Journal of Korean Society of Water and Wastewater
Vol.22. No4. pp. 445-448 August. 2008

막여과 정수처리공정에서 전여과공정의 효용성 평가

Utility Estimation of Pre-filtration on the Membrane Water Treatment Process

박민구[1,2] · 최상일[2.]*
Min koo Park[1,2] · Sang il Choi[2.]*

1 금호건설 기술연구소, 2 광운대학교 사회환경시스템공학과

(2008년 6월 20일 접수 ; 2008년 8월 1일 수정 ; 2008년 8월 7일 채택)

Abstract

The application of the membrane filtration process has been increased for the drinking water treatment system because of excellent quality of treated water compared with the sand filtration process.

The selection of suitable pre-treatment processes and optimum flux according to the characteristics of raw water are important factors for the design of membrane processes.

In this study, the most efficient pre-treatment processes for drinking water was selected by investigating the effects of pre-treatment processes on the operational stability of the membrane filtration process.

Both lab-scale and pilot-scale experiments were conducted. In the lab-scale test, the effect of pre-treatment processes on the stability of the membrane filtration process was investigated indirectly by comparing the performance of membrane flux for raw water, pre-treated water, and membrane permeated water.

In the pilot-scale test, the usefulness of prefiltration processes was assessed by comparing the performance of single membrane process and hybrid coagulation-membrane process.

The results indicated that the coagulation process contributed to the stabilization of trans-membrane pressure (TMP) by removing contaminants on membranes, though the pre-filtration process had little effect on the TMP.

Key words : Membrane filtration, Prefiltration, TMP, Flux

주 제 어 : 막여과, 전여과, 막차압, 플럭스

1. 서 론

정밀여과막(MF; Microfiltration)과 한외여과막(UF; Ultrafiltration)을 이용한 막여과(Membrane filtration) 정수처리 공법은 기존 모래여과에서 제거가 어려운 *Cryptosporidium*, *Giardia* 등 병원성미생물과 미세한 입자물질을 제거할 수 있는 장점을 가지고 있어 먹는물 생산을 위한 정수처리 공정에 적용되고 있다. 막여과 공법은 호소수, 하천수, 복류수, 지하수, 하수처리수 등 다양한 원수에 적용이 가능하여 수돗물, 공업용수, 정수기 등의 정수처리공

*Corresponding author Tel: +82-2-940-5183, FAX: +82-2-943-3950, E-mail: sichoi@kw.ac.kr (Choi, S.I.)

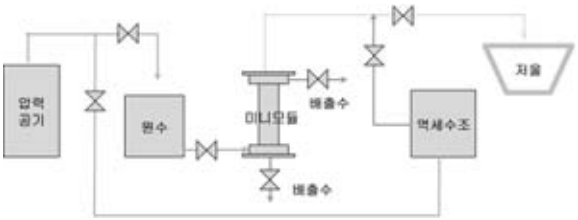

Fig. 1. 미니모듈을 이용한 투과성능 실험장치.

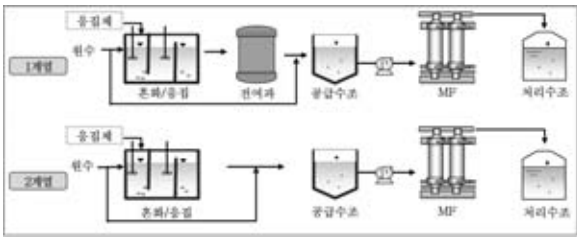

Fig. 2. 막여과 설비 공정도.

정에 이용되고 있으나, 원수의 성상에 따라 투과성능의 차이가 커서 경제적이고 안정적인 운영을 위해서는 원수조건에 따라 최적 설계 및 운전조건의 도출이 필요하다.

막여과 공정의 설계 인자의 중요한 요소인 막여과유속(Flux)은 막의 종류, 원수수질 및 수온에 따라 다르나, 통상 막여과유속은 케이싱 수납방식에서는 1~1.5m^3/m^2 · 일, 조침지방식에서는 0.5~1m^3/m^2 · 일 정도이다(Kim et al., 2006). 그러나 복류수, 지하수 등 탁도가 낮고 수질이 양호한 원수를 사용할 경우에는 3~4m^3/m^2 · 일의 높은 여과유속(Flux)에서 운전이 가능하며, 원수의 수질이 나쁠 경우에는 막여과 공정의 운전 안정성 확보를 위해 응집, 침전, 전여과(pre filtration) 등의 전처리 공정(pre treatment process)을 통해 유기물, 탁도물질 등 막오염물질을 제거하여 투과성능을 향상시킬 수 있다(Joel et al., 1996). 반면 전처리공정이 과다할 경우에는 시설비, 운영비와 부지면적의 증대를 초래하여 경제성이 떨어지고, 유지관리 개소의 증대로 운영효율적인 측면에서 유지관리성이 저하될 우려가 있어 경제성, 유지관리성, 운전 안정성 등을 종합적으로 고려하여 정수처리 공정을 구성하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 막오염물질인 유기물 및 탁도물질을 전여과 공정에서 제거할 경우에 막차압의 거동을 관찰하여 막여과 공정의 안정성을 평가하고, 전처리-막여과의 조합공정의 운전에 있어 전여과공정의 효용성을 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 전처리 공정이 막여과 공정의 운전 안정성에 미치는 영향을 파악하기 위해 원수를 막여과 공법으로 직

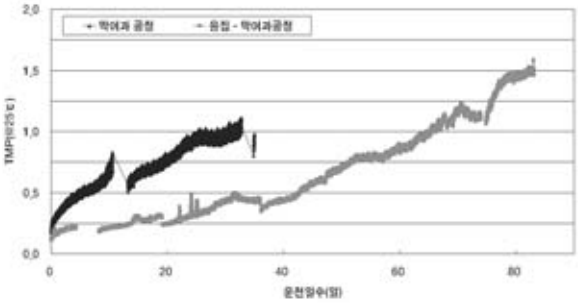

Fig. 3. 막여과 단독공정과 응집-막여과 공정의 운전 평가.

접처리하는 막여과 단독공정과 원수-혼화 · 응집-막여과, 원수-혼화 · 응집-전여과-막여과의 전처리 조합공정으로 운전한 결과를 비교 · 평가하였다.

실험에 사용한 장치는 미니모듈을 이용한 투과성능 측정장치와 현장 파일롯플랜트를 설치하였으며, 투과성능 측정장치는 미니모듈 (MF, 0.003m^2)을 이용하여 단위여과시간에 투과되는 처리수량을 여과유속(Flux)으로 환산하여 초기 여과유속 대비 감소율로 투과성능 저하 정도를 측정하였다.

투과성능 실험은 원수-혼화 · 응집-전여과-막여과의 각 공정별 원수 및 처리수의 투과성능을 측정하여 투과성능을 비교하였다.

현장 파일롯플랜트 실험장치는 혼화 · 응집 및 전여과 설비와 막여과 설비로 구성된 생산용량 250m^3/일 규모의 정수

Table 1. 실험장치의 사양

구분	전여과 설비	막여과 설비
막 및 여과기 종류	섬유사 여과기	MF (중공사막)
형태	원통형	케이싱수납형
치수(㎜)	외경 800×2,000L	외경 216×2,160 L
Pore size/Cut-off size	5 ㎛ 이하	0.05 ㎛
유효여과 면적(m^2)	0.5	72
허용압력(kgf/㎠)	0.5	3
재질	Nylon 섬유사	PVDF
세정방법	물세정 (원수), 공기세정	역세정(생산수), 공기세정
실험장치 전경		

상하수도학회지, 논문
22권 4호, pp. 445-448, 8월. 2008

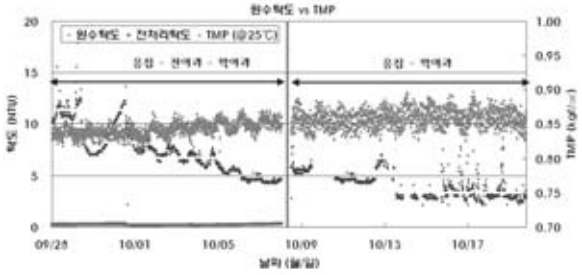

Fig. 4. 저탁도 시기의 전여과 공정 성능 평가 실험 결과.

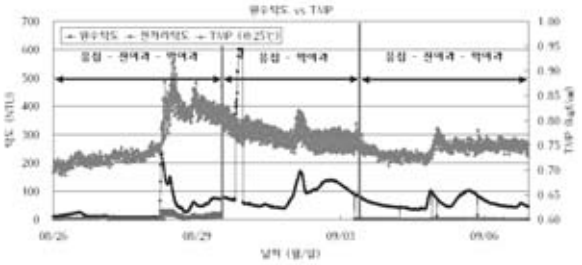

Fig. 5. 고탁도 시기의 전여과 공정 성능 평가 실험 결과.

처리 파일롯플랜트 설비를 2계열로 구성하였으며, 전처리 공정에 따른 막여과 설비의 운전안정성 검토를 위해 전처리 조건에 따라 막차압(TMP; Trans Membrane Pressure)의 변화를 관찰하였다.

실험에 사용한 원수는 하천수를 사용하였으며, 혼화 · 응집 공정의 체류시간은 급속교반 1분과 완속교반 5분으로 실시하였고 응집제는 PAC를 사용하였다. 전여과 공정은 분획경 5㎛의 섬유상여과기를 사용하였다. 막여과 설비에 사용한 막모듈은 공칭공경(Pore size) 0.05㎛의 중공사 정밀여과막(MF)을 이용한 외압식 막모듈을 사용하였으며, 여과방식은 전량여과(Dead-End) 방식으로 운전하였다.

실험에 사용한 정수처리 설비의 공정도 및 설비사양은 Fig. 1,2, Table 1과 같다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 원수를 막여과 단독공정으로 운전한 경우와 혼화 · 응집-막여과의 조합공정으로 운전한 경우의 운전 안정성을 비교해 나타낸 것으로 막여과 유속은 1.5m^3/m^2 · 일로 운전하였다.

운전기간 동안의 유입원수 탁도는 1~12NTU(평균 7.5NTU)로 낮게 유지되어 고탁도에 의한 영향은 받지 않았으나, 원수를 직접 여과한 경우 막차압은 급상승하는 경향을 보였으며 운전경과 약 35일 후에 막차압은 1kgf/㎠(@ 25℃)에 도달하였으며, 혼화 · 응집의 전처리를 거친 경우에는 막차압 1kgf/㎠(@ 25℃) 까지 약 65일 동안 운전이 가능하였다. 따라서 본 실험 결과, 막여과 단독공정에 비해 혼화 · 응집-막여과 단독 공정의 운전 안정성이 매우 높은 것으로 결론지었다.

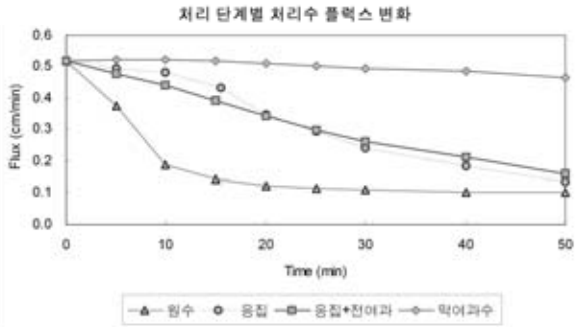

Fig. 6. 처리 공정별 여과성능 비교 평가 실험 결과.

Fig. 4는 저탁도 원수에 대한 전여과 공정의 성능 평가 실험 결과로 저탁도의 원수에서 전여과 공정을 운전한 경우와 운전하지 않은 경우의 막차압의 거동을 비교한 그래프이다. 원수의 탁도는 3~13NTU의 범위로 유입되었으며, 전여과 공정을 거친 처리수의 탁도는 1NTU 이하로 안정적으로 나타났다. 실험결과를 살펴볼 때 전여과 공정을 실시한 경우와 실시하지 않은 경우에 막차압의 상승 경향은 큰 차이가 나타나지 않았으며, 전여과 공정을 거치지 않을 경우 여과주기 동안 막차압의 변화폭은 전여과 공정을 거친 경우에 비해 크게 나타나나 역세 공정을 통해 막차압이 회복됨으로서 전여과 공정에서 제거된 탁도물질은 막오염에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다.

고탁도 원수에 대한 전여과 공정의 성능 평가 실험 결과는 Fig. 5에 나타내었으며, 원수의 탁도는 약 20~600NTU로 유입되었다. 본 실험은 고탁도 유입원수에서 전여과 공정을 거친 경우와 원수를 막여과 공정으로 직접여과한 경우의 운전 안정성을 비교 평가한 것으로, 응집-전여과-막여과 공정으로 운전 중 고탁도가 유입됨에 따라 막차압이 급격히 상승하였으며, 이후 전여과 공정의 운전여부에 관계 없이 막차압은 원수의 탁도에 따라 막차압이 변동하는 현상을 나타내, 전여과 공정을 거친 원수의 탁도가 낮게 유지되어도 막차압은 원수 탁도에 직접적인 영향을 받는다는 것으로 나타났다.

파일롯플랜트에서 나타난 실험결과를 재검토하기 위해 각 공정별로 유입된 원수를 대상으로 투과성능(플럭스) 평가 실험을 실시하였다. Fig. 6은 원수, 응집 처리수, 전여과 처리수 및 막여과 처리수를 이용한 투과성능 실험 결과로서 원수는 여과10분 후에 초기여과 성능의 절반이하로 감소되었으며, 응집 전처리를 한 경우와 응집-전여과를 거친 경우의 투과성능은 일정하게 감소되는 것으로 나타났다. 본 실험결과를 살펴볼 때 막투과성능을 저하시키는 막오염물질은 응집공정을 통해 주로 제거되며, 탁도물질을 제거하는 전여과

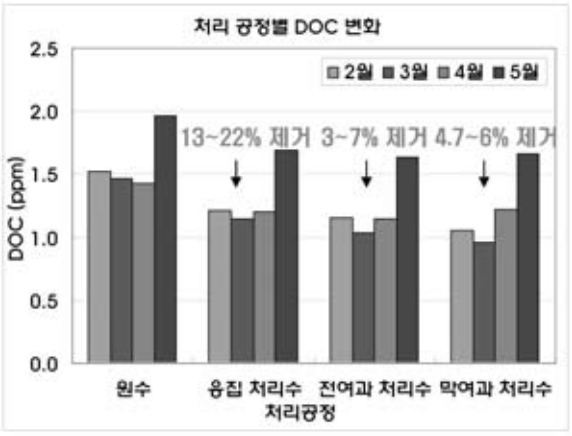

Fig. 7. 처리공정별 유기물 농도 변화.

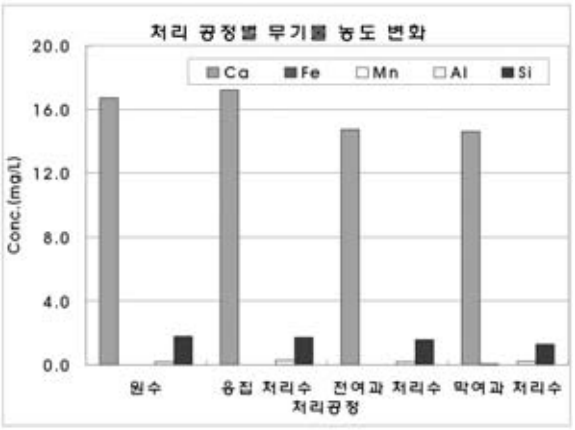

Fig. 8. 처리공정별 무기물 농도 변화.

공정은 막투과성능 유지에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

막 차압 상승의 원인을 분석하기 위해 각 공정별 수질 분석을 실시하였다. 유기물 농도인 DOC는 응집 공정에서 13~22%의 제거율을 보였고, 전여과 공정에서는 제거율이 낮게 나타났다. 무기물 농도를 살펴보면 Ca은 전여과공정에서 일부(2~3%) 제거되었고, Fe, Mn, Al, Si는 거의(1% 이하) 제거되지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 3, Fig. 4 및 **Fig. 5**의 실험결과를 종합해 볼 때 혼화 · 응집-전여과-막여과로 구성된 정수처리 공정에 있어 전여과 공정에서 제거되는 탁도물질은 막여과 공정의 운전 안정성에 큰 영향을 미치지 않았으며, 막여과 공정에 공급되는 공급수의 탁도가 낮더라도 막차압은 전여과 공정을 거치지 않은 원수의 탁도 영향을 크게 받는다는 것을 알 수 있었다. 또한 막차압은 전여과 공정에서 제거되는 탁도물질 보다는 응집공정에서 제거되는 유기물에 의한 영향을 받는 것으로 나타났다.

4. 결 론

전처리-막여과 조합공정에서 전여과공정의 효용성 검토를 위한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 원수 및 전처리 공정별 투과성능 비교 실험결과, 응집공정을 거칠 경우 투과성능은 원수를 직접 막여과하는 공정에 비해 높은 투과성능의 유지를 기대할 수 있었으나, 전여과 공정을 거친 처리수는 응집 처리수와 투과성능이 유사하게 나타나 막차압의 안정성 향상을 위한 막오염물질 제거에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
2) 막여과 단독공정과 응집 전처리 조합공정의 운전 안정성 비교 운전 결과 막여과 단독공정시에는 막차압이 급상승하여 안정적인 운전이 어려웠으며, 전처리 공정으로 응집공정을 연계한 경우에는 막여과 공정의 운전 안정성을 향상 시킬 수 있었다.
3) 전여과 공정의 효용성 평가를 위한 실험결과, 전여과 공정을 거칠 경우 원수 탁도는 1NTU 이하로 유지가 가능하나, 전여과 처리수의 탁도에 관계 없이 막차압은 원수의 탁도 영향을 받는 것으로 나타났으며, 저탁도와 고탁도 원수에서 동일한 경향을 보였다.
4) 결론적으로 막여과 공정에 있어 전여과 공정에서 걸러질 수 있는 탁도물질들은 막차압에 직접적인 영향을 미치지 않는 것으로 평가되며, 응집공정의 최적화를 통해 유기물 등 막오염물질을 효과적으로 제거하는 것이 막여과 공정의 운전 안정성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

KSWW

사 사

- 본 연구는 환경부의 "토양지하수복원관리 환경기술교육혁신지원사업단"의 지원을 받은 과제입니다.

「This study was supported by grant of Korea Ministry of Environment as 'Advanced ET Education Center for Soil and Groundwater Remediation'」

참고 문헌

1. 김한승 외, (2006), ***수도막***, pp. 80-85, 동화기술, 서울.
2. Joël Mallevialle, Peter E, Mark R, (1996), ***Water Treatment membrane process, AWWA***, 10.1-11.39