 1월에 2종류로 가장 적었다. 남조류는 1월에서 3월까지 출현하지 않았고, 이후에는 5종류이하로 지속적으로 출현하였다(Fig. 2.C).

계절에 관계없이 공통으로 출현한 종은 남조류의 *Microcystis aeruginosa* 등 3종류, 규조류의 *Melosira granulata* 등 4종류, 녹조류의 *Eudorina elegans* 등 3종류, 와편모조류의 *Peridinium* sp. 등 1종류로 총 11종류였다.

각 계절에 한정하여 출현한 종은 봄철에 2종류, 여름철에 7종류, 가을철에 4종류, 겨울철에 12종류로 봄철에 가장 적었다.

2. 현존량의 계절변화

조사기간동안 전체의 현존량에서 규조류가 51%로 가장 높은 비율이었으며, 특히 1월과 3월에는 96% 이상으로 압도적으로 높은 비율을 보였으나, 5월에는 0.81%로 매우 낮은 비율을 보였다. 녹조류는 종수에 비해 현존량이 9.8%로 적었으나, 8월에는 79.0%로 많았다. 이는 이 기간동안에 강우로 인하여 저수율이 높아지면서, 새로운 환경에 쉽게 적응이 가능한 친이 단계로 녹조류가 가장 먼저 서식하기 시작했기 때문으로 생각된다. 남조류는 전체적으로 38.9%였으며, 5월과 9월에 각각 82.6%와 98.0%로 가장 높아 주로 환절기인 봄철과 가을철에 활발히 번식하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

주요 종의 현존량 계절변화에서 남조류인 *Microcystis aeruginosa*는 봄부터 겨울까지 지속적으로 나

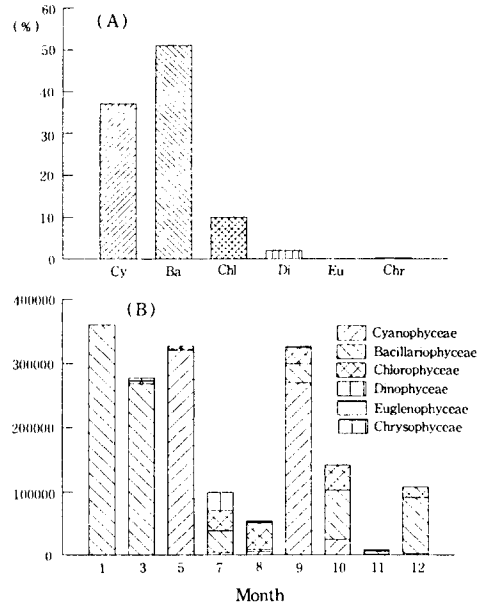


Fig. 3. A composition in the number of individuals of phytoplankton in the Dongbok reservoir
(A) The percentage of total number of individuals
(B) The number of individuals($\times 10$) each taxa and month

타났고, 5월에 262,000($\times 10$)cells/L, 9월에 200,400($\times 10$)cells/L로 급격한 증가를 보였으며, 1월에서 3월까지 출현하지 않았다. *Anabaena macrospora*는 1, 3, 8, 9월에 출현하지 않았고, 5월에 37,364($\times 10$)cells/L로 개체수가 급속한 증가를 보이다가 7, 10, 11월에 100($\times 10$)cells/L 내외였다. 이 종은 5, 10월의 환절기에 주로 출현하지만, 소수의 개체수로서도 곰팡이 냄새를 유발한다²⁵⁾. 규조류인 *Melosira granulata*는 봄, 여름에는 250~750($\times 10$)cells/L로 감소하다가, 가을철인 9, 10월에 각각 10,000($\times 10$)cells/L와 20,000($\times 10$)cells/L로 다시 급격히 증가하였고, *Synedra acus*는 3월에 181,000($\times 10$)cells/L로 가장 높았다가 5월에 급격하게 감소했으며 이후부터는 10,000($\times 10$)cells/L로 비슷하게 유지되었다. *Asterionella formosa*는 1월에 300,000($\times 10$)cells/L, 3월에 83,000($\times 10$)cells/L로 주로 기온이 낮은 겨울철에 높은 현존량을 보였고 기온이 높은 8, 9,

10월에는 출현하지 않았다. *Fragilaria crotonensis*는 7월에 11,050($\times 10$)cells/L로 최고치였고, 그의 달은 3,000($\times 10$)cells/L이하였으며, *Cyclotella* sp.는 연중 소수의 개체수만이 출현하였지만, 1월에 6,000($\times 10$) cells/L, 그외는 250($\times 10$)cells/L이하였다. 녹조류인 *Eudorina elegans*는 9월에 18,250($\times 10$)cells/L로

가장 높은 현존량을 보였고, 8월에는 5,750($\times 10$) cells/L, 5, 7, 11월에 250($\times 10$)cells/L이하, 1, 3, 10월에는 출현하지 않았다. *Pediastrum simplex*는 12월에 1,250($\times 10$)cells/L이 출현하였고 그의 외는 적은 양의 현존량이 있다. 와편모조류인 *Ceratium hirundinella*는 7, 8, 9월에 1,000($\times 10$)cells/L이하로 출현하였고, *Peridinium* sp.는 7월에만 28,300($\times 10$)cells/L로 최고치를 보였고 다른달은 1,000($\times 10$)cells/L이하였다(Fig. 4).

동북호에서는 조류제거를 위해 황산동, 차아염소산 나트륨(클로로칼키), 이산화염소, 황산알루미늄을 조류의 과다발생과 냄새유발 우려시 살포하고 있어 인위적으로 현존량이 조절되기 때문에 우점조류의 현존량은 월별로 급격한 변화를 보이고 있다.

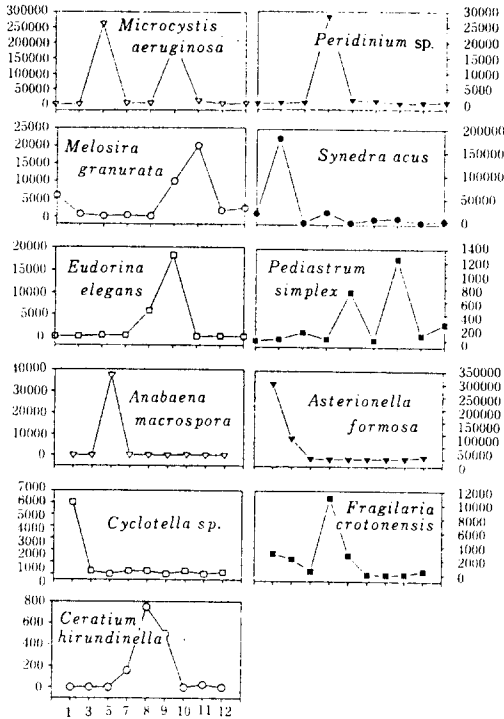


Fig. 4. The monthly variation of the number of individuals($\times 10$) each phytoplankton species

3. 종다양도지수, 우점종 및 우점도지수

종다양도지수는 1~5월까지는 1.09~1.66으로 낮게, 8, 10, 11월에는 3.84~3.99로 높게 나타났으며, 7, 9, 12월에는 각각 2.29, 2.27, 2.67로 나타나 여름철에 접어들면서 종다양성이 높아지는 것으로 파악되었다.

우점종은 계절의 변화에 따라 뚜렷한 차이를 보여, 봄철과 가을철의 5월과 9월에는 남조류의 *Microcystis aeruginosa*, *M. wesenbergii*, *Anabaena* sp. 가 우점하였고, 여름철의 8월에는 녹조류가, 가을과 겨울철의 1, 3, 10~12월에는 규조류의 *Asterionella formosa*, *Synedra acus*, *Melosira*속이 우점하였다.

우점도지수는 봄철에 0.92~0.95, 여름철에 0.51~0.53, 가을철에 0.35~0.51, 겨울철에 0.33~0.89로 가을철에 가장 낮았으며, 봄철에 가장 높게 나타났다.

Table 2. Dominant species, dominant indices(DI) and species diversity indices(H') in the Dongbok reservoir

Month	Species	DI	H'	Month	Species	DI	H'
Jan.	<i>Asterionella formosa</i>	0.89	1.10	Mar.	<i>Asterionella formosa</i>	0.95	1.66
	<i>Synedra acus</i>				<i>Synedra acus</i>		
May.	<i>Anabaena</i> sp.	0.92	1.09	Jul.	<i>Synedra acus</i>	0.51	2.29
	<i>Microcystis aeruginosa</i>				<i>Peridinium</i> sp.		
Aug.	<i>Eudorina elegans</i>	0.53	3.84	Sep.	<i>Microcystis aeruginosa</i>	0.51	2.27
	<i>Sphaerocystis schroeteri</i>				<i>Microcystis wesenbergii</i>		
Oct.	<i>Melosira granulata</i>	0.35	3.99	Nov.	<i>Melosira granulata</i>	0.33	3.97
	<i>Melosira distans</i>				<i>Melosira distans</i>		
Dec.	<i>Asterionella formosa</i>	0.67	2.67				
	<i>Melosira solida</i>						

우점도 지수로 판단할 때 일부 소수의 종에 의해 우점하는 정도가 심하고, 계절의 변화에 따라 제 1우점종의 변화도 크게 나타났다(Table 2).

4. 환경요인 변화와의 관계

4.1 저수량의 변화

최근 3년간 동북호 일원의 강우형태는 '93년의 연간 강우량이 1,372mm였지만, '94년에는 773.4mm만의 비가 내렸고, '95년에도 12월 현재 735mm의 강우로 연평균 강우량의 50%를 밑도는 극심한 가뭄에 시달리고 있으며, 여름철에 집중강우가 내리는 형태를 보이지 않고 있다.

동북호의 저수율은 '93년 8월 27일부터 9월 1일까지 6일간 9,200만톤의 만수위를 기록한 이후 94년 3월 7일 이후 저수율이 50%이하로 떨어진 뒤부터 현재에

이르고 있으며, 특히 '95년에는 4월 12일에는 4% (396만톤)까지 떨어져 극심한 변화를 보였고, 8월 이후 70mm이상의 강우로 9월 9일에 48%, 4,416만톤의 저수량을 최고로 기록한 이래 '95년 12월 현재는 23%, 2,107만톤을 유지하고 있다(Fig. 5).

4.2 수온의 변화

수온의 변화를 보다 정밀하게 파악하기 위해 초여름부터 가을까지 집중조사를 포함하여 총 28회 조사하였다. 그 결과 전체적으로는 2월 4일에 가장 낮은 2.4℃를 기록하였고, 1월말경에는 1~3일 정도 부분적으로 결빙되기도 하였으며, 6월 7일에 28.9℃로 가장 높은 수온을 기록하였다. 1월부터 3월까지는 10℃ 이하였고, 4월과 5월에는 20℃ 이하, 6월부터 10월상순까지는 20℃ 이상을 기록하였으며, 12월에 접어들어 서부터 10℃ 이하로 떨어지기 시작하여, 본 조사기간 동안에는 4월부터 5월말까지 그리고 10월에서 11월 사이에 15~20℃의 수온으로 종에 따라 다소간 차이는 있지만, 규조류는 5~15℃에서 활발한 성장을 하고²⁸⁾, 남조류는 15~25℃, 녹조류는 광범위한 수온에서 서식하는 특성을 가지고 있어²⁵⁾, 식물성플랑크톤의 번식에 용이한 수온을 유지하였다(Fig. 5).

4.3 환경요인별 변화

투명도는 1.2~2.8m로서 6월에 1.2m로 가장 낮았으며, 10월에 2.8m로 가장 높았다. 탁도는 6월에 3.7 NTU로 가장 높았고, 1월에 0.9NTU로 가장 낮았다(Fig. 5).

pH는 7.2에서 8.3으로 약알칼리성이었으며, 조류의 활동이 왕성했던 5~8월에는 8.0이상^{29, 30)}을 기록하였다(Fig. 5).

용존산소량은 6.9~14.6mg/L로 하절기인 7월에 가장 낮은 0.9mg/L였고, 12월에 가장 높았다.

전기전도도는 77.0~105.5us/cm로 1~8월까지는 90us/cm이상, 9~12월에는 90us/cm 이하였다(Fig. 5).

부유물질량은 1.4~5.3mg/L로 여름철에 속하는 6월과 8월에 각각 3.2mg/L와 3.0mg/L였으며, 7월에 5.3mg/L로 가장 높았으며, 10월에 5.0mg/L로 이 기간동안 많은양의 강우가 없었던 것으로 보아 조류의 번식과 밀접한 관계가 있다고 판단된다(Fig. 5).

엽록소-a의 농도는 7.0~29.9 mg/m³으로서 9월에

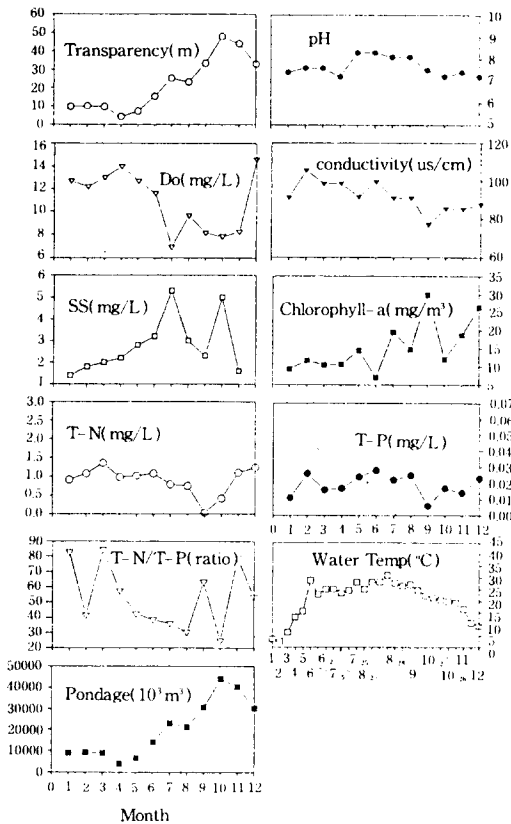


Fig. 5. The variation of water environmental factors in the Dongbok reservoir from Jan. to Dec. 1995

29.9mg/m³와 12월에 26.5mg/m³로 높은 농도를 보였으며, 1월과 6월을 제외하고는 10mg/m³이상을 기록하여 대체적으로 조류의 활동이 왕성하였음을 알 수 있었다(Fig. 5).

4.4 총인, 총질소의 변화

총질소는 0.38~1.84mg/L의 범위였고, 총인은 0.011~0.028mg/L로 김등¹⁶⁾의 조사 때보다 대체로 높은 농도를 나타냈다. 이는 저수량의 감소와 연안부에 자생한 자생식물들이 침수되면서 오염발생원으로 작용한 것으로 추측된다³¹⁾. N/P의 비율은 30.3~84.4의 범위로 김등¹⁶⁾의 조사보다 대체적으로 낮아졌고, 엽록소-a의 농도와 대체적으로 반대성향을 나타냈으며, 총인이 조류성장의 제한요인^{32, 33)}으로 작용하였다(Fig. 5).

4.5 장해성 종의 출현현황

본 연구에서는 착색을 일으키는 종으로 황갈색이나 적갈색을 나타내는 종은 *Melosira granurata*, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa*, *Peridinium* sp., *Ceratium hirundinella*의 5종, 청록색을 나타내는 종은 *Microcystis aeruginosa*, *M. wesenbergi*, *Anabaena macrospora*, *Oscillatoria tenuis*의 4종, 녹색을 일으키는 종은 *Eudorina elegans*, *Golenkinia radiata*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Closterium* sp., *Staurastrum* sp.의 5종이었다²⁵⁾.

이취미 유발종으로 출현한 *Anabaena macrospora*는 지오스민을, 그리고 *Oscillatoria tenuis*, *Phormidium tenue*는 2-MIB를 만들어 곰팡이 냄새의 장애를 일으킨다.

여과지 폐쇄를 일으키는 종으로는 *Asterionella formosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Melosira granurata*, *Synedra acus*, *Fragilaria crotonensis*의 5종으로 모두 규조류에 속하는 종이였다.

곰팡이 냄새를 유발하는 *Anabaena macrospora*는 5월에 37,364(×10)cells/L이 출현하여 냄새를 일으킨바 있는데, 이때의 수온은 15.5℃에서 20℃였고, 총질소가 1.02mg/L, 총인이 0.024mg/L로 총질소/총인 비율이 42.5였다. 이때의 용존산소 농도가 12.7mg/L, pH가 8.3, 엽록소-a의 농도가 14.4mg/m³로 식물성플랑크톤의 번식이 활발했음을 알 수 있다.

또한 *Phormidium tenue*는 7월과 12월에, *Oscillatoria tenuis*는 12월에 소수만이 출현하였고, 이들은 2-MIB의 토취를 유발한다.

*Microcystis aeruginosa*와 *M. wesenbergii*는 5월과 9월에 200,400~262,000(×10)cells/L로 Bloom을 일으켜 수표면에 녹색과 황갈색의 착색을 나타내기도 했으며, *Melosira granurata*는 9, 10월에 높아 암갈색의 색을 나타냈다. 9~10월에는 수온이 27.0~19.3℃였으며, 총질소가 0.42~1.84mg/L, 총인이 0.017~0.023, 총질소/총인의 비율이 24.7~80.0이었다. 9월의 엽록소-a는 29.9mg/m³로 조사기간중 가장 높았으며, pH도 9월에 8.5까지 육박한 바 있다.

IV. 결 론

동북호의 식물성플랑크톤은 6강 9목 4아목 21과 42속 86종 4변종 1품종으로 총 91분류군이 출현하였고, 녹조류가 51분류군으로 전체의 56.0%로 가장 높은 비율이었고, 규조류가 23분류군으로 25.2%, 남조류가 10분류군으로 10.9%로 주요 분류군이었다. 월별로는 12월에 47종류로 가장 풍부하고, 3월에 11종류로 가장 적었다.

현존량 구성비에서는 규조류가 51%로 가장 높은 비율이었으며, 남조류 38.9%, 녹조류 9.8%의 순서였다. 월별로는 남조류가 5월과 9월에 82.6~98.0%로 많았고, 8월에는 녹조류가 79.0%, 규조류는 매월 지속적으로 출현하였으나 특히 겨울철, 가을철에 높게 나타났다.

우점종은 봄철과 가을철에는 *Microcystis aeruginosa*의 남조류가 우점하였고, 여름철에는 녹조류가, 늦가을과 겨울철에는 *Melosira granurata*등의 규조류가 우점하였으며, 우점도 지수는 0.33~0.95로 가을철에 가장 낮았고, 봄철에 가장 높았다. 종다양도 지수는 1.09에서 3.99사이였다.

환경요인으로서 수온이 2.4~28.9℃, pH가 7.2~8.3, 전기전도도가 77.0~105.5us/cm, DO가 6.9~14.6mg/L, 투명도가 1.2~2.8m, 부유물질농도는 1.4~5.3mg/L, 총질소는 0.38~1.84mg/L, 총인은 0.011~0.028mg/L, 엽록소-a의 농도는 7.0~29.9mg/m³이었다. 조류의 성장에 적합한 15~20℃의 수온은 4월과 5월 그리고 10월과 11월 사이였다.

물의 색을 유발하는 종은 14종, 이취미 유발종은 3종,

여과지폐쇄의 원인종은 5종이었으며, 이중 *Anabaens macrospora*는 5월에 출현하여 냄새를 유발하였고, *Microcystis aeruginosa*와 *M. wesenbergii*는 9월과 10월에 bloom을 일으켰다.

참고 문헌

1. Brook, A.J. : Plankton algae as indicators of lake types with special reference to Desmidiaceae, *Limnol. Oceanogr*, 10, 403-411, 1965.
2. Reynolds, C.S. : The ecology of freshwater phytoplankton, Cambridge Univ. Press, Cambridge., p. 384, 1984a.
3. Morris, I. : The physiological ecology of phytoplankton, Blackwell Sci. Pub., p.625, 1980.
4. Watanabe, N.F., Oishi S., Harada K. I, Matsuura K., Kawai H. and Suzuki M. : Toxins contained on *Microcystis* species of Cyanobacterium(blue-green algae), *Toxicon*, 26, 1017-1025, 1988.
5. AWWA : Introduction to water treatment, principles and practices of water supply operations, AWWA, 2, 8-17, 1984.
6. 허우명, 김범철, 조규송 : 소양호 부영양화에 따른 N/P비의 변화와 남조류 Bloom, *한국육수학회지*, 24, 238-288, 1991.
7. 이은주, 조규송 : 소양호 식물성플랑크톤의 연간 변화, *한국육수학회지*, 27(1), 9-22, 1994.
8. 이은주, 조규송, 김범철 : 월간변화로 본 소양호의 플랑크톤상, *한국육수학회지*, 27(4), 349-356, 1994.
9. 김용재, 정준 : 임하호의 식물성플랑크톤 군집 분석, *한국육수학회지*, 26(3), 175-196, 1991a.
10. 김한순, 정준 : 수개의 저수지(창녕군)에 대한 식물성플랑크톤의 생태학적 연구, *한국육수학회지*, 26(3), 203-221, 1991b.
11. 이옥민 : 주암호의 연간('92)식물플랑크톤의 분포 및 현존량의 동태, *한국육수학회지*, 27(4), 327-337, 1994.
12. 최민규, 김백호, 정연태, 위인선 : 주암호 식물성

플랑크톤의 출현과 동태, *한국육수학회지*, 27(1), 79-91, 1994.

13. 최민규, 김백호, 최규철 : 영산강 상류의 담수조류 분포에 관한 연구(1)- 광주지역 상수원을 중심으로-, *대한위생학회지*, 10(1), 45-65, 1995.
14. 주홍규 : 부영양화수 처리에 관한 연구-동북담수를 중심으로-, *제약연구*, 61-74, 1977.
15. 광주직할시 상수도사업본부 : 동북호 상수원수의 수질보전 대책에 관한 조사 연구 보고서, 147-186, 1993.
16. 김진희, 조영관, 최병환, 배석진, 강인숙, 은양, 정미홍, 김애경 : 동북 수원지에 서식하는 담수조류의 생태학적 연구, *수질검사소보*, 2, 3-22, 1993.
17. 환경부 : 수질환경오염시험법, p435, 1991,
18. Standard methods for the examination of water and wastewater, 17th ed, WPG, APHA, AWWA, p.1134,1985.
19. Hirose, H., MAkyama, T.Iriya, K.Imahori, H. Kasaki, K.Tsumura, MHirano and T. Yamajishi : Illustrations of the Japanese freshwater algae, *Uchidarokakuho Publ.*, Tokyo, p. 931, 1981.
20. Simonsen, R. : The diatom system, *Idas on phylogeny, Bacillaria*, 2, 9~71, 1979.
21. 정영호 : 한국동식물도감, 문교부, p.573, 1968.
22. 정준 : 한국담수조류도감, 아카데미출판사, p.496., 1993.
23. 水野壽彦 : 日本淡水藻類圖鑑, 保育社, p.353, 1993.
24. 川北西郎 : 水道藻類分類解説, 日本水道協會, p. 152, 1993.
25. 日本水道協會 : 日本の水道生物, p.271, 1993.
26. Brower, J.E. and J.H.Zar : Field and laboratory for general ecology. Wm. C. Brown Co, 131~196, 1977.
27. Mc'Naughton, S.J. : Relationship among functional properties of California Glassland, *Nsture*, 216, 168-169, 1967.
28. 保尊とし子, 林 信吾, 服部 和夫, 横手 幹彦 : ツオスミンを産する *Anabaena* 屬, 第43回 全國水道研究發表會, p. 675-677, 1992.
29. Reynolds, C.S. : Phytoplankton periodicity :

- Interactions of function and environmental variability, *Freshwat. Bio.*, 14, 111-142, 1984b.
30. Wetzel, R.G. : *Limnology*. 2nd ed. Saunders Coll. Publ., New York, p.767, 1983.
31. 조영관 : 수원지 자생식물이 침수시 상수원 수질에 미치는 영향, *수질검사소보*, 4, 6~18, 1995.
32. Schindler, D.W. : Evolution of phosphorus limitation in lakes, *Science* 21, 26-262, 1977.
33. Hecky, R.E. and P.Kilham : Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment, *Limnol. Oceanogr.*, 29, 379-386, 1988.