

분말세라믹에 의한 *Microcystis* sp. 제거효과이재원 · 김민수 · 정승현 · 안치용 · 김보배 · 장감용¹ · 오희목*한국생명공학연구원 환경생명공학연구센터, ¹전양대학교 의과대학Removal of *Microcystis* sp. using Ceramic PowderJae Won Lee, Min Soo Kim, Seung-Hyun Joung, Chi-Yong Ahn, Bo-Bae Kim,
Kam-Yong Jang¹ and Hee-Mock Oh*Environmental Biotechnology Center, Korea Research Institute of
Bioscience and Biotechnology, Daejeon, Korea¹College of Medicine, Konyang University, Daejeon, Korea

Abstract – The removal of *Microcystis aeruginosa* and *Chlorella zofingiensis* by ceramic powder was investigated on the basis of both the particle size (under 0.05, 0.1, 1 mm) and the dosage (0.1, 1, 10 g L⁻¹) of the ceramic powder. The removal efficiencies of *M. aeruginosa* and *C. zofingiensis* were highest with a particle size of 0.05 mm and a dosage of 1 g L⁻¹ of the ceramic powder in laboratory experiment. Chlorophyll-*a* concentrations decreased in both field and enclosure samples with a particle size of 0.05 mm and a dosage of 1 g L⁻¹ of ceramic powder, resulting in the removal efficiencies of 67 and 69%, respectively. Consequently, it was concluded that the ceramic powder could be used to control algal bloom by removing chlorophyll-*a* in eutrophic waters.

Key words : *Microcystis* sp., ceramic powder, removal efficiency, chlorophyll-*a*

서 론

최근 호수, 저수지 등에서 과도한 영양염류의 유입으로 인하여 부영양화가 심화되고 있으며, 이는 조류의 급격한 성장을 촉진하여 수화현상을 야기하는 주원인이 되고 있다. 일반적으로 부영양화된 호소에서는 규조류나 남조류가 우점하며 (Negro *et al.* 2000), 특히 수화발생의 원인이 되는 조류는 대부분 *Microcystis* sp., *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Aphanizomenon* sp.에 속하는 남조류인 것으로 알려져 있다. 이와 같은 남조류는 geosmin이나 2-methylisoborneol (MIB) 등의 악취를 유발하는 물질

을 생성함으로써 수자원으로서의 가치를 하락시킬 뿐만 아니라 막대한 경제적 손실을 초래한다 (Saxby 1993; Lloyd and Grimm 1999). 특히 수화현상을 일으키는 대표적인 남조류로서 *Microcystis* sp.는 독성물질인 microcystin을 배출함으로써 물고기, 가축뿐만 아니라 인간에게도 악영향을 미치는 간독소로서 세계보건기구 (WHO)에서도 음용수의 허용기준을 1 µg L⁻¹ 이하로 규제하고 있다 (Carmichael 1992; Jochimsen *et al.* 1998; World Health Organization 1998).

이러한 수화현상을 예방하기 위해서는 수화 발생의 직접적인 원인이 되는 영양염류의 유입을 방지하기 위한 근본적인 대책이 필요하다. 호소의 영양염류 조절을 위한 방법으로는 영양염류의 원천적인 유입 차단, 유입수의 고도 처리, 저질의 준설 등 다양한 방법이 있으나,

*Corresponding author: Hee-Mock Oh, Tel. 042-860-4321,
Fax. 042-860-4594, E-mail. heemock@kribb.re.kr

처리비용과 시간이 많이 들고 비점 오염원에 의한 영양물질의 유입 등 부영양화를 초래하는 여러 가지 요소들을 완벽히 제어하는 것은 사실상 불가능하다 (Klapper *et al.* 1991; Cooke *et al.* 1993). 따라서 수화발생을 야기하는 남조류의 대량 발생을 사전에 방지하거나 수화발생 시 인위적으로 남조류의 성장을 억제하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재까지 연구된 조류제어 방법으로는 첫째, 담수호에서 조류생장을 위한 제한인자로 알려진 인을 제거하기 위한 Al, Fe, Ca 등을 함유한 산업부산물, 황토 살포법, 슬래그 및 규산질다공체를 이용한 인 제거방법 둘째, 황산동 살포법, 과망간산 처리법, 염소화합물 처리법 등의 화학적 처리방법 셋째, 초음파를 이용한 남조류 성장제어 등과 같은 물리적인 방법 등이 있다 (박 등 2001; Ahn *et al.* 2003; 전 등 2005). 그러나 가장 보편적으로 사용되는 황산동 살포법은 어류에 독성을 나타낼 수 있으며 (Karan *et al.* 1998), 과망간산 또는 염소화합물 처리법은 *Microcystis aeruginosa*의 독소인 microcystin을 수계에 방출할 위험성이 제기되는 (Lam *et al.* 1995) 등 환경 조건에 따른 적용 가능성의 한계를 나타내고 있다. 따라서 2차오염이 없이 친환경적이고 경제적인 조류제어 방법에 대한 지속적인 연구가 절실히 요구되고 있다.

일반적으로 세라믹은 고온의 열처리에 의해 제조되는 비금속성의 무기질 고체재료로서 내화성이 우수한 특성이 있어 과거에는 요업의 주원료로 사용되어 왔으며, 현재에는 반도체, 광학, 나노바이오산업 등 다양한 분야에 이용되고 있다 (이 2003). 세라믹은 제조과정에서 고온으로 장시간 소성함으로써 다량의 원적외선을 방사하는 것으로 알려져 있으며, 이 때 방사되는 원적외선은 파장이 25 μm 이상으로 세포의 신진대사 활성화, 유해물질 및 전자파로부터 세포 보호기능 등의 효과를 나타내는 것으로 밝혀졌으며 (김 등 2001), 이 외에도 악취제거, 공기정화, 항균작용 등의 효과를 나타내는 것으로 보고되어 있다 (지 2001; 김 등 2002).

따라서 본 연구에서는 이와 같은 효과를 나타내는 분말세라믹을 이용하여 조류제어에 관한 실험을 수행하고, 수중 영양염류의 변화를 측정함으로써 분말세라믹 처리에 따른 조류제어 및 수질정화 효과를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 분말세라믹의 제조 및 특성

본 실험에 사용한 분말세라믹은 알루미늄, 실리카, 산

화철, 이산화망간, 산화동, 마그네시아를 일정비율에 따라 배합하여 1,300°C에서 10시간 동안 1차 소성한 후, poly-vinyl-alcohol (PVA)을 첨가하여 1,350°C에서 5시간 동안 2차 소성하여 제조하였다. 이와 같이 제조된 세라믹을 분쇄기 (HM 500, Korea)를 이용하여 분쇄한 후 표준체 (Standard Sieve)를 이용하여 0.05~1 mm의 분말세라믹을 입도별로 구분하여 실험에 사용하였다.

2. 시료분석

엽록소-*a*의 농도를 간접적으로 알 수 있는 *in vivo* fluorescence는 시간별로 채취한 시료 2 mL을 여기 (excitation) 440 nm, 방출 (emission) 665 nm 조건의 fluorometer (Turner 450, Barnstead/Thermolyne, USA)를 이용하여 3 반복으로 측정하였다.

엽록소-*a* 농도의 측정을 위해 각 시료는 여과지 (GD/X, PVDF, 25 nm, 0.2 μm)로 여과하고 chloroform-methanol (2 : 1, v/v)을 가해 저온 암소에서 24시간 방치하여 엽록소-*a*를 추출하였다. 추출용액을 여기 (excitation) 440 nm, 방출 (emission) 665 nm 조건의 fluorometer (Turner 450, Barnstead/Thermolyne, USA)를 이용하여 3 반복으로 측정하였다. 측정된 형광값은 환산식을 이용하여 엽록소-*a*의 농도를 산출하였다 (Wood 1985).

3. 조류 배양

본 실험에 사용된 미세조류 *Microcystis aeruginosa*와 *Chlorella zofingiensis*의 배양은 250 mL 플라스크에 합성 배지인 Allen medium을 100 mL 첨가하여 121°C에서 15분 동안 가압멸균한 후, 일정량의 미세조류를 접종하여 배양하였다. 미세조류의 배양은 배양온도 25°C, 광도 100~150 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 1일 간격의 명암주기 (16시간 light : 8시간 dark)가 자동 조절되는 shaking incubator에서 100 rpm으로 15일간 배양하여 실험에 사용하였다.

4. 현장시료를 이용한 조류제어 효과

현장시료는 *Microcystis* sp.의 대량생장에 의해 수화현상이 빈번하게 발생하는 충청북도 옥천군 추소리 인근 소재 저수지의 시료를 대상으로 하여 분말세라믹의 처리에 따른 *Microcystis* sp.의 제거효과를 조사하였다. 현장시료를 200 L 플라스틱 액상조에 현장시료 150 L를 첨가한 후 24시간 동안 안정화시켜 액상조 내에서 *Microcystis* sp.가 자연환경에서와 같은 정상상태가 되도록 유도한 후, 분말세라믹 처리 조건에 따른 *Microcystis* sp.의 제거효과를 관찰하였다. 또한 초기 *Microcystis* sp.의 농도는

현장시료 내 *Microcystis* sp.의 농도에 근거하여 필요에 따라 농축, 희석하여 사용하였다.

5. 제거효율 측정

인공 배양된 조류 및 현장 시료로부터 분말세라믹 처리에 의한 조류제거 효과는 각 실험구로부터 수표면으로부터 5 cm 아래에서 시료를 채취하여 *in vivo* fluorescence 측정법 또는 엽록소-*a* 추출법을 이용하여 엽록소-*a*의 농도를 측정함으로써 결정하였다. 침전효율 계산은 시료의 초기 엽록소-*a*의 값(C_0)에 대한 시간에 따른 엽록소-*a*의 값(C_t)의 변화 정도를 아래의 식에 의해 계산하였다.

$$\text{Removal efficiency (\%)} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100$$

결과 및 고찰

1. 분말세라믹 처리에 따른 인공 배양된 조류의 선택적 제거효과

분말세라믹 처리에 의한 인공 배양된 남조류의 제거효과를 확인하기 위하여 남조류인 *M. aeruginosa*를 대상으로 0.05, 0.1, 1 mm로 제조된 분말세라믹을 입자크기 별로 투여하고 시간별 *in vivo* fluorescence를 측정하여 *M. aeruginosa*의 제거효과를 조사하였다. 또한 대조구로 녹조류인 *C. zofingiensis*를 사용하여 분말세라믹의 선택적 조류 제거효과를 확인하였다.

Fig. 1A는 입자크기에 따라 투여된 분말세라믹에 의한 *M. aeruginosa*의 시간별 *in vivo* fluorescence의 변화를 나타낸 것이다. 각 실험구에 인공배양된 *M. aeruginosa*의 초기 *in vivo* fluorescence 값이 75 전후가 되도록 접종하고 여기에 0.05, 0.1, 1 mm로 제조된 분말세라믹을 1 g L⁻¹의 농도로 투여하여 시간에 따른 *M. aeruginosa*의 제거효과를 관찰하였다. 대조구의 경우 *M. aeruginosa* 접종 후 9시간에 *in vivo* fluorescence의 값이 52로 약 31%의 자연적인 침전현상이 나타났으며, 9시간 이후에는 더 이상의 침전은 일어나지 않았다. 0.05, 0.1, 1 mm의 분말세라믹을 투여한 실험구의 경우에는 초기 3시간 내에서 급격한 침전현상이 나타났으며 48시간 후 *M. aeruginosa*의 최종 침전효율은 각각 82, 69, 34% (*in vivo* fluorescence, 13, 23, 48)로 투여된 분말세라믹의 입자크기가 작을수록 침전효율은 증가하는 것으로 나타났다. 입자크기가 1 mm의 분말세라믹을 투여한 경우 침전효율은 대조구와 유사하였으며 이러한 이유는 투여된 분말세라믹

의 입자크기가 크기 때문에 분말세라믹의 침전속도는 높은 반면 *M. aeruginosa*와 흡착하는 마찰효율(collision efficiency)이 낮기 때문이다(Han and Kim, 2001).

분말세라믹에 의한 조류의 선택적 제거효과를 조사하기 위하여 녹조류의 일종인 *C. zofingiensis*를 이용하여 초기 *in vivo* fluorescence 값이 340~350이 되도록 접종하고 여기에 0.05, 0.1, 1 mm로 제조된 분말세라믹을 1 g L⁻¹의 농도로 투여하여 *C. zofingiensis*의 제거효과를 조사하였다(Fig. 1B). *C. zofingiensis*의 시간에 따른 침전형태는 *M. aeruginosa*의 경우와 유사한 패턴을 나타내었다. 대조구의 경우 접종 후 9시간에 약 38% (*in vivo* fluorescence, 216), 최종 48시간에서는 42% (*in vivo* fluorescence, 201)의 자연적인 침전효율을 나타내었다. 입도 0.05, 0.1, 1 mm 분말세라믹의 경우 투여 48시간 후 각각 64, 52, 44% (*in vivo* fluorescence, 124, 165, 191)의 침전효율을 나타내었다. 이러한 실험결과에 근거하여 입도별

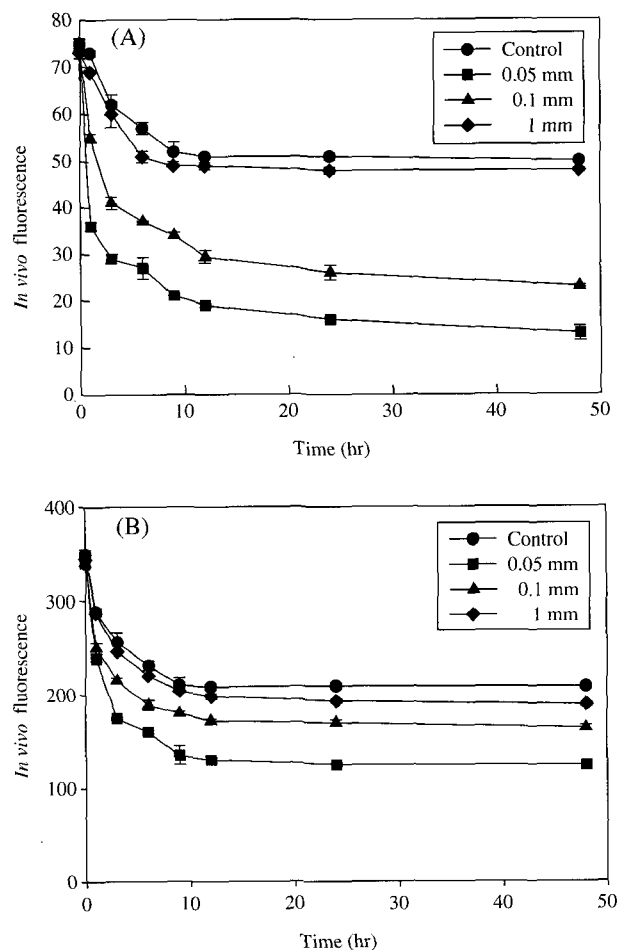


Fig. 1. Comparison of *Microcystis aeruginosa* (A) and *Chlorella zofingiensis* (B) settling by different sizes of ceramic powder.

분말세라믹 처리에 따른 *M. aeruginosa*와 *C. zofingiensis*의 침전효율은 분말세라믹의 입자크기가 작을수록 증가하는 것을 알 수 있었다. 반면, 동일한 입자크기 (0.05 mm)의 분말세라믹을 투여하는 경우 *M. aeruginosa* 및 *C. zofingiensis*의 침전효율은 각각 82, 64%로 큰 차이를 나타내었다. 또한 입자크기 0.1 mm의 경우에서도 *M. aeruginosa* 및 *C. zofingiensis*의 침전효율은 각각 69, 52%로 분말세라믹 처리에 따른 조류의 선택적 침전의 차이를 나타남을 확인하였다. 이러한 선택적 침전의 차이가 나타나는 원인은 조류에 따라 비중, 이동성, 형태적 특징, 세포표면의 음전하의 차이에 기인하기 때문이다 (Bernhardt and Clasen 1991; Pieterse and Cloot 1997). 따라서 분말세라믹의 처리 시 조류의 서로 다른 특징을 이용하여 *M. aeruginosa*의 효율적인 선택적 제거가 가능할 것으로 예상된다.

각 실험구에 인공 배양된 *M. aeruginosa*의 초기 *in vivo* fluorescence 값이 75 전후가 되도록 접종하고 여기에 입자크기가 0.05 mm로 제조된 분말세라믹을 각각 0.1, 1, 10 g L⁻¹의 농도로 투여하여 시간에 따른 *M. aeruginosa*의 제거효과를 관찰하였다 (Fig. 2). 대조구에서는 최종 48시간까지 서서히 침전이 이루어진 반면 처리구에서는 분말세라믹 투여 농도가 높아짐에 따라 초기 침전속도 및 최종 조류 침전효율도 증가하였다. 대조구와 0.1, 1, 10 g L⁻¹의 분말세라믹 처리구의 최종 48시간 후 *M. aeruginosa*의 침전효율은 각각 37, 39, 82 및 90%로 나타났다. 특히 10 g L⁻¹의 분말세라믹을 투여한 경우(초기 *in vivo* fluorescence, 77), 1시간 후에 약 53%의 침전효율 (*in vivo* fluorescence, 36)을 나타내었으며, 최종 48시간에서는 약 90% (*in vivo* fluorescence, 8)로 *M. aeruginosa*의 제거효과가 우수하였다.

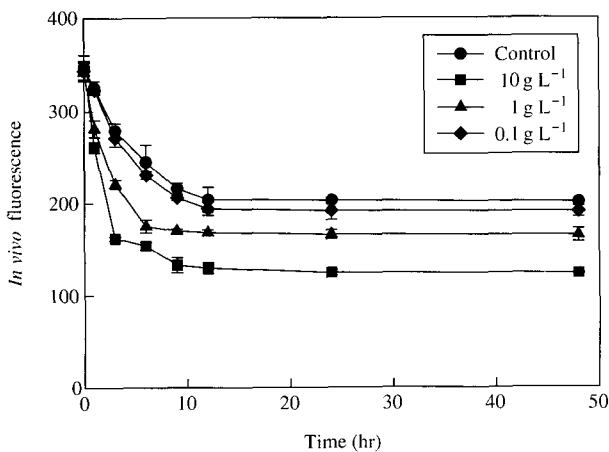


Fig. 2. Effect of ceramic powder concentrations on the removal of *M. aeruginosa*.

2. 현장시료를 이용한 조류 제어효과

인공배양된 조류를 이용하여 분말세라믹에 의한 *M. aeruginosa*의 제거에 관한 실험 결과를 토대로 하여 현장시료를 이용하여 분말세라믹에 의한 *Microcystis* sp.의 제거가능성을 실험하였다. 현장시료는 *Microcystis* sp.에 의해 수화현상이 심한 충청북도 옥천군 추소리 인근 소재 저수지의 시료를 대상으로 현장에서 채취한 시료를 냉장하여 실험실로 운반하여 실험에 이용하였다. 각 실험구에 현장시료의 엽록소-a의 농도는 130 µg L⁻¹ 전후가 되도록 접종하고 여기에 0.05, 0.1, 1 mm로 제조된 분말세라믹을 각각 1 g L⁻¹의 농도로 투여하고 24시간 후 *Microcystis* sp.의 제거효과를 관찰하였다 (Fig. 3A). 대조구의 경우 24시간 후 엽록소-a의 값이 103.3 µg L⁻¹로 약 22%의 자연적인 침전현상이 나타났으며, 입자크기가 1, 0.1 mm (초기 엽록소-a, 128.4, 122.6 µg L⁻¹)인 경우 *Microcystis* sp.의 침전효율이 각각 약 32, 40% (최종 엽

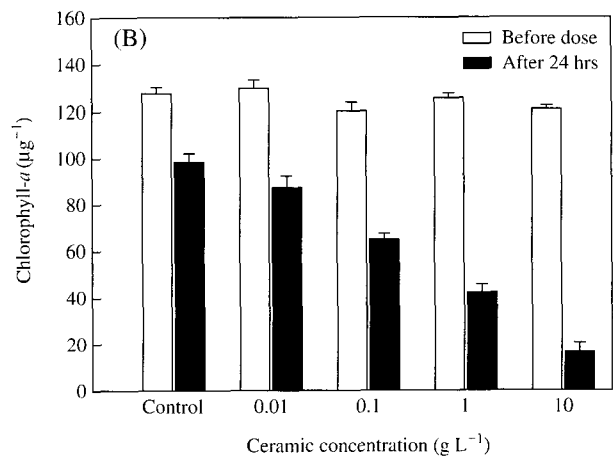
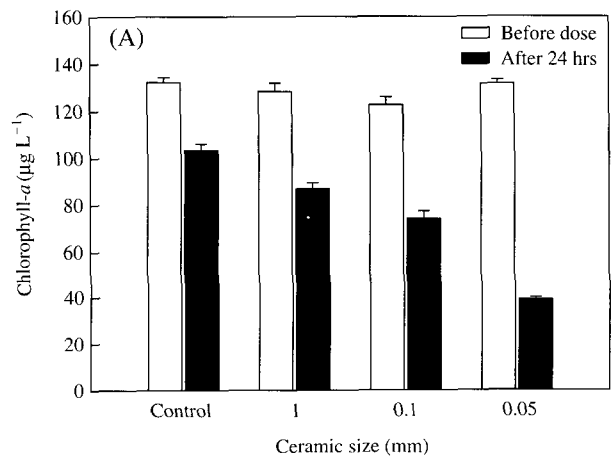


Fig. 3. Effect of ceramic powder sizes (A) and concentrations (B) on the removal of *Microcystis* sp. in field sample.

록소-a, 86.8, 74.1 $\mu\text{g L}^{-1}$)로 분말세라믹을 투여하지 않은 대조구에 비해 약간 증가하는 것으로 확인되었다. 반면 0.05 mm의 분말세라믹(초기 엽록소-a, 131.5 $\mu\text{g L}^{-1}$)의 경우 투여 24시간 후 엽록소-a의 농도가 약 67%(최종 엽록소-a, 38.9 $\mu\text{g L}^{-1}$)가 감소됨으로써 조류 제거효과가 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 인공 배양된 *M. aeruginosa*에서 나타난 결과와 유사하게 투여된 분말세라믹의 입자크기가 작을수록 침전효율은 증가하는 것으로 나타났다.

조류제거에 가장 효율적인 분말세라믹 투여 농도를 결정하기 위하여 현장시료의 엽록소-a의 농도가 120~130 $\mu\text{g L}^{-1}$ 전후가 되도록 집중하고 입자크기가 0.05 mm인 분말세라믹을 0.01~10 g L^{-1} 의 농도로 투여하고 24시간 후 *Microcystis* sp.의 제거효과를 관찰하였다(Fig. 3B). Fig. 3B에 나타난 바와 같이 분말세라믹의 처리농도가 증가할수록 엽록소-a의 제거효과는 증가하는 것으로 나타났으며, 0.01 g L^{-1} 의 농도에서 엽록소-a의 제거효율은 각각 약 33%로 대조구(23%)에 비해 엽록소-a의 제거효과는 크지 않은 것을 확인할 수 있었다. 반면 1 g L^{-1} (초기 엽록소-a, 125.6 $\mu\text{g L}^{-1}$)의 분말세라믹 처리 시 67%(최종 엽록소-a, 42.1 $\mu\text{g L}^{-1}$)의 엽록소-a 제거효과가 있었고, 10 g L^{-1} (초기 엽록소-a, 121.0 $\mu\text{g L}^{-1}$)의 분말세라믹 처리한 경우 엽록소-a의 농도는 최대 87%(최종 엽록소-a, 16.5 $\mu\text{g L}^{-1}$)까지 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과에 비추어 분말세라믹의 처리농도가 증가할수록 엽록소-a의 제거효율은 증가하나 낮은 투여농도에서는 엽록소-a의 제거효율을 크게 기대할 수 없었다. 또한 과도한 양의 분말세라믹 투여는 침전슬러지를 발생시켜 2차 오염문제를 유발할 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 비효율적이다. 따라서 수화발생 수역의 현장시료에서는 입자크기 0.05 mm, 투여농도 1 g L^{-1} 의 분말세라믹 처리 시, 가장 효율적으로 남조류를 제거할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 소규모 현장실험

현장시료는 *Microcystis* sp.에 의해 수화현상이 심한 충청북도 옥천군 추소리 인근 소재 저수지의 시료를 대상으로 하여 200L의 액상조에 150L의 현장시료를 첨가하여 분말세라믹 투여에 따른 조류 제거효과를 조사하였다. 분말세라믹은 조류제거에 가장 효율적인 것으로 확인된 입자크기가 0.05 mm인 것을 사용하였고, 각 실험구에 투여된 분말세라믹의 농도는 0.01, 0.1, 1 g L^{-1} 가 되도록 처리하여 엽록소-a의 농도를 측정하여 분말세라

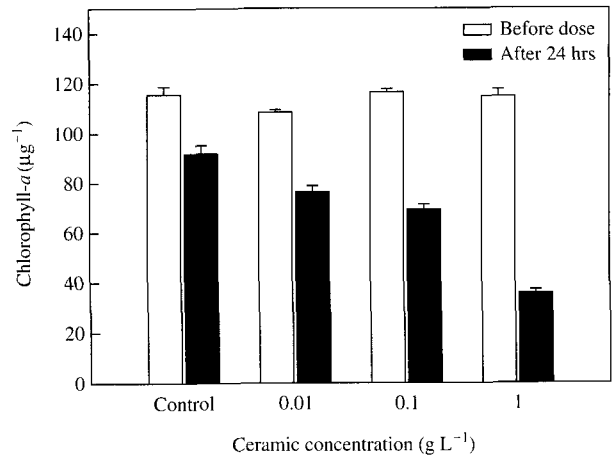


Fig. 4. Effect of ceramic powder concentrations on the removal of *Microcystis* sp. in enclosure experiment.

믹 처리에 따른 조류 제거정도를 조사하였다(Fig. 4). 분말세라믹을 투여하지 않은 대조구(초기 엽록소-a, 115.6 $\mu\text{g L}^{-1}$)의 경우, 자연적인 중력침강에 의해 약 21%(최종 엽록소-a, 115.6 $\mu\text{g L}^{-1}$)의 조류 침전효율을 나타내었다. 반면 분말세라믹의 투여농도를 1 g L^{-1} (초기 엽록소-a, 114.7 $\mu\text{g L}^{-1}$)로 처리한 실험구에서 약 69%(최종 엽록소-a, 35.6 $\mu\text{g L}^{-1}$)로 가장 높게 나타났으며, 투여농도 0.01, 0.1 g L^{-1} (초기 엽록소-a, 108.4, 116.5 $\mu\text{g L}^{-1}$)에서는 각각 27, 38%(최종 엽록소-a, 76.4, 69.2 $\mu\text{g L}^{-1}$)로서 분말세라믹의 처리농도가 증가함에 따라 제거효율도 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 연구 결과를 토대로 입자크기 0.05 mm의 분말세라믹 1 g L^{-1} 의 농도로 투여하였을 때 *Microcystis* sp.의 제거효과를 기대할 수 있었으며 수화발생 지역의 현장에 적용이 가능함을 확인할 수 있었다. 또한 이와 같은 분말세라믹 처리에 앞서 오존, 염소, 이산화염소 및 과망간산염 등과 같은 preoxidant의 전처리를 통하여 침전효율을 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다(Steynberg *et al.* 1996; Plummer and Edzwald 2002). Bernhardt and Clasen (1991)는 낮은 농도의 오존처리 시 조류가 스트레스를 받아 extracellular organic matter (EOM)를 배출함으로써 응집의 효과가 증진한다고 보고하였다. 또한, 염소화합물(Sukenik *et al.* 1987)이나 과망간산염(Petrusevski *et al.* 1996)은 단지 살조제로서 뿐만 아니라 응집제로서의 역할을 하며 낮은 농도에서 조류의 응집효과를 증진할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서 preoxidant 화합물을 이용한 전처리방법과 분말세라믹을 동시에 이용하면 수화가 발생한 대규모 현장에서도 독성 남조류를 효율적으로 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

수화현상의 대표적 원인 생물인 남조류의 *M. aeruginosa*와 대조구로서 녹조류인 *C. zofingiensis*를 인공 배양하여 분말세라믹 투여에 따른 선택적 조류 제거 가능성에 대해 실험하였다. 0.05 mm의 분말세라믹을 투여에 따른 *M. aeruginosa* 및 *C. zofingiensis*의 침전효율은 각각 82와 63%였으며, 입자크기 0.1과 1 mm의 경우에는 *M. aeruginosa*는 각각 69와 34%, *C. zofingiensis*는 각각 52와 44%의 침전효율을 나타냄으로써, 분말세라믹 처리에 따른 침전효율의 차이를 나타내는 것을 확인하였다. 또한 *Microcystis* sp.에 의한 수화현상이 빈번한 수역의 현장시료를 대상으로 분말세라믹 처리에 따른 조류 제거효과를 실험한 결과 입자크기 0.05 mm, 투여농도 1 g L⁻¹의 조건에서 24시간 후 약 67%의 *Microcystis* sp. 제거효과를 나타내었다. 분말세라믹의 수화현상에 적용가능성 여부를 확인하기 위하여 소규모 enclosure에서 분말세라믹 처리 농도에 따른 *Microcystis* sp. 제거효과 실험한 결과 입자크기 0.05 mm, 투여농도 1 g L⁻¹의 조건에서 24시간 후 약 69%의 *Microcystis* sp.의 제거효과를 나타내었으며, 이러한 연구결과로 보아 *Microcystis* sp.에 의해 수화가 발생한 현장에 분말세라믹을 적용하여 독성 남조류를 효율적으로 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 및 국가핵심연구센터사업 (MOST/KOSEF Environmental Biotechnology National Core Research Center, 경상대학교 R15-2003-012-02001-0)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

김재운, 박영한, 박돈목, 박래준. 2001. 원적외선의 인체 작용 메카니즘. 대한물리치료학회지. 13:447-482.
 김형진, 김지환, 오희목, 장감용, 임경목, 심문보. 2002. 세라믹 처리수의 조류성장 억제효과. 한국환경과학회지. 11:979-985.
 박명환, 이석준, 윤병대, 오희목. 2001. 규산질다공체와 미생 불응집제의 녹조제어 효과. 환경생물. 14:129-135.
 이상훈. 2003. 졸, 겔법에 의한 세라믹 나노분체의 합성 및

응용. 공업화학전망지. 6:27-37.
 전대영, 임병란, 유현선, 조진우, 황종혁, 안규홍. 2005. 부착성 장 조류제어를 위한 배수로의 재질 개선에 관한 연구. 상하수도학회지. 19: 193-199.
 지철근. 2001. 원적외선의 특징. 조명전기설비학회지. 19:4-13.
 Ahn CY, MH Park, SH Joung, HS Kim, KY Jang and HM Oh. 2003. Growth inhibition of cyanobacteria by ultrasonic radiation: laboratory and enclosure studies. Environ. Sci. Technol. 37:3031-3037.
 Bernhardt H and J Clasen. 1991. Flocculation of microorganisms. J. Water Suppl.: Res. Technol.-AQUA. 40:76-87.
 Carmichael WW. 1992. Cyanobacteria secondary metabolites-the cyanotoxins. J. Appl. Bacteriol. 72:445-459.
 Cooke GD, EB Welch, SA Peterson and PR Newroth. 1993. Restoration and management of lakes and reservoirs. 2nd ed. Lewis Publishers, Chelsea, MI. 548.
 Han MY and WT Kim. 2001. A theoretical consideration of algae removal with clays. Microchem. J. 68:157-161.
 Jochimsen EM, WW Carmichael, JS An, ST Cookson, CEM Holes, MBD Antnes, DA Demelo and WR Jarvis. 1998. Liver failure and death exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. N. Engl. J. Med. 338:873-878.
 Karan V, S Victorovic, V Tutundzic and V Polesik. 1998. Functional enzymes activity and gill histology of the carp after copper sulfate exposure and recovery. Ecotoxicol. Environ. Saf. 40:49-55.
 Klapper H. 1991. Control of eutrophication in inland waters. Ellis Horwood New York. pp. 337.
 Lam AKY, EE Prepas, D Spink and SE Hrudey. 1995. Chemical control of hepatotoxic phytoplankton blooms: implications for human health. Water Res. 29:1845-1854.
 Lloyd SW and CC Grimm. 1999. Analysis of 2-MIB and geosmin in catfish by microwave distillation-solid-phase microextraction. J. Agri. Food Chem. 47:164-169.
 Menzel DW 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.
 Negro AI, CD Hoyos and JC Vega. 2000. Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaiso reservoir (NW Spain). Hydrobiologia. 424:25-37.
 Petrusovski B, AN Van Breemen and G Alaerts. 1996. Effect of permanganate pre-treatment and coagulation with dual coagulant on algae removal in direct filtration. J. Water Suppl.: Res. Technol.-AQUA. 45:316-326.
 Pieterse AJH and A Cloot. 1997. Algal cells and coagulation, flocculation and sedimentation process. Water Sci. Technol. 36:111-118.

- Plummer JD and JK Edzwald. 2002. Effect of chlorine and ozone on algal cell properties and removal of algae by coagulation. *J. Water Suppl.: Res. Technol.-AQUA*. 51: 307-318.
- Saxby MJ. 1993. A survey of chemicals causing taints and off flavors in foods. pp. 35-62. In *Food taints and off-flavors*, Blackie Academic & Professional. London.
- Steynberg MC, MM Guggleilm, JC Geldenhuys and AJH Pieterse. 1996. Chlorine and chloride dioxide: pre-oxidants used as algicide in portable water plant. *J. Water Suppl.: Res. Technol.-AQUA*. 45:162-170.
- Sukenik A, B Teltch, AW Wachs, G Shelef, I Nir and D Levanon. 1987. Effects of oxidants on microalgal flocculation. *Water Res.* 21:533-539.
- Wood LW. 1985. Chloroform-methanol extraction of chlorophyll-*a*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42:38-43.
- World Health Organization. 1998. Guidelines for drinking-water quality, 2nd Ed. Addendum to volume 2. World Health Organization, Geneva.

Manuscript Received: December 8, 2006

Revision Accepted: April 26, 2007

Responsible Editor: Kap Joo Park