



천연 조류 제거제를 이용한 정수장 유입 조류 제거 효율

Effectiveness of elimination inflowing algae in water treatment plant using natural algae remover

정호영·김영희*

Hoyoung Jung·Younghee Kim*

호서대학교 벤처대학원 융합과학기술학과, 서울시 서초구 남부순환로 2497, 06724

Department of Convergence Science Technology, Graduate School of Venture Hoseo University, 2497, Nambusunhwan-ro, Seocho-gu, Seoul 06724, Republic of Korea

pp. 243-250

pp. 251-258

pp. 259-268

pp. 269-279

pp. 281-289

pp. 291-297

pp. 299-309

pp. 311-319

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze water treatment characteristics, including the efficiency of removing algae from water purification plants, by installing a demonstration facility for decontamination of algae, including natural algae remover injection equipment, in the water purification plant. Jar-test showed that the optimum injection of natural decontaminant was 20 mg/L. Of the water contaminant treatment efficiency of the intake and water purification plants, Chl-a averaged 74.0% elimination efficiency from 5.0 mg/m³ to 1.3 mg/m³ and the maximum treatment efficiency was 91.5% removal efficiency when the inflow concentration of Chl-a was 11.8 mg/m³. In addition, 51.2% and 47.1% of the taste and odor indicator items, geosmin and 2-MIB, resulted from the overgrowth and decaying of algae, respectively, to identify toxic substances and odor reduction effects. In addition, elimination efficiencies of SS and Turbidity materials were higher than 70.0%. In the injection of natural algae remover, no effects such as sudden changes in water quality due to secondary reactions were found, and appropriate levels were maintained under water treatment conditions.

Key words: Natural algae remover, Pre-treatment, Optimization, Water pollutant

주제어: 천연 조류 제거제, 전처리, 최적화, 수질 오염물질

1. 서 론

상수원의 안정적 확보를 위해 그간 국내 주요 수계에는 다수의 댐 및 보가 건설되어 상수원의 체류시간이 증가되고 체류시간이 증가되면 하천의 수리·수문환경 변화와 기후 온난화로 조류의 대량 증식 발생 가능성이 증대된다 (Jang et al., 2016). 조류로 인한 가장 큰 피해는 이취미와 여과지 폐색으로 인한 정수장의 피해로 귀결되어 조류발생 33일간 정수처리 비용이 9

억 이상 소요 되는 것으로 보고되고 있다 (Kim et al., 2016). 조류 종류별 피해를 보면 남조류는 독소와 이취미 생성, 녹조류는 이취미, 규조류는 이취미와 여과장애 유발, 편모조류와 유글레나는 독성과 이취미 유발 등의 피해를 초래하며(MOE, 2015), 조류 발생으로 인한 피해액을 조사한 예는 없으나, 한국수자원공사의 자료를 인용하면 수도권 7개 정수장의 조류 발생 33일간(09. 06. 08.~07. 10.) 이취미 물질 제거 정수처리 비용 459백만원, 활성탄투입 442백만원, 수질 검사비 12백만원, 이송료 5백만원 등 918백만원이 소요되었다 (Cho, 2007). 녹조는 대부분 한시적으로 발생하

Received 11 June 2019, revised 7 August 2019, accepted 9 August 2019.

*Corresponding author: Younghee Kim (E-mail: yhkim514@hoseo.edu)

나 관리 및 운용에는 높은 비용이 소요되며, 금강, 영산강 등 주요 하천 수질개선 비용은 '06~'08년까지 66,000억원, '09~'11년 26,000억원이 투입되었으며, 낙동강의 경우 '12년 45,906억원이 투입되었다 (Kim et al., 2015). "UV/TiO₂ TMIP를 이용한 정수장 냄새 원인 물질과 DBPs 제거를 위한 기초연구(Lee, 2014)" 에서는 최근에는 동절기임에도 팔당 상수원에 남조류 증식 및 냄새 유발 물질 대량 발생(Geosmin, 최대 300 mg/L)으로 나타나는 것으로 기술하고 있다 (Kim et al., 2015).

기존 소규모 정수장의 경우 조류 밀도의 증가 시 응집제 및 염소 소독제 등을 과다하게 투여하고 조류 사체로 인한 여과 과정에 부하가 발생하여 정수 효율이 저하되는 문제점을 앓고 있으나 뚜렷한 대안을 찾지 못하는 실정이다 (Lee, 2014). 이에 대한 극복 방안으로, 정수장 원수의 조류를 80.0% 이상 제거하는 시스템(간이수조, 오염도 측정 장치, 정량투입장치, 슬러지회수장치, 미세 슬러지 여과필터, 장치보호 및 제어 시스템 설치 하우스 등)을 취수탑 부근에 설치하며 이때 원수 처리를 위한 장치로 1차 간이수조(1,000~5,000톤)를 설치한 후 조류 제거제 자동투입 장치로 유입 수량에 비례하여 천연 조류 제거제를 자동 투입하고, 수조안에서 제거된 조류는 물 흐름 장치에 의거 한쪽 방면에 집결시킨 후 슬러지 회수용 컨베이어 벨트로 실시간 수거하여 자연탈수(중력탈수)하여 슬러지 보관창고에 적치하며, 1차 수조에서 조류와 슬러지를 제거한 후 미세 슬러지 제거용 펌프를 통하여 2차 수조에 정수 처리된 맑은 물을 펌핑 하여 보관 후 실시간 취수탑으로 공급하는 입체적인 공정 개발이다 (Buchanan, 2005; Lee, 2015). 원수에 포함된 유입 조류와 부유성 수질 오염물질, 조류 독성물질 및 맛·냄새 물질을 80.0% 이상을 제거할 수 있는 실시간 모니터링 시스템 및 자동 제어시스템과 연계한 고효율·콤팩트형 정수장 유입 조류 제거 및 전처리 복합 공정 실증화 및 상용화를 통하여 상수원에서 발생하는 조류의 대량 유입에 따른 후속 정수공정의 부하 경감효과 극대화와 여과지 막힘 등에 의한 정수처리 장애 문제를 해결하고, 맞춤형 조류 대응 기술 실증화를 통한 먹는 물에 대한 대국민 불안감을 해소하여 안정적으로 수질을 공급 하고자 하였다. 이에 따라, 본 연구의 목적은 정수장 유입수를 대상으로 천연 조류 제거제 투입 장치를 포함한 조류 제거 실증 시설을 설치

하여 정수장 유입수의 조류 제거 효율을 포함한 수처리 특성을 분석하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구개요

2.1.1 천연 조류 제거제

연구에 사용된 천연 조류 제거제는 환경부로부터 신기술 인증(환경신기술인증 제405호)을 취득한 M사의 응집용 제품으로, 주요 구성 성분은 제올라이트, 견운모, 규산염, 황토 등 광물 원료와 밤나무, 상수리, 솔잎, 녹차 등 식물 원료를 각각의 개별공정에 따라 처리한 후 이를 혼합 교반하였다.

천연 조류 제거제의 수 처리 방법 및 원리는 오염된 수역의 수면에 투입 장치를 구성하여, 직접 살포하여 조류를 포함하는 수질 오염 물질을 응집·부상시킨 후 부상된 슬러지를 포집 및 수거하여 최종 고액 분리 공정을 거쳐 수 처리를 하는 방법을 취하고 있다. 오염 수역에 살포하는 천연 조류 제거제에 포함되어 있는 알루미늄 성분 등이 조류 세포를 파괴시키지 않은 상태에서 응집 시키는 역할을 한다. 광합성 반응에서 발생하는 산소 기포와 수중에 과포화 된 산소가 수온 증가 시 포화 용해도가 낮아지면서 미세 기포가 생성되며, 기 응집된 조류를 포함하는 수중 오염물질과 결합하여, 기포의 부력을 이용해 수중 오염 물질을 수면 위로 부상시켜, 제거하는 수 처리 원리를 가지고 있다. 사용된 천연 조류 제거제의 물리 화학적 특성은 현재 정수 처리 공정에서 많이 사용되고 있는 수 처리 응집제인 폴리염화알루미늄(Poly Aluminum Chloride; [Al₂(OH)_n Cl_{6-n}]_m)의 수 처리제 기준과 비교하여 분석 하였으며, 2018년 4월 16일 한국 먹는물 안전 연구원에서 발급된 천연 조류 제거제 시험 성적서를 근거로, 본 연구에서 사용된 천연 조류 제거제의 물리 화학적 특성을 아래의 Table 1에 나타내었다.

2.1.2 실험지역 개요

실험 지역인 G취수장은 경기도 남양주시 화도읍 북한강로 일대에 위치하고 있으며, 상수원인 북한강의 물을 취수하여, H정수장으로 공급하는 역할을 한다. H정수장은 하루 48천톤의 정수를 생산하여 인근 지역 약 16만명의 시민들에게 정수한 물을 공급하고 있다.



Table 1. Physical and chemical characteristics of natural algae remover

Item	Unit	Water treatment standard of PAC	Natural algae remover
Specific gravity(20℃)	-	Above 1.19	1.088
pH	-	3.5 ~ 5.0	4.2
Al ₂ O ₃	%	10.0 ~ 18.0	4.4
Base	%	Above 35	38.7
SO ₄ ²⁻	%	Below 3.5	0.22
NH ₃ -N	%	Below 0.01	ND
Fe	%	Below 0.01	0.002
As	mg/kg	Below 5	ND
Pb	mg/kg	Below 10	ND
Cd	mg/kg	Below 2	ND
Cr	mg/kg	Below 10	ND
Mn	mg/kg	Below 25	ND
Hg	mg/kg	Below 0.2	ND

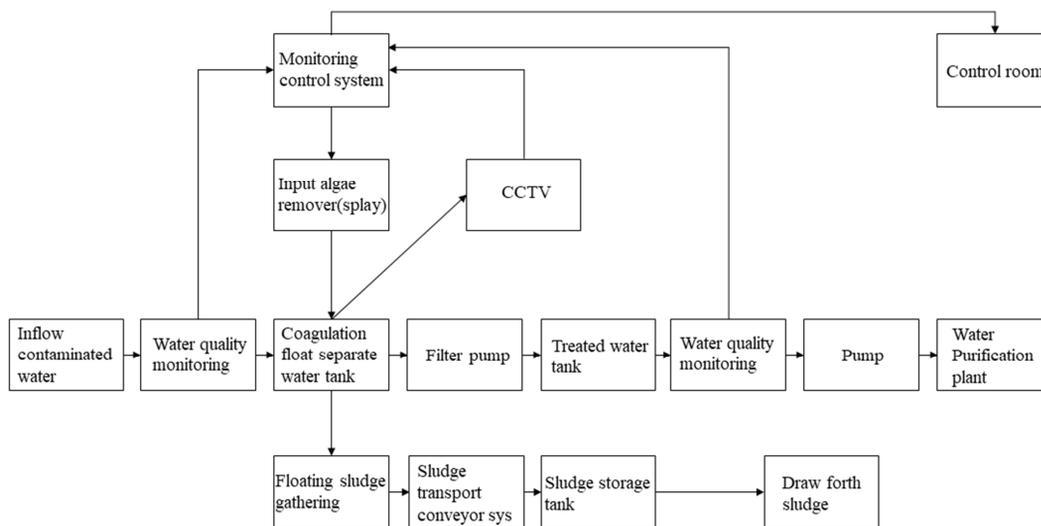


Fig. 1. Pilot equipment and flow system for algae remover in test bed site.

본 실험을 위해 G취수장 내에 가로 8 m x 세로 20 m x 높이 4 m의 콘크리트 구조물의 조류 제거 실증 시설 및 장치를 구축하였다.

2.2 실험 장치

정수장 유입 조류 제거 시설 플랜트 시설물의 공정의 모식도는 Fig. 1과 같다. 경기도 남양주시 화도읍 북한강로에 위치한 H정수장 소속 G취수장 내에 가로 8 m x 세로 20 m x 높이 4 m의 콘크리트 구조물로 설계 및 시공하였으며, 유효수심 3 m 기준으로 유입 원수 약 480톤 저장 가능하고, 처리 용량은 5,000

m³/day으로 수리학적 체류 시간은 2시간 이내 가능하도록 실증 플랜트를 구축하였다.

플랜트가 설치된 외부에는 유입 및 유출펌프, 유입 유량계, 반응조 내 상,하부 물 흐름장치, LED램프, 슬러지 회수장치(컨베어 벨트), 이송호퍼, 유입 및 유출 조작 판넬 등으로 구성되었으며, 취수장 건물 내부에는 원수 및 처리수의 Chl-a, 남조류, turbidity, DO, pH 등을 실시간 측정이 가능한 모니터링 시스템을 구성하여, Chl-a, turbidity 등의 처리 효율을 display 화면상에서 상시 확인이 가능하고, 원수의 유입 유량과 유입 조류의 농도에 따라 자동으로 천연 조류 제거제 투입

량을 결정하고 투입할 수 있도록 개발된 HMI 자동 제어시스템, 약품 투입펌프 및 약품 저장탱크, 유출 유량계 등으로 구성하였다.

2.3 실험 방법

후속 조류제거 시설 공정보하 최소화 및 천연 조류 제거제의 적정 주입농도를 알고자 취수장 유입 조류 제거 실증 시설 구축이 완료된 후 2016년 8월부터 10월까지 총 3개월간 취수장 유입수에 대하여 천연 조류 제거제 20 mg/L를 주입하며 실험 및 분석하였다. 천연 조류 제거제의 최적 주입량은 기존 문헌의 결과를 활용하였으며, 천연 조류 제거제의 주입량별 Chl-a, geosmin 및 기타 오염물질의 제거에 가장 우수한 효율을 보인 20 mg/L를 적용하였다 (MOE, 2017). 또한, 조류 제거 실증 시설의 운전은 2016년 8월부터 2017년 5월까지 총 8개월 진행하였고, Chl-a, geosmin, 2-MIB, turbidity, SS, pH, DO, TOC 등 총 8가지 수질 항목을 선정하여 항목별로 12~18회에 걸쳐 정수장 유입 원수 및 처리수에 대한 조류를 포함하는 수질 오염 물질의 처리 효율을 아래 Table 2의 실험 방법에 의해 분석하였다.

2.4 Jar-test

분석 기간은 2016년 8월 23일부터 10월 11일까지이며, 주 3회(화, 수, 금) 오후 2시에 채수하였고, 채수위치는 수질 연속 모니터링이 설치된 취수장 내에서 원수와 처리수를 채수하였으며, 분석항목은 Chl-a, geosmin 등이며 천연 조류 제거제 주입 농도는 5, 15, 20, 40, 50 mg/L로 투입하였다.

천연 조류 제거제 주입 농도 결정의 기초 로직은

유입 수질 변동에 따른 조류제거 실증시설 운영을 위해서 유입 원수를 한강에서 채취한 배양 조류를 농도별로 투입하여 진행하였고, 원수의 조제는 국내에 출현하는 조류 농도를 그룹화 하여 증류수에 spiking하여 조제하였다. Jar-test의 진행과정은 천연 조류 제거제 주입 후 완속 교반시 조류입자들이 점점 응집되며, 교반 완료 후 Jar바닥에 일시적으로 침전되었던 floc들이 작은 덩어리를 이루면서 다시 부상하는 모습이 관찰되었다. 최종 부상 완료 후 조류 floc들이 부상한 후 시간이 경과할수록 압밀되어 부상 슬러지의 겉보기 밀도가 높아지는 모습이 관찰되었다.

천연 조류 제거제를 이용한 응집-부상공정에서 첫째 미세조류 응집, 둘째 응집된 미세조류 floc의 침전, 셋째 타감 작용에 의한 침전된 미세 조류의 광합성 활성화, 넷째 미세조류 floc 내·외부의 미세기포 생성 및 성장, 다섯째 미세기포의 성장에 따른 부력 상승 및 floc의 부상, 마지막으로 부상 슬러지의 압밀 등의

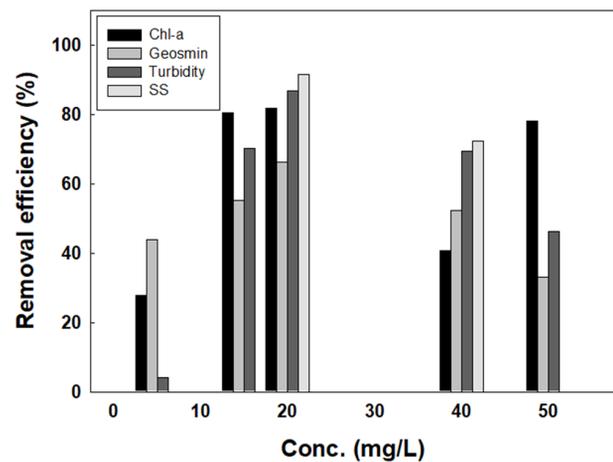


Fig. 2. Jar-test results according to the injection concentration of natural algae remover.

Table 2. Itemized experimental method

Item	Main experimental method
Chl-a	Water Pollution Process Test Method
Geosmin	Water Pollution Process Test Method(sensual method)
2-MIB	Water Pollution Process Test Method(sensual method)
Turbidity	Absorptiometric analysis & Turbid meter
SS	Water Pollution Process Test Method
pH	On-site measurement method through ph meter
DO	On-site measurement method through do meter
TOC	Water Pollution Process Test Method



과정이 순차적으로 관찰되었다. Chl-a, geosmin 등은 천연 조류 제거제 20 mg/L 주입 시 처리효율이 가장 높았으며, 특히 Chl-a는 천연 조류 제거제 20 mg/L 주입 시 5.4→1.0 mg/m³(평균 81.9%)로 가장 효율적으로 저감되었고, Chl-a, geosmin, turbidity 및 SS의 저감 효율을 나타낸 그래프는 Fig. 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 취수장 유입수 특성

천연 조류 제거제 주입 장치를 포함하는 조류 제거 실증 시설 통과 전의 취수장 유입수의 수질 특성을 분석하였다. 유입수의 수질을 12회 분석한 결과는 Table 3과 같으며, Chl-a 2.1~11.8 mg/m³(평균 5.0 mg/m³), geosmin 1.9~33.0 mg/L(평균 18.7 mg/L), 2-MIB 5.0~29.0 mg/L(평균 17.0 mg/L), turbidity 2.1~22.4 NTU(평균 4.8 NTU), SS 0.8~23.0 mg/L(평균 12.0 mg/L), pH 7.1~7.4(평균 7.3), DO 6.4~8.2 mg/L(평균 7.4 mg/L), TOC 1.6~2.0 mg/L(평균 1.8 mg/L)로 분석되었다. 상수원의 조류 지표 항목인 Chl-a와 냄새, 맛 등의 변화를 일으키는 geosmin, 2-MIB, turbidity의 항목의 경우 영양 물질 유입 및 수온, 계절적 영향으로 변동 폭이 크게 나타났다.

Table 3. Inflow water quality average variation table

Range	Chl-a (mg/m ³)	Geosmin (mg/L)	2-MIB (mg/L)	Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	pH	DO (mg/L)	TOC (mg/L)
Min	2.1 (n=12)	1.9 (n=12)	5.0 (n=12)	2.1 (n=12)	0.8 (n=12)	7.1 (n=12)	6.4 (n=12)	1.6 (n=12)
Max	11.8 (n=12)	33.0 (n=12)	29.0 (n=12)	22.4 (n=12)	23.0 (n=12)	7.4 (n=12)	8.2 (n=12)	2.0 (n=12)
Average	5.0 (n=12)	18.7 (n=12)	17.0 (n=12)	4.8 (n=12)	12.0 (n=12)	7.3 (n=12)	7.4 (n=12)	1.8 (n=12)

Table 4. Treatment water quality without Natural algae remover in test bed

Range	Chl-a (mg/m ³)	Geosmin (mg/L)	2-MIB (mg/L)	Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	pH	DO (mg/L)	TOC (mg/L)
Min	0.0 (n=12)	0.0 (n=12)	2.0 (n=12)	0.6 (n=12)	2.1 (n=12)	6.2 (n=12)	6.3 (n=12)	1.2 (n=12)
Max	2.7 (n=12)	21.0 (n=12)	20.0 (n=12)	2.3 (n=12)	10.0 (n=12)	7.4 (n=12)	8.8 (n=12)	2.1 (n=12)
Average	1.3 (n=12)	9.1 (n=12)	9.0 (n=12)	1.3 (n=12)	4.5 (n=12)	6.9 (n=12)	7.8 (n=12)	1.6 (n=12)

3.2 취수장 처리수(정수장 유입수) 특성

천연 조류 제거제 주입 장치를 포함하는 조류 제거 실증 시설 통과 후의 취수장 처리수의 수처리 특성을 분석하였다. 처리수의 수질을 12회 분석한 결과는 Table 4와 같으며, Chl-a 0.0~2.7 mg/m³(평균 1.3 mg/m³), geosmin 0.0~21.0 mg/L(평균 9.1 mg/L), 2-MIB 2.0~20.0 mg/L(평균 9.0 mg/L), turbidity 0.6~2.3 NTU(평균 1.3 NTU), SS 2.1~10.0 mg/L(평균 4.5 mg/L), pH 6.2~7.4(평균 6.9), DO 6.3~8.8 mg/L(평균 7.8 mg/L), TOC 1.2~2.1 mg/L(평균 1.6 mg/L)로 분석되었다.

Chl-a, geosmin, 2-MIB, turbidity, SS의 경우 천연 조류 제거제의 주입으로 인한 오염물질 감소로 처리 효율 변동 폭이 크게 나타났고, 그 외 항목은 수처리 효율 변동 폭이 미미하였다.

3.3 천연 조류 제거제 주입에 의한 처리효율 분석

천연 조류 제거제 주입 전인 취수장 유입수의 주요 관찰 대상 항목인 Chl-a는 최저 2.1 mg/m³에서 최고 11.8 mg/m³로 ±9.7 mg/m³, geosmin는 최저 1.9 mg/L에서 최고 33.0 mg/L로 ±31.1 mg/L, 2-MIB는 최저 5.0 mg/L에서 최고 29.0 mg/L로 ±24.0 mg/L, turbidity는 최저 2.1 NTU에서 최고 22.4 NTU로 ±20.4 mg/L, SS는 최저 5.4 mg/L에서 최고 23.0 mg/L로 ±17.6 mg/L로 비

pp. 243-250

pp. 251-258

pp. 259-268

pp. 269-279

pp. 281-289

pp. 291-297

pp. 299-309

pp. 311-319

Table 5. Treatment water quality with Natural algae remover in test bed

Items	Chl-a (mg/m ³)	Geosmin (mg/L)	2-MIB (mg/L)	Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	TOC (mg/L)
Inflow water (Initial)	5.0 (n=12)	18.7 (n=12)	17.0 (n=12)	4.8 (n=12)	12.0 (n=12)	7.4 (n=12)	1.8 (n=12)
Treatment water (Final)	1.3 (n=12)	9.1 (n=12)	9.0 (n=12)	1.3 (n=12)	4.5 (n=12)	7.8 (n=12)	1.6 (n=12)
Treatment ratio (%)	74.0	51.2	47.1	73.8	62.5	5.1	11.1

교적 큰 농도 편차를 보이고 있다. 이는 계절 변동에 의한 수온 상승 등의 변화에 따른 상수원인 북한강의 수 처리 특성에 따른 것으로 보여 진다.

취수장 유입수 대비 천연 조류 제거제 주입을 포함 하는 조류 제거 실증 시설 통과 후의 취수장 처리수 (정수장 유입수)의 수질 오염물질 평균 처리효율은 Table 5와 같이, Chl-a 5.0→1.3 mg/m³(평균 74.0%), geosmin 18.7→9.1 mg/L(평균 51.2%), 2-MIB 17.0→9.0 mg/L(평균 47.1%), turbidity 4.8→1.3 NTU(평균 73.8%), SS 12.0→4.5 mg/L(평균 62.5%), DO 7.4→7.8 mg/L(평균 5.1%), TOC 1.8→1.6 mg/L(평균 11.1%)로 분석 되었다. 상수원 조류 번성 지표 항목인 Chl-a의 경우 평균 처리 효율이 74.0%로 조류 제거 효과가 가장 큰 것으로 분석 되었으며, 조류가 제거된 후에도 조류로부터 기인 한 독성 물질 및 맛, 냄새 등을 유발 하는 대표적인 용존성 물질인 geosmin 및 2-MIB은 각각 평균 처리효율이 51.2%, 47.1%로 수 처리로 인한 제거가 어려운 항목임에도 비교적 높은 처리 효율을 나타내었다. 적정량의 천연 조류 제거제 주입은 상수 원수에 포함된 조류 물질인 Chl-a 및 맛, 냄새 유발물질인 geosmin 및 2-MIB, SS, turbidity 항목에 대한 제거효과가 특히 큰 것으로 나타났다.

3.4 개별 항목 수 처리 효율 특성

3.4.1 Chl-a

Chl-a는 상수원 조류 발생 지표로써 활용되는 항목 으로, 유입 원수 대비 천연 조류 제거제 주입을 포함하는 조류 제거 실증 시설 통과 후의 처리수의 평균 제거 효율은 74.0%(5.0 mg/m³→1.3 mg/m³)로 높은 제거 효율을 나타내었다. 실험기간 중 Chl-a의 변화 는 Fig. 3과 같다. Chl-a 유입 원수 농도가 10.0 mg/m³

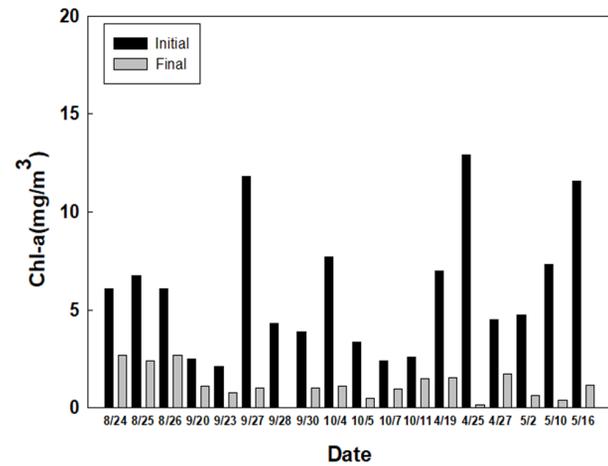


Fig. 3. Variation of chl-a in the test period.

이상으로 높았던 2016년 9월 27일에는 처리 효율이 91.5%(11.8 mg/m³→1.0 mg/m³)로 분석 되었다. 반면 유입 원수 농도가 2.5 mg/m³ 이하로 낮았던 2016년 9월 23일에는 처리 효율이 61.9%(2.1 mg/m³→0.8 mg/m³), 2016년 10월 7일의 경우는 처리 효율이 58.3%(2.4 mg/m³→1.0 mg/m³)로 고농도 유입 원수보다 수 처리 효율이 저감 되는 것으로 보아 Chl-a는 고농도의 유입 원수일 경우 천연 조류 제거제 주입 시 응집 효과 개선 등으로 처리 효율이 더 높아짐을 알 수 있었다. 계절적인 Chl-a 수 처리 특징은 정수장 유입 원수의 농도가 높은 계절은 봄에서 초여름(4~5월)으로 평균 농도는 8.3 mg/m³(4.5 mg/m³~12.9 mg/m³) 이었고, 원수의 수온이 상승하여, 농도가 가장 높을 것으로 예상 되었던 여름철인 8월에는 평균 농도가 6.3 mg/m³(6.1 mg/m³~6.7 mg/m³)으로 수온이 낮은 봄철보다 낮은 수치로 분석 되었다. 가을철인 9월~10월에는 평균 농도가 4.5 mg/m³(2.4 mg/m³~11.8 mg/m³)로 가장 낮은 분석결과를 나타내었다.



3.4.2 Geosmin, 2-MIB

정수 공정을 거쳐서 처리된 물에서 곰팡이 냄새가 나거나 물비린내가 나는 경우가 발생하는데 이는 수중의 조류가 발생하는 geosmin 및 2-MIB와 같은 물질 때문이다. 이에 본 연구에서는 geosmin 및 2-MIB의 물질을 함유한 정수장 유입 원수에 천연 조류 제거제를 최적량 주입 하였을 때에 유입 처리수의 제거 효율 및 특성을 분석 및 관찰하였다.

Geosmin 및 2-MIB은 유입 원수 대비 천연 조류 제거제 주입을 포함하는 조류 제거 실증 시설 통과 후의 처리수의 평균 제거 효율은 geosmin 51.2%(18.7 mg/L→9.12 mg/L), 2-MIB 47.1%(17.0 mg/L→9.0 mg/L)로 분석되었다. 조류로부터 기인한 맛, 냄새 물질이면서, 대표적인 용존성 물질인 geosmin, 2-MIB 같은 물질들은 고농도 발생 시 표준 정수처리 공정에서 제거가 어렵기 때문에 활성탄, 오존, 자외선-고도산화 공정 등과 같은 고도 정수 처리가 필요한 점을 감안하면 비교적 양호한 제거 효율을 나타내었다. 실험기간 중 geosmin, 2-MIB의 변화는 Fig. 4와 같으며, 일자별 수 처리 효율을 기준으로 처리 특성을 분석 시 geosmin의 경우 유입 원수 중 농도가 30.0 mg/L 이상으로 높았던 2016년 9월 30일에는 처리 효율이 61.0%(33.0 mg/m³→13.0 mg/m³), 2016년 10월 5일에는 처리 효율이 74.3%(30.1 mg/m³→7.7 mg/m³)로 geosmin 처리수의 평균 제거 효율인 51.2% 보다 높은 제거 효율을 나타내었고, 반면 20.0 mg/L 이하로 낮았던 2016년 9월 27일에는 처리 효율이 6.0%(18.0 mg/m³→17.0 mg/m³), 2016년 10월 7일에는 처리 효율이

31.3%(8.4 mg/m³→5.8 mg/m³)로 처리 수 평균 제거 효율보다 낮은 제거 효율을 나타내었다. 2-MIB의 경우도 유입 원수 중 농도가 20.0 mg/L 이상으로 높았던 2016년 10월 7일에는 처리 효율이 92.2%(23.0 mg/m³→2.0 mg/m³), 2016년 10월 11일에는 처리 효율이 75.0%(16.0 mg/m³→4.0 mg/m³)로 2-MIB 처리수의 평균 제거 효율인 47.1%보다 훨씬 상회하는 높은 제거 효율을 나타내었고, 유입 원수 중 농도가 5.0 mg/L 이하로 낮았던 2016년 9월 28일에는 처리 효율이 0.0%(5.0 mg/m³→5.0 mg/m³), 2016년 9월 30일에는 처리 효율이 20.0%(5.0 mg/m³→4.0 mg/m³)로 유입 처리수 평균 제거 효율보다 오히려 낮은 제거 효율을 나타내었다. Geosmin 및 2-MIB의 경우 정수장 유입 원수에 고농도로 존재 시에 천연 조류 제거제와 반응하여 응집 효과 개선 등으로 처리 효율이 더 높아짐을 알 수 있었다.

3.4.3 기타 수질 오염 물질

정수장 유입 수 대비 천연 조류 제거제 주입을 포함하는 조류 제거 실증 시설 통과 후의 처리수의 기타 수질 오염 물질 평균 처리 효율은 turbidity는 73.8%(4.8 NTU→1.3 NTU), SS는 62.5%(12.0 mg/L→4.5 mg/L), DO는 5.1%(7.4 mg/L→7.8 mg/L), TOC는 11.1%(1.8 mg/L→1.6 mg/L)로 각각 저감 되었으며, 천연 조류 제거제 주입 시 2차 반응으로 인한 급격한 수질 변동 같은 영향은 없었으며, 정수 처리 조건에서 적정 수준을 유지하였고, 실험기간 중 turbidity, SS, DO, TOC의 변화는 Fig. 5와 같다. 이 중 turbidity, SS

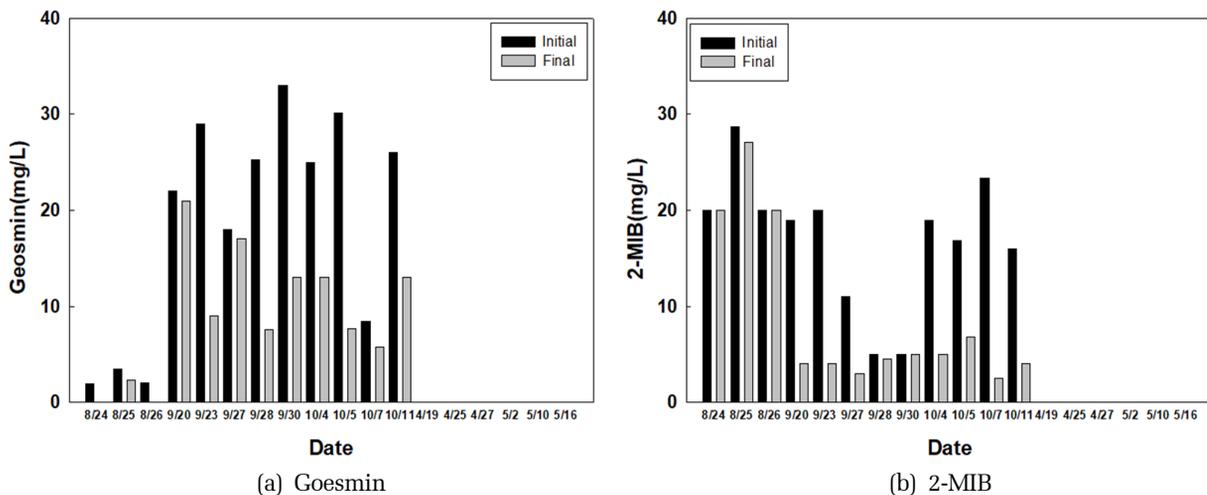


Fig. 4. Variation of geosmin and 2-MIB in the test period.

pp. 243-250

pp. 251-258

pp. 259-268

pp. 269-279

pp. 281-289

pp. 291-297

pp. 299-309

pp. 311-319

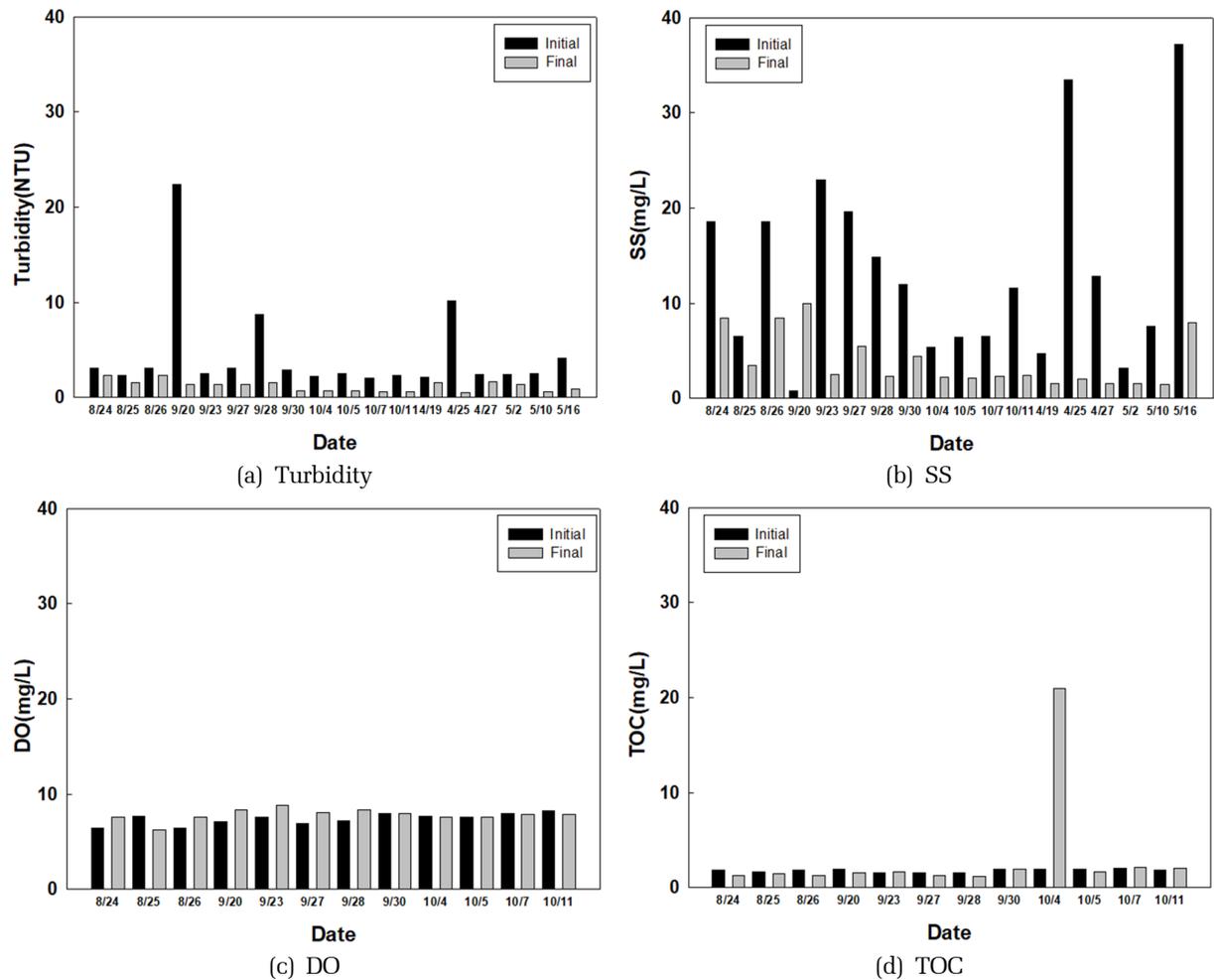


Fig. 5. Variation of other water pollutants in the test period.

는 처리 효율이 높게 나타난 반면, DO, TOC의 처리 효율은 비교적 낮게 나타났다. 이는 천연 조류 제거제 주입으로 인한 수질 변동요인이 미미하기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 경기 북부 북한강을 상수원으로 하는 정수장 유입수를 대상으로 천연 조류 제거제 주입 장치, 슬러지 제거장치 및 이송 장치를 포함하는 조류 제거 실증 시설을 정수장 전 시설인 취수장에 현장 설치하고, 시설을 운전하면서, 천연 조류 제거제 주입 농도에 따른 정수장 유입수의 조류 제거 효율을 포함한 수 처리 특성을 분석하고자 하였다. 천연 조류 제거제는 Jar-test 수행결과 20 mg/L가 최적 주입량을 알 수 있었다. 정수장 유입 수 대비 천연 조류 제거제

주입을 포함하는 조류 제거 실증 시설 통과 후의 처리수의 수질 오염물질 평균 처리 효율은 Chl-a 5.0→1.3 mg/m³(평균 74.0%), geosmin 18.7→9.1 mg/L(평균 51.2%), 2-MIB 17.0→9.0 mg/L(평균 47.1%), turbidity 4.8→1.3 NTU(평균 73.8%), SS 12.0→4.5 mg/L(평균 62.5%), DO 7.4→7.8 mg/L(평균 5.1%), TOC 1.8→1.6 mg/L(평균 11.1%)로 저감되었다. 상수원 조류 번성 지표 항목인 Chl-a의 경우 평균 처리 효율이 74.0%로 조류 제거 효과가 가장 큰 것으로 분석 되었으며, 조류가 제거된 후에도 조류로부터 기인 한 독성 물질 및 맛, 냄새 등을 유발하는 대표적인 용존성 물질인 geosmin 및 2-MIB은 각각 평균 처리 효율이 51.2%, 47.1%로 수 처리로 인한 제거가 어려운 항목임에도 비교적 높은 처리 효율을 나타내었다.

적정량의 천연 조류 제거제 주입은 상수 원수에 포



함된 조류 물질인 Chl-a 및 맛, 냄새 유발 물질인 geosmin 및 2-MIB, SS, turbidity 항목에 대한 제거 효과가 특히 큰 것으로 나타나 정수장 수 처리 시설에 천연 조류 제거제 투입을 조합한 정수 처리 공정은 또 하나의 정수장 고도처리 공정으로 적용이 가능한 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 환경부 "조류 감시 및 제거 활용 기술개발 실증화 사업(2014-001800001)" 의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Buchanan, W., Roddick, F., Porter, N., and Drikas, M. (2005). Fractionation of UV and VUV pretreated natural organic matter from drinking water, *Environ. Sci. Technol.*, 39(12), 4647-4654.
- Cho, U.H. (2007). Advanced water treatment processes to remove taste and odor of raw water in the Han River, Ph. D. Dissertation, University of Seoul, Seoul, Korea.
- Jang, Y.J., Jung, J.H., Lim, H.M., Yoon, Y.H., Ahn, K.H., Chang, H.Y., and Kim, W.J. (2016). Decision algorithm of natural algae coagulant dose to control algae from the influent of water works, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 38(9), 482-496.
- Kim, M.K., Moon, B.R., Kim, T.K., and Zoh, K.D. (2015). Study on production & removal of microcystin, taste & odor compounds from algal bloom in the water treatment processes, *Korean J. Public Health*, 52(1), 33-42.
- Kim, T.K., Moon, B.R., Kim, T.Y., Kim, M.K., and Zoh, K.D. (2016). Degradation mechanisms of geosmin and 2-MIB during UV photolysis and UV/Chlorine reactions, *Chemosphere*, 157, 162-164.
- Lee, H.G. (2014). A Fundamental study on the removal of odor causing substances and DBPs in water treatment plants using UV/TiO₂TMiP, Ph. D. Dissertation, KNU, Kyungpook, Korea.
- Lee, J.G. (2015). Study on performance and economic evaluation of advanced oxidation process in water treatment plant, Master's Thesis, CNU, Chungnam, Korea.
- MOE. (2015). Verification of pretreatment process for algae control in drinking water plant; 1st report, 195-202.
- MOE. (2017). Verification of pretreatment process for algae control in drinking water plant; Final report, 222-232.

pp. 243-250

pp. 251-258

pp. 259-268

pp. 269-279

pp. 281-289

pp. 291-297

pp. 299-309

pp. 311-319