

## 유기물 특성이 막오염 지수에 미치는 영향

김하나, 박찬혁, 홍승관  
고려대학교 사회환경시스템공학과

### Effect of Organic Characteristics on Membrane Fouling Index

Hana Kim, Chanhyuk Park, Seungkwan Hong  
Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University

#### 1. 서론

최근 수원 중 존재하는 자연유기물질을 제거하기 위해 고도정수처리과정이 고려되고 있다. 특히, 막 여과 시설의 도입이 적극 검토되고 있으나, 막 오염에 의한 투과 플럭스(flux) 감소와 막의 수명감소, 세정 및 유지비용 증가, 생산수의 수질 저하 등의 문제들이 대두되고 있다(Hong and Elimelech, 1997). 막 오염 현상을 방지하기 위해서 전처리 공정의 도입 여부를 판단하여야 하는데, 특히 RO/NF 공정 설계 시 전처리 공정의 도입여부를 결정하기 위해 SDI (Silt Density Index) 또는 MFI (Modified Fouling Index) 등의 막 오염 지수로 막 오염 정도를 판단하여 설계지침으로 사용하고 있다 (Boerlage et al., 2002). 그러나, 이러한 막 오염지수는 케익 여과 이론을 바탕으로 하고 있어, 유기물질에 대한 막 오염 정도를 판단하기에는 무리가 있으나, 이에 대한 연구는 전무한 실정이다.

#### 2. 실험방법

##### 2.1. 막 오염 지수 (Membrane Fouling Index)

막 오염 지수는 ASTM D4189-95에서 제시된 방법으로 수행하였다. SDI는 막을 통과하여 일정부피 (일반적으로 500mL)를 여과하는데 걸리는 시간 ( $t$ )과 일정 시간 ( $t=15$ 분)을 여과한 후, 같은 부피를 여과하는 데 걸리는 시간 ( $t_i$ )을 계산하여 다음의 식으로 구한다.

$$SDI = \frac{[1 - (t_i/t)]}{t} \times 100 \quad \text{식(1)}$$

MFI는 15분의 여과시간 동안 30초마다 여과량 (V)을 기록하고, 시간으로 나누어 유량 (Q)으로 환산하고, 다음 식 (2)에서 나타낸 것과 같이 x축에 여과량 (V), y축에는 1/Q(t/V)을 나타내어 MFI를 구한다(Schippers and Verdouw, 1980).

$$\frac{1}{Q} = a + MFI \times V \quad \text{식(2)}$$

## 2.2. 유기물 분석

UV<sub>254</sub>는 DR5000(HACH, USA)을 이용하여 254nm에서 측정하고, DOC는 Total organic carbon 분석기(Sievers820, Boulder Colorado, USA)를 이용하여 측정하였다. 유기물의 분자량은 내경이 0.8cm인proteinacious silica column(Protein Pak 125, waters, Milford, USA)를 사용하여 HPSEC(High Performance Size Exclusion Chromatography) 방법으로 측정하였다.

## 3. 결과 및 토론

AHA와 SHA를 각각 0-2.0 mg/L의 농도로 제조하여 농도에 따른 SDI를 Fig. 1에 나타내었다. 그림을 보면, 농도가 증가함에 따라 SDI값도 증가하는 것을 보였으며, 일정농도 이상에서는 SHA의 SDI보다 AHA의 SDI값이 더 높게 나타나고 있다. 이것은 Fig.2의 분자량 분포도에서 보는바와 같이 AHA의 분자량이 큰 유기물이 많아 pore blocking이 크게 일어나기 때문에 SDI값이 크게 나타나는 것으로 생각된다.

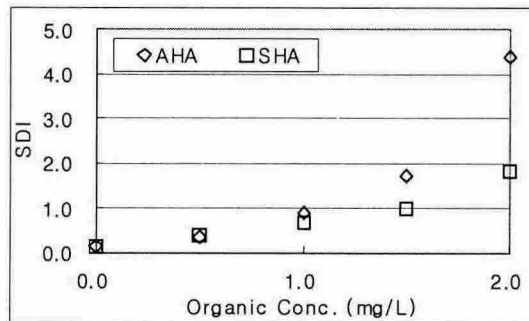


Fig. 1 유기물 종류에 따른 막오염지수(SDI)

SDI test를 진행하는 동안 여과된 물의 UV<sub>254</sub>를 측정하여, 앞의 UV<sub>254</sub>-DOC 간의 curve를 토대로 막 표면에 흡착된 DOC 양을 산정하고 SDI값과 함께 Fig. 3에 비교

하였다. 그림을 보면 막 표면에 흡착된 DOC 양이 같더라도 AHA의 SDI값이 더 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 유기물이 막 표면에 부착되더라도 AHA와 같이 분자량이 큰 경우 수리화학적 저항(Hydraulic resistance)이 증가되어, SDI값에 영향을 준 것으로 판단된다. 따라서 SDI는 단지 막 표면에 흡착 현상에 의한 막 오염 뿐 아니라, 유기물의 분자량에도 영향을 받고 있는 것으로 사료된다.

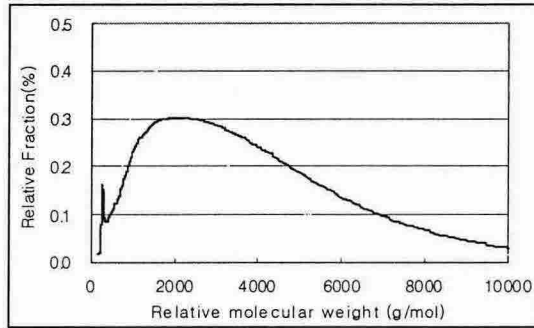


Fig. 2 AHA와 SHA의 분자량 분포도

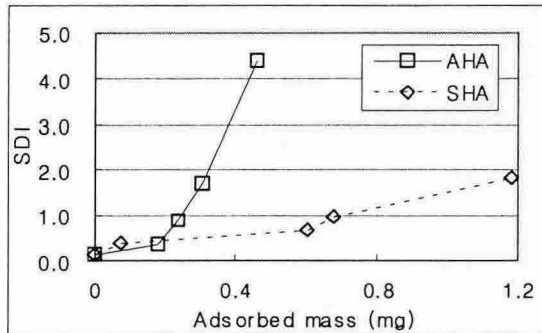


Fig. 3 막 표면의 흡착된 DOC 양과 SDI 비교

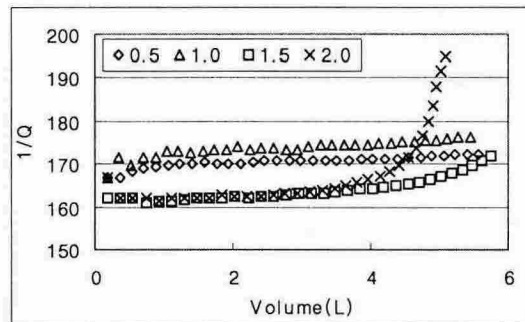


Fig. 4 AHA의 농도에 따른 MFI curve 변화

SDI/MFI는 케익 여과 이론을 바탕으로 하여 외부 막오염(external fouling)을 나타내는 막오염 지수로 입자성 물질의 경우 기울기가 선형으로 나타나 MFI를 정확히 평가할 수 있었다. 반면, 유기물의 경우 Fig. 4에 보여지는 바와 같이 일정농도 이상에서는  $1/Q-V$  간의 기울기가 비선형적으로 나타나 정확한 MFI를 평가하기는 어려웠다. 이것은 유기물이 pore adsorption과 같은 내부 막 오염 (Internal fouling)등 다른 막 오염 메커니즘에 의해서 진행되기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

이 연구는 현재 RO/NF 설계 시 사용되는 막 오염지수(SDI)를 유기물의 종류에 따라 비교, 평가해 보았다. 그 결과, 농도가 증가함에 따라 SDI값도 증가하였으나, 일정농도 이상에서는 SHA보다 AHA의 SDI값이 더 높게 나타나고 있었다. 이것은AHA의 분자량과 SUVA값이 SHA보다 크기 때문에 막 오염이 증가한 것으로 사료된다. 또한, 유기물의 종류에 따라 막 표면에 흡착된 DOC양이 같더라도 AHA의 SDI값이 더 크게 나타나고 있다. 이것은 유기물의 특성에 따라 막 오염지수(SDI)를 평가하기에는 무리가 있음을 보여주고 있다. 따라서, 케익 여과이론을 바탕으로 하는 막 오염지수(SDI/MFI)로는 유기물의 막 오염 정도를 판단하기에는 무리가 있을 것으로 생각된다. 유기물에 의한 다양한 막 오염 메커니즘을 반영하면서, 막 오염 정도를 정확히 판단하고, 쉽고 간편하게 막 오염 예측할 수 있는 새로운 막 오염 지수의 개발이 필요하다.

#### 5. 사사

본 연구는 “상업용 FRM (Fouling Resistant Membrane)의 비교 평가 및 Fouling Mechanism 규명” 과제의 일환으로 (주) 새한 CSM의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 6. 참고문헌

1. Hong, S., Elimelech, M. “Chemical and Physical Aspects of Natural Organic Matter (NOM) Fouling of Nanofiltration Membranes”, J. Membrane Sci, 132, 159 (1997)

2. Boerlage, Siobhan F.E., Kennedy, M.D., Dickson, M.R., El-Hodali, Dima E.Y., Schippers, J.C. "The Modified Fouling Index using Ultrafiltration Membranes (MFI-UF): Characterization, Filtration Mechanisms and Proposed Reference Membrane", *J. Membrane Sci*, 197, 1 (2002)
3. Schippers, J.C., Verdouw, J. "The Modified Fouling Index, a Method of Determining the Fouling Characteristics of Water", *Desalination*, 32, 137 (1980)