막오염의 분석과 저감방안

조재원, 권복순, 박노언
광주과학기술원 환경공학과 NoM연구실

Characterizations and minimization of membrane fouling

Jaeweon Cho, Boksoon Kwon, Noeon Park
K-JIST, Department of Environmental Engineering and Science, NoM Laboratory,
choj@kjist.ac.kr, http://env1.kjist.ac.kr/~dwl

서론

자연유기물질(natural organic matter (NOM))은 입자 및 콜로이드과 더불어 주요한 막오염물질(foulants)이다. 자연유기물질은 상대적으로 그 구조와 특성이 자세히 밝혀지지 않아 막오염현상을 이해하기가 용이하지 않으므로, 자연유기물질을 효과적으로 분석하고, 또한 막오염물질은 자연유기물질의 어떤 부분인지를 밝혀내는 것이 필요하다고 하겠다. 본 연구에서는 자연유기물질 중에서 음전하를 띠는 나노 혹은 울트라막을 막오염시키는 극성 자연유기물질(polar NOM)에 대한 분석방법과 막오염결과를 소개하고자 한다.

자연유기물질 중에서 전하적 특성을 상대적으로 적게 띠는 물질은 대개의 경우, 극성 혹은 친수성물질로 분류될 수 있다. 이를 분리할 수 있는 방법에는 XAD-8/4레진에 의한 분리와 크기에 의한 분리방법 등이 있다. 본 실험에서는 막오염된 물질에 대하여 구조적 특성분석, 분자크기측정을 실시하였으며, 이를 원수 중의 자연유기물질과 비교하여 막오염물질의 특성을 규명함으로써 막오염 저감방안을 제시하고자 한다.

본 연구에서 세운 가설은 음전하를 강하게 띠는 멤브레인의 막오염물질은 음전하밀도를 상대적으로 높게 띠는 휴믹성분보다는 중성적인 전하특성을 띠는 아미노당 혹은 다당류에 가까울 것으로 판단되며, 이는 친수성 특징을 높게 지닐 것이다. 또한, 막오염물질은 그 특성상 생물학적인 분해도가 높을 것으로 예상되어 멤브레인 표면에 쌓일 경우, 높은 생물학적 막오염(bio-foulin) 가능성을 지닐 것으로 예상된다.

본론

실험방법

멤브레인 유입수 내 혹은 막오염물질 중의 자연유기물질의 분자크기분포를 측정하기 위하여 HPLC(Waters 혹은 Futec 혹은 (주)영린기기)와 크기배제(size exclusion chromatography (SEC))칼럼(Waters Protein Pak 혹은 Toyopearl)이 사용되었다. 배경용매는 6.8완충용액에 이온강도를 0.1M까지 올리기 위하여 NaCl을 사용하였다. 적정선을 구하기 위하여 polystyrene sulfonates (PSS) 250, 1800, 8000, 18000 g/mol이 사용되었다. 탐지기로는 UV 흡광도방식이 이용되었고, 측정은 254nm 혹은 210nm에서 이루어 졌다.

자연유기물질의 구조적 특성을 분자크기 측면에서 분석하기 위하여, 본 연구에서는 MWCO가 3500인 dialysis멤브레인을 이용하여, 분자량이 3500이상인 것과 이하인 것으로 분리하여, 각각 콜로이드성 NOM, 비콜로이드성 NOM으로 명명하였다. 이는 각각 소수성, 반친수성, 친수성으로 다시 나누어져 구조적인 분석이 분자량 정보와 함께 제시되었다. 분리된 콜로이드성 NOM은 앞의 가설을 증명하기 위하여 FTIR (Jasco, Japan) 스펙트럼분

석, Pyrolysis GC-Mass분석을 통한 성분분석이 이루어졌다. IR 및 Pyrochromatogram분석 모두 NOM용액을 냉동건조시켜 얻은 분말을 이용하여 실시되었다. IR의 경우에는 초미량, Pyrochromatogram의 경우에는 약 0.5-2.0mg의 분말이 사용되었다.

콜로이드성 NOM을 포함한 다른 모든 NOM성분들에 대한 생물학적 분해능 실험이 실시되었는데, 실제 정수처리공정을 구현하기 위하여 낙동강 원수속에서 주문진 모래를 이용하여 부착성 미생물을 약 30일동안 배양하였다. 미생물 분해실험용 모래는 암실 속에서 호기성 조건하에서 NOM분해능을 약 5-7일간 검토되었다. 실험시간때의 총유기탄소(DOC)값과 실험종료시의 DOC값의 차이를 BDOC(bio-degradable dissolved organic carbon)이라고 정의하고, 각 NOM 샘플에 대한 BDOC/DOC비율을 계산하였다. 이 비율이 상대적으로 크다는 것은 생물학적으로 분해될 수 있는 자연유기물질의 비율이 높다는 것을 의미하며, 멤브레인의 경우, bio-fouling잠재력이 높음을 암시한다.

막오염 분석 대상 멤브레인은 완선형 tight-UF멤브레인으로써, 광주시 상수도사업본부 파일럿 연구실에 설치후, 침전수를 유입수로 한 여과실험된 2540모듈형 멤브레인(Desal., GH, MWCO=2500 g/mol)을 분해 후 사용하였다.

결과 및 토론

멤브레인 유입수로 사용된 광주 주암호 원수내의 NOM과 멤브레인으로부터 분리된 막오염 유기물질에 대한 구조분석결과는 다음 그림 1과 같다. 친수성, 소수성 분율이 원수와 막오염물질에서 비슷하게 나타나고 있다. 이를 통하여 본 연구의 가설이 일부 뒷받침될 수 있는데, 즉, 원수에서 높은 비율로 존재하였던 친수성 NOM물질의 막오염 가능성이 구조적인 측면에서 증명될 수 있었다.

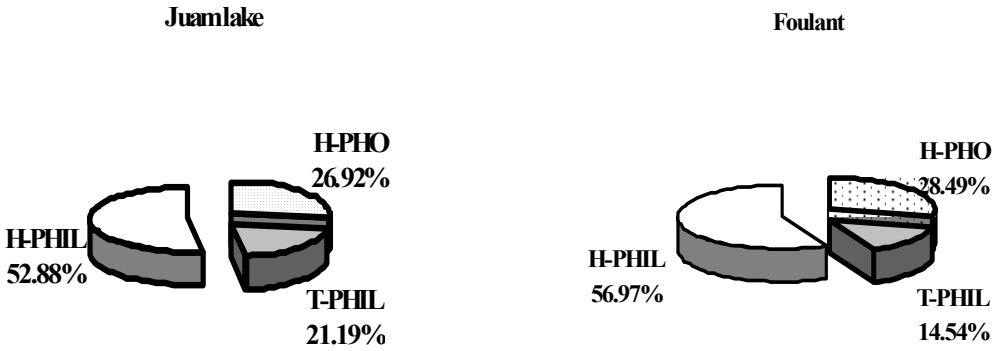

그림 1. 멤브레인 유입원수(주암호)와 멤브레인 막오염 유기물질의 구조분석 결과: 막오염물질 중 콜로이드성 NOM 분율: 비콜로이드성 NOM 분율 = 62% : 38%.

이러한 친수성 막오염물질의 존재를 화학적 성분측면에서 증명하기 위하여, 그림 2와 같이 FTIR 스펙트럼 분석을 실시하였다. 그림에서 보는 바와 같이, 사용 전 깨끗한 멤브레인에 비하여 막오염된 멤브레인표면에 대해서, 대부분의 IR 피크가 사라지고, 1040cm^{-1} 근처에서 새로운 넓은 피크가 나타나는데, 이것이 N-acetyl amino sugars피크이다. 즉, 막오염의 주 원인물질의 대표적 물질로써 다당류 계열인 아미노당류의 존재를 증명할 수 있었다.

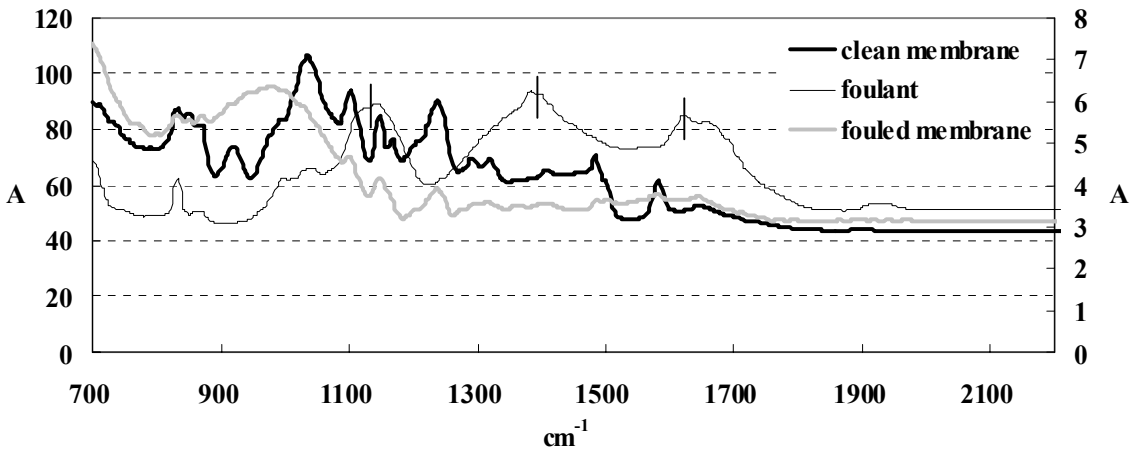

그림 2. 사용전 멤브레인과 막오염된 멤브레인에 대한 FTIR 스펙트럼.

IR 스펙트럼으로 증명할 수 있었던 아미노당이 콜로이드성 NOM으로부터 유래된 것을 증명하기 위하여 본 연구에서는 Pyrolysis-GC-Mass를 이용하였는데, 그 결과는 아래 그림 3과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 RT 20.74분에서 acetamide 피크가 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, amino sugars의 존재를 확인할 수 있었다.

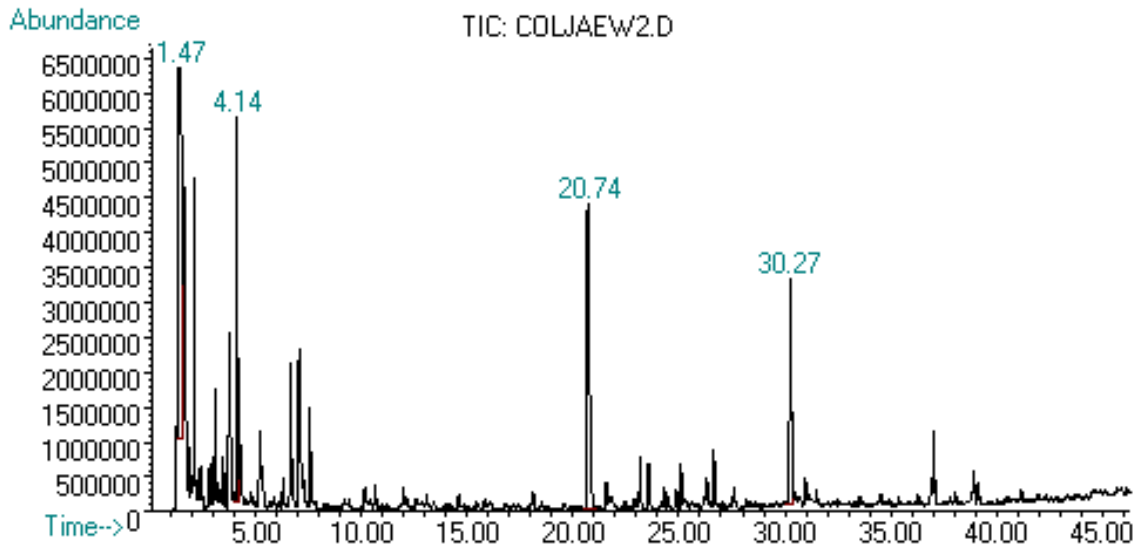

그림 3. 콜로이드성 NOM 물질에 대한 Total Ion Pyrochromatogram, TIC 결과.

다음의 그림 4와 그림 5에는 각각 막오염물질의 분자크기분포와 여러 가지 NOM성분의 생물학적분해능(%BDOC/DOC)을 나타내었다. 분자크기분포는 지면관계로 자세히 토론하지 않고 학회에서 발표될 것이며, 생물학적 분해능의 경우, 가설을 세운대로, 콜로이드성 NOM이 상대적으로 높은 값을 나타내고 있다.

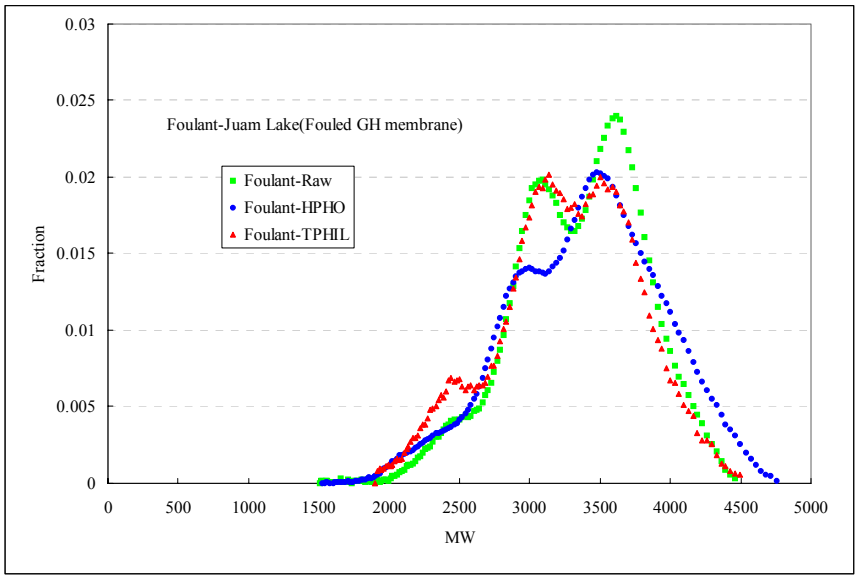

그림 4. 막오염물질의 분자크기분포 측정결과.

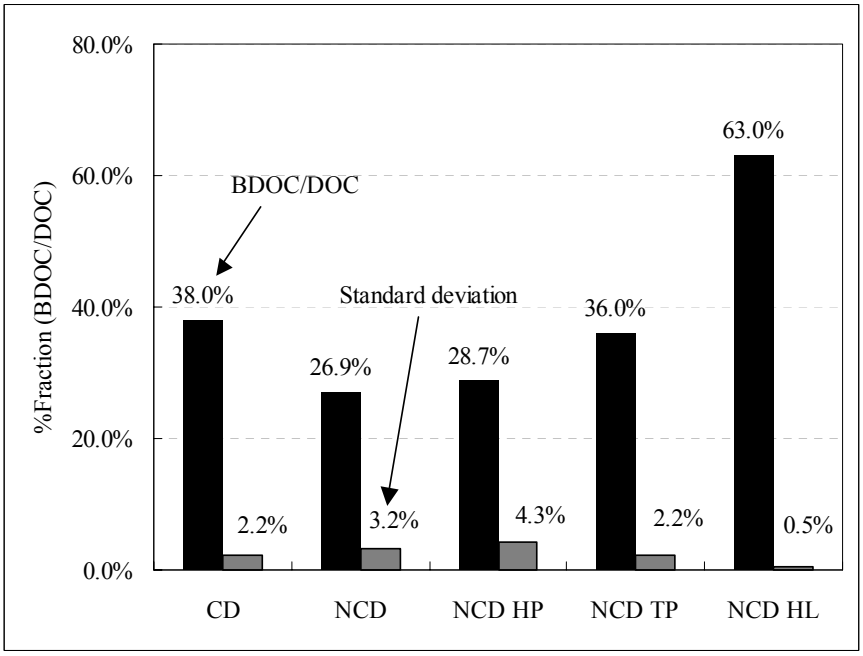

그림 5. 여러 가지 NOM성분의 생물학적 분해능 비교: CD: 콜로이드성 NOM.

결론

멤브레인 유입수내의 자연유기물질과 막오염 유기물질을 분석한 결과, 상대적으로 분자량이 크고 친수성 성분을 많이 함유하고 있는 콜로이드성 NOM이 막오염의 주원인 물질 중의 하나임을 밝힐 수 있었다. 이를 위하여 본 연구에서는 NOM의 소수성/친수성 분리 방법, 크기별 분리를 통한 콜로이드성 NOM분리방법, 분리된 여러 가지 NOM별 특성분석을 위한 여러 가지 방법들이 제시되었다. 특히, 주요 막오염 유기물질인 콜로이드성 NOM분석을 위하여, IR, Pyrochromatogram, 분자량크기분포측정 등의 다양한 화학적 분석이 수행되어 막오염물질 특성을 규명할 수 있었다.