

2단 섬유여과 공정의 역삼투막 전처리 성능평가

배시열[†] · 윤창한 · 강동효*

(주)성신엔지니어링, *부산환경공단
(2009년 6월 8일 접수, 2009년 6월 24일 수정, 2009년 6월 24일 채택)

Performance Evaluation of the Serially Connected Two Stage Fiber Filter for the RO Membrane Pre-treatment

Si-Youl Bae[†], Chang-Han Yun, and Dong-Hyo Kang*

Sungshin Engineering Co., Ltd. 392-7 Deokpo-Dong, Sasang-Gu, Busan 617-040, Korea

*Busan Environmental Corporation, 1108 Anlak 2-Dong, Dongrae-Gu, Busan 607-102, Korea

(Received June 8, 2009, Revised June 24, 2009, Accepted June 24, 2009)

요약: 본 연구는 SDI (Silt Density Index)를 통해 RO막 전처리 장치로서의 섬유여과기 적용 가능성을 평가한 것이다. 실험 대상 원수는 탁도가 0.76~1.6 NTU인 하수처리장 방류수와 탁도가 2.2~3.3 NTU인 해수 및 탁도가 100 NTU인 지표수이었다. 2단 섬유여과기 공정의 최종여과수인 2차 여과수의 탁도는 17% PAC 10~30 ppm 주입 시 0.07~0.25 NTU였으며 SDI는 1.4~2.8이었다. 하수처리장 방류수에 대해 2단 섬유여과기 pilot 여과수와 실험실 규모의 MF, UF평막 여과수의 탁도 및 SDI₁₅를 측정하여 비교한 결과, 여과수 수질은 2단 섬유여과기 > MF > UF순으로 약간 향상하였으며, SDI₁₅ 차이는 0.7~1.0 수준으로 크지 않았다. 따라서 2단 섬유여과 공정을 RO막 전처리 공정으로 사용할 경우 통상의 RO막 제조사가 요구하는 SDI₁₅ 5 이하를 충분히 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract: This study was for the evaluation of adaptability of the fiber filter as the pre-treatment of the RO membrane through SDI (Silt Density Index) measurement. The turbidity of raw waters were 0.76~1.6 NTU for the effluent of sewer treatment plants (STP) and 2.2~3.3 NTU for sea waters and 100 NTU for the surface water. The turbidity of the 2nd filtrate of the serially connected two fiber filters was 0.07~0.25 NTU and SDI₁₅ was 1.4~2.8 when the 17% PAC was dosed 10~30 ppms. Results of the turbidity and SDI₁₅ of the 2nd filtrate of the fiber filter which were compared with them of the lab scale MF/UF disc filter for the same STP's effluents showed that filtrate quality were enhanced with a little on the order of two stage fiber filter > MF > UF, the difference in SDI₁₅ was only 0.7~1.0. So, the filtrate of the serially connected two stage fiber filter could satisfy SDI₁₅ 5.0 safely which was normally required for the feed water by the RO membrane supplier and it means the serially connected two stage fiber filter could be applied as the pre-treatment process of the RO membrane.

Keywords: reverse osmosis, pre-treatment, water reuse, SDI, fiber filter

1. 서론

현재의 문명을 이끌고 가기 위한 가장 큰 화두 중의 하나가 대체 수자원의 개발이라고 세계의 많은 석학들이 주장하고 있다. 이는 문명이 발달해 감에 따라 기존

수자원의 오염이 심해지고, 이용 가능한 수자원의 지역적 편중이 심해지고 있기 때문이다. 즉, 현재의 원유시대 다음에 오는 시대는 물의 시대라고들 한다.

양질의 방류수가 연중 방류되는 하수처리장 방류수의 재이용 사업은 갈수기에도 안정적으로 수자원을 확보할 수 있기 때문에 이를 적절히 활용하면 천연 수자원 개발을 최대한으로 줄이고 물부족 사태를 적절히 대

[†]주저자(e-mail : bsy@ssecor.com)

처할 수 있어 대체 수자원으로 세계적으로 각광을 받고 있다. 그러나 해안에 위치한 하수처리장의 방류수는 부실한 관망을 통해 침투된 염수에 의해 내륙지방 하수처리장 방류수에 비해 염소이온 농도가 매우 높아 농업용수 수질기준(250 mg/L)을 초과하고 있다. 즉, 염도가 높은 하수처리장 방류수를 농업용수 뿐 아니라 농업용수 등에 이용할 수 있는 대체 수자원으로 활용하기 위해서는 용존되어 있는 염의 제거가 필수적이다[1].

용존되어 있는 염을 분리할 수 있는 여러 가지 기존 기술 중 통상 해수의 염도(약 3%)보다 낮은 농도의 염이 용해되어 있는 물의 경우 처리효율, 시설비, 운전비, 운전 편의성, 운전 안정성 등을 고려한 가장 경쟁력이 있는 기술은 RO막을 이용하는 기술로 알려져 있고, RO막을 사용하기 위해서는 RO막의 오염 방지를 위한 적절한 전처리장치의 도입이 필요하다[2]. 막여과에서 전처리는 물리적(응집, 여과, 흡착 등에 의하여 부유성 현탁물질 제거), 화학적(pH 조절, 산화·환원을 통한 스케일 및 미생물제거)방법으로 막에 부정적 영향을 미치는 물질을 미리 제거하는 것으로 막 오염을 일으키는 미세모래, 미생물, 콜로이드성 물질, 유지, Scale, Slime 등의 제거가 주목적이다. 이러한 목적으로 이용되는 기존의 전처리장치로는 모래여과, 다층여과, 활성탄여과, 정밀여과 등이 있지만, 모래여과 혹은 다층여과의 경우 그 자체로는 RO막 전처리 수질 사양을 만족시킬 수 있는 여과수질을 얻기 힘든 관계로 통상 활성탄 여과와 직렬 연결하여 사용하여야 하기 때문에 고가의 건설비가 필요로 할 뿐 아니라 주기적인 활성탄 교체에 따른 고가의 운전비, 많은 총 역세척량, 넓은 필요 부지면적 등 여러 가지 측면에서 경쟁력이 낮다. 한편 정밀여과(MF, UF, NF)의 경우 가장 효과적인 전처리장치이지만 효과적인 운영을 위해서는 이것 역시 오염 방지를 위한 전처리시설을 도입해야 하며, 고가인 분리막을 주기적으로 교체해야 하기 때문에 역시 유지관리비용이 많이 드는 단점들이 있어 성능과 경제성면에서 만족할 수 있는 전처리 장치라고 주장하기는 어려운 실정이다. 또한 일반하수의 재활용, 상수처리에서도 막여과가 주된 공정으로 고려되고 있으므로, 그 전처리에 대한 연구도 활발하다. 이에 최근 하수처리장 방류수의 부유물질 제거와 정수공정의 응집침전공정의 대체 가능성이 확인된 섬유사여과기[3]를 RO전처리공정에 적용하고자 한다.

섬유사여과기는 RO막 전처리 장치로서의 1차적인

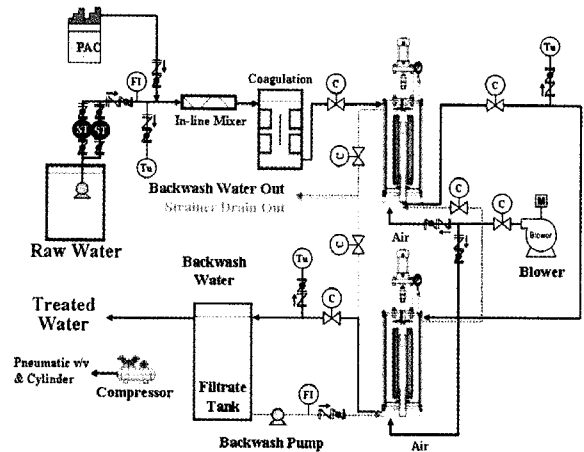


Fig. 1. PFD of the serially connected two stage PCF filter.

수질 조건인 SDI₁₅ 5 이하를 안정적으로 유지하면서 장치의 소형화, 경량화, 운전의 안정적 자동화가 가능하며, 건설비 및 유지비용이 저렴할 뿐 아니라 역세척수 발생비용이 생산수량의 5~6% 수준으로 현존하는 전처리 장치로서는 고효율, 저가비용을 동시에 갖추고 있다.

본 연구는 당사에서 개발한 섬유사여과기의 RO막여과 전처리에 대한 성능을 평가한 것이다. 성능평가는 RO막 장치 전단에 직접 설치해 최소한 2년 정도를 현장운전을 통해 시행하여야 하나, 시간과 재정적 한계성으로 인하여 여과수의 탁도 및 SDI (Silt Density Index) 측정률 통해 간접적으로 RO 및 기타 막의 전처리 장치로서의 가능성을 평가하였다.

2. 실험

2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 섬유사여과기는 Pore Controllable Fiber (PCF) 여과기 두 대를 2단으로 직렬연결한 것으로 공정 구성은 Fig. 1과 같으며, Fig. 2와 같이 pilot은 1/4 크기의 container에 일체형으로 제작되어 있다.

사용된 응집제는 Al₂O₃ 기준 17% PAC이고 인라인믹서와 숙성조(2분)로 응집·숙성하여 2개의 여과기에 각각 주입할 수 있게끔 되어 있다. 약 2분 정도 진행되는 역세공정에서는 blower에서 공급되는 공기를 각각의 여과기에 공급함과 동시에 2차 여과기의 여과수를 역세수로 사용하여 2차 여과기에서 배출되는 역세 배출수를 연속흐름으로 1차 여과기의 역세수로 사용하게끔 하여 역세수 사용효율을 높였다.

MF/UF막과의 전처리 성능 비교는 Millipore사의 0.2



Fig. 2. Photograph of the serially connected two stage PCF filter pilot.

Table 1. Raw Water for the Pilot Test and Test Period

Characteristics	Raw water #1	Raw water #2
High salinity sewer	Busan "N" STP ('08.05~08)	Jeju "D" STP ('07.10~'08.02)
General sewer	Busan "S" STP ('08.04~05)	
Sea water	Near by Busan ('08.07)	Near by Jeju ('07.10~'08.02)
Surface water	Nakdong river ('08.04~05)	

μm MF 및 0.01 μm UF 평막을 사용하여 평가하였으며, RO막이 사용될 수 있는 해수담수화, 하수재활용, 정수처리 공정 등의 각 경우별 2단 섬유여과기 성능을 확인하기 위해서 Table 1과 같이 대상을 선정하고 임의적으로 단기, 중기, 장기실험을 실시하였다.

2.2. 시료 분석

주요 분석항목은 Table 2와 같으며, SDI는 주로 15분 측정값인 SDI₁₅를 사용하였다. SDI₁₅는 RO막에 Colloid 및 부유물질이 미치는 영향을 파악하기 위한 인자로서 전처리장치의 여과성능을 나타내는 가장 중요한 지표이다.

측정방법은 Millipore사 Type HA 0.45 μm의 여과지에 시험수를 2.1 kgf/cm² (30 psi)의 일정압력에서 통과시킬 때 초기 500 mL의 시험수가 여과되어 소요된 시간(T0)와 같은 조건으로 15분간 계속해서 여과 후 500 mL를 여과하는데 소요되는 시간(T15)을 측정하여 다음과 같이 계산한다.

$$SDI_{15} = 100 \times (1 - (T0/T15))/15$$

Table 2. Measuring and Analysis Method

Analysis items	Unit	Measuring tools and methods
Turbidity	NTU	Turbidimeter (HACH 2100P, Micro TOL)
SS	mg/L	Glass Filter Apparatus
COD _{Mn}	mg/L	100°C KMnO ₄ Method
T-P	mg/L	Spectrophotometer (HP 8453)
SDI ₁₅	-	SDI ₁₅ Method
pH	-	pH meter (S20 SevenEasy™)

Table 3. Test Period and Variation of SDI₁₅ of 2nd Filtrates According to Coagulant Dose (Busan "N" STP Effluents)

17% PAC dose (ppms)	Test period	SDI ₁₅
5	5/2~5/15	4.21 (4.90~3.70)
10	5/17~5/29	2.45 (2.90~2.00)
15	8/4~8/16	1.50 (1.70~1.30)
20	8/18~8/30	1.17 (1.30~1.00)

SDI₁₅ 측정은 RO막에서 일어나는 것과 동일한 현상을 이용하는 것이 아니라는 한계가 있지만, RO막 제조업체에서 RO의 성능보장을 위해 통상적으로 요구하는 RO 유입수의 SDI₁₅는 5 이하이며, 3 이하인 경우 Colloid에 의한 RO막 표면 오염은 거의 일어나지 않으며, 5 이상이 될 경우 Colloid에 의해 심한 오염이 일어날 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 2단 섬유여과기 성능 평가 결과

3.1.1. 부산 "N" 하수처리장

부산의 "N" 하수처리장 방류수를 대상으로 2008년 5~8월에 시행된 pilot 실험에서는 응집제 주입농도별로 약 2주씩 약 4개월 동안 연속운전을 하였다(Table 3).

pilot 실험 기간 동안 오염항목에 따른 원수 성상은 Tables 4~7에 정리된 바와 같이 약간의 차이를 보였을 뿐 거의 일정하게 유입되었으며, Fig. 3에서 보는 바와 같이 여과수의 SDI₁₅ 값은 PAC주입농도에 반비례하여 17% PAC 20 ppm 주입 시 평균 1.2까지 감소하여 안정적인 막오염 저감을 위한 SDI₁₅ 3.0 이하 유지는 PAC를 10 ppm 내외로만 주입하여도 가능할 것으로 판단된다.

Table 4 및 Fig. 4는 응집제 주입농도에 따른 탁도제거 효율 변화를 정리하여 놓은 것으로 탁도 제거는 처

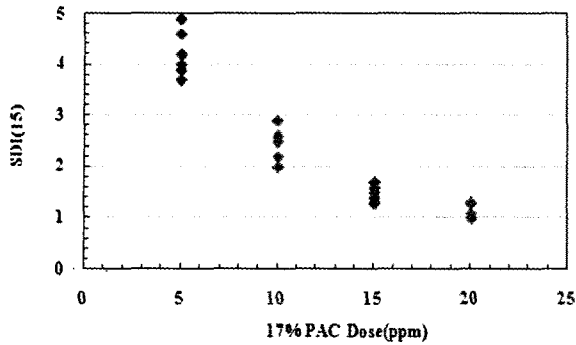


Fig. 3. SDI₁₅ verse coagulant dose (Busan “N” STP effluents).

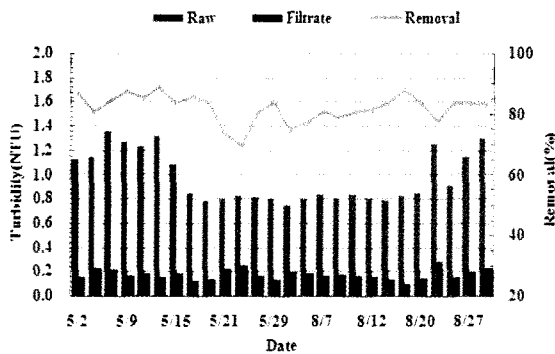


Fig. 4. Turbidity variations according to test date (Busan “N” STP effluents).

Table 4. Turbidity Verse Coagulant Dose (Busan “N” STP Effluents)

17% PAC dose (ppms)	Raw water turbidity (NTU)	2 nd filtrate turbidity (NTU)	Turbidity removal (%)
5	1.22 (1.08~1.36)	0.18 (0.15~0.22)	85.2 (80.7~88.6)
10	0.81 (0.78~0.84)	0.17 (0.12~0.25)	79.3 (69.5~85.7)
15	0.80 (0.75~0.83)	0.16 (0.13~0.19)	79.5 (74.7~83.3)
20	1.04 (0.82~1.29)	0.18 (0.10~0.28)	83.1 (77.6~87.8)

리수의 탁도를 고려할 때 17% PAC 5 ppm 이상 주입 시 원수 탁도에 관계없이 0.16~0.18 NTU로 일정하게 나타났다.

처리수 SS도 Table 5와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 탁도와 마찬가지로 응집제 주입농도나 유입수 SS 농도에 관계없이 여과수 SS농도는 평균 0.2 mg/L, 제거효율은 86~87%로 나타났다.

Table 5. SS Verse Coagulant Dose (Busan “N” STP Effluents)

17% PAC dose (ppms)	Raw water SS (mg/L)	2 nd filtrate SS (mg/L)	SS removal (%)
5	1.9 (1.6~2.2)	0.2 (0.2~0.3)	87.8 (81.3~90.9)
10	1.3 (1.0~1.5)	0.2 (0.1~0.2)	87.6 (80.0~92.9)
15	1.1 (1.0~1.3)	0.2 (0.1~0.2)	86.2 (81.8~90.9)
20	1.5 (1.2~1.5)	0.2 (0.1~0.3)	86.9 (83.3~93.8)

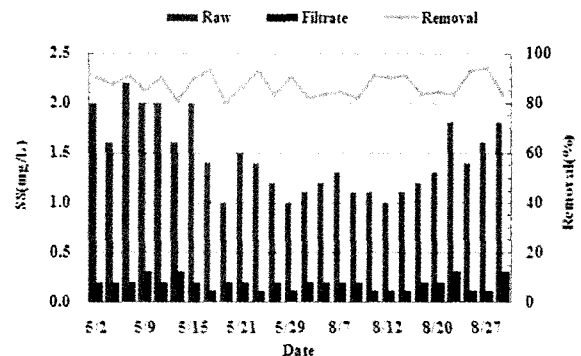


Fig. 5. SS variations according to test date (Busan “N” STP effluents).

이상에서와 같이 SDI₁₅는 일정 탁도 및 SS 이하에서는 탁도 및 SS에 관계없이 PAC주입 농도증가에 따라 감소하였으며, 이는 탁도나 SS로는 측정 불가능한 Colloid 성 물질이 2단 직렬연결 섬유여과기에 의해 제거되었기 때문인 것으로 사료된다.

방류수 중 T-P 농도는 방류수를 이용한 하천유지 용수 재사용 시 부영양화 방지를 위해 대단히 중요한 인자이다. Table 6과 Fig. 6은 약품 주입농도에 따른 T-P 제거효율을 나타낸 것으로 17% PAC 5 ppm 주입 시 T-P 제거효율이 24.5%이었던 것이 20 ppm 주입 시에는 71.5%까지 상승하였다. 이는 섬유여과기를 이용한 응집여과만으로도 T-P저감에 큰 효과가 있음을 나타내는 것이다.

한편 COD_{Mn}의 제거효율도 약품주입량에 따라 8.9%에서 26.5%까지 상승하였으나, T-P만큼의 큰 제거효율 상승은 없었다(Table 7 및 Fig. 7 참조).

3.1.2. 제주 “D” 하수처리장

제주 “D” 하수처리장에서는 방류수를 대상으로 2007년 10월부터 2008년 2월까지 실험하였으며, 이 기간 중

Table 6. T-P Verse Coagulant Dose (Busan “N” STP Effluents)

17% PAC dose (ppms)	Raw water T-P (mg/L)	2 nd filtrate T-P (mg/L)	T-P removal (%)
5	1.295 (0.801~1.826)	0.995 (0.525~1.542)	24.5 (13.7~34.5)
10	1.001 (0.801~1.386)	0.568 (0.425~0.856)	44.0 (38.1~49.6)
15	1.462 (1.288~1.672)	0.667 (0.512~0.842)	54.6 (49.6~60.2)
20	1.517 (1.148~1.784)	0.418 (0.366~0.496)	71.5 (56.8~78.3)

Table 7. COD_{Mn} Verse Coagulant Dose (Busan “N” STP Effluents)

17% PAC dose (ppms)	Raw water COD _{Mn} (mg/L)	2 nd filtrate COD _{Mn} (mg/L)	COD _{Mn} removal (%)
5	14.7 (13.8~15.9)	13.4 (12.5~14.3)	8.9 (2.8~13.2)
10	12.3 (11.2~13.6)	10.4 (9.6~11.6)	15.8 (12.5~18.7)
15	11.6 (9.5~13.6)	9.1 (7.5~10.6)	21.4 (16.8~27.8)
20	11.2 (9.7~12.3)	8.2 (7.3~9.1)	26.5 (24.2~28.9)

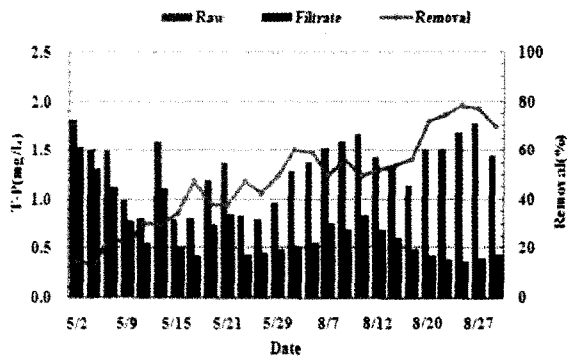


Fig. 6. T-P variations according to test date (Busan “N” STP effluents).

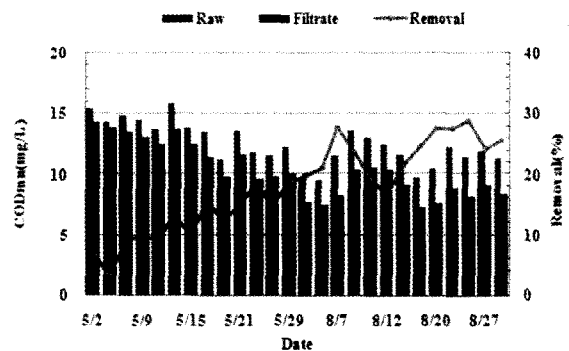


Fig. 7. COD_{Mn} variations according to test date (Busan “N” STP effluents).

각 항목에 대한 제거효율을 Table 8과 Fig. 8에 간략히 나타내었다.

PAC 17%를 20 ppm 주입한 결과 평균제거효율은 SS 93.8%, T-P 92.7%, COD_{Mn} 28.2%, SDI₁₅ 2.75로 부산 “N” 하수처리장과의 비교 시 T-P의 제거효율은 높은 반면 SDI₁₅의 결과값은 상대적으로 높았다. 응집제와 섬유여과기는 동일하게 적용하였으나, 위와 같은 차이를 보인 것은 응집에 의해 T-P나 SDI₁₅가 제거되는 것은 동일하나 방류수 성상에 따라서 그 제거효율은 차이를 보일 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 Fig. 9에서 보는 바와 같이 4개월 이상의 장시간 연속 운전 결과 운전 후 약 90일 경 1차 PCF 여과기의 섬유다발한 개가 내부 고정장치의 파손으로 인해 여과기 내부 바닥에 떨어지는 기계고장 사고가 있었음에도 불구하고, 측정된 SDI₁₅의 85% 이상이 4.0 이하이며, 평균 3.5에서 안정적으로 유지됨을 확인하였다.

3.1.3. 기타 장소

상기 부산 “N” 하수처리장과 제주 “D” 하수처리장

외에 막여과 전처리로서 성능을 평가하기 위해 제주 및 부산 인근 해수와 김해 “D” 정수장 (낙동강) 원수 및 부산 “S” 하수처리장 방류수를 대상으로 SDI₁₅를 위주로 한 단기실험을 시행하였다.

전설한 중장기 실험 결과와 함께 상기 단기 실험의 탁도 및 SDI₁₅에 대한 결과를 정리한 Table 9에 따르면 해수를 대상으로 한 2단 섬유여과기의 여과수 SDI₁₅는 약 2.0으로 나타났으며, 낙동강 하류 지표수를 대상으로 한 단기 실험에서는 100 NTU까지 고탁도 유입조건에서도 여과수 탁도는 0.17 NTU, SDI₁₅는 1.4의 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 한편 부산 “S” 하수처리장 방류수를 대상으로 한 실험에서도 SDI₁₅는 2.8로 3.0 이하의 값을 나타내었다.

또한 부산 “S” 하수처리장과 제주 “D” 하수처리장에서는 MF 혹은 UF와의 전처리 성능비교 평가를 하기 위해 동일한 시료와 응집조건에서 실험실용 MF 평막 및 UF 평막의 여과수 SDI₁₅를 측정하여 2단 섬유여과기 여과수와 비교하였다.

Table 9에 정리된 바와 같이 2단 섬유여과기 > MF

Table 9. Filtrate Quality According to Raw Waters and Filtrate Quality Comparison with Disc MF/UF Membrane (lab) Filtrates

Test Sites	Items	17% PAC Dose (ppm)	Raw water Turbidity (NTU)	Filtrate					
				2 nd Fiber Filter		Disc MF (Lab)		Disc UF (Lab)	
				Turbidity (NTU)	SDI ₁₅	Turbidity (NTU)	SDI ₁₅	Turbidity (NTU)	SDI ₁₅
Sea water	Jeju	30	3.3	0.07	2.0	-	-	-	-
	Busan	20	2.2	0.25	2.1	-	-	-	-
Surf. water	Nakdong river	20	100	0.17	1.4	-	-	-	-
Sewer	Busan "S" STP	20	1.60	0.21	2.8	0.20	2.4	0.14	1.8
High saline sewer	Jeju "D" STP	20	1.18	0.12	2.4	0.10	1.5	0.09	1.4
	Busan "N" STP	15	0.76	0.16	1.7	-	-	-	-

Table 8. Pollutants Removal (Jeju "D" STP Effluents)

Analysis items	Raw water	2 nd filtrate	Removal (%)
SS	3.2 (0.6~9.0)	0.2 (0.0~0.4)	93.8
T-P	1.624 (1.330~1.775)	0.119 (0.026~0.253)	92.7
COD _{Mn}	7.2 (5.0~9.2)	5.2 (3.0~7.0)	28.2
SDI ₁₅	-	3.5 (2.8~4.2)	-

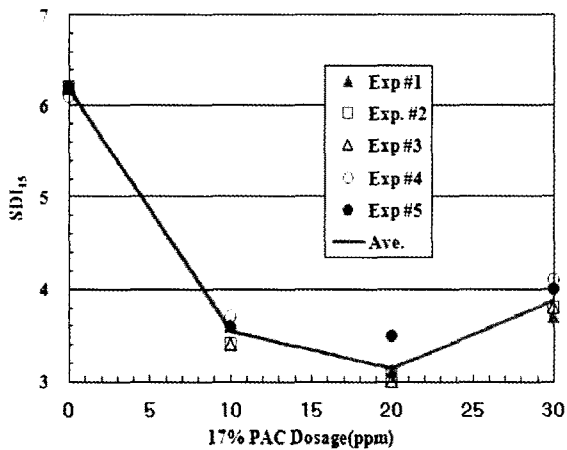


Fig. 8. SDI₁₅ variation according to coagulant dose (Jeju "D" STP effluents).

> UF 순으로 각 여과수의 탁도 및 SDI₁₅ 값이 약간씩 낮아지는 것이 관찰되었으나, 낮은 SDI₁₅ 범위에서의 SDI₁₅ 측정 오차와 전처리 장치 별 SDI₁₅ 차이가 1.0 이하라는 것을 감안하여 보면 2단 섬유여과기의 Colloid 제거성능은 막분리 공법으로 통하는 MF 혹은 UF의 제거성능과 거의 차이가 없는 것이라 할 수 있다.

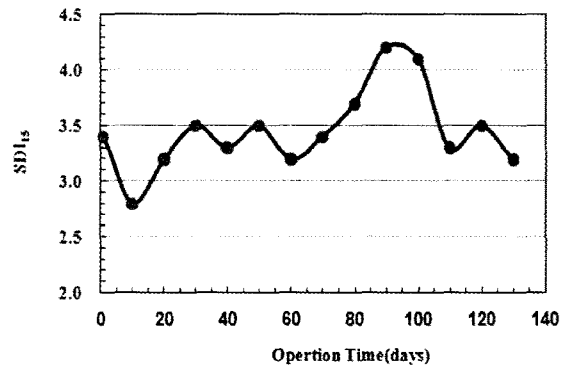


Fig. 9. SDI₁₅ variation according to test date during the long term pilot test (Jeju "D" STP effluents).

3.2. 결과고찰

탁도가 2.2~3.3 NTU인 해수의 담수화를 위한 2단 섬유여과기의 RO막 전처리 실험결과 17% PAC 20~30 ppm 주입 시 2단 여과수의 탁도는 0.07~0.25 NTU, SDI₁₅는 약 2.0으로 나타내었다. 또한 해안가에 인접해 하수처리장의 방류수 중 염분을 함유한 제주 "D" 하수처리장 방류수(탁도 : 1.18 NTU)의 경우는 17% PAC 10~20 ppm 주입 시 탁도는 0.12 NTU, SDI₁₅는 1.7~2.4의 여과수 결과를 보였다. 탁도가 0.76~1.6 NTU인 염분이 없는 하수방류수의 경우는 여과수의 탁도는 0.21 NTU, SDI₁₅ 2.8을 나타내었다.

대형 정수장 원수인 낙동강 물을 대상으로 한 실험에서는 탁도 100 NTU 유입 시 17% PAC를 20 ppm 주입 하였을 경우 여과수 탁도는 0.17 NTU, SDI₁₅는 1.4로 고탁도 유입성상에서도 가장 양호한 결과를 보였다. RO막 전처리 장치로서 2단 섬유여과기의 MF/UF 전처리 장치와의 성능 비교를 위해 제주 "D" 하수처리장과 부산 "S" 하수처리장 방류수에 대해 동일한 조건에서

실험실 규모의 MF 평막과 UF 평막 여과수와 함께 탁도 및 SDI₁₅를 측정하였다. 여과수 수질은 2단 섬유여과기 > MF > UF순으로 약간씩 향상하였으나, SDI₁₅ 값의 차이는 약 1.0으로 이는 실측 시 10초 내외의 근소한 차이를 보여 2단 섬유여과기의 Colloid 제거성능이 거의 정밀여과 혹은 한외여과에 근접하였음을 알 수 있었다.

4. 결 론

RO막 여과 경제성 극대화를 위한 전처리연구의 일환으로 SDI를 중심으로 한 2단 섬유여과기 성능평가 결과 4개월 이상 연속운전 시에도 SDI₁₅ 3.5 이하의 안정적인 수질을 확보하였다. 또한 MF, UF평막과 비교실험에서는 각 여과수의 SDI₁₅가 2단 섬유여과 > MF > UF순으로 감소하였으나, SDI₁₅값의 차이는 약 1.0으로 낮은 SDI₁₅ 측정 시 발생할 수 있는 오차 수준을 감안하면 RO막 전처리로서의 2단 섬유여과기의 성능은 막여과 전처리 수준 정도이라 볼 수 있다. 따라서 RO막 전처리로서 2단으로 직렬연결된 섬유여과 공정은 성능과 경제성을 동시에 만족시킬 수 있는 효과적인 대안이라

고 할 수 있다.

감 사

본 실험에 많은 도움을 주신 부산환경관리공단 산하의 관계자 여러분과 제주 하수처리장 관계자 및 제주환경기술센터 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김창영, “고농도 염분을 함유한 제주지역 하수처리장 방류수의 활용 기술개발”, 제주지역환경기술개발센터 (2008).
2. 김수한, 강석태, 박희경, “RO를 이용한 해수 담수화에 있어서 전처리 최적화 방안”, *대한환경공학회지*, **20(10)**, 1367 (1998).
3. 차재환, 이정준, 임정훈, 김효수, 김종락, 김창원, “섬유사 여과기의 응집-침전공정 대체가능성 평가”, *대한환경공학회 2006 추계학술연구발표회 논문집*, 374 (2006).