

# 동시세정방식을 이용한 막의 fouling 억제기술

## Fouling Control Technique of Membrane Using Simultaneously Washing Process

최이송\*, 손창선\*\*, 김성윤\*\*\*, 임병수\*\*\*\*

I-Song Choi, Chang Sun Son, Sung Yoon Kim, Byung Soo Lim

### 요 지

본 연구는 막공정을 이용하는 수처리기술에 있어서 최대 난점 중의 하나인 fouling 현상을 억제하기 위하여 여과방향의 반대방향에서 여과수를 지속적으로 분사하여 줌으로써 여과와 세정이 동시에 일어나는 동시세정방식을 평가하기 위한 것이다.

실험은 성균관대학교 환경플랜트 내에 pilot 실험지를 조성하여 실시하였으며, 실험원수는 오수처리방류수를 저류하는 연못수와 오수원수를 혼합하여 농도를 조절한 후에 저농도와 고농도 조건에서 실험을 실시하였다. 저농도 조건(SS 10~20 mg/L)에서는 연못의 HRT를 고려하여 일일 5시간 씩 8일간 가동하였고, 고농도 조건(SS 200 mg/L 이상)에서는 8시간씩 가동하였다. 저농도의 경우에는 가동기간 중 배수가 일어나지 않았고, 일일 운전 종료 후 유지관리를 위한 강제배수만 실시하였다. 고농도에서는 초기에 배수가 짧은 term으로 자주 일어났지만, 20분 이상의 비교적 긴 여과지속시간을 유지하였고 유입수 농도가 낮아지면서 배수타임이 점점 늘어나는 경향을 보였다. 이러한 결과는 동시세정방식에 의한 여과기술에 있어 유입수 농도가 fouling 발생빈도에 크게 영향을 미친다는 것을 의미하며, 5  $\mu\text{m}$ 의 미세막에서도 고농도 운전이 가능하다는 사실을 보여준다.

동시세정방식은 Rum Filter의 fouling을 억제하고 지속적인 운전을 가능하게 해주는 핵심기술이다. 세정시 세정압력설정은 매우 중요한 운전인자 중 하나인데, 세정압력이 너무 클 경우에는 소요되는 동력이 많아져 효율적인 설계 및 운전에 장애요인이 될 수 있고, 너무 낮을 경우에는 세정이 제대로 되지 않고 여과막 내부와 외부의 압력차를 크게 가져와 배수타임이 빨라지는 결과를 초래한다. 따라서 적절한 세정압력을 파악하고 설정하기 위하여 세정압력을 변화시켜가면서 이에 따른 차압의 변화를 관측하여 보았다. 여과막의 공극과 세정압력에 변화를 주면서 실험을 한 결과, 세정압력이 커지면 여과막에 작용하는 부하가 약간 증가하는 것으로 나타났지만, 그 차이가 0.02  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ 으로 나타나, 4.0  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$  이상의 세정압력에서 적용이 가능한 것으로 나타났다.

또한, 유입유량을 설정하기 위하여 4.5  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ 의 세정압력을 유지한 상태로 유입유량을 점진적으로 증가시키면서 압력의 변화를 관측하였다. 5  $\mu\text{m}$ 에서는 180 LPM 및 200 LPM에서, 8  $\mu\text{m}$ 에서는 200 LPM에서 자체적으로 설정한 배수차압 상승분인 0.1  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ 를 초과한 것으로 나타났고, 10  $\mu\text{m}$  이상에서는 모두 200 LPM 이상 처리해도 배수압력에 걸리지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 현재 본 시스템에 적용하고 있는 유입유량 기준치를 2배 이상 상회하는 결과로서 추가적인 실험을 통하여 기존 여과기술보다 여과지속시간이 길고, 여과 flux가 높은 기술을 개발할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : fouling 억제기술, 동시세정방식, 여과막, 운전지속시간

\* 정회원 · 유네코개발(주) 연구소장 · E-mail: isongchoi67@hotmail.net

\*\* 비회원 · 유네코개발(주) 연구원

\*\*\* 비회원 · 유네코개발(주) 대표이사

\*\*\*\* 비회원 · 수원시 환경사업소 팀장

## 1. 서론

정밀여과는 micron 크기의 작은 입자 분리를 목적으로 하여 체분리(Sieving)의 원리로서 미세여과라 하며 분자량 200,000 dalton 이상의 물질들을 선택적으로 분리하는데 유효한 공정이다. 또한 막 투과압력은 다른 막 분리 공정보다 훨씬 낮은 2 bar로 시스템 운영비가 적게 소요되며 비교적 대량으로 분리를 수행할 수 있다는 장점이 있다. 특히 수처리 분야에 분리 막 공정을 적용할 경우 그 설비가 간소하여 설치면적에 대한 장애가 적고 폐수의 수질 및 상태 변동에 따라 처리수질이 크게 좌우되지 않고 비교적 안정적이고 양호하다.

그러나 농도분극화(Concentration polarization) 현상, 분리 막 오염(Membrane fouling) 현상으로 인하여 시간에 따른 막 투과유속의 저하를 초래하여 분리 막의 수명이 낮아지는 문제점을 안고 있다. 막 분리공정에서는 막 오염에 의한 투과유속의 저하가 막 분리 공정의 경제성을 떨어뜨리는 가장 중요한 원인이 되므로 다양한 방법들을 통하여 막 오염 현상을 완화시키거나, 제어하려는 연구들이 진행되고 있다. 이러한 막 투과 유속 (Permeation flux)의 저하를 방지하기 위해 각종 물리·화학적 세정방법이 사용되고 있지만 이러한 방법만으로 막 투과유속의 저하를 완전히 억제하기에는 불충분하여 시간의 경과에 따른 세정효과 저하 등 많은 문제점이 여전히 지적되고 있는 상황이다.

본 연구에서는 막공정을 이용하는 수처리기술에 있어서 최대 난점 중의 하나인 fouling 현상을 억제하기 위하여 여과방향의 반대방향에서 여과수를 지속적으로 분사하여 줌으로써 여과와 세정이 동시에 일어나는 동시세정방식을 개발하였고, 각종 인자들을 통하여 동시세정방식을 평가해 보았다.

## 2. 연구 수행 방법

### 2.1 실험지 조성 및 재료

본 연구를 수행한 실험지는 성균관대학교 환경플랜트 내에 Pilot 규모(담수용량: 27 ton, 최대수심: 66 cm)로 조성되었다. 실험지는 기계실, 상부 연못, 하부 연못으로 구성되었다(그림 1 참조). 기계실은 전기제어 설비 및 수질정화부가 위치하고 있고, 생태연못은 중앙에 슬러지흡입바가 있어 지속적으로 회전하면서 슬러지를 포함한 연못수를 흡입하여 기계실의 정화부로 보내어 처리할 수 있는 구조로 되어있다. Yuneco system에 대한 보다 상세한 구성 및 설명은 2006년 대한상하수도학회·물환경학회 공동추계학술발표회(최이송과 김성윤, 2006)에 발표되었으므로 본문에서는 이하 생략한다.



그림 1. 실험지 전경

사용된 여과막은 스테인레스강을 이용한 금속막으로서 자세한 특성은 표 1에 나타내었다. 여과막의 재질은 SUS316L을 사용하였고, 막의 nominal은 10, 8, 5  $\mu\text{m}$ 를 선택하여 사용하였다. 재질의 특성은 내식성, 내구성, 강도가 모두 높은 것으로 나타났다.

표 1. 여과막 특성

nominal	10 $\mu\text{m}$	8 $\mu\text{m}$	5 $\mu\text{m}$
Material	SUS316L	SUS316L	SUS316L
Wire Diameter	0.070mm / 0.040mm	0.071mm / 0.041mm	0.035mm / 0.025mm
Mesh	165/1400T	200/1400T	325/2300T
Weight	0.552 kg/m <sup>2</sup>	0.552 kg/m <sup>2</sup>	0.355 kg/m <sup>2</sup>
Elongation	23.8 / 28.9 %	23.8 / 28.9 %	28.0 / 28.0 %
Tensile Strength	90.3 / 91.7 kg/mm <sup>2</sup>	90.3 / 91.7 kg/mm <sup>2</sup>	104.6 / 104.1 kg/mm <sup>2</sup>

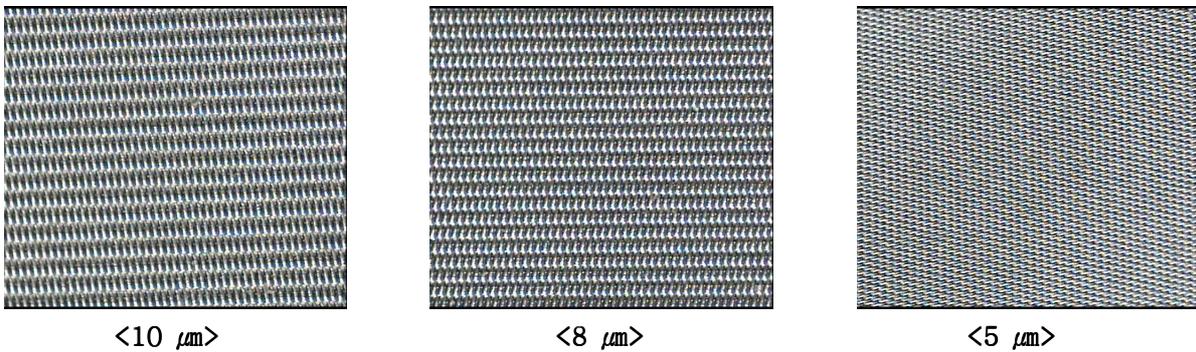


그림 2. 여과막 표면사진 (25배 확대)

## 2.2 실험방법

실험은 system 내에 설치된 센서 및 유량계를 측정하여 운전기록을 작성한 후에 이를 토대로 동시세정 방식의 성능을 평가해 보았다.

실험 인자는 1) 저농도와 고농도 조건에서의 배수주기 및 배수횟수 평가, 2) 유입량 변화에 따른 여과막의 압력 증가량 평가, 3) 세정압력 변화에 따른 여과막의 압력 변화량 평가를 검토하였다.

저농도와 고농도 조건에서의 배수주기 및 배수횟수 평가에서의 실험원수는 오수처리방류수를 저류하는 연못수와 오수원수를 혼합하여 농도를 조절한 후에 저농도와 고농도 조건에서 5  $\mu\text{m}$  여과막을 이용하여 실험을 실시하였다. 저농도 조건(SS 10 ~ 20 mg/L)에서는 연못의 HRT를 고려하여 일일 5시간 씩 8일간 가동하였고, 고농도조건(SS 200 mg/L 이상)에서는 일일 8시간 씩 3일간 가동하였다.

유입량 변화에 따른 여과막의 압력 변화량 평가는 저농도 조건(SS 0 ~ 10 mg/L)의 원수를 대상으로 여과막 공극별로 유입량을 100, 120, 140, 160, 180, 200 LPM으로 30분간 시스템을 가동한 후에 발생한 압력변화량을 측정하여 평가하였다.

세정압력 증가에 따른 여과막의 압력 변화량 평가는 저농도 조건(SS 0 ~ 10 mg/L)의 원수를 대상으로 여과막 공극별로 설정된 기준유입량에서 세정압력을 4.0, 4.5, 5.0, 5.4 kg/cm<sup>2</sup>에서 30분간 시스템을 가동한 후에 발생한 압력변화량을 측정하여 평가하였다.

## 3. 연구 결과

고농도와 저농도 조건에서의 배수주기 및 배수횟수를 평가해본 결과, 저농도 조건의 경우에는 가동기간

중 배수가 일어나지 않았고, 일일 운전 종료 후 유지관리를 위한 강제배수만 발생하였다. 고농도 조건에서는 초기에 배수가 짧은 주기로 자주 일어났지만, 20분 이상의 비교적 긴 여과지속시간을 유지하였고, 시간이 경과하면서 배수주기가 점점 늘어나는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 동시세정방식에 의한 fouling억제기술에서 유입수 농도가 fouling 발생빈도에 크게 영향을 미친다는 것을 의미하며, 5  $\mu\text{m}$ 의 미세막에서도 운전이 가능한 것으로 나타났다.

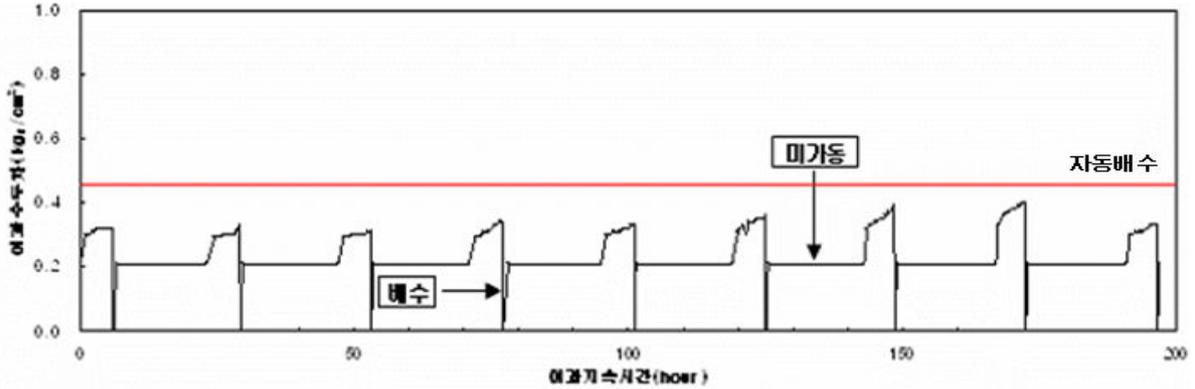


그림 3. 저농도 조건에서의 배수기록

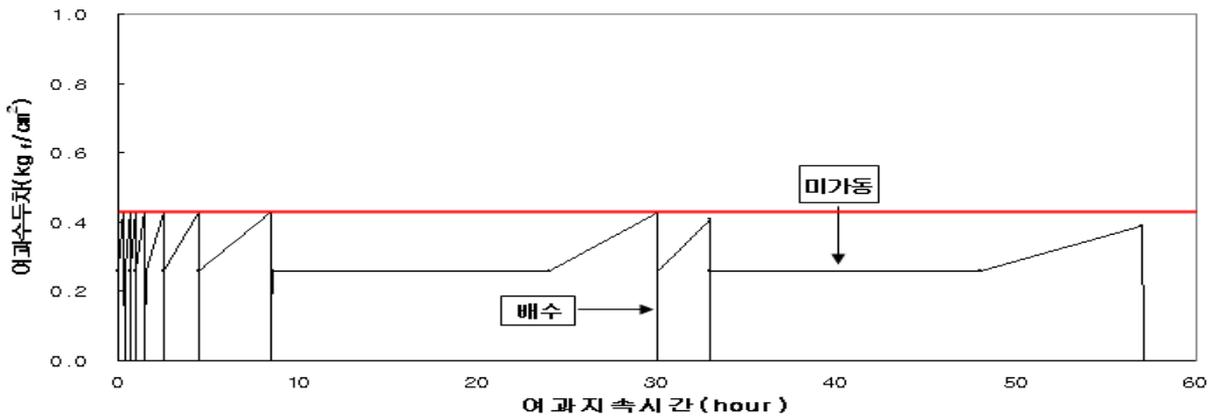


그림 4. 고농도 조건에서의 배수기록

유입량 증가에 따른 여과막의 압력 변화량 평가에서는 여과공극별로 4.5  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 세정압력을 유지한 상태로 유입유량을 점진적으로 증가시키면서 여과막의 압력변화를 측정하였다. 5  $\mu\text{m}$ 에서는 180 LPM 및 200 LPM에서, 8  $\mu\text{m}$ 에서는 200 LPM에서 자체적으로 설정한 배수차압 상승분인 0.1  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ 를 초과한 것으로 나타났고, 10  $\mu\text{m}$  이상에서는 모두 200 LPM 이상 처리해도 배수압력에 걸리지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 현재 본 시스템에 적용하고 있는 유입유량 기준치를 2배 이상 상회하는 결과로서 추가적인 실험을 통하여 기존 여과기술보다 여과지속시간이 길고, 여과 flux가 높은 기술을 개발할 수 있을 것으로 판단된다.

표 2. 유량변화에 따른 여과 수두차

구분	100 (LPM)	120 (LPM)	140 (LPM)	160 (LPM)	180 (LPM)	200 (LPM)
5 $\mu\text{m}$	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.04 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.08 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.13 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.2 이상 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )
8 $\mu\text{m}$	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.04 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.2 이상 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )
10 $\mu\text{m}$	0 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.02 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )

세정압력 변화에 따른 여과막의 압력 변화량 평가에서는 세정압력이 커지면 여과막에 작용하는 부하가 약간 감소하는 것으로 나타났지만, 그 차이가 0.02  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ 으로 나타나, 4.0  $\text{kg}_f/\text{cm}^2$  이상의 세정압력이면 충분한 fouling 억제효과가 있을 것으로 판단된다.

표 3. 세정압력에 따른 여과막 수두차

공극 \ 세정압력	4.0 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	4.5 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	5.0 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	5.4 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	유량 (LPM)
5 $\mu\text{m}$	0.02 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	80
8 $\mu\text{m}$	0.02 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	100
10 $\mu\text{m}$	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	140
15 $\mu\text{m}$	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0.01 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	0 ( $\text{kg}_f/\text{cm}^2$ )	140

### 감 사 의 글

본 연구는 경기도기술개발사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 정종태, 김종오, 김학균, 김석구, 이용재(2004). 합성하수를 이용한 금속 막의 정밀여과 특성 및 막 오염 제어, 제4권 제1호, pp. 33-34
2. 안규홍, 권지향(1993). 막분리를 이용한 중수도 기술, 화학공업과 기술, 제11권 제6호, pp. 32-37.
3. 이진(1997). 파울링 감소를 위한 여과막의 표면개질, 석사학위논문, 전남대학교
4. 최이송, 김성운(2006). 슬러지흡입바 장치를 이용한 폐쇄성수역 수질개선 기술개발, 상하수도·물환경학회 공동추계학술발표회 pp. 409-414