

# 대청호에서 계절에 따른 세균 군집 및 환경요인의 변화

빙선혜 · 이상욱 · 황순진<sup>1</sup> · 오인혜\*

(배재대학교 생명과학부, <sup>1</sup>건국대학교 지역건설환경공학과)

**Seasonal Variation of Total Bacterial Number and Environmental Factors in Daechung Reservoir. Sun-Hye Bing, Sang-Wook Lee, Soon-Jin Hwang<sup>1</sup> and In-Hye Oh\* (Division of Life Sciences, PaiChai University, Daejon 302-735, Korea and <sup>1</sup>Dept. of Biological Systems Engineering, KonKuk University, Seoul 143-701, Korea)**

Seasonal change of total bacterial numbers were estimated in Daechung Reservoir from September, 1998 to August, 1999 and environmental factors which affects total bacterial numbers were estimated. Total bacterial numbers ranged between 1.2 and  $19.0 \times 10^6$  cells/ml and averaged  $6.9 \times 10^6$  cells/ml. Bacterial numbers changed dynamically with season. The bacterial numbers were highest in July and showed peaks in April and July in sites studied except for the HOE (Hoenam site). In the HOE (Hoenam site), total bacterial numbers increased ove the period of March~August. The correlation coefficient between bacterial number and chlorophyll *a* ( $< 200 \mu\text{m}$ ) was  $r = 0.72$  ( $p < 0.05$ ) at the MAN (man site). Total bacterial numbers in Daechung Reservoir was diversely changed by the seasonal variation of several environmental quality parameters.

**Key words : Daechung Reservoir, Seasonal change, Total bacterial number, Environmental factors**

## 서 론

수계생태계에서 세균은 유기물을 분해하여 무기물로 전환시키거나 (Monster and Chrost, 1990) 저 농도로 존재하는 용존 유기물질을 흡수·동화하여 상위 먹이 연쇄과정을 거치는 microbial loop의 중요한 역할을 차지한다. 이런 미생물의 분포와 생리적 활성도는 환경에 민감하게 변화하므로 간접적으로 주위 환경의 상태를 나타내는 지표로 볼 수 있다 (Porter and Feig, 1980).

해양생태계에서는 식물 플랑크톤에 의한 1차 생산량은 중속 영양 세균에게는 주요 양분 공급원이 된다. 따라서 식물플랑크톤과 세균의 공간적 계절적인 변화는 매우 밀접하다. 그리하여 과거 수년동안 그러한 상호작용의 계절적인 그리고 하루의 일변화는 널리 연구되어

졌다. 강어귀 (Lancelot and Billen, 1984; Laanbroek *et al.*, 1985; Gude *et al.*, 1985)나 호수에서 (Riemann *et al.*, 1982; Riemann, 1983; Bell and Kuparinen, 1984; Gude *et al.*, 1985) 봄에 조화 현상 (algal bloom)이 일어날 때 식물플랑크톤과 세균의 생물량과 생산량은 밀접한 관계가 있음을 보여주었다. 나머지 다른 기간에는 식물플랑크톤과 세균간의 상호작용은 그렇게 뚜렷하지는 않았다 (Pedros-Alio and Brock, 1982; Lovell and Konopka, 1985). Lovell and Konopka (1985)는 2순환형 호수의 깊은 층에서 여름에 세균의 생산량이 변화하면 2~3주 후에 1차 생산량이 변화함을 보고하였다. 반면에 Pedro-Alio와 Brock (1982)는 Mendota 호수에서 식물플랑크톤 생산량과 세균 생산량은 상관성이 없음을 보고하였다. Furman *et al.* (1980)은 캘리포니아의 태평양 연안의 진광대 (euphotic zone)에서 세균 생산량이 1차 생산량보다

\* Corresponding author: Tel: 042) 520-5384, Fax: 042) 520-5854, E-mail: inhyeoh@mail.pcu.ac.kr

는 chlorophyll *a*와 상관성이 있음을 보고하였다. 따라서 생태계의 종류에 따라 세균의 생산량과 식물플랑크톤과의 관계는 매우 다양한 것으로 사료된다.

세균군집크기의 측정방법으로는 전통적인 방법, 핵산에 결합하는 형광염료인 Acridine orange, DAPI (4', 6-diamidino-2-phenyl-indol), Hoechst dye 등으로 염색하여 관찰하는 방법, 그리고 최근 분자유전학적 기술인 PCR, DNA sequencing, DNA-DNA hybridization, Fluorescent rRNA-targeted oligonucleotide probe에 의한 유전자 결합에 의한 측정방법 등이 있다.

본 연구는 대청호 생태계의 구조와 기능을 밝히기 위한 연구의 기초연구로 대청호의 주요 지점에서 총 세균수의 계절적 변화를 조사하고 이러한 변화와 chlorophyll *a* 및 환경요인과의 관계를 밝히고자 하였다.

## 조사 및 방법

### 1. 조사지역

세균군집 조사를 위한 채수 지점으로 대청호의 4지점을 선정하였다(Fig. 1) (Mun *et al.*, 2001). 대전 취수탑 지점(TAE)은 유입되는 지천이 없고 길이 1.5 km 폭 3 km에 이르는 큰 만을 형성하며 물이 정체되어 있는 지점이다. 만입부 지점(MAN)은 대전시 동구 오동에 속하며 본 댐과 대전 취수탑의 중간지점으로 호수 분류 상류에서 흘러내린 물이 대전 취수탑 방향 및 본 댐의 정체된 물과 합류되는 지점인데 인근에 유입되는 지천과 민가가 없으며 수심이 깊어 청정한 수역으로 예상된다. 회남교 지점(HOE)은 대청호의 상류 지점이며 강우 등에 직접적으로 영향을 받는 지점이고 여름철 식물성 플랑크톤이 가장 빠르게 번식하는 지점으로 대청호 전역의 남조류의 수화현상을 예측할 수 있는 지점이다. 대청댐 지점(DAM)은 충북 청원군 문의면의 본 댐으로 호수 분류 중 가장 하류지점이며 대청호 본류의 물이 금강하류로 유출되는 지점으로 채수는 본 댐의 수문에서 실시하였다.

### 2. 조사방법

1998년 9월부터 1999년 8월까지 월 1~2회에 걸쳐, 각 조사지역에서 표면수를 채수하여 총 세균수를 측정하였으며, 이화학적 수질(수온, pH, 용존산소(DO), 암모니아태 질소(NH<sub>3</sub>-N), 총 질소(T-N), 총 인(T-P), 부유물질(SS), 및 총 엽록소 *a* 농도를 측정하였다.



Fig. 1. The sampling sites in Daechung Reservoir (TAE: Taejon Intake Tower, Man: Embayment, HOE: Hoenam Bridege, DAM; Daechung Dam).

#### 1) 기온 및 강수량

기온 및 강수량은 1998년 9월부터 1999년 8월까지의 기상청 자료를 이용하였다(<http://www.kma.go.kr>).

#### 2) 이화학적 수질 분석

수온 및 pH는 채수 즉시 현장에서 측정하였으며(YSI 6000), 그 외는 측정항목에 따라 전처리를 실시한 후 냉장 상태로 실험실로 운반하여 분석하였다. 수질 분석 시료는 47 mm Whatman GF/C filter로 여과하였으며, DO, SS, NH<sub>3</sub>-N, T-N 및 T-P량은 APHA-AWWA-WPCF(1989)의 법에 따라 분석하였다. SS는 시료를 GF/C filter로 여과한 후 여과지를 105°C에서 2시간 건조시킨 후 여과지의 무게 차이로서 계산하였으며, NH<sub>3</sub>-N는 phenate 법으로 T-N와 T-P은 각각 persulfate digestion 방법 및 ascorbic acid 발색법을 이용하여 분석하였다(UV spectrophotometer, Shimadzu UV-2001).

#### 3) 총 엽록소 *a* 농도 (Total chlorophyll *a*)

총 엽록소 *a* 농도는 시료 적당량(0.5~2 L)을 GF/C filter로 여과하여 90% acetone으로 24시간 추출한 후 흡광 광도계로 측정하여(630 nm, 647 nm, 664 nm, 750 nm)를 산출하였다. 엽록소 *a* 농도(< 200 μm)는 Mun *et al.* (2001)의 데이터를 이용하였다.

4) 총 세균수 측정

총 세균수 측정을 위하여 미리 멸균된 용기에 10 ml 를 채수하여 현장에서 중성 포르말린(최종농도 2%)으로 고정하였다. 고정된 시료를 4°C로 운반하여 실험 전까지는 냉·암소에 보관하였다. 고정된 시료는 acetate nucleopore filter (pore size 0.2 μm, diameter 25 mm black filter)와 acetate nucleopore filter (pore size 0.2 μm, diameter 25 mm white filter)로 여과한 후 DAPI 염색액(4',6-diamidino-2-phenyl-indol, Sigma)으로 5분간 염색하였다. 표본 슬라이드는 각 시료 당 3개를 준비였으며, 염색된 여과지를 공기 중에서 건조하여 형광현미경(Olimpus, BH<sub>2</sub>-RFCA)으로 ×1,000로 직접 계수하였다. 시야 당 세균수가 200개 정도가 되도록 희석하여, 각 시야 당 20 fields 이상 계수하여 평균값을 산출하였다(Porter and Feig, 1980).

결과 및 고찰

1. 기온 및 강수량

실험기간동안의 기온과 강수량은 Fig. 2에서와 같이 전형적으로 6-8월에 강우가 집중되며 기온이 높은 경향을 보이고 있다. 실험기간 직전인 1998년 8월 강수량 781.7 mm로 높았으며, 1998년 9월 30일 하루에 162.2

mm의 집중 호우가 내렸고, 1999년에도 5월 3일 71.7 mm, 6월에 16일(92.3 mm), 23일(140.1 mm)에 강우가 집중적으로 왔음을 보여주고 있다. 8월은 월 강우량이 총 203 mm로 비오는 날이 많고 고르게 내렸다. 조사 기간동안 평균기온은 -0.3~25.6°C로 평년과 크게 차이가 없었으며 1998년 겨울을 지나고 3월부터 급격히 기온이 증가하기 시작하였다.

2. 이화학적 수질

이화학적 수질분석 결과는 Table 1에서 보는 바와 같다.

수온: 조사 기간동안 대청호의 수온은 5.0~20.0°C의 변화를 보였다. 각 지점별의 수온차이는 크지 않았고, 회남교지점에서 7월에 28°C로 최고치를, 대전 취수탑 지점에서 2월에 5°C로 최저치를 나타내었다. 월별 추세로 볼 때 1998년 9월에 수온이 높았으나, 11월이 되면서 감소하는 경향을 보였으며, 4월부터 다시 증가하는 경향을 보였다.

수소이온농도(pH): pH는 연중 7.1~8.7로 변화하였으며, 각 지점별 pH값의 차이는 적고 대체로 중성에 가까운 값을 나타내었다. 1999년 7월에 pH가 다소 증가하는 경향을 나타내었다. pH를 증가시키는 요인으로서 대표적인 것은 지질 특성과 왕성한 광합성 활동에 의한 식물플랑크톤의 발생을 들 수 있는데(Wetzel, 1983; Reynolds, 1984b), 대청호에서의 수소이온농도의 증가요인은 지질 특성보다는 광합성에 의한 식물플랑크톤의 발생에 기인하는 것으로 추측된다.

용존산소(DO): DO는 6.9~12.1 mg/l의 큰 폭으로 변화하였는데, 겨울과 봄에 비교적 높았다. 수온과 DO는 보통 역 상관 관계를 보인다.

암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N): 조사기간동안 암모니아성 질소는 0.010~0.040 mg/l의 범위를 나타냈다. 각 지점별로 큰 변화는 나타나지 않았으며, 계절에 따라 7월에 증가, 8월에 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 NH<sub>3</sub>-N의 증가요인으로 볼 수 있는데 외부 유입량의 증가와 호소 저부에서 세균에 의한 ammonification으로 보여진다. 가을철 낮은 농도는 식물플랑크톤의 발생이 늦여름에서 초가을에 주로 일어난 것을 보여준다.

총 질소(T-N): 조사기간동안 총 질소는 0.810~2.239 mg/l의 범위를 나타냈으며, 1999년 7월 회남교 지점에서 가장 높았고, 각각의 지점별 총 질소는 회남교 지점이 가장 높고, 만입부 지점이 가장 낮게 나타났다. 또한 계절에 따른 큰 변화는 나타나지 않았다.

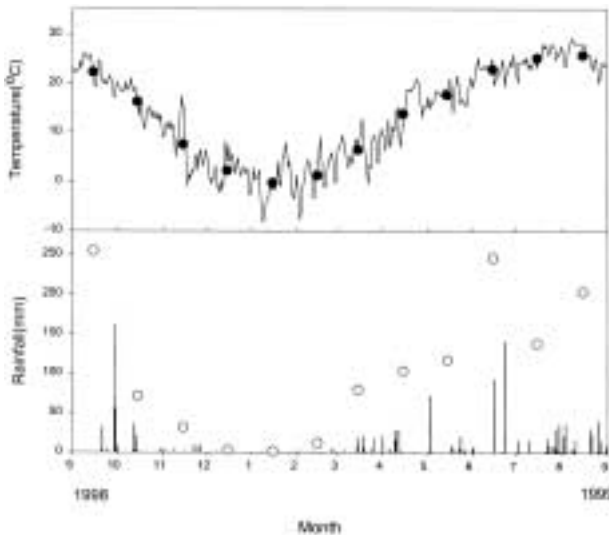


Fig. 2. Annual variation of air temperature and precipitation in Taejon metropolitan city. Closed and open circles are the monthly mean of air temperature and precipitation respectively.

**Table 1.** Monthly variation of water environmental factors in Daechung Reservoir.

Site	date	water temp. (°C)	pH	DO (mg/l)	NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	SS (µg/l)	
TAE	1998	Sep. 23	25.0	8.1	8.3	0.010	1.192	0.017	10.0
		Oct. 21	20.4	7.0	6.9	0.010	1.380	0.005	1.1
		Nov. 12	16.8	7.2	8.3	0.020	1.206	0.011	1.6
		Nov. 26	14.0	7.2	7.9	0.010	1.456	0.016	1.2
	1999	Feb. 23	5.0	6.9	11.9	0.010	1.433	0.018	1.6
		Mar. 10	6.8	7.1	12.1	0.020	1.445	0.009	1.0
		Mar. 24	6.6	7.5	11.3	0.020	1.732	0.008	1.0
		Apr. 15	10.2	7.4	10.4	0.020	1.593	0.012	0.4
		Apr. 28	15.7	8.1	9.5	0.010	1.393	0.014	0.4
		May 26	20.6	7.9	9.5	0.020	1.470	0.009	0.8
		Jun. 9	25.8	8.2	8.5	0.020	1.509	0.014	1.8
		Jul. 14	26.8	8.7	8.7	0.040	1.690	0.018	0.6
		Jul. 30	27.5	8.4	7.7	0.006	1.674	0.015	1.6
		Aug. 25	27.3	7.8	7.0	0.020	1.920	0.017	2.2
MAN	1998	Sep. 23	24.8	8.3	7.7	0.020	1.197	0.013	4.8
		Oct. 21	20.6	7.1	7.1	0.010	1.093	0.002	1.6
		Nov. 12	17.7	7.1	7.1	0.020	1.035	0.012	1.2
		Nov. 26	14.6	7.1	8.5	0.020	1.342	0.015	2.8
	1999	Feb. 23	5.5	7.1	11.5	0.010	1.421	0.014	1.4
		Mar. 10	6.7	7.2	12.1	0.010	1.329	0.010	0.6
		Mar. 24	6.7	7.1	12.1	0.020	1.368	0.012	0.4
		Apr. 15	11.6	7.5	10.5	0.020	1.590	0.012	0.8
		Apr. 28	17.1	8.1	10.3	0.010	1.350	0.009	0.6
		May 26	19.9	8.3	9.3	0.011	1.471	0.008	0.6
		Jun. 9	24.2	7.9	8.4	0.010	1.427	0.012	1.0
		Jul. 14	25.9	8.5	8.6	0.040	1.704	0.012	1.8
		Jul. 30	27.5	8.6	6.7	0.007	1.498	0.015	1.0
		Aug. 25	27.1	8.3	8.6	0.020	1.969	0.017	1.0
HOE	1998	Sep. 23	25.2	8.7	7.7	0.020	1.847	0.032	2.8
		Oct. 21	21.7	7.3	7.7	0.010	1.226	0.003	1.0
		Nov. 12	17.0	7.2	7.7	0.010	1.190	0.009	1.2
		Nov. 26	15.4	7.2	7.7	0.020	1.516	0.017	2.0
	1999	Feb. 23	5.9	7.1	11.7	0.010	1.399	0.016	0.8
		Mar. 10	7.0	7.8	11.9	0.020	1.463	0.010	1.0
		Mar. 24	7.0	7.4	11.9	0.020	1.362	0.015	0.8
		Apr. 15	11.8	7.2	9.9	0.020	1.696	0.015	0.4
		Apr. 28	19.2	8.2	9.9	0.010	1.433	0.012	2.0
		May 26	20.3	8.1	9.3	0.011	1.370	0.018	7.7
		Jun. 9	26.1	7.8	7.7	0.030	1.479	0.012	4.4
		Jul. 14	28.0	8.7	8.4	0.030	2.239	0.014	2.2
		Jul. 30	27.8	8.7	7.2	0.010	1.659	0.016	2.6
		Aug. 25	27.5	8.3	8.7	0.020	2.040	0.018	1.0
DAM	1998	Sep. 23	25.4	8.3	7.9	0.020	0.810	0.015	6.4
		Oct. 21	21.6	7.2	7.3	0.010	1.439	0.004	1.3
		Nov. 12	16.8	7.1	7.3	0.010	1.125	0.013	1.6
		Nov. 26	15.7	7.1	8.1	0.010	1.340	0.015	1.4
	1999	Feb. 23	6.0	7.2	11.5	0.020	1.421	0.017	0.4
		Mar. 10	7.0	7.7	11.9	0.020	1.653	0.011	0.8
		Mar. 24	7.1	7.5	11.9	0.020	1.668	0.012	0.8
		Apr. 15	12.0	7.2	10.3	0.010	1.487	0.013	0.6
		Apr. 28	19.2	8.3	9.7	0.010	1.364	0.009	0.8
		May 26	20.2	7.6	8.9	0.011	1.454	0.009	2.6
		Jun. 9	25.9	7.9	8.2	0.020	1.530	0.012	1.4
		Jul. 14	26.5	8.7	8.2	0.030	2.095	0.017	1.4
		Jul. 30	27.9	8.6	7.9	0.009	1.663	0.015	2.0
		Aug. 25	27.4	8.2	8.2	0.020	1.998	0.020	2.0

총 인 (T-P) : 조사기간동안 0.005~0.032 mg/l의 범위로 변화하였으며, 총 인 최고치는 회남교 지소에서, 98년 9월이었고, 총 인 최저치는 대천 취수탑 지점에서 98년 9월 나타났다. 총 인은 미국 EPA 기준으로 볼 때 <0.01 mg/l이면 빈 영양호, 0.01~0.02 mg/l이면 중 영양호, >0.02 mg/l,이면 부 영양호로, 대청호는 중 영양호~부 영양호 정도의 수준으로 볼 수 있다. 한편 모든 지점에서 98년 9월에 높다가 10월에 갑자기 감소하였는데, 이는 9월 총 인의 대부분은 조류에 의한 organic phosphorus가 대부분인데, 엽록소 a 농도의 감소에 따라 총 인의 양이 감소되었기 때문이라고 사료된다.

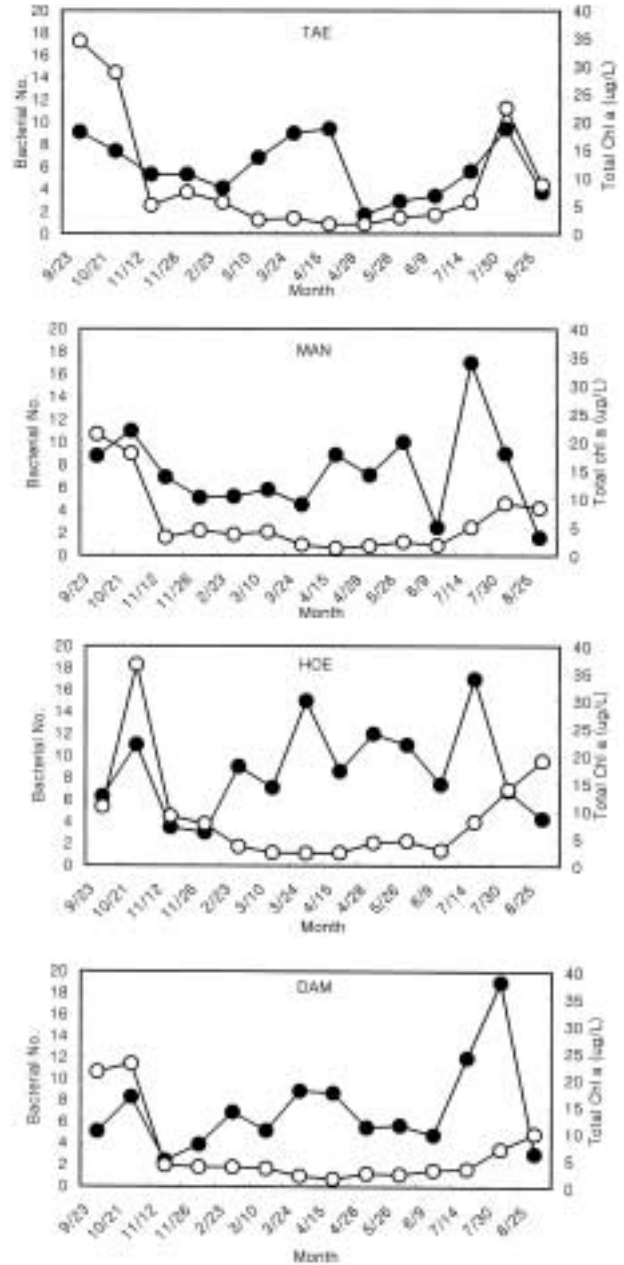
부유물질 (SS) : 조사기간동안 부유물질은 0.4~10.0 mg/l의 범위로 큰 차이를 보였다. 또한 계절에 따른 큰 변화는 없었으나, 1998년 9월에 증가하였다가 10월에 급격한 감소추세를 보였다. 이는 강수량과 연관이 있는 것으로 사료되어 1998년 9월에 많은 양의 강수량을 보여 각종 유기물의 유입으로 인한 부유물질의 양이 증가된 것으로 추측된다.

**3. 총 엽록소 a 농도 (Total chlorophyll a)**

식물플랑크톤의 양을 나타내는 총 엽록소 a의 농도는 1.3~77.8 µg/l의 범위를 나타냈으며, 최고치는 1998년 9월 대전 취수탑 지점에서 나타났고, 최저치는 1999년 4월 만입부 지점에서 나타났다. 각 지점별 엽록소 a 농도는 대전 취수탑 지점이 가장 높았으며, 만입부 지점이 가장 낮았다. 엽록소 a (<200 µm)의 농도는 1.0~36.9 µg/l로 나타났으며, 최고치는 1998년 9월 대전 취수탑 지점에서, 최저치는 1999년 4월 대전 취수탑 지점이었다. 월별로 볼 때 1998년 9월에 높았다가 점점 감소하는 경향을 보이다가 1999년 7월에 다시 증가하는 경향을 보였다. 각 지점별로 대전 취수탑 지점에서는 7월 급격한 증가추세를 보이다가 8월에 감소하는 경향을 보였으며 회남교 지점에서는 7월보다 8월이 오히려 증가하는 경향을 나타내 각각의 지점마다 다르게 나타났다(신 등, 1999; Mun et al., 2001).

**4. 총 세균수 측정 (Total bacterial number)**

대청호의 조사지점의 표층에서 측정된 세균밀도는 Fig. 3과 같다. 세균수는 1.6~19.0 × 10<sup>6</sup> cells/ml의 범위로 측정되었다. 대전 취수탑 지점에서 1.7(4월 28일, 지속적인 강우)~9.40 × 10<sup>6</sup> cells/ml (4월 25일, 7월 30일)인데 실제로는 5~6월에 가장 낮았다. 만입부 지점에서는 1.6(8월 25일, 강우)~19.0(7월 14일) × 10<sup>6</sup> cells/ml로



**Fig. 3.** Seasonal changes of bacterial number (×10<sup>6</sup> cells/ml) and total chlorophyll a (µg/L) in samples studied in Daechung Reservoir. Closed and open circles are the total chlorophyll a concentration and total bacterial cell number respectively.

계수되었다. 회남교 지점에서는 3.0(1월 26일)~17.0 × 10<sup>6</sup> cells/ml (7월 14일)로 계수 되었는데, 4, 5월에도 높았으며 3월 24일에 15.0 × 10<sup>6</sup> cells/ml, 4월 28일에 1.20 × 10<sup>6</sup> cells/ml이었다. 이 지점은 다른 지점에 비하여 4~7월까지 총 세균수가 많았다. 회남교 지점에서는 3월 이

후에 총 세균수가 8월까지 높았는데 이는 이 지역의 빠른 흐름으로 산소유입이 용이하여 세균의 성장이 높았다고 사료된다. 대청댐 지점에서는  $2.4 \times 10^6$  cells/ml (11월 12일)– $17.0 \times 10^6$  cells/ml (7월 14일)이었으며, 3월 24일 ( $15.0 \times 10^6$  cells/ml), 4월 28일 ( $12.0 \times 10^6$  cells/ml)에도 총 세균수가 많았다. 이러한 결과를 종합하여 보면 총 세균수는 7월 또는 8월에 큰 peak를 보였으며, 4월에 작은 peak가 있었다. 7~8월의 peak는 수온과 높은 영양염류에 의한 것으로, 그리고 4월의 peak는 수온 증가에 의한 것으로 판단되는데, 이러한 경향은 소양호에서 총 세균의 변화 양상과 유사하다(김 등, 2000). 총 세균수가 7월에 peak를 이루고 감소하며, 총 엽록소 *a* 농도는 봄 부터 증가하여 9월에 peak에 이른다. 그러나 중부 수성 호수인 Constance호에서 조사된 바에 의하면 봄에 1차 생산력이 최대가 되는 수화 시에 세균수도 최대가 됨을 보여준다(Simon and Tilzer, 1987). 대청호에서 측정된 세균수를 신 등(2001)이 국내호수에서 측정, 보고한 자료와 비교를 해보면, 김 등(1995)이 대청호에서 측정한 총 세균수와 거의 비슷하나, 김 등(1995)이 채수한 장소는 추소리로 본 연구에서의 조사지점과는 차이가 있어 직접적 비교는 어렵다. 소양호에서의 총 세균수가  $0.3 \sim 4.7 \times 10^6$  cells/ml(최 등, 1997), 팔당호에서  $0.59 \sim 8.1 \times 10^6$  cells/ml(신 등, 2001), 의암호에서의  $0.16 \sim 1.13 \times 10^6$  cells/ml(안 등, 1988), 춘천호에서의  $0.22 \sim 0.57 \times 10^6$  cells/ml(안 등, 1988)에 비하여 대청호에서 총 세균수가 많았다. 이는 지리적 위치 및 그에 따른 기온과 관계가 있을 것으로 사료된다.

##### 5. 세균군집과 환경요인과의 상관

총 세균수와 수질, 총 엽록소 *a* 농도(<200 μm)의 상관관계를 구하였다(SPSSWIN 8.0). 각 요인들 중 가장 높은 상관성은 총 엽록소 *a* 농도(<200 μm)로 Fig. 4와 같다. 상관계수는 만일부 지점에서는  $r = 0.72$  ( $p < 0.05$ )로 높은 상관성을 보였다. 1999년 4월 15일 세균수는  $9.4 \times 10^6$  cells/ml으로 높았으나 엽록소량은  $0.7 \mu\text{g/l}$ 로 매우 낮았다. 이는 채수 2~3일전 강우가 30.4 mm로 강우에 의한 영향으로 유추되어 상관계수 분석시 제외하였다.

이는 세균 수가 수온과 강수량에도 연관이 있는 것으로 보여지며 수온이 높을수록 세균수가 증가하고, 채수 전 및 채수 당일 비가 오면 세균수도 증가하는 것으로 나타났다. 4월 peak는 3월부터 증가하기 시작하는 수온과 3~4월의 강우와 함께 증가한 영양염류의 영향으로 사료된다. 김과 이(1998)는 낙동강 하구의 미생물 분포

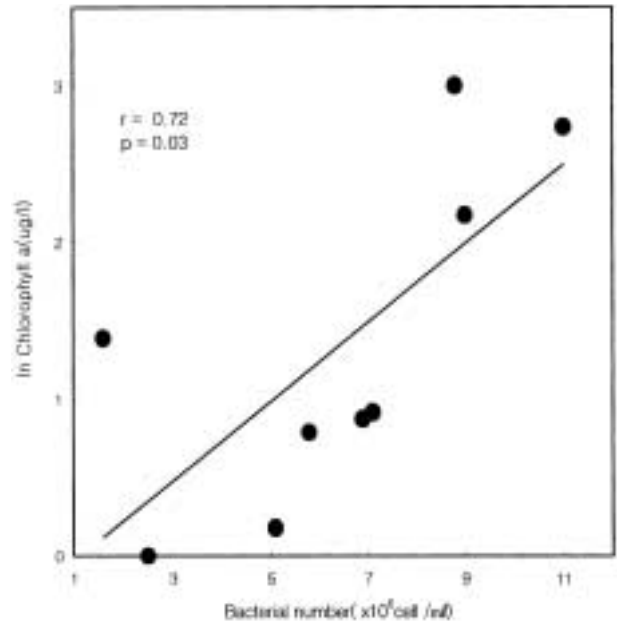


Fig. 4. Relationship between bacterial abundance and Chlorophyll *a* (<200 μm) in MAN site.

를 조사하여 미생물 수는 수온과 강수량과 상관이 있음을 보고하였다. 이는 비가 오면, 각종 유기물이 유입되면서 유기물을 세균이 이용하여 세균이 증가하는 것으로 사료되며, 세균밀도와 유기물 분해율 사이에는 직접적인 관련성이 있을 것으로 사료되는데, 그 과정이 주로 세균분포와 입자성 유기물의 농도에 의해 조절된다(Saunders, 1972). 이러한 유기물들은 주로 단백질, 탄수화물 및 hemicellulose로 구성되어 있고 이중 단백질 성분은 전체의 53%를 차지할 정도로 높은 비율을 나타내었다(Krogh, 1932). 세균수와 수온과의 상관성을 살펴보면, 1998년 9월 수온이 높을 때에 세균이 증가하다가 1998년 11월 수온이 낮아지면서 감소하는 경향을 보였으며, 1999년 4월 수온이 증가하면서 다시 증가하는 경향을 보여 수온이 영향을 미치는 것으로 사료된다. 한편 수온은 총 엽록소 *a* 농도에도 영향을 주어 수온이 높을수록 총 엽록소 *a* 농도의 양도 증가하여 수온이 높은 9월에 총 엽록소 *a* 농도도 증가한 것으로 나타났다.

엽록소 *a* 농도는 식물플랑크톤의 biomass에 대한 간접적인 척도로서 총 엽록소 *a* 농도는 식물플랑크톤 생산량의 약 1.5% 정도를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다(APHA, 1985). 대청호 상류에서의 총 엽록소 *a* 농도는 계절에 따라 변화를 나타내며 주로 농도 변화가 온대지역의 호수에서는 전형적으로 연간 두번의 정점을

나타낸다는 보고 (Reynolds, 1973a; Saito, 1978; Tezuka, 1984)와 온대지역의 나뭇가지형 호수에서의 식물플랑크톤의 현존량은 일반적으로 춘계에 최고로 증가하고 하계에 비교적 낮은 수준을 유지하다가 추계에 다시 양적인 증가가 일어나는 전형적인 계절변화를 나타낸다는 보고 (Reynolds, 1973b; 1984a)도 있다. 동계의 낮은 농도는 생장을 시작하고 유지시키는데 중요한 요소로 작용하는 수온과 광도의 저하에 의한 것으로 알려져 있다 (Reynolds, 1973a). 식물플랑크톤의 발생에 있어 수온의 영향에 대해 많은 연구가 이루어져 왔는데, 일반적으로 세포의 증식은 14~21°C에서 일어나는 것으로 알려져 있다 (Pollinger, 1987). 한편 본 연구에서 총 엽록소 *a* 농도는 수심이 깊은 댐 앞보다는 수심이 낮은 다른 지점에서 높게 나타나고 계절별로는 수온 및 일조량의 증가와 더불어 하절기로 갈수록 계속 증가하여 9월에 최고치를 나타냈다. 한편 엽록소 *a* 농도 (<200 µm)에서도 마찬가지로 9월에 최고치를 보였으며, 세균수 와도 상관성이 있는데 이는 식물플랑크톤에 의한 유기물의 유출로 이 유기물을 세균이 이용하였을 것으로 사료된다.

본 연구에서 조사된 바와 같이 1998년 9월부터 1999년 8월까지 대청호에서 세균수는  $1.2 \sim 19.0 \times 10^6$  cells/ml로 측정되었고, 세균수는 계절에 따라 변화하였다. 그러나 총 세균수의 변화를 단편적인 수질 요인에 의한 영향으로는 설명할 수가 없다. Kim *et al.* (2000)은 소양호의 세균군집의 크기는 용존유기탄소 (DOC), 엽록소 *a* 농도, pH와 온도가 설명가능한 정도는 43~58% 정도임을 지적하고 있다. 또, Hofle *et al.* (1999)도 동물성 플랑크톤의 식물성 플랑크톤에 대한 grazing pressure가 세균의 다양성을 감소시킴을 지적하고 있다. 따라서 호수 생태계에서 세균의 기능적 역할을 밝히기 위해서는 앞으로 세균의 기능적 분류, 세균의 효소활성 측정 및 동·식물플랑크톤과의 기능적 관계를 밝히기 위한 후속 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

- 김동주, 홍선희, 안태석. 1999. 소양호에서 세균군집구조의 계절적·수직적 변화. *한국미생물학회지* **35**: 242-247
- 김동주, 홍선희, 최승익, 안태석. 2000. 소양호 세균군집 구조와 그 구조에 영향을 주는 환경요인. *한국미생물학회지* **36**: 136-141.
- 김명운, 김민호, 조장천, 김상중. 1995. Cyanobacteria의 증식에 따른 대청호 생태계내의 생물군집 변화. *한국육수학회지* **28**: 1-9
- 김원진, 이혜주. 1998. 낙동강 하구의 환경요인과 미생물 분포. *한국육수학회지* **31**: 25-31.
- 신재기, 조경제, 오인혜. 1999. 대청호에서 수환경 요인과 식물플랑크톤의 변동. *한국환경생물학회지* **17**: 529-541
- 신재기, 박경미, 황순진, 조경제. 2001. 경안천과 팔당호에서 총 세균수의 분포와 동태, *한국육수학회지* **34**: 119-125.
- 안태석, 이동훈, 김범철, 조규승. 1988. 한강상류 인공호에서의 미생물 분포와 활성도에 관하여. *한국육수학회지* **21**: 143-150.
- 최승익, 변명섭, 안택석. 1997. 소양호에서 총 세균수의 분포. *한국육수학회지* **30**: 377-383.
- 홍선희, 안태석. 1998. Fluorescent *in situ* Hybridization 방법으로 분석한 소양호 세균 군집 구조의 계절적 변화. *한국미생물학회지* **34**: 169-174
- 환경부. 1995. 수질오염공정시험법. 행정간행물
- Ahn, T., S. Hong, D. Kim, J. Suck and V.V. Drucker. 1999. The bacterial community of southern lake Baikal in water. *J. Microbiol.* **37**: 10-13.
- Alfreidner, A., J. Pernthaler, R. Amman, B. Sattler, F.O. Glockner, A. Wille, and R. Psenner. 1996. Community analysis of the bacterial assemblages in the winter cover and pelagic layers of a high mountain lake by *in situ* hybridization. *Appl. Environ. Microbiol.* **62**: 2138-2144.
- APHA-AWWA-WPCF. 1989. Standard Methods For The Examination of Water And Wastewater. 17th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Bell, R.T. and J. Kuparinen. 1984. Assessing phytoplankton and bacterioplankton production during early spring in Lake Erken, Sweden. *Appl. Environ. Microbiol.* **62**: 35-45.
- Furman, J., J.W. Ammerman, and F. Azam. 1980. Bacterioplankton in the coastal euphotic zone: distribution, activity, and possible relation with phytoplankton. *Mar. Biol.* **60**: 201-207.
- Glockner, F.L., B.M. Fuchs and R.A. Mann. 1999. Bacterioplankton compositions of lakes and oceans : a first comparison based on fluorescence *in situ* hybridization. *Appl. Environ. Microbiol.* **65**: 3721-3726.
- Gude, H., B. Haibel, and H. Muller. 1985. Development of bacterial planktonic populations in a water column of Lake Constance (Bodensee-Obersee). *Arch. Hydrobiol.* **105**: 59-77.
- Hoefle, M.G., H. Haas, and K. Dominik. 1999. Seasonal dynamics of bacterioplankton community structure in a eutrophic lake as determined by 5s rRNA analysis. *Appl. Environ. Microbiol.* **65**: 3164-3174.
- Krogh, A. and E. Lange. 1932. Quantitative untersuchungen über plankton, kolloide und gelöste organische

- and anorganische substanzen in dem furesee. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.* **26**: 20-53.
- Laanbroek, H.J., J.C. Verplanket, P.R.M. de Visscher, and T.R. de Vuyst. 1985. Distribution of phyto- and bacterioplankton growth and biomass parameters, dissolved inorganic nutrients and dissolved free amino acids during a spring bloom in the Oosterschelde basin, The Netherlands, Mar. *Ecol. Prog. Ser.* **25**: 1-11.
- Lancelot, C and G. Billen. 1984. Activity of heterotrophic bacteria and its coupling to primary production during a spring phytoplankton bloom in the southern bight of the North Sea. *Limnol. Oceanogr.* **29**: 721-730.
- Lovell, C.R. and A. Konopka. 1985. Primary and bacterial production in two dimictic Indiana lakes. *Appl. Environ. Microbiol.* **49**: 485-491.
- Monster, U. and R.J. Chrost, 1990. Origin, composition and microbial utilization of dissolved organic matter. 00. 8-46. In Overbeck, J. and R.J. Chrost (eds). Aquatic microbial ecology; biochemical and molecular approaches. Springer Verla, New York.
- Mun, J., S. Lee, W. Hwang, and I. Oh. 2001. Seasonal Fluctuation of chlorophyll *a* concentration in the size fractionation of phytoplankton in Daechung reservoir. *Korean. J. Limnol.* **34**: 277-284.
- Pedros-Alio, C. and T.D. Brock. 1982. Assessing biomass and production of bacteria in eutrophic Lake Mendota, Wisconsin. *Appl. Environ. Microbiol.* **44**: 203-218.
- Porter, K.G. and Y.S. Feig. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* **25**: 943-948.
- Reynold, C.S. 1973a. The Phytoplankton of crose mere, shropshire. *Br. Phycol. J.* **8**: 153-162.
- Reynold, C.S. 1973b. The seasonal periodicity of planktonic diatoms in a shallow eutrophic lake. *Freshwater Biol.* **3**: 89-110.
- Reynold, C.S. 1984a. Phytoplankton periodicity interactions of form, function and environmental variability. *Freshwater. Biol.* **14**: 111-142.
- Reynold, C.S. 1984b. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press, New York, pp.384.
- Rieman, B. 1983. Biomass and production of phyto- and bacterioplankton in eutrophic Lake Tystrup, Denmark. *Freshwater Biol.* **13**: 389-398.
- Rieman, B.M. Sondergaard, H.H. Schierup, S. Bosselman, G. Christensen, J. Hanse, and B. Nielsen. 1982. Carbon metabolism during a spring diatom bloom in the eutrophic Lake Mosso. *Int. Rev. Gesamten. Hydrobiol.* **67**: 145-185.
- Saunders, G.W. 1972. Summary of the general conclusions of the symposium on detritus and its role in aquatic systems, Pallanza, Italy. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **29** (suppl.): 533-540.
- Simon, M. and M.M. Tilzer. 1987. Bacterial response to seasonal changes in primary production and phytoplankton and biomass in Lake Constance. *J. plankton Research.* **9**: 535-552.
- Tezuka, Y. 1984. Seasonal variation of dominant phytoplankton, chlorophyll *a* and nutrient levels in the pelagic regions of lake Biwa. *Jap. J. Limnol.* **45**: 26-37.
- Trebesius, K., R.A. Mann, W. Ludwig, K.M. Hlegger, and K.H. Schleifer. 1994. Identification of whole fixed bacterial cells with nonradioactive rRNA targeted transcript probes. *Appl. Environ. Microbiol.* **60**: 3228-3235.

(Received 10 Apr. 2002, Manuscript accepted 1 June 2002)