Research Paper

Effect of Cell Density on the Removal of *Microcystis* by Coagulation

Joo Eun Han[✉] · Wontae Lee^{†✉}

Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received May 21, 2020; Revised June 22, 2020; Accepted June 23, 2020)

Objectives : This study evaluated the removal of *Microcystis* by coagulation in raw waters with three different cell densities.

Methods : Raw waters were prepared at three different cell densities (target cell densities of 10,000, 100,000, and 1,000,000 cell/mL; actual cell densities of 9,950, 102,000, and 991,000 cell/mL) by adding *Microcystis* into surface water from Nakdong river. Jar-tests were conducted with PACl, alum, illite, and loess at dosages of 0-150 mg/L.

Results and Discussion : Regardless of coagulant types, the removal rates of *Microcystis* increased as the coagulant dosages increased. PACl and alum exhibited higher removal rates than illite and loess; PACl was the best coagulant to remove *Microcystis*. Removal of chlorophyll-a was highest when PACl added at 20.4 mg/L, and no significant increase in removal rate was observed with higher dosages of PACl. However, removal rates of chlorophyll-a by illite and loess gradually increased as the dosages increased.

Conclusions : With the coagulants tested in this study, removal rates of *Microcystis* increased as the coagulant dosages increased. Removal rates of *Microcystis* increased as the cell densities increased probably because *Microcystis* acted as particles which could enhance the coagulation efficiency.

Key Words : *Cyanobacteria, Algal Bloom, Microcystis, Coagulation, Cell Density*

[†] Corresponding author E-mail: wtlee@kumoh.ac.kr Tel: 054-478-7636 Fax: 054-478-7859

연구논문

응집처리 시 *Microcystis* 조류 밀도가 제거효율에 미치는 영향

한주은[✉] · 이원태[†]

금오공과대학교 환경공학과

목적: 낙동강 녹조현상시 가장 많이 발생하는 *Microcystis*를 세 가지 조류 밀도로 구분하여 응집처리에 의한 제거 특성을 조사하였다.

방법: 낙동강에서 채수한 원수에 배양한 *Microcystis*를 주입하여 세 가지 조류 밀도(목표 10,000, 100,000, 1,000,000 cell/mL, 실측치 9,950, 102,000, 991,000 cell/mL)로 만들고 응집제 종류(PACl, Alum, 일라이트, 황토) 및 주입량(0~150 mg/L)을 달리하여 제거율을 파악하였다.

결과 및 토의: 응집제 종류와 관계없이 주입량이 증가할수록 *Microcystis* 제거율이 증가하는 경향을 보였으며, 같은 주입량에서는 PACl과 Alum의 *Microcystis* 제거율이 일라이트와 황토의 제거율보다 높았다. *Microcystis* 제거에 가장 효과적인 응집제는 PACl이었다. 클로로필 a 제거의 경우 PACl 20.4 mg/L 주입 시 높은 제거율을 나타내었고 주입량을 증가시켜도 제거율에 큰 변화가 없었던 반면 일라이트와 황토는 주입량을 증가시킬수록 클로로필 a의 제거율도 지속적으로 증가하였다.

결론: 조류 밀도와 관계없이 응집제 주입량이 증가할수록 *Microcystis* 제거율이 증가하는 경향을 보였으나, 조류 밀도가 낮은 경우(9,950 cell/mL)보다 높은 경우(102,000, 991,000 cell/mL) *Microcystis*가 입자성 물질로 작용해 응집에 의한 제거율이 상승하였다.

주제어: 남조류, 녹조 현상, 마이크로시스티스, 응집, 조류 밀도

1. 서론

정부의 수질보전을 위한 노력에도 불구하고 다양한 비점 오염원에서 유출되는 질소, 인과 같은 영양염류로 인해 하천이나 호소 등에서 조류(Algae)가 생성되고 있다. 우리나라의 경우 계절적 특성상 매년 여름철이 되면 수온이 상승되어 조류가 서식하기 좋은 환경이 조성됨에 따라 호소 및 하천에서 조류(Algae) 과다증식 및 녹조현상(Algal bloom)이 발생되고 있다.^{1,2)} 더불어 지구온난화로 인한 기후 및 강우패턴 변화에 의해 가뭄과 홍수의 반복이 일어나 조류 발생이 점차 가속화되고 있다.³⁾

조류가 수계에 대량으로 증식하게 되면 수계의 용존산소(DO) 농도 감소, 맛·냄새 문제, 조류기인 독성물질 발생, 투명도 저하 등의 다양한 문제를 발생시킨다.^{4,5)} 특히, 조류에서 기인하는 이취미 물질인 Geosmin과 2-MIB (2-Methylisoborneol)는 흙냄새, 곰팡내, 풀냄새 등의 냄새를 유발하여 수돗물의 불신 및 신뢰성 저하의 원인을 제공할 수 있어 먹는물수질 감시항목의 심미적 영향물질로 지정되어 관리되고 있다.⁶⁾

또한 남조류 중 일부 종에서는 간독, 신경독 및 피부독 등 여러 종류의 독소를 생성하여 수생태계 및 가축 건강성 등에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.⁷⁻¹³⁾

조류(Algae)는 전 세계적으로 약 4,000종이 있는데 크게 남조류(Blue-green algae; Cyanophyceae), 녹조류(Green algae), 규조류(Diatoms; Bacillariophyceae) 등의 분류군으로 구분할 수 있다.¹⁴⁾ 이 중 부영양화 수역에서 주로 녹조현상(Algal bloom)을 일으키는 식물플랑크톤인 남조류는¹⁵⁾ 우리나라 상수원의 안전성 확보를 위해 하천과 호소의 조류 발생정도를 확인하는 조류경보제의 지표로 사용되고 있다. 유해 남조류 4종인 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 속의 세포수 합을 산정하여 단계별로 경보를 나누어 실시하고 있으며^{16,17)} 단계별 발령기준은 관심(1,000 세포/mL 이상 10,000 세포/mL 미만), 경계(10,000 세포/mL 이상 1,000,000 세포/mL 미만), 조류대발생(1,000,000 세포/mL 이상), 해제(1,000 세포/mL 미만)로 나누어 상수원 구간에 대해 관리하고 있다.¹⁸⁾

그동안 하천 및 호소의 조류를 제거하기 위하여 응집기술

Table 1. Characteristics of raw water from Nakdong river.

Parameter	pH (-)	Turbidity (NTU)	UVA ₂₅₄ (cm ⁻¹)	TOC (mg/L)	Chlorophyll-a (mg/m ³)	Cell density (cell/mL)	Alkalinity (mg/L)
Value	7.12~7.45	2.54~7.12	0.062~0.071	2.11~3.12	5.21~11.5	96~260	38~46

을 활용한 다양한 연구가 시도되었으나, 조류 발생정도를 반영한 연구는 미흡하였다. 이에 본 연구를 통해 응집처리로 조류 제거시 적용할 수 있는 응집제의 종류와 주입량이 조류 밀도에 따라 달라질 수 있는지 조사하였다. 남조류 중 낙동강 수계에서 가장 빈번하게 발생하는 *Microcystis*를¹⁹⁾ 연구대상으로 하였으며 조류 밀도별 단계(관심, 경계, 조류 대발생)로 구분하여 응집처리에 의한 제거 특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조류 배양 및 원수

실험에 사용된 조류는 낙동강에서 발생하는 유해 남조류의 대표종인 *Microcystis aeruginosa* (이하 *Microcystis*)로 국립낙동강생물자원관에서 분리 동정한 종을 분양받아 배양하여 사용하였다. 배양을 위한 배지는 BG-11을 사용하였으며²⁰⁾ 제조한 배지를 이용해 20(배지) : 1(조류)의 비율로 Culture Flask에 접종한 후 진탕 배양기에서 온도 26℃, 회전속도 110 rpm으로 설정하고 40 W의 백색 형광등 4개를 조사하여 배양시켰다. 고농도로 배양된 *Microcystis*는 낙동강에서 채수한 원수로 각각 희석하여 10,000, 100,000, 1,000,000 cell/mL 농도로 응집 실험을 하였다. 희석에 사용된 원수의 수질특성은 Table 1에 정리되어 있다.

2.2. 응집 실험(Jar-Test)

실험에 사용된 응집제는 국내 정수장에서 많이 사용하는 무기성 응집제인 Alum (Aluminum sulfate, Al₂O₃ 8%, CAS 10043-01-37787-24-9)과 PACl (Poly aluminum chloride, Al₂O₃ 17%, CAS 101707-17-9) 그리고 무독성으로 2차 오염을 일으키지 않는 황토(Loess)^{21,22)}와 일라이트(Illite)로 총 4가지 응집제를 대상으로 하여 Jar-Test를 진행하였다. Jar-Test는 조류 밀도(10,000, 100,000, 1,000,000 cell/mL)를 맞춘 원수 (1 L)에 각 응집제를 농도별(0-150 mg/L)로 주입한 후 급속 교반(140 rpm) 1분, 완속교반(40 rpm) 15분간 실시한 후 1시간 동안 침강시켜 상등액을 분취한 후 각 분석항목을 측정하였다. 모든 응집 실험은 중복실험(duplicate)으로 하였다.

2.3. 분석방법

Jar-test 실험 시료에 대해 pH, 탁도(Turbidity), 총유기탄소(TOC), UVA₂₅₄ (UVA at 254 nm), 클로로필라 (Chlorophyll-a), 조류 밀도 등을 분석하였다. pH는 pH meter (Star A series,

Thermo Fisher Scientific, USA)로 측정하였고, 탁도는 탁도계(HI98703, Hanna Instruments, USA)로 측정하였다. 유기물 성분 분석을 위해 TOC는 총유기탄소분석기(TOC-L CPH/CPN, Shimadzu, Japan)로 분석하였고 UVA₂₅₄는 GF/C (45 mmD)로 여과한 후 흡광광도계(DR6000, HACH, USA)로 측정하였다. 클로로필라 (Chlorophyll-a)는 수질오염공정시험기준(ES 04312.1a)에 따라 흡광광도계를 이용하여 측정하여 계산하였다. 조류 밀도는 루골용액(Lugol's solution) 1 mL를 떨어뜨린 후 일정시간 뒤에 수질오염공정시험기준의 식물성플랑크톤-현미경계수법(ES 04705.1b)으로 측정하였다.²³⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. *Microcystis* 제거

Fig. 1은 세 가지 다른 조류 밀도(목표 10,000, 100,000, 1,000,000 cell/mL, 실측치 9,950, 102,000, 991,000 cell/mL)를 가지는 낙동강 원수로 응집 실험한 결과 응집제 종류 및 주입량에 따른 *Microcystis* 제거율 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 응집제 종류와 관계없이 주입량을 증가시킬수록 *Microcystis* 제거율이 증가하는 경향을 보였으며, 같은 주입량에서는 화학 응집제(PACl, Alum)의 *Microcystis* 제거율이 광물 응집제(황토, 일라이트)의 제거율보다 높은 경향을 나타냈다(Fig. 1).

조류 밀도 9,950 cell/mL (Fig. 1(A))의 경우 Alum 21 mg/L 주입 시 55.2%의 제거율을 나타내어 타 응집제 주입량 대비 가장 효율적인 *Microcystis* 제거율을 보였으며, 주입량 147.8 mg/L에서 최대 95.8%의 제거율을 보였다. PACl은 143 mg/L 주입한 경우 *Microcystis* 제거율이 98.0%로 가장 높았으며 광물 응집제인 일라이트와 황토는 본 실험의 주입량 범위(~150 mg/L) 내에서 최대 제거율이 각각 39.1%와 16.6%로 낮았다.

조류 밀도 102,000 cell/mL (Fig. 1(B))의 경우 무기응집제에 의한 *Microcystis* 최대 제거율(PACl 92.0%, Alum 81.6%)은 조류 밀도 9,950 cell/mL인 경우(PACl 98.0%, Alum 95.8%)에 비해 낮아졌으나, 응집제 주입량이 낮은 범위(~50 mg/L)의 *Microcystis* 제거율은 오히려 상승하였다. 이러한 경향은 일라이트와 황토를 주입한 경우 더욱 뚜렷하게 나타났다. 일라이트와 황토는 102,000 cell/mL에서 최대 제거율도 각각 62.2%와 41.8%로 조류 밀도 9,950 cell/mL의 제거율보다 증가하였다. 이러한 경향은 조류 밀도가 9,950 cell/mL

Fig. 1. Comparison of *Microcystis* removal by various coagulants in raw waters with three different cell densities: (A) 9,950 cell/mL, (B) 102,000 cell/mL and (C) 991,000 cell/mL.

일 때에 비하여 102,000 cell/L인 경우 입자성 물질이 증가하여 응집 효율이 보다 향상되어 나타난 것으로 판단된다.²⁴⁾ 조류 밀도 991,000 cell/mL (**Fig. 1(C)**)의 경우도 102,000 cell/mL의 결과와 마찬가지로 각 응집제별 최대주입량 주입 시 전반적으로 *Microcystis* 제거율(최대 제거율 PACI 98.7%, Alum 79.42%)이 증가하였고 일라이트와 황토의 제거효율이 향상되었다.

3.2. 클로로필a 제거

조류 밀도가 9,950, 102,000, 991,000 cell/mL가 되도록 *Microcystis*를 주입한 원수의 클로로필a 농도는 각각 26.40, 40.58, 201.52 mg/m³이었으며, 이는 낙동강에서 채수한 원

수의 클로로필a 농도 8.21 mg/m³(평균)은 원수 대비 3~24배 높은 수치였다. **Fig. 2**는 조류 밀도를 달리한 원수별 응집제 주입량에 따른 클로로필a 제거율을 나타낸 것이다. 조류 밀도 9,950 cell/mL의 경우 전반적으로 응집제 주입량을 증가시킬수록 클로로필a 제거율도 증가하였다(**Fig. 2(A)**). PACI가 가장 높은 제거율을 나타냈는데, 20.4 mg/L을 주입했을 때 83.3%의 클로로필a 제거율을 보였으며, 147.8 mg/L 주입 시 87.9%까지 제거율이 증가하였다. Alum 주입 시 최대제거율은 72.7%이었으며 일라이트와 황토는 최대제거율이 각각 56.4%, 38.6%로 화학 응집제에 비해 상대적으로 낮았다.

조류 밀도 102,000 cell/mL의 경우 PACI 20.4 mg/L 주입

Fig. 2. Comparison of chlorophyll-a removal by various coagulants in raw waters with three different cell densities: (A) 9,950 cell/mL, (B) 102,000 cell/mL and (C) 991,000 cell/mL.

시 86.5%로 가장 높은 제거율을 나타냈고 이후 PACI의 주입량을 증가시켜도 클로로필a 제거율이 더 이상 증가하지 않았다(**Fig. 2(B)**). Alum은 최대주입량 주입 시 77.6%까지 제거되었으며 일라이트와 황토는 조류 밀도 9,950 cell/mL와 비교해 클로로필a 제거율이 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 조류 밀도 991,000 cell/mL에서도 PACI가 가장 효과적인 제거효율을 나타내었다(**Fig. 2(C)**). PACI에 의한 클로로필a 제거는 조류 밀도 102,000 cell/mL의 경우와 유사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었는데, 20.4 mg/L 주입 시 77.1%까지 제거된 후 제거율의 변화가 거의 없었다.

원수의 조류 밀도와 관계없이 클로로필a의 제거율은 유사한 경향을 나타냈는데, 화학응집제의 제거율이 광물 응집제

의 제거율에 비해 다소 높은 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. PACI과 Alum은 적정 주입량에서 최대 제거율을 나타내고 주입량을 증가시켜도 제거율에 큰 변화가 없었다. 반면, 일라이트와 황토의 경우 주입량을 증가시킬수록 클로로필a의 제거율도 지속적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 PACI과 Alum은 이중충압축과 전하중화에 의한 작용으로 적정 주입량에서 최대의 응집효율을 나타내었기 때문으로 판단된다.^{4,14,25)}

클로로필a는 조류 밀도를 간접적으로 나타내는 지표로 본 연구에서도 클로로필a 제거가 조류 밀도 제거와 비교하여 양적 제거율은 낮지만 경향은 비슷하게 나타났었다. 보다 명확한 관계를 규명하기 위하여 *Microcystis* 밀도 및 클로로필a

Fig. 3. Correlation between removals of cell density and chlorophyll-a.

제거율의 상관성을 비교하였다(Fig. 3). 사용된 응집제를 모두 포함한 결과에 대한 *Microcystis* 밀도 및 클로로필a 제거율 간의 상관계수(r)는 0.8170이었다. 이 결과를 응집제 종류별로 세분하면 Alum이 $r = 0.9265$ 로 가장 높은 상관성을 보였으며 PACI ($r = 0.6539$)이 유의미한 상관관계를 나타냈다. 다만, 황토($r = 0.3036$)와 일라이트($r = 0.2961$)는 낮은 상관관계를 나타냈다. 화학 응집제의 경우 응집제 주입에 따른 조류 밀도 제거를 클로로필a 제거경향으로 예측할 수 있는 반면, 광물 응집제를 사용할 때는 클로로필a 제거율로 조류 밀도 제거를 간접적으로 예측하지 않도록 주의해야 할 것이다.

3.3. 유기물 제거

Microcystis 주입농도 9,950 cell/mL 원수의 응집제 종류 및 주입량에 따른 유기물 제거율 변화를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4는 UVA₂₅₄에 대한 결과인데 TOC의 결과도 제거율이 5~20% 정도 낮게 나타났을 뿐 유사한 경향을 보였다. 화학응집제인 PACI, Alum의 경우 20 mg/L에서 주입량 대비 가장 효율적인 제거율을 나타내고 이후로는 제거율에 큰 차이가 없었다. 일라이트와 황토의 경우 주입량을 증가시킬수록 유기물 제거율이 점차 증가하였는데, 각각 최대 31%, 24%의 제거율을 나타내며 화학응집제 대비 낮은 제거율을 나타내었다. 이러한 경향은 102,000 cell/mL 및 991,000 cell/mL의 유기물 제거 실험에서도 유사하게 나타났다. 조류 밀도를 달리한 원수의 유기물제거는 앞서 설명한 *Microcystis* 밀도 및 클로로필a 제거에 비해 낮은 제거율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 조류에서 기인한 용해성 유기물인 AOM (Algal-derived Organic Matter)과 조류내부 유기물질

Fig. 4. Removal of UVA₂₅₄ by various coagulants in raw water with a cell density of 9,950 cell/mL.

인 IOM (Intercellular Organic Matter) 등이 응집처리로 제거하는데 한계가 있다는 기존 연구의 결과와 유사하다.^{3,26-31)}

4. 결론

본 연구는 낙동강 녹조현상의 주원인인 남조류 중 가장 많이 발생하는 *Microcystis*를 대상으로 하여 응집제 종류 및 주입량에 따른 조류 밀도별 제거 특성을 파악하기 위한 응집실험을 진행하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 응집제 종류와 관계없이 주입량이 증가할수록 *Microcystis* 제거율이 증가하는 경향을 보였으며, 같은 주입량에서는 PACI와 Alum의 *Microcystis* 제거율이 일라이트와 황토의 제거율보다 높은 경향을 나타냈다. 조류 밀도가 낮은 경우 (9,950 cell/mL)보다 높은 경우(102,000, 991,000 cell/mL) *Microcystis*가 입자성 물질로 작용해 응집에 의한 제거율이 상승하였다.
- 2) PACI와 Alum은 적정 주입량(~20 mg/L)에서 클로로필a의 최대 제거율을 나타내었고 주입량을 증가시켜도 제거율에 큰 변화가 없었으나, 일라이트와 황토는 주입량을 증가시킬수록 클로로필a의 제거율도 지속적으로 증가하였다.
- 3) *Microcystis* 밀도와 클로로필a 제거율 간의 상관성 분석 결과, PACI이나 Alum의 경우 응집제 주입에 따른 조류 밀도 제거를 클로로필a 제거 경향으로 예측할 수 있는 반면, 일라이트나 황토를 사용할 때는 클로로필a 제거율로 조류 밀도 제거를 간접적으로 예측하는 지표로 삼기에는 적합하지 않은 것으로 판단하였다.

Acknowledgement

이 연구는 2018년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 창의형 융합 연구사업(No. CAP-18-07-KICT)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1. H. K. Park, Y. C. Seo, I. H. Cho, B. H. Park, Effect of chlorination on disinfection byproducts production and release of microcystins from bloom-forming algae, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 22(3), 513-520(2006).
2. H. Y. Hwang, J. J. Song, M. S. Kim, D. Y. Kim, A study on efficiency of wastewater treatment using microalgae: focusing on nutrients and flocculation, *J. Korean Soc. Environ. Technol.*, 19(6), 563-569(2018).
3. M. K. Kim, B. R. Moon, T. K. Kim, K. D. Zoh, A study on production & removal of microcystin, taste & odor compounds from algal bloom in the water treatment processes, *The Korean J. Public Health*, 52(1), 33-42(2015).
4. B. J. Lee, H. C. Oh, J. H. Ahn, Y. M. Kim, H. J. Kang, S. K. Kim, Algae and nutrient control by using the mineralized coagulant, *KSWST Jour. Wat. Treat.*, 26(2), 45-52(2018).
5. J. K. Kim, D. G. Kang, W. S. Yeo, H. H. Kim, Trends in algae removal technology and eco-friendly algae control technology, *KSWST Jour. Wat. Treat.*, 25(1), 91-109(2017).
6. T. K. Kim, J. H. Choi, Removal of geosmin by combined treatment of pac and intermediate chlorination in the conventional wtp, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 37(1), 7-13(2015).
7. M. G. Lee, Y. K. Kim, D. G. Ra, Nitrogen and phosphorus removal by ferric chloride coagulation, *J. Korean Soc. Environ. Technol.*, 15(3), 169-174(2014).
8. K. Doederer, D. Gale, J. Keller, Effective removal of MIB and geosmin using MBBR for drinking water treatment, *Water Res.*, 149, 440-447(2019).
9. R. Henderson, S. A. Parsons, B. Jefferson, The impact of algal properties and pre-oxidation on solid-liquid separation of algae, *Water Res.*, 42(8-9), 1827-1845(2008).
10. Han-River Water Environment Research Center National Institute of Environmental Research, Molecular biological characteristics of cyanobacteria originated off flavor in water(I), National Institute of Environmental Research(2018).
11. Environmental Microbiology Division Environmental Health Research Department National Institute of Environmental Research, A study on the production and behavior of cyanobacterial toxin, National Institute of Environmental Research(2007).
12. Y. A. Choi, N. S. Han, E. G. Lim, Y. M. Kim, C. J. Choun, B. H. Lee, Characteristics of cyanobacterial occurrence and concentration distribution of cyanotoxins in hoeya reservoir, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 35(12), 943-952(2013).
13. B. S. Jeon, J. S. Han, S. K. Kim, J. H. Ahn, H. C. Oh, H. D. Park, An overview of problems cyanotoxins produced by cyanobacteria and the solutions thereby, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 37(12), 657-667(2015).
14. C. J. Cheong, Removal of microalgae using inorganic coagulants in coagulation and sedimentation processes for water treatment, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 30(1), 85-89(2008).
15. A. Sukenik, Y. Viner-Mozzini, M. Tavassi, S. Nir, Removal of cyanobacteria and cyanotoxins from lake water by composites of bentonite with micelles of the cation octadecyltrimethyl ammonium(ODTMA), *Water Res.*, 120, 165-173(2017).
16. Ministry of Environment, What is an algal bloom?(2016).
17. J. K. Shin, B. G. Kang, S. J. Hwang, Water blooms (green-tide) dynamics of algae alert system and rainfall-hydrological effects in Daecheong reservoir, *Korean J. Ecology and Environment*, 49(3), 153-175(2016).
18. Ministry of Environment, Algae Alert System(2018).
19. J. J. Yu, H. J. Lee, K. L. Lee, H. S. Lyu, J. W. Whang, L. Y. Shin, S. U. Chen, Relationship between distribution of the dominant phytoplankton species and water temperature in the Nakdong river, *Korean J. Ecology and Environment*, 47(4), 247-257(2014).
20. R. Y. Stanier, R. Kunisawa, M. Mandel, G. Cohen-Bazire, Purification and properties of unicellular blue-green algae (order chroococcales), *Bacteriol Rev.*, 35(2), 171-205(1971).
21. M. R. Sengco, D. M. Anderson, Controlling harmful algal blooms through clay flocculation, *J. Eukaryot. Microbiol.*, 51(2), 169-172(2004).
22. H. J. Park, S. H. Kim, W. S. Park, J. Y. Lee, J. A. Lee, The removal efficiency of microcystis spp. and its ecotoxicity using clay, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 30(3), 261-268(2014).
23. Ministry of Environment, Korean standard methods for water quality(2018).
24. H. Zou, G. Pan, H. Chen, X. Yuan, Removal of cyanobacterial blooms in Taihu lake using local soils II. effective removal of *microcystis aeruginosa* using local soils and sediments modified by chitosan, *Environ. Pollut.*, 141(2), 201-205(2006).
25. Y. J. Park, S. S. Lee, H. R. Cho, Studies on the flocculation of algae with metal ions, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 37(8), 441-449(2015).
26. R. K. Mishra, B. P. Shaw, B. K. Sahu, S. Mishra, Y. Senga, Seasonal appearance of chlorophyceae phytoplankton bloom by river discharge off paradeep at orissa coast in the bay of bengal, *Environ. Monit. Assess.*, 149(1-4), 261-273(2009).
27. C. W. Lee, C. W. Jung, S. W. Han, L. S. Kang, J. H. Lee, The removal of algae by oxidation and coagulation processes, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 23(9), 1527-1536(2001).
28. J. J. Rook, Formation of haloforms during chlorination of natural water, *J. Water Treat. Exam*, 23(2), 234-243(1974).
29. J. D. Plummer, J. K. Edzward, Effect of ozone on disinfection by-product formation of algae, *Water Sci. Technol.*, 37(2), 49-55(1998).

30. H. J. Son, J. M. Jung, H. S. Yeom, J. T. Choi, S. H. Jang, Formation of disinfection by-products from blue-green algae by chlorination, J. Environ. Sci. Int., 21(8), 1015-1021(2012).
31. S. J. Park, I. K. Cha, T. I. Yoon, Removal of algogenic organic matter in drinking water treatment process, J. Korean Soc. Environ. Eng., 27(4), 377-384(2005).

Authors

Joo Eun Han

Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Master Course Student, 0000-0001-8739-1531

Wontae Lee

Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Professor, 0000-0001-9660-4455