

# 상수처리를 위한 파일럿 규모의 정밀여과/한외여과 시스템

## A Pilot-Scale Microfiltration/Ultrafiltration system for Drinking Water Treatment

김한승\* · 오정익 · 김충환

Kim, Hanseung\* · Oh, Jeongik · Kim, Chungwan

한국수자원공사 수자원연구원 국제상하수도연구소

(2004년 9월 16일 논문 접수; 2004년 11월 22일 최종 수정논문 채택)

### Abstract

Three pilot-scale membrane systems were operated using lake water as influent in this study. Microfiltration (MF) membrane with pore size of 0.01  $\mu\text{m}$  was used in System I of which filtration mode was set at constant pressure of 1kgf/cm<sup>2</sup>. Ultrafiltration (UF) membranes with molecular cutoff (MWCO) of 80,000 and 13,000 were used in System II-1 and II-2, respectively. Constant flow mode was applied at the range between 0.7 and 1.5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d (average of 1.1m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d) for System II-1 and between 0.37 and 1.65m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d (average of 1.18m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d) for System II-2. In System I, the flux changed from 1m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d to 0.2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · d during the operation time of 5 months. System II showed recovery of 94% under the allowable maximum pressure of 3kgf/cm<sub>2</sub> during the same operation period. From these results, the efficient operation was observed in constant flow mode with respect to filtration time and recovery. Average filtrate turbidity showed 0.0071 NTU in System I and 0.0054 NTU in System II, which implied that high turbidity removal was obtained in both MF and UF systems with no significant difference between MF and UF. From the fact that membrane flux depends largely on membrane type and operation mode, a guideline of optimum design and operation should be suggested for application of membrane systems to full scale water treatment.

**Key words:** Micro-filtration(MF), Ultra-Filtration(UF), Lake Water, Flux

**주제어:** 정밀여과, 한외여과, 호소수, 막투과유속

### 1. 서론

수도원수의 수질악화, 수도시설의 노후화 및 중소

규모 수도의 운영인력 부족 등에 대한 해결책으로, 최근 막여과 공정의 도입이 급속히 증가하고 있다. 미국, 일본 등의 선진외국에 특히 막여과 시설의 생산수량은 1996년 약 200만m<sup>3</sup>/일에서 2001년 약 750

\*Corresponding author Tel: +82-42-860-0384, FAX : +82-42-860-0399, E-mail: kimhs210@kowaco.or.kr (Kim, H.S.)

**Table 1.** Specifications of membrane

Item	System I	System II-1	System II-2
Manufacturer	T company	A company	A company
Type of filtration	Out-in filtration	Out-in filtration	Out-in filtration
pore size or MWCO (90% CUT)	0.01 $\mu\text{m}$	80,000	13,000
Initial flux	1.0m <sup>3</sup> /hr (Deionized water, 25°C, 0.5kgf/cm <sup>2</sup> )	0.3-0.7m <sup>3</sup> /hr (Deionized water, 25°C, 1.0kgf/cm <sup>2</sup> )	0.3-0.7m <sup>3</sup> /hr (Deionized water, 25°C, 1.0kgf/cm <sup>2</sup> )
Unit membrane area (m <sup>2</sup> )	12	7.6	7.6
Module length (mm)	1,078	1,126	1,126
Module diameter경(mm)	114	89	89
Mate-rial	Hollow fiber	Polyacronitryl	Polyacronitryl
Housing	PVC	PVC	PVC
Adhesive	Polyurethane	Epoxy	Epoxy

만<sup>3</sup>/일로 증가하였으며, 이 가운데 정밀/한외여과 시설에 의한 증가분이 약 350만<sup>3</sup>/일을 차지하고 있다(膜分離技術振興協會, 2003). 이러한 정밀/한외여과 시설의 보급이 현저하게 증가한 이유는 미국, 영국, 호주 및 일본에서 수도에 의해 발생한 크립토스포리디움 등의 병원성미생물에 의한 집단감염에 대한 대책으로 고액분리 기능이 뛰어난 막의 특성이 주목되었기 때문으로 볼 수 있다(Jacangelo et al., 1995; Madaeni, 1999; Edwards et al., 2001). 최근에는 고액분리기능을 넘어선 고도처리, 즉 용존성유기물 및 경도제거를 목적으로 한 나노여과 및 정밀/한외여과와 오존/활성탄의 조합공정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Ventresque et al., 2000).

우리나라에서도 정수수질의 고도화 및 시설의 효율적인 운영을 위하여 막여과 정수처리시스템의 도입 필요성이 대두되고 있으며, 상대적으로 정수처리에 어려움을 겪고 있는 소규모 정수장 및 시설의 개량을 실시하는 중/대규모정수장을 중심으로 장래 도입이 기대되고 있다. 그러나 막여과 공정의 성공적인 도입과 정착을 위해서는 제도적 정비와 아울러 설계·운전·유지관리 기술의 확보가 무엇보다도 중요하다고 하겠다(김충환, 2003). 법적 제도마련 및 운영기술 확보 등의 선결과제들이 있음을 간과할 수 없다. 본 연구에서는 수도에 있어서 막여과 공정의 적용을 위한 기초연구로써 호소수를 원수로 하는 처리용량 약 20 m<sup>3</sup>/일의 파일럿 규모의 시설을 운전하여, 막의 종류 및 운전모드에 따른 운전처리특성을 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 장치 구성

실험장치는 크게 전처리, 막여과, 소독설비 및 계장, 계측기기로 구성되어 있다. 막여과설비는 막에 의해 정수처리를 실시하는 설비로서 한외여과 및 정밀여과막을 이용한 가압식 막모듈로 구성되었다. 또한 소독설비로는 염소주입장치를 설치하였다. 한편, 계장설비는 막여과설비의 특징, 유지관리 등을 충분히 고려하여 자동운전 및 원격감시가 가능하도록 구성하였으며, 계측기기는 유량계, 압력계, 수위계, 탁도계 및 온도계 등으로 구성되었다. 원격감시항목은 유량, 탁도, 온도, 압력 등이고, 특히 생산수 탁도에 대해서는 설정치 이상 시에는 경보음을 울리게 하였다. 전송시스템은 전용의 전화회선을 이용하였다.

### 2.2. 실험계열

실험에 사용된 막 모듈은 막 세공이 서로 다른 세 가지 막으로 제작되어 있으며, 실험계열은 각 모듈에 맞추어 3 계열로 구성하였다. 시스템-I은 세공크기 0.01  $\mu\text{m}$ 의 중공사형 정밀여과막을, 시스템 II-1과 II-2는 MWCO 13,000 및 MWCO 80,000의 중공사형 한외여과막을 각각 사용하여 시스템을 구성하였다. 본 연구에서 사용된 막모듈의 사양을 Table 1에 나타내었다. 또한 Fig. 1에는 시스템-I, Fig. 2에는 시스템 II-1, II-2의 구성도를 나타내었다.

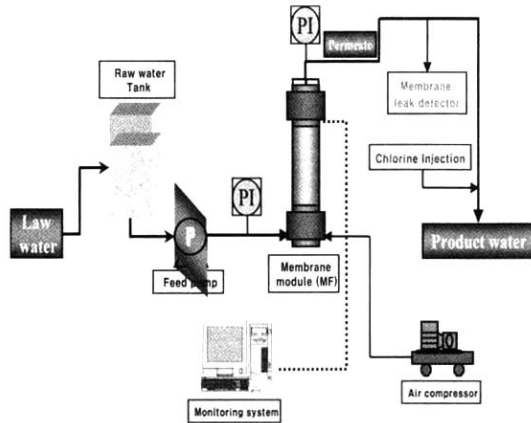


Fig. 1. Schematic diagram of System I.

### 2.3. 운전조건

플랜트가 설치되어 있는 H정수장은 호소수를 원수로 취수하고 있다. 플랜트에 유입되는 원수는 정수장의 착수정을 거쳐 막여과 실험장치로 유입하여 사용하였다. 플랜트는 각 모듈당 설계용량 20m<sup>3</sup>/일로 2종류(3계열)로 장치가 구성되어 있으며, 시스템 I는 입

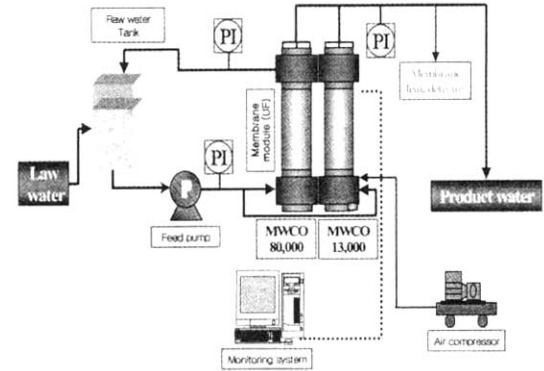


Fig. 2. Schematic diagram of System II-1 and II-2.

구압력 1.0kgf/cm<sup>2</sup>의 정압으로, 시스템 II-1, II-2는 38L/m<sup>2</sup>·hr의 정유량으로 운전하였다. 여과 및 세정 방법을 Table 2에 나타내었다.

운전방식은 전량여과(Dead-end Flow)와 Cross-flow 여과로 정유량여과와 정압여과방식으로 운전하였다. 막의 세정은 시스템 I은 20분에서 1시간 간격으로 조건을 변화시켜 물 및 공기세정을 실시하였으며, 시스템 II-1, II-2는 19분 40초 운전에 역세정 1

Table 2. Filtration and washing

Item	System I	System II-1	System II-2
Capacity(m <sup>3</sup> /d)	20	20	20
Operation mode	Constant pressure	Constant flow	Constant flow
Type of filtration	Dead end	cross-flow	cross-flow
Initial flux(m <sup>3</sup> /hr), (Deionized water, 25°C, 0.5kgf/cm <sup>2</sup> )	1.0	0.3-0.7	0.3-0.7
Pressure(kgf/cm <sup>2</sup> )	Max : 3	Max : 3	Max : 3
Trans membrane Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	Max : 3	Max : 3	Max : 3
Washing	water/air back-washing	water/air back-washing	water/air back-washing

Table 3. Conditions of the physical and chemical washing for System I

Item	Filtration(min)	Water back-washing(sec)	Air back-washing(sec)	Water Drain(sec)	Air vent (sec)
25 May~22 Jul	20	20	60	90	60
22 Jul~24 Jul	60	20	60	90	60
24 Jul~1 Aug	30	20	60	90	60
1 Aug~21 Sep	25	20	60	60	30
21 Sep~24 Sep	25	20	60	90	60

Order	Chemicals	Concentrations	Washing Volume	Time (hr)
1	NaOH	pH 12	30L	2
2	Flushing	Product water	30L	Adequate
3	Citric acid	< 3%	30L	1
4	Flushing	Product water	30L	Adequate

**Table 4.** Conditions of washing for System II

Item	operation time	Period of Back-washing
System II-1	31 May-15 Dec.	Filtration: 19min 40sec → back-washing: 20sec (No. of repetition: 48) after 48 repetitions Air flushing+Water flushing : 60sec → Air flushing:60sec Water flushing: → 60sec
System II-2	27 May-15 Oct.	Filtration: 19min 40sec: → back-washing: 20sec (No. of repetition: 48) after 48 repetitions Air flushing+Water flushing: 60sec → Air flushing: 60sec → Water flushing: 60sec

회 및 18시간 운전 후 물 및 공기세정 1회를 실시하였다. Table 3과 Table 4에는 각각 시스템 I과 시스템 II의 세정조건을 나타내었다.

또한 막여과수의 탁도 및 입자수 변화에 의한 막과손 여부를 감지하기 위한 장치의 운용방법을 개발하기 위하여 저탁도 및 입자수측정기(탁도 0.0000~2.0000NTU, 0~10,000개/mL)를 장착하였다. 장치의 운전은 자동운전이 되도록 설계제작 하였으며, 시스템 I는 연구소와 실험장치가 설치된 현장간에 한국통신 전용회선을 이용하여 원격제어 및 감시가 되도록 구성하였다. 또한 수온, 투과수량 및 막차압 등은 센서로 자동측정 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

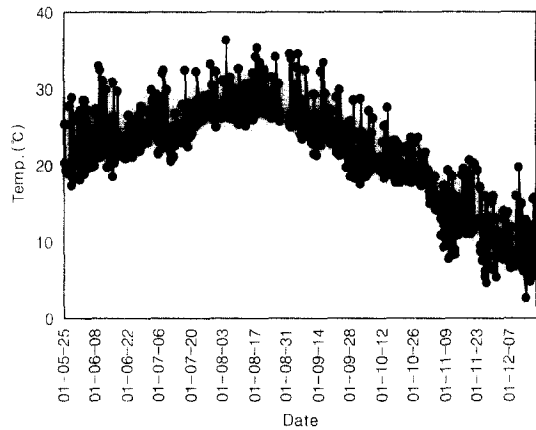
#### 3.1. 원수의 수온 및 탁도

수온은 막생산수량 및 막시설의 유지관리에 영향을 미치는 인자로서 막시설의 설계 및 유지관리를 위해서는 충분한 검토가 이루어져야 한다. 실험기간 중의 원수의 수온변화를 Fig. 3에 나타낸다.

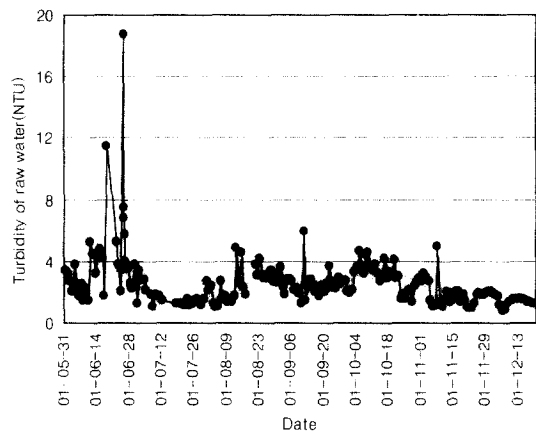
막공급수는 대전광역시 H정수장의 호소수를 이용하였다. 실험기간 동안인 5월에서 12월 사이에 8시간 간격으로 하루 3번(0시, 8시, 16시) 자동 측정된 자료를 보면, 수온이 2.5~36.2°C의 범위로서 평균 21.3°C로 나타났다

또한 계절에 따른 수온의 변화를 보기 위해 8월 18일, 10월 30일 및 12월 16일에 10분 간격으로 44회 수온을 측정된 결과, 평균 수온은 각각 30.0°C, 18.6°C, 7.5°C를 보였다. 같은 압력조건 하에서 겨울의 여과유량은 여름의 여과유량에 비해 44% 감소하게 되었다.

실험기간 중의 원수의 탁도변화를 Fig. 4에 나타낸다. 원수의 탁도는 0.8~18.8 NTU의 범위로 평균 2.6 NTU의 탁도를 나타내었다. 장마기의 일시적인



**Fig. 3.** Variation of temperature during the experiment.



**Fig. 4.** Variation of turbidity during the experiment.

고탁도를 제외하고는 약 4 NTU 정도의 폭으로 변화하여 전반적으로 비교적 안정된 탁도를 유지하였다.

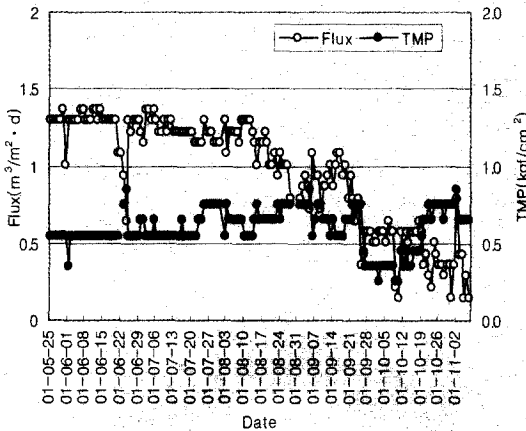


Fig. 5. Flux and TMP of System I.

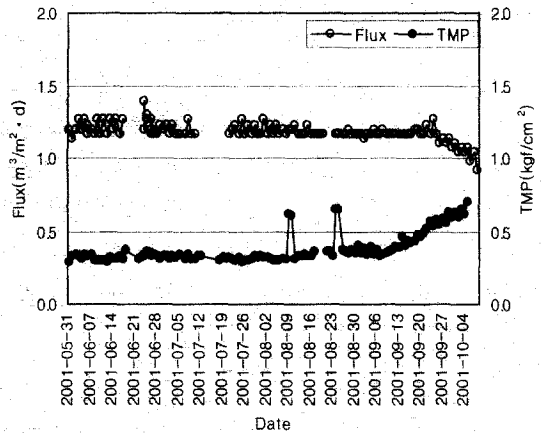


Fig. 6. Flux and TMP of System II-1.

### 3.2. 여과압력 및 여과 유량

#### 3.2.1. 시스템 I

시스템 I은 입구의 압력을  $1.0\text{kgf/cm}^2$ 의 정압으로 운전하였으며, 운전기간 동안의 막차압은  $0.25\sim 0.85\text{kgf/cm}^2$ (평균  $0.62\text{kgf/cm}^2$ ), flux는  $0.144\sim 1.368\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ (평균  $0.957\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ )의 범위를 나타내었다. 막모듈 당 막투과수량으로 환산하면  $72\sim 684\text{L/시간}$ (평균  $479\text{L/시간}$ )이며, 보정 flux( $25^\circ\text{C}$ ,  $1\text{kgf/cm}^2$ )로는  $0.24\sim 3.60\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ (평균  $1.80\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ )이었다. 시스템 I의 Flux와 막차압의 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

운전초기의 Flux와 막차압은 약 2달 동안 일정하였으며, 그 후 Flux는 서서히 감소하기 시작하였다. 이는 여과시간이 늘어남에 따라 막의 파울링이 진전되어, 여과저항이 높아진 데에 기인하는 것으로 사료된다.

한편 막차압의 변화는 여과시간 및 세정시간의 설정조건에 따라 변화됨을 알 수 있었다. 초기 운전조건인 20분 운전 후 물세정 20초 + 공기세정 1분 + 세정수 폐기(드레인) 1분 30초 + 에어벤트 1분의 세정에서는 막투과수량이  $650\text{L/시간}$ (회수율 76%)로 일정하였다. 그러나 운전시간을 25~60분으로 변화시키고 역세시간을(물세정 + 공기세정 + 세정수 폐기 + 에어벤트) 2분 50초~3분 50초로 변화시키면서 실험한 결과, 막투과수량이  $500\text{L/시간}$ (회수율 80~90%)으로 감소함과 동시에 막차압이 정압운전조건인  $1.0$

$\text{kgf/cm}^2$ 에 가까워짐을 볼 수 있었다. 이상의 결과로부터 회수율 76%( $650\text{L/시간}$ )의 조건을 제외한 정압 여과 운전에서 회수율 80~90%의 조건으로는 운전 압력(입구압력-막차압)이 낮아짐으로 인해 운전에 어려움이 발생할 것이 예상된다. 따라서, 물 및 공기만의 역세조건으로 90% 이상의 높은 회수율을 얻기 위해서는 입구압력을 높이거나 염소 등의 약품을 이용한 역세법 등을 적용할 필요가 있을 것으로 사료된다.

#### 3.2.2. 시스템 II-1

시스템 II-1은 초기 Flux를  $1.2\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ 로 설정하여 정유량운전을 하였다. 운전기간 동안의 막차압은  $0.29\sim 0.7\text{kgf/cm}^2$ (평균  $0.38\text{kgf/cm}^2$ ), Flux는  $0.9\sim 1.4\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ (평균  $1.2\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ )의 변화를 보였다. 막모듈 당 막투과수량은  $290\sim 440\text{L/시간}$ (평균  $374\text{L/시간}$ )이었으며, 보정 Flux( $20^\circ\text{C}$   $100\text{kPa}$ )는  $1.37\sim 4.48\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ (평균  $3.19\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ )이었다. 시스템 II-1의 Flux 및 막차압의 변화를 Fig. 6에 나타낸다.

시스템 II-1에서는 102일 동안 flux와 막차압의 큰 변화없이 안정된 운전이 유지되었다. 이후 초기  $0.3\text{kgf/cm}^2$ 이었던 막차압이 서서히 상승하였으며, 120일 후에는 Flux의 감소가 나타나기 시작했다. 막차압의 상승은 직선적으로 상승하여 130일에  $0.7\text{kgf/cm}^2$ 로 초기 막차압의 2배 정도로 상승하였으며, 이때의 Flux는 약  $1.0\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{일}$ 로 감소하였다. 본 실험 장치에서는 정유량을 유지하기 위한 차압의 상승이 충분

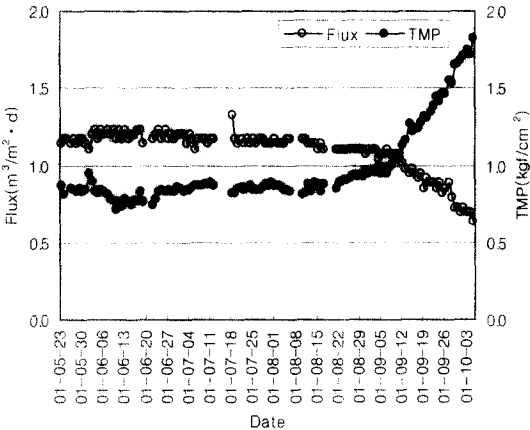


Fig. 7. Flux and TMP of System II-2.

치 않아 Flux의 감소가 일어난 것으로 보이며, 초기 Flux를 유지하기 위해서는 초기 막차압의 2배 이상의 상승이 나타날 것으로 판단된다. 따라서 안정된 유량을 확보하기 위해서는 약품세정의 주기를 4개월 정도로 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3.2.3. 시스템 II-2

시스템 II-2는 시스템 II-1과 마찬가지로 초기 flux를  $1.2\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ 로 설정하여 정유량운전을 하였다. 운전기간 동안의 막차압은  $0.59 \sim 1.83\text{kgf}/\text{cm}^2$  (평균  $0.97\text{kgf}/\text{cm}^2$ ), flux는  $0.6 \sim 1.3\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$  (평균  $1.1\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ )이었으며, 막모듈 당 막투과수량은  $200 \sim 420\text{L}/\text{시간}$  (평균  $346\text{L}/\text{시간}$ ), 보정 flux는  $0.37 \sim 1.65\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$  (평균  $1.18\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ )이었다. 시스템 II-1

의 flux 및 막차압의 변화를 Fig. 7에 나타낸다.

시스템 II-2는 시스템 II-1과 유사하게 운전개시 후 약 90일 동안 Flux와 막차압의 큰 변화는 보이지 않았다.  $0.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이었던 초기 막차압은 90일 이후 서서히 증가하여 약 105일 쯤부터 급격한 상승을 보였으며, 이 때 일정하게 유지되었던 flux는 급격히 감소하였다. 130일 쯤의 막차압은  $1.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 초기 막차압에 비해  $1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$  만큼 상승하였으며, Flux는 약  $0.6\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ 로 초기 Flux의 50%까지 감소하였다. 안정적인 운전기간은 시스템 II-1과 큰 차이는 없었으나, 막차압의 상승과 flux의 감소폭이 동일 운전기간에 비해 급격하게 나타난 것은 시스템 II-1에서 사용된 막의 분획분자량보다 작은 데에 기인하는 것으로 사료된다. 시스템 II-2에서도 시스템 II-1에서와 마찬가지로 안정적인 운전과 유량을 확보하기 위해서는 화학세정주기를 4개월 정도로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

이상과 같이 정유량여과 조건의 시스템 II(II-1과 II-2)는 회수율이 94%로 운전기간동안 막의 최대 운전압력  $3\text{kgf}/\text{cm}^2$  이하에서 운전되어, 실험기간 동안의 운전조건만으로 비교하였을 때 정압여과인 시스템 I보다 운전시간의 지속 및 회수율면에서 유리한 것으로 나타났다.

3.2.4. 보정 Flux

보정 Flux는 막여과 Flux를 일정 막압력 및 표준 온도(일반적으로  $100\text{kPa}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ) 조건하에서의 값으로 보정한 것으로, 여과저항의 상태를 평가하는 지표로

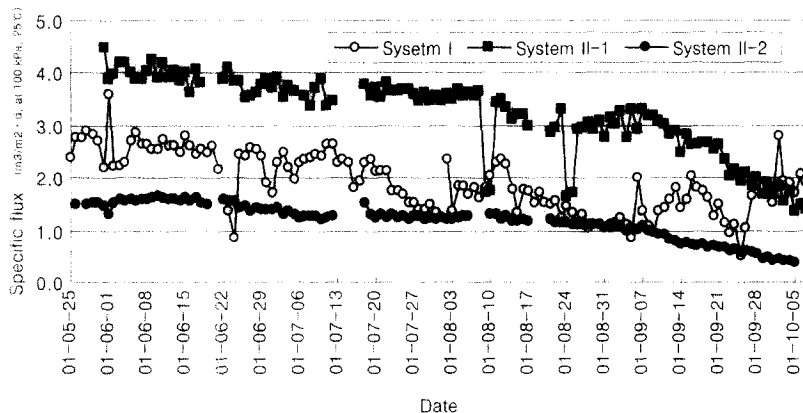


Fig. 8. Comparison of corrected specific flux for each system.

**Table 5.** Variation of turbidity and number of particles for product water ( $> 0.1\mu\text{m}$ )

Item	System I		System II	
	Turbidity (NTU)	Number of Particles	Turbidity (NTU)	Number of Particles
Max.	0.0084	550	0.0122	258
Min.	0.0063	443	0.0034	118
Avr.	0.0071	504	0.0054	169

사용된다. 시스템 I, II-1, II-2의 보정차압을 Fig. 8에 나타낸다.

시스템 I의 경우, 정압운전 조건에서 여과 및 세정 시간의 변화에 따라 보정 Flux의 변동이 크게 나타나 는 것을 알 수 있다. 한편 시스템 II에서는 보정 Flux의 변화 추이가 잘 나타나 있다. 운전초기와 120일 후의 보정 Flux를 비교해 보면, 시스템 II-1이 약  $4.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ 에서  $2.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ 로, 시스템 II-2가  $1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ 에서  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ 로 감소하였으며, 이는 여과저항이 각각 2배 및 3배 증가한 것으로 볼 수 있다. 한편, 시스템 I의 경우는 시스템 II-1과 II-2의 중간범위에서 변화하였다. 이상의 결과로부터 여과저항의 상승 폭은 시스템 II-2, I, II-1의 순으로, 여과효율 면에서는 시스템 II-1이 가장 우수한 것으로 판단 된다. 따라서 적정 운전조건을 설정하기 위해서는 운전조건 외에도 막의 종류도 고려해야 함을 시사하고 있다.

### 3.3. 탁도 및 입자수

실험기간 동안 원수의 탁도와 막여과 생산수의 탁도를 나타낸 것으로 각 시스템의 탁도는 0.0020~0.0080NTU(평균 0.0048NTU)를 보여, 막의 차이에 의한 탁도의 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 탁도 및 입자수( $0.1\mu\text{m}$  이상)를 측정된 결과는 Table 5 같다.

시스템 I의 집중 연속측정 기간에 1분 간격으로 120분간 연속 측정된 값으로 탁도는 0.0063~0.0084 NTU(평균 0.0071NTU)였고, 입자수( $0.1\mu\text{m}$  이상)는 443~559개/mL(평균 504 개/mL)이었다. 또한 시스템 II(II-1, II-2 혼합 생산수) 1분 간격으로 140분간 연속 측정된 값으로 탁도는 0.0034~0.0122 NTU(평균 0.0054 NTU)였고, 입자수 ( $0.1\mu\text{m}$  이상)는

118~258 개/mL(평균 169개/mL)이었다. 같은 원수를 취수하여 급속여과로 정수처리하고 있는 H정수장 생산수의 평균 탁도 0.1988NTU와 평균 입자수 8,959 개/mL와 비교해 볼 때, 막여과가 재래식공정보다 탁도 제거에 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한, 막여과를 이용한 생산수의 탁도는 먹는물 수질기준인 0.5 NTU를 충분히 안정적으로 달성할 수 있음이 확인되었다.

## 4. 결론

본 연구는 정수공정에 있어서 막여과 공정의 도입에 대비한 시범연구로서, 호소수를 원수로 한 파일럿 규모의 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 두 종류 한외여과막을 사용하여 정유량여과조건으로 실험한 시스템 II에서, 분자분획량 80,000의 경우, 여과유속은  $0.9 \sim 1.4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ (평균  $1.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ ), 막차압은  $0.29 \sim 0.7 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ (평균  $0.38 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ )의 범위였으며, 막차압의 상승은 운전개시 102일부터 나타나기 시작했다. 또한, 분자분획량 13,000의 경우, 여과유속은  $0.6 \sim 1.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ (평균  $1.1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{일}$ ), 막차압은  $0.59 \sim 1.83 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ (평균  $0.97 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ )의 범위였으며, 막차압의 상승은 운전개시 105일부터 일어나기 시작했다. 따라서 분자분획량이 작을수록 동일 유속을 얻기 위한 운전압력은 높았으나, 막차압이 상승하는 시기는 유사하였다.

2) 정밀여과를 사용하여 정압여과조건으로 실험한 시스템 I에서, 막차압의 변화는 여과시간 및 세정시간의 설정조건에 따라 크게 달라짐을 알 수 있었다.

3) 처리수의 탁도는 정밀여과와 한외여과 모두 0.01NTU 이하로 먹는물 수질기준인 0.5NTU보다 훨씬 낮아, 모래여과 공정에 비해 상대적으로 우수한 탁도제거 효과를 나타냄을 알 수 있었다.

4) 탁도제거율에 있어서 정밀여과와 한외여과 사이에 유의의 차이는 없었으며, 운전모드에 의해서도 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

따라서 실험규모 막시설의 도입에 있어서는, 막의 종류와 운전모드를 고려한 적절한 운전조건 설정이 필요한 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 김충환(2003). 막분리 시스템 도입시 예상되는 문제점 및 극복방안, 정수 막여과 국제 세미나.
- 膜分離技術振興協會(2003). 淨水膜, 技報堂出版.
- Edwards et al. (2001). Membrane solution to a "significant risk" Cryptosporidium groundwater source, *Desalination*, **137**, pp. 193-198.
- Jacangelo et al. (1995). Mechanism of Cryptosporidium, Giardia, and MS2 virus removal by MF and UF, *Jour AWWA*, **87**(9), pp. 107-121.
- Madaeni, S. S. (1999). The application of membrane technology for water disinfection, *Wat. Res.*, **33**(2), pp. 301-308.
- Ventresque, C. et al.(2000). An outstanding feat of modern technology : the Mery-sur-Oise Nanofiltration Treatment Plant (340,000m<sup>3</sup>/d), *Desalination*, **131**, pp. 1-16.