

전염소처리가 *Microcystis aeruginosa* 응집에 미치는 영향

이태관 · 진정숙

계명대학교 환경과학과

(1999년 10월 5일 접수, 1999년 12월 10일 채택)

The Effect of Pre-chlorination on the Coagulation of *Microcystis aeruginosa*

Tae-Gwan Lee · Jung-Sook Jin

College of Environmental Science, Keimyung University

ABSTRACT

In this study the effects of pre-chlorination on the coagulation of water which contain *Microcystis aeruginosa*, were investigated on the laboratory scale.

We prepared the sample of 10^5 cell/mL *Microcystis aeruginosa* and then applied 0.2, 1.0, 10 mg-Cl/L chlorine on the sample. After reaction period(1 minute and 1 hour), each sample was coagulated.

As a result, after 0.4 mg-Al/L coagulant dose, turbidities of all samples were below 2 mg-Kaolin/L. Turbidity was not affected by chlorine dose. As the dose of chlorine was increased, the residual aluminum was decreased, but result of UV₂₅₄ was adverse.

Key Words : Pre-chlorination, *Microcystis aeruginosa*, Coagulation

요약문

본 연구는 부영양화시 다량 발생하고, 독소생성의 주원인 종으로 알려진 *Microcystis aeruginosa*의 정수처리 중 응집공정에서 전염소처리의 영향을 조사하였다. *Microcystis aeruginosa*를 실험실에서 배양하여, 10^5 cell/mL가 되도록 인공시료를 만들었다. 전염소처리의 염소주입량은 각각 0.2, 1.0, 10 mg-Cl/L으로 하였고, 반응시간은 1시간과 1분으로 하였다. 응집 후 모든 시료의 탁도는 응집제를 0.4 mg-Al/L 주입한 후 매우 낮게 나타났으므로 탁도 유발물질은 염소주입량에 의한 영향이 매우 낮은 것으로 나타났다. 염소량이 증가함에 따라 응집 후 잔류알루미늄은 감소하였고, UV₂₅₄는 증가하였다. 적당한 염소농도(1.0 mg-Cl/L)에서는 반응시간이 길어짐에 따라 UV₂₅₄가 증가하였다.

주제어 : 전염소처리, *Microcystis aeruginosa*, 응집

1. 서론

응집·여과 공정으로 처리되는 정수처리장에 유입되는 조류를 효율적으로 제거하기 위해서는 약품주입량, 여과지의 세정간격, 여과속도를 변경해야 한다.¹⁻³⁾ 정수처리에 필요한 정수 약품은 염소와 응집제이고, 염소처리는 염소주입 위치에 따라 전염소처리, 중간염소처리, 후염소처리로 나뉘어진다.⁴⁾ 소독을 목적으로 후염소처리가 일반적으로 많이 사용되었으나, 염소가 수중의 암모니아성 질소(암모니아(NH₃), 암모늄이온(NH₄⁺))와 반응함에 따라 소독효율이 떨어져 수도수의 안전성에 문제를 야기하게 되었다. 따라서 암모니아성 질소를 제거하기 위해서 전염소처리를 상수처리에 도입하게 되었다.⁵⁾ 그러나, 전염소처리는 수중의 유기물질과 염소의 반응으로 인체에 유해한 부산물을 생성하여 심각한 문제를 야기한다.⁶⁾

수원에 조류가 다량 발생한 경우, 응집저해, 여과장치 막힘 현상 등으로 정수처리 효율이 떨어져 물이용의 어려움을 초래하게 되며, 호소내 산소 고갈에 의한 어패류의 질식사, 그리고 일부 남조류에 의한 건강상 피해를 유발할 수 있다. 이에 국내에서는 조류가 발생하게 되면 그 초기단계에서부터 정수처리까지 대응 조치를 적절히 하여 수돗물의 안전성을 확보하기 위해 조류예보제를 시행하고 있다. 조류주의보가 발령되면 정수장에서는 염소량을 증가시킨다. 그러나, 조류제거를 위해 과다하게 유입된 염

소에 의해 조류내부 유기물질이 용출되어 유기물의 처리효율을 저하시키거나, DBPs를 발생시키는 등의 문제를 유발시킬 수 있다.⁶⁾ 따라서, 조류발생 후 상수처리 공정에서 염소처리의 영향에 대한 고찰이 요구된다.

외국의 경우 남조류에 오염된 상수원의 처리법으로 염소소독,⁷⁾ 활성탄 처리^{8,9)}와 생물막 접촉산화법¹⁰⁾ 등이 소개되고 있으며, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 수화발생의 원인조류에 대한 현황파악¹¹⁻¹³⁾이나 독소분리^{14,15)} 등에 대해서 연구가 진행되고 있으며, 실개 정수처리에 대한 연구는 이^{16,17)} 등이 조류의 성장 특성과 조류의 형태별, 성장기별 응집 특성에 대해 조사한 것 등이 있으나, 우리 나라 거의 대부분의 정수장에서 전염소처리를 시행하고 있음에도 불구하고, 조류의 염소처리에 대한 보고는 거의 없는 실정이다.

이에 본 논문은 부영양화시 다량 발생하고, 독소생성의 주원인 종으로 알려진 *Microcystis aeruginosa*를 이용하여 전염소처리가 조류 응집에 미치는 영향을 염소농도와 반응시간에 따라 검토해 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 실험에서 사용한 조류는 *Microcystis aeruginosa*로서 국립환경연구원에서부터 분주받아 M11배

Table 1. The chemical composition of M₁₁ medium

CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.004%
Fe-citrate	0.0006%
NaNO ₃	0.01%
K ₂ HPO ₄	0.001%
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.0075%
Na ₂ CO ₃	0.002%

지에 계대배양 하였다. M₁₁배지의 조성은 Table 1과 같으며 조류는 25℃, 조도 1900~2000 Lux, 명암주기 18h : 6h, 교반속도 50rpm에서 배양하였다. 본 실험에서는 응집저해가 가장 큰 대수증식기의 *Microcystis aeruginosa*를 사용하였다.¹⁷⁾

인공시료는 조류를 증류수에 10⁵ cell/mL가 되도록 하였고, 이 조류수에 염소농도를 0.2, 1.0, 10 mg-Cl/L가 되도록 조정하였다. 염소와의 반응시간은 각각 1분, 1시간으로 하였으며, 모든 시료의 알칼리도는 100 mg-CaCO₃/L로 조정하였다.

응집실험은 원형비이커에 시료총량을 500mL로 하여 급속교반(140rpm) 5분, 완속교반(40rpm) 15분, 정치침전 30분을 실온에서 하였다. 응집제는 Al₂(SO₄)₃ · 16~18H₂O를 사용하였으며, 응집제를 첨가한 후부터 급속교반이 끝날 때까지 NaOH와 HCl을 사용하여 pH 7.0이 되도록 조정하였다.

정치침전 후 상등수를 취하여 탁도, UV₂₅₄, TOC, 잔류알루미늄을 측정하였다. 탁도, UV₂₅₄는 UV spectrophotometer(UV1201, Shimadzu), TOC는 TOC analyzer(SHIMADZU 5000A), 잔류알루미늄은 옥신법으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 상등수의 탁도 및 잔류알루미늄

Fig. 1은 응집제 주입에 따른 상등수의 탁도변화를 나타낸 것이다. 인공시료의 탁도는 조류에 의해 발생하는 것이므로 초기 탁도가 낮기 때문에 응집제가 0.4 mg-Al/L주입되었을 때부터 염소농도에 관계없이 상수 탁도 기준인 2도 이하가 되었고, 전반적으로 낮은 탁도를 유지하는 것으로 보아 전염소처

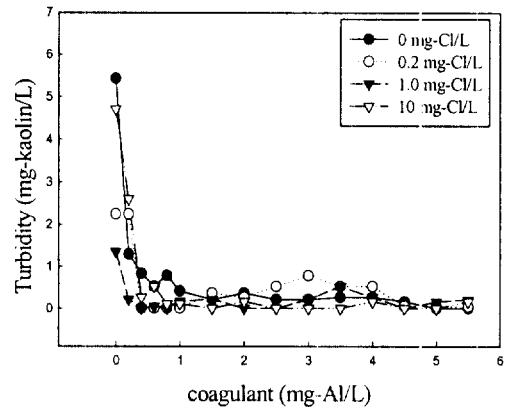


Fig. 1. Turbidity dependent on coagulant dose.

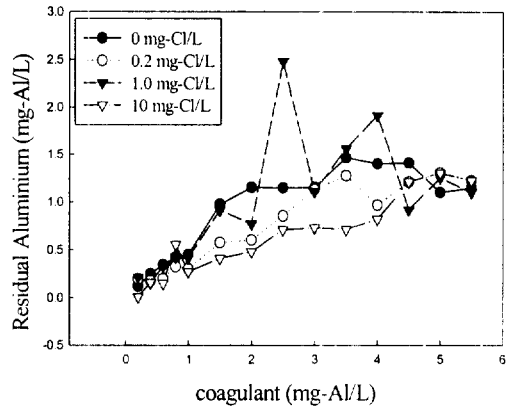


Fig. 2. Residual aluminium of treated water.

리에 의해 탁도유발 물질의 응집에는 큰 영향이 없는 것으로 생각된다.

Fig. 2는 상등수의 잔류알루미늄을 나타내는 그래프로 잔류알루미늄은 주입 응집제가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 같은 응집제 주입량에서 염소농도가 증가함에 따라 잔류알루미늄은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 염소에 의해 조류세포벽이 파괴되어 세포내 유기물질이 용출되는 정도가 염소주입량에 비례하여 같은 양의 조류가 존재하더라도 염소주입량이 증가함에 따라 피응집 유기물질의 농도가 증가하여 더 많은 양의 알루미늄을 소비하기 때문인 것으로 추측된다.

3.2. 상등수의 유기물질표

Fig. 3은 상등수의 UV₂₅₄를 나타낸 그래프로,

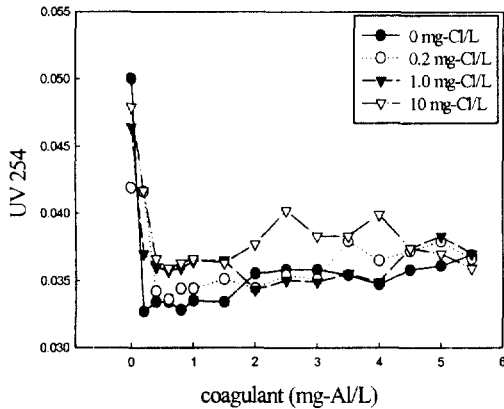


Fig. 3. UV₂₅₄ dependent on coagulant dose.

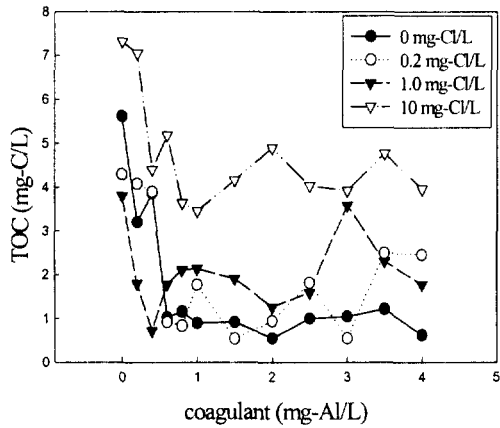


Fig. 4. TOC dependent on coagulant dose.

UV₂₅₄는 THMs의 전구물질을 나타내는 지표이다.

UV₂₅₄는 염소농도 10 mg-Cl/L인 시료가 상대적으로 높게 나타났고, 염소를 주입하지 않은 시료는 낮게 나타났다. 이는 염소에 의해 용출되는 유기물질의 양이 증가하여 동일 응집제량에서 응집 후 남아있는 유기물질의 양이 많아졌거나, 또는 조류유래 유기물질이 염소와 반응하여 화학적으로 응집이 잘 되지 않는 물질로 변형되어 잔류유기물질이 많아진 것으로 사료된다.

Fig. 4는 주입 응집제에 따른 상등수의 TOC 변화를 나타낸 그래프이다. TOC의 변화는 Fig. 3의 UV₂₅₄와 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 염소 10 mg-Cl/L인 시료와 염소와 반응시키지 않은 시료와의 차가 매우 크게 나타난 것을 알 수 있다.

3.3. 염소 접촉시간에 따른 변화

Fig. 5~7은 각각의 염소농도에서 반응시간 1분과 1시간에 대한 UV₂₅₄의 변화를 나타낸 그래프이다.

염소농도 0.2 mg-Cl/L와 10 mg-Cl/L에서는 상등수의 UV₂₅₄가 반응시간과 관계없이 유사하지만, 염소농도 1.0 mg-Cl/L에서는 반응시간이 1시간인 것이 1분인 것에 비해 더 높게 나타났다.

이는 염소농도가 너무 낮은 경우에는 반응시간이 길어도 짧은 시간에 염소가 소비되므로 반응시간에 따른 UV₂₅₄의 변화가 없고, 고농도의 염소에서는 초기에 세포내 유기물질이 과다하게 용출되었으므로 반응시간에 관계없이 UV₂₅₄가 나타나는 것으로 생각된다. 본 실험에서 실행한 염소농도의 범위에서는

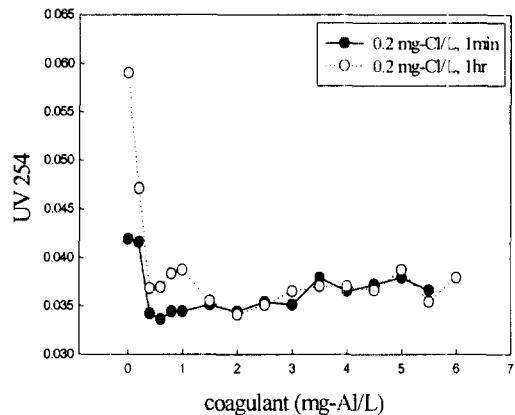


Fig. 5. UV₂₅₄(1 min & 1 hr, 0.2 mg-Cl/L).

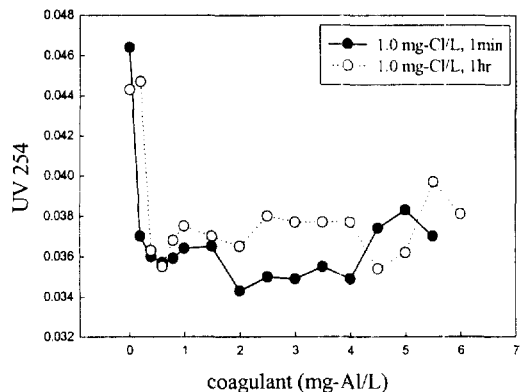


Fig. 6. UV₂₅₄(1 min & 1 hr, 1.0 mg-Cl/L).

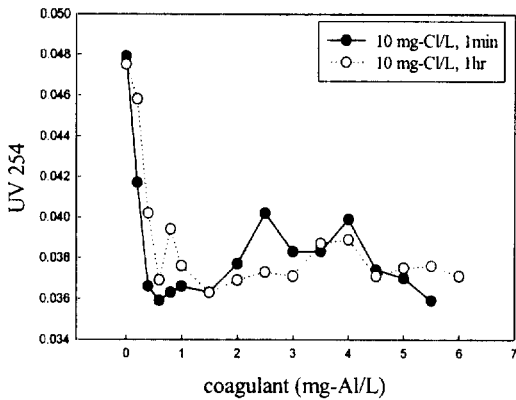


Fig. 7. UV₂₅₄(1 min & 1 hr, 10 mg-Cl/L).

1.0 mg-Cl/L에서만 반응시간이 길어짐에 따라 유기물질이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 염소와 세포의 반응이 진행됨에 따라 세포내부에 있는 유기물질이 점점 더 많이 용출되어 UV₂₅₄의 수치가 높아지는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 여름철 정수처리에서 많은 문제를 발생시키는 조류를 효율적으로 처리하기 위한 방법을 모색하기 위해서 전염소처리에 의해 조류응집특성이 어떻게 변화하는지에 대해서 조사하였다.

탁도는 응집제를 0.4 mg-Al/L 주입하였을 때부터 염소농도에 관계없이 낮게 나타났고, 잔류알루미늄은 시료의 염소농도가 증가할수록 감소하였다. UV₂₅₄는 염소농도 10 mg-Cl/L인 시료가 상대적으로 높고, 염소를 주입하지 않은 시료는 낮게 나타남을 알 수 있었다. 또한 염소와의 접촉시간에 따른 잔류 유기물질의 변화를 보면 고농도(10 mg-Cl/L)나 저농도(0.2 mg-Cl/L)에서는 시간변화에 따라 변화가 없는 것으로 나타났으며, 1.0 mg-Cl/L에서는 접촉시간이 길어짐에 따라 잔류 유기물질의 양이 많아지는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서는 전염소처리는 *Microcystis aeruginosa*의 응집시 탁도 유발물질에는 큰 영향을 주지 않으나, UV₂₅₄ 유발물질인 DBPs 전구물질의 응집을 저해시키므로 같은 처리율을 얻기 위해서는 더 많은 응집제가 필요한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 原田建一, 渡真利代, "湖沼汚染の指標化合物," *ミクロシスチン, 現代化學*, **3**, 53~58(1992).
2. Gerloff, G. C., G. P. F. Fitzgerald and F. Skoong, "The mineral of *Microcystis aeruginosa*," *Am. J. Bot.*, **39**, 26~32(1952).
3. Zehnder A. and P. R. Gorham, "Factors influencing the growth of *Microcystis aeruginosa*," *Can. J. Microbiol.*, **6**, 645~662(1960).
4. 佐藤敦久, 眞柄泰基, 上水道における藻類障害, 技報堂出版, pp. 69~93(1996).
5. 한국수자원공사, 정수과정에서의 암모니아성 질소제거 방법(1994).
6. Roger, A. Minear & Gary L. Amy, Disinfection By-Products in Water Treatment, Lewis Publishers(1995).
7. Nicholson, B. C., J. Rositano and M. D. Burch., "Destruction of cyanobacterial peptide hepatotoxins by chlorine and chloramine," *Water Res.*, **28**(1994).
8. Falconer, I. R., "Using activated carbon to remove toxicity from drinking water containing Cyanobacterial blooms," *J. AWWA* (1989).
9. Falconer I. R., Runnegar M. T. C. and Huynh V. L., "Effectiveness of activated carbon in the removal of algal toxin from potable water supplies : a pilot plant investigation," In *Tech. Pap. Present. 10th Fed. Convent. Aust. Wat. Wastewat Ass.*, Sydney, Australia(1983).
10. Inamori, Y., R. Sudo, K. Kaya, Y. Chao and K. Aoyama, "Role of micro animals in the removal of toxin-producing *Microcystis viridis* in biofilm processes," *Proceeding of IAWPRC*, pp. 311~314(1990).
11. 김명운, 김민호, 조장천, 김상중, "Cyanobacteria의 증식에 따른 대형호 생태계내의 생물군집 변화," *한국유수학회지*, **28**(1), 1~9

- (1995).
12. 조경제, 신재기, "낙동강 중·하류의 엽록소 a 분포와 변동," 한국육수학회지, **28**(4), 421~426(1995).
 13. 김용재, 이정호, "낙동강 수계의 6개 댐호의 식물 플랑크톤 군집구조비교," 한국육수학회지, **29**(4), 347~362(1996).
 14. 박혜경, 진익렬, 류홍일, 류재근, "Microcystis (Cyanobacteria) 분리주에서의 Microcystin 생산에 관한 연구," 한국수질보전학회지, **12**(1), 29~34(1996).
 15. 최병욱, 노영호, 이종수, "한국산 남조류 *Microcystis*로부터 생산된 microcystin 구조와 생물활성에 관한 연구," 공업화학, **8**(4), 610~616(1997).
 16. 이태관, 박상원, 배현균, 유대식, 김 정, "*Microcystis aeruginosa*의 성장특성 및 응집에 미치는 영향," 수처리기술, **6**(1), 33~42(1998).
 17. 이태관, 배현균, "조류의 응집제거 특성," 수처리기술, **6**(3), 77~84(1998).