

## SWRO 전처리 공정에 적용된 DABF 내 Ball Media Filter 성능 평가

최석호<sup>1a,\*</sup> · 이정현<sup>1b</sup> · 박성주<sup>1c</sup> · 이영근<sup>1d</sup> · 노형근<sup>1e</sup> · 김용범<sup>2</sup>

<sup>1</sup>두산중공업 · <sup>2</sup>앱스필

### Performance Evaluation of Ball Media Filter in DABF applied to SWRO pretreatment process

Seokho Choi<sup>1a,\*</sup> · Junghyun Lee<sup>1b</sup> · Sungju Park<sup>1c</sup> · Younggeun Lee<sup>1d</sup> · Hyungkeun Roh<sup>1e</sup> · Yongbeom Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doosan Heavy Industries & Construction Co.

<sup>2</sup>ABSFIL Co.

(Received 30 September 2019, Revised 28 November 2019, Accepted 29 November 2019)

#### Abstract

DABF(Dissolve Air Flotation with Ball Filter) is developed as the DAF with the addition of a fiber ball at the lower part of the DAF. The DABF with a capacity of 4,500 m<sup>3</sup>/h was constructed at Gijang SWRO plant in Busan. Since the ball filter has high filtration rate, the loading rate of DABF was designed from 20 to 42 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>. When one DABF basin is in the back washing mode, the loading rate of other two DABF basins is increased to 42 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>. Turbidity at the BF outlet in DABF is <2 NTU at turbidity of 5-10 NTU at the BF inlet. If there is no algae bloom and turbidity is low in raw seawater, only BF in DABF is operated and meets <2 NTU at the BF outlet. Even if BF is operated at high hydraulic loading rates, no significant differential pressure increases and reduction in the turbidity removal rate is minimal in a day. Thus, DABF is the pre-treatment technology that provides stable water quality even with BF onlyoperation without DAF operation. Compared with the DAF, DABF requires additional facilities such as valves, piping, and drainage systems for backwashing the BF. But in terms of footprint and operating costs, DABF has more advantages than DAF. With DABF application, the load of the downstream filtration equipment is decreased so that the capacity of the filtration equipment can be reduced. Also, if the downstream filtration equipment is to be maintained the same regardless of DABF, the operating cost of DABF is less than DAF.

**Key words** : Ball filter, Dissolved air flotation, Hydraulic loading rates, Pretreatment, Turbidity

<sup>1a,\*</sup> Corresponding author, 책임(Senior Researcher), seokho.choi@doosan.com, <https://orcid.org/0000-0002-0053-8332>

<sup>1b</sup> 과장(Manager), Junghyun Lee@doosan.com, <https://orcid.org/0000-0003-2719-4514>

<sup>1c</sup> 과장(Manager), sungju2.park@doosan.com, <https://orcid.org/0000-0002-6881-8760>

<sup>1d</sup> 책임(Senior Researcher), younggeun1.lee@doosan.com, <https://orcid.org/0000-0002-1692-8925>

<sup>1e</sup> 수석(Principle Researcher, hyungkeun.roh@doosan.com, <https://orcid.org/0000-0003-4212-2949>

<sup>2</sup> 대리(Researcher), ybkim@absfil.com, <https://orcid.org/0000-0002-6803-0332>

### 1. Introduction

최근 해수담수화 플랜트에는 역삼투막 방식이 많이 채택되어 설치 및 운영되고 있는데, 전처리 공정으로는, 부상법, 여과법 뿐만 아니라 정밀여과설비, 한외여과설비 등 막 기술의 적용이 확대되고 있다(Amy et al., 2017; Ang et al., 2015; Goh and Ismail, 2018). 해수담수화시설의 원수인 바닷물은 일반적으로 지하수나 지표수에 비해 조류나 미생물 등이 많아 막의 파울링(Fouling) 현상이 발생할 가능성이 높아 파울링 발생을 낮게 하고 운영보수비용 측면의 경제적인 효율성을 향상하기 위해서는 효과적인 전처리 공정이 필요하다. 세계적으로 바닷물에서는 적조현상이 다수 발생하고 있으며, 국내의 남해안에서도 적조가 발생하고 있다(Song et al., 2017; MOF, 2019). 해수담수화시설에서 조류가 다층여과설비나 여과막으로 유입되면 역세를 더 자주해야 해서 운전이 어려워지고 RO의 파울링 현상이 심각해지므로 조류를 효과적으로 처리하기 위한 전처리 공정으로 용존공기부상법(Dissolved Air Flotation, DAF)을 적용하는 경향이 증가하고 있다(Haarhoff and Edzwald, 2013; Jamaly et al., 2014; Shutova et al., 2016; Valavala et al., 2011).

해수담수화시설에서 DAF는 고탁도가 유입되거나 조류들이 많이 유입되었을 때 효과적인 공정이지만, 저탁도 조건에서는 운영 비용에 비해 제거량이 낮으므로, 경제성이 낮아지는 단점이 있다. 이러한 DAF의 단점을 개선시키기 위해 DAF의 부상기술과 여과기술을 조합하여 사용한 기존 사례

로 Spidflow®, COCO DAFF®, FloFilter®, Enflo-Filt™ 등이 있다(Brandt et al., 2017; Eades and Brignall, 1995; Gaid, 2011). 하지만 이러한 부상법들의 경우, DAF의 중요 설계인자인 수리학적 부하율은 20~40 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>이지만, 모래여재 여과법의 수리학적 부하율은 10 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>으로 서로 차이가 있다(Anderson et al., 2017). 두 기술의 수리학적 부하율 차이로 인해, 서로 조합시킬 경우 설계에 제약이 생기기 때문에 한 기술에 설계인자를 맞춰 설계하면 다른 기술은 효율성이나 성능 측면에서 불리해지는 문제가 있다.

본 연구에서는 여과법의 수리학적 부하율이 부상법의 수리학적 부하율 수준으로 높일 수 있는 유동성 여과 매체인 볼필터(Ball media filter, BF)를 적용하여, 한 공간에 부상기술과 여과기술을 조합한 용존공기부상 여과시스템(Dissolved Air Flotation with Fiber Ball, DABF)을 개발하였다. 본 연구는 기장 해수담수화시설 현장에 설치된 DABF에서 실규모로 BF에 대한 성능평가를 집중적으로 실험하였으며, 본 실험을 바탕으로 DABF+DMF와 DAF+DMF에 대한 경제성 비교를 진행하였다.

### 2. Materials and Methods

#### 2.1 테스트 공정 구성

부산 기장에 위치한 역삼투압 방식 해수담수화시설에는 스크린 형태의 해수 유입설비(Seawater intake), 해수내의 입자성 물질들을 제거하는 전처리 설비, 염분을 제거하는 RO 설

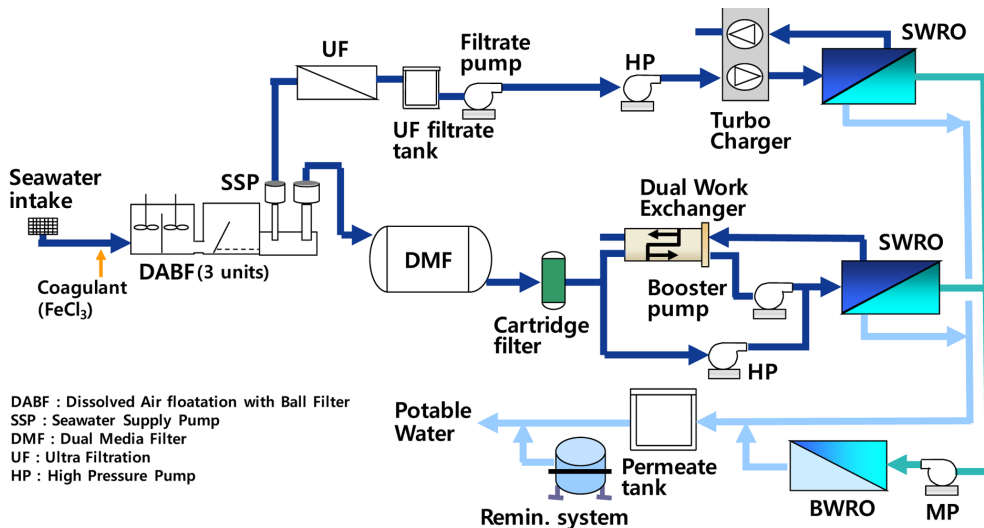


Fig. 1. Gijang SWRO Process Diagram applied with DABF.

Table 1. DABF design parameters

Parameters	Value
Design flow	4,500 m <sup>3</sup> /h
Loading rate	< 25 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> (3 basins operation), < 40 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> (2 basins operation)
Effluent turbidity	< 1 NTU
Design pressure	7 bar (Discharge of recycle pump)
Equipment	Ball media, under drain, saturator, recycle pump, floating hydraulic drain, etc.

비들로 구성된다. 전처리 공정은 2단(2 stages)으로 구성되는데, 첫 번째 단(1<sup>st</sup> stage)인 DABF에서 처리된 후, 두 번째 단(2<sup>nd</sup> stage)인 UF 또는 DMF로 보내져서 처리된다.

DABF에서 통과한 해수는 해수 공급 펌프(SSP)에 의해 UF 또는 DMF로 각각 보내져서 여과된 후, 각각의 고압펌프와 에너지 회수 장치를 거쳐서 SWRO로 유입되어 해수 내의 염분들이 제거된다(Fig. 1).

2.2 DABF 설비 구성

DABF는 DAF와 BF로 구성되어 있는데, BF는 부상조 하부에 약 1m 깊이로 섬유 볼(Fiber Ball)을 적용하였고, 이때 섬유 볼의 크기는 직경 3 cm 수준이다(Fig. 2). 설계 용량은 4,500 m<sup>3</sup>/hr로서 3개의 Basin으로 나누어져 있어 1개의 Basin이 역세척할 경우는 나머지 2개 Basin으로 운전이 될 수 있도록 설계하였다. DABF에는 공기가 용존되도록 공기포화장치(Saturator)가 설치되고, 미세기포가 생성될 수 있도록 DABF 입구부에는 노즐이 설치되어 있다. DABF 상부에는 부상된 스킴이 배출될 수 있도록 부상식 배수 장치가 적용되어 있다. BF는 역세척이 필요하므로, 하부 구조물은 역세척이 가능하도록 유공 블록이 적용되었고, 역세수 배관, 역세공기 배관 등의 장치가 적용 되었다(Table 2).

BF는 모래여재와 달리 시중에 다양한 형태가 있고 공급 가격도 다른 섬유상 여재의 필터이다. 본 연구에서 사용한 BF 여재 사양은 Table 2와 같다. BF 여재의 재질은 내화특성이 우수한 PP로서, 밀도가 낮아 유체의 흐름에 의해 수중에서 유동성을 띠는 특성을 활용하기 위해 유동할 수 있는 공간의 70-80% 정도로 채워준다. 역세와 유체의 흐름에 의한 외부로 유출되거나 처리공정을 방해하는 것을 방지하기 위해 BF의 상부 배출 배관에는 BF 여재보다 작은 다공성 배관을 적용하였다. BF media는 역세를 통해서 오염물을 세척 해주면 반영구적으로 사용할 수 있으며, 섬유상 매체는 공극

률이 크고 밀도도 작아 유동이 용이하므로 여재 전후의 압력 차이가 낮은 특성이 있다.

BF의 성능을 평가하기 위해서 BF 전단과 후단에서 샘플링 할 수 있도록 배관 및 샘플링 펌프를 설치하여 BF 전단과 후단의 샘플을 탁도계(Endlesshausser, CUE22)와 파티클 카운터(PAMAS, S4031)를 통해서 탁도, 입자 크기분포, 입자수 등을 분석하였다.

2.3 장치 운영

부산 기장 인근의 육지로부터 약 330 m 떨어지고 해수면으로부터 6 m 이상의 깊이에서 해저 터널 구조물을 통하여 해수가 유입된다. 이 때, 해수내의 수 밀리미터 이상의 협잡물들은 취수 스크린을 통해 일차적으로 걸러진 후, 해수가 유입된다.

해수에 FeCl<sub>3</sub>를 응집제로 3~10 ppm 범위로 주입한 후, DABF로 유입되는 데, 혼합 및 교반기로 응집 과정을 거친 후, 용존 공기와 접촉한 후 부상조 내부로 유입된다. 상부에는 슬러지가 부상되고, 하부로 이동하면서 BF를 통과한다. BF는 하루에 1번씩 번갈아 역세척을 하는데, 이 때 운전되는 나머지 2개의 Basin에 유입되는 유량이 증가하여 수리학적 부하율이 증가한다. Basin을 3개로 운전할 경우 25 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>의 수리학적 부하율로 운전하게 되고, 2개로 운전할 때는 40 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>로 운전된다. 탁도와 조류가 높은 해수가 유입할 때 반송펌프, 컴프레서 등 DAF의 설비를 전체적으로 가동하고 공기포화기(Saturator)의 압력과 노즐을 통해 미세기포의 크기와 생성량을 조절하여 오염물질을 부상 분리한다(Jung et al 2018; Kim et al., 2018; Kim et al 2017).

DABF는 지하에 위치하여 해수면의 수위에 맞춰 자연 유하로 유입되는 특성으로 인해 DABF의 수위는 해수의 조수간만의 차이에 따라 변동한다.

DABF는 입자성 물질을 제거하는 전처리 기능이 주요목표인 공정으로, 본 연구에서는 BF의 입자성 물질 제거를 초점

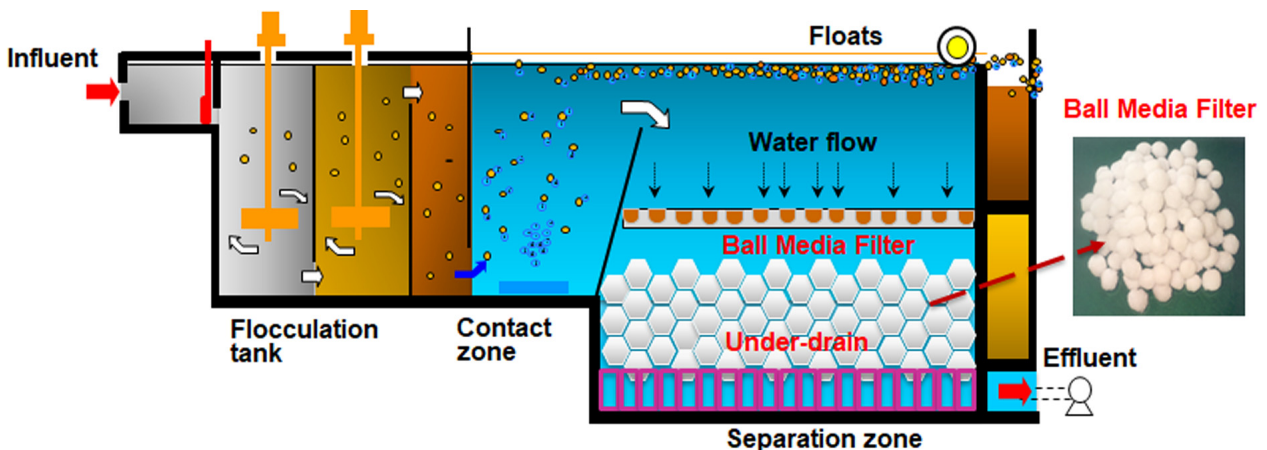


Fig. 2. Structure of DABF.

Table 2. Ball Media Filter Specification

Appearance	Material	Diameter	Density	Bulk density	Specific surface area	Porosity
White color and Sphere shape	PP	25 ± 5mm	1.38 g/cm <sup>3</sup>	75-80 kg/m <sup>3</sup>	3,000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	96%

을 맞춰 평가하였는데, BF 전후의 입자성 물질의 지표인 탁도, 파티클 등을 분석하였다.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 유입수의 성상 변화

해수는 계절에 따라 수온, 염도, TDS, pH 등이 변동하며, TDS는 약 35,000~37,283 mg/L까지의 pH는 7.9~8.3까지의 수질을 나타내고 있다(Table 3). 탁도는 조류와 기상 상황에 따라 수질이 변동하며, 최소 1.2 NTU부터 최고 15.2 NTU까지 나타났다(Fig. 3). 유입 수질 변화에 따라 저탁도일 때와 고탁도일 때를 구분하여 반송펌프의 가동여부를 결정하여 미세기포를 주입하여 운전하였고 유출수의 탁도는 일정하게 <1 NTU를 유지하였다. 부산 기장지역은 최근 10년 동안 거의 매년 적조가 발생하는 지역으로 공기부상공정이 필요한 지역이다. >10 NTU의 고탁도로 유입되는 빈도는 1년에 40회 미만으로 유입되기 때문에 DABF의 설비를 전체적으로 가동한 기간은 10% 미만이다.

본 연구를 통해 DABF를 효율적인 운전을 위해서는 저탁도와 고탁도에 따라 운영방식을 다르게 운전해야 한다. 저탁도로 유입될 때는 BF만 단독으로 사용하여 운전하고 고탁도가 유입될 때는 반송펌프를 사용하여 미세기포를 부상조 내에 주입하여 운전하도록 한다. DABF는 미세기포를 발생하는 동력을 사용하지 않더라도 BF의 여과기능을 보유하고 있어 에너지 절감과 운영의 안정성, 가동률을 높이는 등 운영 유지비용 측면에서 DABF의 경제성이 좋다고 할 수 있다.

#### 3.2 BF 여과 전후의 탁도 성능 평가 실험

BF는 구형태 중심으로 다량의 섬유형태로 구성되어 있어 BF를 통과하면서 입자성 물질은 부착되어 여과되고 물은 통

과한다. 유체의 흐름에 따라 BF는 유동적으로 수중내 움직임을 띄면서 입자성 오염물질을 여과한다. BF의 처리효율은 입자의 크기와 입자의 농도 등 다양한 인자에 영향을 받게 되며, 수중의 탁한 정도를 확인할 수 있는 탁도를 통해 평가하였다.

BF 전단의 탁도가 1~10 NTU에서는 BF를 여과한 후의 탁도는 3 NTU 이하로 유지된다(Fig. 4). BF 전단의 탁도가 높아짐에 따라 탁도 처리효율은 높아진다. 고탁도의 경우에는 입자성 물질의 양이 증가하여 BF와 접촉할 기회가 많아져서 처리효율이 높아졌다고 판단된다. 저탁도에서는 BF가 부착할 수 있는 입자성 물질의 크기의 한계가 있으므로 점차 효율이 낮아진다고 할 수 있다. 공정 측면에서 BF 전단의 탁도 1~10 NTU일 때는 BF를 단독으로 사용하여도 <3 NTU로 공급할 수 있으므로 후속공정의 부하를 경감시킬 수 있는 안정적인 운전이 가능하다고 할 수 있다. BF 단독으로 운전하면 반송펌프와 컴프레서 등을 사용하지 않아 동력비는 절감된다. 하지만 고탁도 혹은 조류가 유입될 경우 후속공정의 제거효율이 낮으므로 반송펌프와 컴프레서 등의 설비 운전이 필요하다.

BF는 역세과정으로 인해 Basin 1개를 역세하면 나머지 Basin 2개에서 기존의 유량에 1.5배 높여 운전해야 한다. 높은 유량에 따른 BF의 성능을 평가하기 위해 Basin의 유입유량을 조절하여 수리학적 부하율을 변동하여 BF전단과 후단의 탁도 성능평가를 하였다.

수리학적 부하율이 BF로 유입되는 수리학적 부하율이 높아질수록 BF의 탁도 제거효율은 감소하지만, 수리학적 부하율 40 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>에서 BF 유출수의 탁도가 1~3 NTU 이하의 성능을 확인하였다(Fig. 5). 유량이 낮으면 BF 위치하는 공간에 체류하는 시간이 길기 때문에 탁도 제거효율이 높아지고 유량이 높아지면 탁도 제거효율이 감소하였다.

Table 3. Seawater qualities

Parameter	pH	Temp. (°C)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/L)	Conductivity (µS/cm)	TDS (mg/L)	TOC (mg/L)
Value	7.9~8.3	12~25	~24.5	~24.6	49,500~55,000	34,500~37,283	~2.4
Parameter	TN (mg/L)	Cl (mg/L)	Boron (mg/L)	Ca (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)
Value	1.3	~20,348	~5.1	~569	~11,392	~1,519	~504

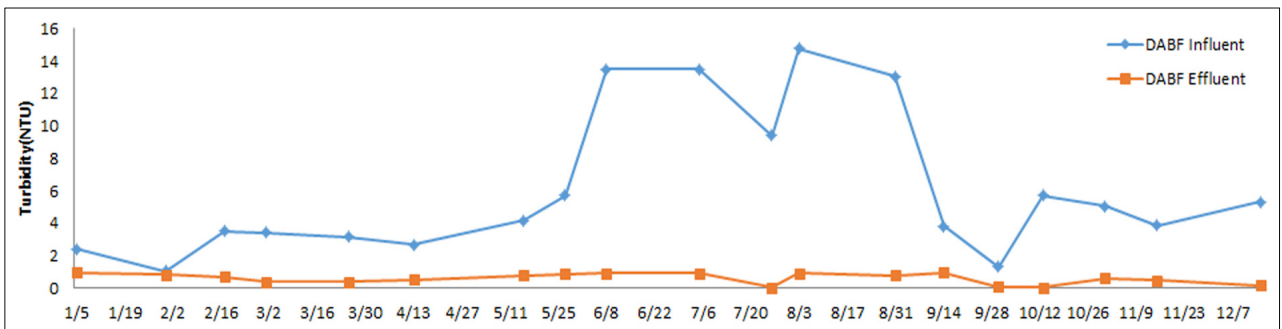


Fig. 3. Performance of DABF.

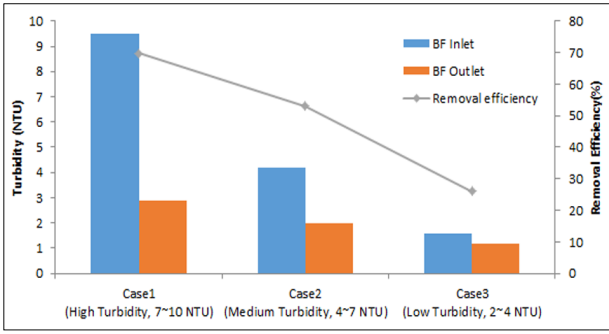


Fig. 4. BF turbidity removal trends.

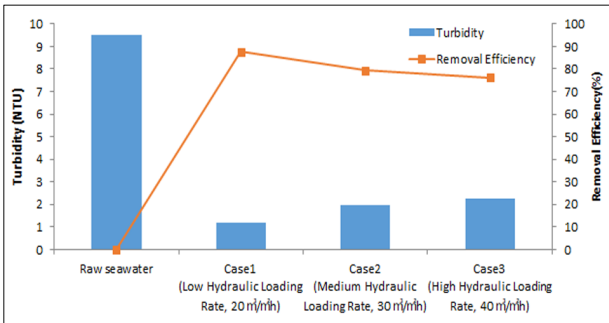


Fig. 5. BF turbidity removal efficiency with hydraulic loading rate.

3.3 BF 여과 전후의 입자 분포

BF의 성능은 입자의 크기에 밀접하게 관련이 있을 것으로 판단하여 저탁도(<5 NTU)와 고탁도(7~10 NTU)일 때 각각의 BF전단과 BF후단의 입자 크기분포와 수를 확인하였다(Fig. 6). 저탁도에서 BF 전단의 입자 크기분포는 주로 5 μm 이하로 분포하고 있다. BF를 통과하면 입자의 크기와 상관없이 입자수는 전체적으로 감소하였고 5 μm 이상의 입자수는 100±50 개/ml 미만으로 나타났다. 고탁도에서 BF 전단의 입자크기 분포는 저탁도일 때보다 전반적으로 상승하였으며, 5~15 μm 이상의 큰 입자들이 분포하였다. 고탁도에서 BF를 통과하면 저탁도일 때와 마찬가지로 입자수는 전체적으로 감소하였고 저탁도일 때와 달리 입자를 제거하는 폭의 차이가 높게 나타났다.

3.4 BF 역세 최적화 실험

다른 여과필터에서 사용하는 여과재와 마찬가지로 BF에

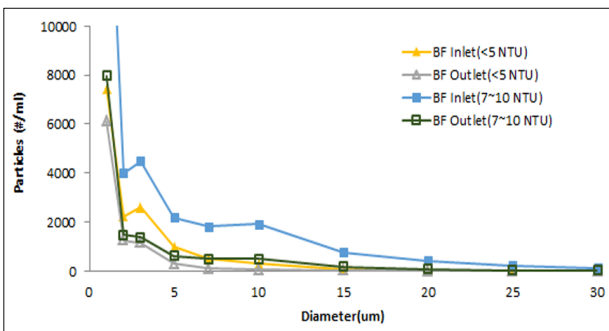


Fig. 6. Particles sizes and number distribution.

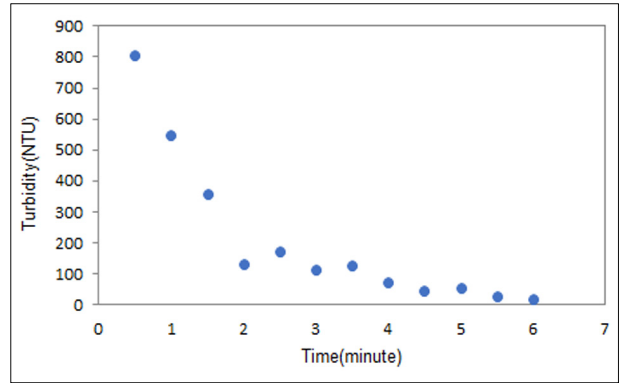


Fig. 7. Turbidity trends of backwashed water.

부착되는 오염물질을 탈착시켜주기 위해 역세를 주기적으로 진행한다. 역세는 1일마다 1회 진행하였고 역세척 용수의 유속은 40 m/h, 공기세척은 유속을 50 m/h로 설정하였다. 이때, BF의 최적의 역세조건을 도출하기 위해 역세시간에 따른 역세수의 탁도를 확인하였다(Fig. 7).

역세시간 초기 2분까지는 역세수에서 고농도의 탁도가 측정되었다. 이는 미세기포 주입 없이 BF 단독으로 운전할 때는 BF에 부착되는 오염물과 BF 공간 하부에 오염물이 침전되고 BF를 역세할 때 BF에 오염물 탈착과 Basin의 바닥에 침전한 슬러지까지 동시에 세척이 가능하다. 역세시간 2분 이후에 역세수는 탁도가 점차 낮아지며, 5분 이후 역세수 탁도의 감소폭이 점차 감소하면서 더 이상 탈착되지 않는 것을 확인하였다. BF는 역세로 주기적으로 세척한다면 파손 및 손실로 인한 여재감소 이외 여재교체 없이 반영구적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

3.5 DABF 경제성 평가

DAF가 적용되는 공정은, 일반적으로 2단(2stage)으로 구성되는데, DABF 후단에는 UF나 DMF와 같은 여과설비가 설치된다. DABF의 후단에는 DMF를 적용할 때 효과가 클 것이므로, DAF+DMF와 DABF+DMF를 상호 비교하고자 하였다. 1단에는 DAF 또는 DABF가 적용되고 설계 및 운전개념에 따라서 2단의 DMF 적용기준이 달라진다. Table 4와 같이 DAF공정과 DABF공정을 기계장치, 콘크리트 타설과 부지면적 등을 포함하는 토목(Civil), 운전유지(O&M) 측면에서 각각 비교하였다. 이때, DAF는 연속운전 여부에 따라 연속운전과 비연속운전일 때 경우로 구분하였다.

DABF 설비구성은 DAF에 비해 BF, 역세를 위한 밸브 및 배관 등이 추가되어 초기비용이 약 1.2배 증가한다. DAF를 비연속운전으로 할 때는 DMF에 부하되는 오염물질의 양이 증가하여 DMF의 수량을 증가시키기 때문에 DABF의 구성과 비교했을 때 거의 유사한 초기비용을 갖는다. 운영비 측면에서 비교했을 때, DABF의 에너지소비량은 연속으로 운전하는 DAF 대비 약 15% 수준이고, 비연속적으로 운전하는 DAF보다는 에너지 소비량이 약간 높은 특성이 있다.



**Table 4.** Comparison between DABF and DAF

Classification		Pretreatment configuration	DABF+DMF	DAF+DMF	
			Intermittent DAF operation with continuous BF operation	Continuous DAF operation (case 1)	Intermittent DAF operation (case 2)
Mechanical parts	1st stage (DABF /DAF)	Basin	Flotation + Filtration	Flotation	Flotation
		Saturator & recycle pump	o	o	o
		Scraper	o	o	o
		Under drain	o	△ (simple)	△ (simple)
		Fiber balls	o	-	-
	Miscellaneous (valves, piping, etc. for backwashing)	△	-	-	
	2nd stage (DMF)	No. of pressure DMF	6	6	8 (7.2 ~ 8.4)
Civil		Footprint	100%	100%	133%
O&M		Operation concept	Intermittent (15%) DAF + continuous BF operation	Continuous DAF operation	Intermittent (15%) DAF operation
		Power consumption	15%<	100%	15%

### 4. Conclusion

적조 및 고탁도에 대비하여 설치한 DAF를 저탁도시에도 효과적으로 운영하고자, DAF 하부에 여과 속도가 빠른 Fiber ball을 적용한 하이브리드 형태의 부상 여과 시스템으로서 DABF를 개발하였다. 일반적으로 여재 방식의 여과설비의 여과 유속은 DAF의 수력학적 부상 속도보다 낮아 적용이 어려웠으나, DABF내의 BF는 여과 유속이 빠르므로, 적절하게 조합시켰다.

DABF를 실규모로 현장에 적용하였는데, BF 유입탁도 5 ~ 10 NTU 구간에서 BF를 처리한 후 탁도는 <2 NTU로 안정적인 수질 성능을 확인하였다. 조류가 유입되는 상황 및 고탁도에서 BF의 성능이 낮아 후속 여과 설비에 부하가 많이 걸리기 때문에 DAF를 가동하여 미세기포를 발생시켜서 수질을 향상시킨다.

기존 DAF와 비교하여 DABF는 BF 역세를 위한 밸브, 배관, 배수 시스템 등과 같은 추가설비가 필요하지만, 후속 공정인 여과설비의 고형물 부하율을 저감시켜서 설비의 크기를 줄이고 설치 면적을 줄이거나 DAF를 정지시키더라도 수질을 안정적으로 유지할 수 있어 에너지 소비량을 줄일 수 있다.

### Acknowledgement

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 플랜트 연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(1485016266)

### References

Amy, G., Ghaffour, N., Li, Z., Francis, L., Linares, R. V.,

Missimer, T., and Lattemann, S. (2017). Membrane-based seawater desalination: Present and future prospects, *Desalination*, 401(2), 16-21.

Anderson, D. M., Boerlage, S. F. E., and Dixon, M. B. (2017). *Harmful Algal Blooms (HABs) and Desalination: A Guide to Impacts, Monitoring and Management*, UNESCO.

Ang, W. L., Mohammad, A. W., Hilal, N., and Leo, C. P. (2015). A review on the applicability of integrated/hybrid membrane processes in water treatment and desalination plants, *Desalination*, 363(1), 2-18.

Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., and Ratnayaka, D. D. (2017). *Twort's water supply (Seventh Edition)*, Butterworth-Heinemann, IWA.

Eades, A. and Brignall, W. J. (1995). Counter-current dissolved air flotation/filtration, *Water Science and Technology*, 31(3-4), 173-178.

Gaid, K. (2011). *A large review of the pretreatment*, Expanding Issues in Desalination, InTech, 3-56.

Goh, P. S. and Ismail, A. F. (2018). A review on inorganic membranes for desalination and wastewater treatment, *Desalination*, 434(15), 60-80.

Haarhoff, J. and Edzwald, J. K. (2013). Adapting dissolved air flotation for the clarification of seawater, *Desalination*, 311(15), 90-94.

Jamaly, S., Darwish, N. N., Ahmed, I., and Hasan, S. W. (2014). A short review on reverse osmosis pretreatment technologies, *Desalination*, 354(1), 30-38.

Jung, J. T., Park, H. J., Han, M. Y., and Kim, T. I. (2018). Importance of bubble bed characteristics in dissolved-air-flotation, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(7), 2214-2218.

Kim, T. I., Park, H. J., and Han, M. Y. (2018). Design parameter estimations for adjustable bubble size in bubble generating

- system, *Water Science and Technology : A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 77(1-2), 1-6.
- Kim, T. I., Temesgen, T., Park, H. J., and Han, M. Y. (2017). Physical characteristics of bubbles in dissolved air flotation processes in seawater reverse osmosis desalination plants, *Desalination and Water Treatment*, 70, 19-23.
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOF). (2019). *Red tide-adaptive general measures 2019*, Ministry of Maritime Affairs and Fisheries. [Korean Literature]
- Shutova, Y., Karna, B. L., Hambly, A. C., Lau, B., Henderson, R. K. and Clech, P. L. (2016). Enhancing organic matter removal in desalination pretreatment systems by application of dissolved air flotation, *Desalination*, 383(1), 12-21.
- Song, M. S., Yun, H. S., Kim, T. W., and Cho, J. M. (2017). Algae Inflow monitoring using satellite images for the process control of the Gijang desalination plant in Busan, South Korea, *Journal of Coastal Research*, 79(SI), 159-163.
- Valavala, R., Sohn, J. S., Han, J. H., Her, N. G., and Yoon, Y. M. (2011). Pretreatment in reverse osmosis seawater desalination: A short review, *Environmental Engineering Research*, 16(4), 205-212.