

일반강연 I-15

## 관형 정밀여과막을 이용한 막이용 정수처리 시스템에서 운전방식에 따른 여과특성 및 효율 비교

이상호 · 이정학  
서울대학교 응용화학부

### Comparison of Filtration Characteristics and Efficiencies between Dead-end and Crossflow Tubular Microfiltration in Drinking Water Production System

Sangho Lee and Chung-Hak Lee  
School of Chemical Engineering, Seoul National University

#### 1. 서론

각종 유기 및 무기 오염물질, 탁도 및 병원성 미생물에 의한 상수원의 오염이 심화됨에 따라 이를 효율적으로 제거하기 위한 고도정수처리 공정에 대한 관심과 적용이 증가하고 있다. 이러한 이유에서 최근에는 막분리를 이용한 정수처리공정에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

정밀여과는 기존의 공정에 비하여 탁도 및 병원성 미생물에 대한 높은 제거율을 나타내며, 원수의 수질 변동에 관계없이 안정적인 수질을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 정밀여과는 기존의 정수처리 공정에 비하여 약품 사용량이 적고 자동화 및 모듈화가 용이하므로 인건비 부담이 적고 소규모 시스템을 구성하기에 용이하다는 장점도 가지고 있다.

그러나 정밀여과를 정수처리에 적용하는 경우, 막오염 현상이 나타나게 되어 시간에 대한 여과수의 플럭스를 감소시키고 막의 수명을 저하시키는 등 여러가지 문제를 발생시킨다. 따라서 이러한 막오염을 완화시키고 운전 비용을 최소화할 수 있는 운전방식을 결정하는 것이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 정밀여과를 이용한 막이용 정수처리 시스템에서 플럭스를 향상시키고 막오염을 억제하고자, 전량여과방식과 교차흐름식 여과방식, 역세척 등 여러가지 운전방식을 적용하였으며, 각 경우에 있어서 여과성능 및 에너지 소모량을 계산하였으며 이를 바탕으로 최적의 운전방식을 도출하고자 하였다.

## 2. 이론

정밀여과를 이용한 정수 시스템에서 나타나는 막오염 현상은 주로 원수 중의 입자에 의한 케이크 형성에 기인한다고 볼 수 있으며 이때 케이크 저항은 Kozeny-Carmann식에 따라 케이크층을 형성하고 있는 입자의 크기 및 분포의 함수로 나타나게 된다.

교차흐름식 여과에서는 막면유속에 따라서 막 표면에 접근할 수 있는 입자의 분포가 달라지게 되고 입자의 유효침강속도( $v$ )는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = J - (v_b + v_l + v_s + v_e) \quad (1)$$

여기서  $J$ 는 용매의 여과속도,  $v_b$ ,  $v_l$ ,  $v_s$ ,  $v_e$ 는 각각 브라운 확산, 횡방향 이동, 전단유도확산 및 정전기적 반발에 의한 역전달 속도이다.

단위부피의 여과수를 생산하기 위해 사용되는 총 에너지량( $W$ )는 다음 식과 같이 표시된다.

$$W = \frac{\int u(t) \Delta P(t) dt}{\int J(t) A dt - Q}$$

여기서  $u$ 는 막면유속,  $\Delta P$ 는 막간차압,  $A$ 는 분리막의 단면적이며  $Q$ 는 역세척을 적용하였을 경우 역세척에 사용된 총 여과수 양이며  $t$ 는 시간이다.

## 3. 실험

분리막 실험은 서울 근교의 P 취수장 및 Y 정수장의 상수원수를 대상으로 하였다. 본 실험에는 분리막은 관형 분리막으로 세라믹 재질 (Carbosep & Membralox, France) 및 폴리프로필렌 재질 (Microdyne, German)의 관형막을 사용하였다.

## 4. 결과 및 토론

상수 원수에 대한 정밀 및 한외여과 처리 결과 시간에 따른 플럭스의 감소현상이 나타났다. 막오염은 같은 유체역학적인 조건에서는 분리막의 재질이나 세공크기와는 무관하게 진행되었다. 이러한 결과는 막오염이 주로 입자에 의한 케이크 형성에 기인하기 때문으로 생각할 수 있다.

막면유속을 변화시켜가며 시간에 따른 플럭스를 관찰한 결과(Fig.1) 교차흐름식 여과에서는 막면유속을 20배가량 증가시키더라도 500분 후의 최종 플럭스 값은 3배 정도의 증가만을 보였다. 또한 전량여과와 교차흐름식

여과의 결과를 비교해본 결과, 낮은 유속(0.1, 0.26 m/sec)에서의 교차흐름식 여과에서는 막면유속이 거의 0인 전량여과에서와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이는 특정 유속 이하에서는 교차흐름식 운전을 하더라도 전량여과에 비하여 유리하지 않음을 보여주는 것이다. 이러한 현상은 낮은 유속에서의 최소 역전달 속도가 매우 작기 때문에 나타나는 것으로 볼 수 있다(Fig.2).

단위부피의 여과수를 생산하기 위해 사용되는 총 에너지량을 비교한 결과 전량여과의 경우가 가장 효율적인 것이었으며 막면유속을 증가시킬수록 에너지 사용량이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

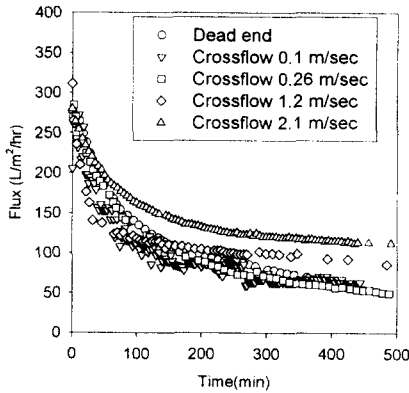


Fig.1. Effect of crossflow velocity on flux decline in crossflow MF.

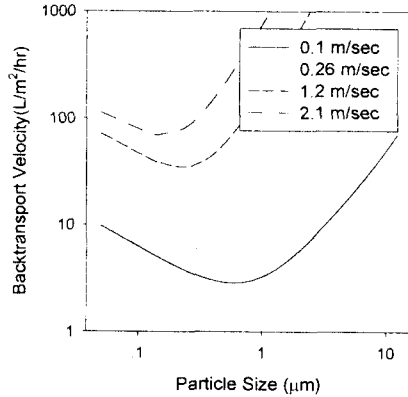


Fig.2. Calculation of theoretical backtransport velocity in crossflow MF of surface water

이와같은 막오염 현상을 극복하기 위하여 역세척 및 전량/교차흐름식 병행 여과를 수행하였으며 역세척 주기와 압력, 전량/교차흐름식 여과 주기 등을 변화시킴으로써 에너지 사용량 면에서 가장 효율적인 조건을 찾고자 하였다. 또한 pH 조정, 응집, 산화 등의 화학적인 전처리 방법을 도입하여 각 경우에 있어 플럭스에 미치는 영향을 살펴보았다.