



회동수원지의 정수처리 공정을 위한 DAF pilot plant 운영 성능평가 Operation evaluation of DAF pilot plant for water treatment process in Hoedong Reservoir

맹민수¹·Nirmal Kumar Shahi²·김동현²·신귀암¹·독고석^{2*}
Minsoo Maeng¹·Nirmal Kumar Shahi²·Donghyeun Kim²·Gwyam Shin¹·Seok Dockko^{2*}

¹아주대학교 환경안전공학과, ²단국대학교 토목환경공학과
¹Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University,
²Department of Civil Environmental Engineering, Dankook University

ABSTRACT

A 1,000 m³/d DAF(dissolved air flotation) pilot plant was installed to evaluate the performance of the floating process using the Nakdong River. Efficiency of various DAF operations under different conditions, such as hydraulic loading rate, coagulant concentration was evaluated in the current research. The operation conditions were evaluated, based on the removal or turbidity, TOC(total organic carbon), THMFP(trihalomethane formation potential), Mn(manganese), and Al(aluminum). Also, particle size analysis of treated water by DAF was performed to examine the characteristics of particles existing in the treated water. The turbidity removal was higher than 90%, and it could be operated at 0.5 NTU or less, which is suitable for the drinking water quality standard. Turbidity, TOC, and THMFP resulted in stable water quality when replacing the coagulant from alum to PAC(poly aluminum chloride). A 100% removal of Chl-a was recorded during the summer period of the DAF operations. Mn removal was not as effective as where the removal did not satisfy the water

Received 5 August 2020, revised 16 November 2020, accepted 18 November 2020.

*Corresponding author: Seok Dockko (E-mail: dockko@dankook.ac.kr)

- 맹민수 (박사후과정) / Minsoo Maeng (Postdoctoral Researcher)
아주대학교 환경안전공학과, 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206, 16499
206, World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 16499, Republic of Korea
- Nirmal Kumar Shahi (박사과정) / (Ph. D. Student)
단국대학교 토목환경공학과, 경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea
- 김동현 (석사과정) / Donghyeun Kim (Master Student)
단국대학교 토목환경공학과, 경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea
- 신귀암 (교수) / Gwyam Shin (Professor)
아주대학교 환경안전공학과, 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206, 16499
206, World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 16499, Republic of Korea
- 독고석 (교수) / Seok Dockko (Professor)
단국대학교 토목환경공학과, 경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890
152, Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

pp. 393-402
pp. 403-410
pp. 411-423
pp. 425-435
pp. 437-443
pp. 445-462
pp. 463-471
pp. 473-480
pp. 481-493
pp. 495-502
pp. 503-512

quality standards for the majority of the operation period. Hydraulic loading of 10 m/h, and coagulant concentrations of 40 mg/L was determined to be the optimal operating conditions for turbidity and TOC removal. When the coagulant concentration increases, the Al concentration of the DAF treated water also increases, so coagulant injection control is required according to the raw water quality. Particle size distribution results indicated that particles larger than 25 μm showed higher removal rates than smaller particles. The total particle count in the treated water was 2,214.7 counts/ml under the operation conditions of 10 m/h of hydraulic loading rate and coagulant concentrations of 60 mg/L.

Key words: DAF pilot plant, Hydraulic loading rate, Coagulant, Particle analysis, Water quality

주제어: 용존공기 부상 파일럿 플랜트, 수면적 부하, 응집제, 입도 분석, 수질분석

1. 서 론

우리나라의 낙동강 하류는 탁도와 유기물 농도가 높고 고농도의 녹조가 발생하여 여름철 정수장에 어려움이 있다 (Cho et al., 2018; Park et al., 2019). 2012년 낙동강에 보가 건설된 후 하류 중심으로 하절기 마다 대량의 녹조가 발생되어 기존 정수처리공정 운영에 저영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Kim et al., 2017a; Park et al., 2017). 기존 정수장은 표준정수처리 시설과 고도정수처리 시설을 연계하여 여름철 녹조 대응 및 강우시 발생하는 고탁도를 적절히 대처하여 안전한 수돗물을 생산하고 있지만, 최근 기후변화로 인해 수원지에 대량의 녹조가 번식하여 정수장의 침전지 효율이 낮아지면서 모래 여과지가 자주 폐색되어 역세척 주기가 짧아져 식수 생산량이 적어지는 차질을 빚고 있다 (Edzwald 2010; Moghaddam et al., 2010). 저밀도의 녹조가 번성하여 정수장에 유입될 때 기존 침전공정보다는 부상공정에서 처리하는 것이 효과적이다 (Filho et al., 2016; Jeong et al., 2015; Maeng et al., 2018; Oh et al., 2019). 대표적인 정수처리 부상공정인 용존공기 부상법(DAF, Dissolved air flotation)은 가압탱크에서 생산된 저밀도의 미세기포가 플락에 부착되어 부상 처리하는 수처리 기술이며 저밀도의 녹조제거에 탁월한 효과를 보여준다 (Fanaic et al., 2019; Kim et al., 2017b). 또한, 부상공정은 기존 침전공정보다 높은 수면적 부하로 인해 많은 처리수를 확보할 수 있어서 해수담수화시설 및 하수처리장에서 사용되고 있다 (Amato et al., 2013; Fernanda et al., 2018; Kim et al., 2017c; Yulia et al., 2016). 녹조 문제를 극복하는 방안으로써 기존 침전공정에서 복합공정으로 부상공정인 DAF 시설을 추가로 도입한다면 여름철 고조류를 효과적으로 대응하여 효과적인 정수

장 운영을 수행할 수 있다 (Maeng et al., 2020). 하지만, 낙동강 원수를 이용한 DAF 공정 연구가 현재 미흡한 수준이다. 그렇기 때문에 pilot plant 규모의 DAF 장기운영 평가가 요구된다. 본 연구에서는 기존 정수장에서 원수로 사용되고 있는 회동수원지에 1,000 m³/d 규모의 DAF pilot plant를 설치하여 연속운영하였다. 수질 성능평가를 위해서 탁도, TOC(total organic carbon), Chl-a, THMFP(trihalomethane formation potential), Mn (manganese) 분석하였으며 DAF 후속공정에 영향을 미칠 수 있는 처리수의 Al(aluminum) 분석을 모니터링 하였다. 그리고 수면적 부하(10~15 m/h)와 응집제 (40, 60 mg/L)에 따른 DAF 처리수의 입자 분석 및 수질분석을 수행하여 최적의 운영조건을 도출하였다.

2. 연구방법

2.1 DAF pilot plant 설치 및 운영

낙동강 수계에 연계된 회동수원지를 유입 원수로 사용하여 1,000 m³/d 규모의 DAF pilot plant를 아래 Table 1과 같은 조건으로 연속운전하였다. 운전 기간은 2018년 3월부터 2019년 6월로 총 16개월이며 계절별 원수 특성에 따라 선택적으로 Al₂SO₃의 농도로써 alum(8%)와 PAC(10%)을 이용하였고 2018년 8월까지 alum(8%)을 사용하였고 9월부터는 PAC(10%)을 주입하여 운전하였다. 응집제 주입농도는 원수 탁도 변화에 따라 40~60 mg/L로 농도를 변화시켜 주면서 운전하였다. DAF pilot plant는 2층 구조로 제작되었으며 1층은 약품 탱크, Air compressor, 가압탱크, 가압펌프 등을 운영하였으며 2층은 약품 혼화조, 응집 반응조, 접촉조, 부상조, 슬러지조, 처리수조 등으로 제작되었다. 버블 발생량을 높이기 위해서 접촉조 하단에 6개



Table 1. Operating condition of DAF pilot plant

Item	Hydraulic loading rate (m/h)	Coagulant (mg/L)	Recycle rate (%)	Air rate (L/min)	Period (months)
Value	10~15	40~60	10	6	16

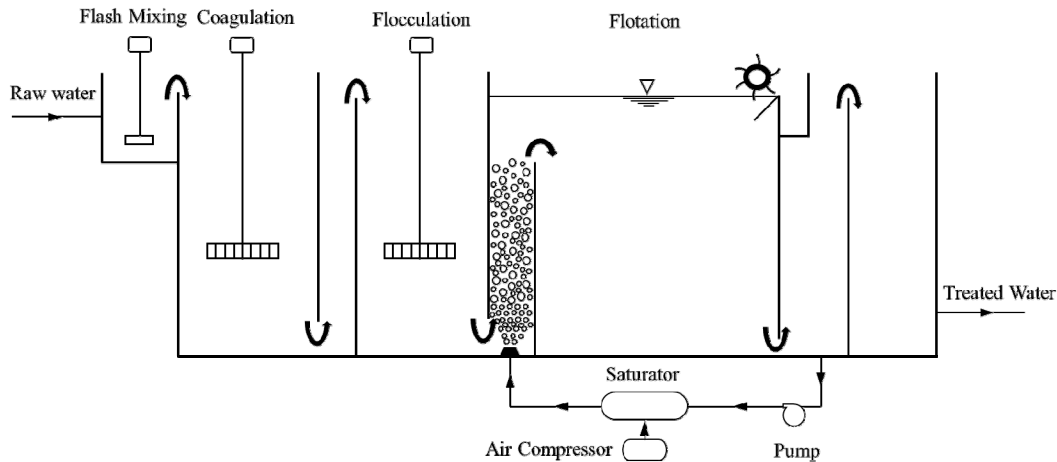


Fig. 1. Schematic of DAF pilot plant.

의 노즐을 설치하여 운영하였으며 슬러지 처리는 원형 스크레이퍼를 이용하여 제거하였다. 아래 Fig. 1은 DAF pilot plant 설계 개요도를 보여주고 있다.

2.2 시료 샘플링 및 수질분석

DAF pilot plant의 연속운전 성능평가를 위해서 수행된 수질 분석항목들은 탁도, TOC, THMFP, Mn, Chl-a이다. Table 2는 원수의 평균 수질 분석자료를 보여주고 있다. 모든 수질 항목들은 원수와 처리수를 동일한 시간대에 1 L 멸균 채수병을 이용하여 샘플링하였으며 탁도는 현장에서 바로 측정하였고 나머지 분석항목들은 연구실에서 24시간 안에 분석하였다. 탁도는 이동형 탁도계(2100Q, HACH, USA)을 이용하여 1회/일로 측정하였으며 TOC(Sievers M9, Sievers, USA), THMFP(Agilent 7890B GC/ECD, Agilent, USA), Mn(ICP/MS, Agilent, USA) Chl-a(Bbe fluorometer, Moldaenke, Germany)는 2회/월로 분석하였다. 특히 배관에 착색을 일으키고 맛을 유발시키는 Mn이 회동수

원지에서 유출되기 때문에 DAF에 의한 제거효율을 지속적으로 모니터링하였다 (Richard and Piet, 2004).

2.3 운영조건별 DAF 운전평가

2.3.1 운영조건별 DAF pilot plant 운영

DAF pilot plant의 운영조건을 변화시켜 수질에 따른 성능평가를 수행하였다. 운영조건은 수면적 부하(10~15 m/h)와 응집제 주입량(40~60 mg/L)을 변화시켜 DAF 원수 및 처리수의 탁도, TOC, Al의 농도 변화를 살펴보았다. Al은 응집제의 잔류 물질이기 때문에 후속공정에 영향을 미칠 수 있어서 응집제 농도별 Al 농도를 관찰하였다. Al 분석은 유도 결합 플라즈마 질량 분석기(Agilent ICP/MS, Agilent, USA)를 통해서 분석하였다.

2.3.2 운영조건별 처리수의 입자 분석

처리수에 존재하는 입자들은 후속공정인 모래여과

Table 2. Characteristics of raw water

Parameter	Turbidity (NTU)	TOC (mg/L)	THMFP (mg/L)	Manganese (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
Value	2.1~91.6	2.9~3.7	0.04~0.11	0.003~0.24	12

pp. 393-402

pp. 403-410

pp. 411-423

pp. 425-435

pp. 437-443

pp. 445-462

pp. 463-471

pp. 473-480

pp. 481-493

pp. 495-502

pp. 503-512

와 막여과 공정에 직접적인 영향을 미치는 요인이기 때문에 운영조건별 처리수의 입도 분석을 수행하였다. 입자 분포도에 따른 처리수의 입자 개수를 분석하였다. 또한, 조건별 평균 입자 크기를 분석하여 처리수에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 조건별 입자 분석 실험은 DAF pilot plant이 처리수조 상단에 입자 분석기(PC 2400D, Chemtrac, USA)를 부착시켜 운영하였으며 분석에 적용된 입자 크기 범위는 2~100 μm 이며 총 9개 채널로 평균값인 3.5, 7.5, 15, 35, 45, 60, 85, 100 μm 으로 조정하였다. 사용된 입자 분석기의 유입 유속은 100 ml/min으로 설정하여 분석하였으며 총 3번의 반복 실험을 통해서 평균값으로 입자 개수를 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 DAF pilot plant 연속운영 수질 결과

3.1.1 탁도 제거 결과

DAF pilot plant 연속운영에 따른 탁도 결과는 Fig. 2에서 보여주고 있다. 2018년 3월부터 8월까지 처리수 탁도는 원수 탁도에 영향을 받아 수질 변화가 불안정하지만, 9월부터는 강우에 의한 높은 원수 탁도를 제외하고는 일정한 처리수 탁도를 유지할 수 있었다. 이는 9월부터 응집제를 alum(8%)에서 PAC(10%)로 변경하면서 안정적인 처리수 탁도를 얻을 수 있었다. 원수 고탁도가 91.6 NTU까지 올라갔지만, 탁도 제거율과

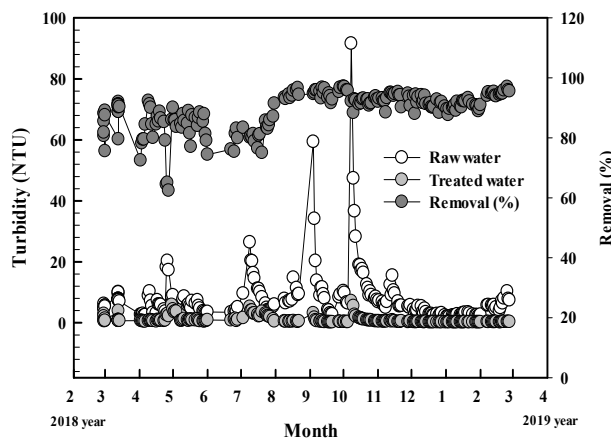


Fig. 2. Turbidity results of raw water, treated water and removal(%) during operation of DAF pilot plant.

처리수 탁도가 각각 92.2%와 7.1 NTU로 알 수 있었다. 고탁도 원수가 유입될 때 응집제 주입량을 저탁도 원수와 동일한 PAC 40 mg/L로 주입되면서 처리수 탁도가 높게 나왔지만, 고탁도 유입시 응집제 주입량을 증가시켜 DAF를 운영하면 효과적으로 탁도를 낮출 수 있다. DAF를 운영할 수 있는 100 NTU이하의 고탁도 원수에서 랩 실험을 통해 응집제 PAC 10, 20, 50 mg/L을 주입할때 처리수 탁도가 각각 12.1, 4.46, 0.5 NTU로 떨어지는 것을 알 수 있었다. 고탁도 유입시 2018년 10월 이후 원수탁도가 10 NTU 이하에서는 DAF 처리수를 먹는 물 수질 기준인 0.5 NTU로 맞추어 운전할 수 있었으며 탁도 제거율도 90% 이상 유지할 수 있었다.

3.1.2 TOC 및 THMFP 제거 결과

Fig. 3은 DAF pilot plant의 연속 운전기간 동안 TOC와 THMFP의 처리수 수질 경향을 보여주고 있다. 유기물의 지표인 TOC는 탄소계 소독 부산물의 전구물질이기 때문에 THM의 전구물질인 THMFP와 유사한 값을 보여주고 있다. TOC는 원수 및 처리수 농도 범위가 각각 2.9~3.7 mg/L과 1.6~2.8 mg/L로 분석되었으며 제거율도 23~55%로 알 수 있었다. 또한, 겨울 시기에 여름 시준보다 제거율이 높다는 것을 알 수 있었다. 이는 여름시준에 다양한 기후변화로 인해 DAF 운영에 영향을 미친 것으로 사료된다. 그리고 THMFP의 원수 및 처리수 농도 값은 각각 0.04~0.11 mg/L와 0.02~0.03 mg/L로 분석되었으며 제거율도 34~56%로

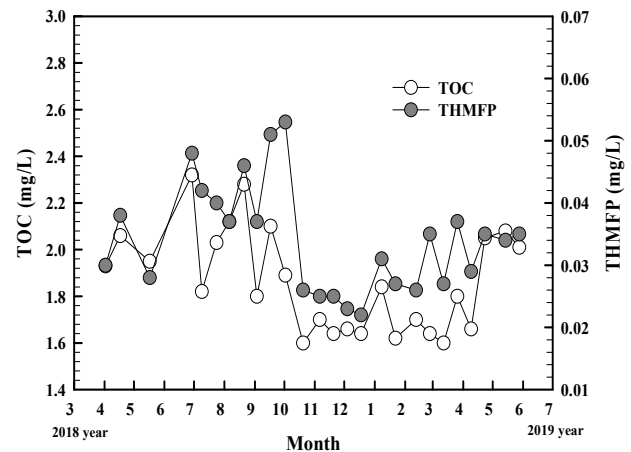


Fig. 3. TOC and THMFP results during operation of DAF pilot plant.



알 수 있었다. 그래서 DAF pilot plant을 이용한 최대 유기물 제거는 약 50% 정도 제거되는 것으로 알 수 있었다. TOC와 THMFp는 앞선 탁도 결과와 유사하게 2018년 9월 응집제를 alum(8%)에서 PAC(10%)를 교체한 시점부터 처리수 농도가 큰 폭으로 떨어지는 것을 확인하였으며 그 후 안정적인 값을 보여주었다. 이는 향후 소독부산물 발생을 줄이기 위해서는 alum(8%)보다는 PAC(10%)가 DAF 운전에 효과적인 인자인 것으로 사료된다. 이는 PAC (10%)의 알루미늄 함유량이 alum(8%)보다 높고 pH 조건에서도 효과적이기 때문이다.

3.1.3 Mn 제거 결과

회동 수원지는 표층수임에도 불구하고 Mn이 간헐적으로 먹는물 수질기준인 0.05 mg/L 이상으로 유출되어 DAF pilot plant 연속운전에서 지속적인 모니터링이 요구되었다. Fig. 4에서는 원수와 처리수의 Mn 농도 값을 보여주고 있다. 2018년 2회를 제외하고는 대부분 먹는물 수질기준 이하로 제거되었지만, 2019년 겨울시즌에 Mn이 최대 0.21 mg/L가 검출되면서 처리수도 먹는물 수질기준에 미치지 못한 0.18 mg/L로 분석되었다. 산화제를 주입하면 Mn⁷⁺에서 유기물을 산화시켜 이산화망간으로 환원되면서 제거할 수 있다고 보고되고 있다 (Kwon et al., 2009). DAF pilot plant 운전만으로 Mn 제거가 어려울 때 간헐적으로 산화제를 주입하여 처리하는 방안도 요구된다.

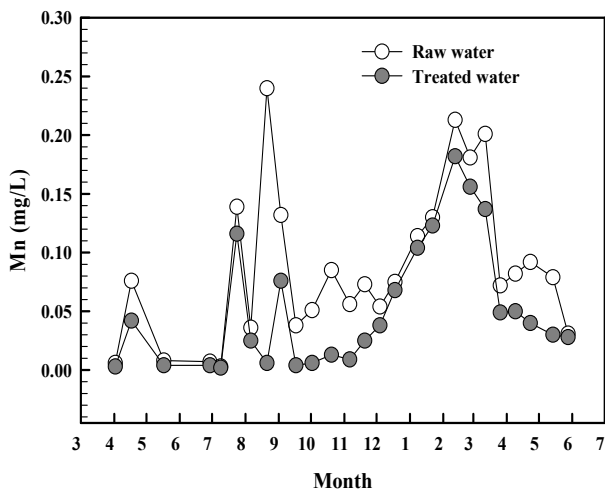


Fig. 4. Mn results of Raw water and treated water during of operation of DAF pilot plant.

3.1.4 Chl-a 제거 결과

낙동강 수계에서는 다른 수계보다 여름철 녹조가 많이 발생하고 있어서 부상공정인 DAF가 효과적인 수처리 기술로 알려져 있다. Fig. 5는 회동 수원지의 Chl-a 발생량과 DAF pilot plant의 연속운전 결과에 따른 Chl-a의 제거율을 보여주고 있다. Chl-a는 여름철 장마가 지난 8월 이후부터 10월까지 가장 많이 발생하였으며 최대 29.16 g/m³까지 검출되었다. 장마철에는 빗물로 녹조가 흘러내려 가기 때문에 상대적으로 2.1 g/m³의 낮은 농도 값을 보여주고 있다. 그리고 겨울 시즌이 여름 시즌보다 상대적으로 Chl-a 농도가 낮게 분석되었다. 가장 낮은 Chl-a 농도는 2019년도 1월이며 0.004 mg/m³으로 확인되었다. 주로 여름철에 많이 발생하는 *Microcystis* sp.가 겨울철에 적게 발생하는 이유이다 (Wang et al., 2016). 기존 문헌에서는 침전공정에서 *Microcystis* sp.가 약 75% 제거되는 경향을 나타내고 있지만 (Ahn, 2010), 본 연구에서는 DAF 처리수에는 Chl-a 농도가 검출되지 않아 Chl-a 제거율이 100%로 확인되었다.

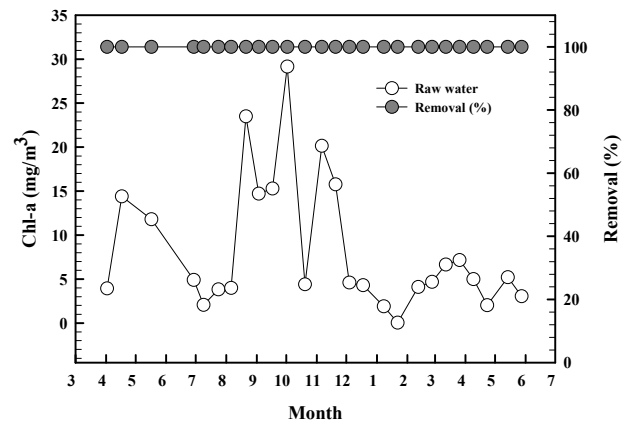


Fig. 5. Chl-a results of raw water and removal(%) during operating of DAF pilot plant.

3.2 운영조건별 수질 결과

3.2.1 조건별 탁도 결과

수면적 부하와 응집제 주입량 변화에 따른 탁도의 원수, 처리수, 제거율 결과를 Fig. 6에서 보여주고 있다. Fig. 6(a)에서는 응집제 40 mg/L에서 수면적 부하 10, 15 m/h의 영향에 따른 탁도 결과 있다. 수면적 부하가 10, 15 m/h일 때 원수 탁도는 각각 4.5, 3.4 NTU

pp. 393-402

pp. 403-410

pp. 411-423

pp. 425-435

pp. 437-443

pp. 445-462

pp. 463-471

pp. 473-480

pp. 481-493

pp. 495-502

pp. 503-512

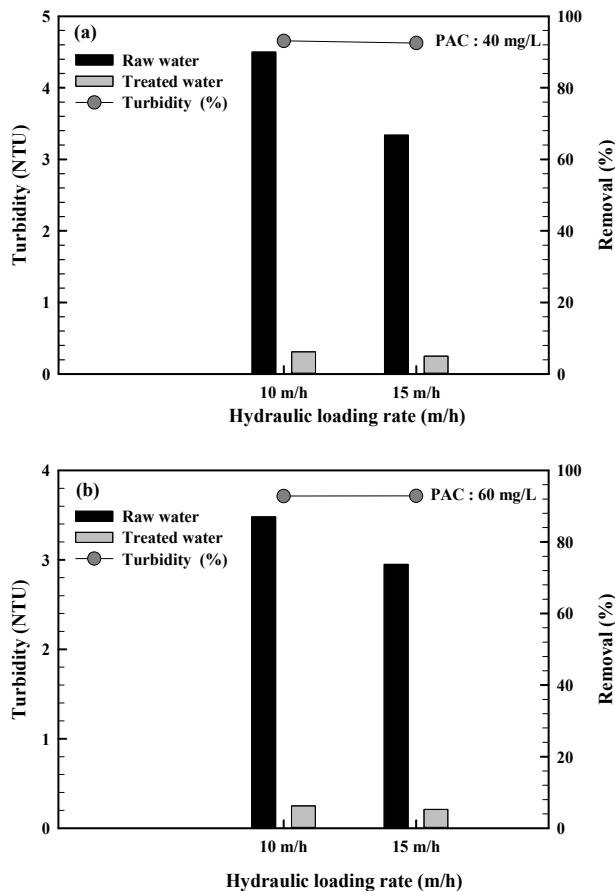


Fig. 6. Turbidity results by hydraulic loading rate. (a) PAC 40 mg/L and (b) PAC 60 mg/L.

이며 처리수 탁도는 각각 0.31, 0.25 NTU로 알 수 있었다. 각각의 제거율도 90% 이상의 처리 효과를 얻을 수 있었다. Fig. (b)는 응집제 60 mg/L로 주입되고 수면적 부하는 10, 15 m/h로 운전한 결과이다. 수면적 부하가 10, 15 m/h일 때 원수 탁도는 각각 3.4, 2.9 NTU이며 처리수 탁도는 각각 0.25, 0.21 NTU로 알 수 있었다. 탁도 제거율에서도 90% 이상의 처리 결과를 알 수 있었다. 응집제가 40 mg/L에서 60 mg/L로 증가 되는 조건에서 처리수 탁도는 수면적 부하 10, 15 m/h에서 각각 19.3, 16.0%로 증가되었다. 동일한 수면적 부하에서 응집제 주입량만 증가 될 때 처리수 탁도는 먹는 물 수질 기준 이하로 확인되었기 때문에 1,000 m³/d 규모의 DAF pilot plant 운전은 수면적 부하 15 m/h와 응집제 40 mg/L로 운전하는 것이 처리수량을 많이 확보하고 응집제 주입량을 줄일 수 있는 경제적인 운영 조건이다.

3.2.2 조건별 TOC 결과

수면적 부하와 응집제 주입량 변화에 따른 TOC의 원수, 처리수, 제거율 결과를 Fig. 7에서 보여주고 있다. Fig. 7(a)는 응집제 40 mg/L에서 수면적 부하 10, 15 m/h의 TOC 결과이다. 수면적 부하 10, 15 m/h에서 TOC 제거율은 각각 40.9, 40.2%로 근소한 차이를 보여주고 있다. 또한, 각각의 처리수 TOC 값도 1.3, 1.6 mg/L로 유사한 값으로 분석되었다. 그래서 응집제 40 mg/L 조건에서 수면적 부하 15 m/h는 10 m/h보다 근소한 차이로 낮은 TOC 제거율과 DAF 처리수에서 약간 높은 TOC 값을 확인하였다. Fig. 7(b)에서는 응집제 주입량이 증가된 60 mg/L에서 수면적 부하 10, 15 m/h의 TOC 결과를 보여주고 있다. 수면적 부하 10, 15 m/h에서 TOC 제거율은 각각 42.8, 42.2%로 확인되었으며 앞선 Fig. 7(a)에서의 결과보다는 약 2% 높은 TOC 제거율을 보여주고 있다. 이는 증가된 응집제 주

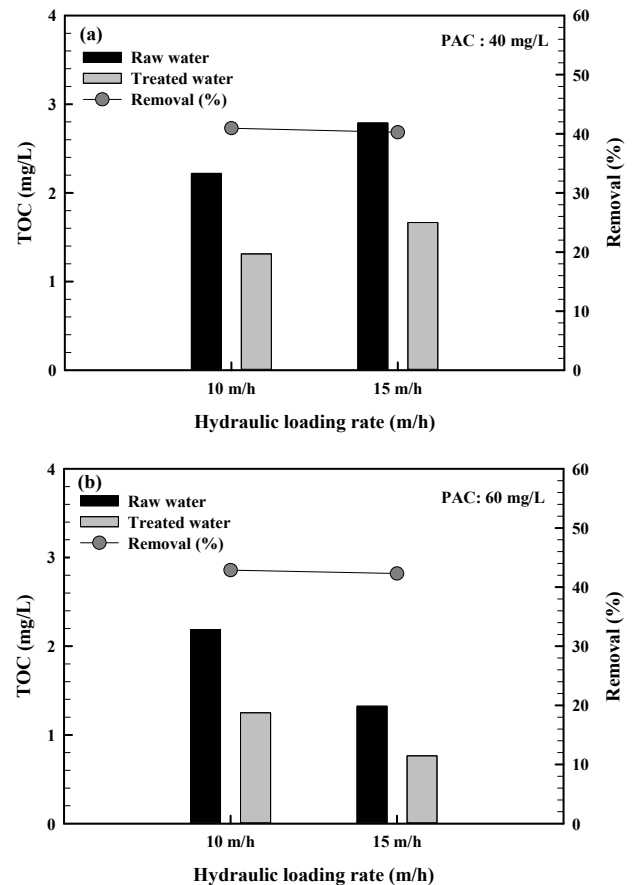


Fig. 7. TOC results by hydraulic loading rate. (a) PAC 40 mg/L and (b) PAC 60 mg/L.



입량으로 인한 결과이다. 또한, 각각의 처리수 TOC 값도 1.25, 0.76 mg/L로 확인되었다. Fig. 7(b)가 Fig. 7(a)보다 처리수 TOC 농도가 낮은 이유는 원수 TOC에 영향에 의한 결과로 사료된다. 응집제 주입과 수면적 부하를 증가시켜도 TOC 제거율에는 큰 변화가 없었기 때문에 경제성을 고려하여 응집제 40 mg/L와 수면적 부하 15 m/h가 효과적인 운전 조건이었다.

3.2.3 조건별 Al 결과

수리학적 부하와 응집제 주입량에 따른 DAF pilot plant의 처리수 Al 농도를 Fig. 8에서 보여주고 있다. Fig 8(a)는 응집제 40 mg/L에서 수면적 부하 10, 15 m/h의 원수, 처리수 Al 농도이다. 원수 Al 농도는 0.08-0.09 mg/L이며 수면적 부하 10, 15 m/h에서는 각각

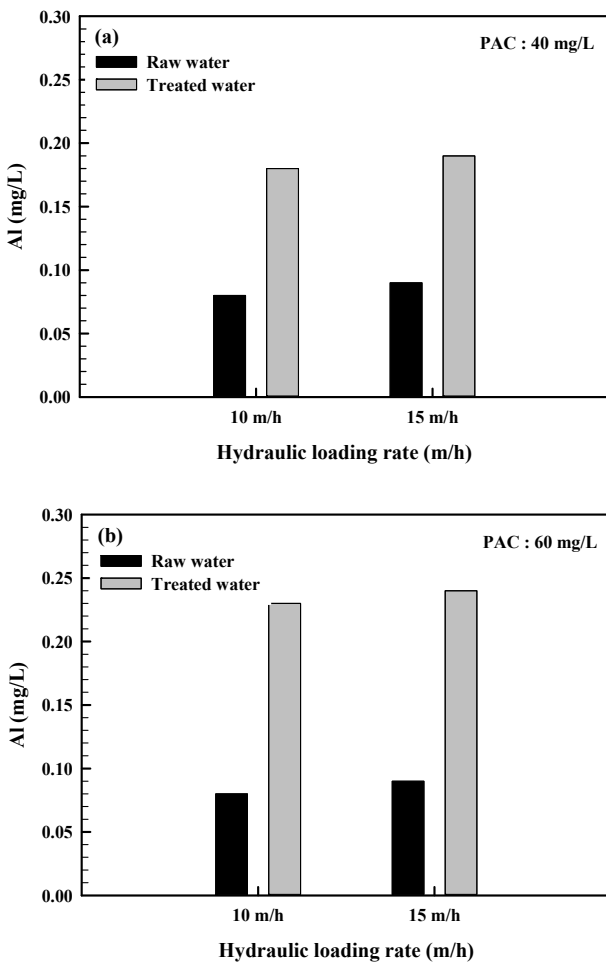


Fig. 8. Al results by hydraulic loading rate. (a) PAC 40 mg/L and (b) PAC 60 mg/L.

0.18, 0.19 mg/L로 약 0.10 mg/L가 응집 반응 후 잔류되어 DAF 처리수로 유출되었다. 수면적 부하가 증가하면 Al 농도도 증가하는 것으로 확인되었다. Fig. 8(b)는 응집제 60 mg/L에서 수면적 부하 10, 15 m/h의 원수, 처리수 Al 농도이다. 수면적 부하를 10, 15 m/h로 운전할 때 처리수 Al은 각각 0.23, 0.24 mg/L로 원수보다 약 0.15 mg/L 높은 Al 농도로 검출되었다. 이는 고농도의 응집제로 인한 응집 반응 후 잔류 Al가 DAF 처리수로 유출된 것으로 사료된다. 수면적 부하 10, 15 m/h에서 응집제 주입 농도별로 비교할 때 각각 약 0.05 mg/L씩 증가 되어 DAF 처리수로 유출되었다. Al 농도는 DAF 후처리 공정에 영향을 미칠 수 있어서 고탁도 및 고조류의 유입을 제외한 상황에서 응집제 주입농도를 40 mg/L로 조정하여 운영하는 것이 효과적이다.

3.2.4 조건별 입도 분석 결과

응집제 주입농도 및 수면적 부하에 따른 DAF pilot plant의 처리수 입도 분석 결과를 Fig. 9에서 보여주고 있다. Fig. 9(a)는 조건별 운영에 따른 DAF 처리수의 입자 크기를 보여준다. 모든 운영조건에서 DAF 처리수의 입자 개수는 25 μm 이상에서 평균 3.2~11.0 counts/ml로 매우 낮고 일정한 값을 보여준다. 하지만, 25 μm보다 입자 크기가 작을수록 많은 입자를 갖고 있었다. 15 μm의 입자 크기에서 15 m/h(PAC 60 mg/L)의 입자 개수가 2,214.7 counts/ml이며 다른 조건인 10 m/h(PAC 40 mg/L), 15 m/h(PAC 40 mg/L), 10 m/h(PAC 60 mg/L)는 각각 1,026.0, 974.2, 1,237.2 counts/ml로 유사한 값을 보여주고 있었다. 전체 입자 개수는 각각의 조건에서 14,725.7, 15,927.7, 17,024.5, 19,282.7 counts/ml로 알 수 있었다. 수면적 부하와 응집제 주입량이 클수록 총 입자 개수가 증가하는 것으로 알 수 있었다.

Fig. 9(b)는 조건별 평균 입자 크기를 보여주고 있다. 응집제 40 mg/L에서 수면적 부하 10, 15 m/h의 평균 입자 크기는 각각 5.9, 6.1 μm이며 응집제 60 mg/L에서 수면적 부하 10, 15 m/h의 평균 입자 크기는 각각 6.0, 6.6 μm로 측정되었다. 앞선 Fig. 9(a)에서 알 수 있듯이 응집제 60 mg/L와 수면적 부하 15 m/h에서 큰 입자들이 많이 존재하고 있었기 때문에 평균 입자 크기도 큰 것으로 알 수 있었다. 다른 조건에서는 앞선 결과와 유사하게 동일한 평균 입자 크기를 보여주었다.

pp. 393-402
pp. 403-410
pp. 411-423
pp. 425-435
pp. 437-443
pp. 445-462
pp. 463-471
pp. 473-480
pp. 481-493
pp. 495-502
pp. 503-512

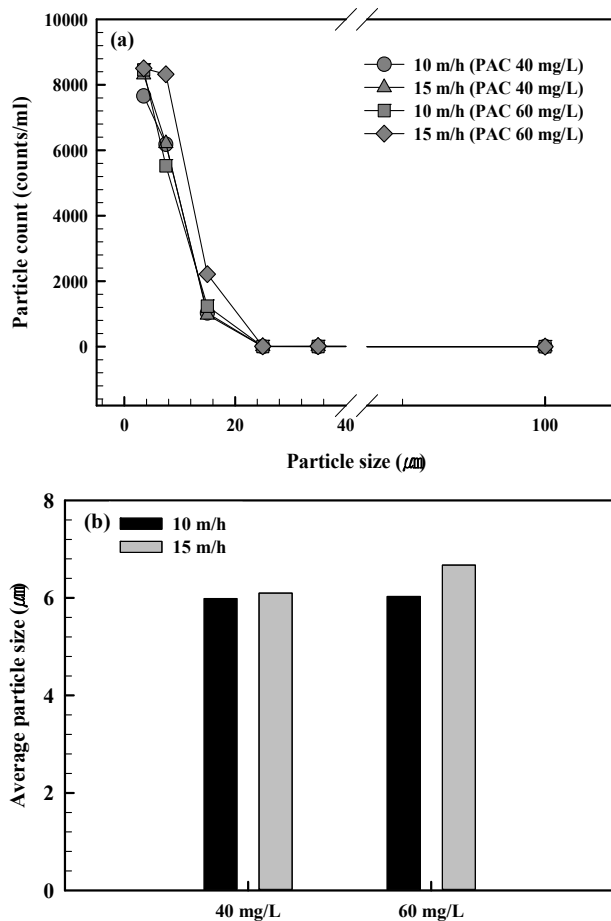


Fig. 9. Particle analysis by hydraulic loading rate and PAC. (a) particle count according to particle size and (b) average particle size.

입자의 평균 크기는 응집제 농도에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

DAF pilot plant 처리수에 발생하는 입도 분석 결과는 탁도 결과와 유사한 영향을 미칠 수 있지만, 처리수의 정확한 정량 분석을 통해서 물리·화학적 후속 처리 공정 선정에 있어서 효과적인 수질 지표로써 대체할 수 있다.

4. 결 론

낙동강 수계에 연결된 회동 수원지에 1,000 m³/d 규모의 DAF pilot plant를 설치하여 16개월 동안 연속운전하였다. 탁도, TOC, Mn, Chl-a 등의 수질분석을 통해 DAF 연속운전 성능평가를 하였고 수면적 부하 (10, 15 m/h) 및 응집제 주입량 (40, 60 mg/L) 조건별

운전에서 DAF의 최적 운전 조건을 도출하였다. 또한, DAF 처리수 입도 분석을 통해서 운전 조건별 입자 분석을 수행하였다.

탁도, TOC, THMFP는 응집제 후 안정적인 처리 수질을 얻을 수 있었다. 낙동강 수계에서 DAF을 운영할 때는 alum(8%)보다는 PAC(10%)를 사용하는 것이 효과적인 대안이 될 수 있다. 알류미늄 함유량과 pH 변화에 효과적이다. 특히 Chl-a는 DAF 운영시 100% 제거율을 보여주었다. 낙동강 수계에는 여름철 부상성의 특징을 갖는 녹조가 많이 발생되기 때문에 부상공정인 DAF을 이용하여 녹조 제거할 때 효과적인 수처리 기술이 될 수 있다. 수면적 부하 및 응집제 주입농도에 따른 조건별 수질 결과에서는 탁도 제거율이 90%이며 먹는물 수질 조건인 0.5 NTU에 만족하기 때문에 많은 처리수를 얻을 수 있으며 응집제 주입량이 낮아 경제적인 운영조건으로 수면적 부하 15 m/h와 응집제 40 mg/L가 적절한 운전 조건이었다. TOC도 모든 조건에서 40% 이상의 제거율을 나타내기 때문에 탁도와 동일한 운전인자가 효과적이다. 원수 대비 DAF 처리수의 Al 농도는 응집제가 40, 60 mg/L일 때 각각 0.10, 0.15 mg/L가 증가되는 것으로 확인되었다. DAF 처리수의 입도 분석은 대부분의 조건에서 25 μm 이하에서 입자들이 존재하는 것을 확인하였으며 수면적 부하 15 m/h, 응집제 60 mg/L에서 가장 많은 입자인 19,282.7 counts/ml을 가졌다. 많은 입자는 DAF 후속 공정에 영향을 미칠 수 있어서 지속적인 모니터링이 요구된다.

낙동강 수계를 이용한 DAF 운전은 기존 모래여과지에서 쉽게 제거가 되지 않는 녹조 제거에 탁월한 기능이 있으며 높은 수면적 부하를 통해서 많은 물량을 확보할 수 있는 수처리 대안 기술이다.

사 사

본연구는 Global Top Project (20160020110007)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Ahn, S.M. (2020). The assessment of Blue-green Algae *Microcystis* Elimination Effect and Rist of Loess, Coagulants and Algicides, Master's Thesis, Daegu



pp. 393-402

pp. 403-410

pp. 411-423

pp. 425-435

pp. 437-443

pp. 445-462

pp. 463-471

pp. 473-480

pp. 481-493

pp. 495-502

pp. 503-512

- University, Daegu, Korea, 23-26.
- Amato, T., Park, K., Yim, W., and Kim, T. (2013). SWRO pre-treatment design using high-rate dissolved air flotation including preliminary plot-scale result, *Desalin. Water Treat.*, 51(7-9), 1804-1816.
- Cho, H.K., Lim, H.J., and Kim, S.M. (2018). Comparison of water quality before and after four major river project for water monitoring stations located near 8 weirs in Nakdong river, *J. Agric. Life Sci.*, 52(6), 89-101.
- Edzwald, J.K. (2010). Dissolved air flotation and me, *Water Res.*, 44, 2077-2106.
- Fanaie, V.R., Khiadani, M., Ayres, T. (2019). Effects of internal geometry on hydrodynamics of dissolved air flotation (DAF) tank: An experimental study using particle image velocimetry (PIV), *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 575, 382-390.
- Fernanda, C.P., Rocha, E.S., Nathalia, M.P., Rocha, E.S., Juliana, M.L., Raquel, D.R., Valdemir, A.S., and Leonie, A.S. (2018). Dissolved air flotation combined to biosurfactants: a clean and efficient alternative to treat industrial oily water, *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 17, 591-602.
- Filho, J.A., Azevedo, A., Etchepare, R., and Rubio, J. (2016). Removal of sulfate ions by dissolved air flotation (DAF) following precipitation and flocculation, *Int. J. Miner. Process.*, 149, 1-8.
- Jeong, I.G., Yi, M.J., Zhao, H., and Dockko, S. (2015). Characteristics of DBPs reduction of AOM by dissolved air flotation, *Desalin. Water Treat.*, 54, 1436-1444.
- Kim, S.B., Lee, S.U., Lee, S.H., Han, M.Y., Park, H.J., and Kim, T.I. (2017a). Determination of flocculation design and operating condition of bubble generating system for high rate DAF, *J. Water Treat.*, 25(5), 67-75.
- Kim, T.I., Temesgen, T., Park, H.J., and Han, M.Y. (2017b). Physical characteristics of bubbles in dissolved air flotation processes in seawater reverse osmosis desalination plants, *Desalin. Water Treat.*, 70, 19-23.
- Kim, Y.W., Lee, J.H., Park, T.J., and Byun, I.G. (2017c). Variatio of water environment and algae occurrence characteristics after weirs construction at Mulgeum site in downstream of the Nakdong river, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 17(1), 383-392.
- Kwon, S.B., Lee, K.H., Kim, Y.S., and Jeong, S.G. (2009). "Reduction of Fe, Mn using DAF and ozone/DAF hybride process" *Proceedings of Korean society of water and wastewater*, Korean Society on Water Environment, Seoul, Korea.
- Maeng, M.S., Shahi, N.K., Shin, G.Y., Son, H.J., Kwak, D.H., and Dockko, S. (2018). Formation characteristics of carbonaceous and nitrogenous disinfection by-products depending on residual organic compounds by CGS and DAF, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26, 34008-34017.
- Maeng, M.S., Shahi, N.K., and Dockko, S. (2020). Reduction characteristics of disinfection by-product (DBPs) generated by allogenic organic matter (AOM) using micro-hollow beads in terms of particulate removal, *Desalin. Water Treat.*, 175, 402-411.
- Moghaddam, S.S., Moghaddam, M.R., and Arami, M. (2010). Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: Optimization through response surface methodology, *J. Hazard. Mater.*, 175(1-3), 651-657.
- Oh, H.S., Kang, S.H., Nam, S.H., Kim, S.H., and Hwang, T.M. (2019). CFD modeling of cyclonic-DAF (dissolved air flotation) reactor for algae removal, *Eng. Sci. Technol. Int. J.*, 22, 477-481.
- Park, H.G., Jung, E.Y., Son, H.J., and Choi, J.T. (2017). Reduction of blue-green algae and its by products using intake of deep water in summer, *J. Environ. Sci. Int.*, 26(3), 393-399.
- Park, J.S., Kim, Y.J., Kim, M.J., and Lee, W.H. (2019). A novel method for cell countin gof Microcysits colonies in water resources using a digital imaging flow cytometer and microscope, *Enviorn. Eng. Res.*, 24(3), 397-403.
- Richared, S., and Piet, L. (2004). *Young researcher 2004*. International Water Association, Cardiff.
- Wang, Z., Chen, Y., Xie, P., Shang, R., and Ma, J. (2016). Removal of microcysits aeruginosa by UV-activated persulfate: performance and characteristics, *Chem. Eng. J.*, 300, 245-253.
- Yulia, S., Barun, L.K., Adam, C.H., Belinda, L., Rita, K.H., and Pierre, L.C. (2016). Enhancing organic matter removal in desalination pretreatment systems by application of dissolved air flotation, *Desalination*, 383, 12-21.