

PVA NANOFILTRATION(NF) 복합막의 제조 및 분리특성

이규호, 제갈종건, 오남운, 김인철, 윤형구
한국화학연구원 분리막 다기능소재연구센터, 대전광역시 유성우체국 사서함 107

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF NANOFILTRATION COMPOSITE MEMBRANES Based on PVA

Kew-Ho Lee, Jonggeon Jegal, Nam Wun Oh, In-Chul Kim, Hyung-Gu Yoon
Membrane & Separation Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology,
P.O.Box 107, Yusung, Taejon, Korea

서론

최근에 이르러 나노분리막(NF)에 대한 관심이 증가하고 있으며 특히 수처리의 중요한 한 부분으로 등장하였다. 나노분리공정은 물에서 다가이온이나 저분자 유기물을 제거하는데 사용되는 공정이며, 본 공정의 추진력(Driving Force)은 분리막의 Feed측과 Permeate측의 압력차이다. 나노분리막은 역삼투막과 한외여과막의 중간적인 성질을 나타내는 분리막이다. 예를 들어, Sugar와 소금이 섞인 혼합물 분리에 대해서 역삼투막은 둘 다 배제를 하는 반면에 한외여과막은 둘 다 투과시키는 성질을 지니고 있다. 한편 나노분리막은 소금은 투과를 시키고 Sugar는 배제시키는 성질을 지니고 있다. 일반적으로 나노분리막은 일가이온들을 자유롭게 투과시키는 반면에 다가이온이나 저분자 유기물을 효과적으로 배제하는 성질을 지니고 있다(Figure 1 참조). 소금과 같은 일가 이온을 잘 통과시키는 특성을 지니고 있으므로 나노분리막 공정에서는 역삼투압이 적게 걸리고 따라서 나노분리막공정은 역삼투막공정에 비해서 훨씬 낮은 운전압력을 필요로 하고 있다. 일반적으로 역삼투막의 경우는 400 psi 이상의 고압이 필요한 반면 나노분리막의 경우는 200 psi 정도의 압력이면 충분하다.

나노분리막의 초기에는 Cellulose Acetate로 제조된 분리막이 사용되었으나 이후 여러 종류의 복합막(Thin-film Composite Membranes)이 제조되었으며 요즘은 거의 복합막이 활용되고 있다. 오늘날 Loose-RO, Low-pressure-RO, Ultra-osmosis 분리막이라고 하는 것들은 모두 나노분리막의 범주에 해당되는 분리막들이다.

나노분리막의 제조 역사는 역삼투막의 제조와 무관하지 않으며 Cellulose Acetate 용액을 상분리법으로 Asymmetry형태의 역삼투막을 제조하는 시대를 지나 1970년 Cadotte에 의해서 Polyethyleneimine과 Toluenediisocyanate로부터 Polyurea를 제조하여 역삼투막을 만드는 것을 필두로 Thin-film Composite 분리막이 등장하였다. 이렇게 제조된 분리막 NS-100은 기존의 Cellulose Acetate 역삼투막에 비해 여러 가지 면에서 차이점을 보였다. 가장 특징적인 것은 저분자 유기물의 높은 배제율과 높은 투수성이었다. NS-100은 계면중합법에 의해서 제조된 높은 염배제율을 나타낸 첫 번째 역삼투막이 되었다. 이후 다양한 종류의 Amine 과 Acylchloride로부터 다양한 역삼투막이 제조 되었으며 이들 중 사용된 단량체의 종류에 따라 나노분리막의 성질을 지닌 Thin-film composite membrane이 제조되어졌다. 그 대표적인 예로써 NS300을 들 수 있으며 이는 아래 화학반응식에 나타난 바와 같이 Piperazine 과 Trimesoyl chloride를 이용하여 제조되었다. 이후 다른 분리막 업체에서도 이와 유사한 방법으로 여러 가지 나노분리막을 상품화하였으며 대표적인 것으로 FilmTec의 NF40와 NF70, Nitto-Denko의 NTR7250, Toray의 UTC20, UTC60, UTC70과 UTC90, Membrane Products의 MPT-20, MPT-30 등을 들 수 있다.

대부분의 나노분리막은 Thin Film composite membrane으로 되어 있고 직경이 평균 1 nm 인 pore로 형성된 분리막으로 이해가 되고 있다. 일반적으로 이들의 분획분자량은 100-1000 g/mol로 보고 있다. 나노분리막에 의한 염배제는 주로 이온과 분리막간의 정전기적 반발력에 의한 것이고 하전을 띠지 않은 물질의 배제는 크기에 의한 것으로 생각되어지며 일반적으로 Sugars (Glucose, Sucrose, Lactose)들의 배제율은 약 90-98% 정도이다. 상품화된 나노분리막의 성질 및 분리성능이 다음 Table 1에 자세히 나와 있다. 나노분리막의 대부분은 분리막 표면에 Negative charge를 지니고 있어 표면이 보다 친수성 이면서 Loose한 구조로 되어 있으므로 역삼투막에 비해서 높은 투수성을 나타내고 있다. 또한 이들의 Negative charge 때문에 Hydrophobic한 콜로이드, 오일, 단백질 또는 다른 유기물들에 의한 Fouling이 상대적으로 적은 편이다. 이러한 점들이 나노분리막이 역삼투막에 비해서 응용면에서 경쟁력을 갖게하는 점이며 역삼투막을 쓸

경우 심각한 Fouling 현상이 일어나는 염료농축이나 제지산업의 폐수처리에 나노분리막이 유용하게 쓰일 수 있게 하는 점이다. 하지만 반대로 Charge를 띠는 물질 분리에 있어서는 심각한 Fouling 문제가 생길 수도 있다. 따라서 나노분리막의 응용에 가장 유용한 분야는 크기에 의한 중성물질의 분리나 정전기적 반발력에 의한 분리가 되는 활용도이다.

오늘날 나노분리막의 가장 큰 활용도는 물에 녹아 있는 유기물이나 물의 경도를 높이는 물질을 제거하는 것이다. 물의 경도를 높이는 물질은 주로 Calcium sulfate, Calcium carbonate나 Magnesium sulfate, Magnesium carbonate 들이다. Figure 2은 나노분리막을 이용한 물의 Softening 공정을 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 분리막에 Fouling을 일으키는 Silicate, Manganese, 철 등은 산처리 공정에 의해서 미리 침전물로 제거되고 나머지 물은 나노분리막을 통과하여 Sulfate 와 Bicarbonate 들이 제거되어진다. 70-100 psi 에서 운전할 시 85-95%의 경도가 제거되고 70%이상의 일가이온들도 제거가 된다.

상수원에 존재하는 천연유기물(Natural organic Matter:NOM)은 일반적으로 토양내의 유기물로부터 유출되거나, 인간의 활동으로 인한 오염을 통해 수계에 존재하게된다. 이들 오염물질들은 염소처리과정에서 종종 발암물질인 Trihalomethane을 형성하기도 하며 나노분리막은 이들의 제거에 매우 효과적이다.

정수처리 외에 식품 제조나 생물공정의 탈염이나 (Figure 3) 염료농축을 위한 탈염공정 또는 염색공정에서 염료 회수에 나노분리막이 많이 이용되며 이밖에 많은 분야에서 저분자 유기물 및 염의 분리에 활용범위를 넓혀가고 있다.

이렇게 넓은 활용도를 지니고 있는 나노분리막의 문제점은 분리막의 화학적 안정성이다. 현재 주로 제조되고 있는 나노분리막은 앞서도 언급하였듯이 계면중합법으로 제조된 박막의 Polyamide와 다공성 지지체로 형성된 복합막으로 이들은 내염소성이나, 강염기 하에서 약한 단점을 지니고 있다.

본 연구팀에서는 이러한 기존의 나노분리막의 단점을 보완하고자 화학적으로 안정하고 높은 투수성을 나타낼 수 있는 복합막을 제조하기 위해 활성층 재료로 친수성이 매우 우수하여 수용성이며 물리적 성질이 우수하여 필름제조에 용이하고 제조된 필름의 기계적 강도가 아주 우수한 Poly(vinyl alcohol) (PVA)와 Sodium alginate를 선택하였으며 이를 이용하여 coating의 조건을 바꾸어가며 화학적 안정성이 향상된 복합막을 제조하였다. 또한 PAN 지지체를 이용하여 복합막 제조시 지지체의 영향을 살펴보고 지지체 표면처리에 의해 나노분리막의 투과안정성 개선을 시도하였다.

실 험

물 질

다공성 지지체로 Fluid Systems사의 UOP PS UF 분리막을 사용하였고 PAN 지지체 제조를 위해서 PAN(분자량:168,000)과 NMP를 사용하였다 PVA 활성층 제조를 위해서 폴리비닐알콜, 소듐알지네이트, 키토산 글루타알데히드 등을 사용하였으며 Polyamide 활성층 제조를 위하여 piperazine(PIP)과 trimesoyl chloride(TMC)를 사용하였다. 헥산, 증류수, 이소프로판올, 아세톤 등 용매로 사용하였고 PEG600 (분자량 600짜리 폴리에칠렌글리콜), Na₂SO₄, NaCl, IPA (이소프로판올), MgCl₂를 투과특성 테스트를 위해서 사용하였고 화학안정성을 조사하기 위해 HCl, K₂CO₃, NaOH, NaOCl, Methanol, Ethanol등을 모두 정제과정 없이 사용하였다.

분리막 제조

본 연구에서는 Polyamide와 PVA 나노복합막을 함께 만들어 사용하였다. 이들은 계면중합법과 Dip-Coating 을 이용하여 제조되어졌다. 계면 중합의 경우에는 지지체를 먼저 아민 용액에 일정 시간 담구어둔후 꺼내어 표면에 남아있는 여액을 제거하고 다시 아실클로라이드 용액에 일정 시간 담구어 두었다. Dip-Coating의 경우에는 PS 지지체를 준비된 고분자 용액에 일정시간 담구어 꺼내어 건조시키고 이를 다시 가교용액에 일정시간동안 담구어 가교를 시켰다. 가교반응후 분리막을 물속에 투과테스트 이전까지 보관하였다. . 이렇게 제조된 분리막은 공기중 상온에서 건조되어졌다. 지지체의 영향을 보기 위해서 비대칭 Polyacrylonitril(PAN)을 제조하고 표면을 NaOH 로 개질한 후 위의 방법으로 PVA와 Polyamide coating을 하였다.

구조특성조사

FTIR: 분리막 활성층의 화학적 구조를 알아봄으로써 올바른 방향으로 화학반응이 일어났는지를 알아보기 위해서 FTIR을 사용하였다. 사용된 FTIR의 모델은 Bio-Rad, Digilab Division, Model FTS-80 이었다. 사용된 샘플은 두께 10 μm 이하의 필름을 사용하였으며 부득이 복합막을 사용하는 경우에는 ATR을 사용하였다.

X-ray Diffractometer: 분리막 활성층의 모폴로지와 활성층 물질의 분자간 거리를 알아 보기 위해서 X-ray Diffractometer (Model D/MAX IIIB Rigaku X-Ray Diffractometer)를 사용하였다. 사용된 샘플은 FTIR의 경우와 마찬가지로 두께 10 μm 정도의 필름을 사용하였다.

SEM: 제조된 지지체의 구조 확인 및 복합막 제조시 코팅상태를 조사하기 위해서 Scanning Electron Microscope (Model JSM-80A, JEOL)를 사용하였다.

Zeta potential: 제조된 PVA와 PA막의 표면 이온특성을 알아보기 위해 막의 Zeta potential을 electrokinetic analyzer(model:EKA, Brookhaven)을 사용하여 측정하였다.

분리특성 조사

나노분리막의 투과특성테스터를 위하여 일반적인 역삼투막 테스트 셀을 이용하였으며 투과테스터 조건은 25 $^{\circ}\text{C}$ 온도에서 1000 ppm의 PEG600, Na_2SO_4 , NaCl , MgCl_2 수용액을 사용하였다. 제조된 막을 일정한 크기로 자른 다음 투과 셀에 고정하고 압력 600 psi에서 30분간 유지시킨후 실제의 압력으로 변환하였다. 이때 사용된 압력은 600 에서 100 psi 사이였다. 용질 배제율은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Rejection} = (C_f - C_p)/C_f$$

여기서 C_f 와 C_p 는 각각 Feed 용액과 투과액의 농도를 나타낸다. 또한 Flux를 구하기 위해서 일정 시간동안 모은 투과액의 양을 분리막의 유효 막면적과 시간을 감안하여 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ 단위로 나타내었다.

HPLC: 분리막의 투과특성 시험시에 사용되는 Feed 용액과 막을 통과한 투과액의 용질의 농도를 알아내기 위해서 Refractometer가 Detector로 부착된 HPLC (Model Waters 501)를 사용하였다. 용질의 농도는 표준용액과 시료의 Peak로 부터 계산되어졌다.

화학적 안정성

제조된 막의 pH와 chlorine에 대한 화학적 안정성을 알아보기 위하여 HCl(pH 1), K_2CO_3 (pH 12.5), NaOH(pH 13)와 1000ppm NaOCl 수용액을 제조하였다. 특별히 제작된 cell에서 이들 용액과 복합막을 실온에서 17시간 동안 접촉한 후 증류수로 분리막을 세척하고1000ppm의 PEG600 수용액으로 투과 실험을 하기까지 증류수에 보관하였다.

결과 및 고찰

PVA 복합막연구

PVA복합막: Figure 4은 PVA 복합막의 투과성능을 나타내고 있다. PVA복합막은 다공성 PS 지지체표면에 0.2 μm 정도의 PVA 활성층이 코팅된 구조로 되어있다. 이들의 투수량은 압력증가와 함께 꾸준히 증가하는 것을 볼 수 있고 사용한 Feed 용액에는 별 영향이 없는 것을 볼 수 있다. 200 psi 운전압력에서 약 0.8 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ 정도의 투수량을 보이고 있으며, 이는 기존에 상용화된 폴리아마이드 나노분리막에 비해서는 다소 낮은 값을 알 수 있다. PVA 복합막의 배제율은 운전압력에 따라 다소 감소하고 있으며 PEG600의 배제율이 Na_2SO_4 보다 우수한 것을 알 수 있다. 이를 볼 때 PVA복합막은 아마이드 복합막과는 다르게 상당히 중성에 가까운 표면 성질을 지니고 있는 것으로 생각된다. 200 psi에서 PEG600은 약 85%정도, Na_2SO_4 의 경우는 약 70% 정도의 다소 낮은 배제율을 보이고 있다.

PVA/SA 블렌드 복합막: PVA/SA 복합막은 PVA복합막 보다 우수한 분리특성을 나타내고 있음을 Figure 5을 통해서 볼 수 있다. 투수량의 경우는 PVA 복합막과 매우 유사한 결과를 나타내는 반면에 배제율에 있어서 상당히 향상된 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. Feed 용액에 따른 배제율의 변화를 살펴볼 때, 높은 Na_2SO_4 의 배제율과 상대적으로 낮은 MgCl_2 의 배제율로 부터

이 복합막의 표면은 음이온 성질을 많이 띠고 있음을 알 수 있다. 이러한 음이온 성질은 사용된 음이온 고분자인 SA로 부터 기인한 것으로 생각된다. PEG600과 같은 유기물과 다가 이온인 Na_2SO_4 의 높은 배제율과 일가 이온인 NaCl의 낮은 배제율과 같은 배제율의 경향으로 볼 때 이 복합막들은 아주 전형적인 나노분리막을 알 수 있다.

PVA/SA/PA 복합막: 앞에 나타난 여러 가지 분리막들이 전형적인 나노분리막의 성능을 잘 나타내고 있으나 다소 투수량이 작은 것을 알 수 있다. 이점을 보완하고자 고투수성과 높은 배제율을 나타내는 Polyamide(PA) 복합막과 화학적으로 안정한 PVA 복합막의 장점을 살려 보고자 Polysulfone 지지체의 표면을 계면중합 처리한 후 PVA coating 조건을 바꾸어 PVA/SA/Polyamide 복합막을 제조하였으며 이들의 투과 성능은 아래 Figure 6에 잘 나타나 있다. 이들은 높은 투수량과 높은 배제율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이들의 운전압력에 따른 투수량의 변화를 보면 압력이 증가할수록 전반적으로 꾸준히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이들의 투수성은 상대적으로 높아서 200 psi 운전압력에서 약 $1.5\text{--}2.0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{day}$ 정도의 투수량을 나타내고 있다. 이들 막의 배제율 또한 상당히 우수한 것을 알 수 있는데 특히 나노분리막의 특징인 유기물의 배제율이 아주 좋아 200 psi에서 PEG600의 배제율이 약 97% 정도이다. Na_2SO_4 의 배제율도 95% 정도로 나타내고 있는 반면에 일가 이온인 NaCl은 15% 근방의 아주 낮은 배제율을 나타내고 있다. 그리고 운전압력에 따른 배제율의 변화는 다른 막의 경우와 마찬가지로 운전압력의 증가에 따라 PEG는 다소 감소하고 염들은 다소 증가하는 추세를 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 이 복합막은 저분자 유기물과 다가이온을 효과적으로 걸러내고 NaCl과 물을 쉽게 통과시킬 수 있는 전형적인 나노분리막임을 알 수 있다.

화학적 안정성: PVA/SA/PA 복합막의 pH에 따른 안정성을 살펴보기 위해 pH를 바꾸어 처리한 후 Polyamide 막과 비교한 결과 산성용액에서는 모두 안정하였으나 강 알카리인 NaOH(pH13) 용액에서는 PVA막이 PA막보다 안정함을 보여주고 있다(Figure 7). 또한 PVA막이 PA막보다 염소에 대하여도 화학적으로 안정함을 보여주었다.

PAN 지지체 제조 및 개질

Polyamide/PAN 복합막: PAN/NMP 농도를 10/90, 15/85, 20/80 wt%로 바꾸어 만든 고분자용액을 polyester 부직포 위에 casting하고 상전이법으로 PAN 지지체를 제조한 후 NaOH 용액으로 처리하여 그 표면에 $-\text{COOH}$ 그룹을 형성하였다. 이렇게 제조된 지지체 위에 Polyamide를 계면중합하여 복합막을 제조하였다. 최적의 지지체는 15/85 wt% 용액으로 만든 것이었으며 개질한 지지체로 만든 복합막이 개질하지 않은 막 보다 투과특성이 향상되었고 지지체와 활성층 간에 강한 이온결합 생겨서 화학적 안정성이 증가하여 알코올 용액에 담갔을 때도 Swelling이 되지 않았다.(Figures 8, 9)

PVA/SA/PAN 복합막: 복합막 제조에 있어서 실험실에서 제조된 PAN 지지체를 위의 방법으로 개질한 후 위에 PVA/SA막을 coating하여 그 투과특성을 살펴보았다. 15/85 wt% 고분자 용액으로 제조된 PAN막의 후처리 조건에 따라 지지체 및 복합막의 투과특성은 달랐으나 200psi 운전압력에서 약 $1.2\text{--}1.6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{day}$ 의 투과도와 PEG600의 배제율이 90% 이상이었다. (Figure 10)

감사의 글

본 연구를 위하여 연구비를 지원해 주신 과학기술부와 공동연구기관인 효성생활산업에 깊은 감사를 드립니다.

인용문헌

1. A. Bindoff, *Desalination*, **67**, 455 (1987)
2. A.E. Simpson, *Desalination*, **64**, 305 (1987)
3. A. Zaidi, *Water Sci. Technol.*, **25**, 263 (1992)
4. Y.K. Guu and R.R. Zall, *J. Food Sci.*, **57**, 735 (1992)
5. R. Rautenbach and A. Groschl, *Desalination*, **77**, 77 (1990)
6. L. Raman, M. Cheryan and N. Rajagopalan, *Chemical Engineering Prog.* 68 (1994)
7. Yabushita, *Technical Report 4, Nitto Denko, Japan* (1990)
8. *Technical Bulletin, Filtration Engineering, New Hope, MN* (1991)

9. R.J. Peterson, *J.Membrane Sci.*, **83**, 81 (1993)
10. A. Merry, "Effective industrial membrane processes benefits and opportunities", ed. M.K Turner, Elsevier, London (1991)
11. J.G. Jegal and K.-H Lee, *J. Appl. Polym. Sci.*, **61**, 389(1999)
12. J.G. Jegal, N.-W. Oh and K.-H Lee, *J. Appl. Polym. Sci.*, **77**, 347(2000)
13. J.G. Jegal, N.-W. Oh, D.-S. Park and K.-H Lee, *J. Appl. Polym. Sci.*, **79**-2471(2001)
14. N.-W. Oh, J.G. Jegal, and K.-H Lee, *J. Appl. Polym. Sci.*, in press (2001)

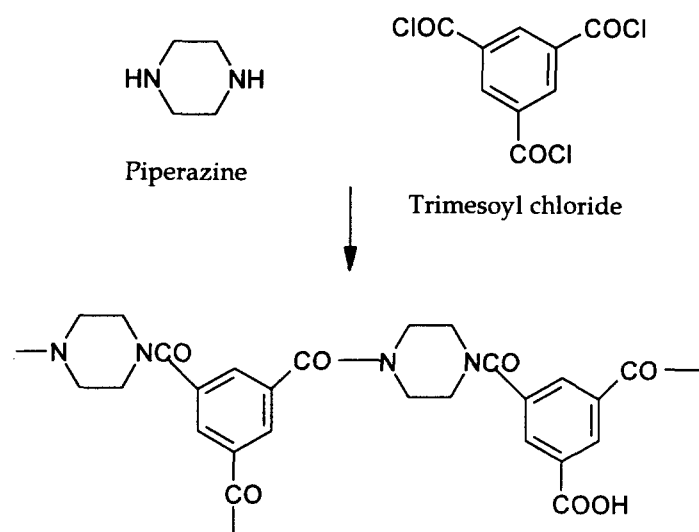
Table 1. Properties and performance characteristics of some commercially available NF membranes.(chemical engineering progress March 1994 p. 69)

Company and location	Membrane Name	Active Membrane layer	Charge	Water Permeability coefficient L/m ² /hr/MPa	NaCl		MgSO ₄	
					Conc.,%	Rej.,%	Conc.,%	Rej.,%
Celfa, Germany	DCR-100	†	†	51.9	0.35	10	†	†
DDs N a k s k o b , Denmark	HC50	†	†	20.8	0.25	60	†	†
Desalination Systems Escondido, MN	Desal-5	†	†	47.1	0.1	50	0.1	96
Film-Tec (Dow) Minneapolis, MN	NF-40	PA	Negative	25.0	0.2	45	0.2	97
	NF-70	PA	Negative	72.0	0.2	70	0.2	98
	XP-20	†	†	50.0	0.2	25	0.2	75
	XP-45	†	†	30.7	0.2	75	0.2	98
Kalle Germany	NF-PES10/PP60	†	†	103.8	0.5	15	†	†
	NF-CA50/PET100	†	†	31.0	0.5	55	†	†
M e m b r a n e Products- Kiryat Weizmann Repovot, Israel	MPT-10	†	†	29.3	0.2	63	†	†
	MPT-20	†	†	50.0	0.2	18	†	†
	MPT-30	†	†	51.6	0.2	20	†	†
Nitto-Denko Osaka, Japan	NTR-7250	PVA	Negative	62.5	0.2	50	0.2	98
	NTR-7410 ¶	SPS	Negative	500	0.5	10	0.5	9
	NTR-7450 ¶	SPES	Negative	92.0	0.5	50	0.5	32
Osmonics Minnetonkia, MN	B-type TLC ¶	†	Negative	47.2	0.2	50	0.2	25
PCI England	AFC-30	PA	Negative	25.00	0.2	35	0.2	97
Toray Japan	SC-L100	CA	Neutral	31.3	0.2	75	0.2	97
	UTC-20HF	PA	Negative	94.7	0.2	66	0.2	99
	UTC-60	PA	Amphoteric	47.3	0.1	85	0.2	99
UOP San Diego, CA	TFCS-4921	†	†	340	0.05	85	†	95
	ROGA-4231	†	†	330	0.2	75	†	95

* CA = cellulose acetate; PA = polyamide; SPS = sulfonated polysulfone;
SPES = sulfonated polyethersulfone.

† Data not available.

¶ These membranes show lower MgSO₄ rejections compared to other NF membranes; however, they have greater than 90% rejection of Na₂SO₄.



Scheme 1. Chemical structure of NS300 membrane, from piperazine and trimesoyl chloride

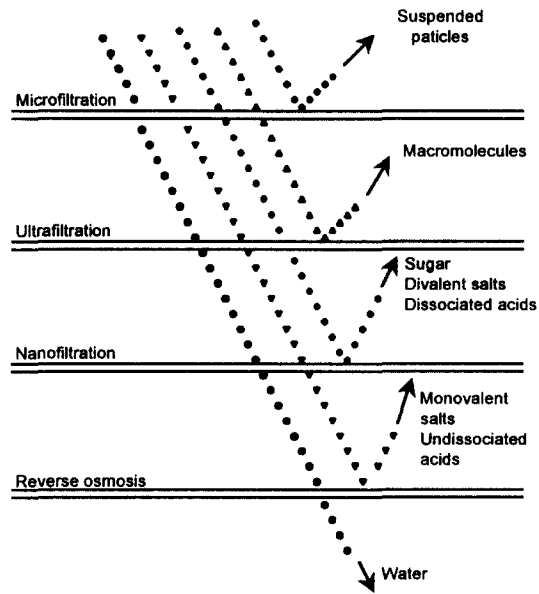


Figure 1. NF membrane separation processes.

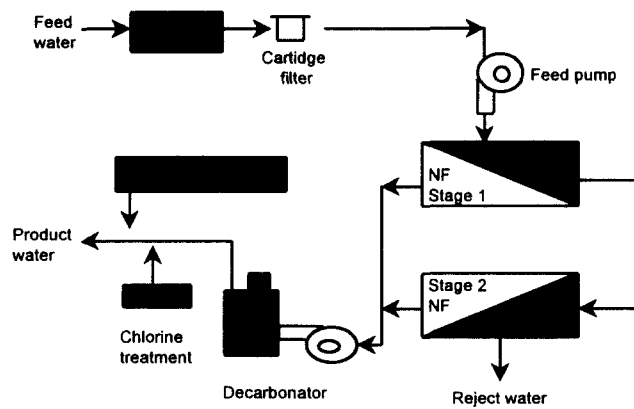


Figure 2. Water softening by NF plant.

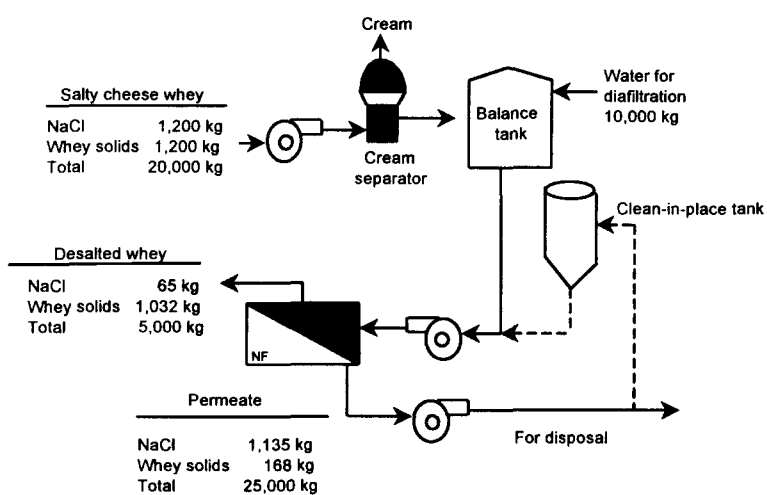


Figure 3. Desalting of cheese whey by NF

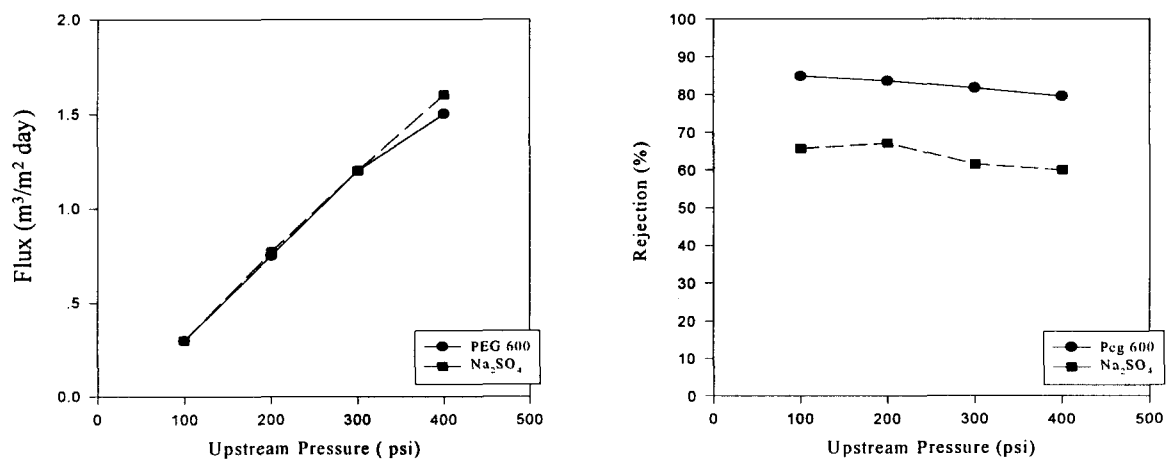


Figure 4. Permeation performances of the PVA composite membranes.

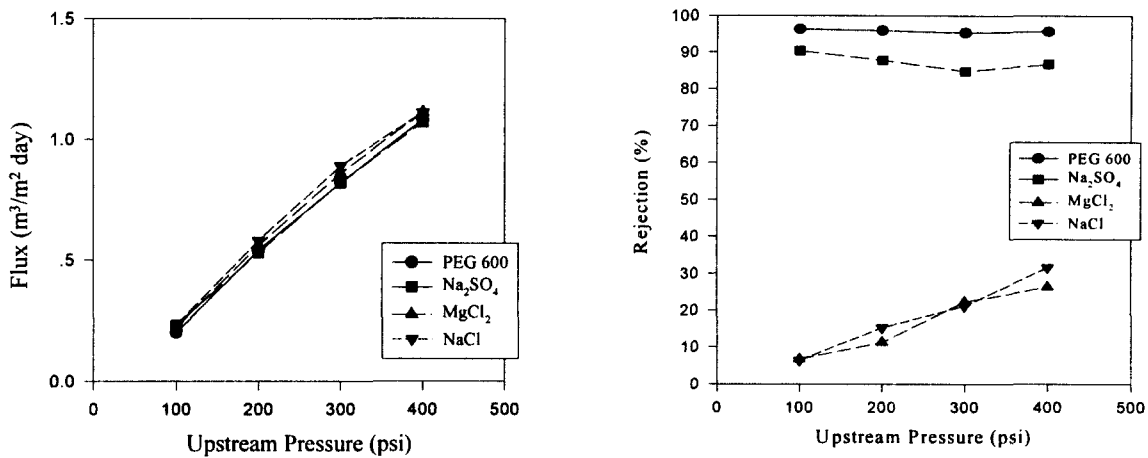


Figure 5. Permeation performances of the PVA/SA blend composite membranes.

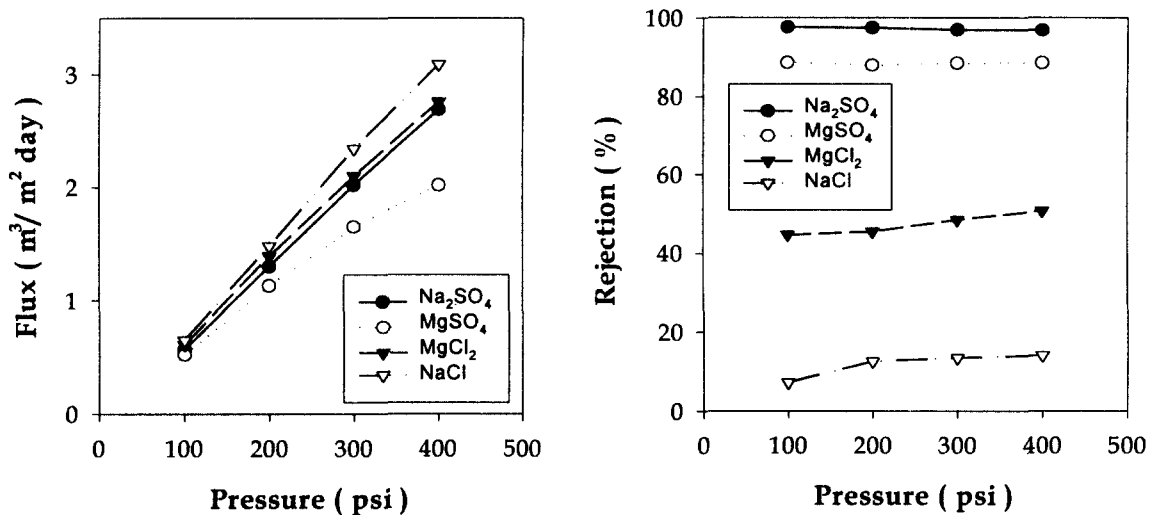


Figure 6. Permeation performances of the PVA/SA composite membrane with different salt solution. Feed solution : 1000ppm aqueous salt solutions such as Na₂SO₄, MgSO₄, MgCl₂, and NaCl

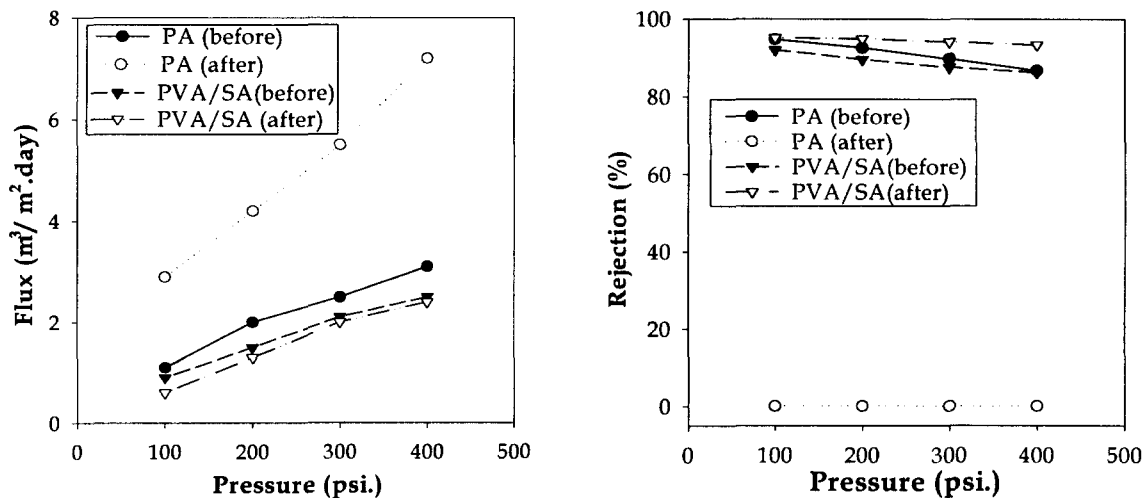


Figure 7. Permeation performances of the PVA/SA and PA composite membranes before and after treatment with a NaOH solution(pH13). Feed solution:1000ppm PEG600 aqueous solution

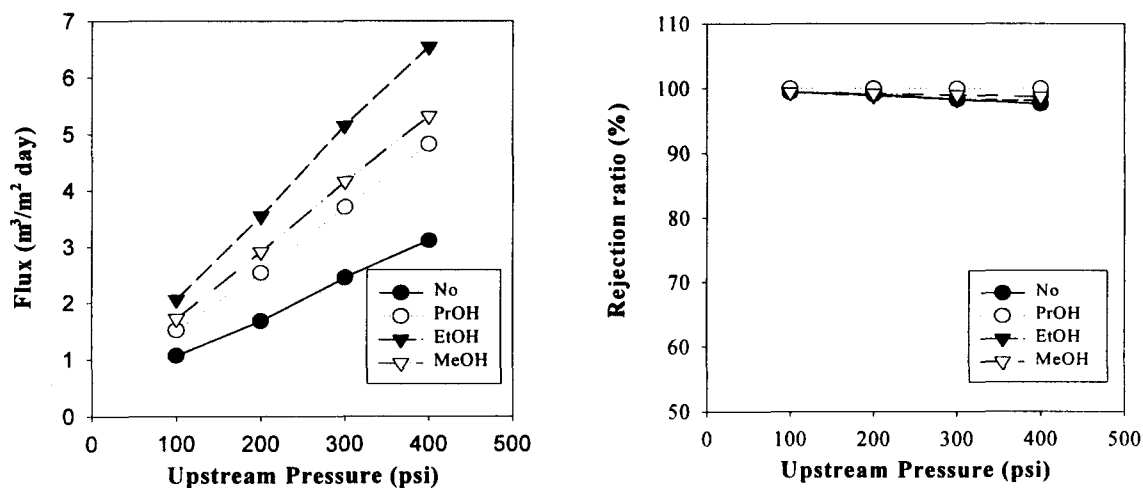


Figure 8. Permeation performances of the PA/PAN composite membrane prepared from the unmodified PAN support, after treatment with several alcohol solutions (MeOH, EtOH, and PrOH) for 12hrs at room temperature. (Feed solution ; 1000ppm PEG 600)

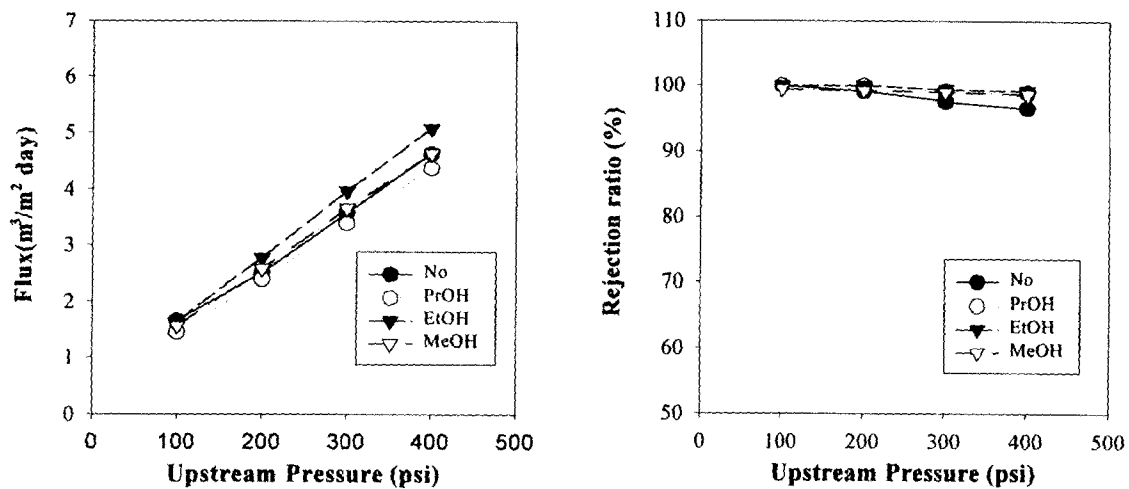


Figure 9. Permeation properties of the PA/PAN composite membrane prepared from the modified PAN support, after treatment with several alcohol solutions (MeOH, EtOH, and PrOH) for 12hrs at room temperature. (Feed solution ; 1000ppm PEG 600)

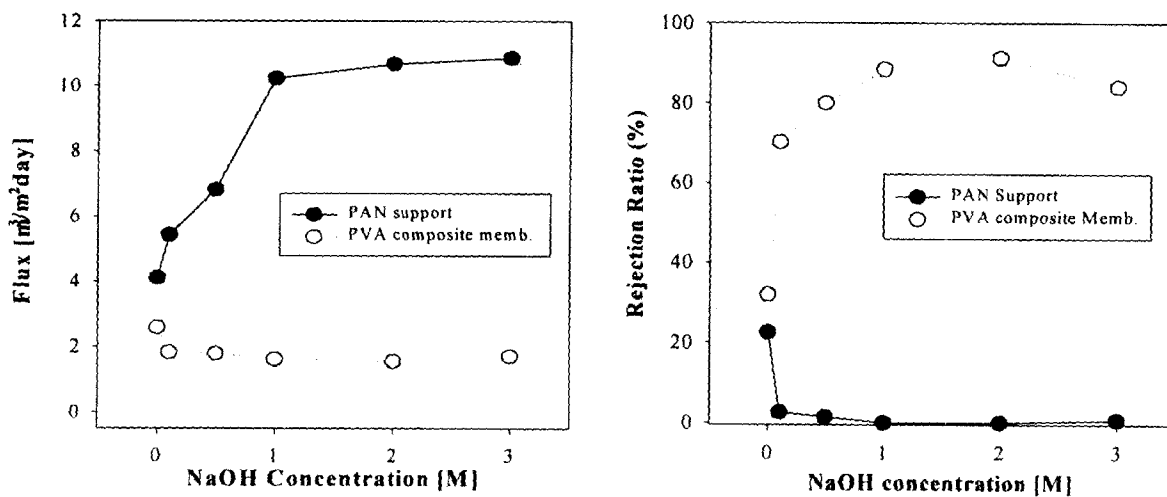


Figure 10. Effect of NaOH concentration on the permeation performance of PVA/SA/PAN composite membranes ;

Membrane preparation condition : support - PAN 15wt%

NaOH treatment condition ; 60°C, 30min

PVA coating solution : PVA 0.3wt% at 25°C