

## PVDF 가압식과 PE 침지식 분리막을 결합한 2단 막여과 공정의 성능검토 및 회수율 증대 방안 연구

김 준 현·문 백 수·장 홍 진\*·김 진 호\*.<sup>†</sup>·김 병 석\*

인천광역시 상수도사업본부 수질연구소, \*(주) 에코니티  
(2012년 12월 14일 접수, 2013년 1월 22일 수정, 2013년 2월 18일 채택)

### Increase of Recovery Ratio by Two Stage Membrane Process (the Pressurized PVDF Membrane Followed by Submerged PE Membrane)

Junhyeon Kim, Baeksu Mun, Hong-Jin Jang\*, Jinho Kim\*.<sup>†</sup>, and Byungseok Kim\*

Water Quality Research Center, Waterworks Headquarters, Incheon Metropolitan City  
\*ECONITY Co., Ltd.

(Received December 14, 2012, Revised January 22, 2013, Accepted February 18, 2013)

**요 약:** 현재 분리막 여과 공정은 정수처리에서 많은 관심을 받고 있다. 하지만, 분리막의 효율적인 운영을 위하여 ‘혼화/응집(침전)’ 등의 전처리 시설 설치로 인한 부지면적 및 비용증가와 5~10%의 배출수 문제가 추가적으로 발생한다. 그래서 본 연구에서는 전처리 공정 없이 지표수(한강)에 대하여 가압식 PVDF 분리막[(주)에코니티]으로 운전하여 성능을 검토하였으며 그 결과 1년 동안 화학적 세정 없이 여과 flux가 1~2.4 m/d (at 25°C)로 운전되었고, 유입원수의 탁도와 상관없이 분리막 처리수의 탁도는 0.05 NTU 이하로 안정되게 유지되었다. 또한, 회수율 제고를 위하여 1개월 동안 가압식 배출수(역세수 + 배수)를 침지식 PE 분리막[(주)에코니티]으로 연계하여 2단 막여과 운영을 한 결과 전체 공정 회수율을 99.5%까지 증가시킬 수 있었다.

**Abstract:** Membrane filtration processes are increasingly popular for drinking water treatment that requires high quality of water. But pre-treatment system (Coagulation/Flocculation/Sedimentation) requires increased footprint and installation cost. In addition, 5~10% of the concentrate are formed. In this study, the pressurized PVDF membrane (ECONITY Co., Ltd.) system was tested with surface water (Han River, South Korea) without pre-treatment. As a result, permeate flux was operated between 1 m/d and 2.4 m/d (at 25°C) without chemical cleaning for one year and membrane permeate turbidity was maintained stably under 0.05 NTU regardless of raw water turbidity. And we studied application of concentrate treatment of pressurized PVDF membrane by submerged PE membrane (ECONITY Co., Ltd.). As a result, we increased recovery of total treatment process to 99.5%.

**Keywords:** PVDF pressurized membrane, PE submerged membrane, two stage hybrid system, recovery ratio

#### 1. 서 론

현재 우리나라 기존 정수처리 공정 대부분은 응집-침전-모래여과-염소소독으로 구성되어 있으며, 악화되는 수질로 인한 응집제와 염소주입량 증가 문제로 처리수 중에 존재하는 잔류 알루미눔과 소독부산물 증가하는

문제가 대두되고 있다. 이러한 문제 해결을 위해 고도처리 기술로서 제시되고 있는 막여과 고도정수처리 시설은 기존의 고도처리공정과 달리 원수의 수질변화에도 효과적으로 대응할 수 있고, 소요부지면적이 적으며 기존에 설치된 재래식 처리공정을 대신하여 사용할 수 있는 간결하고 유지관리가 용이한 처리공정이라 할 수 있다[1].

최근 국내의 낡고 노후화된 많은 정수시설들의 개량

<sup>†</sup>교신저자(e-mail: stevenk@econity.com)

**Table 1.** Membrane Specifications

Model (membrane) Model (module)	ECO PF 100 (ECONITY PF-90M)	KMS PE 400 (ECONITY CF)
Module type	Pressurized Type	Submerged Type
Manufacturing method	L-L TIPS + Stretching[6,7,8,9]	Stretching[9]
Material	PVDF (polyvinylidene fluoride) hollow fiber	HDPE (Hydrophilized, high density polyethylene) hollow fiber
Membrane	Pore shape	Silt pore
	Nominal pore size (um)	0.1
	Inner/outer diameter (mm)	0.7 / 1.2
	Membrane area/module (m <sup>2</sup> )	90
	Mechanical strength (g/fil.)	1,300

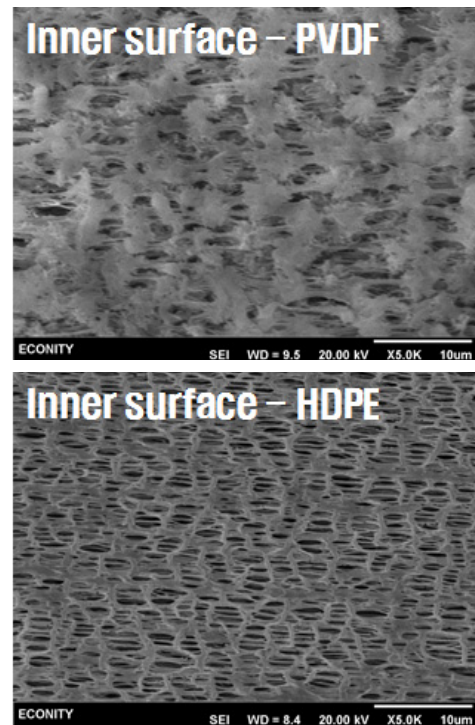


시기가 다가오고 있으며, 높은 수질의 수돗물의 요구에 따른 정수시설 고도화에 대한 필요성으로 인하여 국내에서 막여과 공정의 도입은 가속화될 전망이다.

이러한 분리막을 이용한 정수처리공정은 분리막의 특성에 따라 매우 다양하게 구성되고 있으며, 일반적으로 분리막의 오염현상을 최소화하기 위해 전처리를 적용한 “혼화/응집/(침전)-분리막 여과-(후처리)”의 순서로 이루어진다[2]. 하지만 전처리 시설들이 추가될수록 부지면적, 설치시설, 약품비 증가에 대한 문제가 발생한다.

또한, 분리막은 운전 도중 발생하는 역세수 및 배수에 의하여 배출수를 갖게 되며 이 양은 전체 유입원수의 5~10%이다. 이 배출수는 기존 모래여과 정수공정에 비하여 많은 양이며 최근 방류수 수질기준이 강화됨에 따라 배출수를 관리하고 처리하는 과정이 중요한 부분으로 인식되고 있는 추세이다[3,4]. 현재, 국내에서 막여과 배출수 처리는 기존의 중력식 침강, 응집-Filter, PCF (pore control fiber) filter 또는 기타 배출수 처리 방법을 통해 농축처리 후 방류하는 공정으로 적용되고 있다[5]. 하지만, 기존 설비들은 처리 수질의 안전성, 경제성 문제로 인하여 회수율 제고가 힘들어진다.

그러므로 본 연구에서는 전처리 공정 없이 지표수(한강)에 대하여 가압식 PVDF 분리막으로 운전하여 안정적인 플럭스(flux) 및 처리수질이 유지 가능한지를 검토하였으며, 전체 공정 회수율 제고를 위하여 분리막 소재 단가가 낮은 침지식 PE 분리막으로 가압식 배출수(역세수+배수)를 재처리하여 2단 막여과 공정의 적용가능성을 검토하였다.



**Fig. 1.** Inner surface images of PVDF & HDPE membranes applied for the test.

## 2. 실험

### 2.1. 분리막과 모듈

본 연구에서 사용한 (주)에코니티의 PVDF (polyvinylidene fluoride)와 HDPE (high density polyethylene) 중공사형 분리막의 사양은 Table 1과 같으며, Fig. 1은 연신(stretching)에 의한 분리막 내표(inner surface)의 slit pore 구조를 각각 나타내었다.

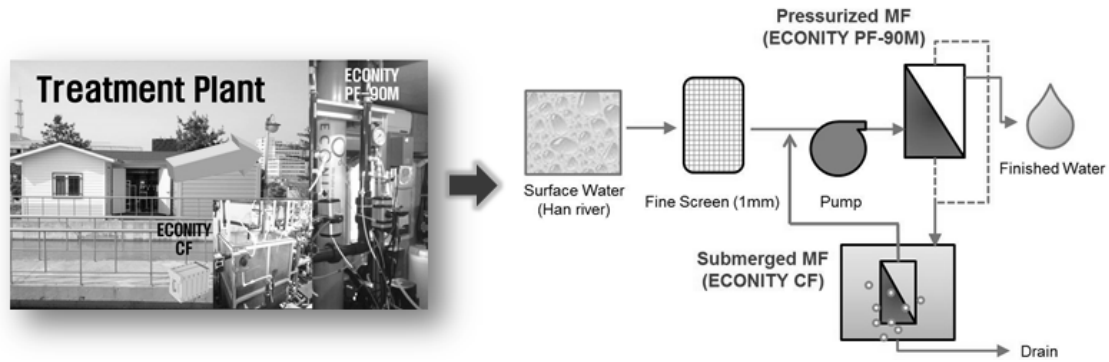


Fig. 2. Process flow schematic diagram MF system.

Table 2. Analytical Methods and Instruments

Items	Units	Analytical methods and instruments
Turbidity	NTU	HACH, ULTRATURB basic sc-Low Range
Particle counts	counts/mL	PAMAS SBSS
SS	mg/L	Standard Method
TOC, DOC	mg/L	Shimadzu, TOC-L
UV <sub>254</sub>	cm <sup>-1</sup>	Shimadzu, Uvmini-1240
Mn, Fe, Ca, Mg, Al	mg/L	Perkinelmer, ICP-MS Nexion 300X
Residual Chlorine	mg/L	HACH, CL-587
THMs	mg/L	Varian, GC CP-3800
HAAs	mg/L	Varian, GC/MS 1200L
SUVA	L · m <sup>-1</sup> /mg	$UV_{254} (cm^{-1}) \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times \frac{1}{DOC (mg/L)}$ (1)
Recovery rate	%	$\frac{[\text{Filtration volume} - \text{Reverse Filtration volume}]}{[\text{Filtration volume} + \text{tank (or module) drain volume}]} \times 100$ (2)

### 2.2. 실험방법

2011년 8월부터 2012년 7월까지 인천시 부평정수장에서 여과 플럭스(flux)를 증가시켜가며 90~135 m<sup>3</sup>/day의 처리용량을 가진 실증 파일럿 플랜트를 운영하였다. 첫 번째, 1단 막여과 실험 공정은 ‘원수(한강)-스크린(1mm)-가압식 PVDF 분리막’의 흐름으로 12개월(4계절) 동안 운영하며 분리막의 투과성능, 수질과 관련된 연구를 진행하였으며 두 번째, 2단 막여과 실험 공정은 회수율 증가를 위해 가압식 PVDF 분리막의 배출수(역세수 + 배수)를 유입 원수로 하는 침지식 PE 분리막을 사용하여 분리막 처리수를 1단 막여과 공정의 유입 원수 측으로 반송하는 연구를 1개월 동안 추가 연구하였다. 전체적인 공정의 흐름은 Fig. 2와 같으며, 각각 분리막의 여과 플럭스, 막간차압(TMP, trans-membrane pressure), 수질 등의 변화를 연속적으로 관찰하였다.

### 2.3. 실험분석

막여과 공정 실험을 진행하면서 분석한 실험은 Table 2와 같으며, Turbidity, Particle counts, SS (suspended solids), TOC (total organic carbon), DOC (dissolved organic carbon), UV<sub>254</sub>, 무기물 분석 등은 유입수, 막여과 처리수, 막여과 배출수, 침지막조 등에서 Sampling 한 시료를 측정하였다. 또한 THMs (trihalomethanes), HAAs (haloacetic acids) 등의 항목 분석은 막여과 공정 중 역세시, NaOCl의 첨가(2~3 mg/L)에 따른 잔류염소 및 소독 부산물의 발생을 확인하기 위해 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 가압식 PVDF 분리막을 이용한 1단 막여과 공정

지표수(한강)를 유입원수로 하여, 약 12개월 동안 화학적 세정 없이 4단계의 flux (1~2.4 m/d, at 25°C)를

**Table 3.** Method of Operation (Pressurized MF)

Method		Dead-end filtration			
Refill	Filtration	Reverse Filtration [Air scrubbing + Finished water (NaOCl 2~3 mg/L, Aug. 2011~Feb. 2012)]		Drain	Recovery rate
1 min	27 min	1 min		1 min	91~93.2% (Average 92.1%)

**Table 4.** Standard Operating Conditions (Pressurized MF)

Parameter		1 <sup>st</sup> conditions	2 <sup>nd</sup> conditions	3 <sup>rd</sup> conditions	4 <sup>th</sup> conditions
		Aug. 2011~Dec. 2011, Summer, Autumn (5 months)	Dec. 2011~Feb. 2012, Winter (2 months)	Feb. 2012~Mar. 2012, Winter (1 months)	Mar. 2012~Jul. 2012, Spring, Summer (4 months)
Raw water	Type	Surface water (Han River, South Korea)			
	Turbidity (NTU)	3~100	2~4	2~4	3~330
	TOC (mg/L)	1.84~3.4	1.54~2.69	1.71~2.26	1.75~3.01
	Flux (at 25°C) (m/d)	1	1.5	2.2	2.4
TMP (at 25°C) (bar)		0.25~0.29	0.30~0.32	0.38~0.42	0.43~0.90
Permeability (at 25°C, 1 bar) (LMH/bar)		180~80	162~99	132~112	103~71
Recovery (%)		91.0	92.2	93.0	93.2
Finished water	Turbidity (NTU)	0.015~0.045	0.01~0.03	0.01~0.03	0.015~0.035
	Particle counts (count/mL)	3~20 $\mu\text{m}$ , 0	3~20 $\mu\text{m}$ , 0	3~20 $\mu\text{m}$ , 0	3~20 $\mu\text{m}$ , 0
	HPC (CFU/ml)	0	0	0	0

설정하여, Table 3과 같이 전량여과(Dead-end filtration) 방식으로 1분 급수, 27분 여과, 1분 역세, 1분 배수하는 방법으로 운전하였다. 다만, 2011년 8월부터 2012년 2월까지의 역세수의 NaOCl 농도를 2~3 mg/L 유지시켰으며, 2012년 3월부터 2012년 7월까지의 역세수에 NaOCl을 혼합하지 않았다.

또한, 단계별로 flux를 점차적으로 증가시킨 운전 결과를 Table 4에서 정리하였으며, 1<sup>st</sup> 단계(여름 & 가을, flux 1 m/d at 25°C) 원수의 탁도는 3.3~100 NTU (평균 9.32 NTU), TOC는 1.84~3.41 mg/L (평균 2.52 mg/L), 수온은 4.3~24.2°C (평균 17.5°C)이었으며, 이때의 처리수 투과율(permeability)은 180~80 LMH/bar (평균 129 LMH/bar, at 25°C, 1 bar), 탁도는 0.015~0.045 NTU (평균 0.023 NTU) 이었다.

2<sup>nd</sup> 단계(겨울, flux 1.5 m/d at 25°C) 원수의 탁도는 2.17~3.9 NTU (평균 2.75 NTU), TOC는 1.54~2.69 mg/L (평균 1.88 mg/L), 수온은 1.7~3.8°C (평균 2.5°C)이었으며, 이때의 처리수 투과율은 162~99 LMH/bar (평균 115 LMH/bar, at 25°C, 1 bar), 탁도는 0.01~0.03 NTU (평균 0.019 NTU) 이었다.

3<sup>rd</sup> 단계(겨울, flux 2.2 m/d at 25°C) 원수의 탁도는 2.68~4.1 NTU (평균 3.27 NTU), TOC는 1.71~2.26 mg/L (평균 2.1 mg/L), 수온은 3.5~5°C (평균 4.6°C)이었으며, 이때의 처리수 투과율은 132~112 LMH/bar (평균 118 LMH/bar, at 25°C, 1 bar), 탁도는 0.01~0.03 NTU (평균 0.029 NTU)이었다.

4<sup>th</sup> 단계(봄 & 여름, flux 2.4 m/d at 25°C) 원수의 탁도는 2.9~330 NTU (평균 17.61 NTU), TOC는 1.75~3.01 mg/L (평균 2.37 mg/L), 수온은 7.3~24.5°C (평균 17.8°C)이었으며, 이때의 처리수 투과율은 103~71 LMH/bar (평균 87 LMH/bar, at 25°C, 1 bar), 탁도는 0.015~0.035 NTU (평균 0.029 NTU)이었다.

결론적으로 시간이 경과됨에 따라 점차 TMP가 증가하는 경향을 보였고, 후반기로 갈수록 TMP 증가율이 빨라졌으며, 분리막 투과율은 71 LMH/bar (at 25°C, 1 bar)까지 감소되었다. 하지만, 처리수의 수질은 시간 경과와 유입원수의 수질과 상관없이, 처리수의 탁도가 0.05 NTU 이하, 병원성 원생동물인 *Giardia*와 *Cryptosporidium* 크기인 3~20  $\mu\text{m}$  입자는 0 count/mL, 일반세균수(HPC, heterotrophic plate count)는 0 CFU/mL로

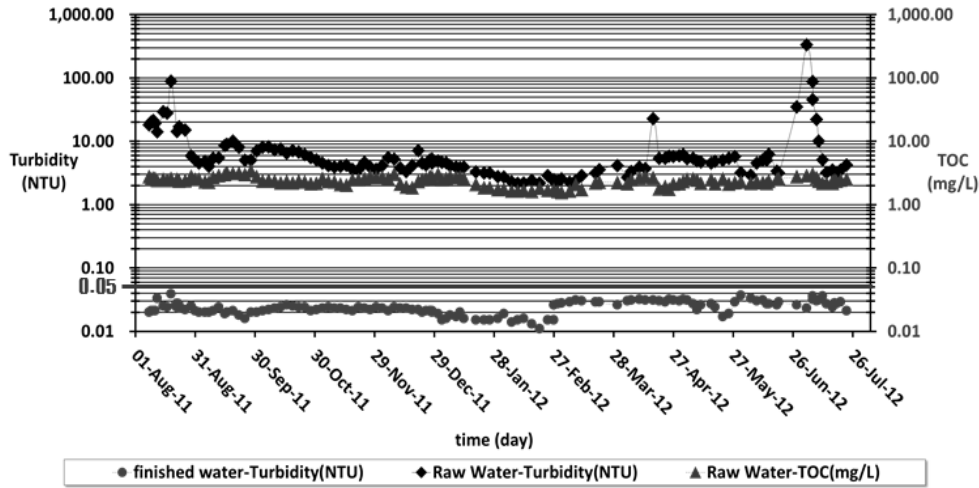


Fig. 3. Turbidity (Finished water, Raw water), TOC (Raw water) during operation period (Aug. 2011~Jul. 2012).

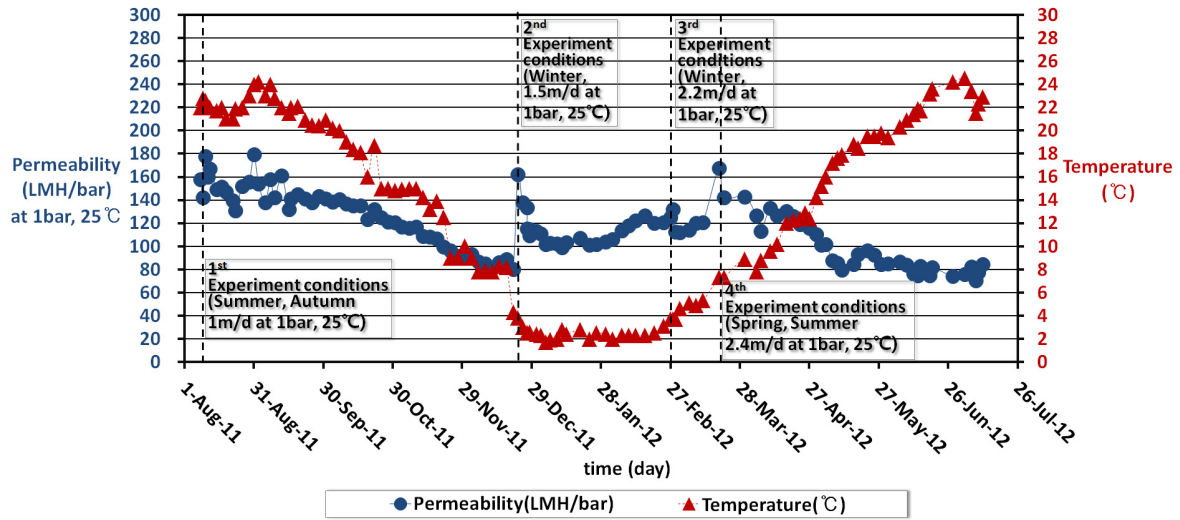


Fig. 4. Permeability (at 1 bar, 25°C) during operation period (Aug. 2011~Jul. 2012).

안전하게 유지되었다.

Fig. 3에 원수의 탁도와 TOC 농도 및 처리수 탁도를 나타내었으며, 12개월 동안 원수의 탁도는 2.17~330 NTU (평균 10 NTU 이하), TOC는 1.5~3.4 mg/L (평균 2.4 mg/L)이었다. 12개월간의 운전 기간 중 처리수 탁도는 0.011~0.039 NTU (평균 0.024 NTU)를 나타내었으며, 원수의 탁도가 300 NTU 이상인 고탁도 시기에도 0.05 NTU 이하의 안정된 처리수질을 유지하였다.

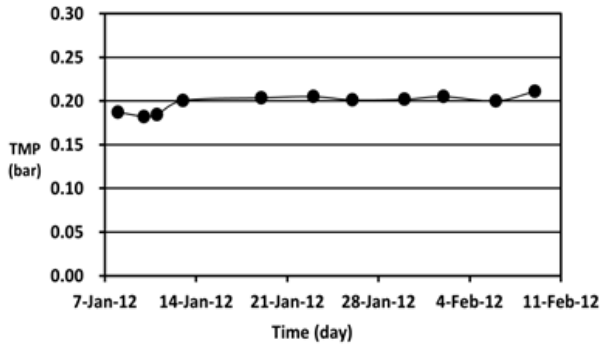
Fig. 4는 화학적 세정 없이 12개월 동안의 분리막 처리수 투과율과 수온의 변화를 나타내고 있다. 수온은 1.7~25°C (평균 14.6°C)까지 변동하였으며, 투과율은 180~71 LMH/bar (평균 116 LMH/bar, at 25°C, 1 bar)

로 관찰되었다.

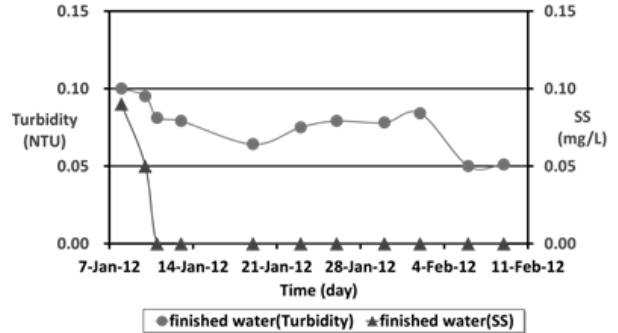
그리고 Figs. 3과 4에서 여름철 집중 호우에 의한 고탁도 시기(Jul. 2012)에 2일 동안 원수 탁도가 3.14 NTU에서 330 NTU로 변하는 동안 처리수 투과율이 12 LMH/bar (at 25°C, 1 bar) 감소되었지만, 2일 동안 원수 탁도가 330 NTU에서 45 NTU 이하로 감소함에 따라서 다시 처리수 투과율이 12 LMH/bar (at 25°C, 1 bar) 증가하면서 집중 호우 전의 투과율로 원상 복구되었다. 즉, 하절기에 집중 호우로 원수 탁도가 높아져도 투과율은 회복될 수 있으며 안정적인 운전이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

**Table 5.** Method of Operation (Submerged MF)

Parameter	Value	Parameter	Value
Term	30 days (Jan. 2012~Feb. 2012)	Reverse filtration (Flux, Time)	1.28 m/d at 25°C, 0.5 min (with aeration)
Filtration (Flux, Time)	0.85 m/d at 25°C, 16 min (with aeration)	Drain	1 time / 30 days
Filtration (TMP)	0.18~0.21 bar at 25°C	Recovery	95%



**Fig. 5.** TMP (at 25°C) during operation period (Jan. 2012 ~Feb. 2012).



**Fig. 6.** Turbidity & SS (Finished water) during operation period (Jan. 2012~Feb. 2012).

**Table 6.** Water Quality of Submerged Membrane System (Average Value for 30 Days)

Parameter	Turbi-dity (NTU)	SS (mg/L)	SS/ Turbi-dity	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	SUVA (l · m <sup>-1</sup> /mg)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Al (mg/L)
Raw water (Feed : Pressurized MF)	2.42	2.2	0.92	1.972	1.670	0.035	2.076	0.017	0.014	24.529	4.480	0.010
Feed (Submerged MF)	22.74	28.78	1.27	3.690	3.338	0.049	1.466	0.075	0.103	25.273	4.067	0.115
Concentrate (Submerged MF tank)	229	306	1.371	14.715	11.904	0.154	1.424	0.214	0.922	30.020	6.136	0.324
Filtered (Submerged MF)	0.089	0.01	-	2.018	1.783	0.034	1.913	ND	0.006	24.845	4.633	0.001

3.2. 침지식 PE 분리막을 이용한 2단 막여과(배출수 처리) 공정

회수율 제고를 위해 가압식 PVDF 분리막과 연계하여 가압식 배출수를 유입원수로 하여, Table 5와 같은 조건으로 약 1개월 동안 침지막조의 배수(drain)없이 16분 여과(폭기), 0.5분 역세(폭기)하는 방법으로 운전하였다.

Figs. 5, 6은 침지식 분리막 시스템의 운전기간동안 TMP의 변화 및 처리수의 탁도, SS를 나타낸 그래프다. 1개월 동안 침지막조의 drain 없이 0.85 m/d의 여과 Flux에서 TMP의 변화는 거의 없었으며 운전 초기에 0.02 bar의 미약한 변동만 확인되었다. 또한 이때의 침지식 분리막 시스템의 회수율은 95%이므로 가압식 분

리막 시스템의 회수율이 91% 이상에서 연계하여 운전하면 전체 회수율 99.5% 이상 달성이 가능하다. 여과수의 탁도는 0.05~0.10 NTU (평균 0.09 NTU), SS는 0.00~0.09 mg/L [평균 0.01 mg/L; 운전 초기(2일)를 제외하면 연속적으로 0.00 mg/L 유지됨; 초기 배관에서 유출된 것으로 사료됨]으로 안정적인 수질을 나타내었다.

침지식 분리막 시스템의 각 부분별 수질은 Table 6에 나타나 있으며, 농축 특성에 따른 침지식 분리막 처리수 수질의 안전성을 알아보기 위해 30일간 drain을 하지 않았다. 우선, 수중의 용존성 물질을 저장할 수 있는 장치(혼화/응집 등)가 없기 때문에 침지식 분리막 처리수와 가압식 분리막 유입원수를 비교하였다. 입자성 물

**Table 7.** Measurement of Free Residual Chlorine, THMs and HAAs

Parameter	Division		Raw water	Drinking water regulations	Concentrate(backwash + drain)
	date		value (mg/L)	Criterion value (mg/L)	value (mg/L)
Free residual chlorine	2012/01/20		0.03	$\geq 0.1 \sim \leq 4$	0.13
	2012/02/06		0.04	$\geq 0.1 \sim \leq 4$	0.17
THMs (trihalomethanes)	2012/ 01/20	THMs	0.012	$\geq 0.1$	0.012
		<sup>1</sup> )CHCl <sub>3</sub>	0.010	$\geq 0.08$	0.010
		<sup>2</sup> )CHBrCl <sub>2</sub>	0.002	$\geq 0.03$	0.002
		<sup>3</sup> )CHBr <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	N. D. (Not Detected)	$\geq 0.1$	N. D. (Not Detected)
	2012/ 02/06	<sup>4</sup> )CHBr <sub>3</sub>	N. D. (Not Detected)	$\geq 0.03$	N. D. (Not Detected)
		THMs	0.013	$\geq 0.1$	0.014
		CHCl <sub>3</sub>	0.011	$\geq 0.08$	0.011
		CHBrCl <sub>2</sub>	0.002	$\geq 0.03$	0.003
	2012/ 01/20	CHBr <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	N. D. (Not Detected)	$\geq 0.1$	N. D. (Not Detected)
		CHBr <sub>3</sub>	N. D. (Not Detected)	$\geq 0.03$	N. D. (Not Detected)
HAAs		0.0067	$\geq 0.1$	0.0069	
<sup>5</sup> )DCAA		0.0036	$\geq 0.09$	0.0040	
<sup>6</sup> )TCAA		0.0031	$\geq 0.004$	0.0029	
<sup>7</sup> )DBAA		N. D. (Not Detected)	$\geq 0.1$	N. D. (Not Detected)	
2012/ 02/06	HAAs	0.0060	$\geq 0.1$	0.0061	
	DCAA	0.0041	$\geq 0.09$	0.0043	
	TCAA	0.0029	$\geq 0.004$	0.0028	
	DBAA	N. D. (Not Detected)	$\geq 0.1$	N. D. (Not Detected)	

1) Chloroform, 2) Bromodichloromethane, 3) Dibromochloromethane, 4) Tribromomethane, 5) Dichloroacetic acid, 6) Trichloroacetic acid, 7) Dibromoacetic acid

질(탁도, SS)은 침지식 분리막 처리수의 수질이 유입원수와 비교할 수 없을 정도로 탁월하며, 수중에 용존되어 있는 물질의 값은 거의 비슷하거나 침지식 분리막 처리수의 농도가 더 낮게 관찰되었다. 이는 입자성 물질들은 분리막의 공극 크기(0.4  $\mu\text{m}$ )로 인하여 처리수로 빠져나가지 못하고 침지막조 안에서 농축되며, 용존성 물질들은 침지막조에 유입 즉시 막을 통해 빠져나가므로 농축이 되지 않지만 철과 망간 이온은 폭기에 의해 산화가 일어나 입자화 되어서 농축된다[10].

결론적으로 회수율 제고를 위하여 미세 스크린을 거친 가압식 분리막 유입원수와 합류하여 재처리하여도 문제가 되지 않을 것이며, 오히려 탁도와 SS의 희석효과로 가압식 분리막 표면에 입자성 물질에 대한 fouling 영향이 감소될 것이라 예상된다. 또한, 추후에 용존 물질의 저감을 위하여 혼화/응집(침전) 공정까지 설비하여 운영한다면, 더 좋은 결과 값을 나타낼 것이다.

또한 전체 공정(가압식/침지식 시스템)의 회수율을 증대시키기 위해서 침지식 분리막 유입 원수로 사용되는 가압식 배출수(역세수 + drain)는 가압식 분리막 표면에 미생물 증식 방지를 위해 역세 시 NaOCl (2~3 mg/L)를 첨가했으므로 이에 대한 침지식 분리막 처리 수질의 안전성을 확보하기 위해서 소독부산물인 THMs (trihalomethanes) 및 HAAs (haloacetic acids) 값을 측정하였고, 결과 값은 Table 7과 같다. 일반적으로 역세 시 NaOCl의 첨가량은 1~5 mg/L이며, 역세수 드레인(drain)의 유리잔류염소가 약 0.1~1 mg/L가 유지되어야지 소독부산물에 대하여 안전하다고 보고된 바 있다[11].

총 2회 측정하였으며 유리잔류염소는 평균 0.15 mg/L, THMs는 평균 0.013 mg/L, HAAs는 0.0065 mg/L로 측정되었다. 먹는 물 수질 기준과 비교하였을 시 기준치 이하의 안전한 농도 값을 가진다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 가압식 분리막 시스템에서 역세척 시 NaOCl을

2~3 mg/L을 첨가하는 것은 가압식 막여과 배출수를 원수로 사용하는 침지막의 처리수 수질에는 영향을 주지 않을 것으로 사료된다. 이에 따라 수온이 높은 여름철에는 막여과 운전 중 역세 시 NaOCl 2~3 mg/L을 혼합해서 역세하는 것은 분리막 표면의 미생물 성장 억제에 효과가 있을 것이라 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 전처리 과정(혼화/응집/침전)이 없는 (주)에코니티의 가압식 PVDF 분리막 시스템은 화학적 세정 없이 12개월 동안 안정적으로 운영되었다. 또한 회수율 제고(99.5% 이상)를 위하여 (주)에코니티의 침지식 PE 분리막 시스템을 이용한 1개월간의 실험도 성공적으로 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 가압식 PVDF 분리막 시스템은 화학적 세정 없이 12개월(4계절) 동안 여과 flux가 1~2.4 m/d (at 25°C)으로 운영되었고 투과율(permeability)은 180~71 LMH/bar (평균 116 LMH/bar; at 25°C, 1 bar)로 관찰되었다.

2) 가압식 PVDF 분리막 시스템은 여름철 집중 호우에 의한 고탁도 시기(Jul. 2012)에 2일 동안 원수 탁도가 3.14 NTU에서 330 NTU로 변하는 동안 처리수 투과율이 12 LMH/bar (at 25°C, 1 bar) 감소되었지만 2일 동안 원수 탁도가 330 NTU에서 45 NTU 이하로 감소함에 따라서 다시 처리수 투과율이 12 LMH/bar (at 25°C, 1 bar) 증가하면서 집중 호우 전의 투과율로 원상 복귀되었다. 즉, 하절기에 집중 호우로 원수 탁도가 높아져도 투과율은 회복될 수 있으며 안정적인 운전이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

3) 가압식 PVDF 분리막 시스템 운전 기간 중, 처리수 탁도는 모두 0.05 NTU 이하를 나타냈으며, 여름철 300 NTU의 고탁도 시기에 0.05 NTU 이하의 안정적인 처리수질을 나타내었다.

4) 가압식 PVDF 분리막 시스템의 배출수(역세수 + 배수)가 유입원수인 침지식 분리막 시스템과의 연계 운전 결과 침지막조의 농축(30일)에 상관없이 침지식 분리막 처리수의 탁도는 평균 0.1 NTU 이하로 안정적인 수질을 나타내었다. 또한, 가압식 분리막 시스템의 유입원수와 용존성 물질의 수질 측정값은 비슷하거나 침지식 분리막 처리수의 농도가 더 낮게 측정되어서, 미세 스크린을 거친 가압식 분리막 유입원수와 합류하여 재처리

하여도 문제가 되지 않을 것이며, 오히려 탁도와 SS의 회석효과로 가압식 분리막 표면에 입자성 물질에 대한 fouling 영향이 감소될 것이라 사료된다.

5) 가압식 분리막 표면에 미생물 증식 방지를 위해 역세 시 NaOCl (2~3 mg/L) 첨가했을 경우, 가압식 분리막 배출수(역세수 + 배수, 침지식 분리막 유입원수)의 소독부산물(THMs, HAAs)인 THMs는 평균 0.013 mg/L, HAAs는 0.0065 mg/L로 측정되었으며 먹는 물 수질 기준과 비교하였을 시 기준치 이하의 안전한 농도 값을 보였다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 가압식 분리막 시스템에서 역세 시 NaOCl을 2~3 mg/L을 첨가하는 것은 가압식 막여과 배출수를 유입원수로 사용하는 침지식 분리막의 처리수 수질에는 영향을 주지 않을 것으로 사료된다.

6) 1단 가압식 분리막 시스템의 회수율이 91% 이상 일 때, 2단 침지식 분리막 시스템(회수율 95%)과 연계하면 99.5% 이상의 총괄 회수율을 갖는 공정이 가능함을 확인하였다.

#### 감 사

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션사업(글로벌 탈탄 환경기술개발사업)”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다(GT-SWS-11-01-003-0).

#### 참 고 문 헌

1. B. G. Lee, K. S. Lee, K. K. Lee, S. H. Kang, and S. H. Kang, “Characteristics of Long Term Period MF Membrane Pilot Plant Operation for Replacement of Sand Filtration”, *Korean Society on Water Environment*, B-3 (2007).
2. J. D. Lee, S. H. Lee, M. H. Jo, P. K. Park, C. H. Lee, J. W. Kwak, “Effect of Coagulation Conditions on Membrane Filtration characteristics in Coagulation-Microfiltration Process for Water Treatment”, *Environmental Science & Technology*, **34**, 17, pp. 3780~3788 (2000).
3. S. Y. Moon, S. Y. Cho, J. E. Park, and C. H. Kim, “Operation result of submerged membrane system for membrane discharged water”, *Korean Society on*



- Water Environment, P-44 (2006).
4. B. V. Bruggen, L. Lejon, and C. Vandecasteele, "Reuse, Treatment, and Discharge of the Concentrate of Pressure-Driven Membrane Processes", *Environmental Science & Technology*, **37**, 17, pp. 3733 ~3738 (2003).
  5. S.-Y. Moon, S.-Y. Cho, J.-E. Park, and C.-H. Kim, "Operation result of submerged membrane system for membrane discharged water", *Korean Society on Water Environment*, P-44 (2006).
  6. C.-H. Heo, K.-M. Lee, J.-H. Kim, and S. S. Kim, "Preparation of PVDF membrane by thermally-induced phase separation", *Membrane Journal*, **9**, 1 (2007).
  7. M. S. Park, J. H. Kim, M. S. Jang, and S. S. Kim, "Preparation of porous PVDF hollow fiber membranes by hybrid process of the TIPS and stretching", *International Conference on Membranes for Green Growth*, Nov. 4-5 (2010).
  8. J. H. Min, N. S. Gil, J. H. Kim, S. S. Kim, and M. S. Jang, "Performance tests of the PVDF hollow fiber membrane prepared by combination of the TIPS and post-stretching process", *AMS6/IMTEC10*, Nov. 22-26 (2010).
  9. J. H. Kim, S. S. Kim, M. S. Park, and M. S. Jang, "Effect of precursor properties on the preparation of polyethylene hollow fiber membranes by stretching", *J. Membr. Sci.*, **318**, 201 (2008).
  10. L. Lin, C. Huang, J. R. Pan, and Y. S. Wang, "Fouling mitigation of a dead-end microfiltration by mixing-enhanced preoxidation for Fe and Mn removal from groundwater", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **419**, 87 (2013).
  11. R. S, M. J. R, "Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence : a review", *Science of The Total Environment*, **321**, 21 (2004).