

CuSO₄에 의한 geosmin 유발조류(*Anabaena macrospora*)의 제거

박재총[†] · 박재범^{*} · 송성일^{**} · 김현숙^{***} · 박정원^{****}

한국수자원공사 안동담관리단

^{*}한국수자원공사 창원권관리단

^{**}한국수자원공사 낙동강북부권수질검사소

^{***}한국수자원공사 낙동강남부권수질검사소

^{****}경북대학교 생물학과

Removal of Geosmin Forming Alga (*Anabaena macrospora*) by Copper Sulfate

Jae-Chung Park[†] · Jae-Bum Park^{*} · Sung-Il Song^{**} · Hyun-Suk Kim^{***} · Jung-Won Park^{****}

Andong Dam Office, Korea Water Resources Corporation

^{*}Changwon Regional Office, Korea Water Resources Corporation

^{**}Northern Nakdong River Regional Water Quality Analysis Center, Korea Water Resources Corporation

^{***}Southern Nakdong River Regional Water Quality Analysis Center, Korea Water Resources Corporation

^{****}Department of Biology, Kyungpook National University

(Received 30 December 2005, Accepted 22 March 2006)

Abstract

We have studied the possibility of removing *Anabaena macrospora* by injecting copper sulfate (CuSO₄ · 5H₂O) into the raw water of a drinking water purification plant. *Anabaena macrospora* caused the unpleasant geosmin odor of drinking water in August 2001. The cell break-point of *A. macrospora* was 0.3 mg/L of CuSO₄. We were able to reduce the standing crops of *A. macrospora* effectively because CuSO₄ could break *A. macrospora* selectively. Because 0.3 mg/L of CuSO₄ could break both cells and akinetes, it reduced the possibility of a recurrent problem for them to meet a favorable condition. When CuSO₄ was injected in the early growth phase of algae and the mixing intensity was high, *A. macrospora* could be removed most effectively. The odor caused by *A. macrospora* was sustained for a while without any sudden change of environmental condition. Therefore, we hope that it could shorten the period of obstacle by injecting the optimal amount of 0.3 mg/L of CuSO₄. The water quality, alkalinity, conductivity, hardness and pH didn't changed by the injection of CuSO₄.

keywords : *Anabaena macrospora*, CuSO₄, Drinking water, Geosmin, Water purification plant

1. 서론

부영양화된 호소를 상수원으로 이용하는 정수장은 계절별로 발생하는 조류(식물플랑크톤)로 인해 정수처리에 많은 어려움을 겪고 있다. 여과지 폐색에 의한 역세척 빈도와 사용 수량 증가, 이취미 장애, 정수 약품비 증가, 소독 부산물(DBPs) 및 슬러지 발생량 증가 등의 직·간접적인 피해사태가 증가하고 있는 실정이다(금 등, 2005; 박 등, 2005). 특히, 조류에 의한 이취미는 혼화, 응집, 침전 및 여과의 일반적인 정수처리공정에서 제거가 곤란하며 활성탄 투입으로도 만족할 만한 제거효과를 기대하기 어려울 뿐만 아니라, 소독제(염소)에 의한 산화 결과 원수에서보다 이취미 강도가 증가된 상태로 수돗물의 수질민원을 야기하기도 한다(임 등, 2000; 신 등, 2003).

여름철 고수온기의 대표적인 남조류인 *Anabaena*와

Oscillatoria 등에 의해 생성된 geosmin과 2-methylisoborneol (2-MIB)은 상수원과 수돗물에서 이취미(earthy-musty tastes and odors)를 유발하고 출현종과 환경조건에 따라 anatoxin 등의 독소(toxin)를 생성하기도 한다(Izaguirre et al., 1982; McGuire et al., 1984; Mahmood et al., 1988). 조류로 인한 맛, 냄새 및 여과장애 등의 물이용 장애를 방지하기 위해 산화제, 응집제 등을 사용한 화학적 제거, 수중폭기, 전자파 및 차광막 등의 물리적 제어 및 세균을 이용한 생물학적 분해 등에 연구가 진행되고 있다(Raman, 1985; 정 등, 1986; 정, 1988; 박 등, 1996; 최 등, 2001; 임 등, 2002; Murry-Gulde et al., 2002; 김 등, 2003; Kim et al., 2003).

물 이용상의 장애를 유발하는 조류를 단기간에 효과적으로 제거하는 방법은 화학 살조제를 적용하는 것이며, 구리 화합물인 황산동(copper sulfate)이 주로 사용된다(정 등, 1986; 박 등, 1996; Horne et al., 2001). 구리는 조류에게 필수 미량 영양소(trace element)로 요구되지만 대량으로 존재하면 대사과정을 저해하여 살조작용을 한다(Gupta, 1986). 유럽과 미국 등에서 조류 제거용으로 광범위하게 사

[†] To whom correspondence should be addressed.

jaechung@kowaco.or.kr

용된 황산동은 어류, 저서무척추동물 등 수중 생태계 영향 논란(Courchene et al., 1975; Whitaker et al., 1978; McGuire et al., 1984; Raman, 1985), 특히 대상 수체가 상수원일 경우 중금속인 구리 투입에 대한 거부감 등으로 경제성, 효과의 우수성에 비해 우리나라에서는 사용이 매우 제한적일 수 밖에 없는 실정이다. 그러나, 상수원에서 조류의 대량발생을 효과적으로 억제하지 못하고 정수처리공정에서 장해 조류와 그 대사산물의 완전한 제거가 곤란하다면 장해 기간 단축 및 피해가 최소화 되도록 다양한 방안 에 대한 검토와 적용이 필요하다고 본다.

본 연구는 상수원에서 *Anabaena macrospora*가 생성한 geosmin이 정수장의 약품(염소) 투입량 변경, 분말 활성탄 투입으로도 정수처리공정에서 완전히 제거되지 않고 수돗물에 냄새를 유발하여 수질민원이 제기된 시점에 수행되었다. 우리나라의 먹는물관리법에서 조류제거 등 정수처리의 목적으로 첨가할 수 있도록 고시(환경부, 2004)된 수처리제인 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (MW 249.71, Cu 25.4%)를 사용하여 geosmin을 생성하는 *Anabaena*의 제거 가능성을 검토하여 현장 적용을 위한 기초자료로 활용하고 안정적인 수돗물 생산을 위한 상수원 수질관리 방안을 제시하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 경상남도 거제시에 위치한 소형 상수원댐(저수용량 496만 m^3)을 대상으로 하였으며, 이를 원수로 이용하는 정수장의 수돗물에서 *Anabaena* spp.로 인한 geosmin 냄새장해가 발생하였을 때 취수탑 부근의 호소 만족부 표층에 조류가 집적된 원수를 4회 채취하여 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 에 의한 *Anabaena* spp.의 제거 가능성과 geosmin의 변화를 실험실에서 수행하였다(Table 1). 시험에는 분말형 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 를 사용하였다. 적정 투입량 결정을 위한 예비시험은 2001년 8월 17일에, 농도별 투입 1차 시험은 8월 20일, 2차는 8월 23일 및 3차는 8월 30일에 각각 수행하였다.

냄새원인 조류인 *Anabaena* spp.의 제거 가능성 파악을 위한 예비시험은 원시료 중의 *Anabaena* spp.의 현존량(standing crops)을 조사한 후 500 mL mass flask에 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 를 0.3, 1.0, 5.0, 10, 20 mg/L를 각각 투입하고 30분, 2시간, 12시간 후의 잔류량을 각각 조사하였다. 현존량은 1 mL Sedgwick-Rafter Chamber를 이용하여 광학현미경(Olympus BX-51, Olympus Co.) $\times 200 \sim 400$ 배 하에서 3회 계수한 평균값을 사용하였으며 세포의 외형 변화를 동시에 관찰하였다. 시료는 채취하기 전에 저속으로 충분히 교반하여 잔류하는 조류가 균질화되도록 하였다.

최적 투입량은 jar-tester(Phipps & Bird Co.)를 이용하였으며, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 를 0.1 mg/L에서 2.0 mg/L까지 단계적으로 투입한 후 2시간, 12시간, 24시간 및 48시간까지의 변화를 각각 조사하였다. 대상 호소에 수중폭기장치 16기가 설치·가동되고 있고(임 등, 2002) 선박으로 투입시 스크류에 의한 와류 등을 감안하여 시험 종료시까지 자연 채광이 되도록 한 상태에서 20 rpm으로 교반하였으며 다만, 1차 시험의 초기 10분간은 100 rpm으로 급속교반하였다.

CuSO_4 투입 농도·시간별로 수중의 알칼리도와 총경도를 먹는물시험방법에 따라 분석하였으며(환경부, 2000), pH는 TPX-90i(TPX Co.), 전기전도도는 YSI-30(Yellow-Spring Co.), Cu는 AA(Spectr AA-30, Varian Co.)로 각각 측정하였다. Geosmin은 SPME법으로 분석하였으며 염색을 넣은 시료를 가온시켜 SPME fiber(2cm-50/30 μm DVD/Carboxen/PDMS, Supelco Co.)를 head space에 노출시켜 이취미 유발 물질을 30분 동안 흡착한 후 GC/MS(Varian Sturm 4D, Varian Co.)에 5분 동안 탈착시켜 SCAN mode로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 적정 투입량 결정

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 의 적정 투입량 결정을 위한 예비시험에 사용한 원시료 중의 *Anabaena* 개체군의 총 현존량은 17,600 cells/mL로서 *A. macrospora*(Komárková-Legnerová et al., 1992b)가 17,400 cells/mL(99%), *A. crassa*(Komárková-Legnerová et al., 1992a)가 180 cells/mL(1%)를 차지하고 있었다.

CuSO_4 의 투입농도는 0.3 mg/L에서 20 mg/L까지 5단계로 하였으며, 0.3 mg/L로 투입하였을 때 30분 후에 81%, 2시간 후에 90%, 12시간 후에는 93%가 감소하였다. 반면에 1, 5, 10 및 20 mg/L를 투입한 시료에서는 12시간까지 41~58% 범위의 낮은 감소율을 보였고, 20 mg/L에서 12시간 후에 84%의 감소율을 보였다. Geosmin을 생성하는 원인조류인 *A. macrospora*의 현존량은 0.3 mg CuSO_4 /L에서 최고의 감소율을 보였으며 고농도로 투입할수록 감소율이 둔화되거나 상대적으로 낮은 경향을 보였으므로 1~3차 시험의 CuSO_4 투입량은 최저 0.1 mg/L에서 최고 2.0 mg/L까지의 저농도 범위로 결정하였다(Fig. 1).

3.2. *Anabaena macrospora*의 변화

초기 10분을 100 rpm으로 교반한 후 20 rpm으로 유지한 1차 시험의 원수 중 *A. macrospora*는 15,000 cells/mL였다. 0.3 mg CuSO_4 /L에서 *A. macrospora*가 2, 12, 24 및 48시간 후에 각각 96, 95, 97 및 98%의 감소율을 보여 투입 2

Table 1. Changes of geosmin concentration (ng/L) in Y Water Purification Plant

14 August, 2001				18 August, 2001			
Raw water	Settling water	Clean water	Hydrant water	Raw water	Settling water	Clean water	Hydrant water
84	111	21	16	84	152	14	14

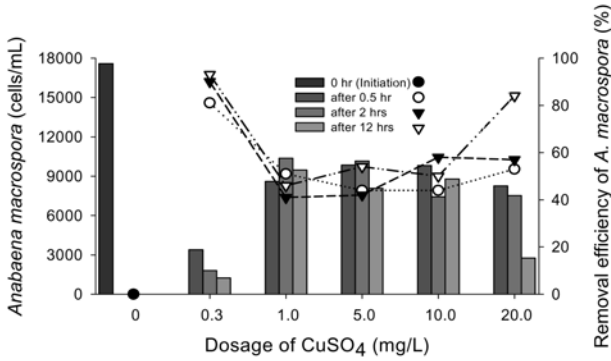


Fig. 1. Removal characteristics of *A. macrospora* by CuSO₄ dosage (bar: cells/mL, symbol and line: %).

시간 이내에 대부분이 감소하였고, 0.1 mg/L에서는 2시간 후에 46% 감소하였으나 12, 24 및 48시간 후에는 각각 91, 96 및 99%의 높은 감소율을 보였다. 이러한 결과는 0.1~0.2 mg CuSO₄/L를 주입하였을 때 사상체 남조류인 *Aphanizomenon flos-aquae*의 95%가 제거되었다는 보고와 유사하였다(Whitaker et al., 1978).

황산동을 0.5 mg/L로 주입하였을 때에는 1 80% 내외의 감소율을 보이다가 24시간이 경과한 후에 90% 이상의 감소율을 보였다. 또한 0.7 mg/L에서는 48시간까지 90% 미만의 상대적으로 낮은 감소율을 보였고, 1.0과 2.0 mg/L에서는 최대 80%가 감소하였다(Fig. 2(a)).

황산동의 주입시점부터 20 rpm으로 교반한 2차와 3차 시험에서 *A. macrospora*의 초기 현존량은 각각 12,500, 3,600 cells/mL로서 성장이 감소단계로 접어든 것으로 판단되었다(Table 2). 주입 2, 12, 24 및 48시간 경과 후에 0.3 mg/L에서 74, 83, 85 및 89%와 61, 58, 57 및 62%로 각각 최고의 감소율을 보인 반면 다른 농도에서는 상대적으로 낮

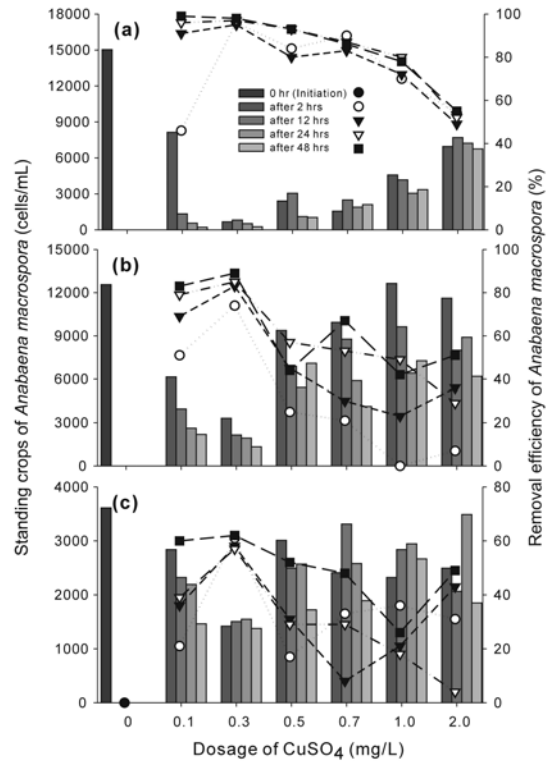


Fig. 2. Comparisons of *A. macrospora* removal changes by CuSO₄ dosage. (a) 1st: 20 August, 2001, (b) 2nd: 23 August, 2001 and (c) 3rd: 30 August, 2001 (bar: cells/mL, symbol and line: %).

았으므로, 황산동을 사용한 *A. macrospora*의 제거는 최고 증식기 이전에 저농도(0.3 mg/L)로 주입하여 급속혼합함이 효과적임을 시사하였다(Fig. 2(b), 2(c); 박 등, 1996; Horne et al., 2001).

Table 2. Temporal changes of *A. macrospora* in study reservoir from 23 July to 4 September, 2001

Month	July			August				September	
Date	23	10	18	20	24	28	30	3	4
Elapsed time (days)	0	18	26	28	32	36	38	42	43
Density (cells/mL)	0	800	4,700	15,000	9,900	7,700	3,600	20	10

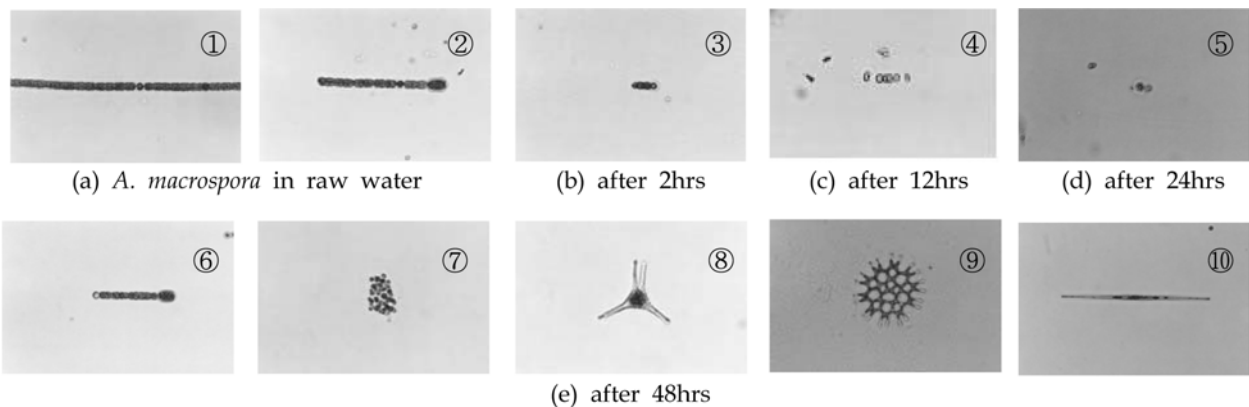


Photo. Morphological changes of *A. macrospora* (a~d: 0.3 mg CuSO₄/L) and other phytoplankton (e: 2.0 mg CuSO₄/L) by CuSO₄ dosage. ①~⑥: *Anabaena macrospora*, ⑦: *Microcystis aeruginosa*, ⑧: *Staurastrum* sp., ⑨: *Pediastrum* sp., ⑩: *Syedra acus*.

본 연구 수행시의 *A. macrospora*는 개체당 최대 200 cells 이상의 사상체(filament)를 형성하고 세포 주변의 점액질과 이형세포(heterocyst)를 분명하게 관찰할 수 있었으며, 2차 시험부터는 휴면세포(akinet)가 일부 형성된 상태였다. CuSO_4 를 0.3 mg/L로 주입하였을 때 2시간 후에 세포 주변의 점액질이 사라지고 대부분의 사상체가 단일 세포로 분리되었고 heterocyst와 akinet의 일부만이 완전한 형태를 유지하고 있었으나, 12시간 이후에는 cell, heterocyst, akinet의 완전한 형태는 관찰할 수 없었다(Photo). 0.1과 0.5 mg CuSO_4 /L 이상에서는 사상체가 유지되었으며 특히, 0.5 mg/L 이상의 상대적 고농도로 갈수록 원시료와 같은 긴 사상체가 관찰되어 황산동에 대한 *A. macrospora*의 생리특성에 대한 추가 연구가 필요하다고 본다. *Anabaena macrospora*는 0.3 mg CuSO_4 /L에서 가장 큰 세포 파괴효과를 보였을 뿐만 아니라 휴면세포까지 파괴되므로 환경조건 호전에 따른 재발생 억제에도 효과가 있을 것으로 판단된다(Fig. 2).

3.3. Geosmin의 변화

원시료(740 ng/L)를 10분간 100 rpm으로 교반하고 이후 20 rpm으로 유지한 결과, 2시간 후의 geosmin 농도는 340 ng/L였으나 15시간 후에 68 ng/L로 최저값을 보인 후 38시간 후에 142 ng/L, 48시간 후에는 1,322 ng/L로 급격히 증가하였다. 이는 초기에 높은 농도로 존재하던 geosmin이 *A. macrospora*의 대사활동 둔화나 회산에 의해 감소하였다가 자연상태에서 세포가 사멸 또는 분해되면서 급격히 증가된 것으로 판단되며, 원수 중에 이취미 원인조류가 번식하면 장애 강도가 서서히 감소하다가 사멸과정에서 급격히 증가될 가능성을 시사하였다(Fig. 3).

CuSO_4 주입 농도 및 시간별 geosmin은 0.5 mg/L까지의 저농도에서는 주입 직후에 222~316 ng/L 범위로 최고값을 보였으나(Courchene et al., 1975), 0.7 mg/L 이상의 고농도에서는 15시간 경과 후에 165~233 ng/L의 범위로 최고값을 보였다. 0.1과 0.3 mg/L에서는 점차 감소하여 38시간 후, 0.5 mg/L에서는 15시간 후, 0.7 mg/L 이상에서는 38시간 후에 각각 최저값을 보여 주입 농도별로 시간적 차이가 있었다.

CuSO_4 를 주입하면 2시간 후에 0.1, 0.3 및 0.5 mg/L에서

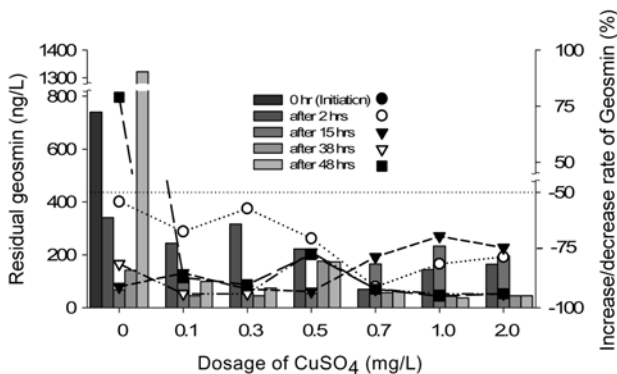


Fig. 3. Variation of geosmin concentration by CuSO_4 dosage (bar: ng/L, symbol and line: %).

각각 244, 316 및 222 ng/L였으며, *A. macrospora*의 최고 파괴율(96%)을 보인 0.3 mg/L에서 가장 높게 나타난 반면에 90%의 파괴율을 보인 0.7 mg/L에서는 최저인 70 ng/L로 나타나 *A. macrospora*와 geosmin 감소의 상관성 규명은 곤란하였다. 이 때 *A. macrospora*가 90%와 55% 감소된 1.0과 2.0 mg/L에서 geosmin은 각각 144, 164 ng/L였다. 15시간 경과 후에는 0.3과 0.5 mg/L에서 각각 56과 54 ng/L로서 연구기간 중 최저값, 0.7, 1.0 및 2.0 mg/L에서 최고값인 165, 233 및 196 ng/L를 보여 *A. macrospora*의 감소율이 90% 이상인 저농도(0.1과 0.3 mg CuSO_4 /L)에서 상대적으로 높은 84%의 geosmin 감소율을 보였다. 이는 원시료의 자연 감소율 80%와 비슷하였으나 0.7 mg/L 이상의 고농도에서는 50% 이하의 낮은 감소율을 보였다. CuSO_4 주입시 *A. macrospora*와 geosmin 감소의 상관성은 추가 연구가 필요할 것으로 판단되나 원시료에서와 같이 시간 경과에 따라 geosmin이 급증하는 현상은 관찰되지 않았으므로 CuSO_4 주입농도에 관계없이 *A. macrospora*의 사멸 또는 대사장애로 geosmin은 감소하는 것으로 판단된다(Gupta, 1986).

3.4. 수질변화

Cu의 수중 잔류율은 0.1 mg CuSO_4 /L에서는 13~36%의 범위를 보였으나, 0.3 mg CuSO_4 /L 이상에서는 8~12%의 범위로 일정한 경향을 보였다(Fig. 4). 황산동을 주입한 후 48시간까지 수중의 Cu 농도는 최대 0.164 mg/L로서 황산동을 실제 적용할 경우 2.0 mg/L의 투입량까지도 Cu의 현행 먹는물 수질기준인 1.0 mg/L에 저축될 우려는 없었으며, *A. macrospora*의 최고 파괴율을 보인 0.3 mg CuSO_4 /L에서는 평균 0.034 mg Cu/L(주입한 Cu의 46%)로 CuSO_4 투입량의 11%가 Cu로 수중에 잔류하였다(Fig. 4). Whitaker 등(1978)은 송어양식장의 *Aphanizomenon flos-aquae* 제거를 위한 CuSO_4 처리에서 주입한 Cu의 약 50%가 2~3일 안에 수중에서 제거되었으며, 이는 $\text{Cu}(\text{OH})_2$, CuCO_3 나 $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 의 형태로 침전되기 때문이라 하였다.

원시료의 평균 총경도와 알칼리도는 각각 30과 28 mg/L이었으며, CuSO_4 를 주입하고 0.5, 2, 12, 24 및 48시간까지 0.5 mg/L 이하의 변화를 보였다. 1차 시험에서 원시료의 pH는 9.01이었고 0.1~2.0 mg/L로 CuSO_4 를 주입한 직후(10분)의 최고/최저값은 8.96/8.78로서 고농도에서 낮았고 시간이 경과하면서 원시료와 마찬가지로 전체적으로 낮아지면서 7.93~8.02의 범위로 주입 농도별로 0.1 이하의 차이를 보였다. 2차와 3차 시험에서도 변화는 유사하였다. 전기전도도는 CuSO_4 를 주입했을 때 원시료보다 오히려 감소하였다. 이는 $\text{Cu}(\text{OH})_2$, $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 나 $\text{Cu}_3(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 로의 침전이나 SO_4^{2-} 에 의한 양이온 흡착에 기인한 것으로 사료된다(Raman, 1985). 1차, 2차 및 3차 원시료의 전기전도도는 각각 109.8, 96.7 및 99.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 였으나 CuSO_4 를 주입한 10분 후에 97.2~97.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 91.1~91.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 및 93.3~94.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 각각 최고 12.6, 5.6 및 6.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 까지 감소한 후 시간경과에 따른 뚜렷한 변화는 나타나지 않

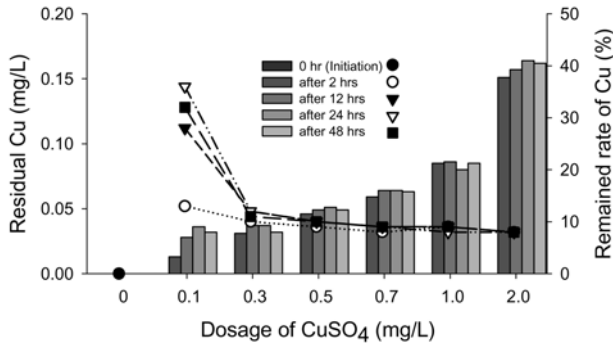


Fig. 4. Variation of Cu concentration by CuSO₄ dosage (bar: mg/L, symbol and line: %).

았으므로 CuSO₄ 주입으로 정수처리 공정에 특이한 영향은 없을 것으로 판단된다.

4. 결론

수돗물에서 geosmin 냄새를 유발하는 *Anabaena macrospora*의 제거를 위해 호소수를 대상으로 수행한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 수돗물의 대표적인 냄새 원인조류인 *Anabaena macrospora*의 세포 파괴점은 CuSO₄(황산동) 0.3 mg/L였으며, *Anabaena*만을 선택적으로 파괴하므로 냄새를 유발하는 *Anabaena*의 개체수를 효과적으로 저감시킬 수 있었다.
- 2) 0.3 mg/L로 주입된 황산동은 *Anabaena macrospora*의 세포 뿐만 아니라 휴면세포(akinete)까지 파괴하므로 환경조건 호전에 따른 재발생의 가능성을 감소시켜 반복장해의 우려를 제거하며, *Anabaena* 발생 초기에 황산동을 주입하고 교반강도를 크게 하였을 때 최대의 제거효과를 나타내었다.
- 3) *Anabaena macrospora*에 의한 geosmin 냄새 장애는 급격한 자연환경 조건의 변화가 없는 한 일정기간 지속되므로 발생 초기에 황산동을 최적 농도(0.3 mg CuSO₄/L)로 주입하여 선택적으로 제거함으로써 장애기간 단축이 가능할 것으로 기대된다.
- 4) 저농도로 주입한 황산동은 Cu의 먹는물 수질기준을 초과할 우려는 없었으며, 알칼리도, 총경도, pH 및 전기전도도 등 특이한 수질변화는 없었다.

사 사

본 연구의 기기분석을 도와주신 한국수자원공사 낙동강 남부권수질검사소 이승희 소장님(현, 경북지역본부 운영관리팀장)과 연구원들께 감사드립니다.

참고문헌

금희정, 김준성, 정용, 녹조류(*Chlamydomonas pulsatilla*)에 의한 염소소독부산물 생성과 그 특성, *한국물환경학회지*, **21**(5), pp. 535-540 (2005).

김철호, 권오섭, 이진애, 세균에 의한 남조 *Anabaena cylindrica*의 분해에 대한 연구, *한국조류학회지*, **18**(4), pp. 355-360 (2003).

박세진, 차일권, 윤태일, 정수처리공정에서 조류유래 유기물질 제거, *대한환경공학회지*, **27**(4), pp. 377-384 (2005).

박혜경, 정원화, 이수형, 권오상, Copper-Citrate 투여시기에 따른 조류증식억제효과, *대한환경공학회지*, **18**(1), pp. 25-31 (1996).

신호상, 안혜실, 정수장에서 조류기인 냄새물질의 처리효율 조사연구, *한국환경위생학회지*, **29**(5), pp. 27-33 (2003).

임경호, 정상만, 한영성, 박영오, 저수지 수질관리를 위한 인공폭기장치의 최적 운전방안, *한국물환경학회지*, **18**(3), pp. 261-270 (2002).

임영성, 송원섭, 조주식, 이홍재, 허종수, 정수처리과정중 응집 및 여과에 미치는 조류의 영향, *한국환경농학회지*, **19**(1), pp. 13-19 (2000).

정팔진, 상수원으로서 부영양화수의 처리에 관한 연구-문제를 일으키는 조류제어의 오존처리를 중심으로, *대한환경공학회지*, **10**(2), pp. 31-39 (1988).

정팔진, 최의소, 살조제 주입에 의한 부영양화수의 처리에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **8**(1), pp. 45-51 (1986).

최일환, 박종근, 김학철, 김연숙, 염소처리에 의한 조류의 세포 변화, *한국물환경학회 춘계학술발표회 논문집*, pp. 173-176 (2001).

환경부, 먹는물 시험방법, 신평문화사, p. 300 (2000).

환경부, 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준, *환경부 고시 제2004-95호* (2004).

Courchene, J. E. and Chapman, J. D., Algae Control in Northwest Reservoirs, *Jour. AWWA*, **67**(3), pp. 127-130 (1975).

Gupta, S. L., Copper Uptake and Inhibition of Growth, Photosynthetic Pigments and Macromolecules in the Cyanobacterium *Anacystis nidulans*, *Photosynthetica*, **20**, pp. 447-453 (1986).

Horne, A. J. and Goldman, C. R., *Limnology*, 2nd ed. McGraw-Hill, Inc. p. 576 (2001).

Izaguirre, G., Hwang, C. J., Krasner, S. W. and McGuire, M. J., Geosmin and 2-methylisoborneol from Cyanobacteria in Three Water Supply Systems, *Appl. Environ. Microbiol.*, **43**(3), pp. 708-714 (1982).

Kim, B. C. and Kang, P. G., The Application of Aluminum Coagulant for the Improvement of Water Quality in Three Recreational Ponds, *Korean J. Limnol.*, **36**(4), pp. 447-454 (2003).

Komárková-Legnerová, J. and Cronberg, G., New and Recombined Filamentous Cyanophytes from Lakes in South Scania, Sweden, *Algological Studies*, **67**, pp. 21-31 (1992a).

Komárková-Legnerová, J. and Eloranta, P., Planktic Blue-Green Algae (Cyanophyta) from Central Filand (Jyväskylä region) with Special Reference to the Genus *Anabaena*, *Algological Studies*, **67**, pp. 103-133 (1992b).

Mahmood, N. A., Carmichael, W. W. and Pfahler, D., Anticholinesterase Poisonings in Dogs from a Cyanobacterial (Blue-Green Algae) Bloom Dominated by *Anabaena flos-aquae*, *Am. J. Vet. Res.*, **49**(4), pp. 500-503 (1988).

McGuire, M. J., Jones, R. M., Means, E. G., Izaguirre, G. and Preston, A. E., Controlling Attached Blue-Green Algae with Copper Sulfate, *Jour. AWWA*, **76**(5), pp. 60-65 (1984).

Murray-Gulde, C. L., Heatley, J. E., Schwartzman, A. L. and

- Rodgers, J. H., Algicidal Effectiveness of Clearigate, Cutrine-plus, and Copper Sulfate and Margins of Safety Associated with Their Use, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **43**, pp. 19-27 (2002).
- Raman, R. K., Controlling Algae in Water Supply Impoundments, *Jour. AWWA*, **77**(8), pp. 41-43 (1985).
- Whitaker, J., Barica, J., Kling, H. and Buckley, M., Efficacy of Copper Sulphate in the Suppression of *Aphanizomenon flos-aquae* Blooms in Prairie Lakes, *Environ. Pollut.*, **15**, pp. 185-194 (1978).