

## DAF 펌프를 이용한 실규모 용존공기부상 공정의 전처리 조건

이창한 · 안대명\* · 김성수\*\* · 조석호\*\* · 안갑환†,\*\*

부산가톨릭대학교 환경공학과 · 세종이엔에스 · \*\*부산가톨릭대학교 환경행정학과

(2008년 8월 1일 접수, 2009년 1월 30일 채택)

## Pretreatment Condition in the Full Scale Dissolved Air Flotation Process Using a DAF Pump

Changhan Lee · Daemyung An\* · Seongsoo Kim\*\* · Seokho Cho\*\* · Kabhwan Ahn†,\*\*

Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan

\*Sejong Environment & Solutions Co., Pusan

\*\*Department of Environmental Administration, Catholic University of Pusan

**ABSTRACT** : Dissolved air flotation (DAF) process is generally considered more effective than sedimentation process in raw water containing algae, humus materials, and low density particles. This study presents the treatment efficiencies by the coagulation and flocculation conditions at a drinking water treatment plant using a laboratory tester and the full scale DAF pump system. The full scale DAF pump system (F-DAF) in this study had a capacity of 5,000 m<sup>3</sup>/d and a hydraulic surface loading of 10 m/hr. F-DAF in D drinking water treatment plant was continuously operated to determine the operational performance and pretreatment (mixing and coagulation) conditions. Results in the laboratory experiment showed that the optimum coagulant (PSO-M) doses required to 2.7~4.5 mL/m<sup>3</sup>/NTU with raw water turbidity from 13.8 NTU to 56.3 NTU. F-DAF in the optimum coagulant dosage could be operated in effluent turbidity of 1 NTU or below for a month.

**Key Words** : DAF, Flotation, Full Scale, Coagulation, Flocculation, Drinking Water

**요약** : 용존공기부상(Dissolved Air Flotation)은 조류, 휴믹물질, 및 저밀도 입자가 포함된 원수의 처리에서 침전지보다 우수한 성능을 가지는 공정이다. 본 연구는 실험실과 실규모의 DAF 펌프형 시스템을 이용하여 정수처리공정의 전처리(응집/응결) 조건에 따른 처리효율을 비교하여 나타하였다. 실규모 DAF 펌프형 시스템(Full scale DAF pump system ; F-DAF)은 처리용량과 수력학적 부하량을 각각 5,000 톤/일과 10 m/hr이며, F-DAF는 D 정수장의 원수에서 전처리(혼화/응집) 및 운전성능을 최적화하기 위해 운전하였다. 실험실 규모의 실험결과는 원수 탁도 13.8~56.3 NTU에서 최적 PSO-M 주입량은 2.7~4.5 mL/m<sup>3</sup>/NTU이었다. 이와같이 최적 응집제 주입 조건에서 유출수의 탁도를 1.0 NTU 이하로 1개월 동안 유지하며 F-DAF의 운전이 가능하였다.

**주제어** : DAF, Flotation, 실규모, 응집, 응결, 정수

### 1. 서론

산업의 발달과 인구의 집중화에 따라 수질오염은 상수원으로 사용되는 하천 및 호소수의 오염을 가중시켜 상수원의 확보를 어렵게 하고 있다. 하천상류 유역의 공장과 농경지에서 발생하는 난분해성 물질의 오염 부하량이 점차 증가되고 있어 각 정수처리장은 안정된 운영을 위해 다양한 고도처리공정을 적용하고 있는 실정이다. 국내에 도입된 고도정수처리 공정은 활성탄을 이용한 흡착, 막분리, 저밀도 입자의 부상분리 및 고도산화 등이 있으며, 각 정수장에 적합한 조건으로 개발 및 적용이 이루어져지고 있다.<sup>1)</sup>

정수처리에 적용되는 용존공기부상(Dissolved Air Flota-

tion : DAF)은 조류 및 색도와 같은 저밀도 탁도 유발물질의 제거에서 기존 침전지보다 우수한 성능을 가지고 있다. 특히, 하절기에 하천 및 호소수에서 발생하는 조류의 제거에 효율적이라고 알려져 있다. Edzwald와 Markham에 의하면 상수원수에 포함된 규조류와 남조류에 대해 처리효율이 높고, 수인성 질병을 일으키는 미생물인 *Cryptosporidium*과 *Giardia*에 대해 기존의 침전공정에 비해 효율적이라고 보고하였다.<sup>2-5)</sup> Guss는 펌프지화된 용존공기부상공정을 정수공정에 조합하여 실제 공정에 적용한 바 있으며,<sup>6)</sup> Arnold는 기존의 장방형 침전지를 개량하여 부상조를 개조한 바 있다.<sup>7)</sup> 침전의 장점인 고탁도 처리와 부상의 장점인 조류의 처리를 조합하여 기존의 침전지를 개량하는 연구가 진행되었다.<sup>8)</sup> 또한, DAF 정수장의 운영 특성<sup>9)</sup>과 기포-플록 특성에 따른 부상효율<sup>10)</sup>에 대한 예측 등에 대한 다양한 연구결과가 보고된 바 있다.

† Corresponding author  
E-mail: khahn@cup.ac.kr  
Tel: 051-510-0623

Fax: 051-510-0626

국내에 도입된 DAF 공정은 포화조(saturator)형과 DAF 펌프형 장치로 구분되며, Fig. 1에 구조적인 특성을 나타내었다. 포화조형 장치는 미세기포가 발생되기 위해 펌프, 공기 주입용 콤프레샤, 공기/순환수 집축탱크(saturator)를 포함하는 구조로 공정이 설계되어야 하며 운전도 복잡하다. DAF 펌프형 장치는 기존의 포화조형 공정의 펌프, 공기 주입용 콤프레샤, 공기/순환수 집축탱크를 DAF 펌프로 컴팩트화하여 개선한 공정이다. 공기를 순환수에 용해/분산시켜 가압수 제조가 용이하기 때문에 최근 운전특성 및 성능에 대한 효율 비교 및 실용화 연구가 많이 진행되고 있는 실정이다.<sup>11)</sup>

본 연구는 5,000톤/일 규모의 실규모 국산 DAF 펌프형 정수시스템(Full scale DAF pump system ; F-DAF)을 이용

하여 D 정수장의 원수에서 연속 운전시 전처리(혼화/응집) 조건을 최적화하고 연속운전을 수행하였다. 전처리 조건은 실제 정수장에서 사용되고 있는 응집제(PSO-M)를 사용하여 실험실에서 최적주입량을 결정한 후 실규모 공정에 적용하여 비교하였으며, 각 실험조건에서 플록 및 기포의 크기 분석을 통해 혼화·응집 및 부상공정에 미치는 운전인자를 도출하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 원수 및 분석방법

상수원수는 낙동강 하류에 위치한 D 정수장의 착수정으로 유입되는 원수를 사용하였다. 탁도는 7, 8월의 하절

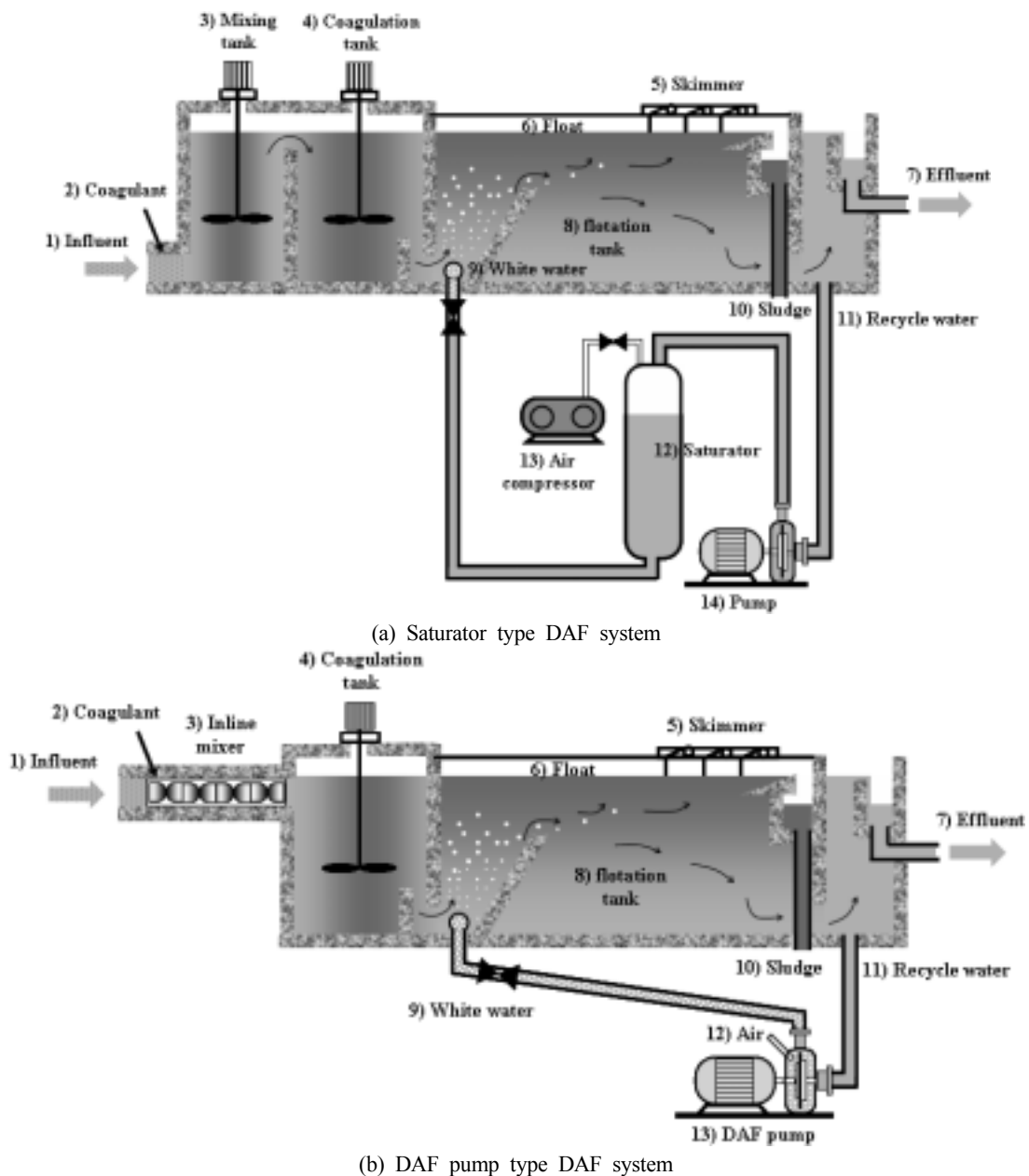


Fig. 1. Systematic diagram of saturator and DAF pump type DAF system.

**Table 1.** Summary of DAF design and operating parameters

Parameter		DAF jar-tester	Full scale DAF pump system	
Pretreatment	Mixing	Type	inline mixer	
		Velocity gradient, 1/s	900	
	Retention time, s	60	0.4 - 0.8	
	Coagulation	Type	inline mixer	
Velocity gradient, 1/s		51.6	10.4	
Flotation	Reaction zone	Retention time, s	1440 - 2880	
		Hyd. Load., m/hr	5 m/hr	
	Separation zone	Retention time, s	600	840 - 1680
		Hyd. Load., m/hr	-	5 m/hr
Bubble generation	Type	Saturator	DAF pump	
	Recycle	Pressure, kg/cm <sup>2</sup>	5.0 - 5.5	4.8 - 5.3
		Retention time, s	15	0.005
		ratio, %	20	15 - 30

기에는 강우의 영향으로 약 30 NTU로 높아지는 경향을 보이지만, 그 외의 기간은 8~15 NTU의 탁도를 나타내었다. 원수 및 처리수의 탁도는 탁도계(2100N Turbidimeter, HACH)를 사용하여 측정하였고, 탁도 제거효율로 환산하여 혼화/응집 조건에 따른 처리성능을 비교하였다. 실험실 및 실규모 운전에서 전처리효율의 평가를 위하여 입도분석기(HELOS/BF, SYMPATEC)로서 혼화/응집 과정의 플록 및 기포 입경을 분석하였다.

## 2.2. 회분식 및 실규모 부상 장치의 실험방법

회분식 및 실규모 시스템의 특성을 Table 1에서 비교하여 나타내었다. 최적 응집제주입량 및 교반조건은 DAF-jar tester (ECE engineering)를 이용한 회분식 부상장치(Batch scale DAF system : B-DAF)실험에서 도출된 결과를 F-DAF의 적용하였다. B-DAF는 포화조형 회분식 부상장치로서 1.3 L의 사각형 실린더가 6조로 구성되어 있으며 가압수의 압력과 반송비를 각각 4.5~5.5 kg/cm<sup>2</sup>와 0~25%까지 조절하여 실험하였다. 회분식 부상실험은 혼화(mixing)를 340 rpm( $G : 1120 \text{ s}^{-1}$ )으로 60초로 하고, 응집(coagulation)을 40 rpm( $G : 51.6 \text{ s}^{-1}$ )으로 1,200 초로 하여 실험하였다. 또한 부상시간은 10분으로 실험하였다.

F-DAF는 Fig. 1의 (b)와 같이 유입배관, 혼화공정(inline mixer), 응집공정, 부상공정, DAF 펌프 및 배관 그리고 장치제어부로 구성되어 있다. 운전유량은 150~300 m<sup>3</sup>/hr의 범위에서 조절하였으며, 혼화공정은 inline mixer로서 속도경사( $G$ )와 체류시간( $t$ )을 각각 900 sec<sup>-1</sup>과 0.4~0.8 sec로 하여 순간적으로 혼화시켰고, 응집공정은 속도경사와 체류시간을 10.4 sec<sup>-1</sup>와 1,440~2,880초로 하여 운전하였다. 또한, F-DAF 펌프의 토출배관 압력은 5.0~5.6 kg/cm<sup>2</sup>이었으며, 이 조건에서 가압수의 토출량은 22~38 m<sup>3</sup>/hr으로 가변적으로 조절하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 회분식 부상에서 혼화·응집 조건

실제 DAF 공정에서 혼화 및 응집은 입자 및 플록의 부상에 있어 매우 중요한 공정이다. 응집제 량과 원수에 포함된 부유고형물 농도의 관계는 전하중화 및 착화합물-침전이론으로서 표현되며 혼화·응집에 있어 가장 중요한 운전 요소로서 이용되고 있다.<sup>12)</sup> Fig. 2는 13.8~56.3 NTU의 탁도 범위에서 B-DAF의 혼화/응집조건에 따른 응집제(PSO-M) 주입량과 처리수 탁도의 관계를 나타낸 것이다. 고탁도 조건인 원수 탁도가 56.3 NTU일 때 응집제 주입량은 36.0~56.0 ppm(mL PSO-M/m<sup>3</sup> 원수)이며, 탁도 제거율은 82.50~82.8%이었다. 원수 탁도가 30.3 NTU일 때 응집제 주입량은 17.5~24.3 ppm이며, 탁도제거율은 82.1~85.5%이었다. 저탁도 조건인 원수 탁도가 21.3 NTU일 때 응집제 주입량은 17.5~24.5 ppm이며, 탁도제거율은 81.6~86.4%이었다. 원수 탁도가 13.8 NTU일 때 응집제 주입량은 15.0~20.0 ppm이며, 탁도제거율은 79.3~80.5%이었다. B-DAF에서 탁도제거율이 약 80.0%가 되는 응집제 주입량은 원수탁도에 따라 차이가 있으나 2.7~4.5 mL/m<sup>3</sup>/NTU의 범위가 최적이었다.

Fig. 2의 결과에서 도출된 원수 및 처리수 탁도와 PSO-M 주입량의 연관성은 각 원수탁도에서 원수탁도와 PSO-M 주입량에 따라 처리수의 탁도가 감소하는 경향을 보였다. 이 결과를 이용하여 원수탁도에 따른 탁도제거율이 약 80%와 85%인 지점을 기준으로 하여 B-DAF에 결정된 PSO-M 주입량 범위를 F-DAF에 적용하였다. DAF 공정에 의한 고액분리 성능은 응집조건(원수 탁도 및 응집제 주입량, 혼화/응집 공정의 교반조건, pH, 수온, 및 알카리도)에 따른 플록 특성과 부상조건(반송율, 기포의 충돌효율, 수온 및 기포크기)에 영향을 받는다고 알려져 있으며,<sup>11-13)</sup> 본 실험과

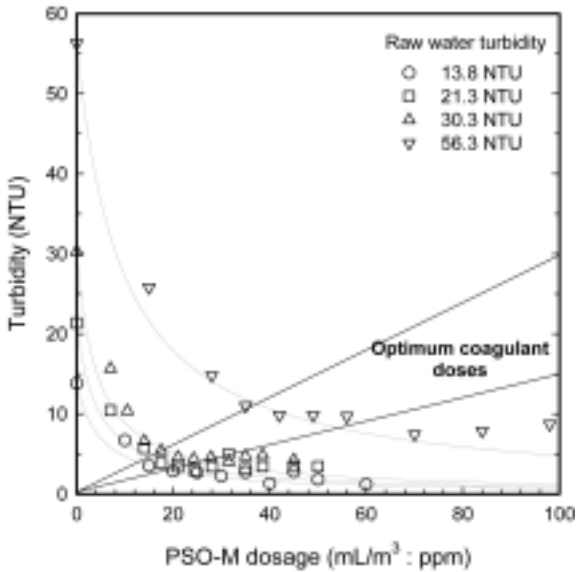


Fig. 2. Effect of coagulant (PSO-M) dosage on influent turbidity.

같이 전처리(혼화/응집) 조건에 따른 부상 분리 효율은 부상조건이 일정하게 유지된 상태에서 원수탁도와 응집제 주입량에 따라 처리효율이 결정된다. 따라서, 실험실용 B-DAF에서 도출된 원수탁도와 응집제 주입량의 관계를 이용하여 실규모의 F-DAF의 연속운전시 원수탁도에 따른 응집제 주입량을 결정하였다.

Fig. 3은 B-DAF의 실험에 있어 PSO-M 주입량을 10~50 ppm으로 조절하였을 때 형성되는 응집플록의 입경 변화를 나타낸 것이다. 이 결과는 60초간의 혼화 후 응집시간에 따른 플록의 평균입경 변화를 나타낸 것이다. 응집시간이 1,200초(20분)가 경과된 이후에 PSO-M 주입량이 10~30 ppm이었을 때 응집된 플록의 평균입경이 150.0  $\mu\text{m}$  이상 커지지 않았지만, 40~50 ppm로 PSO-M 주입량을 증가시키면 플록의 평균입경이 400.0  $\mu\text{m}$  이상으로 커지는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 플록의 평균입경과 부상분리 후 탁도를 비교한 것이다. 이 결과에서 응집시간이 300초 정도 경과하였을 때 플록의 평균입경은 250.0  $\mu\text{m}$ 가 되었으며, 처리수의 탁도는 1.28 NTU로서 90% 이상의 제거율을 나타내었다. 또한, 응집시간이 더 증가하더라도 처리수 탁도가 더 낮아지지 않았다. 이 결과와 같이 플록의 평균입경이 커질수록 부상분리효율은 증가하지만 일정한 크기(약 250  $\mu\text{m}$ ) 이상이면 일정하게 유지되었다.

B-DAF의 실험에서 반송율과 처리수 탁도를 Fig. 5에 나타내었다. 15%와 20%의 반송율에 대한 탁도 제거율을 비교하였을 때 20%의 반송율에서 약 90% 정도의 제거율을 나타내었다. 반송율이 20%이었을 때 처리수 탁도는 1.20 NTU 이하로 나타났다. 반송율과 플록의 평균입경은 부상분리효율과 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 그러나 플록입경이 100  $\mu\text{m}$  이하로 형성되면 반송율에 비례지만, 부상효율이 크게 낮아지는 결과를 나타내었다.

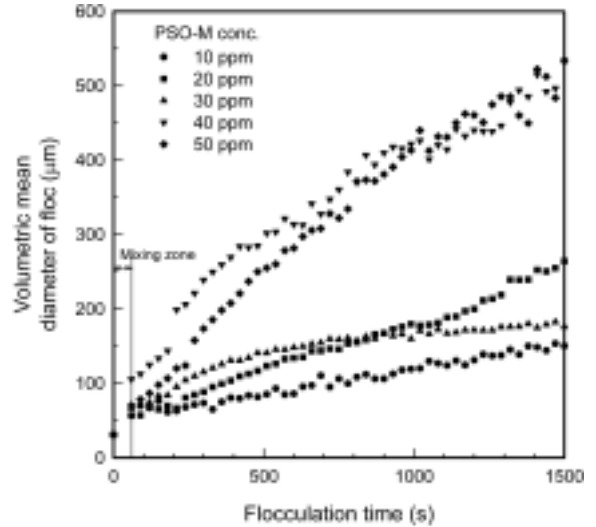


Fig. 3. The growth profile of volumetric mean diameter of floc in a B-DAF.

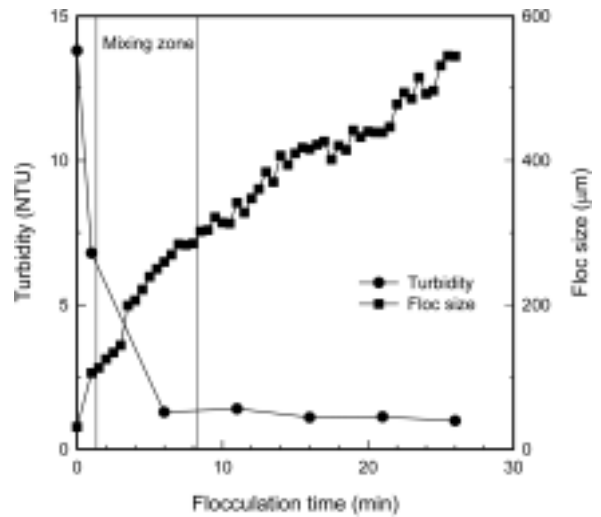


Fig. 4. The growth profile of floc and effluent turbidity in a B-DAF.

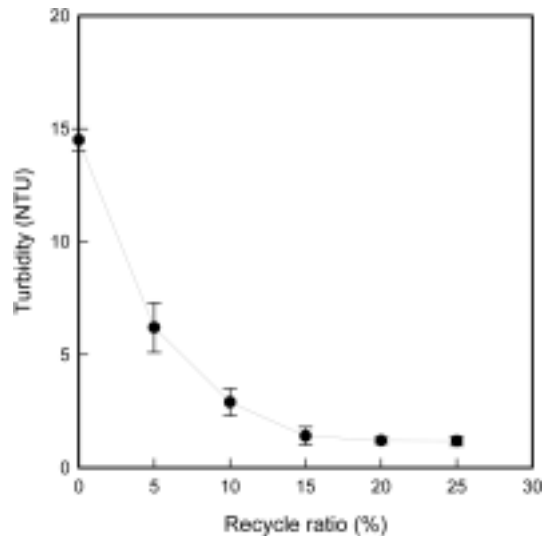


Fig. 5. Effect of recycle ratio on effluent turbidity in a B-DAF.

3.2. 실규모 DAF 펌프형 부상장치의 전처리 특성

F-DAF로 유입되는 D 정수장의 원수는 오존 처리에 의해 수중에 포함된 조류가 파괴되기 때문에 본 실험에서는 공정의 운영 효율에 있어 조류 제거에 대한 부분은 고려하지 않고 탁도 제거율에 대한 결과를 비교하였으며, 실험기간 중 평균 탁도는 약 10 NTU이었다. F-DAF에서 응집제(PSO-M) 주입량은 B-DAF의 회분식 부상실험에서 도출된 조건을 기준으로 하여 운전하였다.

Fig. 6은 F-DAF를 이용한 실규모 DAF 펌프형 부상장치의 PSO-M의 주입량에 따른 전처리(혼화·응집) 특성을 비교하여 나타낸 것이다. PSO-M의 주입은 inline mixer의 전단에 유입 배관을 설치하여 혼화시킨 후 응집조로 유입시켰다. 실규모 장치의 조건에서 PSO-M 주입량은 응집조 1단과 2단을 각각 30 rpm( $G : 19 \text{ sec}^{-1}$ )의 교반속도로 고정된 상태에서 수행하였으며, 원수유량과 반송율은 각각  $300 \text{ m}^3/\text{hr}$ 와 12.3%로 운전하였다. B-DAF 실험에서 도출된 PSO-M 주입량을 기준으로 하여 20~42 ppm으로 연속 운전을 수행하였다. PSO-M을 20 ppm을 주입하였을 때 처리수의 탁도는 11.5~12.2 NTU를 나타내어 약 15% 정도의 탁도 제거율을 나타내었고, 30 ppm에서는 처리수의 탁도가 5.9~6.1 NTU로서 약 50% 정도의 탁도 제거율을 보여 정상적인 처리가 어려웠다. 따라서 15~20 NTU의 원수탁도 조건에서 PSO-M 주입량이 42 ppm이 되었을 때 처리수의 탁도 2.5~2.9 NTU로서 약 80%의 탁도 제거율을 나타내었다. 이는 B-DAF 실험의 결과와 유사하다. 그러나 탁도 제거율은 반송율이 낮았기 때문에 회분식 실험에 비해서 처리효율은 낮은 경향을 보였다. 실규모 운전에서 유입되는 원수탁도에 따라 처리수 탁도가 영향을 받기는 하지만 평균 10 NTU로 유입되는 원수탁도에서 PSO-M의 주입량은 35~45 ppm이 최적 조건이었다. 응집제 주입량에 따른 고·액분리 효율은 가압수에서 발생된 미세기포<sup>11,12)</sup>와 혼화·응집과정에서 형성된 플록크기의 특성에 영향을 받는다고 알려져 있다. F-DAF에 사용된 국산 DAF 펌프((주)신신기계)는 Table 2에 나타낸 것과 같이  $5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 에서 운전될 때 생성된 기포의 입경이 약  $40\sim43 \mu\text{m}$  부근으로 나타났으며,  $4.5\sim6.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 의 실험조건에서는 큰 변화를 보이지 않는다.<sup>13)</sup> 따라서 F-DAF는  $5.0\sim5.6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 로 운전되어 기포경의 변화에 따른 처리효율의 영향은 적을 것으로 판단할 수 있다. 그러나 플록의 크기는 원수의 탁도에 따라 PSO-M이 적정 농도로 주입되지 않을 경우 플록의 평균입경이 약  $100 \mu\text{m}$ (B-DAF 실험 기준) 이하로 형성되어 부상분리 효율이 저하되는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 F-DAF를 이용하여 2005년 11월 1일부터 2005년 12월 31일까지 운전조건을 변화시키면서 60일 동안 운전한 결과를 나타낸 것이다. PSO-M은 Fig. 3과 Fig. 7의 최적 주입조건인 20~42 ppm의 범위에서 원수의 유량에 따라 조절하여 주입하였다. 초기 33일간 운전은 원수가  $300 \text{ m}^3/\text{hr}$ 로 유입되는 조건에서 반송율(반송수 유량 :  $37 \text{ m}^3/\text{hr}$ )을 12.3%로 하였을 때 유출수 탁도가 약 3 NTU로

유지되는 조건으로 연속운전이 가능하였다. 33일에서 37일까지의 운전기간동안 유출수의 탁도가 3~10 NTU의 구간으로 변동이 심했던 것은 B-DAF에서 도출된 PSO-M의 주입조건을 F-DAF의 운전조건에 반영하는 과정에 PSO-M이 적정하게 주입되지 않아 유출수의 탁도가 높아지는 경향을 보였다. 37일 이후의 운전은 D 정수장 침전지의 유출수 탁도인 약 1 NTU에 도달하기 위하여 PSO-M 주입량은 조절하지 않고, 반송수 유량이 일정한 조건에서 원수 유량을 줄여 반송율을 16.3%에서 24.3%의 범위로 조절하면서 유출수 탁도를 비교하였다. 이 조건에서 반송율을 24.3%로 조절된 39일 이후의 운전에서 유출수의 탁도가 0.6~0.8 NTU로 되는 안정적인 운전상태를 20일 이상 유지할 수 있었다. 또한, 52일 이후 3일간 조류가 발생되어 CGS의 유출수 탁도는 3~5 NTU로 증가하는 경향을 보였지만, F-DAF는 약 1 NTU 이하의 안정된 처리효율을 나타내었다. F-DAF를 운영한 결과를 기초로하여 전력사

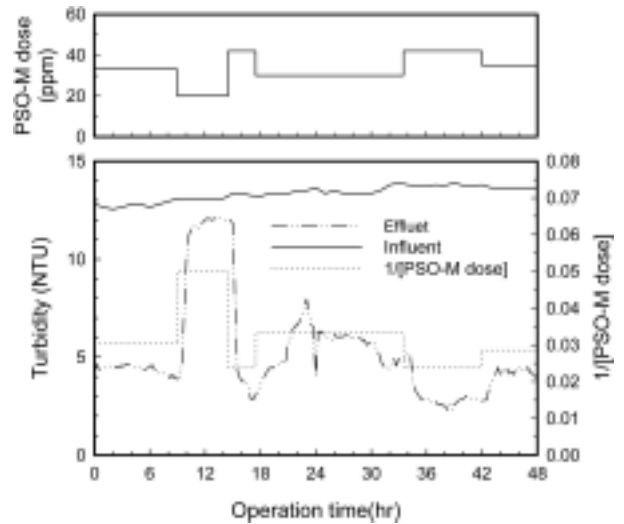


Fig. 6. Variation of PSO-M dose for influent turbidity in a F-DAF system.

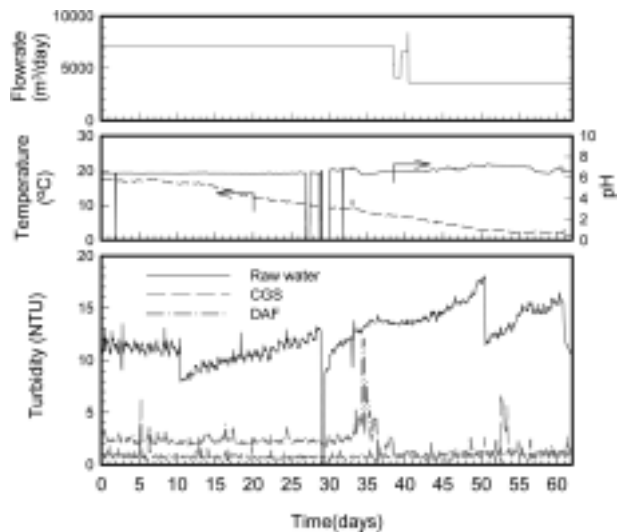


Fig. 7. Operation results of the F-DAF system in two months.

**Table 2.** Size characteristics of bubbles

	Size Range( $\mu\text{m}$ )	Average Size( $\mu\text{m}$ )	$d_{70}$ *
Image Analyzer	20~100	40	99.7%
Particle Size Analyzer	10~100	43	97.8%

\* probability of bubble size smaller than 70  $\mu\text{m}$

용량은 기준으로 F-DAF의 운영비를 산정하면, 1년간 연속 운전할 경우 실제 정수공정에 사용되는 전, 후처리 공정비용은 제외하고 일 4,000  $\text{m}^3$ 에 대한 DAF 공정의 운영비는 103원/ $\text{m}^3$ (약품비(4.1%), 전기사용료(27.0%), 고정비(46.0%), 및 유지보수비(22.9%))이었다. 그러나, 본 연구의 DAF 공정의 운영비는 전·후처리 및 기타 공정비용이 산정에 제약이 있는 기존 정수처리비용과 직접 비교하는 것은 제약이 따른다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 실험실과 실규모의 DAF 시스템을 이용하여 전처리 조건에 따른 처리효율을 비교하였다. 본 실험에서는 혼화/응집-부상으로 두 공정을 조합하였으며, 혼화/응집의 전처리 조건이 탁도 제거율에 미치는 영향을 고찰하였다. 실규모 정수시스템에서 전처리공정을 최적화한 후 연속운전시 처리효율을 평가한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

DAF 펌프형 정수시스템의 운전조건은 원수 탁도를 기준으로 7, 8월에 30 NTU, 그 외의 기간은 원수의 탁도가 약 8~15 NTU 정도의 부하량을 기준으로 한 운전범위를 설정하였다. 실험실 규모의 실험은 13.8~56.3 NTU의 원수탁도에서 PSO-M 주입량은 36.0~56.0 ppm로 하였을 때 탁도제거율은 약 80.0%이었다. PSO-M 주입량이 적어 플록입경이 100  $\mu\text{m}$  이하로 형성되면 부상효율이 크게 낮아지는 것으로 나타났다.

최적화된 혼화/응집(최적 PSO-M 주입량)과 F-DAF 운전 조건(원수유량 : 150  $\text{m}^3/\text{hr}$  및 반송율 : 24.3%)에서 처리수 탁도는 유출수의 탁도가 0.6~0.8 NTU로 되는 안정적인 운전상태를 20일 이상 유지할 수 있었다. 본 실험의 결과는 실험실 규모인 B-DAF와 실 규모인 F-DAF 운전에서 원수탁도에 따른 응집제 주입량의 상관관계를 도출하여 하절기 원수탁도가 다양하게 변화되는 조건에서 실 규모 혼화/응집 공정의 효율적 운전 가능성을 제시하고 있다.

#### 사 사

이 연구는 환경부 2005 차세대 핵심환경기술 개발사업 지원으로 수행되었으며, 관련기관의 지원에 감사드립니다. 또한, 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비 : 소규모연구회 지원사업)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 작성되었으며(KRF-2008-331-D00035), 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원, “오존, 활성탄 정수시스템의 자동화 및 관련설비의 개발,” 환경부 최종보고서, pp. 15~83 (2001).
2. Eades, A. and Brignall, W. J., “Counter-current dissolved air flotation/filtration,” *Water Sci. Technol.*, **31**(3-4), 173~178(1995).
3. Puffelen, J., Buijs, P. J., Nuhn, P. N. A. M., Hijnen, W. A. M., “Dissolved air flotation in potable water treatment: the Dutch experience,” *Water Sci. Technol.*, **31**(3), 149~157(1995).
4. Edzwald, J. K., “Algae, Bubbles, Coagulants, and Dissolved Air Flotation,” *Water Sci. Technol.*, **27**(10), 67~81(1993).
5. Markham, L., Porter, M., and Schofield, T., “Algal and zooplankton removal by dissolved air flotation at Severn Trent Ltd. surface water treatment works. In Dissolved Air Flotation,” Chartered Institution of Water and Environmental Management(1997).
6. Plummer, J. D., Edzwald, J. K., and Kelley, M. B., “Removing Cryptosporidium by dissolved-air flotation,” *AWWA*, **87**(9), 85~95(1995).
7. Guss, D. B., “The synergy of flotation and filtration in wastepaper treatment and recycling,” Proceedings of the Recycling Symposium, Boston, pp. 407(1994).
8. Arnold, S. R., Grubb, T. P., and Harvey, P. J., “Recent applications of dissolved air flotation pilot studies and full scale design,” *Water Sci. Technol.*, **31**(3-4), 327~340(1995).
9. 권순범, 안효원, 강준구, 손병용, “고탁도시 DAF 정수장의 운영 및 진단,” 상하수도학회지, **18**(2), 191~200(2004).
10. 광동희, “DAF공정에서 개체군 수지를 이용한 기포-플록 응집체의 부상효율과 수리학적 부하율의 운전특성 평가,” 상하수도학회지, **22**(5), 531~540(2008).
11. (주)신신기계, “국산 DAF PUMP를 이용한 패키지형 소규모 정수장치 개발에 관한 연구,” 환경부 최종보고서, pp. 63~65(2004).
12. Menahem Rebbum and Michael Lurie, “Control of organic matter by coagulation and floc separation,” *Water Sci. Technol.*, **27**(11), 11~20(1993).
13. 안대명, 이창한, 최윤찬, 조석호, 안갑환, 김성수, “국산 DAF 펌프의 기포농도 및 부상 효율에 대한 연구,” 화학공학의 이론과 응용, **8**(1), (2002).