

역삼투막 전처리로서의 2단 섬유상 여과기를 이용한 정수처리 연구

배시열·장형욱·윤창한[†]

주식회사 썬

(2010년 3월 22일 접수, 2010년 6월 12일 수정, 2010년 6월 15일 채택)

Potable Water Treatment Study using the Double Stage Fiber Filter for the Pre-treatment of the Reverse Osmosis Membrane

Si-Youl Bae, Hyung-Wook Jang, and Chang-Han Yun[†]

SSENG Co., Ltd., 392-7 Deokpo-Dong, Sasang-Gu, Busan 609-392, Korea

(Received March 22, 2010, Revised June 12, 2010, Accepted June 15, 2010)

요약: 2009년 1월 3일부터 12월 1일까지 11개월간 공업용수를 주변지역에 공급하는 A정수장 응집침전조의 상등수를 대상으로 실험을 진행한 본 연구는 RO막 전처리 장치로서의 압력식 섬유여과기인 PCF 여과기 2대를 직렬연결한 공정의 적용 가능성을 평가한 것이다. 성능평가는 SDI (Silt Density Index)를 통해 간접적으로 RO막에 대한 전처리 성능을 평가하였다. 실험 기간 동안 PCF Filter로 유입된 원수의 탁도는 평균 0.79 (0.28~4.01) NTU이었으며, 처리수의 탁도는 평균 0.16 (0.04~0.50) NTU로 탁도 제거효율은 평균 77%이었다. 일일 평균 처리유량은 약 230 m³/day고 평균 역세유량은 8.7 m³/day로 평균 역세수량은 3.8%로 나타났다. 여과수의 탁도 및 SDI 값은 측정 전 보관시간에 따라 증가하는데 이번 실험에서 몇몇 시료는 1~11일 동안 보관한 후 탁도 및 SDI가 측정되었으며, 이들 전체의 평균 SDI 값은 3.6 (2.26~5.00)으로 RO 제조업체에서 RO의 수명보증을 위해 통상 요구하는 SDI 값인 5.0 이하를 나타내었다. 따라서 RO 전처리공정의 SDI 측면에서 2단 섬유여과 공정이 적합함을 알 수 있었다.

Abstract: This study was to evaluate the performance of the Double stage Pore controllable fiber (DP) filter system as the pre-treatment of the RO membrane. The evaluation for the pre-treatment filter was performed through the indirect method, SDI (Silt Density Index) measurement of the filtrate. This study was done during Jan. 3 of 2009 to Dec. 3 of 2009 at OO Water Treatment Plant that was supplying industrial water to plants, and the raw water was contaminated lake water and it was fed to the system after clarification with coagulation. The average turbidity of the feed water and that of the filtrate was 0.79 NTU (0.28~4.01 NTU), and 0.16 NTU (0.04~0.50) respectively. And so the average turbidity removal efficiency was 77%. The filtrate flow rate and the backwash water flow rate was about 230 m³/day and about 8.7 m³/day respectively, and so the backwash rate was 3.8%. The data for some samples were obtained after a few days storage, and it caused the higher turbidity and SDI₁₅ as the storage time was increased. But average SDI value of the filtrate was 3.6 (2.26~5.00) which was lower than minimum value required by the RO membrane manufacturer as the RO feed water to guarantee the life time of the RO membrane. So, the DP filter system was enough for the application as the pre-treatment of the RO membrane.

Keywords: Reverse Osmosis, pre-treatment, SDI, fiber filter, Double stage

1. 서론

A 정수장은 인근 산업단지에 공업용수만을 전용으로 공급하기 위한 시설로, 원수는 인근에 있는 호소수이다.

그러나 호소수의 수질은 주변에서 미처리된 하수가 유입되어 BOD가 약 3 mg/L 정도로 오염되어 있고, 염의 농도도 약 1,000 µs/cm 정도로 높아 화학응집 후 침전처리를 통해 탁도 1.0 NTU 이하로 처리하여도 공업용수로 사용하기 위해서는 용존된 염을 제거하여야 하는

[†]주저자(e-mail: changhanyun@hanmail.net)

등 재처리가 필요한 상황이다.

본 연구 목적은 A정수장에서 공업용수로서 공급되는 1차 처리수 중의 염을 제거하기 위해 필요로 하는 탈염 장치의 전처리공정으로서 압력식 섬유여과기의 적용 가능성을 평가하는 것이다.

용존되어 있는 염을 분리할 수 있는 여러 가지 기존 기술 중 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.

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, 과량의 역세척수 발생, 넓은 필요 부지면적 등 여러 가지 측면에서 경쟁력이 낮다.

한편, 최근 들어 MF, UF 등의 막여과의 경우 RO 전처리 공정으로서 탁질에 의한 오염을 방지하는 가장 효과적인 전처리 장치이지만[1] 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.

한편, 2006년 중력식 섬유여과기(GFF 여과기)를 2단 직렬로 연결하여 대규모 정수공정의 응집침전공정의 대체 가능성을 확인함으로써 2단 직렬연결 섬유여과공정의 우수한 여과성능이 제시된 바 있으며[2], GFF 여과기 보다 미세입자 여과성능이 더욱 우수한 압력식 여과기인 PCF 여과기[3] 2개를 직렬 연결하여 2009년 주로 하수방류수를 대상으로 RO 전처리로서 SDI 3.5 이하의 안정적 여과가 가능함이 확인된 바 있다[4].

지표수에 대한 2단 직렬연결 공정의 우수성은 소수성 NOM과 친수성 NOM 간의 무기응집제에 대한 경쟁 반응에 의해 나타나는 것으로 주장된 바가 있다[5].

즉, 소수성 NOM과 친수성 NOM이 1:1 비율로 혼재되어 있는 지표수에 무기응집제인 Alum 혹은 PAC 등을 주입할 경우 무기응집제와 응집 반응성이 큰 소수성 NOM이 대부분 응집반응을 함으로써 무기응집제와 반응성이 상대적으로 낮은 친수성 NOM이 무기응집제와 반응할 확률은 대단히 낮아진다. 따라서 1단 여과의 경우 과도한 무기응집제 주입에 의한 응집 Floc의 해체가 되기 전까지 응집제를 주입하여도 대부분의 응집제는 소수성 NOM과 계속적인 반응을 함으로써 소수성 NOM의 크기만 필요 이상으로 크게 할 뿐 친수성 NOM의 크기는 거의 커지지 않아 여과효율 저하의 주원인 물질로 작용하게 된다. 그러나 1단 응집여과에 의해 일단 소수성 NOM이 제거된 상태에서 무기응집제를 다시 주입하게 되면 비록 응집 반응성은 소수성 NOM보다는 낮으나 소수성 NOM이 존재할 때보다는 현저히 높아짐으로써 이를 재차 여과함으로써 MF막에 버금가는 탁질 제거효과를 얻을 수 있다.

이에 본 연구에서는 2단 직렬 연결된 PCF 여과 공정을 생하수 등에 의해 오염된 호소수의 RO 처리를 위한 처리공정에 적용하고자 한다.

PCF 여과기 2대를 직렬로 연결한 Double stage PCF (DP) 공정은 RO막 전처리 장치로서의 기본 수질 조건인 SDI₁₅ 5 이하를 안정적으로 유지하면서 장치의 소형화, 경량화, 운전의 안정적 자동화가 가능하며, 건설비 및 유지비용이 저렴할 뿐 아니라 100 NTU 원수의 통상적인 정수 생산 시 역세척수 발생비율이 생산수량의 5% 이하 수준으로 현존하는 전처리 장치로서는 고효율, 저가비용을 동시에 갖춘 최고의 경쟁력을 지니고 있다[4].

본 연구에서 RO막여과 전처리에 대한 성능평가는 간접적인 방법으로 11개월 가량 현장에서의 연속운전을 통해 여과수의 탁도 및 SDI (Silt Density Index) 측정을 통해 이루어졌다.

2. 본 론

2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 섬유여과기는 Pore Controllable Fiber (PCF) 여과기 두 대를 수직으로 2단 직렬 연결한 것으로 공정 구성은 Fig. 1과 같으며, Fig. 2와 같이 일처리

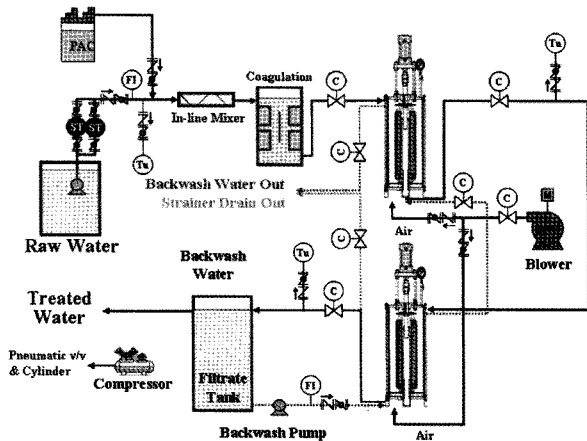


Fig. 1. PFD of the serially connected two stage PCF filters pilot.

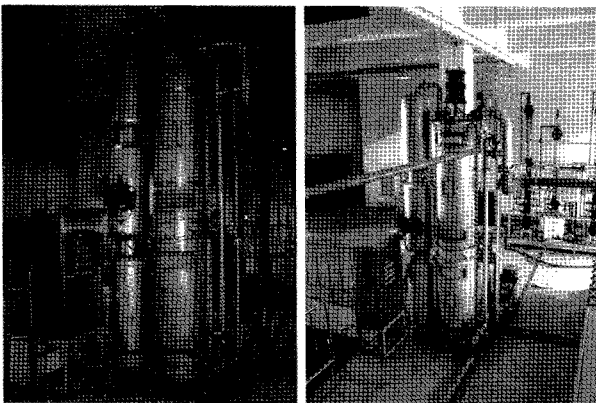


Fig. 2. Photographs of the serially connected two PCF filters pilot.

용량 230 m³/d의 직렬연결형 PCF Pilot이 A정수장 탈수기동 내에 설치되었다.

유입수는 A정수장 공업용수 생산지의 침전조 월류수를 사용하였으며, 전반기는 무응집여과로 운영하였으며, 8월 15일 이후 후반기에는 Al₂O₃ 기준 17% PAC 무기응집제를 인라인믹서에서 원수와 순간혼화한 후 속성조(2분)로 응집·숙성하여 주입하였다.

약 2분 정도 진행되는 역세과정에서는 Blower에서 공급되는 공기를 각각의 여과기에 공급함과 동시에 2차 여과기의 여과수를 역세수로 사용하되 2차 여과기에서 배출되는 역세 배출수를 연속흐름으로 1차 여과기의 역세수로 사용하여 역세수 사용효율을 높였다.

11개월 간의 연속운전은 무인운전으로 이루어졌으며, 수시 현장방문을 통해 HMI (Human Machine Interface)에 의해 10분 간격으로 자동 저장된 유량 및 탁도 자료

Table 1. Operating History During Test Period

Date	Operating Status
1/3 ~ 2/23	Normal operation
2/24 ~ 3/22	Normal operation (Filtrate flow rate : 200 m ³ /d)
3/23 ~ 3/30	Normal operation (Filtrate flow rate : 230 m ³ /d)
4/2 ~ 4/12	Normal operation (Filtrate flow rate : 170 m ³ /d)
4/13 ~ 4/17	Equipments maintenance
4/18 ~ 6/1	Normal operation
6/1 ~ 8/14	Normal operation (Flow rate data lost)
8/15 ~	Normal operation (Start coagulant dose, 17% PAC 5.0 ppm)
10/1 ~ 11/17	Normal operation (Calibration error in the 2nd filtrate turbidity)
11/19 ~ 12/1	Normal operation

를 수집하였고, 이때 SDI 실측을 위한 2차 여과수 시료를 채수하였다. 또한 Table 1과 같이 2월 24일부터 4월 12일까지는 여과유량 조정을 통한 여과수 탁도 및 역세수량 변화를 점검하였고, 4월 13일부터 4월 17일까지는 중간 기기점검을 실시하였다. 이후 6월 1일부터 8월 14일까지는 정상운전 중 현장 컴퓨터 오류로 인해 유량자료가 저장 안되는 문제가 발생하였으며, 10월 1일부터 11월 17일까지는 처리수탁도계의 검량선 오류로 인한 탁도 자료 신뢰성에 다소 문제가 발생하였으나 본 논문에는 보정 없이 기재하였다.

2.2. 시료 분석

주요 분석항목은 Table 2와 같으며, SDI는 15분 측정값인 SDI₁₅를 사용하였다[3]. SDI₁₅는 RO막에 Colloid 및 부유물질이 미치는 영향을 파악하기 위한 인자로서 전처리장치의 여과성능을 나타내는 가장 중요한 지표이다.

SDI 측정을 위해 사용된 여지는 Millepore사 Type HA 0.45 μm이었으며, 약 15분간 계속되는 여과시간 동안 여과압력을 2.1 kgf/cm² (30 psig)로 유지하기 위해 Regulator를 이용하였으나, 여과시간이 경과할수록 여과압이 약간 상승하는 관계로 여과시간 동안 수동밸브를 이용하여 계속해서 여과압력을 미세 조정하였다.

SDI₁₅ 측정은 RO막에서 일어나는 것과 동일한 현상을 이용하는 것이 아니라는 한계가 있지만, RO막 제조업체에서 RO의 성능보장을 위해 통상적으로 요구하는 RO 유입수의 SDI₁₅는 5.0 이하이며, 3.0 이하인 경우 Colloid에 의한 RO막 표면 오염은 거의 일어나지 않음

Table 2. Measuring and Analysis Method

Item	Unit	Analysis equipments / Method
Turbidity	NTU	On-line Turbidimeter (HACH 2100P, Micro TOL)
SDI15	-	SDI15 Method

며, 5.0 이상이 될 경우 Colloid에 의해 심한 오염이 일어날 수 있는 것으로 통상 알려져 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험결과

3.1.1. 유량조정실험

2009년 1월 3일부터 2월 23일까지 230 m³/d로 정상 운전한 후 여과유량을 170~230 m³/d의 범위로 조정해 2월 24일부터 4월 12일까지 운전하였다(Table 3).

여과선속이 증가함에 따라 단위 시간당 여과기에 포집되는 Colloid 등의 오염물 총량이 증가하게 되어 여과지속시간이 짧아지게 되므로(즉, 역세주기가 짧아지게 되어) 회당 역세량이 일정한 경우 역세수율에는 변화가 없어야 하나, 여과선속 증가에 따라 일부 적은 입자의 제거율이 낮아지게 되므로 탁도 제거율은 낮아지게 되는 반면(즉, 여과수 수질이 나빠짐) 역세수율은 좋아지게 되는 것(즉, 상대적인 역세수량이 감소하게 됨) 일반적인 현상이다.

그러나 Fig. 3에 따르면 유입유량에 따른 평균 유입수 탁도 및 평균 여과수 탁도는 각각 0.71~0.77 NTU 및 0.23~0.31 NTU로 큰 차이가 없었다. 즉, 본 연구에서 채택한 유량 구간인 170~230 m³/d에서는 여과선속에 따른 탁도 제거율 차이가 명확히 나타나지 않았고, 실제 탁도 제거율이 57.3~70.4%까지 변화한 것은 다른 원인에 의해 탁도 제거율에서 차이가 생긴 것으로 사료된다. 반면 역세수율은 Fig. 4에서와 같이 확실히

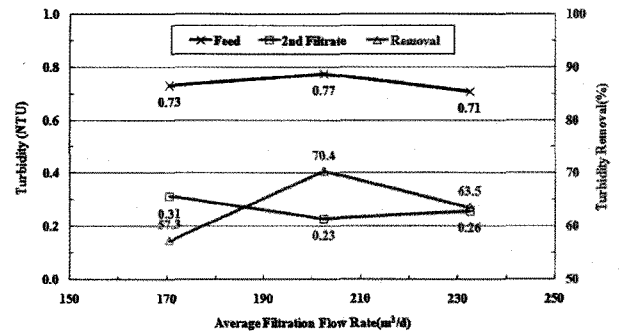


Fig. 3. Turbidity variations according to filtration flow rate.

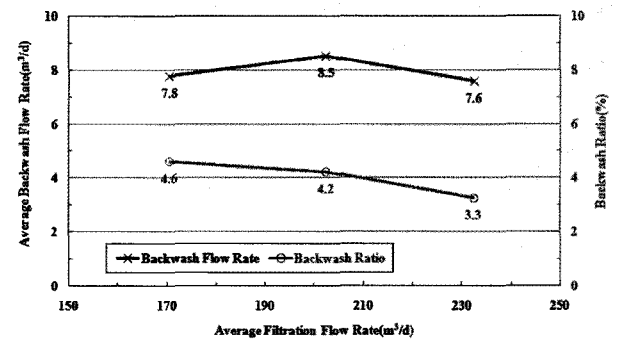


Fig. 4. Turbidity removal according to filtration flow rate (m³/d).

여과선속에 따라 감소하였다.

결과적으로 170~230 m³/d의 여과유량 구간에서는 여과유량 혹은 여과선속 증가에 따라 탁도 제거율의 차이는 큰 차이는 없었으나, 역세수율은 확실히 감소하였기 때문에 4월 1일 이후에는 2월 23일 이전 여과유량인 230 m³/d로 운전하였다.

3.1.2. On-line 탁도 및 유량분석

전 시험 기간 동안의 원수 및 처리수 탁도 변화와 여과유량 및 역세 유량의 일평균 자료를 Table 4에 정리하여 놓았으며, Fig. 5 및 Fig. 6에는 실험기간 동안의 각각 유량변화 및 탁도 변화를 그래프로 나타내었다.

Table 3. Summary of Test Conditions and Results for Turbidity

Test period	Average flow rate (m ³ /d)			Average turbidity (NTU)		
	Filtration	Backwash	Ratio (%)	Feed	2nd Filtrate	Removal (%)
4/2~4/12	170.5	7.8	4.6	0.73	0.31	57.3
2/24~3/22	202.3	8.5	4.2	0.77	0.23	70.4
3/23~3/30	232.5	7.6	3.3	0.71	0.26	63.5

Table 4. Performance of DP System During Whole Test Period

Filtration flow rate (m ³ /d)	Backwash flow rate (m ³ /d)	Backwash ratio (%)
237.5 (164.2~252.1)	8.93 (3.9~12.9)	3.8 (2.0~5.8)
Feed water turbidity (NTU)	2nd filtrate turbidity (NTU)	Removal efficiency (%)
0.77 (0.28~4.01)	0.15 (0.04~0.50)	76.9 (53.9~97.9)

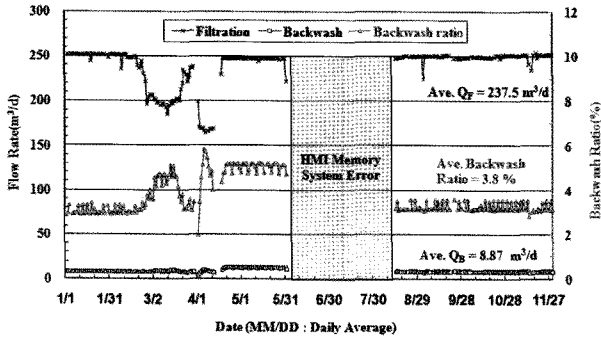


Fig. 5. Flow rate variations during test period.

전 실험기간 동안의 평균 여과유량은 237.5 m³/d이었으며, 역세유량은 8.93 m³/d로 평균 3.8%의 역세수율을 나타내었다. 6월 1일부터 8월 14일까지는 HMI Memory System상의 이유로 프로그램 수정이 즉각적으로 이루어지지 못하여 Pilot 운전은 시행되었으나 유량부분이 기록되지 못하였다(Fig. 5).

Fig. 6에서 보는 바와 같이 유입 및 처리수 평균 탁도는 각각 0.77 NTU와 0.15 NTU로 평균 76.9%의 탁도 제거효율을 나타내었다.

무기응집제 주입에 따른 탁도 제거율 및 여과수 수질 차이를 비교하기 위해 8월 15일 이후에는 약품 펌프의 재현성을 구현할 수 있는 최소 약품 주입농도인 17% PACl 5.0 ppm을 주입하였으며, 이때 여과수 탁도는 0.10 NTU (제거율 : 83.1%)로 무약주 여과 시 0.20 NTU (제거율 : 70.2%)보다 향상되었다.

11월 9일 탁도 제거효율이 일시적으로 39.1%까지 감소하였는데, 이는 유입수 탁도가 0.31 NTU까지 급감한 반면 처리수 탁도는 일정하였기 때문이다. 또한 10월 1일 이후 처리수탁도가 지속적으로 상승한 부분은 처리수 탁도계 내부 셀의 자동세정장치에 오류가 발생하여 지속적으로 셀 표면에 colloid 성분이 침적되었기 때문이며, 11월 18일 수동세정 이후에 정상화되었다.

탁도 및 유량측정결과 17% PACl를 5.0 ppm의 저농도로 주입할 경우 여과수 탁도는 0.1 NTU 내외의 안정적인 운전이 가능하였고, 처리유량은 여과수질에 상관

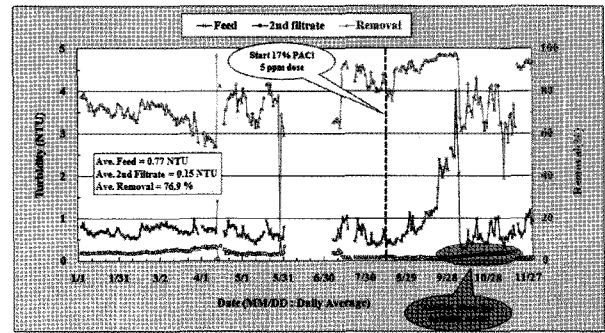


Fig. 6. Turbidity variations during test period.

없이 170~230 m³/d까지 가능하였으며, 처리유량이 증가할수록 역세수율은 감소하였다.

3.1.3. SDI₁₅ 분석

Table 5에서와 같이 SDI 측정은 수기로 측정해야 하는 특성으로 인해 전자동으로 운전 중 현장 방문시만 현장측정이나 운반 측정하여 다소 불규칙하였으며, 운반측정은 측정 장비의 현장이동이 용이치 않은 관계로 경우에 따라 시료를 채취한 후 실험실로 운반하여 보관한 후 SDI측정을 수행한 것이다.

이에 따라 일부 자료는 현장에서 실험실까지 시료 운반에 시간이 경과할수록 탁도 및 SDI 값의 증가를 보였다. 이는 BOD가 약 2.0인 여과수가 시간이 지남에 따라 미생물 증식에 따른 수질 악화가 일어난 것으로 추정된다. 그러므로 9월 25일, 10월 5일에는 동일한 시료로 현장측정 및 1일~11일 경과 후 실험실 측정을 병행하여 기존 실험실 측정 SDI값을 보정하였다.

실험실 측정결과를 제외한 현장 SDI 측정결과를 정리한 Fig. 7에 따르면 평균 처리수 탁도는 0.11 NTU이였으며, 이때 처리수의 SDI는 평균 3.6을 나타내었다.

또한, 실험실 측정결과를 현장 측정결과로 보정한 경우에도 평균 탁도는 0.13 NTU, SDI는 3.44로 큰 차이를 보이지는 않았다(Fig. 8).

한편, 현장 측정 자료인 Fig. 7의 자료를 이용하여 2차 여과수 탁도 대비 2차 여과수의 SDI 값 간의 상관

Table 5. SDI₁₅ During Test Period

Date	SDI ₁₅				Turbidity (NTU)		
	Field analysis		Lab analysis		Feed	2nd filtrate	Removal (%)
	Value	Remark	Value	Storage(days)			
1/16	3.19	Field	-	-	0.62	0.14	77.4
1/28	4.08	Field	-	-	0.32	0.14	56.3
2/9	3.72	Field	-	-	0.44	0.10	77.3
2/27	4.32	Field	-	-	0.61	0.12	80.3
3/3	3.33	Field	-	-	0.27	0.08	70.4
6/9	3.98	surmise	5.39	1	0.50	0.12	76.0
6/19	5.00	Field	-	-	0.42	0.09	78.6
6/19	4.95	Field	-	-	1.82	0.07	96.2
6/25	4.77	surmise	6.43	2	1.82	0.20	89.0
7/3	4.62	surmise	6.28	2	0.89	0.18	79.8
7/10	4.15	surmise	6.56	4	1.10	0.19	82.7
7/17	0.92	surmise	3.33	4	0.69	0.06	91.3
7/28	0.58	surmise	4.24	9	0.39	0.09	76.9
8/5	1.85	surmise	3.26	1	0.44	0.09	79.5
8/14	2.70	surmise	5.11	4	1.64	0.18	89.0
8/24	2.90	surmise	4.31	1	1.05	0.11	89.5
9/9	5.09	surmise	6.50	1	1.54	0.26	83.1
9/15	3.59	surmise	5.00	1	1.48	0.19	87.2
9/25	2.26	Field	6.31	11	0.84	0.04(0.22)	95.2
10/5	2.39	Field	3.80	1	0.51	0.06(0.09)	88.2
10/23	3.33	Field	-	-	0.62	0.14	77.4
10/29	4.12	Field	-	-	0.61	0.15	75.4
11/13	3.14	Field	-	-	0.65	0.21	67.7
11/18	2.63	Field	-	-	0.58	0.21	63.8
11/19	3.70	Field	-	-	0.87	0.06	93.1
11/25	3.97	Field	-	-	0.96	0.06	93.8
12/1	3.49	Field	-	-	0.94	0.06	93.6
Field only	Ave	3.60			0.69	0.12	80.3
	Max	5.00			1.82	0.21	96.2
	Min	2.26			0.27	0.06	56.3
Total	Ave	3.44			0.84	0.13	81.8
	Max	5.09			1.82	0.26	96.2
	Min	0.58			0.27	0.06	56.3

관계를 그래프로 표현한 Fig. 9에 의하면 탁도가 낮을수록 SDI 값도 당연히 낮아지는 전체적인 상관관계가 있으나, 분산의 정도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 전

설한 바와 같이 원수에 포함된 용존 유기물 농도가 높아 시료 채취 시마다 그 농도의 변화에 따른 SDI 변화가 있었던 것으로 추정된다.

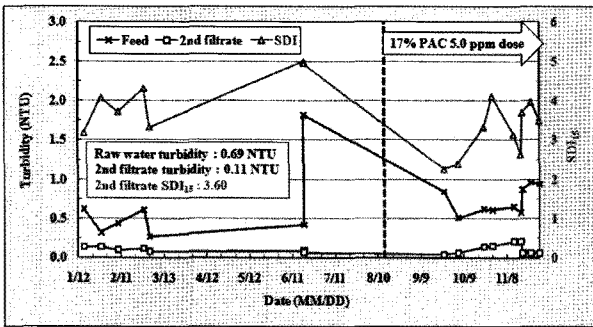


Fig. 7. SDI₁₅ variations during test period in field.

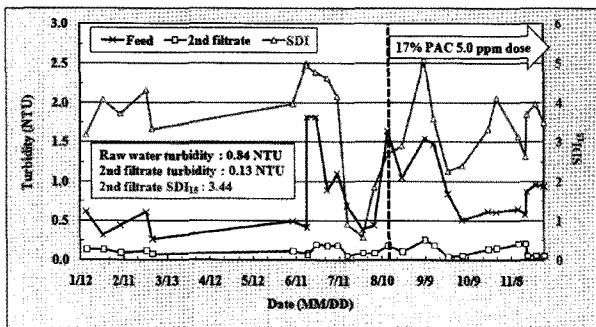


Fig. 8. SDI₁₅ variations during test period after surmise data measured at lab.

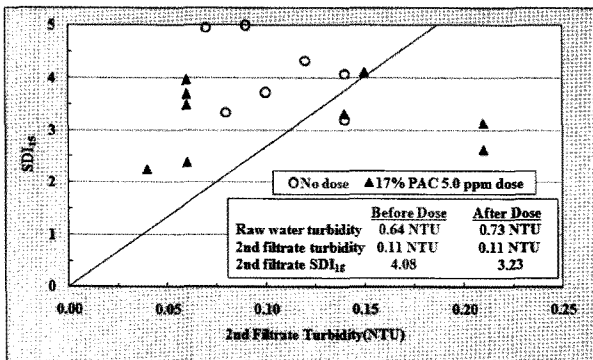


Fig. 9. Relationship between turbidity and SDI.

또한 무약주 시에 비해 17% PAC 5.0 ppm의 무기용 집제를 주입하였을 때 유입수의 탁도가 약간 높아진 상황에서도 여과수 SDI가 약 0.8 정도 개선되었을 뿐 아니라 여과수 탁도가 평균 0.2 NTU 정도로 약간 높아진 경우에도 SDI 값은 평균 3.0을 유지하였다. 즉, 아산 정수장 화학응집 침전 상등수의 경우 17% PAC를 약 5.0 ppm 정도 주입하여 전 처리하는 것이 RO 유입수 생산 시 훨씬 안정적임을 알 수 있다.

결론적으로 아산 정수장 화학응집 침전 상등수를 RO

Table 6. Summary of Feed & Filtration Water Quality

Items	Feed water	2nd filtrate
SDI ₁₅	Minimum	-
	Maximum	5.00
	Average	3.60
TDS (mg/L)	Minimum	86.4
	Maximum	472
	Average	296
TOC (mg/L)	Minimum	3.05
	Maximum	4.98
	Average	3.9
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	Minimum	0.0294
	Maximum	0.0808
	Average	0.0594
Turbidity* (NTU)	Minimum	0.13
	Maximum	1.82
	Average	0.85
pH	Minimum	6.44
	Maximum	7.49
	Average	7.00
Alkalinity	Minimum	19
	Maximum	88
	Average	62
Total Hardness	Minimum	36
	Maximum	186
	Average	144

* : only for SDI measured samples

유입수로 사용하기 위해서 2단 직렬연결 PCF 여과기 공정을 전처리공정으로 사용할 경우 17% PAC 약 5.0 ppm을 주입하여 여과하는 것이 RO 전처리수의 수질 안정성 향상에 크게 도움이 되며, 이 경우 2단 직렬연결 PCF 여과공정의 여과수 SDI는 최대 5.0을 넘지 않았으며, 평균 3.23을 보여, 2단 직렬연결 PCF 여과공정이 RO 전처리 공정으로 충분히 사용 가능함을 알 수 있었다.

3.1.4. 기타 분석

전처리 장치인 DP System은 용존성 오염물질의 제거와는 무관하기 때문에 TDS, TOC, UV₂₅₄, pH, 알칼리도, 경도와 같이 용존성 물질에 관련된 오염항목의

경우 Table 6에 정리된 바와 같이 주기적인 측정결과 유입수와 처리수의 차이는 미약하였다.

3.2. 실험고찰

본 연구에 사용된 PCF 여과기는 일처리용량 230 m³/d로서 두 개의 PCF 여과기를 수직으로 직렬 연결한 Double stage PCF (DP) system Pilot이며, A정수장 탈수기동 내에 설치되었다. 유입수는 인근 호소에서 취수된 원수를 A정수장에서 응집침전 처리한 공업용수를 사용하였으며, 역세공정에서는 Blower에서 공급되는 공기를 각각의 여과기에 공급함과 동시에 2차 여과기의 여과수를 역세수로 사용하되 2차 여과기에서 배출되는 역세 배출수를 연속흐름으로 1차 여과기의 역세수로 사용하여 역세수 사용효율을 높였다.

11개월 간의 연속운전은 무인운전으로 이루어졌으며, 탁도 및 유량측정결과 무기응집제인 17% PACl를 5.0 ppm의 저 농도로 주입한 경우 여과수 탁도는 0.1 NTU 내외의 안정적인 운전이 가능하였고, 170~230 m³/d 사이에서의 유량변화에 따른 여과수 탁도 변화는 미미하였으나, 처리유량이 증가할수록 역세수율은 감소하였다.

실험실 측정결과를 제외한 현장 SDI 측정결과를 통계하면 DP 공정 Pilot의 평균 여과수 탁도는 0.11 NTU 이었으며, 이때 SDI는 평균 3.6을 나타내었다. 실험실 측정결과를 현장측정 결과로 환산해 통계한 경우도 평균 탁도 0.13 NTU, SDI 3.44로 큰 차이를 보이지 않았다.

처리수 탁도의 차이로 인한 SDI값의 두드러진 차이를 발견할 수 없었는데, 이는 유입수에 용존 유기물의 농도 변화가 주요인일 것으로 사료된다.

탁도에 따른 SDI 값의 불안정성이 존재함에도 불구하고 실험실 및 현장측정 SDI를 고려하면 실험기간 동안 모두 5.0 이하를 만족시킴으로써 RO전처리 장치로서의 적용 가능성은 충분하다고 할 수 있었다.

전처리 장치인 DP System은 용존성 오염물질의 제거와는 무관하기 때문에 TDS, TOC, UV₂₅₄, pH, 알칼리도, 경도와 같이 용존성 물질에 관련된 오염항목의 경우 주기적인 측정결과 유입수와 처리수의 차이는 미약하였다.

4. 결 론

RO막 여과 경제성 극대화를 위한 전처리연구의 일환으로 SDI를 중심으로 한 2개의 PCF여과기가 직렬 연

결된 DP공정의 성능평가 결과 11개월 이상 연속운전 시에도 SDI₁₅ 3.6의 안정적인 수질을 확보하였다. 또한 최대값도 5.0을 넘지 않고 전 운전기간 안정적인 처리 수질을 만족한 것을 고려하면 RO막 전처리로서의 2단 섬유여과기의 성능은 대단히 훌륭하다고 볼 수 있다. 그러므로 RO막 전처리로서 2단 섬유여과기는 성능과 경제성을 동시에 만족시킬 수 있는 효과적인 대안이라고 할 수 있다.

또한 앞으로 MF 및 UF막과의 BWRO연계 성능비교 실험을 통해 전체 운영 System에서의 경제성을 체계적이고 객관적으로 비교하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 논문은 2009년 환경부 국책과제인 차세대 과제에 의해 지원되었으며, 아울러 본 실험에 많은 도움을 주신 한국수자원공사 산하의 관계자 여러분께 깊은 감사 를 드리오며, 앞으로도 다각적인 협력으로 지역경제발 전과 환경보전을 위해 열심히 노력하겠습니다.

참 고 문 헌

1. S.-H. Moon, H.-W. Lee, and K.-S. Ko, "Concentration of Vanadium in Jeju Groundwater Using Reverse Osmosis Processes", *Membrane Journal*, **18(3)**, 241 (2008).
2. S.-Y. Bae, C.-H. Yun, D.-J. Park, and G.-T. Seo, "On-Site Pilot Test Results of Gravity Flow Fiber (GFF) Filter to Produce Drinking Water", 4th International Symposium on Southeast Asian Water Environment (Thailand) (Dec. 7, 2006).
3. Environmental Management Corporation, "New Environmental Technology (NET) Report (Verification No. 62, Certificate No. 87), Filtering technology for Suspended Solid (SS) in the sewage effluent with the rotating device of the fiber bundles for twisting (Twist Filter)", Department of Environment of Korea (May 2004).
4. S.-Y. Bae, C.-H. Yun, and D.-H. Kang, "Performance Evaluation of the Serially Connected Two Stage Fiber Filter for the RO Membrane Pre-treatment", *Membrane Journal*, **19(2)**, 165 (2009).

5. T. Y. Kim, J. G. Kim, H. K. Park, and C.-H. Yun, "Two-step coagulation and filtration mechanism and molecular interaction between humic acid and polysaccharide in high turbidity water", *Journal of Environmental Engineering*, in review (July, 2009).