

## 세라믹 처리수의 조류생장 억제 효과

김 형 진 · 김 지 환 · 오 희 목 · 장 감 용 · 임 경 목 · 심 문 보\*\*\*  
(주)삼양사 중앙연구소 · \*한국생명공학연구원 환경생명공학연구실  
\*\*클린월드 하이테크(주) · \*\*\*한서대학교 행정학과  
(2002년 4월 22일 접수; 2002년 9월 11일 채택)

## Effect of Ceramic-Treated Water on the Inhibition of Algal Growth

Hyung-Jin Kim, Jee-Hwan Kim\*, Hee-Mock Oh, Kam-Yong Jang\*\*,  
Kyoung-Mook Lim\*\*\* and Moon-Bo Sim\*\*\*

Central R & D Center, Samyang Corporation, Daejeon 305-717, Korea

\*Environmental Biotechnology Laboratory, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology,  
Daejeon 305-333, Korea

\*\*Clean World Hi-Tech Corporation, Daejeon 306-821, Korea

\*\*\*Hanseo University, Department of Public Administration, Chungnam 356-706, Korea

(Manuscript received 22 April, 2002; accepted 11 September, 2002)

Laboratory experiments were conducted to investigate the effect of ceramic-treated water on the inhibition of algal growth. The growth of *Scenedesmus quadricauda* and *Chlorella vulgaris* was enhanced by the ceramic-treated water in Allen medium containing high concentration of nutrients, but inhibited in natural water containing low concentration of nutrients. The growth of *Oscillatoria tenuis* and *Microcystis aeruginosa* was inhibited in both Allen medium and natural water. When comparing the effects of ceramic-treated water 1 (NC1) and 2 (NC2), the growth of *O. tenuis* and *M. aeruginosa* was somewhat enhanced by NC1, whereas inhibited by NC2. Therefore, it is suggested that NC2 can be more effective than NC1 in controlling the algal growth.

Key words : algal growth, ceramic-treated water, cyanobacteria, eutrophication, *Microcystis aeruginosa*

### 1. 서 론

호소, 저수지 등의 부영양화(eutrophication)는 수계 내로 영양염류의 유입이 증가하여 일어나는 현상으로, 부영양화가 진행됨에 따라 조류(algae)의 급속한 생장을 촉진하여 수화(algal bloom) 현상을 유발한다<sup>1)</sup>. 부영양화의 문제점은 단순히 수중 일차생산량의 증가뿐 아니라 일차생산자가 남조류(cyanobacteria, blue-green algae)와 같은 특정 종(species)으로 변화하는 것이다<sup>2)</sup>. 수화를 일으키는 조류는 대부분 *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* 속(genus)에 속하는 남조류로, 수

표면에 scum을 형성하며, 이취미 발생, 간독소 및 신경독소의 생성으로 상수원의 질을 저하시킨다. 또한 정수장의 침전사를 막하게 할 뿐 아니라 정수과정의 염소처리에 의하여 발암물질인 트리할로메탄(trihalomethane, THM)의 발생 잠재력이 증가하는 등의 문제를 일으키게 된다<sup>3,4)</sup>.

원적외선은 0.78-1,000 μm의 파장을 갖는 적외선 가운데서 파장이 긴 쪽을 말하며, 일반적으로 2,500 nm 이상의 파장을 가지는 전자파의 한 종류이다<sup>5)</sup>. 원적외선은 자연상태에서 태양광선에 의해 많은 양이 지구상에 복사될 뿐 아니라 가열된 물질 상호간 또는 상온에서도 미량이 물질간에 방사되고 있어서 이 물질간의 원적외선 방사가 자연 현상에 미치는 영향은 지대할 것으로 판단된다. 적외선은 1800년 독일의 과학자 헤셀이 태양광선 중 가시광선 바깥

Corresponding Author : Hyung-Jin Kim, Central R & D Center, Samyang Corporation, Daejeon 305-717, Korea  
Phone : +82-42-865-8119  
E-mail : kimhyun1@samyang.com

에 장파의 전자파가 있음을 발견하고 이를 적외선이라고 명명한 이래 과학적으로 연구되고 알려지게 되었다. 적외선에 관한 많은 연구가 이루어지지 않았으나, 적외선 복사열은 가열, 건조 및 보온 등에 널리 이용되어 왔으며, 1983년에 미국의 포드사가 자동차의 도장 건조용으로 원적외선을 가열원으로 사용한 것이 산업적인 활용의 첫 시도라고 알려지고 있다<sup>6)</sup>.

본 연구는 항균효과가 뛰어난 원적외선 방사 세라믹을 이용하여 세라믹 처리수를 제조하고 미세조류의 생장에 미치는 세라믹 처리수의 선택적 기능을 밝혀 남조류의 발생억제와 같은 수질관리에 이용하고자 하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 세라믹 처리수 제조

세라믹 처리수는 2가지 세라믹을 사용하여 제조하였다. 1차 활성화 처리수는 맥반석 세라믹을 사용하여 제조하였고, 맥반석 세라믹의 조성은 Table 1에 보인 바와 같다. 맥반석 세라믹은 알루미나, 실리카, 산화철, 이산화망간, 산화동, 마그네시아를 일정한 비율로 배합하고 물을 넣어 혼합한 후, 1,300°C에서 10시간 소성하여 분말을 제조하였다. 제조된 분말에 PVA를 적당량 넣고 제환기를 사용하여 세라믹 볼을 만든 후 1,350°C에서 5시간 소성하여 세라믹 볼을 제조하였다.

2차 활성화 처리수는 일라이트(illite)와 블랙스톤

Table 1. Chemical composition of a ceramic used in this experiment

Item	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	CuO	LiO <sub>2</sub>	BaCO <sub>3</sub>
Weight (%)	40.0	19.5	13.5	5.5	4.5	4.0	3.5	4.5	5.0

(blackstone) 세라믹을 사용하여 제조하였고, 제조방법은 1차 활성화 처리수 제조에 사용된 볼 제조방법과 동일하였다. 세라믹 처리수 시스템은 2단계로 되어 있으며(Fig. 1), 1차 활성화 시스템을 거친 처리수는 세라믹 처리 1(C1) 실험용으로 2차 활성화 시스템을 거친 처리수는 세라믹 처리 2(C2) 실험용으로 사용하였다.

### 2.2. 미세조류 및 배지

세라믹 처리수를 이용한 조류 생장 억제효과를 관찰하기 위하여 담수 수계에서 흔히 관찰할 수 있는 녹조류 *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris*와 남조류 *Oscillatoria tenuis*, *Microcystis aeruginosa*를 선정하여 본 실험에 사용하였다. 배지의 특성에 따른 조류의 증식 정도를 조사하기 위하여 인공합성배지(medium, M)와 자연수(natural water, N)로 구분하였고, 각각의 배지는 세라믹을 처리하지 않은 대조구와 세라믹을 처리한 1차 처리수(C1)와 2차 처리수(C2)로 구분하였다. 인공배지는 Allen 액체배지<sup>7)</sup>를 제조하여 대조구(M), 세라믹 1차 처리수(MC1)와 2차 처리수(MC2)로 구분하여 실험에 사용하였고, 자연수는 호소에서 채수한 물을 Millipore filter(pore size: 0.22 μm)로 여과하고 121°C에서 15분간 고압 멸균한 후, 대조구(N), 세라믹 1차 처리수(NC1), 2차 처리수(NC2)로 구분하여 사용하였다.

### 2.3. 현존량 및 이화학적 요인 분석

배지의 특성에 따른 조류의 생장효과를 관찰하기 위하여 자연수와 인공배지로 구분하여 4종의 미세조류를 접종하고 12일간 배양하면서 현존량의 변화를 관찰하였다. 조류의 배양은 250-mL 삼각플라스크에 자연수(N, NC1, NC2)와 Allen 액체배지(M, MC1, MC2)를 각 150 mL씩 분주한 후, 4종의 조류를 각각 일정량 접종하여 25±1°C, 광도 100-150 μE/

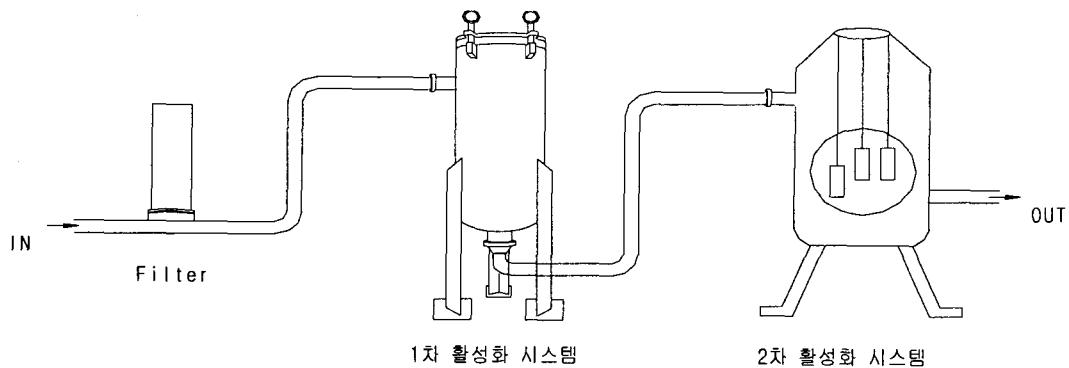


Fig. 1. Structure of water treatment system by ceramic.

## 세라믹 처리수의 조류생장 억제 효과

m<sup>3</sup>/s, 16:8 h LD 광주기가 자동 조절되는 Shaking incubator(100 rpm)에서 12일간 수행하였다. 조류 현존량은 12일간 배양하면서 3-4일 간격으로 Fluorometer(Turner 450)를 이용하여 *in vivo* fluorescence를 측정하여 간접적으로 측정하였고, 동시에 배양 최종일에 조류의 건조중량을 측정하였다<sup>8)</sup>.

수소이온농도(pH)는 pH meter(HANNA, HI8314)로 측정하였다. 총 용존질소(TDN)는 persulfate법에 따라 질소를 질산염으로 산화시킨 후 분석하였고<sup>9)</sup>, 질산성-질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)는 Szechrome NB 시약(Poly-science Inc.)으로 발색시킨 후 600 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다<sup>10)</sup>. 총 용존인(TDP)은 persulfate법에 따라 인을 무기 인산염으로 산화시킨 후 분석하였고<sup>11)</sup>, 용존 무기인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P; SRP, soluble reactive phosphorus)은 시료를 phosphomolybdate 법으로 발색시킨 후 885 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다<sup>12)</sup>.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 녹조류의 생장특성

배지의 특성에 따른 녹조류 *Scenedesmus quadricauda*의 현존량 변화는 Fig. 2에 보인 바와 같다. 인공배지의 세라믹 1차 처리수(MC1)에서 배양 12일에 *in vivo* fluorescence가 5085.3으로 가장 높았고, 세라믹을 처리하지 않은 대조구(M)에서 2100.7로 가장 낮았다. 그러나 자연수의 경우 대조구(N)에서 397.7이었으나, 세라믹 처리구인 NC1과 NC2에서 각각 201.0과 6.3으로 매우 낮았다. 즉 *S. quad-*

*ricauda*는 세라믹을 처리한 인공배지에서 생육이 증가한 반면, 세라믹을 처리한 자연수에서 그 생육이 감소하는 상반된 결과를 보였다.

*Chlorella vulgaris*의 현존량 또한 Fig. 3에 보인 바와 같이 인공배지의 세라믹 처리수인 MC1과 MC2에서 *in vivo* fluorescence가 각각 6208.0과 6157.3으로 높았고, 세라믹을 처리하지 않은 대조구(M)에서 1751.3으로 가장 낮았다. 그러나 자연수의 경우 대조구(N)에서 302.3, 세라믹 처리수(NC1, NC2)에서 47.7-141.0으로 매우 낮았다. 즉 *C. vulgaris*는 Allen 액체배지에 세라믹을 처리하여 배양하였을 때 조류의 생장이 증가한 반면, 자연수에 세라믹을 처리하여 배양하였을 때 생육이 감소하는 상반된 결과를 나타내었다. 따라서 녹조류 *S. quadricauda*와 *C. vulgaris*는 영양염류의 농도가 매우 높게 조제된 인공배지에서 세라믹 처리에 의하여 생장이 촉진되었으나, 상대적으로 영양염류의 농도가 매우 낮은 자연수에서 세라믹 처리에 의하여 생장이 저해되는 현상을 보였다.

#### 3.2. 남조류의 생장특성

배지의 특성에 따른 남조류 *Oscillatoria tenuis*의 현존량 변화는 Fig. 4에 보인 바와 같다. *O. tenuis*는 인공배지의 대조구(M)에서 배양 최종일에 *in vivo* fluorescence가 306.7로 높았던 경우를 제외하고, 세라믹 처리수(MC1, MC2), 자연수의 대조구(N) 및 세라믹 처리수(NC1, NC2)에서 *in vivo* fluorescence가 13.3-68.0으로 매우 낮았다. 즉 *O. tenuis*는 인공배지 및 자연수에서 세라믹 처리에 의하여

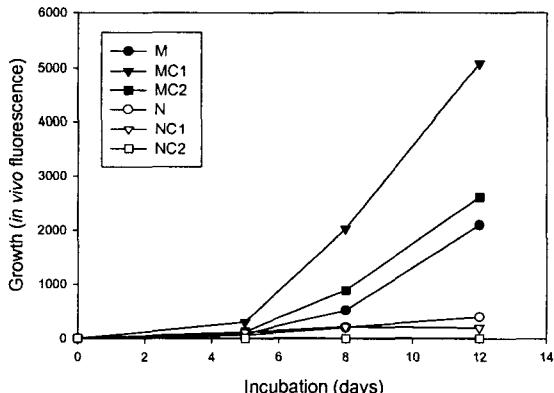


Fig. 2. Effect of ceramic-treated water on the growth of *Scenedesmus quadricauda* in Allen medium (M, MC1, MC2) and natural water (N, NC1, NC2). Control, M and N; 1st ceramic-treated water, MC1 and NC1; 2nd ceramic-treated water, MC2 and NC2.

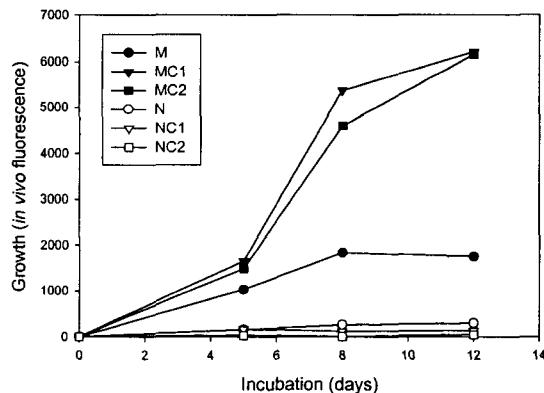


Fig. 3. Effect of ceramic-treated water on the growth of *Chlorella vulgaris* in Allen medium (M, MC1, MC2) and natural water (N, NC1, NC2). Control, M and N; 1st ceramic-treated water, MC1 and NC1; 2nd ceramic-treated water, MC2 and NC2.

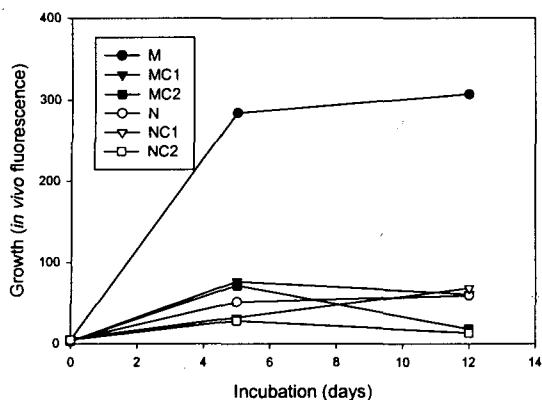


Fig. 4. Effect of ceramic-treated water on the growth of *Oscillatoria tenuis* in Allen medium (M, MC1, MC2) and natural water (N, NC1, NC2). Control, M and N; 1st ceramic-treated water, MC1 and NC1; 2nd ceramic-treated water, MC2 and NC2.

생육이 저해되는 현상을 보였다.

한편 *Microcystis aeruginosa*의 현존량 변화는 Fig. 5에 보인 바와 같다. 인공배지의 대조구(M) 및 세라믹 1차 처리수(MC1)에서 배양 최종일에 *in vivo* fluorescence가 각 205.0와 212.0으로 높았을 뿐, 2차 처리수(MC2), 자연수의 대조구(N) 및 세라믹 처리수(NC1, NC2)에서 6.0-10.3으로 매우 낮았다. 즉 *M. aeruginosa*는 인공배지의 1차 세라믹 처리수(MC1)를 제외하고, 세라믹을 처리한 인공배지 (MC2) 및 자연수(NC1, NC2)에서 생육이 크게 저해되는 현상을 보였다. 따라서 남조류 *O. tenuis*와 *M. aeruginosa*는 인공배지와 자연수 모두 2차 세라믹 처리수(MC2, NC2)에서 대조구에 비하여 생장이 크게 억제되는 현상을 보였다.

### 3.3. 세라믹 처리에 따른 현존량 변화

인공배지를 이용한 실험구(M, MC1, MC2)에서 12일간 조류를 배양한 후 측정된 현존량을 대조구에 대한 상대비율(%)로 계산한 결과는 Fig. 6에 보인 바와 같다. 세라믹 처리수(MC1과 MC2)에서 녹조류 *S. quadricauda*와 *C. vulgaris*의 생육은 대조구의 125-354%로 크게 증가되었다. 그러나 남조류 *O. tenuis*는 세라믹 처리수에서 대조구보다 훨씬 적은 6-20%로 감소하였고, *M. aeruginosa*는 세라믹 1차 처리수(MC1)에서 대조구와 동일하였으나, 2차 처리수(MC2)에서 대조구의 6%로 크게 저해된 것으로 관찰되었다.

자연수의 대조구(N)와 세라믹 처리수(NC1, NC2)에서 4종의 조류를 각각 12일간 배양한 후 측정한

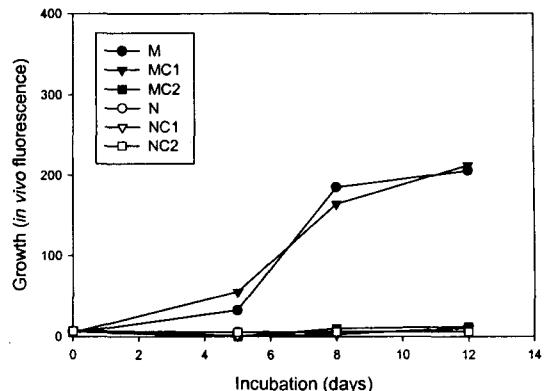


Fig. 5. Effect of ceramic-treated water on the growth of *Microcystis aeruginosa* in Allen medium (M, MC1, MC2) and natural water (N, NC1, NC2). Control, M and N; 1st ceramic-treated water, MC1 and NC1; 2nd ceramic-treated water, MC2 and NC2.

현존량을 대조구에 대한 상대 비율(%)로 계산한 값은 Fig. 7에 보인 바와 같다. 녹조류 *S. quadricauda*와 *C. vulgaris*의 생육은 세라믹 처리수(NC1, NC2)에서 대조구의 2-51%로 크게 감소되었다. 남조류 *O. tenuis*와 *M. aeruginosa*의 생육은 세라믹 1차 처리수(NC1)에서 대조구의 115-166%로 일부 증가하는 경향을 보였다. 그러나 세라믹 2차 처리수 (NC2)에서 *O. tenuis*의 생육은 대조구의 22%로 크게 저해되었다. 따라서 세라믹 처리수가 조류의 생

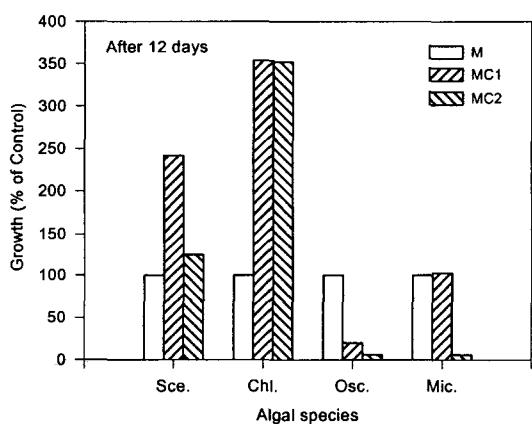


Fig. 6. Relative growth of each species after incubation of 12 days in Allen medium. M, control; MC1, 1st ceramic-treated water; MC2, 2nd ceramic-treated water. Sce., *Scenedesmus quadricauda*; Chl., *Chlorella vulgaris*; Osc., *Oscillatoria tenuis*; Mic., *Microcystis aeruginosa*.

## 세라믹 처리수의 조류생장 억제 효과

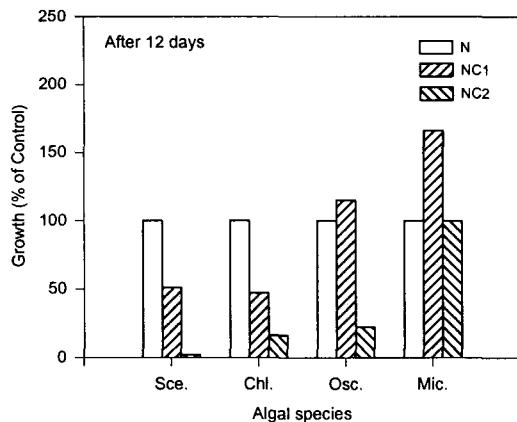


Fig. 7. Relative growth of each species after incubation of 12 days in natural water. N, control; NC1, 1st ceramic-treated water; NC2, 2nd ceramic-treated water. Sce., *Scenedesmus quadricauda*; Chl., *Chlorella vulgaris*; Osc., *Oscillatoria tenuis*; Mic., *Microcystis aeruginosa*.

장에 미치는 영향을 종합적으로 분석하여 볼 때, 녹조류의 생장은 세라믹을 처리한 배지의 특성에 따라 촉진 또는 저해되었으나, 남조류의 생장은 세라믹 2차 처리수에서 대부분 억제되는 것으로 관찰되었다.

한편 조류의 현존량으로 측정한 건조중량과 *in vivo* fluorescence<sup>3</sup>의 상관관계는 Fig. 8에 보인 바와 같다. 배양 최종일에 녹조류 *S. quadricauda*와 *C. vulgaris*를 대상으로 측정한 *in vivo* fluorescence와 건조중량은 높은 상관( $y = 12.6x + 69.3$ ,  $r^2 = 0.841$ ,  $P < 0.001$ )이 있었으며, 남조류 *O. tenuis*와 *M. aeruginosa*의 *in vivo* fluorescence와 건조중량 간에도 높은 상관이 있었다( $y = 0.634x + 39.1$ ,  $r^2 = 0.526$ ,  $P < 0.01$ ). 이러한 결과는 AGP(Algal Growth Potential, 조류생장잠재력) 시험종으로 *M. aeruginosa*를 배양하면서 측정한 *in vivo* fluorescence와 건조중량간에 고도로 유의한 상관을 보인 오 등<sup>13)</sup>의 결과와 잘 부합된다. 또한 미세조류의 현존량을 나타내는 지표로서 *in vivo* fluorescence는 건조중량에 비하여 간편하고 신속하며 매우 유용한 방법이라고 판단된다.

### 3.4. 세라믹 처리에 따른 수질의 변화

자연수와 인공배지의 각 실험구에서 세라믹 처리 전·후, 조류배양 전·후 조사된 평균 pH, 총 용존질소, 질산성-질소, 총 용존인과 용존 무기인의 변화는 Table 2와 같다. 배양전 인공배지의 초기 pH는 9.1이었고, 세라믹 처리로 인하여 8.2-8.3으로 감

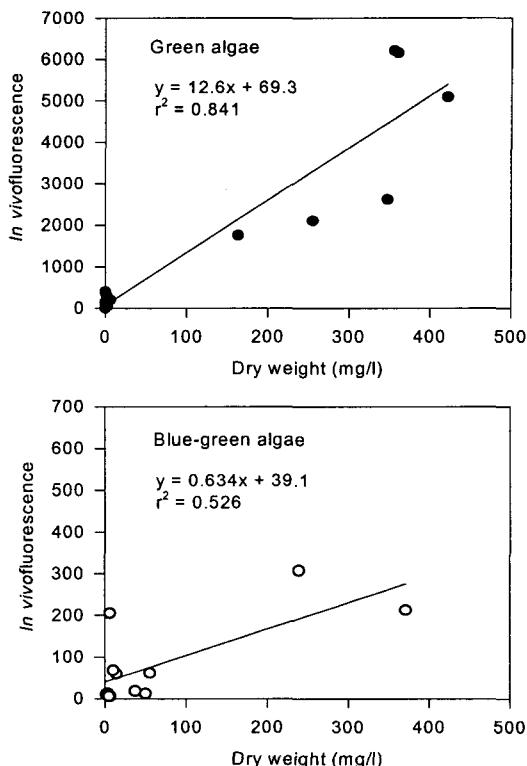


Fig. 8. Relationships between dry weight and *in vivo* fluorescence of microalgae after incubation of 12 days. Green algae, *Scenedesmus quadricauda* and *Chlorella vulgaris*; Blue-green algae, *Oscillatoria tenuis* and *Microcystis aeruginosa*.

Table 2. Variation of physico-chemical water quality measured before and after incubation of algae in Allen medium and natural water

Parameters \ Day	Allen medium (M)		Natural water (N)		
	0 day	12 days	0 day	12 days	
pH	Control	9.1	9.1	7.3	7.6
	C1	8.2	9.2	7.4	7.7
	C2	8.3	9.2	7.5	7.8
TDN (mg/l)	Control	462.2	462.8	3.2	2.7
	C1	441.1	442.8	3.1	2.9
	C2	443.6	455.0	3.1	3.0
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	Control	268.2	285.9	0.6	0.7
	C1	290.6	281.8	0.7	0.6
	C2	282.8	267.7	0.7	0.7
TDP (mg/l)	Control	5.92	6.00	0.07	0.07
	C1	4.96	5.79	0.07	0.18
	C2	5.00	5.42	0.07	0.07
$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l)	Control	4.99	1.50	0.05	0.65
	C1	3.23	1.18	0.05	0.02
	C2	3.28	1.47	0.05	0.02

소하였으나 배양 최종일에 9.2로 회복되었다. 자연수의 초기 pH는 7.3-7.5이었고, 배양최종일에 7.6-7.8로 다소 증가하는 경향을 보였으나, 전반적으로 세라믹 처리 및 배양에 따른 pH의 변화는 크지 않았다.

총 용존질소는 인공배지의 각 실험구(M, MC1, MC2)에서 배양 전에 441.1-462.2 mg/l, 배양 후에 442.8-462.8 mg/l로 원적외선 세라믹 처리에 의하여 모두 감소하였다. 그러나 자연수의 각 실험구(N, NC1, NC2)에서 총 용존질소는 배양 전에 3.1-3.2 mg/l, 배양 최종일에 2.7-3.0 mg/l로 세라믹 처리 및 배양에 따른 차이가 크지 않았다. 이와는 대조적으로 질산성-질소는 자연수의 각 실험구에서 배양 전·후 모두 0.6-0.7 mg/l로 큰 변화가 없었으나, 인공배지의 각 실험구에서는 배양 전에 268.2-290.6 mg/l, 배양 후에 267.7-285.9 mg/l로 세라믹 처리에 따른 차이를 보였으나, 배양 전·후에 따른 변화는 크지 않았다. 즉 원적외선 세라믹 처리에 의하여 자연수 및 인공배지에서 총 용존질소는 감소하는 반면, 질산성-질소는 약간 증가하는 것으로 판단된다.

한편 총 용존인은 자연수의 각 실험구에서 배양 전에 0.07 mg/l이었고, 배양 최종일에 세라믹 1차 처리구에서 0.18 mg/l로 증가한 것을 제외하고 변화가 전혀 없었다. 그러나 인공배지의 초기 총 용존인은 5.92 mg/l이었고, 세라믹 처리에 의하여 4.96-5.00 mg/l로 감소하였다. 용존 무기인 또한 자연수에서 세라믹 처리에 의하여 큰 차이를 보이지 않았으나, 인공배지의 초기 용존 무기인은 대조구에서 4.99 mg/l이었고, 세라믹 처리에 의하여 3.23-3.28 mg/l로 감소하였다. 즉 세라믹을 처리함으로써 자연수는 총 인 및 무기인의 농도에 영향을 받지 않았으나, 총 용존질소가 감소하고 질산성-질소가 약간 증가하였다. 한편 인공배지는 세라믹 처리에 의하여 총 용존질소가 감소하면서 질산성 질소가 증가하였을 뿐만 아니라, 무기인의 농도가 감소하였다.

조류의 생장은 많은 영양염류 가운데 질소나 인의 농도에 의하여 결정되며, 담수에서 인(P)이 더욱 중요하게 작용하는 것으로 알려져 왔다<sup>14)</sup>. 특히 담수환경에서 인은 수중의 입자 등에 흡착되기 때문에 생물학적으로 유용하게 사용될 수 있는 용해성 인의 농도가 질소보다 상대적으로 낮으며 인의 부족현상이 보편적으로 나타난다. 따라서 N/P 비율이 10-17이상일 때 P가 N에 비하여 상대적으로 결핍된 것으로 평가되며 일차적으로 조류의 생장이 억제되는 것으로 알려져 왔다<sup>15)</sup>.

본 실험에 사용한 자연수의 총인 농도는 인공배

지에 비하여 매우 낮지만, Heiskary와 Walker<sup>16)</sup>가 부영양호 기준으로 제시한 총인 농도인 0.03 mg/l보다 2배 이상 높은 농도이다. 또한 배양전 자연수의 TDN/TDP의 비율이 대조구에서 46, 세라믹 처리구(NC1, NC2)에서 44로 약간 감소한 반면, 인공배지의 대조구에서 TDN/TDP비가 78, 세라믹 처리수(MC1, MC2)에서 모두 89로 증가하였다. 즉 수중 총 용존인 및 용존 무기인은 농도가 낮은 자연수에서 원적외선 세라믹 처리에 의하여 변화가 없었으나, 농도가 높은 인공배지에서 세라믹 처리에 의하여 감소하는 것으로 판단된다.

남조류 *M. aeruginosa*의 optimum N:P atomic ratio가 11(약 6:1 weight ratio)인 Oh와 Rhee<sup>17)</sup>의 보고를 고려할 때, 자연수 및 인공배지 모두 질소에 비하여 인이 상대적으로 적은 상태이며, 특히 인공배지에서 세라믹 처리에 의하여 인이 더욱 감소하였음을 알 수 있다. 따라서 남조류 *O. tenuis*와 *M. aeruginosa*는 세라믹을 처리하지 않은 대조구에서 생장이 비교적 활발하였으나, 세라믹을 처리함으로써 대조구에 비하여 상대적으로 인의 농도가 더 감소된 인공배지와 자연수의 세라믹 처리구에서 생장이 저해된 것으로 판단된다. 그러나 녹조류 *S. quadricauda*와 *C. vulgaris*는 영양염류의 농도가 인공배지에 비하여 상대적으로 낮았던 자연수의 세라믹 처리수(NC1, NC2)에서 생장 저해를 받았으나, 영양염류의 농도가 높았던 인공배지의 세라믹 처리수(MC1, MC2)에서 오히려 생장이 촉진되었다.

국내 부영양화 수계에서 수화를 형성하는 종들은 대부분 남조류이며, 특히 *Microcystis*속에 속하는 종들이 주요 우점종으로 출현하고 있다<sup>18)</sup>. 본 실험 결과 세라믹을 처리함으로써 *M. aeruginosa*의 생장에 선택적으로 영향을 줄 수 있음을 확인하였고, 이러한 효과는 부영양화 수계에 세라믹을 처리함으로써 수화발생 원인조류인 남조류의 생장에 선택적으로 영향을 주어 남조류의 생장조절 및 발생예방이 가능할 것으로 판단된다.

이와 같은 연구결과를 바탕으로 향후 원적외선 세라믹을 조류발생 현장에 적용하기 위해서는 원적외선 세라믹의 인 제거 효과 및 작용 기작에 대한 연구와 수중생태계에 미치는 영향 등에 대한 충분한 연구가 후속되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

녹조류 *Scenedesmus quadricauda*와 *Chlorella vulgaris*는 영양염류의 농도가 매우 높게 조제된 인공배지에서 세라믹 처리에 의하여 생장이 촉진되었으나, 상대적으로 영양염류의 농도가 매우 낮은 자

## 세라믹 처리수의 조류생장 억제 효과

연수의 경우 세라믹 처리에 의하여 생장이 저해되는 현상을 보였다. 남조류 *Oscillatoria tenuis*와 *Microcystis aeruginosa*는 인공배지와 자연수 모두에서 세라믹 처리수에서 대조구에 비하여 생장이 억제되는 경향을 보였다. 자연수의 세라믹 1차 처리수(NC1)에서 남조류 *O. tenuis*와 *M. aeruginosa*의 생장이 다소 증가하였으나, 세라믹 2차 처리수(NC2)에서 남조류 *O. tenuis*와 *M. aeruginosa*의 생장이 저해되는 경향을 보였다. 따라서 세라믹이 미세조류 생장에 대한 억제효과는 세라믹 2차 처리수(NC2)가 세라믹 1차 처리수(NC1)에 비하여 큰 것으로 판단되었다. 부영양화 수계에서 수화(algal bloom)를 형성하는 종들은 대부분이 남조류로서 *Microcystis* 와 *Oscillatoria* 등이 주요 우점종으로 출현하고 있다. 따라서 세라믹 처리에 의한 녹조류 또는 남조류의 선택적 생장 증식 또는 감소 효과는 부영양화 수계에서 남조류의 생장 조절 및 발생예방에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 녹조류는 배지의 종류(자연수 또는 인공배지) 및 배지의 조성에 따라 세라믹 처리의 효과가 크게 변화하므로 이들에 대한 후속연구가 필요하다. 또한 세라믹 처리가 수중 생태계에 미치는 영향에 대한 연구가 뒷받침되어야 한다.

### 참 고 문 헌

- 1) American Water Works Association, 1990, Water Quality and Treatment, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 197-202.
- 2) 오희목, 박준홍, 윤무환, 맹주선, 1997, 대청호 수화발생시 수중 인농도와 cyanobacteria의 다중인 산업 분포관계, 한국육수학회지, 30, 97-106.
- 3) James, M., Montgomery Consulting Engineers, Inc., 1985, Water Treatment, Principles and Design, John Wiley & Sons, Inc., 49-61.
- 4) 오희목, 김도한, 1995, 대청호의 남조류 수화발생에 대한 단기적 예측, 한국육수학회지, 28, 127-135.
- 5) Paek, U.H., 1995, The special characteristics of Korean far-infrared radiant ceramics, the 1st Korea-Japan Symposium on Far-Infrared, 105-170.
- 6) 지철근, 1992, 우리나라의 원적외선산업의 현황과 전망, 한국조명·전기설비 학회지, 1, 7-10.
- 7) Allen, M.M., 1968, Simple conditions for the growth of unicellular blue-green algae on plates, J. Phycol., 4, 1-4.
- 8) Mayer, P., R. Cuhel, and N. Nyholm, 1997, A simple *in vitro* fluorescence method for biomass measurements in algal growth inhibition tests, Water Res., 31, 2525-2531.
- 9) D'Elia, C.F., P.A. Steudler, and N. Corwin, 1977, Determination of total nitrogen in aqueous samples using persulfate digestion, Limnol. Oceanogr., 22, 760-764.
- 10) Wynne, D. and G-Y. Rhee, 1986, Effects of light intensity and quality on the relative N and P requirement (the optimum N:P ratio) of marine planktonic algae, J. Plankton Res., 8, 91-103.
- 11) Menzel, D.W. and N. Corwin, 1965, The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fraction of persulfate oxidation, Limnol. Oceanogr., 10, 280-282.
- 12) Murphy, J. and J.P. Riley, 1962, A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, Analyt. Chim. Acta., 27, 31-36.
- 13) 오희목, 이석준, 김성빈, 박미경, 윤병대, 김도한, 1998, Algal bioassay에 의한 조류생장 제한 영양염류 결정, 한국육수학회지, 31, 150-157.
- 14) Schindler, D.W., F.A.J. Armstrong, S.K. Holmgren, and G.J. Brunskill, 1971, Eutrophication of Lake 227, experimental lake area, Northwestern Ontario, by addition of phosphate and nitrate, J. Fish. Res. Bd. Canada, 28, 1763-1782.
- 15) Smith, V.H., 1982, The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis, Limnol. Oceanogr., 27, 1101-1112.
- 16) Heiskary, S. and W.W. Walker, 1987, Developing phosphorus criteria for Minnesota lakes, Lake Reserv. Manage., 4, 1-9.
- 17) Oh, H.-M. and G-Y. Rhee, 1991, A comparative study of microalgae isolated from flooded rice paddies: light-limited growth, C fixation, growth efficiency and relative N and P requirement, J. Appl. Phycol., 3, 211-220.
- 18) Park, H.-D., B. Kim, E. Kim, and T. Okine, 1998, Hepatotoxic microcystins and neurotoxic anatoxin-a in cyanobacterial blooms from Korean lakes, Environ. Toxicol. Water Qual., 13, 225-234.