

유리섬유 분리막 모듈을 이용한 부유물질 농도의 측정 원리 개발

박진용^{*,**,*†} · 정원^{*}

*한림대학교 환경생명공학과, **한림대학교 에너지·환경연구소
(2009년 12월 8일 접수, 2009년 12월 16일 수정, 2009년 12월 17일 채택)

Measurement Theory Development of Suspended Solid Concentration Using Glass Fiber Membrane Module

Jin Yong Park^{*,**,*†} and Wan Jung^{*}

*Department of Environmental Sciences & Biotechnology, Hallym University, Kangwon 200-702, Korea

**Institute of Energy & Environment, Hallym University, Kangwon 200-702, Korea

(Received December 8, 2009, Revised December 16, 2009, Accepted December 17, 2009)

요약: 본 연구에서는 기존의 중량법과 광산란법과는 원리와 기술이 다른 입도별 부유물질 측정용 분리막 모듈 및 장치를 개발하기 위한 원리를 수립하기 위한 기초 자료를 확립하고자 하였다. 이러한 목적을 위하여, 이산화규소 및 덱스트란(dextran), 카올린(kaolin), PEG (polyethylene glycol) 부유용액을 대상으로 유리섬유 여과지 GF/C와 GF/A를 분리막 모듈에 장착하여 여과시키면서, 디지털 압력계를 사용하여 막간압력차(TMP, Trans-membrane pressure) 변화를 측정하였다. 모사용액의 농도와 TMP 변화율 기울기의 상관관계식을 TMP 변화 실험 결과로부터 구하여, TMP 변화 기울기로부터 시료의 농도를 예측할 수 있도록 하였다.

Abstract: In this study the basic data were settled down to establish theory of membrane module and apparatus for measuring suspended solid per particle size. The theory and technique were different with the conventional weight method and light scattering method. For this purpose silica, dextran, kaolin, and PEG (polyethylene glycol) suspended solutions were filtrated through glass fiber membranes GF/C and GF/A on membrane module for measuring TMP (Trans-membrane pressure) changes using digital pressure gages. And the related equation between modified solution concentration and TMP change slope was derived from the TMP change experiments, and then suspended solid concentration of samples could be expected by the equation.

Keywords: *suspended solid, membrane, TMP, module*

1. 서론

수환경에서의 부유물질이란 물 속에 존재하는 유기성, 무기성 물질로써 여과 또는 원심분리에 의해 분리되는 0.1 μm ~2 mm 크기의 입자상 물질을 말하는 것으로, 수질오염공정시험법에서는 105~110°C에서 건조한 후에 남아있는 잔류물질로 정의되어 있다. 부유물질은 물의 탁도를 유발시키는 원인이 되며 빛을 차단하여 수생태계에 악영향을 초래함은 물론, 유기성 부유물은 용존

산소를 감소시키며 침전하여 퇴적물이 생성되면 발효에 의해 H₂S나 CH₄등의 유해가스발생의 원인물질로 작용하므로 수질관리에서는 부유물질의 제거가 BOD와 함께 중요한 항목으로 여겨지고 있다.

부유물질의 측정방법은 유리섬유필터(GF/C)를 이용한 중량법과 적외선을 이용한 광산란법이 있으며 현재 국내의 수질오염공정시험법에는 유리섬유필터를 이용한 유리섬유여지법이 주 시험법으로 제시되어 있다. 그러나 유리섬유여지법은 사용방법상 현장에서의 측정이 불가능하여 시료를 실험기기가 설치된 실험실까지 운반한 후 분석을 진행하여야 하며, 이에 따른 시료의 변질우려와 중량

[†]주저자(e-mail: jypark@hallym.ac.kr)

측정에 의한 오차요소를 포함하고 있다. 또한 짧은 시간 내에 다수의 시료를 분석하여야 하는 하폐수처리시설의 방류수 수질을 측정하기에는 많은 시간이 소요되어 이의 이용이 매우 어렵다. 최근 빛의 산란이나 흡수량을 이용한 현장 측정용기기들이 일부 개발되고 있으나 대부분이 외국의 원천기술에 의존하여 개발되고 있는 상황이다.

싱가폴 난양공과대학의 A.G. Fane 교수팀은 3종류의 Latex 입자를 대상으로 0.2 μm 무기막을 사용하여 십자 흐름(Crossflow) 방식에서 임계 투과선속(Critical flux)과 입자 누적에 대한 결과를 발표하였다[1]. 그 결과 중에 각 Latex 입자별 TMP와 투과선속에 대한 상관관계를 제시하였는데, 이러한 결과로부터 본 연구에서 개발하고자 하는 입도별 부유물질 측정 분리막 모듈 및 장치의 원리를 착안하게 되었다. 호소수 및 제지폐수를 대상으로 세라믹 정밀 및 한외여과막을 사용하여 처리하면서, 최적 운전조건에 대한 연구가 꾸준히 수행되어 왔다 [2-6]. 그 결과에는 TMP 변화가 분리막의 투과유속에 미치는 영향을 고찰한 것이 포함되어 있다. 따라서 수질 즉 부유물질나 입도별 부유물질에 따라 TMP의 증가하는 경향이 달라질 것이라는 예측 하에 본 연구를 수행하고자 한 것이다.

한편, 현재 한국 특허청에 등록된 부유물질 분석 관련 특허를 검색하여 본 결과, “광학센서를 이용한 수질측정 방법 및 장치[7]”와 “온라인 부유물질 농도 측정센서장치[8]”가 조사되었다. 이들 특허 모두 광원을 시료에 조사하여 측정부에서 생성된 형광과 산란광을 광학센서를 이용하여 측정한 후, 부유물질로 환산 계산하는 기술이다. 따라서 본 과제에서 개발하고자 하는 입도 별 부유물질 측정 분리막 모듈 및 장치는 그 원리가 전혀 다르며, 입도별 부유물질 측정이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

한국산업기술평가원의 산업기술수준조사(2006)에 따르면 환경계측기 분야 중 수질오염측정기술은 미국의 기술수준이 96.1, 유럽 93.3, 일본 92.7인데 비해 국내의 기술수준은 73.7로써 최고기술 보유국과의 기술격차연수는 무려 6.9년이나 뒤떨어진 것으로 조사되었다.

외국의 경우 2000년대부터 광산란법을 이용한 휴대용 측정기기들이 개발되어져 왔다. 빛을 이용한 부유물질의 측정원리는 틴들현상(Tyndall Effect)을 이용한 90° 산란 광법(90° Scattered Light Method)와 램버트비어의 법칙(Lambert-Beer Law)를 이용한 흡광도법(Light Absorption Method), 역산란된 빛의 양을 측정하는 역산란광법(Back

Scattered Light Method) 등이 있다. 이러한 방법들은 발광부에서 발생한 일정강도의 빛이 매질을 통과 하면서 형성되는 산란광의 양이나 빛의 강도 차이 등을 수광부에서 측정하여 이것을 주파수로 변환시키는 것으로, 수중의 입자농도가 높을수록 선형성이 떨어지고 투과광의 세기가 기하급수적으로 감소하는 단점을 가지고 있다. 또한 기기의 제조시 입력되는 보정값(Factory calibration)에는 자연상태의 지표수 형태와 유사한 규조토 현탁액을 사용한 측정값들이 많이 사용되나 이것은 입자가 균일하지 못하기 때문에 재현성에 심각한 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 인지하여 국외의 일부 유명회사는 실제 대상시료를 Standard Method에 의거하여, 수분석을 수행함으로 얻어지는 결과값을 측정기기에 직접 입력하여 교정값으로 사용할 수 있는 기기들을 개발하고 있다.

국내에서는 최근에 이르러서야 LED (발광다이오드) 등에 의한 광산란법을 이용한 부유물질측정기기의 개발이 이루어지고 있으나 이마저도 현장 고정용으로 개발되어 주로 하·폐수의 방류수질 모니터링용으로 사용되고 있으며, 하천이나 호소 등 자연수계의 부유물질을 측정하기 위한 휴대성이 용이한 휴대용 형태의 현장용 측정기기들은 고가의 수입품에 의존하고 있는 실정이다.

환경계측 및 분석장비 시장은 2003년 1,678억원에서 2004년 1,988억원으로 연간 18.5%의 빠른 성장률을 보였으며(2004년 기준 환경산업 통계조사결과, 환경부 환경정책실, 2006.1) 이와 같은 추세로 관련시장이 성장한다면 2009년에는 4,639억원의 시장이 형성될 것으로 판단된다.

영국의 JEMU (Joint Environment Market Unit, 2002)에 의하면 세계의 환경 시장 규모는 2000년 약 5,152억 달러였으며 이러한 시장규모는 2010년 약 6,882억 달러에 달할 것으로 예측되어있으며, 지역별로는 중국의 환경시장이 128%, 중동구 유럽 및 독립국가연합(CIS, Commonwealth of Independent States) 90%, 동남아시아 및 인도지역이 약 80% 성장할 것으로 예측되어 있다(유럽 환경시장이 보인다, 코트라, 2005). 또한 2002년 유럽연합(15개국)의 환경감시 및 측정 분석 분야에 33억 유로의 비용이 소요되었으며 수질측정 장비의 수입에는 2003년 2억5천유로, 2004년 2억9천유로가 지출되었다(EUROSTAT, 2005).

분야별 환경시장 중 환경측정 및 분석장비 시장은 2000년 98억 달러에서 2010년 130억 달러로 약 33%가 증가될 것으로 예상되며, 이 중 중국의 환경 측정기기 분야

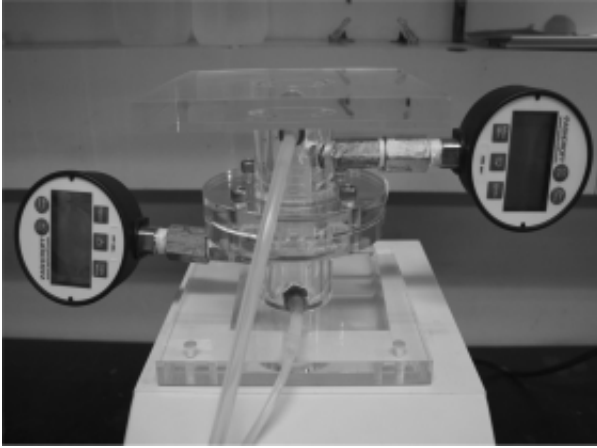


Fig. 1. The first stage test module for automatic measuring apparatus of suspended solid.

는 기술적인 낙후로 인하여 환경관리 감독, 긴급 현장측정 등을 위해 휴대형 측정기기의 수요가 지속적으로 증가하고 있는 것으로 조사되었다. 일례로 쓰촨성 환경보호국에 따르면 성내 환경측정기기 분야에 매년 3,000만~5,000만 위안의 예산이 소요될 것으로 전망되고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 중량법과 광산란법과는 원리와 기술이 전혀 다른 입도별 부유물질 측정용 분리막 모듈 및 장치를 개발하기 위한 원리를 수립하기 위해 기초 자료를 확립하고자 하였다. 이러한 목적을 위하여, 이산화규소 및 덱스트란(dextran), 카올린(kaolin), PEG (polyethylene glycol) 용액을 대상으로 유리섬유 여과지 GF/C와 GF/A를 분리막 모듈에 장착하여 여과시키면서, 디지털 압력계를 사용하여 TMP 변화를 측정하였다. 이러한 실험 결과로부터 모사용액의 농도와 TMP 변화율 기울기의 상관관계식을 구하여, TMP 변화 기울기로부터 시료의 농도를 예측할 수 있도록 하였다.

2. 실험

2.1. 부유물질(SS) 측정용 국내의 분리막의 선별: GF/C 및 GF/A 유리섬유막

현재 평판형 고분자 분리막은 정수 및 폐수처리용으로 널리 보급되고 있는 단계이다. 이러한 분리막 중 기계적 인장 강도가 강한 고분자 분리막과 아직 널리 실용화되지 못한 세라믹 분리막을 문헌 및 전산자료를 활용하여 조사하였다.

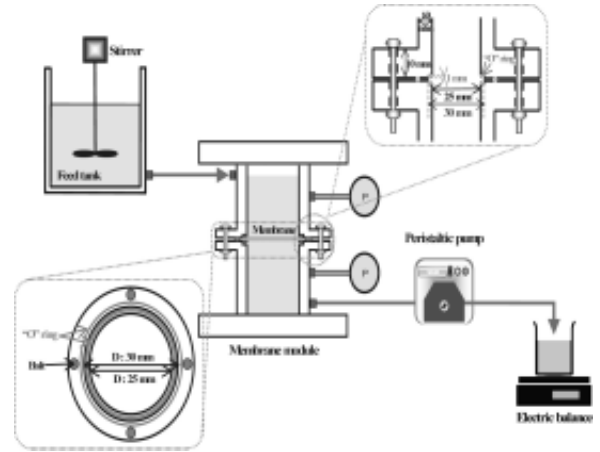


Fig. 2. Suspended solid measuring apparatus using membrane module.

국내 분리막 제조회사와 국외 분리막 구매 대행회사를 통하여 다양한 기공의 크기를 가진 평판형 고분자 및 세라믹 분리막을 구입하였다.

본 연구에서는 이산화규소 및 덱스트란(dextran, Sigma), 카올린(kaolin, Sigma-Aldrich), PEG (polyethylene glycol, Junsei) 용액을 대상으로 세라믹 분리막(나노기공) 및 직경 70 mm인 유리섬유 여과지 GF/C (Whatman, Cat. No. 1822070)과 GF/A (Whatman, Cat. No. 1820070)를 분리막 모듈에 장착하여 여과시키면서, TMP 변화를 측정하였다. 세라믹 분리막은 기공 크기(pore size)가 0.1 μm 이고, 두께가 3 mm이고, GF/C 유리섬유 여과지의 기공 크기는 1.2 μm 로 수질측정을 위해 부유물질(suspended solid)의 양 측정하는 데 주로 이용된다. GF/A 유리섬유 여과지의 기공 크기는 1.6 μm 로 GF/A 여과지보다 다소 크다.

2.2. 실험장치

평판형 분리막을 장착하여 일정 투과량 조건에서 TMP를 측정할 수 있는 모듈을 설계하고, 내부 변화를 쉽게 관찰할 수 있도록 Fig. 1에서 보는 바와 같이 아크릴 재질로 제작하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 항온조와 연결된 공급탱크 및 분리막 모듈, 정밀 연동펌프(peristaltic pump), 디지털 압력 변환기로 구성된 수중 부유물질 측정 장치를 구성하였다. 분리막 전후에 설치된 디지털 압력 변환기의 신호를 컴퓨터에 전송하여 실시간으로 막간압력차(TMP)의 변화를 저장할 수 있게 되어 있다.

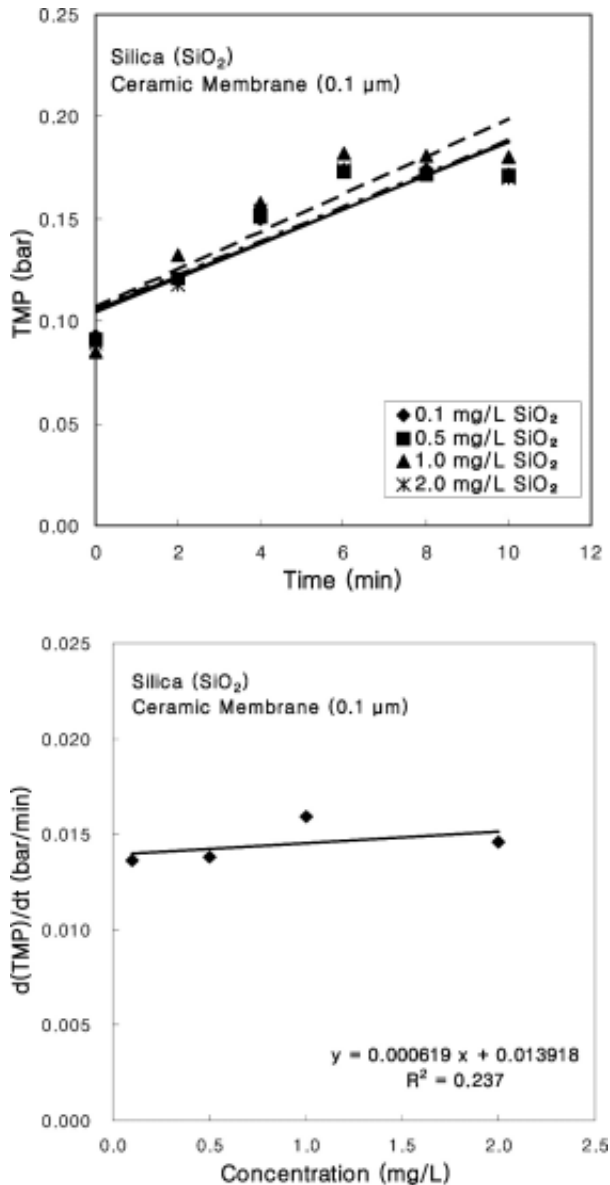


Fig. 3. TMP change during ceramic membrane filtration for silica.

2.3. 실험방법

2.3.1. 분리막 모듈을 이용한 막간압력차 변화 측정

분자량과 성분이 다른 수용액과 하천수를 대상으로, 세라믹 분리막 및 GF/C, GF/A 유리섬유 여과지를 부유물질 측정용 분리막 모듈에 장착한 후 수용액과 하천수를 일정 투과량 조건에서 여과하는 동안 막오염에 의해 발생하는 TMP의 변화를 측정하였다. 공급탱크에 1 L의 원수를 채우고 원수의 부유물질이 가라앉지 않도록 교반기를 돌려주었다. 모듈에 분리막을 놓고 나사를 조여

결합한 뒤, 압력계의 압력을 0 bar로 영점 조정하였다. 정밀 연동펌프의 흡입유량을 5 mL/min으로 일정하게 유지하여, 일정한 투과량이 나오도록 하였다. 수용액은 0.01, 0.1, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10 mg/L의 농도로 만들어 실험하였다. 정밀 연동펌프로 흡입되어 분리막을 투과한 처리수를 전자저울(electric balance) 위에 놓인 비이커에 모아서 2분마다 누적질량을 측정하였다. 총 실험시간은 30 분으로 각각 일정하게 유지하였으며, 유입부와 유출부의 디지털 압력 변환기의 신호를 컴퓨터에 전송하여 실시간으로 막간압력차(TMP)의 변화를 저장하였다.

2.3.2. 하천수의 부유물질 측정

하천수의 부유물질을 측정하기 위하여 사용한 유리섬유 여지법[9]은 부유물질 측정법으로, 미리 무게를 단 유리섬유 여지(GF/C)를 여과기에 부착하여 일정량의 시료를 여과시킨 다음 항량으로 건조하여 무게를 달아 여과 전·후의 유리섬유 여지의 무게차를 산출하여 부유물질의 양을 구하는 방법이다. 정량범위는 5 mg 이상이다.

시험방법으로는 유리섬유 여지(GF/C) 또는 이와 동등한 규격으로서 지름 47 mm의 것을 여과기에 부착하여 미리 물 20 mL씩으로 3회 흡인여과하여 씻었다. 그 다음 시계접시위에 놓고 105~110°C 건조기 안에서 2시간 건조시켜 황산 데시케이터에 넣어 방냉하고 항량으로 건조한 후, 무게를 정밀히 달고 여과기에 부착시켰다. 시료 적당량을 여과기에 주입하면서 흡인여과하였다. 시료용기 및 여과기의 기벽에 붙어있는 부착물질을 소량의 물로 여지 위에 씻어 내렸다. 그 다음 즉시 여지상의 잔류물을 물 10 mL씩으로 3회 씻어주고 약 3분 동안 계속하여 흡인 여과하였다.

유리섬유 여지를 핀센트로 주의하면서 여과기에서 끄집어내어 시계접시위에 놓고 105~110°C의 건조기 안에서 2시간 건조시켜 황산 데시케이터에 넣어 방냉한 다음 항량으로 하여 무게를 정밀히 측정하였다.

여과 전후의 유리섬유 여지 무게의 차를 구하여 부유물질의 양을 식 (1)으로 계산하였다.

$$SS \text{ (mg/L)} = (b - a) \times 1,000/V \quad (1)$$

여기서, a는 료 여과 전의 유리섬유 여지 무게(mg)이고, b는 시료 여과 후의 유리섬유 여지 무게(mg), V는 시료의 양(mL)이다.

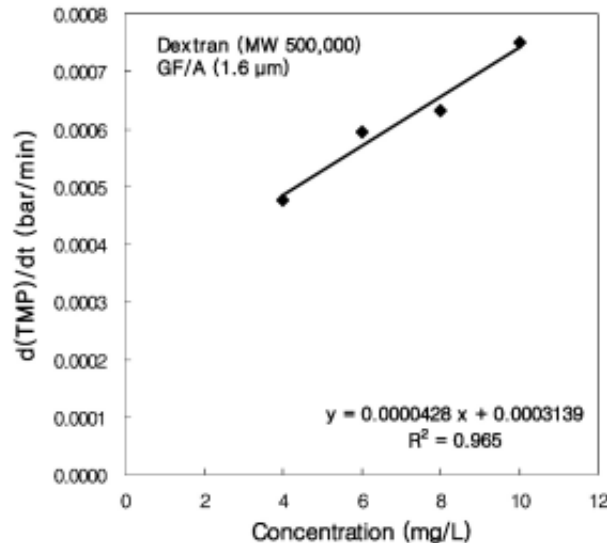
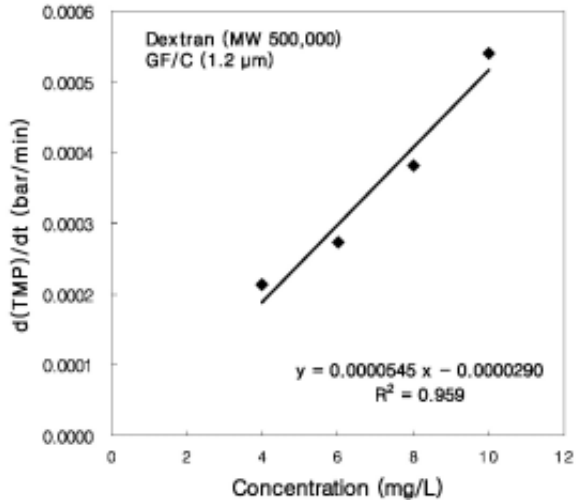
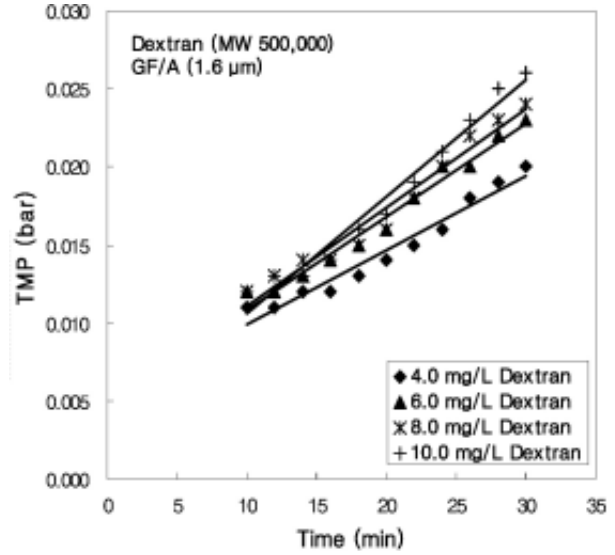
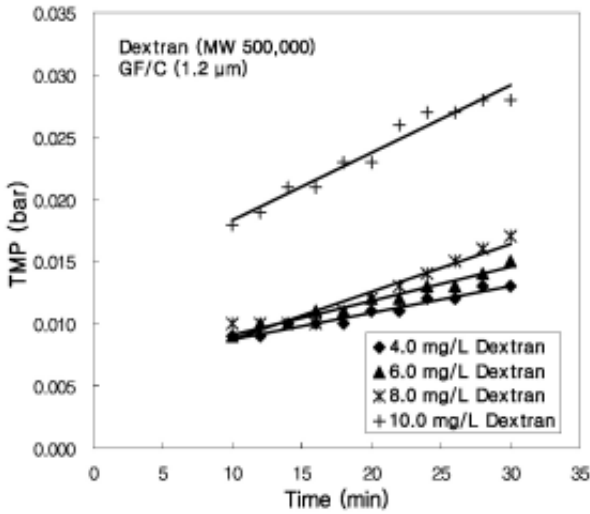


Fig. 4. TMP change during GF/C filtration for MW 500,000 dextran.

Fig. 5. TMP change during GF/A filtration for MW 500,000 dextran.

3. 결과 및 고찰

3.1. 세라믹 분리막의 막간압력차의 변화

기공의 크기가 0.1 μm인 세라믹 분리막으로 이산화규소를 여과한 경우, 막간압력차(TMP)의 변화를 관찰한 결과를 도시한 것이 Fig. 3이다. 그 결과를 살펴보면, 여과시간이 증가함에 따라 TMP의 증가가 뚜렷한 선형관계를 보이지 못하고 있다. 또한, 이산화규소 부유 수용액의 농도에 따른 TMP 변화 기울기를 도시한 Fig. 3을 보면, 상관도가 매우 미약함을 알 수 있다. 이러한 결과는 세라믹 분리막이 두께가 3 mm로 상당한 두께를 가지고 있어, 막오염이 분리막 내부에 발생하면서 이산화규소의

농도에 비례하여 발생하지 못한 것으로 추정된다. 따라서 세라믹 분리막은 부유물질 자동 측정장치에 사용하기에 부적합한 것으로 판단되었다.

3.2. 덱스트란 부유 수용액의 농도에 따른 막간압력차의 변화

다양한 분자량의 덱스트란을 일정 비율로 혼합하여 표준시료를 준비한 후, 일정 투과유량 조건에서 분리막 모듈을 통과시키면서 TMP의 변화를 측정한다. 혼합 시료의 농도를 변화시켜가면서 TMP 변화 추이를 측정하여, TMP와 부유물질의 상관관계를 규명하였다.

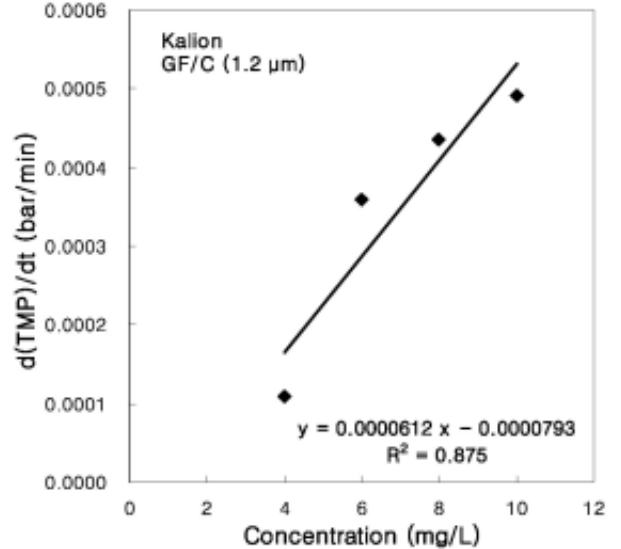
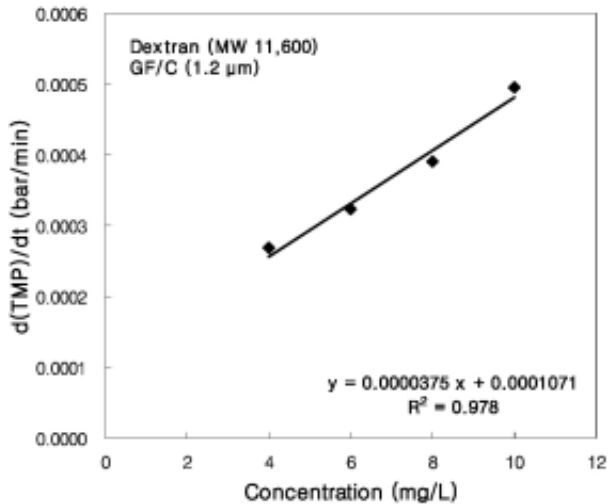
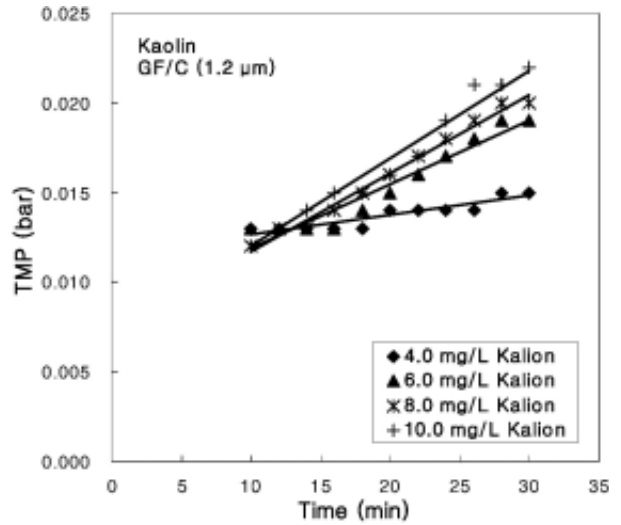
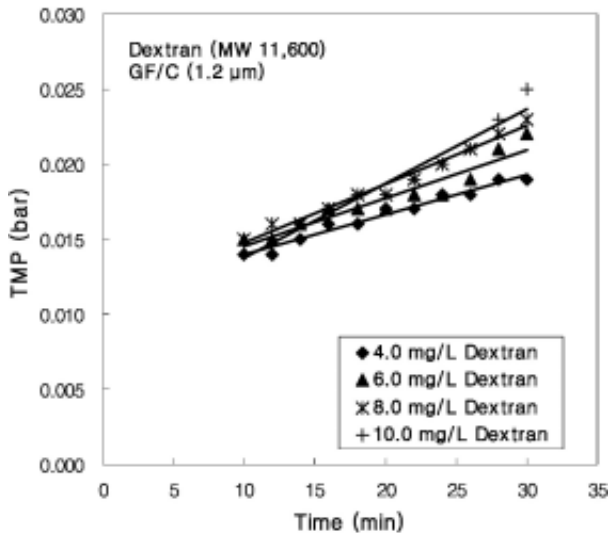


Fig. 6. TMP change during GF/C filtration for MW 11,600 dextran.

Fig. 7. TMP change during GF/C filtration for kaolin.

유리섬유 여과지 GF/C (기공 1.2 μm)를 부유물질 측정 모듈에 장착한 후, 분자량 500,000의 덱스트란 부유 수용액을 대상으로 30분 동안 막여과를 진행하면서 분리막 전후의 압력을 측정하여 TMP의 변화를 구하였다. Fig. 4에 제시한 바와 같이, 덱스트란의 농도가 증가함에 따라 TMP의 변화 기울기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 유리섬유 여과지 GF/A (기공 1.6 μm)를 사용해서 같은 500,000 분자량의 덱스트란 부유 수용액을 사용하여 시험방법을 동일하게 실험을 실시하였다. 여과시간에 따른 TMP 변화와 농도 변화에 따른 TMP의 기울기를 Fig. 5에 나타내었다. 동일한 분자량의 덱스트란 용액에 대한 GF/C와 GF/A의 결과를 비교하여 보면, 농도에 따른 TMP의 변화

율 $d(TMP)/dt$ 의 기울기는 기공의 크기가 더 작은 GF/C의 경우 5.45×10^{-5} 이고, GF/A의 경우 4.28×10^{-5} 로 더 낮은 값을 보여 주고 있다. 이러한 결과는 동일한 분자량의 부유 수용액에서 분리막의 기공이 작을수록 막오염이 급격하게 발생하여, 부유 수용액 농도가 증가할수록 TMP의 변화율이 가파르게 증가하기 때문이다.

분자량 11,600의 덱스트란 부유 수용액을 대상으로 측정 모듈에 GF/C를 장착한 후, 실험방법을 동일하게 일정 투과량 조건에서 여과시간에 따른 TMP의 변화를 측정하였다. 그 결과를 정리한 것이 Fig. 6으로, 역시 덱스트란 부유 수용액의 농도가 증가할수록 TMP의 변화율이 증가하는 것을 알 수 있었다. 덱스트란 농도에 대한 TMP

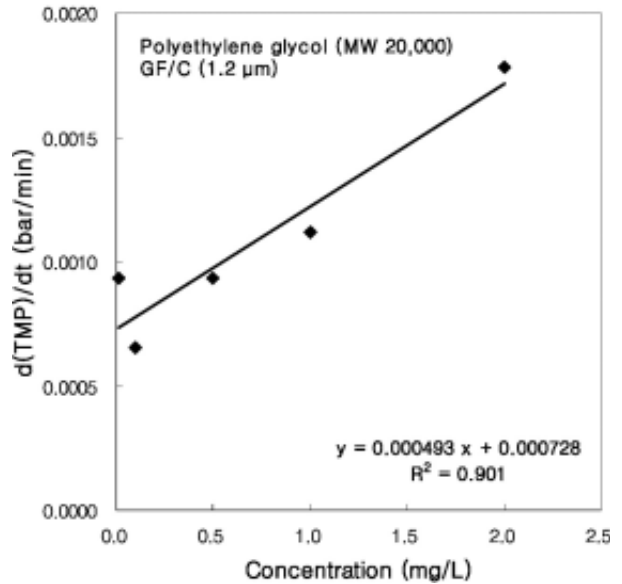
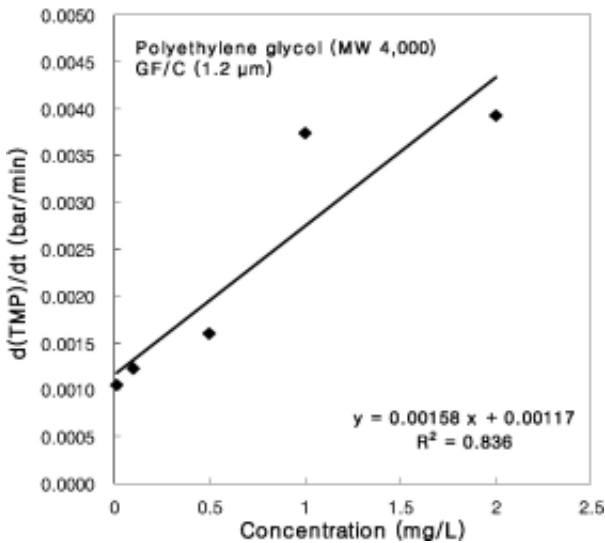
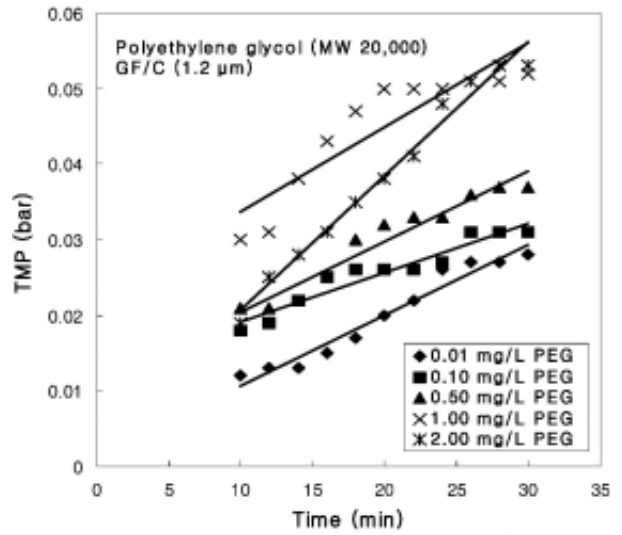
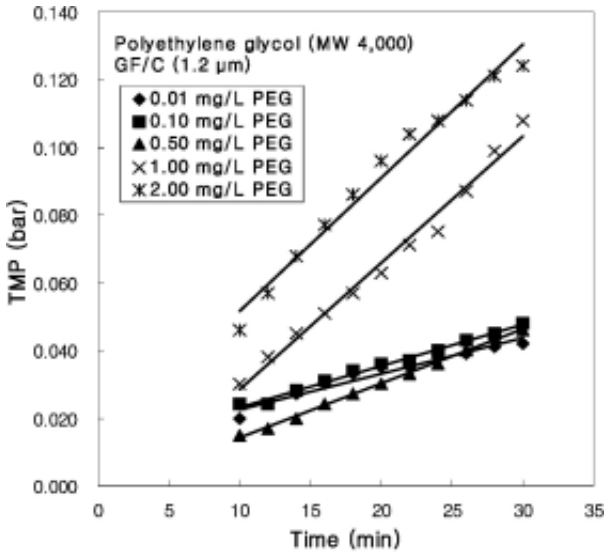


Fig. 8. TMP change during GF/C filtration for MW 4,000 polyethylene glycol.

Fig. 9. TMP change during GF/C filtration for MW 20,000 polyethylene glycol.

변화율의 기울기는 3.75×10^{-5} 로, 분자량 500,000 덱스트란 부유 수용액의 경우보다 작은 값을 보여 주고 있다. 이러한 결과는 동일한 물질이라도 분자량이 작은 경우 농도를 증가시키면 막오염이 서서히 진행된다는 것을 보여 주고 있는 것이다.

3.3. 카올린 부유 수용액의 농도에 따른 막간압력차의 변화

카올린 부유 수용액을 대상으로 덱스트란에 대한 실험에서 실시했던 방법과 동일하게 TMP 변화 측정 실험을 실시하였다. 유리섬유 여과지 GF/C를 사용하였고, 총여

과시간을 30분으로 하였다. 카올린 부유 수용액의 농도는 덱스트란의 경우와 동일하게 4, 6, 8, 10 mg/L로 하였다. 그 결과를 정리한 Fig. 7에서 보는 바와 같이, 카올린 농도가 증가함에 따라 TMP 변화의 기울기가 증가하였다. 카올린 농도에 대한 TMP 변화율의 기울기는 6.12×10^{-5} 로, 분자량 11,600과 500,000 덱스트란의 경우보다 큰 값을 나타내었다. 이는 카올린 성분이 덱스트란보다 농도가 증가함에 따라 막오염이 급격하게 진행된다는 것을 의미하는 것이다.

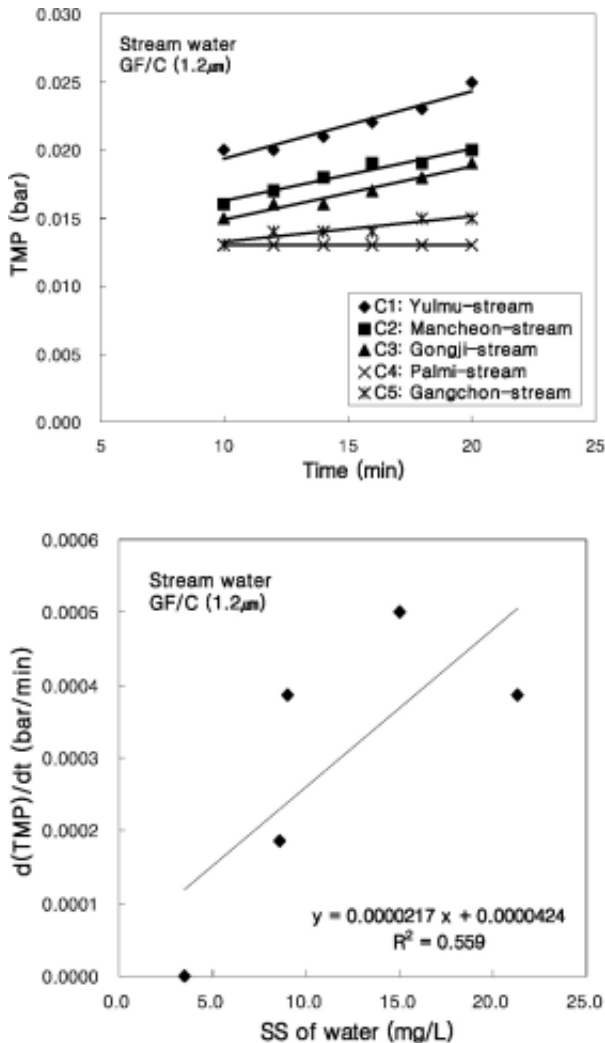


Fig. 10. TMP change during GF/C filtration for river water sampled on September 5th 2008.

3.4. PEG 부유용액의 농도에 따른 막간압력차의 변화

이산화규소 및 텍스트란, 카올린 부유 수용액을 대상으로 TMP 변화 실험을 하였고, 이번에는 PEG 부유용액을 사용해서 모듈에 GF/C를 장착한 후 동일한 방법으로 TMP 변화를 측정하였다. PEG는 용해보조제나 고분자 합성 시에 사용되는 원료물질로, 용해시키고자 하는 물질의 종류에 따라, 또는 합성하고자 하는 고분자의 종류에 따라 적절한 PEG를 선택하여 사용한다. 먼저 분자량 4,000의 PEG 수용액을 대상으로 TMP 변화 실험을 실시한 후, 그 결과 정리한 것이 Fig. 8이다. 그 결과를 살펴보면, PEG 수용액 역시 농도가 증가할수록 TMP 변화율이 증가하는 경향을 보여주고 있으나, 그 상관관계수 R^2 이 0.836으로 이산화규소 및 텍스트란, 카올린의 경우보다

낮은 상관관계를 나타내었다. 한편, PEG 농도의 증가에 대한 TMP 변화율의 기울기가 1.58×10^{-3} 으로, 다른 물질에 비하여 상당히 큰 값을 보여주고 있다. 이러한 결과는 PEG의 분자량이 4,000으로 작기 때문에, 분리막 내부까지 침투하여 농도가 증가할수록 막오염이 급격하게 진행된다는 것을 의미하는 것이다.

분자량 20,000 PEG에 대하여 모듈에 GF/C를 장착한 후 동일한 방법으로 TMP 측정 실험결과는 Fig. 9에 나타내었다. 그 결과, PEG 농도에 대한 TMP 변화율의 상관계수는 0.901로 다소 증가하였고, TMP 변화율의 기울기는 4.93×10^{-4} 로 다소 감소하였다. 이러한 결과는 PEG 분자량이 4,000에서 20,000으로 증가함에 따라, 농도 증가에 따른 막오염이 서서히 진행된 것이다. 분자량 20,000 PEG의 TMP 변화율 기울기 4.93×10^{-4} 는 유사한 분자량 11,600 텍스트란의 기울기 3.75×10^{-5} 보다 상당히 큰 값이다. 이러한 결과로부터 분자량만 아니라 물질에 따라 TMP 변화율 기울기가 변할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

3.5. 실제 하천수에 따른 막간압력차의 변화

춘천시 지역 내 의암호 주변의 지류인 울무천, 만천천, 공지천, 팔미천, 강춘천의 실제 하천수를 2008년 9월 5일 직접 채수하여 모사 부유 수용액을 대상으로 실험한 방법과 동일하게 GF/C를 모듈에 장착한 후 TMP 변화 실험을 실시하였다. 또한, 각 지류에서 채수한 하천수의 부유물질(SS)를 유리섬유 여지법[9]으로 측정하였다. 그 결과를 정리한 것이 Fig. 10인데, 하천수 역시 일정 투과량 조건에서 여과시간이 진행됨에 따라 TMP가 증가하였고, 하천수의 부유물질 농도가 증가함에 따라 TMP 변화율의 기울기가 증가하였다. 그러나 부유물질 농도와 TMP 변화율 기울기의 상관계수는 0.559로 작은 값을 보여주고 있다. 실제 하천수의 TMP 변화율 기울기는 2.17×10^{-5} 로, 분자량 11,600 텍스트란의 기울기 3.75×10^{-5} 와 유사한 값을 나타내었다.

실제 하천수는 다양한 크기의 여러 가지 물질들이 혼합되어 있으나, 이러한 분리막 모듈을 이용한 TMP 변화 실험을 통하여 TMP 변화율 기울기로부터 역으로 하천수의 부유물질의 양을 도출할 수 있는 가능성을 보여 주었다. 앞으로 여러 분자량의 텍스트란과 PEG 부유용액을 대상으로 TMP 변화 실험을 수행하여, 분리막 모듈을 이용한 부유물질 측정장치의 기초 자료를 확립할 것이다. 이러한 분리막 모듈을 이용한 부유물질 측정 원리를 특허[10]로 출원하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 부유물질 측정용 분리막 모듈 및 장치를 개발하기 위한 원리를 수립하기 위해 기초 자료를 확립하고자 하였다. 이러한 목적을 위하여, 이산화규소 및 텍스트란, 카올린, PEG 부유용액을 대상으로 세라믹 분리막 및 유리섬유 여과지 GF/C, GF/A를 분리막 모듈에 장착하여 여과시키면서, 디지털 압력계를 사용하여 TMP 변화를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 기공의 크기가 0.1 μm 인 세라믹 분리막으로 이산화규소를 여과한 경우, 이산화규소 부유 수용액의 농도에 따른 TMP 변화 기울기의 상관도가 매우 미약함을 알 수 있다. 따라서 세라믹 분리막은 부유물질 측정 장치에 사용하기에 부적합한 것으로 판단되었다.

2) 동일한 분자량 500,000의 텍스트란 용액에 대한 GF/C와 GF/A의 TMP 변화 실험 결과, 농도에 따른 TMP의 변화율 기울기는 기공의 크기가 더 작은 GF/C가 GF/A보다 작은 값을 나타냈다. 이것은 동일한 분자량의 부유 수용액에서 분리막의 기공이 작을수록 막오염이 급격하게 발생하여, 부유 수용액 농도가 증가할수록 TMP의 변화율이 가파르게 증가하기 때문이다.

3) 카올린 농도에 대한 TMP 변화율의 기울기는 6.12×10^{-5} 로, 분자량 11,600과 500,000 텍스트란의 경우보다 큰 값을 나타내었다. 이는 카올린 성분이 텍스트란보다 농도가 증가함에 따라 막오염이 급격하게 진행된다는 것을 의미하는 것이다.

4) PEG 수용액 역시 농도가 증가할수록 TMP 변화율이 증가하는 경향을 보였으나, 그 상관계수가 0.836으로 이산화규소 및 텍스트란, 카올린의 경우보다 낮은 상관관계를 나타내었다. 한편, TMP 변화율의 기울기가 1.58×10^{-3} 으로, 다른 물질에 비해 상당히 큰 값을 보여주고 있다. 이는 PEG의 분자량이 4,000으로 작기 때문에, 분리막 내부까지 침투하여 농도가 증가할수록 막오염이 급격하게 진행된 것이다.

5) 실제 하천수 역시 하천수의 부유물질 농도가 증가함에 따라 TMP 변화율의 기울기가 증가하였다. 그러나 부유물질 농도와 TMP 변화율 기울기의 상관계수는 0.559로 작은 값을 보여주고 있다. 실제 하천수의 TMP 변화율 기울기는 2.17×10^{-5} 로, 분자량 11,600 텍스트란의 기울기 3.75×10^{-5} 와 유사한 값이다.

참 고 문 헌

1. Y. P. Zhang, A. G. Fane, and A. W. K. Law, "Critical flux and particle deposition of bidisperse suspensions during crossflow microfiltration", *J. Membrane Science*, **282**, 189 (2006).
2. M. H. Kim and J. Y. Park, "Membrane fouling control effect of periodic water-back-flushing in the tubular carbon ceramic ultrafiltration system for recycling paper wastewater", *Membrane Journal*, **11(4)**, 190 (2001).
3. Y. T. Lee and J. K. Oh, "Membrane fouling effect with organic-inorganic materials using the membrane separation in drinking water treatment process", *Membrane Journal*, **13(4)**, 219 (2003).
4. Y. J. Yuk and K. H. Youm, "Enhancement of ultrafiltration performance using ultrasound", *Membrane Journal*, **13(4)**, 283 (2003).
5. H. Chung, K. H. Choo, and H. S. Park, "Low pressure hybrid membrane processes for drinking water treatment", *Membrane Journal*, **17(3)**, 161 (2007).
6. J. Y. Park, S. J. Choi, and B. R. Park, "Effect of N_2 -back-flushing in multichannels ceramic microfiltration system for paper wastewater treatment", *Desalination*, **202**, 207 (2007).
7. S. H. Lee and K. J. Kim, "Method and system for measurement of water qualities by using optical sensor", Korean Patent No. 10-0622074 (2006).
8. I. H. Seo, "On-line measurement sensor system consistency of suspended solids", Korean Patent No. 10-0643175 (2006).
9. Editorial Department of Dongwa Technology, "Standard Method of Water Pollution", pp.166~167, Dongwa Technology Publishing Co., Gyeonggi, Korea (2003).
10. Y. S. Lee, J. Y. Park, and I. P. Hong, "An automatic measuring apparatus for suspended solid", Korean Patent Registration No. 10-2008-0043978 (2008).