

## 평판형 막모듈을 이용한 합성염료 폐수처리에 있어서 염농도 및 온도의 영향

김 선 일 · 이 봉 우\* · 윤 영 재  
조선대학교 화학공학과 · 건설화학기술연구소  
(1997년 8월 9일 접수)

## Effect of Salt Concentration and Temperature in Synthetic Dyestuff Wastewater Treatment using Plate and Frame Membrane Module

Sun-Il Kim, Bong-Woo Lee\*, and Young-Jae Yun  
Dept. of Chemical Engineering, Chosun University, Kwangju, 501-759, Korea  
\*Kunsul Chem. Tech. Research Center, Kunpo City, Kyungki-Do, 435-030, Korea  
(Manuscript received 9 August 1997)

Nanofiltration[NF45] and reverse osmosis membrane[HR98PP] separation treatment of dyestuff wastewater was carried out in order to separate relatively pure water from synthetic dyestuff wastewater, which consists of reactive dye, acid dye, basic dye, direct dye, and disperse dye. The experiments were performed by using the plate and frame membrane module. In the nanofiltration and reverse osmosis membrane separation, When the NaCl concentration was 0.1, 5.0, and 20.0%, retention was 63.0, 46.0, 0.9%, respectively. When permeate flux was 125.0, 67.5, and 45.0 L/m<sup>2</sup> · h, the osmotic pressure increased with increasing the NaCl concentration. Permeate flux of two membranes increased as temperature increased due to segmental movement of polymer of the membrane and the rejection rate of dyestuff was decreased gradually. It was found that the rejection rate was about 95% in the nanofiltration, while the reverse osmosis membrane showed a high rejection rate of 99% under all temperature and pressures conditions.

Key words : Membrane module, Plate and frame, Nanofiltration, Reverse osmosis, Retention, Permeate flux

### 1. 서 론

현재 우리나라의 염색 또는 염료 업소수는 전체업소의 5.02%에 지나지 않으나 폐수배출량은 총량의 16.61%에 달하여 전체 폐수 배출 업종중 두번째로 많은 비율을 차지하고 있다. 특히 이들 폐수에는 색소화합물과 PVA 등의 조염제, 합성세제 및 호료등 난분해성 물질들이 함유되어 있기 때문에 응집, 침전처리 및 활성슬러지 공법을 이용하여 처리할 때 슬러지 팽화와 같은 문제가 자주 발생하고 BOD, COD, SS 등의 처리효율이 좋지 못하며 색도에 대한 처리가 거의 이루어지지 않고 있다. 그러므로 이러한 난분해성, 색도물질을 효과적으로 처리할 수 있는 폐수처리기술이 시급한 실정이다. 최근에 개발된 염색, 염료폐수의 처리방법은 활성탄(齊藤俊英, 1986), 제올라이트 등의 흡착제나 염소, 과산화수소(펜턴 시약)(W.G. Kuo, 1992; W. Winiati et al., 1987) 등의 산화제에 의한 처리방법과 오존(E.H. Sinder

and J.J. Porter, 1974) 및 고분자막에 의한 처리기술(P. Mavros et al., 1994; M.N. Katarzyna et al., 1996) 등이 있다. 산업계에서는 폐수처리 시설을 하여 방류수의 질을 높이거나 오염물질의 양을 줄이는 것이 가장 현실적이며, 역삼투막(D. Mukherjee et al., 1996; N.G. Voros et al., 1996; J.H. Snow et al., 1996; T.A. Clair et al., 1991; S.B. Sadr Ghayeni et al., 1996) 기술은 이러한 기대에 부합되는 공정의 하나로서 인식되어 왔으며, 역삼투법은 이온 및 분자크기가 10 Å 이내인 용질을 분리하는 막분리공정으로, 1970년대 해수담수화 및 폐수처리에서 성공적으로 산업화되기 시작하였다. 염색폐수처리에 역삼투막을 이용하려는 보고는 1973년 미국의 환경보전국이 제시한 Clemon 대학의 Brandon이 염색폐수의 재이용을 시도하였고(S. Sourirajan and Takeshi Matsuura, 1985) 1974년 미국의 Gaston Country Dyeing Machine사

Table 1. Characteristics of membranes

Type	Permeability ( % NaCl )	Recommended		
		pH	℃	bar
NF 45	40~60	1~12	0~60	0~60
HR98PP	<2.5	2~11	0~60	0~60

와 Union Carbide사가 협동하여 J.P. Stevens사의 U-tica Mohawk 공장에서 염색폐수로 부터 PVA (polyvinylalcohol) 및 폐수의 재이용에 성공하였다. 1975년 J.J. Porter 등의 연구에서는 16개월에 걸쳐 Clensons, S.C. 주 부근에 있는 LA France사의 염색 공장의 line 일부를 사용하여 실험한 것인데 염료 및 폐수의 재이용(A.G. Fane, 1996)에 대한 가부에서 경제성까지 언급한 바 있다. 또한, 1991년 Gaeta 및 Fedele(1990)에 의해 발표된 자료에 의하면 염색폐수의 약 80% 이상을 재이용할 수 있었으며, 염료 및 에너지 또한 회수가 가능하다고 발표하였다. 막의 재질은 지지층 위에 분리효과를 위한 분리층(활성층)으로 형성된 비대칭형 cellulose acetate나 aromatic polyamide를 위시하여 최근에는 용존염을 99% 까지 제거시킬 수 있는 복합막이 개발되었다. 이 복합막은 지지층 위에 염제거효과가 큰 고분자 박막을 형성시킨 것으로, 지지막은 기계적 강도가 크고 내화학약품성이 큰 polysulfone이 주로 사용되며, 분리층은 cellulose-tri-acetate, crosslinked polyether 등이 주로 사용된다. 역삼투막은 공경이 약 10Å 내외이고, 세공이 거의 존재하지 않으므로, 일반적으로 비공성막이라고 할 수 있으며, 이는 유기고분자가 micelle 간의 간격을 통하여 물질 투과가 행해진다. 역삼투법에서는 유기 고분자의 dielectric 계수가 낮기 때문에 용존염이 이 막에 잘 흡착되지 않을 뿐 아니라, 고압(800-1500psig)에서는 용매인 물이 유효압력차( $\Delta P - \Delta \pi$ )에 비례하여 투과되고 용존염이 유효압력차가 아닌 삼투압차에 비례하여 투과되므로 물이 용존염에 비하여 상대적으로 잘 투과되기 때문에 분리효과가 상승된다. 역삼투는 분자크기에 따른 분리조작이 아니므로 정밀여과나 한외여과에서와 같은 유기물질이 침착현상이 적으며, 결과적으로 막의 수명도 길어진다. 역삼투막은 용존염을 분리제거할 뿐만 아니라 분자량이 적은 유기물 및 aromatic hydrocarbon 등의 분리조작에도 그 이용 가능성이 고조되고 있는 실정이다. 현재 역삼투막으로서는 cellulose acetate 외에 방향족 polyamide(R.J. Petersen, 1993; P. Eriksson, 1988; P.K. Eriksson, 1988; D. Pepper, 1988; J. Cadotte et al., 1988; J. Cadotte et al., 1988)등 비초산 셀룰로오스막 계열도 개발되어 있으며, 평판형, 관형, 나관형 및 중공사형 등의 모듈이 다방면의 분리공정에 이용되고 있다. 본 연구에서는 일반적으로 사용되고 있는 반응성염료, 산성염료, 염기성염료, 직접염료 및 분산염료를 가상염료폐수로 조제하여 평판형 모듈로 역삼투(HR98PP) 및 나노막(NF 45)을 이용하여 염의 농도, 온도 등에 따른 투과플럭스와 TOC를 측정하였으며, 전도도를 측정하여 염 배제율의 영향을 비교 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1 기기 및 시약

이 실험에서 사용한 증류수는 conductivity가 1 $\mu$ S/cm 이하인 것을 사용하였으며, NaCl은 Jin Chemical Co.의 순도 99.5%, MgCl<sub>2</sub>는 Wako Pure Chemical Industry Co.의 순도가 97%인 것을 사용하였다. 반응성염료는 Reactive orange 16, Reactive black 5 및 Reactive blue 19, 분산염료는 Disperse blue 14, Disperse orange 1 및 Disperse yellow 3, 산성염료는 Acid blue 25, Acid orange 8 및 Acid red 4, 직접염료는 Direct blue 15, Direct orange 31 및 Direct yellow 29, 그리고 염기성 염료인 Basic blue 24, Basic red 29 및 Basic yellow 11은 Sigma Chemical Co.의 것을 정제하지 않고 사용하였다. NF45 및 HR98PP 분리막은 유효면적이 0.018m<sup>2</sup>인 Dow Danmark Co.의 polyamide/polysulfone 계통의 복합소재막으로서 NaCl의 이론적인 투과율이 40~60%인 NF45인 나노막과 2.5% 이하인 HR98PP의 역삼투막을 사용하였으며, 이들의 특성을 Table 1에 나타내었다. 이 실험에서 사용한 기기로서 전도도미터는 TOA Co.의 CM60을 사용하였고, TOC는 Shimadzu Co.의 것을 사용하였다.

### 2.2 측정방법

#### 2.2.1 배제율 측정

배제율은 용액 6L를 저장탱크에 넣고 투과수 부피(permeate volume)가 1L가 되었을 때의 시료를 취하여 Conductivity, COD, TOC 및 UV 흡광도를 측정하여 구하였다. 배제율(rejection rate)은 공급액의 농도를 C<sub>F</sub>, 투과생성액의 농도를 C<sub>P</sub>라 하고, 측정 배제율을 R<sub>0</sub>라고 할 때에 다음식으로 나타낸다. 백분율로 나타낼 때는 100을 곱하여 사용하였다.

$$R_0 = 1 - C_P / C_F$$

C<sub>P</sub> : 투과생성액의 농도

C<sub>F</sub> : 공급액의 농도

#### 2.2.2 투과플럭스 측정

투과플럭스는 막의 유효면적에 단위시간당 막을 통과한 액의 부피를 측정하여 다음식에 의하여 결정하였다.

$$L/m^2 \cdot h$$

L : 막을 통과한 액의 부피

m : 막의 유효면적

h : 막을 통과한 시간

### 2.3 막분리 장치

막분리 실험장치는 Fig. 1에서 보듯이 8L와 2L의 용액을 저장할 수 있는 저장탱크(feed tank), 8L/min의 유속으로 용액을 공급하는 피스톤 펌프, 막모듈 입구에

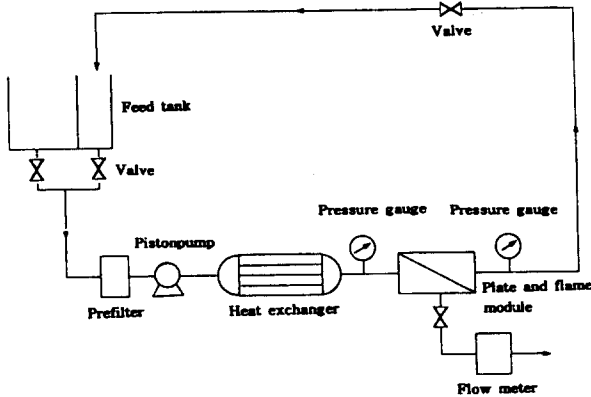


Fig. 1. Schematic diagram of reverse osmosis unit.

부착되어 있는 열교환기(counter current heat exchanger), 평판형 모듈(plate and frame module), 모듈의 입구와 출구에 있는 압력계 그리고 모듈 출구측에서 역삼투막에 높은 압력을 제공하는 압력밸브(back pressure valve)로 구성되어 있다. 막에서의 농도분극 현상을 최소화하기 위한 디스크형의 spacer와 막을 지지해주고 투과수의 통로가 되는 지지판 그리고 분리막으로 구성되어 있다.

#### 2.4 막의 투과플럭스 안정성 실험

역삼투막과 나노막의 운전조건을 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 압력 30bar의 동일한 조건에서 증류수에 대하여 시간에 따른 투과플럭스의 변화를 측정하였으며, 투과액 및 농축액은 모두 공급탱크에 되돌려 보내면서 실험을 수행하여 초기의 투과플럭스와 4시간 후의 투과플럭스를 비교해 보았다. 또한 10~40bar압력의 변화에 따른 투과플럭스의 영향도 함께 조사하였다.

#### 2.5 NaCl용액의 시간에 따른 투과플럭스 변화

0.1% NaCl용액을 사용한 막의 여과실험에서 시간에 따른 투과플럭스의 변화를 관찰하기 위해 농축액과 투과액 모두를 공급탱크에 되돌려 보내면서, 막의 초기 투과플럭스 값과 4hr후의 투과플럭스를 조사하여 염용액에 대한 투과플럭스의 안정성을 관찰하였다.

#### 2.6 NaCl 농도와 압력에 따른 retention과 투과플럭스의 영향

NaCl의 농도는 0.1%, 1%, 5% 및 20%로 하였으며 부피는 6L로 하여 저장탱크에 넣고 부피농축비(volume concentration ratio)가 2일째 까지 농축하였다. 각각의 농도에 대해 시료의 온도를  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지하였고, 압력을 10~40bar로 변화시키면서 실험을 수행하였다. Retention(%)은 VCR이 2일 때 까지 농축을 진행한 후 처음 용액의 부피와 동일하게 증류수를 첨가하고  $20^\circ\text{C}$ 에서 전기전도도를 측정하여 초기값과의 비로 계산하여 결정하였다. 또한 투과플럭스는 각 VCR에서의 초기값을 측정하여 평균치로써 결정

하였다. 각 NaCl 용액의 여과 전후에 증류수를 이용하여 투과플럭스의 변화를 관찰하여 NaCl 농도에 따른 염이온의 막오염현상을 관찰하였다. 또한 압력변화에 따른 염 retention은  $20^\circ\text{C}$ 에서의 전기전도도를 측정하여 조사하였다.

$$VCR(\text{volume concentration ratio}) = \frac{\text{Initial feed volume (L)}}{\text{Retentate volume (L)}}$$

#### 2.7 염료와 NaCl 혼합용액에 따른 retention과 투과플럭스의 영향

온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 압력을 10~40bar로 변화시키면서 염료와 NaCl을 혼합한 용액과 염료를 함유하지 않았을 때의 염 retention 및 투과플럭스를 관찰하였으며, 또한  $\text{MgCl}_2$ 의 retention도 함께 조사하여 NaCl의 retention과 비교하여 보았다. 0.1% 염료와 0.1% NaCl이 함유된 용액을 6L로 하여 공급탱크에 넣고 VCR이 2일째 까지 농축을 진행하였으며, 염료가 함유되어 있지 않은 0.1% NaCl용액과 0.1%  $\text{MgCl}_2$  용액도 위와 같은 방법으로 실험을 행하였다. NaCl의 retention(%)은 앞의 실험에서와 동일하게 측정하였으며, 실험이 완료된 후 효소세제를 사용하여 막을 세척하였으며, 실험 전 후와 세척후의 증류수 투과플럭스를 측정하여 막의 오염 정도와 세척 효과를 측정하여 막이 심하게 오염되었을 때는 새로운 막으로 교체하여 사용하였다.

#### 2.8 온도에 의한 영향

각종 반응성 염료들을 각각 1000mg/L으로 혼합하여 주입하였을 때 압력 40bar에서 역삼투막과 나노막 분리시 온도에 따른 염료의 배제율 및 투과플럭스에 미친 영향을 조사하기 위하여 저장탱크의 온도를  $20 \sim 40^\circ\text{C}$ 로 변화시켰고, 저장탱크에 염료용액 6L를 넣어 부피농축비(volume concentration ratio)가 2일째 까지 농축하면서 실험을 수행하였다. 배제율은 VCR이 각각 1, 1.2, 1.5 및 2일 때의 투과액을 UV 흡광도 및 TOC를 측정하여 구하였으며, 투과플럭스는 각 VCR에서의 초기값을 측정하여 결정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 투과플럭스 안정성 실험

나노막의 투과플럭스를 비교한 결과 초기 투과플럭스와 4hr후의 투과플럭스가  $195 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ 로 일정하고 역삼투막의 경우에서도 초기 투과플럭스와 4시간 후의 최종 투과플럭스는 각각  $225 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$  및  $224 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ 로 거의 일정하였으며, 이 실험 결과는 Fig. 2에 나타내었다.

#### 3.2 NaCl용액의 시간에 따른 투과플럭스 변화

0.1% NaCl용액을 압력 30bar, 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 사용한 막의 여과실험에서 시간에 따른 투과플럭스의 변화를 관찰한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 나노막의 초기 투과플럭스와 4hr후의 투과플럭스가  $124 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$  정도로 거의 일정하게 유지되었으며, 역삼투막의 경우도 초기 및 최종 투과플럭스는 각각  $101 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr}$  및

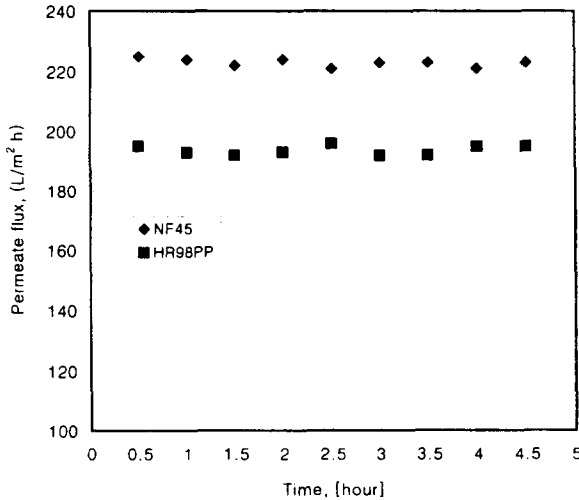


Fig. 2. Pure water flux during stabilization of NF45 and HR98PP membrane at 30bar, Temp.  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .

102 L/m²·hr으로 나타나 앞의 실험 결과와 유사한 경향성을 보였다.

### 3.3 NaCl농도와 압력에 따른 retention과 투과플럭스의 영향

#### 3.3.1 나노막

NaCl용액의 서로 다른 농도에서 압력에 따른 투과플럭스 및 retention에 미치는 영향은 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 NaCl의 농도가 높아짐에 따라서 투과플럭스가 현저히 낮아졌음을 알 수 있다. 압력 30bar에서 NaCl 용액의 농도가 0.1%, 1%, 5% 및 20% 일때 투과플럭스 값은 각각 125, 87.5, 67.5 및 45 L/m²·h로 나타났다. 이것은 Van't Hoff의 법칙( $\pi = CRT$ )에 따라 NaCl 용액의 농도가 높아질수록 삼투압이 증가하기 때문이며, 염 농도가 높을수록 점성도가 높아 투과플럭스가 떨어지게 된 이유라 할 수 있겠다. 또한 이 그림에서 볼 수 있듯이 압력 30bar에서 NaCl 용액의 농도가 0.1%, 1%, 5% 및 20% 일 때 retention은 각각 63%, 60%, 46% 및 0.9%로 농도가 높아질수록 retention이 낮게 나타나 농도에 따른 retention의 영향은 현저하였다. 또한 압력이 10bar, 20bar, 30bar 및 40bar로 증가할 때 0.1% NaCl 용액의 retention은 각각 58%, 61%, 63% 및 64%로 압력이 증가할수록 retention이 다소 증가함을 알 수 있었으며, 0.1~5% NaCl 용액의 범위에서는 사용한 압력범위내에서 retention이 증가하였다. 이 실험에서 사용한 가장 높은 20% NaCl 용액에서는 retention이 사용압력 범위에서 0.8~0.9%로 매우 낮게 나타났고, 압력변화에 따른 영향은 관찰되지 않았다.

#### 3.3.2 역삼투막

NaCl용액의 서로 다른 농도에서 압력에 따른 투과플럭스에 미치는 영향은 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 NaCl의 농도가 높아짐에 따라서 투과플럭스가 현저히 낮아졌음

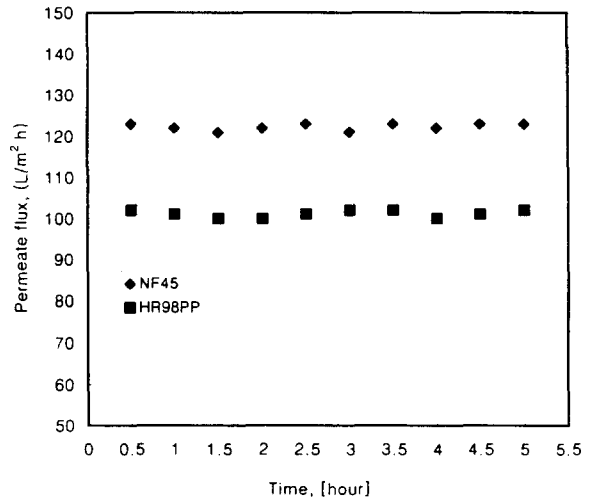


Fig. 3. Permeate flux of 0.1% NaCl according to the operating time at 30bar, Temp.  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .

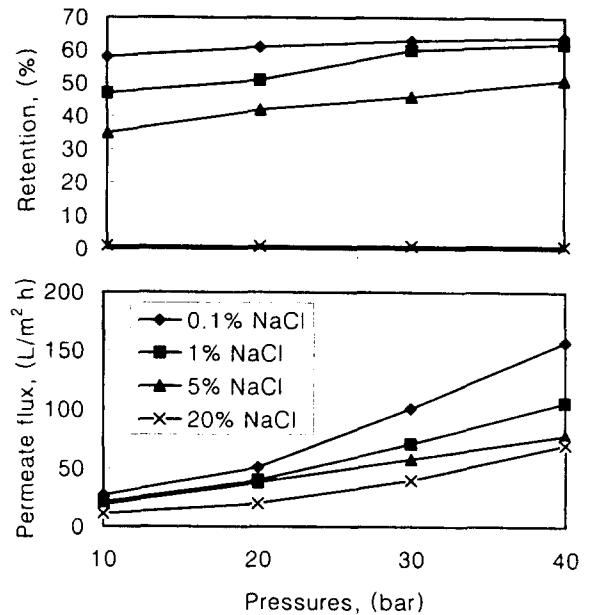


Fig. 4. Retention and permeate flux of NF45 membrane in filtration of NaCl solutions of different concentration at pressures between 10 and 40bar, Temp.  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .

을 알 수 있다. 압력 30bar에서 NaCl 용액의 농도가 0.1%, 1%, 5% 및 20% 일때 투과플럭스 값은 각각 101, 71, 58 및 40 L/m²·h로 나타나 농도가 높아질수록 투과플럭스가 감소한 것은 나노막에서 관찰된 것과 일치하였다. Retention에 미치는 영향도 이 그림에 나타난 바와같이 압력 30bar에서 NaCl 용액의 농도가 0.1%, 1%, 5% 및 20% 일 때 retention은 각각 98.5%, 98%, 92.4% 및 80.1%로 농도가 높아질수록 re-

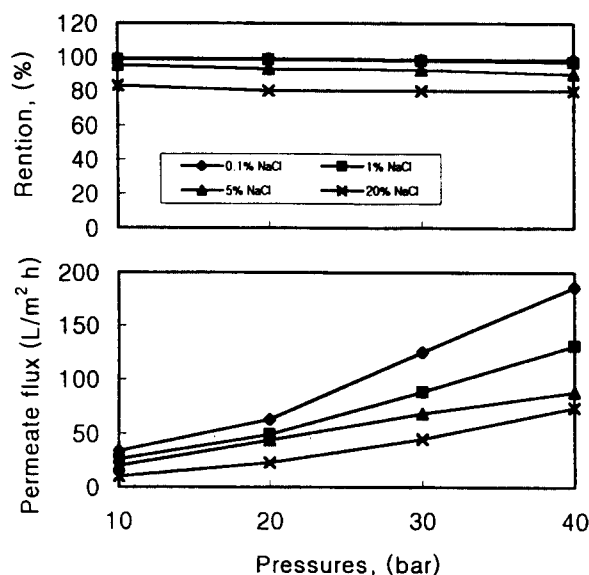


Fig. 5. Retention and permeate flux of HR98PP membrane in filtration of NaCl solutions of different concentration at pressures between 10 and 40bar, Temp.  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .

retention이 낮게 나타났다. 염의 retention이 나노막에 비해 현저히 높아 염과 유기물을 동시에 제거할 수 있는 기능을 가진 막이라 할 수 있다. 또한 압력이 10bar, 20bar, 30bar 및 40bar로 증가할 때 0.1% NaCl 용액의 retention은 각각 99.1%, 99.1%, 98.5% 및 98.5%로 retention이 거의 일정하게 나타났다.

### 3.4 NaCl용액, 염료를 함유한 NaCl용액과 $\text{MgCl}_2$ 용액의 염 및 염료의 retention과 투과플럭스의 영향

나노막에서 염과 염료의 혼합물과 염료를 혼합하지 않았을 때의 투과플럭스에 미치는 영향을 조사하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 알 수 있는 바와같이 NaCl 용액에 반응성염료를 첨가하였을 때나 첨가하지 않았을 때의 투과플럭스에 미치는 영향은 관찰되지 않았다. 0.1% NaCl 용액은 압력 10~40bar에서 투과플럭스는  $32 \sim 191 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$  이고, 0.1% 염료를 함유한 용액은  $28 \sim 191 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ 로 나타났다. 이들과 0.1%  $\text{MgCl}_2$ 의 투과플럭스와 비교 하였을 때 10~40bar에서  $\text{MgCl}_2$  용액은  $37 \sim 212 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ 로 사용한 압력범위 내에서 상당히 높은 것으로 나타났다. VCR이 2일때까지 농축을 진행하면서 염료를 함유한 NaCl용액의 retention과 염료를 함유하지 않은 NaCl 및  $\text{MgCl}_2$  retention을 비교한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 여기서 볼 수 있듯이 사용압력 범위내에서 0.1% NaCl 용액만 여과하였을 때의 retention은 57~64%이고 0.1% 염료를 함유한 NaCl용액의 염 retention은 53~64%로 유사하게 나타났다. 그리고 0.1%  $\text{MgCl}_2$  retention은 74~88%로 NaCl의 retention보다 다소 높게 나타

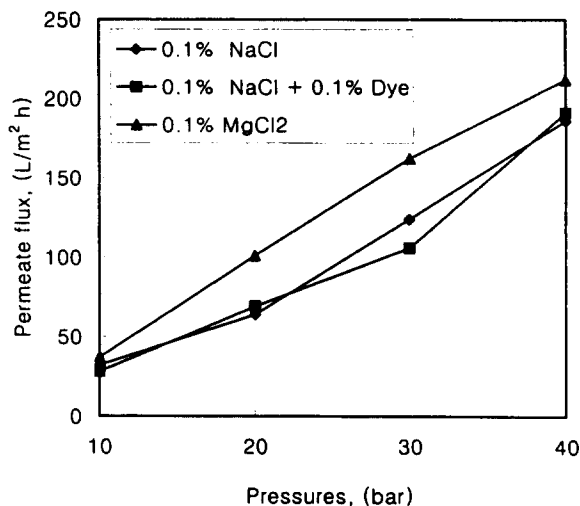


Fig. 6. Permeate flux in filtration of NaCl with and without reactive dye and of  $\text{MgCl}_2$  with NF 45 membrane at pressures between 10 and 40bar, Temp.  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .

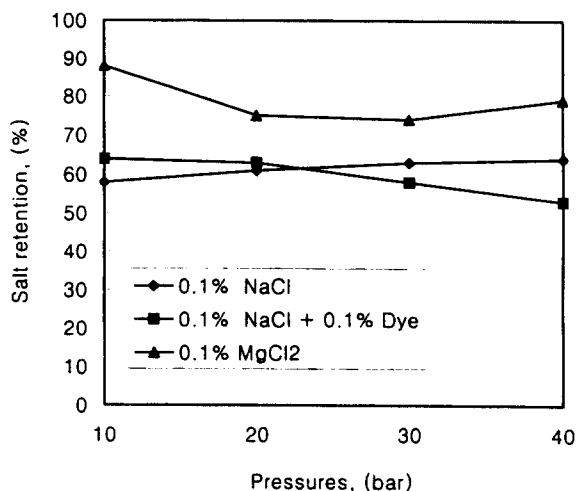


Fig. 7. Salts retention in filtration of NaCl with and without reactive dye and of  $\text{MgCl}_2$  with NF45 membrane at pressures between 10 and 40bar, Temp.  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .

나 Mg의 hydrated ion size가 Na이온의 size보다 더 크기 때문에 나노막에 의해 더 많이 배제되었으리라 생각된다. 염료의 retention은 염을 함유하였거나 함유하지 않았을 때 모두 99.9%로 동일하게 나타나 염의 함유에 별다른 영향을 미치지 않았다.

### 3.5 온도에 의한 영향

역삼투막과 나노막에서 종류별로 혼합된 염료의 주입 농도를 1,000mg/L으로 하였을 때 압력 40bar에서 온도변화에 따라 투과플럭스에 미치는 영향을 조사한 결

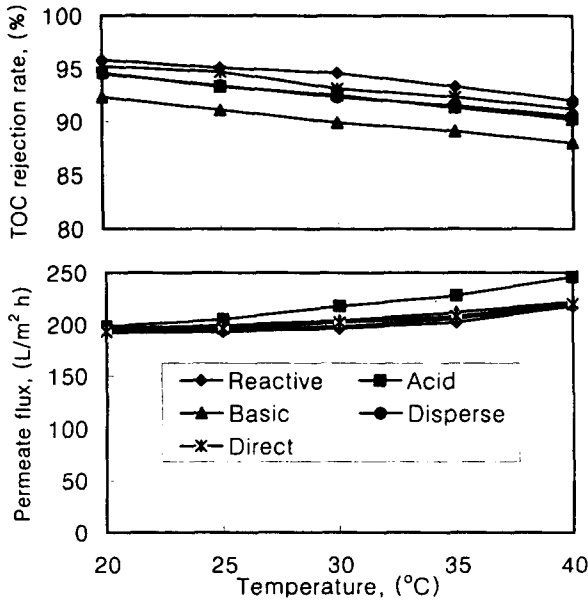


Fig. 8. Effect of temperature on TOC removal rate and permeate flux of NF45 membrane at pressure 40 bar.

과를 Fig. 8과 9에 나타내었다. 나노막을 사용한 염료용액을 막분리 하였을 경우 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 사용 온도를 20~40℃로 변화시켰을 때 반응성염료의 경우 투과플럭스는 각각 192, 193, 196, 202 및 218 L/m<sup>2</sup>·h로 나타났으며, 산성염료의 경우에는 198, 205, 218, 228 및 246 L/m<sup>2</sup>·h, 염기성염료의 경우, 196, 199, 204, 212 및 222 L/m<sup>2</sup>·h, 분산염료의 경우 194, 195, 198, 206 및 219 L/m<sup>2</sup>·h, 직접염료의 경우 193, 196, 202, 208 및 220 L/m<sup>2</sup>·h로 온도가 증가함에 따라 증가하였다. Fig. 9에 나타내었듯이 역삼투막에서는 반응성염료의 경우 155, 157, 166, 175 및 181 L/m<sup>2</sup>·h, 산성염료의 경우 159, 164, 168, 172 및 178 L/m<sup>2</sup>·h, 염기성염료의 경우 154, 156, 158, 162 및 166 L/m<sup>2</sup>·h, 분산염료의 경우 154, 156, 158, 162 및 166 L/m<sup>2</sup>·h, 직접염료의 경우 154, 156, 159, 164 및 168 L/m<sup>2</sup>·h로 온도가 증가함에 따라 투과플럭스가 증가하였다. TOC를 이용한 염료의 배제율은 Fig. 8, 9에 나타난 바와 같이 모든 염료들이 온도가 상승함에 따라 배제율이 다소 감소하게 나타났다. 나노막과 역삼투막은 온도가 상승함에 따라 막을 형성하는 고분자에 segment movement가 발생하여 플럭스가 증가하고 염료의 배제율은 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

#### 4. 결 론

나노막의 경우, NaCl용액의 서로 다른 농도에서 압력에 따른 투과플럭스 및 retention에 미치는 영향을 조사한 결과 NaCl의 농도가 높아짐에 따라서 투과플럭스가 현저히 낮아졌음을 알 수 있다. NaCl 용액의 농도가 0.1%, 1%, 5% 및 20%로 높아질수록 retention은 각각

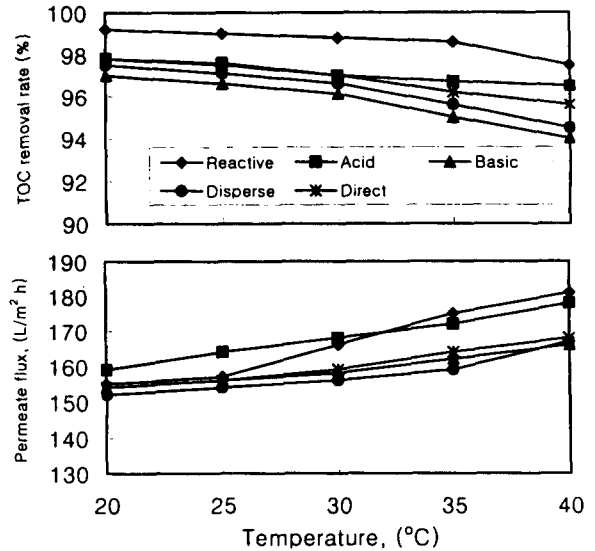


Fig. 9. Effect of temperature on TOC removal rate and permeate flux of HR98PP membrane at pressure 40 bar.

63%, 60%, 46% 및 0.9%로 낮게 나타나 농도에 따른 retention의 영향은 현저하였다. 또한 압력이 10bar, 20bar, 30bar 및 40bar로 증가할 때 0.1% NaCl 용액의 retention은 각각 58%, 61%, 63% 및 64%로 압력이 증가할수록 retention이 다소 증가함을 알 수 있었다. 한편, 역삼투막의 경우에 있어서는 NaCl 농도가 높아질수록 투과플럭스가 감소한 것은 나노막에서 관찰된 것과 일치하였다. Retention에 미치는 영향은 압력 30bar에서 NaCl 용액의 농도가 0.1%, 1%, 5% 및 20% 일 때 retention은 각각 98.5%, 98%, 92.4% 및 80.1%로 농도가 높아질수록 retention이 낮게 나타났으나, 나노막에 비해 그 차이가 현저하게 나타나지 않았다. 나노막과 역삼투막은 온도가 상승함에 따라 막을 형성하는 고분자에 segment movement가 발생하여 플럭스가 증가하고 염료의 배제율은 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 논문은 1997년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

#### 참 고 문 헌

- 齊藤俊英, 1986, 活性炭吸着法による染色廢水處理, 水處理技術, 27, 757pp.
- A.G. Fane, 1996, Membranes for water production and wastewater reuse, Desalination, 106, 1~9.
- D. Mukherjee, A. Kulkarni and W.N. Gill, 1996, Chemical treatment for improved performance of reverse osmosis membranes, Desalination, 104, 239~249.

- D. Pepper, 1988, RO-Fractionation membrane, Proc. IMTEC'88, Sydney, November 15~17.
- E.H. Sinder and J.J. Porter, 1974, Ozone treatment of dy0e waste, J. WPCF, 46, 884~892.
- J. Cadotte, R. Forester, M. Kim, R. Petersen and T. Stocker, 1988, Nanofiltration membranes broaden the use of membrane separation technology, Proc. IMTEC'88, Sydney, November 15~17.
- J. Cadotte, R. Forester, M. Kim, R. Petersen and T. Stocker, 1988, Nanofiltration membranes broaden the use of membrane separation technology, Desalination, 70, 77~88.
- J.H. Snow, D. de Winter, R. Buckingham, J. Campbell and J. Wagner, 1996, New techniques for extreme conditions: high temperature reverse osmosis and nanofiltration, Desalination, 105, 57~61.
- M.N. Katarzyna, K.K. Malgorzata and T. Winnicki, 1996, Desalination, 105, 91~102.
- N.G. Voros, Z.B. Maroulis and D. Marinos, 1996, Salt and water permeability in reverse osmosis membranes, Desalination, 104, 141~154.
- P. Mavros, A.C. Danilidou, N.K. Lazaridis and L. Stergiou, 1994, Colour removal from aqueous solutions, Environmental Technology, 15, 601~616.
- P. Eriksson, 1988, Water and salt transport though two types of polyamide composite membrane, J. Membrane Sci., 36, 297~314.
- P.K. Eriksson, 1988, Nanofiltration-what it is and its applications, 6th annu. Conf. Technology/ Planning Conf., Cambridge, November.
- R.J. petersen, 1993, Composite reverse osmosis and nanofiltration membranes, J. Membrane Sci., 83, 81~93.
- S.B. Sadr Ghayeni, S.S. Madaeni, A.G. Fane and R.P. Schneider, 1996, Aspects of microfiltration and reverse osmosis in municipal wastewater reuse, Desalination, 106, 25~29.
- S.N. Gaeta and U. Fedles, 1990, Recovery of water and auxiliary chemicals from effluents of textile dye house, Desalination, 83, 183~196.
- S. Sourirajan and Takeshi Matsuura, 1985, Reverse osmosis/ultrafiltration process principles, National Research Council Canada 1~28.
- T.A. Clair, J.R. Kramer, M. Sydor and D. Eaton, 1991, Concentration of aquatic dissolved organic matter by reverse osmosis, Wat. Res., 25(9), 1033~1037.
- W.G. Kuo, 1992, Decolorizing dye wastewater with Fenton's reagent, Water Research, 26, 881 ~ 886.
- W. Winiati, et al., 1987, Biological and chemical oxidation treatments of wastewater from a Japanese dyeing and finishing factory, 大阪工業技術試験所季報, 38, 8~45.