

남매지의 수환경 요인과 식물플랑크톤의 계절적인 변동

김 미 경* · 박 정 원 · 이 영 옥¹

(영남대학교 해양과학연구소, ¹대구대학교 생물학과)

Seasonal Variations of Water Environment Factors and Phytoplankton in Nammae Reservoir. Kim, Mi-Kyung*, Jung-Won Park and Yung-Ok Lee¹ (Marine Science Research Center, Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea, ¹Department of Biology, Daegu University, Gyongsan 712-714, Korea)

This study was evaluated about the seasonal variations of ecosystem in Nammae Reservoir based on the interrelation of physico-chemical characteristics, nutrients, chlorophyll *a*, *b*, *c* and standing crops of phytoplanktons. The amounts of chlorophyll *a*, *b*, *c* were respectively maximum (295 mg/l, 9.5 mg/l and 48 mg/l) at station 1 in June and the standing crop of phytoplanktons was the highest (1.7×10^5 cells/l) at stations 3 in July. The range of temperature was 7~37.4°C. The maximum of pH was 9.9~10.1 at all stations in August, the minimum was 7 in September. SS was maximum (308 mg/l) at station 1 in June, while it was minimum (4 mg/l) at the same station in November. The maximal COD and DOC were 33 mg/l and 16 mg/l respectively at station 1 in June. As for phytoplanktons, *Microcystis aeruginosa*, blue-green alga in July~August, *Scenedesmus acutus*, green alga in March~May and November~January and *Cyclotella orientalis*, Diatoms in October were dominant species. The amounts of P and Si were generally high in summer, they were low in autumn and winter. Nammae Reservoir assessed by trophic state index was eutrophicated and overeutrophicated. These results indicated that Nammae Reservoir was faced with heavy water pollution. As preceding management for the basin of the Reservoir, it will have to be continually studied for an ecosystem reservation.

Key words : Nammae Reservoir, physico-chemical characteristics, phytoplanktons, eutrophication

서 론

남매지는 1928년부터 경상북도 경산시에서 사용하는 농업용 저수지로써 면적은 $1,289 \times 10^3$ m², 저수량은 $1,180 \times 10^3$ m³ 규모로 최근까지 시민의 휴양시설과 낚시터로도 개방되었으나 날로 수질오염이 가중되어 낚시금지구역으로 지정하였고, 저수지의 생태계 복원을 위해 시에서 정책적으로 많은 관심을 가지고 있는 저수지 중의 하나이다.

남매지에 인접해 있는 저수지인 삼천지에 대한 생태학적 연구는 많이 수행된 바가 있으나(이 등, 1992, 1994; 최, 1994; 이 등, 1998), 삼천지보다 저수량이 크고 농업용수로써 비중이 더 높은 남매지에 대한 연구는 전무한 상태이다.

남매지 주변에는 교육 시설이 증가되고 있고, 강우가 집중되는 우기를 제외하고는 장기간 정체수역을 형성하여 수질 보전의 중요성이 더욱 절실한 시점에 있다.

경산시의 주요 저수지인 남매지가 낚시 금지구역으로 지정된 직후부터 시작한 본 연구는 계절에 따른 물리·

* Corresponding author: Tel: 053) 810-3863, Fax: 053) 810-3083, E-mail: mkkim@yu.ac.kr

화학적인 특성과 식물플랑크톤의 계절적인 동태를 밝히고, 보호구역으로 설정된 이후, 수질 개선책을 마련하기 위한 기초자료로 이용하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 및 조사방법

영남대학교의 기숙사 인접지점을 정점 1(북부동), 경상고등학교의 생활오수가 유입되는 지점을 정점 2(계양동)로 하였고, 유출부는 농업용수의 수량을 조절하는 수문 부근을 정점 3(중방동)으로 하여 총 3개 정점에서 시료를 채수하였다(Fig. 1). 조사 기간은 2000년 3월부터 2001년 2월이었고 매월 1회 실시하였다.

현장에서 시료의 수온, pH를 측정하였고, 부유물질(SS), COD, DOC, 질산염, 아질산염, 암모늄염, 인산염 및 규산염 등 이화학적 환경요인과 식물플랑크톤의 엽록소 *a, b, c* 농도와 현존량의 상호관계를 분석하였다.

수온은 전도온도계(Watanabe keike mfg. Co.), pH는 pH meter(Toledo AG, CH-8603, Mettler)를 사용하였고, COD는 망간법으로 분석하였다(APHA, 1995). DOC는

현장에서 GF/F에 여과한 후, Shimadzu TOC 5000-A 분석기를 이용하여 측정하였다. 부유물질은 GF/C에 일정량의 시료를 통과시켜 여과 전후의 무게 차이로 계산하였다.

영양염류는 암모늄(NH₄-N), 질산염(NO₃-N), 아질산염(NO₂-N), 인산염(PO₄-P) 및 규산염(SiO₂-Si)을 분석하였다(APHA, 1995). 현장에서 일정량의 시료를 막 여과지(pore size: 0.45 μm, Millipore)에 여과시킨 후, 여과된 시료를 자동 분석기(TRAACS 2000, Bran+Luebbe)를 이용하여 분석하였다. 아질산염은 sulfanilamide와 N-1-naphthyethylene-diaminedihydrochloride로 발색시켜 550 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 질산염은 카드뮴 칼럼(Cd column)을 이용하여 아질산염으로 환원시켜 아질산염과 동일하게 측정하였다. 암모늄은 페놀을 첨가한 후, 암모늄을 고정시킨 후에 nitroprusside 용액을 촉매로 indophenol을 발색시켜 630 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 인산염은 암모늄 몰리브데이트 발색법을 이용하여 880 nm 파장에서 측정하였다. 규산염은 시료를 ammonium paramolybdate와 반응시켜 silicomolybdate를 형성시킨 후, 과포화된 oxalic acid를 이용하여 발색시켰고, 630 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다.

광합성색소(chlorophyll *a, b, c*)는 Murphy and Riley (1962)의 방법을 Strickland and Parson (1972)이 실용화한 방법을 이용해 분석하였다. 광합성색소를 측정하기 위한 시료는 일정량의 시료를 GF/C 여과지로 여과하였고, 색소의 산화방지를 위해 MgCO₃로 전처리하여 분석하였다. 시료는 90% acetone 처리 후, 암소에서 24시간 동안 방치하였고, 4,000 rpm (Rotina 48R, Hettich)으로 20분간 원심분리 한 후, 침전시킨 색소를 추출하여 spectrophotometer (Cary 50 Cons, Varian)로 측정하였다. 광합성 색소량은 Jeffrey (1976)식에 의해 산출하였다.

$$\text{Chlorophyll } a = 11.85 E_{664} - 1.54 E_{647} - 0.08 E_{630}$$

$$\text{Chlorophyll } b = 21.03 E_{647} - 5.43 E_{664} - 2.66 E_{630}$$

$$\text{Chlorophyll } c = 24.52 E_{630} - 1.67 E_{664} - 7.60 E_{647}$$

TSI (Trophic state index)는 엽록소 *a*의 농도(mg/l)를 이용하여 Carlson (1977)의 판정 기준에 따랐다.

$$\text{TSI (Chl } a) = 10 \times \left(6 - \frac{2.04 - (0.68 \ln \text{chl-} a)}{\ln 2} \right)$$

식물플랑크톤의 현존량은 1 L용 폴리에틸렌 용기로 채집한 시료를 Lugol's 용액으로 고정 한 후, 실험실에서 48~72시간 침전시켜 50 ml로 농축하였고, 잘 혼합한



Fig. 1. Map showing the sampling stations in Nammae Reservoir.

후, 1 ml를 Sedgwick-Rafter chamber에 골고루 분산시켜 단위 부피당 세포수(cells/ml)를 현존량으로 계산하였다. 출현종은 광학현미경 400~1,000배 하에서 묘화장치로 스케치하였고, 필요에 따라서는 현미경사진을 촬영하여 동정하였다(Nikon Labophot, Nikon). 종의 동정 및 분류는 Prescott (1962), Komarek and Fott (1983), 정 (1993) 등의 주요 도감 및 문헌을 참고하였다.

2. 상관분석

남매지의 환경인자의 상호 관련성을 파악하기 위해 Spearman rank correlation coefficient를 사용하였다. 이 방법은 환경인자의 시·공간적 변화량을 등위화하여 각 인자간의 상관계수(r_s)를 구하고 그 유의성을 결정하는 방법으로 통계프로그램 SPSS v. 10.0에 의해 계산되었다.

$$r_s = 1 - \frac{6\sum Di^2}{n(n^2 - 1)}$$

여기서 Di 는 두 인자 등위화된 수치의 차이이며, n 은 등위화된 수치의 갯수이다. 유의성 검정은 $p=0.05$ 수준에서 판정하였다(정 등, 2001).

결과 및 고찰

1. 물리적 특징

남매지의 수온은 정점 2에서 7월에 37.4°C로서 최고값을 나타냈고, 정점 3에서 12월에 7°C로 가장 낮게 나타났다. 정점 1이 다른 두 정점보다 3~8월동안 수온이 전반적으로 1~4°C 범위에서 낮았으나, 11~2월동안은 다른 정점에 비해 1.5~7.5°C나 높아 수온의 변화가 비교적 큰 지점이었다. 생활 오·폐수가 대부분인 유입수는 정점 2로 유입되어 수역의 정체현상과 7월에 증가된 일사량으로 최고온도를 나타내는 것으로 사료된다. 반면에 정점 3은 유출구 부근으로서 수심이 깊고, 수류의 배

Table 1. Monthly variations of physico-chemical parameters and photosynthetic pigments in Nammae Reservoir.

Months	Water temperature			pH			COD (mg/l)			TC (mg/l)			DOC (mg/l)		
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3
2000. 3	22.1	24.4	24.5	7.4	7.5	7.5	7.2	7.2	6.1	29.7	29.0	29.3	6.8	6.2	6.3
4	20.9	21.0	20.3	7.4	7.4	7.6	6.9	12.2	11.4	30.8	32.8	27.6	9.4	8.5	6.5
5	26.5	28.5	28.0	7.5	7.6	7.5	13.3	13.7	12.2	27.6	28.9	25.7	12.0	10.1	8.9
6	27.5	31.9	32.5	7.0	7.3	7.3	33.1	11.8	16.4	30.7	24.7	24.6	15.6	10.5	10.9
7	33.5	37.4	36.0	8.1	7.5	7.5	22.5	26.7	27.8	17.9	23.6	21.0	7.4	9.5	8.4
8	31.5	34.5	35.0	10.1	9.9	10.2	18.3	15.2	14.5	20.2	21.5	21.1	8.9	10.3	10.0
9	28.0	27.0	28.0	6.9	7.0	7.1	11.1	8.0	6.9	23.7	24.5	27.2	5.5	5.2	9.5
10	21.5	20.5	23.5	7.4	7.5	7.5	8.4	9.1	7.2	28.2	27.7	27.3	5.4	5.2	4.8
11	18.0	16.0	17.5	7.3	7.3	7.3	7.6	5.7	6.1	28.3	27.6	27.6	4.9	4.9	4.7
12	13.5	8.8	7.0	7.4	7.3	7.3	5.0	7.2	8.4	30.1	32.2	29.7	3.8	4.8	4.8
2001. 1	14.5	12.5	12.0	7.4	7.6	7.5	5.3	7.6	7.6	34.0	35.8	33.6	3.6	3.4	3.3
2	19.0	15.0	11.5	7.6	7.5	7.6	6.1	14.1	5.7	34.6	34.2	34.1	3.3	3.7	3.6

Months	SS (mg/l)			Chl a (mg/l)			Chl b (mg/l)			Chl c (mg/l)		
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3
2000. 3	11.5	10.9	11.1	0.5	0.2	0.2	1.2	0.3	0.1	0.5	0.6	0.6
4	12.1	19.8	13.4	0.5	11.7	1.0	0.4	1.3	0.2	2.3	2.8	0.5
5	26.6	33.4	28.6	2.9	6.2	9.1	0.1	0.1	0.2	2.2	0.6	0.7
6	307.7	32.4	26.4	294.8	24.6	33.0	9.5	7.0	5.3	47.5	8.3	7.7
7	42.6	98.7	116.2	85.7	134.9	148.8	4.7	5.6	5.4	5.9	6.6	7.4
8	17.4	16.8	19.4	9.1	5.5	9.9	4.6	4.6	4.8	6.1	5.8	6.1
9	16.8	15.5	13.1	5.3	4.6	5.1	4.5	4.6	4.8	5.9	5.8	6.0
10	14.0	22.1	25.5	3.7	11.3	12.6	4.3	4.3	3.7	5.5	6.3	5.9
11	5.2	13.5	15.0	4.6	4.7	4.8	4.2	4.2	4.0	5.4	5.4	5.6
12	8.1	6.9	6.9	4.2	3.8	3.7	4.1	4.0	4.1	5.3	5.2	5.2
2001. 1	8.8	16.7	21.2	3.7	3.9	7.0	5.3	4.4	8.2	5.0	5.4	11.5
2	3.5	10.4	16.2	4.4	4.2	4.2	5.2	4.3	5.0	6.8	5.5	5.5

COD: chemical oxygen demand; TC: total carbon; DOC: dissolved organic carbon; SS: suspended solids; Chl: chlorophyll.

출이 잦아 물이 정체하는 시간이 짧은 관계로 12월에 다른 두 정점(정점 1: 13.5°C; 정점 2: 8.8°C)에 비해 비교적 낮은 수온을 보였다(Table 1).

pH는 정점 1에서 6월~7월에 6.9~7.0 범위로 낮았고, 정점 2, 3은 6월에 각각 7.3을 나타냄으로 중성에 가까웠다. 반면에 8월에는 모든 정점에서 연중 최고값을 나타냈으며(정점 1 = 10.1; 정점 2 = 9.9; 정점 3 = 10.2) 알칼리성을 보였다(Table 1). 이는 8월에 남조류 *Microcystis aeruginosa*의 대발생(Table 4)에 의한 활발한 광합성의 영향으로 볼 수 있었다.

SS는 정점 1과 정점 2, 3에서 2월에 각각 3.5 mg/l, 6.9 mg/l로서 최소값을 보였다. 반면에 정점 1에서 6월에는 최고값이 307.7 mg/l이었고, 동일 기간에 정점 2와 3은 각각 32.4 mg/l과 26.4 mg/l으로서 정점 1이 9~11배나 높았다. 이는 6월에 정점 1에 생활 오·폐수 유입으로 인한 부영양화 현상으로 식물플랑크톤의 대량 발생에 기인된다고 본다(Table 1 and 4).

2. 화학적 특징

화학적 산소요구량은 정점 2와 3에서 7월에 각각 26.7 mg/l와 27.8 mg/l이었으나 정점 1에서는 6월에 33.14 mg/l로서 최고치를 나타냈다. 최저 농도는 정점1에서 12월에 5.0 mg/l이었고, 정점 2와 3은 11월에 각각 5.7 mg/l와 6.1 mg/l으로 가장 낮았다(Table 1).

용존유기탄소는 정점 1, 2 및 3에서 6월에 각각 15.6 mg/l, 10.5 mg/l과 10.9 mg/l로서 높았고, 정점 1과 3은 2월에 각각 3.3 mg/l, 3.6 mg/l로서 가장 낮은 농도를 나타냈으나, 정점 2는 1월에 3.4 mg/l로 가장 낮았다(Table 1).

질산염(NO₃-N)은 정점 1, 2와 3에서 각각 9월(5,403 µg/l)과 1월(5,388 µg/l)에 최고 농도를 나타냈다. 최소 농도는 정점 1과 3에서 7월에 각각 19.8 µg/l와 49.7 µg/l이었고, 정점 2는 6월에 220 µg/l로 최저치를 나타냈다.

아질산염(NO₂-N)은 모든 정점이 7월에 최소값을 나타냈는데 정점 1과 2에서 각각 4.1 µg/l와 4.9 µg/l이었고,

Table 2. Monthly variations of nutrients and trophic state index (TSI) in Nammae Reservoir.

Months	NH ₄ -N(µg/l)			NO ₃ -N(µg/l)			NO ₂ -N(µg/l)			DIN(µg/l)		
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3
2000. 3	1,373	1,612.1	1,181.6	5,321.3	5,346.8	5,353.5	62.4	31.5	23.5	6,760.0	6,990.4	6,558.5
4	1,596	5,493.2	838.5	5,266.7	3,765.2	5,279.5	34.7	6.9	32.3	6,897.5	9,265.3	6,150.3
5	*	*	*	3,598.9	3,112.0	3,157.1	331.8	293.7	373.5	3,654.1	3,102.1	3,276.1
6	*	*	726.0	321.1	220.0	194.9	171.2	250.1	277.0	175.7	153.5	1,197.9
7	3,153	5,485.7	5,484.9	19.8	382.1	49.7	4.1	4.9	9.7	3,177.0	5,872.7	5,544.3
8	3,804	1,935.9	3,763.9	5,248.4	5,332.7	5,274.4	70.0	15.3	34.9	9,122.7	7,283.9	9,073.3
9	114	72.6	82.8	5,402.6	5,387.9	5,208.7	23.8	31.9	158.0	5,540.3	5,492.4	5,449.6
10	743	1,779.8	530.5	3,625.5	3,539.4	4,998.6	1,263.9	1,315.3	243.3	5,632.2	6,634.5	5,772.4
11	109	97.6	121.6	5,361.6	5,250.4	5,349.9	33.9	107.9	37.4	5,504.1	5,455.9	5,508.9
12	68	3,506.1	3,372.4	5,324.2	4,613.1	4,663.1	52.0	464.5	409.9	5,443.9	8,583.6	8,445.4
2001. 1	3,220	1,734.0	571.2	5,150.7	5,248.9	5,371.9	52.2	86.8	16.3	8,423.0	7,069.7	5,959.4
2	2,417	2,162.0	2,249.0	5,200.5	5,090.0	5,079.7	49.3	132.7	146.8	7,666.5	7,384.7	7,475.5

Months	SiO ₂ -Si (µg/l)			PO ₄ -P (µg/l)			TSI (Chl-a)		
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3	St.1	St. 2	St. 3
2000. 3	*	*	*	21.3	12.7	24.2	23.0	16.6	16.6
4	*	*	*	397.6	2,063.6	54.3	23.2	54.7	30.1
5	108.9	129.7	130.8	551.7	514.7	1,089.1	40.9	48.5	52.3
6	505.1	491.5	264.8	485.5	377.3	6,225.2	86.4	62.0	64.9
7	903.8	660.7	902.3	792.8	2,913.0	2,170.5	74.2	78.7	79.6
8	1,082.2	1,160.5	986.0	135.6	26.4	284.1	52.2	47.4	53.0
9	901.7	1,149.2	1,147.0	646.6	143.4	91.5	46.8	45.5	46.6
10	*	*	*	27.5	21.2	11.5	43.3	54.4	55.4
11	*	*	*	36.7	53.9	2.1	45.6	45.7	45.9
12	*	*	*	40.6	484.2	85.3	44.6	43.7	43.5
2001. 1	7.7	59.8	35.8	8.0	42.0	450.2	43.4	43.8	49.7
2	116.8	111.2	65.6	138.4	9.5	77.4	45.2	44.6	44.5

*: less than 0.1 µg/l.

DIN: dissolved inorganic nitrogen; TSI calculated by the amounts of chlorophyll a(Carlson, 1977).

정점 3은 9.7 $\mu\text{g/l}$ 이었다 (Table 2). 반면에 최고값은 정점 1과 2에서 10월에 각각 1,264 $\mu\text{g/l}$ 과 1,315 $\mu\text{g/l}$ 이었고, 정점 3은 12월에 410 $\mu\text{g/l}$ 이었다. 다른 정점에 비해 정점 3은 비교적 낮았다 (Table 1). 10월과 12월에 아질산염이 질산염보다 높게 나타난 것은 수계에서 높은 암모늄의 농도가 탈질화과정에서 아질산염으로 전환된 것으로 사료된다.

암모늄염 ($\text{NH}_4\text{-N}$)은 정점 2에서 4월에 5,493 $\mu\text{g/l}$, 정점 3은 7월에 5,485 $\mu\text{g/l}$ 로 최고 농도를 나타냈다 (Table 2). 반면에 정점 1에서는 8월에 3,804 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높았으나 정점 2와 3에 비하면 농도가 훨씬 낮았고, 이는 6월에 형성된 식물플랑크톤의 성장에 암모늄염의 많은 양이 흡수 이용된 것으로 사료된다. 반면에 정점 1과 2에서 5월과 6월에, 정점 3은 5월에 암모늄성 질소의 농도가 거의 고갈되었다.

인산염 ($\text{PO}_4\text{-P}$)은 정점 2와 3에서 각각 7월 (2,913 $\mu\text{g/l}$)과 6월 (6,225 $\mu\text{g/l}$)에 최고 농도를 나타냈고, 정점 1은 7월에 793 $\mu\text{g/l}$ 로 최고 농도였으나 정점 2와 3에 비해 월등히 낮은 농도였다. 최저 농도는 정점 1에서 1월에 7.99 $\mu\text{g/l}$, 정점 2에서 2월에 9.49 $\mu\text{g/l}$ 의 농도이었고, 정점 3은 11월에 2.07 $\mu\text{g/l}$ 이었다 (Table 2).

규산염 ($\text{SiO}_2\text{-Si}$)의 최고 농도는 정점 1과 2에서 8월에 각각 1,082 $\mu\text{g/l}$ 와 1,161 $\mu\text{g/l}$ 이었고, 정점 3은 9월에 1,147 $\mu\text{g/l}$ 를 나타냈다. 반면에, 3월~4월과 10월~12월

기간에는 규소의 결핍현상이 나타났다 (Table 2). 이는 봄과 가을~겨울 (Table 4)에 규조류의 현존량이 증가하였기 때문으로 수중에서 식물플랑크톤 생물량 증가에 의해 규소가 고갈된 것으로 사료된다.

3. 생물학적 특징

엽록소 *a*, *b* 및 *c*의 농도는 전 정점에서 6월과 7월에 월등히 높았다. 이는 이 시기에 식물플랑크톤이 대량 발생하였음을 시사한다. 엽록소 *a*는 정점 1에서 6월에 294.8 mg/l 로 가장 높았고, 정점 2와 3에서는 7월에 각각 134.9 mg/l 와 148.8 mg/l 로 가장 높은 농도를 나타냈다 (Table 2). 엽록소 *b*와 *c*농도는 정점 1에서 6월에 최고치가 각각 9.5 mg/l 와 47.5 mg/l 이었고, 정점 2는 각각 7.0 mg/l 과 8.3 mg/l , 정점 3은 7월에 엽록소 *b*가 5.4 mg/l , 엽록소 *c*는 6월에 7.7 mg/l 로써 가장 높았다. 정점 1에서 엽록소 *c*가 다른 정점보다 월등히 높은 이유는 이 시기에 엽록소 *c*를 상대적으로 다량 함유한 규조류의 현존량이 증가된 결과와 일치하였다 (Fig. 2). 반면에, 봄에 비교적 엽록소의 농도가 낮게 나타났다. 엽록소 *a*는 모든 정점에서 3월에 가장 낮은 농도범위 (0.2~0.5 mg/l)를 나타냈고, 엽록소 *b*와 *c*는 정점 1에서 5월에 각각 0.1 mg/l 과 2.2 mg/l 이었고, 정점 2는 5월에 엽록소 *b*가 0.1 mg/l , 엽록소 *c*는 3월에 0.6 mg/l 로서 최저값을 나타냈다. 여름의 식물플랑크톤 현존량에 비해 엽록소의

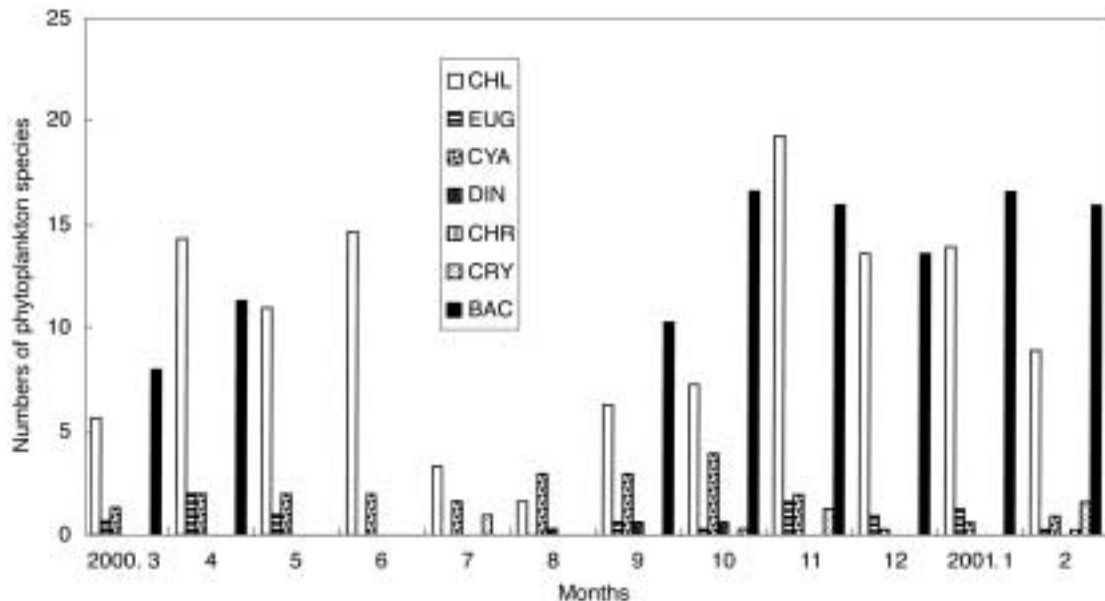


Fig. 2. Seasonal variations of phytoplankton species composition from each station in Nammae Reservoir. CHL.: Chlorophyceae; EUG.: Euglenophyceae; CYA.: Cyanophyceae; DIN.: Dinophyceae; CHR.: Chrysophyceae; CRY.: Cryptophyceae; BAC.: Bacillariophyceae.

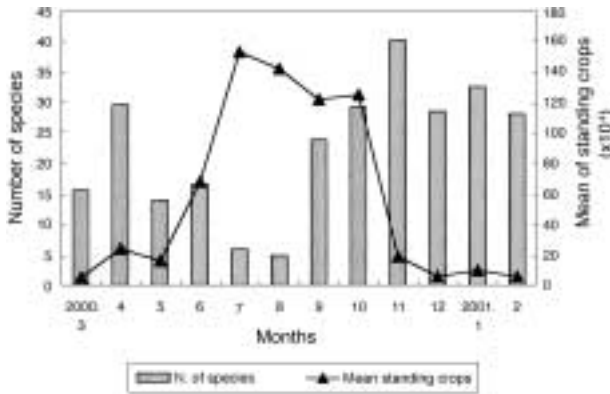


Fig. 3. Seasonal variations of mean standing crops of phytoplanktons according to stations in Nammae Reservoir.

농도가 전반적으로 낮게 나타났는데 이는 6월의 엽록소가 최대치를 나타낸 후, 장마 또는 8월에 집중 호우(기상청, 2000, 2001)로 인해 세포 밀도가 낮아졌기 때문인 것으로 사료된다.

4. 식물플랑크톤 현존량의 계절적인 변동

남매지의 총 출현종은 53속 126분류군이었고, 규조류가 19속 59분류군(46.8%)으로 가장 많았고, 녹조류는 25속 53분류군(42%)으로, 남조류는 4속 5분류군(4%)으로, 유글레나조류는 2속 4분류군(3.2%)으로, 은편모조류는 1속 3분류군(2.4%)으로, 황갈조류와 외편모조류는 각각 1속 1분류군(0.8%)을 나타냈다.

식물플랑크톤의 월별 출현종 수는 봄~여름에 적었고, 가을~겨울에 많았다(Fig. 2). 모든 정점에서 11월에 출현종 수가 39~41종으로 가장 풍부하였고, 정점 2에서 8월에 3종으로 빈약하였다.

남매지의 월별 식물플랑크톤의 천이 양상은 가을~봄에는 규조류와 녹조류가 대부분을 차지하였고, 여름에는 녹조류와 남조류가 우점하였다(Figs. 2, 3).

현존량은 종 수와는 반대로 여름인 7월과 8월에 최대 밀도를 보였다. 정점 1과 3은 7월에 개체수가 각각 144,400 cells/ml와 169,300 cells/ml이었고, 정점 2는 8월에 169,300 cells/ml이었다. 정점 1에서 2월에 4,400 cells/ml, 정점 2와 3은 3월에 각각 4,200 cells/ml, 3,760 cells/ml이므로 밀도가 가장 낮았다(Fig. 3). 종 수와 현존량의 반비례 관계는 식물플랑크톤의 다양도(Shannon-Weaver, 1963)와 우점도(Simpson, 1949)간의 역관계와 일치하였다.

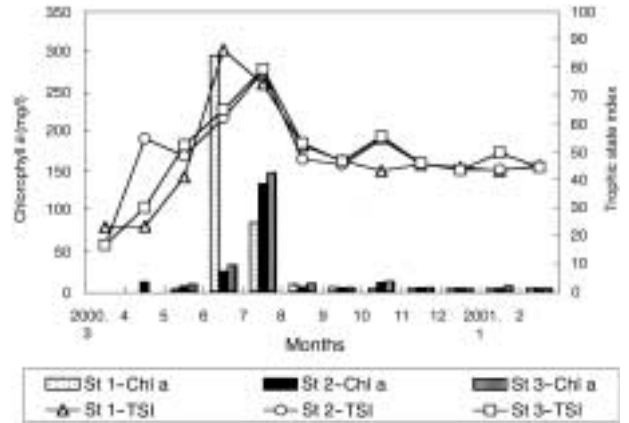


Fig. 4. Seasonal changes of the amounts of chlorophyll a concentration and trophic state index (TSI) in Nammae Reservoir.

5. 환경 요인과 식물플랑크톤의 현존량

pH가 가장 높은 여름기간에 현존량이 높았고, SS는 정점 1에서 6월에 가장 높게 나타났다. 이 시기에 남매지는 폭염으로 수표면의 증발량이 극심하였고, 일조시간이 최고 13 hr(기상청, 2000, 2001)로서 저수지 주변 토양과 수초가 메말라 있었다. 이때, COD와 DOC도 SS와 같이 정점 1에서 6월에 가장 높았고, 정점 2와 3은 7월에 높았는데 이 시기에 식물플랑크톤의 증가가 주된 원인으로 작용하였다.

엽록소 a의 농도를 이용한 Carlson(1977)의 부영양화 지수(TSI: Trophic state index)에 의하면, 6월~7월과 8월에 TSI가 비교적 높아(최고: 86.4; 최저: 47.4) 부영양 상태를 나타냈고, 4~5월에 정점 2와 3에서 각각 54.7, 53.3으로서 높았다(Fig. 4). 특히 6월에서 9월까지 남조류 *Microcystis aeruginosa*가 우점종을 이루었는데, 고광, 고수온의 계절적인 원인으로 사료된다.

6. Spearman rank에 의한 환경요인의 상관관계

Spearman rank (r_s) (Table 3)에 의하면 질산염과 규산염이 암모늄염, 아질산염과 인산염보다 식물플랑크톤의 엽록소 a와의 유의성이 훨씬 높게 나타났다. 즉 질산염은 엽록소 a와 “음”의 상관관계가 있는 반면에 규산염은 “양”의 상관관계가 있었다. 엽록소 a는 수온, COD, DOC, SS와 “양”의 상관관계에 있고, TC와 “음”의 상관관계로 유의성이 있었다.

결론적으로 환경요인과 TSI 기준에 의하면, 남매지는 겨울을 제외하고 전 지역이 부영양화내지 과영양화 상

Table 3. Coefficients of Spearman rank (r_s) and probabilities among physico-chemical elements in Nammae Reservoir.

r_s	Temp.	pH	COD	TC	DOC	SS	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>c</i>	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
Temp.		0.217	0.793	-0.932	0.862	0.743	0.725	0.158	0.247	0.032	-0.287	-0.259	0.396	0.715
pH	N.S.		0.406	-0.056	0.077	0.172	0.133	-0.014	0.126	0.615	-0.217	-0.378	-0.014	0.297
COD	**	N.S.		-0.677	0.801	0.727	0.698	0.286	0.401	0.275	-0.642	-0.166	0.713	0.724
TC	**	N.S.	*		-0.783	-0.656	-0.755	-0.140	-0.228	0.035	0.252	0.126	-0.364	-0.689
DOC	**	N.S.	**	**		0.719	0.601	-0.070	0.042	-0.091	-0.434	-0.077	0.587	0.537
SS	**	N.S.	**	*	**		0.916	0.319	0.476	-0.088	-0.653	0.028	0.533	0.517
Chl <i>a</i>	**	N.S.	**	**	*	**		0.469	0.620	-0.021	-0.615	0.084	0.476	0.609
Chl <i>b</i>	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		0.956	0.175	-0.175	-0.133	0.315	0.508
Chl <i>c</i>	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	**		0.249	-0.305	-0.067	0.329	0.559
NH ₄ -N	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		-0.175	-0.594	0.105	0.058
NO ₃ -N	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.	*	*	N.S.	N.S.	N.S.		-0.224	-0.657	-0.131
NO ₂ -N	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.		-0.112	-0.131
PO ₄ -P	N.S.	N.S.	**	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.		0.464
SiO ₂ -Si	**	N.S.	**	*	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	

** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$; N = 12;
 N.S.: non significance; r_s : Spearman rank correlation coefficient;
 N. of St.: number of standing crops

Table 4. Species and standing crops of phytoplanktons observed in Nammae Reservoir. Numeric numbers: sampling months; ○ : Individual number of 1,000 ~ 10,000 cells/ml; ◎ : individual number of 10,001 ~ 35,000 cells/ml; ● : Individual number of 50,001 ~ 200,000 cells/ml.

Species names	Stations			Species names	Stations		
	1	2	3		1	2	3
Chlorophyceae				<i>Pediastrum boryanum</i>			
<i>Actinastrum hantzschii</i>				<i>P. boryanum</i> var. <i>longicorne</i>			
<i>Carteria cordiformis</i>				<i>P. duplex</i>			
<i>Chlamydomonas globosa</i>				<i>P. simplex</i>			
<i>Chlorella vulgaris</i>	4+○	4+○		<i>P. simplex</i> var. <i>echinularum</i>			
<i>Closteriopsis longissima</i>				<i>P. simplex</i> var. <i>sturmii</i>			
<i>Coelastrum astroideum</i>				<i>P. tetras</i>			
<i>C. microporum</i>		6+○	6+○	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>			
<i>C. reticulatum</i> var. <i>cubanum</i>				<i>Scenedesmus acuminatus</i>			
<i>Cosmarium formosulum</i>		4+○	4+○	<i>S. acutus</i>	4+○	4+◎	
var. <i>mesochondrium</i>		5+○	5+○	<i>S. bicaudatus</i>			
<i>C. laeve</i>				<i>S. denticulatus</i> var. <i>linearis</i>			
<i>Crucigeniella apiculata</i>	6+○	6+○	6+◎	<i>S. dispar</i>			
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>				<i>S. ecornis</i>			
<i>Elakatothrix gelatinosa</i>				<i>S. ovalternus</i>	11+○		11+○
<i>Eudorina unicocca</i>				<i>S. quadricauda</i>			4+○
<i>Franceia ovalis</i>				<i>S. spinosus</i>			3+○
<i>Lagerheimia ciliata</i>	6+○		6+○		4+○		4+○
<i>Monoraphidium arcuatum</i>						5+○	
<i>M. contortum</i>					11+○		11+○
<i>M. griffithi</i>		2+○			12+○	12+○	12+○
<i>M. indicum</i>					1+○	1+○	1+○
<i>M. komarkovae</i>				<i>Schroederia setigera</i>			
<i>Oocystis lacustris</i>			4+○	<i>Sphaerocystis schroeteri</i>			
		5+○		<i>Staurostrum gracilis</i> f. <i>kriegeri</i>			
	6+○	6+○	6+◎	<i>S. margaritaceum</i>			
<i>O. parva</i>				<i>S. paradoxum</i>			
<i>Pandorina morum</i>				<i>S. paradoxum</i> var. <i>parvum</i>			

Table 4. Continued.

Species names	Stations			Species names	Stations		
	1	2	3		1	2	3
Chlorophyceae				<i>C. meneghiniana</i>			
<i>Tetraedron caudatum</i>				<i>C. orientalis</i>	9+○	9+◎	9+◎
<i>T. constrictum</i>					10+●	10+●	10+●
<i>T. minimum</i>					11+○	11+◎	11+○
<i>T. triangulare</i>					12+○	12+○	
<i>T. staurogeniaeforme</i>						1+○	1+○
<i>Wstella botryoides</i>						2+○	2+○
Euglenophyceae				<i>C. radiosa</i>			
<i>Euglena proxima</i>				<i>C. stelligera</i>	10+○	10+○	
<i>Trachelomonas robusta</i>				<i>Cyclostephanos dubius</i>		4+○	
<i>T. volvocina</i>		4+○				1+○	10+○
<i>T. sp.</i>					2+○		
Cyanophyceae				<i>Cymatopleura solea</i>			
<i>Anbaena variabilis</i>		10+○		<i>Cymbella affinis</i>			
<i>Microcystis aeruginosa</i>			4+○	<i>C. leptoceros</i>			
		5+◎	5+◎	<i>C. minuta</i>			
	6+●	6+◎	6+◎	<i>C. silesiaca</i>			
	7+●	7+●	7+●	<i>Eunotia binularis</i>			
	8+●	8+●	8+●	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>capitellata</i>			
	9+●	9+◎	9+●	<i>F. capucina</i> var. <i>gracilis</i>			
	10+○	10+◎	10+◎	<i>F. capucina</i> var. <i>vaucheliae</i>			
<i>Microcystis wesenbergii</i>	8+○	8+○	8+○	<i>F. crotonensis</i>			
	9+◎	9+○	9+○	<i>Gomphonema gracile</i>			
			10+○	<i>G. parvulum</i>			
<i>Oscillatoria agardhii</i>				<i>G. quadripunctatum</i>			
<i>Phormidium tenue</i>				<i>G. sahchclavatum</i>			
Dinophyceae				<i>G. truncatum</i>			
<i>Ceratium hirundinella</i>				<i>Gyrosigma acuminatum</i>			
Chrysophyceae				<i>G. obscurum</i>			
<i>Mallomonas</i> sp.				<i>Hantzschia amphioxys</i>			
Cryptophyceae				<i>Melosira varians</i>			
<i>Cryptomonas erosa</i>				<i>Navicula bacillum</i>			
<i>C. marssonii</i>				<i>N. capitatoradiata</i>			
<i>C. ovata</i>				<i>N. cryptocephala</i>			
Bacillariophyceae				<i>N. gregaria</i>			
<i>Achnanthes convergens</i>				<i>N. peregrina</i>			
<i>A. minutissima</i>				<i>N. protacta</i>			
<i>A. japonica</i>				<i>N. pupula</i>			
<i>Amphora libyca</i>				<i>N. subminuscula</i>			
<i>A. ovalis</i>				<i>N. tenera</i>			
<i>A. veneta</i>				<i>N. trivialis</i>			
<i>Aulacoseira ambigua</i>		9+○		<i>N. viridula</i> var. <i>rostellata</i>			
<i>A. granulata</i>		9+○		<i>N. amphibia</i>			
	10+○	10+○		<i>N. frustulum</i>			
<i>A. granulata</i> var. <i>angustissima</i>		9+○		<i>N. gracilis</i>			
	10+○		10+○	<i>N. intermedia</i>			
		11+○		<i>N. palea</i>			
<i>Cocconeis placentula</i>				<i>N. sinuata</i> var. <i>tabellaria</i>			
<i>Cyclotella atomus</i>	1+○			<i>Stephanodiscus invisitatus</i>			
<i>C. comta</i>				<i>S. sp.</i>	3+○	3+○	3+○
<i>C. kuetzingiana</i>				<i>Synedra acus</i>			
				<i>S. ulra</i>			
				<i>Surirella minuta</i>			

태로써 여름에 식물플랑크톤의 대발생이 관찰되는 점으로 보아 저수지 뿐만 아니라 유역관리를 중심으로 한 연구는 지속되어야 할 것이다.

적 요

경북 경산시에서 농업용수로 이용되는 남매지의 3개 정점을 선정하여 2000년 3월부터 2001년 2월까지 매월 1회 조사하였다. 다양한 이화학적 환경요인과 식물플랑크톤의 엽록소 *a*, *b*, *c* 농도 및 현존량의 상호관계를 통해 남매지 생태계의 계절적 변화를 파악하였다. 엽록소 *a*, *b*와 *c*의 농도가 6월에 정점 1에서 각각 최고치(295 mg/l, 9.5 mg/l, 48 mg/l)를 나타냈고, 식물플랑크톤은 현존량이 정점 3에서 여름에 가장 높았다(7월: 1.7×10^5 cells/l). 수온 분포는 7~37.4°C 범위이었다. 수소이온 농도는 8월에 9.9~10.1 범위로 최고치를 나타냈고, 최저는 7로서 9월이었다. SS의 최대 및 최저는 정점 1에서 6월과 11월에 각각 308 mg/l, 4 mg/l이었다. COD와 DOC는 동일한 정점에서 6월에 각각 33 mg/l와 16 mg/l로 높았다. 식물플랑크톤의 남조류 *Microcystis aeruginosa*는 7~8월에, 녹조류 *Scenedesmus acutus*는 3~5월과 11~1월에, 규조류 *Cyclotella orientalis*는 10월에 각각 가장 우점종하였고, 인산이온과 규산이온의 농도는 여름에 비교적 높은 반면에 가을과 겨울에 전반적으로 낮았다. TSI는 16.6~86.4 범위로서 전 정점이 부영양화 혹은 과영양화 상태이었고, 유역관리가 선행된 지속적인 연구의 필요성이 요구되었다.

사 사

이 논문이 완성될 수 있도록 훌륭한 조언과 지적을 아끼지 않으신 심사위원님들께 진심으로 감사를 드립니다.

인 용 문 헌

기상청. 2000. 기후 자료, <http://www.kma.go.kr>.
기상청. 2001. 기후 자료, <http://www.kma.go.kr>.
이종옥, 류성만, 최원영, 이미경. 1992. 삼천지의 환경과 생물

- 다양성 II. 곤충상, 영남대학교 부설 기초과학연구소 기초과학연구 **12**: 221-234.
- 이종옥, 류성만, 차진열, 서경인, 최원영. 1994. 삼천지의 저서성 대형무척추동물상, 영남대학교 부설 기초과학연구소 기초과학연구 **14**: 317-326.
- 이종옥, 최원영, 정동기, 정종철. 1998. 삼천지의 저서성 대형무척추동물의 군집구조 및 생물학적 수질평가에 관한 연구, 영남대학교 부설 기초과학연구소. 기초과학연구 **18**: 151-167.
- 정 준. 1993. 한국담수조류도감, 아카데미 서적, 서울. 496p.
- 정지안, 조은영, 차재훈, 김미경, 김기태. 2001. 울릉도·독도 근해의 환경요인에 따른 식물플랑크톤 군집 구조의 변화, *Algae* **16**: 325-335.
- 최성규. 1994. 경북에 위치한 삼천지의 생태학 연구, 영남대학교 석사논문, 45pp.
- APHA AWWA WEF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. **10**: 157. (A.D. Eaton, L.S. Clesceri and A.E. Greenberg eds.). Baltimore.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* **22**: 361-379.
- Jeffrey, S.W. and G.F. Humphrey. 1976. New spectrophotometric equation for determining chlorophylls *a*, *b*, $c_1 + c_2$ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen* **167**: 191-194.
- Komarek, J. and B. Fott. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung: Chlorococcales. Die Binnen-gewasser, Band XVI, 7. Heft. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* **27**: 31-36.
- Prescott, G. 1962. Algae of the Western Great Lakes Area. W.M. C. Brown Co. Iowa 977pp.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press, Urbana 177pp.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nat.* **163**: 1-688.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* **167**: 310.

(Received 12 Nov. 2002, Manuscript accepted 27 Feb. 2003)