

규산질다공체 (CellCaSi)에 의한 미세조류 제어

오희목* · 이석준 · 윤병대 · 이육재¹ · 이승규² · 최 룡²

(생명공학연구소 환경생물소재연구실, ¹유전자원센터, 대전 305-333,
²쌍용양회공업 (주) 중앙연구소, 대전 305-345)

Control of Microalgae Using a Porous Silicate Material, CellCaSi. Oh, Hee-Mock,* Seog June Lee, Byung-Dae Yoon, Wook Jae Lee,¹ Seung-Kyou Lee² and Long Choi² (Environmental Bioresources Laboratory, ¹Genetic Resources Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Taejon 305-333, Korea, and ²Ssangyong Research Center, Taejon 305-345, Korea)

A porous silicate material named as CellCaSi was tested for the removal of microalgae in the water sample from a eutrophic pond. The effects of the CellCaSi on water qualities were investigated on the basis of both the particle size (under 1, 2, and 4 mm) and the added amount (0, 1, 5, and 10 g/l) of the CellCaSi. The removal efficiency of chlorophyll-a was highest at 79% by the addition of 10 g/l of the CellCaSi (under 1 mm) at day 3 after treatment. That is, the removal efficiency of chlorophyll-a by the CellCaSi increased with smaller particle size and more added amount. The dominant species, *Chlorella ellipsoidea*, was not changed by the addition of the CellCaSi, but the species number and standing crop of the algae diminished. Total nitrogen concentration was not changed much by the addition of the CellCaSi, whereas total phosphorus concentration was reduced. pH and turbidity were not changed by the addition of the CellCaSi, whereas conductivity showed a high correlation with the amount of added CellCaSi ($Y = 29.2 \cdot X + 306$, $r^2 = 0.984$). Therefore, it seems to be necessary to limit the amount of the CellCaSi under 6.6 g/l in consideration of a registered maximum conductivity of 500 $\mu\text{mhos/cm}$ for raw and potable waters.

Key words : Algae control, Algal bloom, CellCaSi, Phosphorus inactivation, Phytoplankton

서 론

급속한 인구증가 및 도시화, 산업화에 따라 하천과 호소로 외부 영양염류의 유입이 증가하면서 육상 수계의 부영양화가 촉진되어, 하절기에 수화(algal bloom)가 빈번히 발생하고 있다. 특히 상수원으로 이용되고 있는 호소에서 남조류 수화발생은 독소 및 취기 생성의 가능성으로 인하여 국민위생과 보전에 큰 위협이 되고 있다

(오 등, 1999; Oh *et al.*, 2000). 또한, 우리나라는 대부분의 농·공·생활용수를 지표수에 의존하고 있으므로 양질의 표면수를 확보하는 것은 사회·경제적 측면에서도 대단히 중요하다.

대부분의 호소에서 조류의 번성은 영양염류중 인이나 질소의 농도에 따라 결정되며, 대부분의 담수호에서는 인이 더욱 중요하게 작용하는 것으로 알려져 있다(Schindler *et al.*, 1971; 조와 신, 1996; 오 등, 1998). 따라서, 부영양화 호소에서 수화발생을 억제하기 위하여 인

* Corresponding author: Tel: 042) 860-4321, Fax: 042) 860-4598, E-mail: heemock@mail.kribb.re.kr

의 불활성화 (inactivation)에 관한 연구가 많이 수행되었다. 인의 불활성화는 aluminum sulfate (alum, $Al_2(SO_4)_3$), sodium aluminate 등을 첨가하여 수주 (water column)의 인을 침전시키고, 저니 (sediment)로부터 인의 용출을 감소시키는 것으로 조류의 발생을 억제하는 효과가 매우 크지만, pH 6 이하의 조건에서 다량 존재하는 $Al(OH)_2$ 나 Al^{3+} 는 수중 생물체에 독성이 있을 수 있다 (Cooke *et al.*, 1993).

Ca이나 Fe 화합물을 사용하여 수중의 인을 불활성화시키거나 탁도를 낮추는 방법이 있다. Wu and Boyd (1990)는 작은 연못에 석고 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)를 첨가하여 용존 무기인을 제거함으로써 조류의 발생이 억제되었음을 보고하였다. Murphy *et al.* (1990)은 연못에 소석회 ($Ca(OH)_2$)를 250 mg/l로 처리한 결과 인의 농도와 조류 biomass가 크게 감소하였음을 보고한 바 있다. 이와 같은 인의 불활성화에 의한 조류의 제거는 살조제 (algicide) 처리와는 달리 수중 인의 감소에 따른 것으로 좀더 근원적이고 장기적인 수질정화 기술로 평가되고 있다 (U.S. EPA, 1990).

본 연구에서는 인의 불활성화에 관여하는 것으로 알려진 Al과 Ca 화합물 (Al_2O_3 , CaO)을 주요 구성성분으로 포함하고 있는 규산질다공체 (CellCaSi)를 녹조제거 및 녹조 발생억제에 활용하기 위한 실험실 연구를 수행하였다. 즉, 연못에서 채취한 시료에 규산질다공체를 입자의 크기 및 투입량을 달리하여 첨가한 후 엽록소-a 농도, 조류 군집, 총인과 총질소, 물리적 수질 등의 변화를 조사하여 조류제거 효과를 검토하였다.

재료 및 방법

1. 시료의 채취 및 보관

현장조사 및 시료채취는 1999년 4월 18일 경기도 용인시에 위치한 골프클럽내 연못에서 수행하였다. 이 연못은 긴 타원형의 인공호로 수표면적이 약 10,000 m^2 , 최대수심이 약 3m에 달하며, 하절기에 조류의 주기적 번성에 의하여 수중경관을 해치고 수질이 악화되는 문제점이 있었다. 시료는 Van Dorn 채수기 (WILDCO Instruments)를 이용하여 수심 0~0.1m의 표층에서 21 채수하였다. 채수된 시료는 4°C 얼음상자에 냉장하여 실험실로 운반하고 분석 전까지 냉장 보관하였다.

2. 이화학적 수질

수소이온농도 (pH)는 pH meter (HANNA, HI8314), 전전도도 (conductivity)는 conductivity meter (YSI, Mo-

del 30), 그리고 탁도 (turbidity)는 turbidimeter (HF Scientific, Inc., DRT-15CE)로 측정하였다.

총질소 (TN)는 persulfate법에 따라 질소를 질산염으로 산화시킨 후 분석하였다 (D'Elia *et al.*, 1977). 질산성-질소 (NO_3^- -N)는 Szechrome NB 시약 (Polyscience Inc.)으로 발색시킨 후 spectrophotometer (Shimadzu, UV-160A)로 600 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다 (Wynne and Rhee, 1986).

총인 (TP)은 persulfate법에 따라 인을 무기 인산염으로 산화시킨 후 분석하였다 (Menzel and Corwin, 1965). 용존 무기인 (PO_4^{3-} -P; SRP, soluble reactive phosphorus)은 시료를 phosphomolybdate법으로 발색시킨 후 spectrophotometer로 885 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다 (Murphy and Riley, 1962).

3. 생물학적 수질

엽록소-a 농도를 측정하기 위하여 시료 30 ml를 Whatman GF/C filter로 여과한 후 여과지를 9 ml chloroform-methanol (v/v, 2:1) 혼합용액에 넣고 vortex하였다. 혼합용액은 냉암소에서 4~5시간 보관하여 엽록소를 추출한 후 증류수 5.4 ml를 가하여 혼합하고 암소에서 12시간동안 냉장 보관하였다. 이 용액에서 chloroform층을 취해 fluorometer (Sequoia-Turner, Model 450)로 fluorescence를 측정하여 엽록소-a 농도를 산출하였다 (Wood, 1985).

조류의 분포는 규산질다공체 첨가구와 대조구를 대상으로 처리후 1, 3, 5, 7일에 출현종 및 우점종을 광학현미경 (Nikon, Microphot-Fxa)으로 관찰하였다. 조류의 동정은 Lugol 용액으로 고정된 시료를 현미경 하에서 실시하였다 (정, 1993).

4. 규산질다공체의 효과

규산질다공체의 조류 제거효과는 엽록소-a의 농도변화로 조사하였다. 규산질다공체의 처리는 250-ml Erlenmeyer flask에 시료수 200 ml을 넣은 후 규산질다공체의 입자크기 (1 mm 이하, 2 mm 이하, 그리고 4 mm 이하) 및 투입량 (시료수 1l에 대하여 1g, 5g, 그리고 10g)을 달리하여 첨가하였다. 대조구 및 규산질다공체 첨가구는 시료수의 채취현장과 유사한 환경을 유지하기 위하여 실험실의 창가에서 일주일간 정치 배양하였다. 배양기간중 주변온도는 $25 \pm 2^\circ C$, 일합계 일사량은 18~23 MJ/m^2 , 광주기는 대략 낮 (14시간) : 밤 (10시간)으로 조사되었다. 배양기간에 따른 엽록소-a 농도, 조류 군집, 총인과 총질소, 물리적 수질 등의 변화를 조사하였다. 모

든 분석은 2회 실시하여 평균값을 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 규산질다공체의 조성

규산질다공체 (CellCaSi)는 석고, 생석회, 제철슬래그 등을 원료로 합성 제조된 다공성 규산칼슘계 화합물이다. 주요 화학성분은 SiO_2 와 CaO 로서 각기 45~55%, 25~35%를 점유하고 있으며, 이밖에 Al, Fe, Mg, 그리고 K의 산화물이 일부 포함되어 있다 (Table 1). 규산질다공체의 물리적 특성으로서 pH는 8~9, 비중은 0.35~0.45이며, 비표면적은 $50 \text{ m}^2/\text{g}$ 이고, 흡수력은 자중의 1.5배로서 다공성의 구조를 갖고 있다.

2. 규산질다공체의 조류제거

연못에서 채취한 시료에 규산질다공체를 입자의 크기별로 10 g/l씩 첨가한 후 엽록소-a의 경시적 변화를 조사하였다 (Fig. 1). 처리 7일에 입자의 크기별 엽록소-a의 제거효율 (removal efficiency)은 1 mm 이하, 2 mm 이하, 그리고 4 mm 이하 규산질다공체 첨가구에서 각기 80%, 75%, 그리고 65%로 조사되었다. 즉, 규산질다공체의 조류제거 효과는 입도의 크기가 작을수록 높은 것으로 나타났다. 1 mm 이하 규산질다공체 첨가구에서 엽록소-a 농도는 배양 초기에 $482 \mu\text{g/l}$ 에서 배양 1일에는 $172 \mu\text{g/l}$ 로 64%의 큰 감소를 보였으며, 배양 3일 이후에는 $100 \mu\text{g/l}$ 내외로 큰 변화가 없었다. 즉, 규산질다공체에 의한 엽록소-a 농도의 감소는 처리 초기에 효과가 크게 나타났다.

1 mm 이하 규산질다공체의 첨가량에 따른 엽록소-a의 경시적 변화는 Fig. 2와 같다. 규산질다공체의 첨가량을 1 g/l에서 10 g/l로 증가시키기에 따라 엽록소-a 농도는 크게 감소하였다. 처리 7일에 엽록소-a의 제거효율은 1 g/l, 5 g/l, 그리고 10 g/l 첨가구에서 각기 35%, 57%, 그리고 80%로 조사되었다. 따라서, 규산질다공체의 첨가에 따른 엽록소-a의 제거효과는 규산질다공체의 입자가 작을수록, 첨가량이 많을수록 증가하는 것으로 판단된다.

규산질다공체 첨가에 따른 엽록소-a의 단위시간당 제거율 (removal rate)은 제거효율과 처리기간에 의하여 결정된다. 이와 같은 사항을 고려할 때 1 mm 이하 규산질다공체 10 g/l를 첨가한 경우 처리 7일에 엽록소-a 농도는 $98 \mu\text{g/l}$ 로 감소하여 제거효율은 80%로 가장 높았다. 그러나, 처리 1일의 경우 엽록소-a의 제거효율은 64%에 그쳤으나 제거율은 $311 \mu\text{g/l/day}$ 로 조사기간 중에서 가장 높았다.

Table 1. Chemical composition and physical characteristics of a porous silicate material, CellCaSi.

Parameters	Characteristics
Chemical composition (%)	
SiO_2	45~55
CaO	25~35
Al_2O_3	3~4
Fe_2O_3	1~2
MgO	1~2
K_2O	0.5~1.0
Physical characteristics	
pH	8~9
Specific gravity	0.35~0.45
Specific surface area	$50 \text{ m}^2/\text{g}$
Water absorption	1.5 times of self-weight

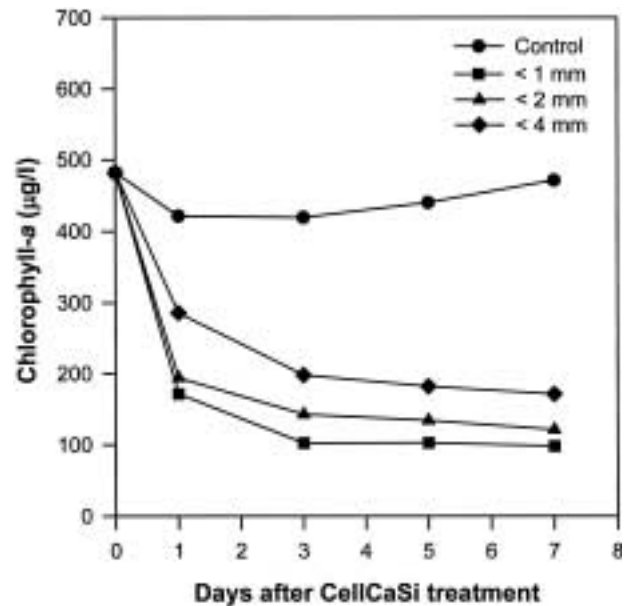


Fig. 1. Effect of particle size of the CellCaSi on chlorophyll-a concentration in the water sample from a eutrophic pond. The added amount of the CellCaSi was 10 g/l.

채취한 시료에서 관찰된 조류는 우점종인 *Chlorella ellipsoidea*를 포함하여 녹조류 8종, 규조류 1종, 남조류 3종이 비교적 많이 출현하였다 (Table 2). 규산질다공체 첨가후 시간이 경과함에 따라 다수 출현하는 조류종은 초기 12종에서 처리 7일에는 5종으로 점차 감소하였으나, 우점종은 여전히 *C. ellipsoidea*, *Synechocystis* sp.로 조사되었다. 즉, 규산질다공체의 첨가로 인하여 우점종의 변화는 없으나 출현 조류종 및 현존량은 감소하는 것으로 판단된다. 따라서, 인의 불활성화에 관여하는 것으로

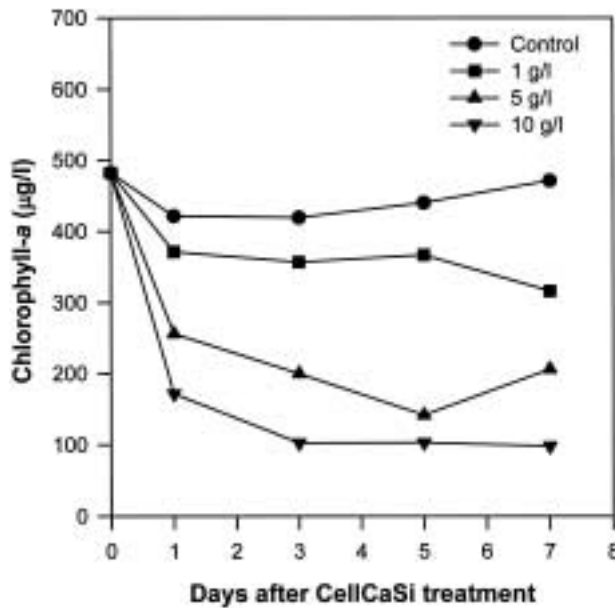


Fig. 2. Effect of added amount of the CellCaSi on chlorophyll-*a* concentration in the water sample from a eutrophic pond. The particle size of the CellCaSi was under 1 mm.

Table 2. Species composition of dominant phytoplankton in the water sample from a eutrophic pond.

Algal species	Days after CellCaSi treatment				
	0	1	3	5	7
Chlorophyceae					
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	+	+		+	
<i>Chlorella ellipsoidea</i>	+++	+++	+++	+++	++
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	++	++	+	+	+
<i>Pediastrum simplex</i>	+	+	++		
<i>Scenedesmus acutus</i>	+	+	+	+	
<i>Scenedesmus armatus</i>	+	+	+	+	+
Bacillariophyceae					
<i>Navicula cryptocephala</i>	+	+	+		
Cyanophyceae					
<i>Spirulina major</i>	+			+	
<i>Synechococcus</i> sp.	+	+			
<i>Synechocystis</i> sp.	++	++	++	+	+
Euglenophyceae					
<i>Euglena</i> sp.	+	+	+	+	+
<i>Lepocinclis</i> sp.	+				
Number of examined species	12	10	8	8	5

* The number of plus symbol (+) indicates the relative abundance of algal species.

알려진 Al과 Ca 화합물 (Al_2O_3 , CaO)을 주요 구성분으로 포함하고 있는 규산질다공체는 조류제거 및 조류종의

감소에 효과가 있는 것으로 판단된다.

조류의 제거와 관련하여 최근에 국내에서는 연못에 *Daphnia* sp.를 인위적으로 투입함으로써 동물플랑크톤의 조류 섭식을 강화하여 엽록소-*a* 농도와 탁도를 낮추는 biomanipulation에 대한 연구보고가 있었다(김 등, 1996; 김과 지, 1998). 먹이사슬의 조절에 의한 조류제거는 경제적 방법이지만 장기적 효과 및 수중 생태계에 미치는 영향 등에 대한 좀더 깊이 있는 연구가 수반되어야 할 것으로 생각된다.

3. 규산질다공체 첨가 후 TN 및 TP 변화

시료에 규산질다공체의 입자 크기 및 투입량을 변화시켜 첨가하고 7일 후 TN의 변화를 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 대조구의 TN은 5.0 mg/l이었으며, 규산질다공체 첨가구는 4 mm 이하 10 g/l 첨가구에서 6.1 mg/l로 높게 조사된 것을 제외하고는 첨가구간에 큰 변화가 없었다. 따라서, 규산질다공체의 첨가에 의하여 수중 TN의 변화가 없거나 다소 증가하는 것으로 판단되었다.

시료에 규산질다공체의 입자 크기 및 투입량을 변화시켜 첨가하고 7일 후 TP의 변화를 조사한 결과는 Fig. 4와 같다. 대조구의 TP는 0.61 mg/l이었으며, 2 mm 이하와 4 mm 이하 규산질다공체 첨가구는 0.60 mg/l로 대조구와 큰 차이가 없었으나, 1 mm 이하 규산질다공체 첨가구에서는 1 g/l, 5 g/l, 그리고 10 g/l 첨가량에 따라 각기 0.55 mg/l, 0.55 mg/l, 그리고 0.56 mg/l로 감소하였다. 즉, 규산질다공체의 입자가 작을수록 TP 감소 효과가 큰 것으로 조사되었다. 따라서, 규산질다공체의 첨가에 의한 시료중의 엽록소-*a* 감소와 TP의 감소는 깊은 상관성이 있는 것으로 판단된다.

이와 관련하여 Smith and Shapiro (1981)는 북미에 위치한 16개의 호수 수질자료를 분석한 결과 수중 총인의 감소는 엽록소 농도의 감소와 높은 상관성이 있음을 보고한 바 있다. 즉, 수중 인의 감소는 호수 수질정화에 핵심 요소로 작용할 수 있음을 보였다. 그러나, Foy and Fitzsimons (1987)는 iron (ferric) aluminium sulphate를 호수에 처리하여 인의 농도를 낮추었으나, 하절기에 남조류 *Oscillatoria agardhii*의 개체군을 감소시키지는 못했다. 즉, 이와 같은 경우에 인이 *O. agardhii*의 성장에 제한요인으로 작용하지 않음을 보였다.

4. 규산질다공체 첨가 후 수질 변화

시료에 1 mm 이하의 규산질다공체를 첨가한 후 pH, 전기전도도, 그리고 탁도의 변화를 조사하였다(Fig. 5). 시료의 초기 pH는 9.0이었고 규산질다공체의 첨가로 인

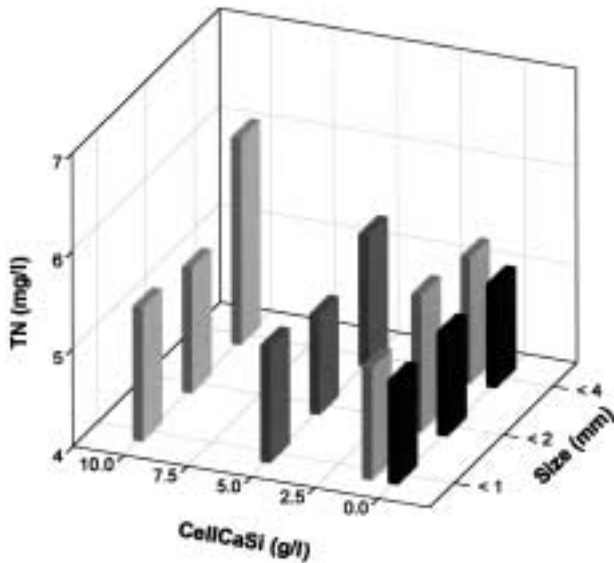


Fig. 3. Total nitrogen (TN) concentrations in the treatments of several sizes and amounts of the CellCaSi. TN was measured at day 7 after treatment.

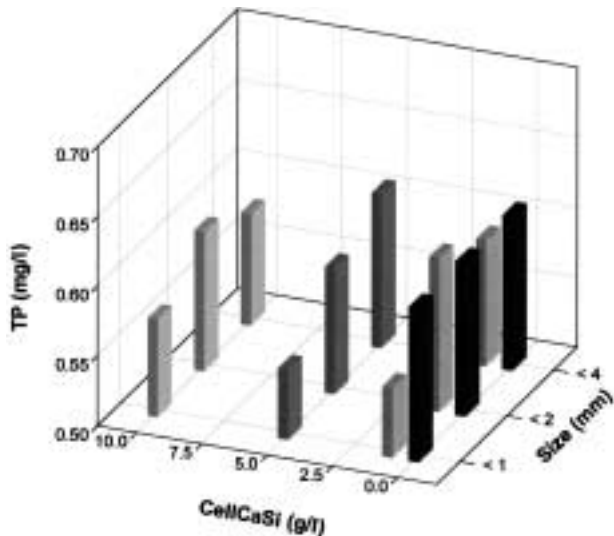


Fig. 4. Total phosphorus (TP) concentrations in the treatments of several sizes and amounts of the CellCaSi. TP was measured at day 7 after treatment.

하여 처리 5일에 pH는 9.6까지 일시적으로 증가하였으나, 첨가량의 증가에 따른 pH의 차이는 크지 않았다. Aluminum sulfate, sodium aluminat 등은 인과 반응하여 aluminum phosphate나 aluminum hydroxide floc을 형성하여 침전함으로써 수중 인의 농도를 낮추어, 결과적으로 조류의 발생을 억제하는 효과가 매우 크지만,

pH 6 이하의 조건에서 다량 존재하는 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 나 Al^{3+} 는 수중 생물에 독성이 있는 것으로 알려져 있다(Cooke *et al.*, 1993). 그러나, 본 연구에서 시료의 pH는 9.0이며 Ca 화합물을 포함하고 있는 규산질다공체의 첨가에 의하여 pH는 다소 증가하는 결과를 보임으로서 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 나 Al^{3+} 에 의한 독성 증가의 문제는 없는 것으로 사료된다.

시료의 초기 전기전도도는 $266 \mu\text{mhos/cm}$ 였으나, 규산질다공체의 첨가에 의하여 전기전도도는 1 g/l, 5 g/l, 그리고 10 g/l 첨가구에서 처리 1일에 각기 $336 \mu\text{mhos/cm}$, $471 \mu\text{mhos/cm}$, 그리고 $586 \mu\text{mhos/cm}$ 으로 크게 증가하였다. 그러나, 규산질다공체의 첨가에 따라 증가된 전기전도도는 배양 1일 이후에는 큰 변화 없이 일정 수준을 유지하는 경향을 보였다.

전기전도도는 시료중 이온화된 물질에 의한 전류의 정도를 측정하는 것으로 용존 무기물의 양을 간접적으로 파악할 수 있는 지표이다. 일부 광천수를 제외하고 원수 및 음용수의 전기전도도는 $50 \sim 500 \mu\text{mhos/cm}$ 로 기록되었다(De Zuane, 1996). 한편, 시료의 전기전도도는 규산질다공체의 첨가량에 대하여 직선적으로 증가하였다($Y = 29.2 \cdot X + 306$, $r^2 = 0.984$, Fig. 5). 따라서, 이와 같은 상관식에 의하여 계산할 때, 대부분의 원수 및 음용수에 있어서 전기전도도의 상한값으로 알려진 $500 \mu\text{mhos/cm}$ 를 유지하기 위해서 규산질다공체의 첨가량은 6.6 g/l 이하로 제한하는 것이 바람직하다고 생각된다.

시료의 탁도는 초기 36 NTU(Nephelometric Turbidity Unit)로부터 규산질다공체 처리 1일후 6~13 NTU로 크게 감소하였으며, 규산질다공체의 첨가량에 따라 감소량이 다소 증가하였다. 일반적으로 음용 원수의 탁도가 10 NTU 이하인 경우 소독과정만이 요구되며, 40 NTU를 초과하는 경우에 일상적인 정수처리과정이 필요한 것으로 간주되고 있다(De Zuane, 1996).

연못에서 조류 및 탁도 제거를 위하여 소석회를 사용하는 것은 alum을 사용하는 것보다 효과는 단기적이지만 독성이 적은 경제적인 방법으로 고려되고 있다(Cooke *et al.*, 1993). 그러나, 소석회의 첨가에 따른 pH의 증가 및 수질에 미치는 영향에 대한 좀 더 구체적인 연구가 필요하다. 지금까지의 연구에 의하면 경수에서 조류를 제거하기 위해서 copper sulfate(황산구리)보다는 소석회를 사용하는 것이 좀더 효과적이고, 경제적이며, 독성이 적은 것으로 보고되었다(Cooke *et al.*, 1993).

부영양 호소에서 조류제거를 위하여 개발된 여러가지 방법(인의 불활성화, 저니 준설, 희석수 추가, 수중 폭기, 살조제 투여, 먹이사슬 조절, 심층수 제거 등) 중에서 인

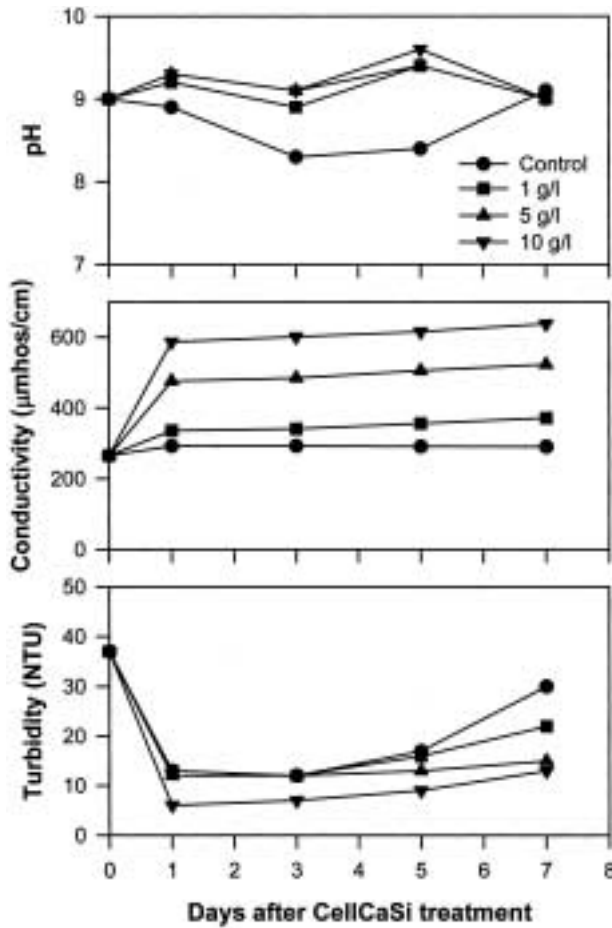


Fig. 5. Effect of added amount of the CellCaSi on pH, conductivity and turbidity in the water sample from a eutrophic pond. The particle size of the Cell-CaSi was under 1 mm.

의 불활성화가 단기적, 장기적 효과를 모두 기대할 수 있으며 경제적이고 생태계에 미치는 영향이 적은 우수한 방법으로 평가된 바 있다 (U.S. EPA, 1990). 인의 불활성화에 직접 관여하는 Al과 Ca를 함께 포함하고 있는 규산질다공체는 입자크기가 1 mm 이하의 경우 조류 제거효과가 우수하였다. 다만, 규산질다공체의 첨가에 따른 전기전도도의 증가를 고려할 때 첨가량은 6.6 g/l 이하로 제한하는 것이 바람직하다고 판단된다.

끝으로, 이와 같은 연구결과를 바탕으로 향후 규산질다공체를 조류발생 현장에 적용하기 위해서는 규산질다공체의 인 제거효과 및 작용기작에 대한 연구와 수중 생태계에 미치는 직, 간접적 영향 등에 대한 현장실험이 후속되어야 할 것으로 사료된다.

적 요

부영양 상태의 연못에서 채취한 시료수에 규산질다공체 (CellCaSi)를 첨가한 후 미세조류의 제거효과에 대하여 조사하였다. 규산질다공체는 입도의 크기 (1, 2, 그리고 4 mm 이하) 및 첨가량 (0, 1, 5, 그리고 10 g/l)에 따라서 수질에 미치는 영향을 조사하였다. 엽록소-a 농도는 1 mm 이하의 규산질다공체를 10 g/l로 첨가한 경우 처리 3일에 79%의 제거효율을 나타내었다. 즉, 규산질다공체의 조류제거 효과는 입자의 크기가 작을수록, 첨가량이 많을수록 효과가 높았다. 규산질다공체 첨가구의 우점 조류종은 *Chlorella ellipsoidea*로 대조구와 차이가 없으나, 출현 조류종 및 현존량은 감소하였다. 규산질다공체의 첨가에 의하여 총질소 함량은 영향을 받지 않았으나, 총인 함량은 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 규산질다공체의 첨가로 인하여 pH와 turbidity는 크게 영향을 받지 않았으나, conductivity는 첨가량에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 보였다. 따라서, 대부분의 원수 및 음용수에 있어서 전기전도도의 상한값으로 알려진 500 $\mu\text{mhos/cm}$ 를 유지하기 위해서 규산질다공체의 첨가량은 6.6 g/l 이하로 제한하는 것이 바람직하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 1998년 환경기술연구개발사업 (쌍용양회공업주식회사 중앙연구소)의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

인 용 문 헌

- 김의식, 손광수, 지해성, 명남진, 백운화. 1996. 동물 플랑크톤 섭식에 의한 인공 연못의 조류 제거. 한국육수학회지 **29**: 65-69.
- 김의식, 지해성. 1998. 인공연못에서 동물플랑크톤을 이용한 조류 성장 억제: 2차 연도 실험. 한국육수학회지 **31**: 76-78.
- 오희목, 반용호, 박대균, 이진환, 맹주선. 1999. 대청호내 cyanobacteria에 의한 취기물질 생산. 한국육수학회지 **32**: 181-188.
- 오희목, 이석준, 김성빈, 박미경, 윤병대, 김도한. 1998. Algal bioassay에 의한 조류생장 제한영양염류 결정. 한국육수학회지 **31**: 150-157.
- 정 준. 1993. 한국담수조류도감. 아카데미서적, 서울.
- 조경제, 신재기. 1996. 낙동강 담수조류 N, P 요구도 분석을

- 위한 bioassay. 한국육수학회지 **29**: 263-273.
- Cooke, G.D., E.B. Welch, S.A. Peterson and P.R. Newroth. 1993. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs, 2nd ed. Lewis Pub., Boca Raton.
- 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.
- De Zuane, J. 1996. Handbook of Drinking Water Quality, 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Foy, R.H. and A.G. Fitzsimons. 1987. Phosphorus inactivation in a eutrophic lake by the direct addition of ferric aluminum sulphate: changes in phytoplankton populations. *Freshwater Biol.* **17**: 1-13.
- 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.
- 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.
- Murphy, T.P., E.E. Prepas, J.T. Lim, J.M. Crosby and D.T. Walty. 1990. Evaluation of calcium carbonate and calcium hydroxide treatments of prairie water dugouts. *Lake Reserv. Manage.* **6**: 101-108.
- Oh, H.-M., S.J. Lee, M.-H. Jang and B.-D. Yoon. 2000. Microcystin production by *Microcystis aeruginosa* in a phosphorus-limited chemostat. *Appl. Environ. Microbiol.* **66**: 176-179.
- 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.
- Smith, V.H. and J. Shapiro. 1981. Chlorophyll-phosphorus relations in individual lakes. Their importance to lake restoration strategies. *Environ. Sci. Technol.* **15**: 444-451.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, 2nd ed. U.S. EPA 440/4-90-006, Washington, DC.
- Wood, L.W. 1985. Chloroform-methanol extraction of chlorophyll-*a*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **42**: 38-43.
- Wu, R. and C.E. Boyd. 1990. Evaluation of calcium sulfate for use in aquaculture ponds. *Prog. Fish-Cult.* **52**: 26-31.
- 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.