정수장 DAF-여과지 적용에 따른 *Synedra* sp. 제거효과 분석 A Study on Removal of *Synedra* sp. by using DAF System in Filtration-Basin

민인홍* · 장암[†]
In-hong Min* · Am Jang[†]

성균관대학교 수자원전문대학원 · *한국수자원공사
Graduate School of Water Resources, Sungkyunkwan University · *K-water

(Received September 19, 2018; Revised January 31, 2019; Accepted February 7, 2019)

Abstract : Diatoms have appeared in high numbers from winter to spring and have caused obstacles in the water treatment process. Especially *Synedra* of needle shape has increased the clogging of the filtration-basin. When *Synedra* sp. increases, most of the WTP remove that by enhancing an oxidation, coagulation and sedimentation process such as addition of polyamine. The purpose of this study is that installing DAF in filtration-basin and analyzing the effect of DAF. Applying DAF to the filtration-basin increased the turbidity removal rate to 59% and improved by 25% than general filtration-basin. It was also found that the higher the turbidity flowed in, the better the removal efficient of turbidity. The *Synedra* sp. removal efficiency of the DAF filtration-basin was 97% and most of the *Synedra* sp. could be removed by floating. The filtration time of DAF filtration-basin was 183 hours, which was 72% higher than that of general filtration-basin.

Key Words : DAF (Dissolved Air Flotation), Algae, Diatom, *Synedra* sp., Filtration-Basin

요약 : 국내에서는 규조류가 겨울철에서 봄철까지 높은 개체수로 출현하여 정수처리 공정에 장애를 일으켜왔다. 특히 규조류 중 *Synedra* sp.은 바늘모양으로 가늘고 길어 여과지 폐색을 가중시켜 왔다. 대부분의 정수장은 *Synedra* sp. 유입시 산화공정을 강화하고, 응집제 주입량 증가와 함께 폴리아민을 추가 주입하는 등 응집·침전 공정에서 규조류를 제거하고 있지만 완벽한 처리에 한계가 있다. 본 연구에서는 *Synedra* sp.의 완벽한 처리를 위해 DAF-여과지를 도입함으로써 그 실증 효과를 분석하였다. 여과지에 DAF를 적용함으로써 탁질 제거능을 59%로 증가시켰으며, 일반여과지보다 25.2% 향상된 결과를 얻었다. 또한 고탁도가 유입될수록 탁질 제거능이 향상됨을 알 수 있었다. DAF-여과지의 *Synedra* sp. 제거 효율은 97.4%로 대부분의 *Synedra* sp.를 부상시켜 제거시킬 수 있었다. DAF-여과지의 여과지속시간은 183 h으로 일반여과지보다 72.6% 향상되었다.

주제어 : 용존공기부상, 조류, 규조류, *Synedra* sp., 여과지

1. 서론

자연계에 존재하는 것으로 알려진 조류는 약 20,000여 종이 있으며, 조류의 분류는 색소 및 그들이 갖는 독특한 형태에 의해 남조류, 규조류, 녹조류 등으로 분류된다. 일반적으로 우리나라의 하천이나 호소는 수온이 낮은 시기인 가을철에서 봄철까지 대부분 규조류가 우점한다.¹⁾ 특히 겨울철(11~3월) 낙동강하류 취수원에 대량 발생하는 규조류의 종류는 *Stephanodiscus*, *Synedra acus*, *Aulacoseira*, *Cyclotella* 등의 대형 규조류가, 여름에는 *Microcystis*와 같은 독성 남조류가 대량 발생하여 정수처리에 상당한 장애를 미치고 있다.²⁾ 규조류는 모든 종류가 단세포로 되어 있으며, 규산질로 되어 있는 단단한 피각에 싸여있다. 규조류는 부유성과 부착성이 있으며, 젤라틴 상의 돌기를 이용하여 부착하거나 서로 사슬형태로 결합하여 길이를 다양하게 하는 경우도 있다. 규조류의 크기는 2~200 μm 까지 다양하며, 300 μm 이상의 규조류도 있다.³⁾

국내에서는 90년대부터 한강, 낙동강 수계에 규조류가 겨울철에서 봄철까지 많은 개체수로 출현하여 정수장의 여과공정에 장애를 일으켜왔다. 특히 규조류 중 *Synedra* sp.는 바늘

모양으로 가늘고 길어 여과지 폐색을 더욱 가중시킨다. 여과지 폐색으로 역세척 주기가 평상시보다 빨라짐에 따라 정수 생산량이 감소하며, 잦은 역세척에 의한 배출수량 증가로 배출수처리 부하를 가중시켜 방류수 수질기준을 초과할 우려가 발생한다. 또한 겨울철 상수원에서 규조류의 대량 증식은 pH 상승의 원인이 되고, pH 상승은 정수처리 공정에서 응집 및 침전 효율을 떨어뜨려 침전수 탁도를 상승시키는 원인이 되어왔다. 연구에 따르면 100 μm 크기의 *Synedra* sp.의 경우 개체수 140 cells/mL 이상에서 여과지 폐색을 일으키고, 300 μm 크기의 *Synedra* sp.의 경우에는 개체수 100 cells/mL 이상이면 급격한 여과지 폐색을 일으키며, Fig. 1에 나타내었다.⁴⁾

이러한 *Synedra* sp.에 의한 여과지 폐색을 방지하기 위하여 여과지 역세척 횟수를 증가시키고 여과사면을 삭취하는 물리적인 방법에는 한계가 있어 현재 대부분의 국내 정수장에서는 *Synedra* sp. 유입시 염소 산화를 강화하고, 응집제 주입량을 늘리며, 유기고분자응집제인 폴리아민을 추가 주입하는 등 응집·침전 공정에서 규조류를 제거하고 있다. 하지만 크기가 큰 *Synedra* sp.의 대량 발생 시 강화된 응집·침전 공정만으로는 완벽한 처리가 불가하여 가동률이 높은 정수장의 경우 용수 생산에 문제점이 야기될 수 있다.⁵⁾

[†] Corresponding author E-mail: amjang@skku.edu Tel: 031-290-7535 Fax: 031-290-7549

Fig. 1. The relation about filtration time & *Synedra* sp. cells each size.⁶⁾

이에 기존의 약품에 의존한 *Synedra* sp. 제거 이외의 근본적인 여과지 폐색을 저감할 수 있는 대안의 필요성이 대두되었다. 이에 본 연구에서는 배출수 2차 처리 및 하수처리 분야에 널리 사용되고 있는 DAF(용존공기부상) 공정을 국내 최초로 여과지에 도입하는 방안을 모색하였으며, DAF-여과지에 대한 효과를 분석·검증하였다.

2. 연구방법

과거 2012년 실제 규모류에 의해 여과지속시간이 급격히 저하된 경험이 있는 B정수장을 대상으로 연구를 수행하였

으며, 10개 여과지 중 1개 여과지에 DAF를 설치하여 일반여과지와 비교·분석하였다. 최대 *Synedra* sp. 4,000~20,000 cells/mL(평균크기 100 µm)이 유입된 2017년 2월에 효과를 분석·검증하였다.

2.1. B정수장 *Synedra* sp. 유입현황

정수장으로 유입되는 *Synedra* sp. 개체수는 Fig. 2에서와 같이 점차 증가 추세라 할 수 있다. 2017년에는 Fig. 3에서와 같이 1월 초부터 개체수가 증가하여 1월 말에 14,705 cells/mL이 유입되었으며, 이후 감소하다가 2월 중순부터 다시 증가하여 3월 초에 최대 개체수 24,735 cells/mL가 유입되었다. 이후 감소하여 3월 말까지 *Synedra* sp.가 유입되었다.

Fig. 2. Yearly *Synedra* sp. max cells.

Fig. 3. Max *synedra* sp. (cells/mL) in 2017.

Fig. 4. DAF system plan & sectional view.

2.2. DAF-여과지 실증시설 설치

여과지는 유입수로 바닥에 포화수 공급 노즐 설치가 용이하므로 별도의 시설개량이 필요하지 않은 장점이 있다. 10개 여과지 중 1개소에 DAF를 설치함으로써 일반여과지와 DAF여과지의 효과 비교가 가능하도록 하였다. 포화기 및 공기압축기 설치 공간과 가까운 #10지를 DAF여과지로 선정하였으며, 포화수 공급 노즐은 Fig. 4와 같이 여과지 유입수로에 300 mm 간격으로 40개씩 2열로 설치하였다. 노즐은 캡으로 막을 수 있게 설치하여 분사노즐 개수를 설정함으로써 반송비를 5~20%로 조절 가능하게 설계하였다. DAF 설치 후 실제 포화기 압력은 5 kg/cm^2 로, 반송비는 10%로 운영하였다. 부상 스크럼은 역세시 배출하거나 스크럼스키머를 설치하여 상시 배출이 가능하다.⁷⁾ 여과지내 시료 채수를 위해 일반여과지는 1개소, DAF여과지는 3개소에 샘플링 배관을 설치하였으며, 수심별 효과를 분석하기 위해 상·중·하 50 cm 간격으로 3지점에 각각 설치하였다.

2.3. 효과분석 방법

첫째, DAF 여과지의 탁질 제거 능력을 평가하였다. 일반 여과지와 DAF 여과지 여재 상층부에 기 설치되어 있던 탁도계를 활용하여 분단위 탁도 데이터를 취득하였다.

둘째, DAF 여과지의 *Synedra* sp. 제거 효율을 평가하였다. 일반 여과지와 DAF 여과지 양쪽에 샘플링 펌프 및 배관을

설치하여 시료 채취가 용이하도록 구성하였다. 동시간대에 각각 샘플링하였으며, 샘플링배관에 잔여 물질에 의한 측정오차를 줄이기 위해 충분한 배수 후에 샘플링하였다. 샘플링한 시료는 현미경을 활용하여 *Synedra* sp.의 개체수를 정밀 분석하였다.

셋째, DAF 여과지의 여과지속시간을 평가하였다. 일반 여과지와 DAF 여과지의 가용수두 감소에 따른 역세척 주기를 여과지속시간으로 간주하여 분석하였다. 지별 역세척은 가용수두 1,000 mm가 되었을 때 실시하는 것으로 기준을 정했다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탁질 제거능 비교

B정수장에 규조류가 상당수 유입되던 2017년 2월 16일부터 2월 28일까지의 탁도값을 분단위로 분석한 결과 침전수의 평균탁도는 0.139 NTU이었다. 일반-여과지(#9)의 평균탁도는 0.092 NTU로 탁도 제거율이 33.8%이었으나, DAF-여과지(#10)의 평균 탁도는 0.057 NTU로 탁도 제거율이 59.0%로 분석되었다. 일반-여과지보다 DAF-여과지가 탁도 제거율이 약 25.2% 향상되었음을 알 수 있었으며, Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5. Turbidity trend in 2,16~2,28.

규조류 개체수 증가에 따라 침전수 탁도도 상승되었으며, 탁도 상승에도 불구하고 DAF-여과지의 탁도는 일정하게 유지됨을 볼 때, 침전지 처리수에서 고탁도가 발생할수록 DAF의 탁질 제거 효율은 증가하는 것을 알 수 있었다. Table 1에서와 같이 2월 19일 침전수 평균 탁도는 0.106 NTU이었으며 DAF-여과지의 평균 탁도는 0.055 NTU로 탁질 제거

율은 47.4%를 나타내었다. 2월 24일 침전수 평균 탁도는 0.164 NTU로 상승하였으며 DAF-여과지의 평균 탁도는 0.059 NTU로 탁질 제거율은 63.9%로 상승하였다. 이러한 탁질 제거율 결과는 규조류 제거 효율과 유사한 것으로써 탁도가 제거되면 규조류도 함께 제거된다고 볼 수 있다.

3.2. *Synedra* sp. 제거 효율 비교

2017년 2월 17일에서 2월 28일까지의 B정수장 원수에서 발생한 규조류(*Synedra* sp. 대상)의 개체수는 평균 12,998 cells/mL이었으며, 침전수에서는 평균 805 cells/mL로 분석되었으며, Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 7에 보인 바와 같이 염소와 오존 산화 및 약품에 의한 응집·침전 공정에서 유입된 *Synedra* sp.의 약 93.8%의 제거효율을 볼 수 있었다. 이후 일반여과지(#9)에서의 *Synedra*

Table 1. Turbidity of settled water & DAF water in 2,19~2,24

Date	2,19	2,20	2,21	2,22	2,23	2,24
Turbidity (avg.) (NTU)						
Settled water	0,106	0,116	0,127	0,135	0,143	0,164
DAF water	0,055	0,055	0,056	0,056	0,058	0,059
Removal rate (%)	47,4	52,8	56,0	58,2	59,4	63,9

Fig. 6. *Synedra* sp. population trend in 2,17~2,28.

Fig. 7. Comparison of *synedra* sp. removal eff.

sp. 개체수는 큰 변화가 없어 잔류 *Synedra* sp.에 의해 여과지에 폐색을 가중시켰다. 반면 DAF여과지(#10)의 경우에는 *Synedra* sp. 개체수 측정 결과 평균 21 cells/mL로써 침전수 대비 약 97.4%의 높은 제거율을 보였다.

3.3. 여과지속시간 비교

Synedra sp. 유입에 따른 DAF 설비를 가동 후 일반-여과지(#9)와 DAF-여과지(#10)의 여과지속시간을 비교해 보았다. Fig. 8에 보인 바와 같이 일반-여과지는 111시간, DAF-여과지는 183시간으로 여과지속시간이 64.9% 향상되었음을 알 수 있었다. 이는 산화 및 응집·침전 공정 이후 제거되지 않은 *Synedra* sp.에 의해 일반-여과지가 조기 폐색되어 역세척 시간을 단축시켰기 때문이다.

실험기간 동안의 DAF-여과지(#10)와 다른 전체 일반-여과지(#1~#9)의 여과지속시간을 비교해보면 #1에서 #9지까지의 일반-여과지의 경우 여과지속시간이 평균 106시간인 반면 DAF-여과지의 여과지속시간은 183시간으로써 일반여과지보다 약 72.6% 여과지속시간이 증가하였음을 볼 수 있으며, Fig. 9에 나타내었다.

실제 일반-여과지와 DAF-여과지의 운영시작 2~3일 경과 후 여재 표층부를 채취하여 확대해보면 Fig. 10과 같이 여과지

Fig. 8. Available head trend of #9 & #10 basins.

Fig. 9. Filtration time of #1 ~ #10 basins.

Fig. 10. Filtration surface before & after DAF installation.

표층의 *Synedra* sp. 분포 상태가 확연히 차이가 남을 알 수 있다. 미세기포에 의해 탁질 및 *Synedra* sp.를 부상시켜 제거함으로써 여과지속시간을 상당부분 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

과거 2012년 실제 규모류에 의해 여과지속시간이 급격히 저하된 경험이 있는 B정수장을 대상으로 연구를 수행하였으며, 10개 여과지 중 1개 여과지에 DAF를 설치하여 일반여과지와 비교·분석하였다. 최대 *Synedra* sp. 4,000~20,000 cells/mL(평균크기 100 μ m)이 유입된 2017년 2월에 효과를 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 실험기간 동안 침전수의 평균탁도는 0.139 NTU, 일반-여과지(#9)의 평균 탁도는 0.092 NTU이었다. DAF-여과지(#10)의 평균 탁도는 0.057 NTU로 침전수 대비 탁도 제거율은 59.0%로 분석되었으며, 일반-여과지보다 탁도 제거율이 약 25.2% 향상되었음을 알 수 있었다.

둘째, 실험기간 동안 원수내 *Synedra* sp. 개체수는 평균 12,998 cells/mL이었으며, 산화 및 응집·침전을 통해 평균 805 cells/mL로 감소되었다. 이후 DAF-여과지를 통해 *Synedra* sp. 개체수를 평균 21 cells/mL로 감소시켰으므로 침전수 대비 약 97.4%의 높은 제거율을 보였다.

셋째, 일반-여과지(#1~#9)의 여과지속시간은 평균 106 h이었으며, DAF-여과지(#10)의 여과지속시간은 183 h으로 DAF를 통해 여과지속시간을 72.6% 증가시켰다.

Acknowledgement

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 플랜트연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RE201901117).

KSEE

References

1. Ha, K. and Kim, H. W., "The transition mechanism of Phytoplankton in Nakdong river downstream (Mul-Geum)," *The 4th Symposium*, **4**, 21~39(1995).
2. Kang, L. S. and Kim, S. J., "Algae disturbance and countermeasures," Nakdong river basin environmental office, (1998).
3. Kim, M. C. and Kim, J. H., "Improvement of removal rate in water treatment plants due to Diatoms in Nakdong river basin water-works," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(1), 29~34(2014).
4. Kwon, S. B. and Ryu, T. B., "The evaluation of DAF filtration-basin pilot application," Technical support reports, K-water, (2014).
5. K-water, "Optimization of advanced water purification technology of DAF application water treatment plants (Third year)," K-water, (2005).
6. K-water, "Manual of Diatoms response", K-water, (2014).
7. K-water, "The plan of diatom removal equipment pilot application," K-water, (2013).