

## 폴리아마이드계 복합막을 이용한 염료 폐수 처리 공정 분리막 세척 조건 연구

이 용 환\* · 황 정 은\*\* · 제갈중건\*\*·† · 정 재 윤\*

\*한양대학교 응용화학생명공학부, \*\*한국화학연구원 신화학연구단  
(2008년 3월 10일 접수, 2008년 3월 13일 채택)

### Study on the Membrane Cleaning-in-place (CIP) Conditions for the Dye Wastewater Treatment Process Using Polyamide Composite Membranes

Yong Hwan Lee\*, Jeong-Eun Hwang\*\*, Jonggeon Jegal\*\*·†, and Jae Yun Jaung\*

\*Department of Fiber and Polymer Engineering, Hanyang University

\*\*Division of New Chemistry, Korea Research Institute of Chemical Technology

(Received March 10, 2008, Accepted March 13, 2008)

**요 약:** 염색폐수처리를 위하여 피페라진, 메타페닐렌디아민, 트리메소일 클로라이드를 이용하여 계면중합법으로 폴리아마이드계 나노분리막과 폴리아마이드계 역삼투막을 제조하였으며, 이들을 오스모닉스사로부터 구입한 역삼투막의 투과특성과 비교하였다. 이들의 기본 분리투과특성 조사를 위하여 PEG 600, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl 수용액을 이용하였으며, 제조된 분리막들은 전형적인 나노복합막과 저압용 역삼투막의 특성을 나타내었다. 제조된 이들 분리막들을 이용하여 국내 염료 제조업체인 (주)경인양행으로부터 공급된 실제 염색폐수를 처리하였으며, 이때 이들의 분리투과특성을 살펴보았다. 또한 분리막을 이용한 폐수처리 시 발생하는 분리막 오염을 제거하기 위하여 일정시간마다 CIP를 실시하였다. 이때 3종류의 서로 다른 화학세정제를 사용하였으며, 이들의 세척성능을 살펴보았다.

**Abstract:** For the treatment of the dye wastewater, a polyamide nano-composite membrane and reverse osmosis (RO) membranes were prepared using interfacial polymerization technique, in which piperazine, meta-phenylene diamine, and trimesoyl chloride were used as monomers. Their permselective properties were characterized with aqueous solutions of PEG 600, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and NaCl, and their performance was compared with that of Osmonics Co. They were found to be a typical nano-composite membrane and a low pressure RO membrane. Using them, a real dye wastewater supplied from the Kyungin Corporation, one of the domestic dye producer, was treated, studying the separation performances of the membranes. Also, during the wastewater treatment, cleaning in place (CIP) of the membranes was carried out regularly to recover the flux of the membranes. Three different chemical cleaners were employed for the CIP process and their performance were compared in this study.

**Keywords:** polyamide composite membrane, dye wastewater, treatment, cleaning-in-place

### 1. 서 론

염료 제조회사나 염색 회사에서 많은 양의 공업용수를 사용하며, 따라서 발생하는 폐수의 양 또한 다른 산업에 비하여 적지 않음은 이미 잘 알려진 사실이다. 발생하는 염료 염색 폐수는 난분해성이어서 미생물을 이용한 처리가 용이하지 않음 또한 잘 알려진 사실이다.

이러한 특성을 지닌 난분해성 염료 염색폐수를 효과적으로 처리하는 기술에는 분리막 기술이 있으며, 이를 위하여 많은 연구자들이 연구들을 진행해 오고 있는 실정이다[1-10].

염료 염색 폐수 처리를 위하여 일반적으로 가장 많이 사용되는 분리막으로는 폴리아마이드계 복합막이 있다. 하지만 이들 분리막을 이용하여 염료 폐수를 처리함에 있어 가장 빈번하게 발생하는 문제는 바로 폐수 구성

†주저자(e-mail : jggegal@kRICT.re.kr)

성분에 의한 분리막 오염이다[11-15]. 분리막의 오염은 분리막의 표면에 폐수 성분이 케이크 층을 형성함으로써 이루어지게 되고, 이들은 분리막의 투과 특성을 저해하여 분리막의 성능 저하를 초래하게 한다. 이러한 분리막 오염을 최소화하는 방법에는 다양한 것들이 있으나 가장 일반적이면서 효과적인 방법이 *Cleaning-in-place (CIP)*로 불리어지는 화학세정제를 이용한 분리막 세척이다[16,17]. CIP는 분리막 세정에서 가장 일반적으로 사용되는 세정의 한 방법이며, 분리막 운전 중 분리막 시스템으로부터 분리막을 옮기지 않고 그 상태에서 세척하는 것이 특징인 세정 방법이다.

본 연구에서는 3종류의 폴리아마이드계 분리막을 계면중합법을 이용하여 제조하였으며, 이들의 기본 분리투과특성을 PEG 600, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl 수용액을 이용하여 조사하였다. 그리고 이들 분리막을 이용하여 실제 염료 폐수를 처리하였으며, 이때 분리막들의 처리성능을 조사하였다. 마지막으로 분리막을 이용하여 폐수를 처리할 때, 분리막을 세 가지 화학세정제를 이용하여 주기적으로 CIP를 실시하였으며, 이때 이들의 세정 능력을 살펴보았으며, 이상 연구내용에 대한 자세한 사항은 다음과 같다.

## 2. 실험

### 2.1. 재 료

분획분자량(MWCO)이 30,000g/mol인 폴리설폰 한외여과막을 Fluid System사(Indiana, 미국)로부터 구입하여 복합막의 지지체로 사용하였다. 복합막 제조 시 가교된 폴리아마이드 활성층 제조를 위하여 사용된 단량체에는 Aldrich 사로부터 구입한 피페라진(PIP), 메타페닐렌디아민(MPD), 트리메소일 클로라이드(TMC)가 있으며, 반응 촉매로 트리에틸아민(TEA)과 트리에틸 벤질암모늄브로마이드(TEBAB)를 사용하였다. 용매로는 헥산을 주로 사용하였으며, 2-디클로로에탄과 벤젠, 그리고 이소프로판올을 사용하였다. 분리막 세정을 위하여 본 연구에서 사용한 산성 세정제로는 2.0 wt%의 citric acid (산성 세정제)를, 염기성 세정제로는 0.5 wt%의 Sodium Tripoly Phosphate (STP)를 들 수 있다.

### 2.2. 분리막 제조

폴리아마이드 복합막을 제조하기 위하여 통상의 계면중합법을 이용하였으며, NF 복합막을 제조하는 자세

한 방법은 다음과 같다: 폴리설폰 한외여과막의 표면을 묽은 황산(0.01 M)으로 세척하고, 준비된 1.0 wt%의 PIP 수용액에 담구어 1분간 둔다. 이때 사용된 PIP 용액에는 1.0 wt%의 TEA가 소량 촉매로 포함되어 있다. 이후 꺼내어 폴리설폰 한외여과막 표면에 과량으로 남아있는 PIP용액을 롤러를 이용하여 제거한 뒤 다시 준비된 0.05 wt%의 TMC를 녹인 헥산용액에 10초간 담구어 PIP와 TMC 사이에 계면중합이 일어나게 한다. 이렇게 제조된 NF 복합막을 2시간 동안 공기 중에서 건조한 후 증류수에 넣어서 보관한다.

한편 역삼투막은 위에 언급된 NF 복합막 제조와 동일한 방법을 사용하면서, 단량체를 PIP에서 PIP/MPD (8/2 무게비) 혼합액으로 바꾸고, 반응 용액을 100% 헥산에서 80/20 (무게비)의 벤젠/헥산 혼합액으로 바꾸어 사용하여 제조하였다.

### 2.3. 투과 테스트

제조된 분리막과 Osmonics사의 폴리아마이드계 역삼투막의 분리투과 특성을 조사하기 위하여 1,000 ppm의 PEG 600, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl 수용액을 공급액으로 사용하였으며, 전형적인 역삼투막 투과 테스트 장치를 사용하였다. 운전압력은 100 psi에서 400 psi까지 조절되었으며 투수량은 단위시간당 분리막을 통과한 투과수의 무게를 제어 결정하였고, 용질 배제율은 아래 식을 이용하여 계산되어졌다.

$$Rejection = 100 \times (C_f - C_p) / C_f$$

위식에서 C<sub>f</sub>와 C<sub>p</sub>는 각각 공급액과 투과액의 농도를 나타내며, 이들은 HPLC (모델 Waters 501)를 이용하여 측정되어졌으며 사용된 검출기는 굴절계 R401을 이용하였다.

### 2.4. 분리막 CIP

본 연구에서 사용된 원수는 경인양행에서 제공한 염색 폐수로서 압력에 따른 투과 실험을 실시하였고 각각의 막에 대한 permeate의 conductivity와 TDS, COD 등을 측정하여 막의 제거 특성을 살펴보았다.

본 연구에서는 산성 세정제로서 2.0 wt%의 citric acid를 사용하였고 염기성 세정제로는 0.5 wt%의 STP를 사용하였다. 먼저 초기 유량을 1.0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>day로 고정시키고 시간에 따른 유량의 감소를 살펴보았다. 막의

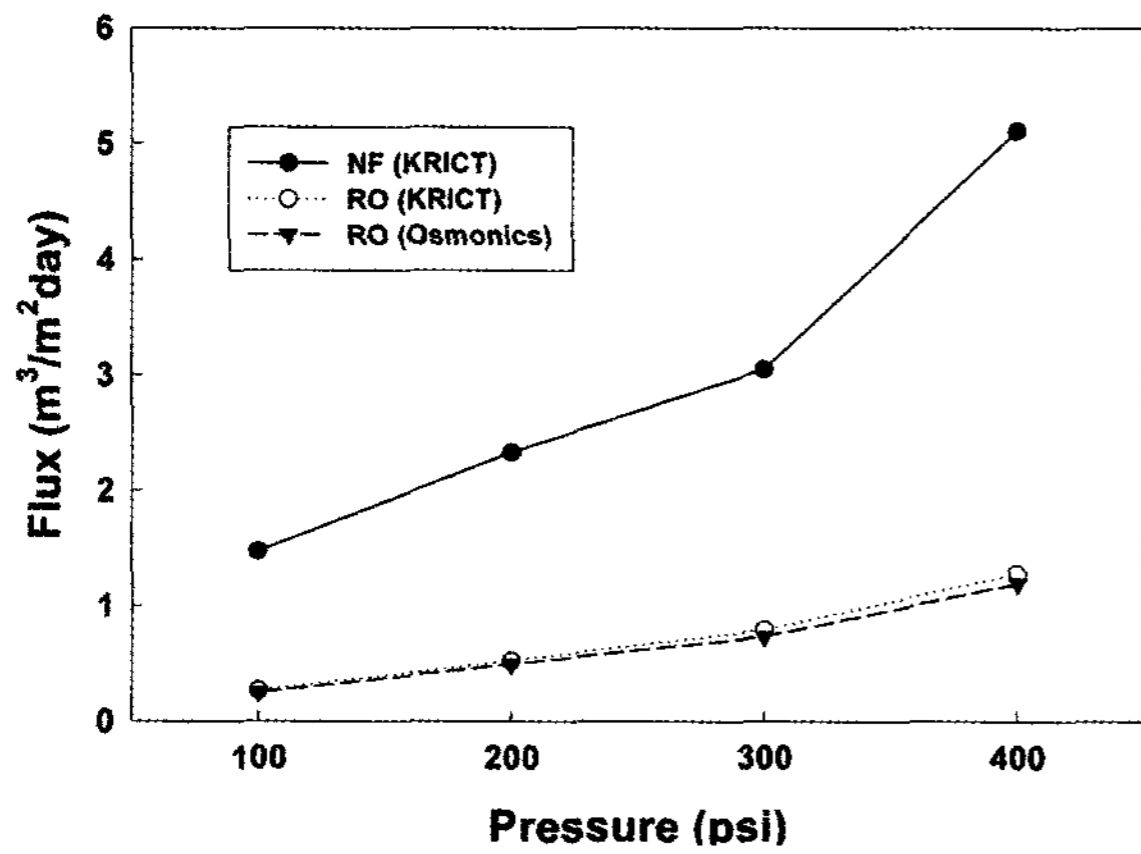


Fig. 1. Pure water flux of each membrane with operating pressure.

세정 주기는 5시간 간격으로 실시하였고 감소된 유량을 세정제로 세척 후 유량의 회복을 살펴보았다. CIP 실험은 초기의 유량을 1 m³/m²day로 고정시키고 시간에 따른 유량의 감소를 살펴보았다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 분리막의 투과특성

##### 3.1.1. 순수 투과 특성

Fig. 1은 본 연구에서 제조된 NF 분리막과 RO 분리막 그리고 Osmonics사에서 구입한 RO 분리막의 순수 유량을 나타내고 있다. NF 분리막의 순수 유량은 400 psi에서 5 m³/m²day 이상이었고 200 psi에서는 2 m³/m²day 이상으로 높은 투과도를 나타냈다. 한편 본 연구에서 제조된 RO 분리막과 Osmonics사에서 구입한 RO 분리막의 순수 유량은 매우 유사하였으며, 400 psi 운전압력에서 1.0 m³/m²day 정도의 상대적으로 낮은 유량을 나타내었다. 이는 전형적인 NF 분리막과 RO 분리막의 투과특성을 잘 나타내는 것이며, 더 이상 특이한 점은 없는 것으로 보인다.

##### 3.1.2. 분리투과특성

제조된 NF 분리막과 RO 분리막, 그리고 Osmonic사의 RO 분리막의 분리투과특성을 알아보기 위하여, 1,000 ppm의 PEG 600, Na₂SO₄, NaCl 수용액을 공급액으로 사용하였으며 아래 Figs. 2, 3, 4에 이들의 결과가 각각 잘 나타나 있다. Fig. 2는 제조된 NF 분리막의 유량과 용질배제율을 나타내고 있다. 이 경우 세 종류의 공급액에 대해서 유량이 매우 유사한 값을 나타내고

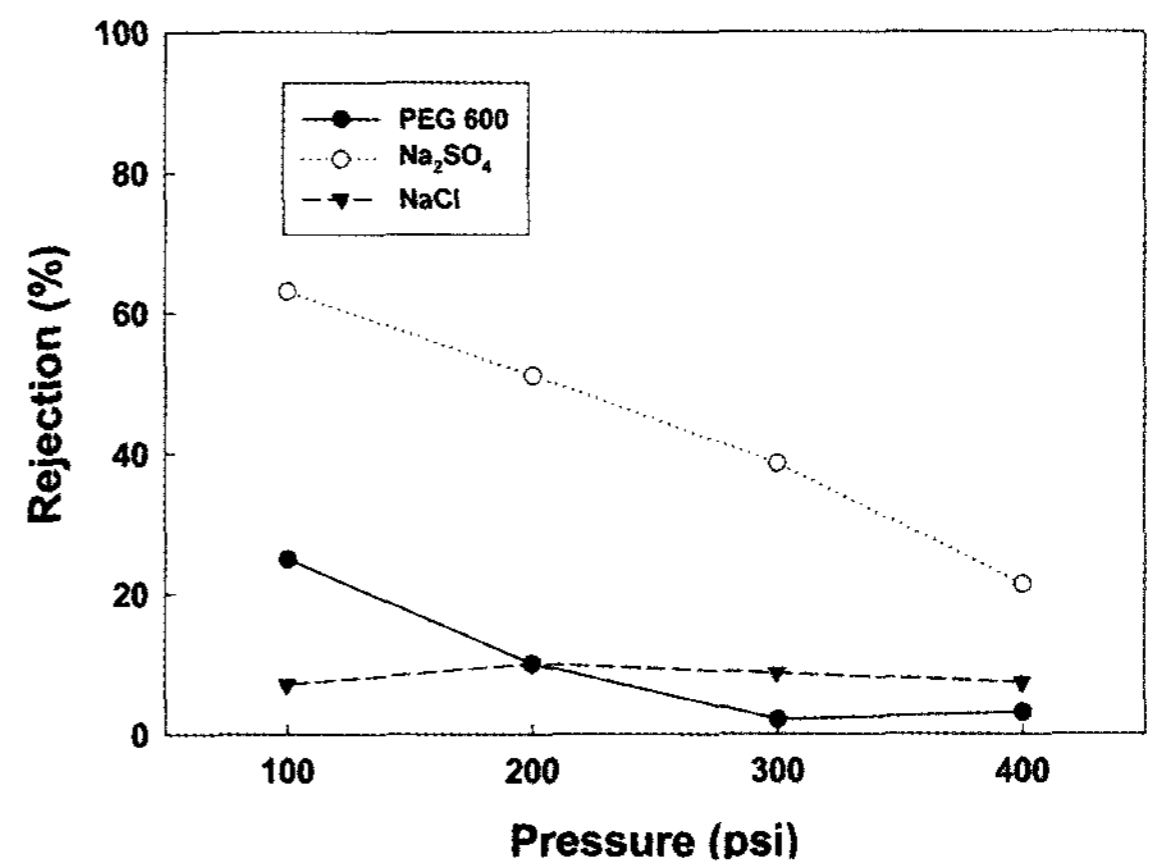
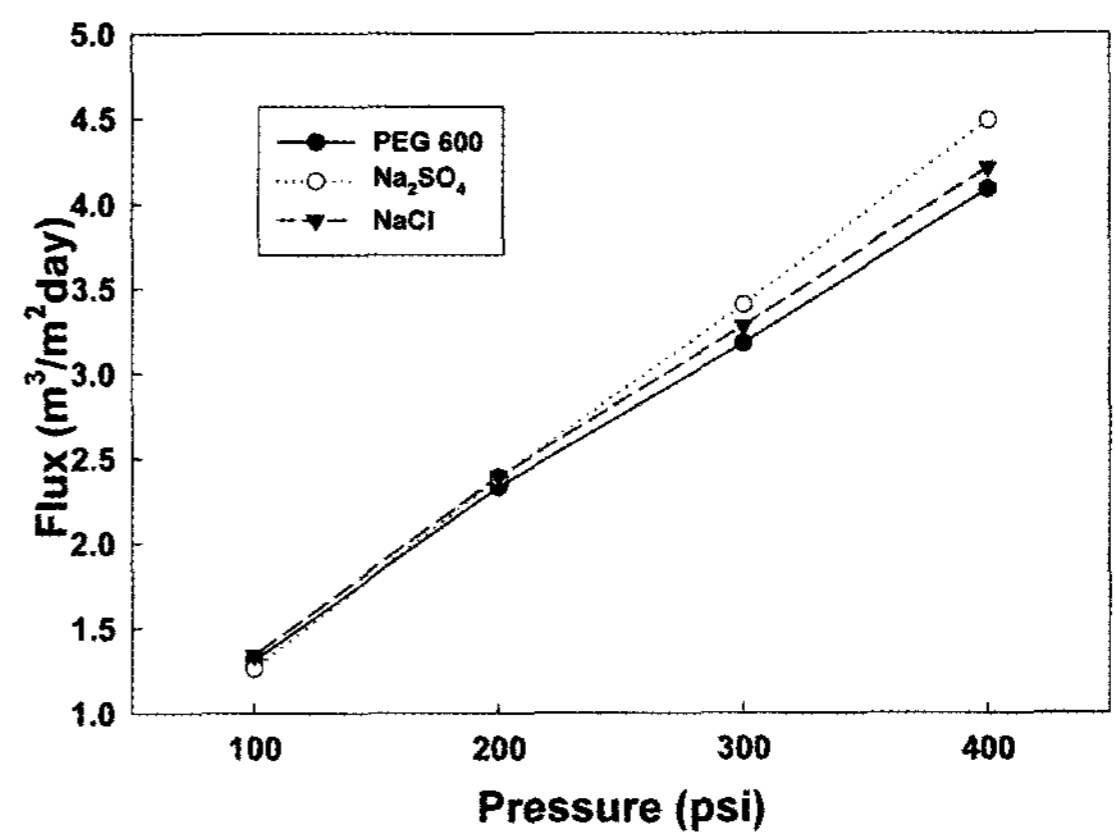


Fig. 2. Permeation and rejection properties of the NF composite membrane prepared by using PIP and TMC through interfacial polymerization.

있으며, 저압에서는 사용된 용질에 의존성을 거의 보이지 않고 있으나 고압으로 갈수록 약간의 차이를 나타낼 수 있었다. 한편 용질 배제율에 있어서는 사용된 용질에 따라 배제율이 매우 다를 수 있었다. Na₂SO₄와 같은 이가이온에 대해서는 50%, PEG 600과 NaCl과 같은 일가이온에 대해서는 상대적으로 낮은 용질 배제율을 나타내어 제조된 분리막이 전형적인 나노 분리막의 특성을 잘 나타낼 수 있었다. 이는 분리막 제조에 사용된 단량체가 평면 구조가 아닌 Chair 형태를 지니면서 상대적으로 유연한 구조로 된 피페라진을 사용하였기 때문으로 생각되어지며, 따라서 제조된 가교된 폴리아마이드 활성층의 자유공간(Free Volume)이 상대적으로 크기 때문인 것으로 생각된다. Fig. 3과 4는 각각 본 연구에서 제조된 RO 분리막과 Osmonics사에서 구입된 RO 분리막의 유량과 용질배제율을 나타내고 있다. 이 두 종류의 분리막은 유량과 배제율에서 매우 유사한 특성을 나타내고 있었다. Fig. 2에 나타난

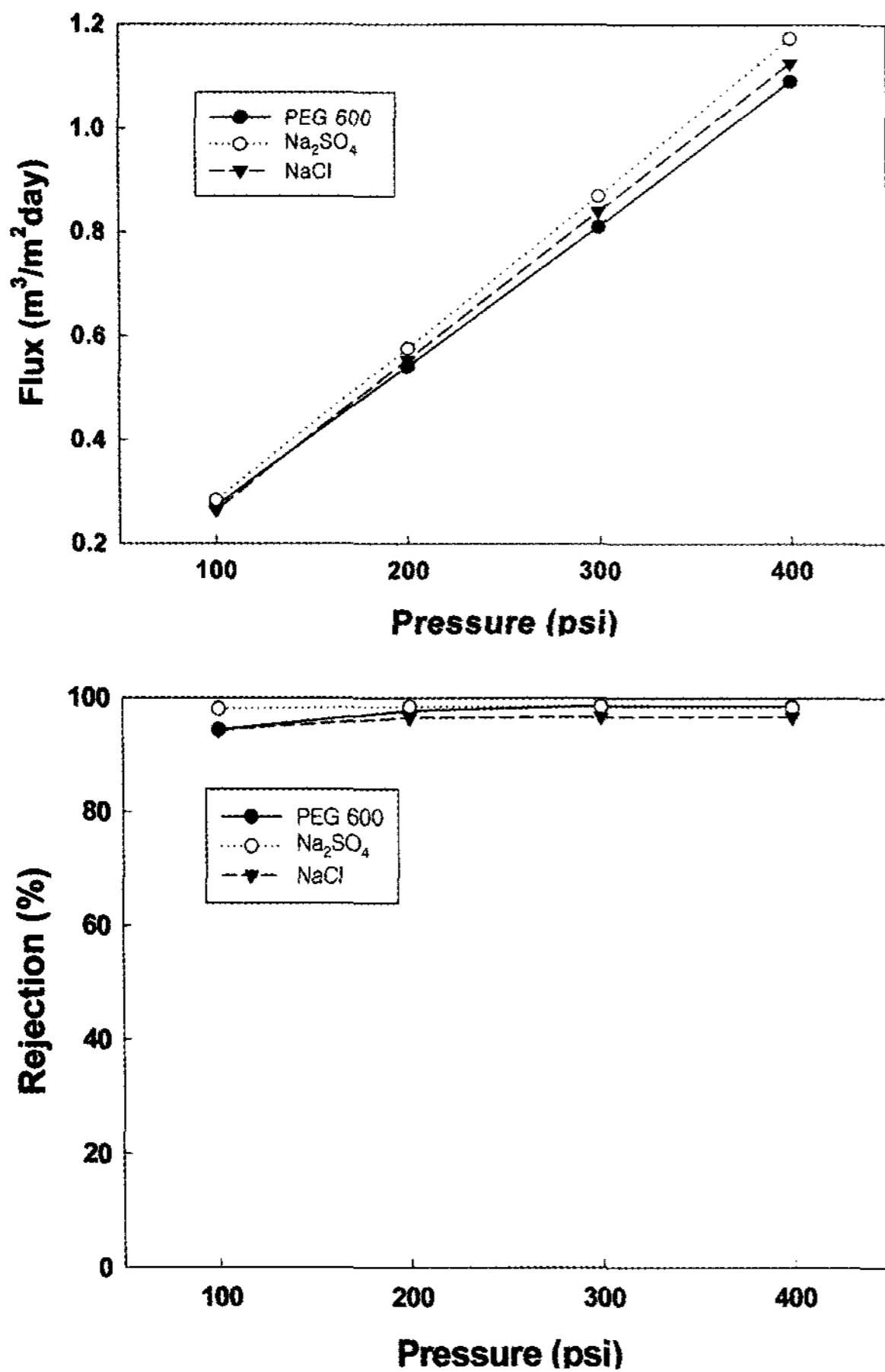


Fig. 3. Flux and rejection of the polyamide RO composite membrane prepared by using PIP/MPD (80/20 in wt%) mixture and TMC as monomers.

NF 분리막에 비해서 상대적으로 낮은 유량과 월등히 높은 용질 배제율을 나타내어 RO 분리막의 투과 특성을 잘 나타내고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 3의 결과를 볼 때, 복합막 제조 시 상대적으로 유연한 구조를 지닌 아민계 단량체 PIP를 PIP/MPD 혼합물로 바꾸고, 유기반응용매를 헥산에서 헥산/벤젠 (80/20 무계비) 혼합물로 바꾸어 줌으로써 분리막의 특

Table 1. Characteristics of the Dye Wastewater

| Contents     | Concentrations |
|--------------|----------------|
| pH           | 8.84           |
| Conductivity | 5,540 $\mu$ S  |
| TDS          | 2,790 ppm      |
| COD          | 324 ppm        |

성을 NF 분리막에서 RO 분리막으로 바꿀 수 있음을 알 수 있다. 가교된 폴리아마이드 활성층 제조 시 보다 경직한 구조와 분자간 적층이 용이한 MPD를 PIP 대신 일부 넣어 주어 자유체적을 줄여준 것이 이러한 분리막의 특성을 바꾸는 데 효과가 있었다고 생각된다. 또한 계면중합 시 사용되는 유기 용매를 제조되는 폴리아마이드에 대해서 용해도가 보다 우수한 벤젠을 헥산과 함께 사용하여 줌으로써 반응성을 높이고 결과적으로 제조되는 폴리아마이드 활성층 두께를 증가한 것이 분리막의 특성을 NF에서 RO로 바꾼 이유 중의 하나로 생각된다.

재미있는 점은 이러한 조건에서 제조된 폴리아마이드 RO 복합막의 분리투과 특성이 Osmonics사의 RO 분리막과 매우 유사하다는 것이었으며, 200 psi에서의 유량은 약 0.5~0.6 m³/m² day 정도였으며, 이때 용질 배제율은 사용된 세 종류의 용질에 대해서 모두 95% 이상의 높은 값을 나타내었다.

3.2. 분리막을 이용한 실제 염료폐수처리

이상에 나타낸 NF 분리막과 두 종류의 RO 분리막을 이용하여 실제 염료폐수인 (주)경인양행의 폐수를 처리하여 보았다. Table 1은 사용된 염료폐수의 특성을 나타내고 있다.

아래 Table 2는 이들 분리막을 이용하여 염료폐수를 처리할 때, 각 운전 압력에서 얻어진 처리수의 수질을 나타내고 있다. NF 막을 사용한 경우 conductivity와

Table 2. Properties of the Water Treated by the Membranes (NF and RO membranes) at Various Operating Pressures

| Pressure (psi) | NF membrane      |           |           | RO membrane (KRICT) |           |           | RO membrane (Osmonics) |           |           |
|----------------|------------------|-----------|-----------|---------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|
|                | Cond. ( $\mu$ S) | TDS (ppm) | COD (ppm) | Cond. ( $\mu$ S)    | TDS (ppm) | COD (ppm) | Cond. ( $\mu$ S)       | TDS (ppm) | COD (ppm) |
| 100            | 3360             | 1700      | 22        | 123.6               | 67.5      | 9         | 87.6                   | 43.7      | 18        |
| 200            | 3180             | 1610      | 27        | 74.9                | 41.1      | 0         | 60.7                   | 34.0      | 0         |
| 300            | 3090             | 1560      | 29        | 60.8                | 33.7      | 0         | 50.0                   | 28.1      | 0         |
| 400            | 3080             | 1540      | 26        | 55.5                | 28.3      | 2         | 38.9                   | 22.6      | 0         |

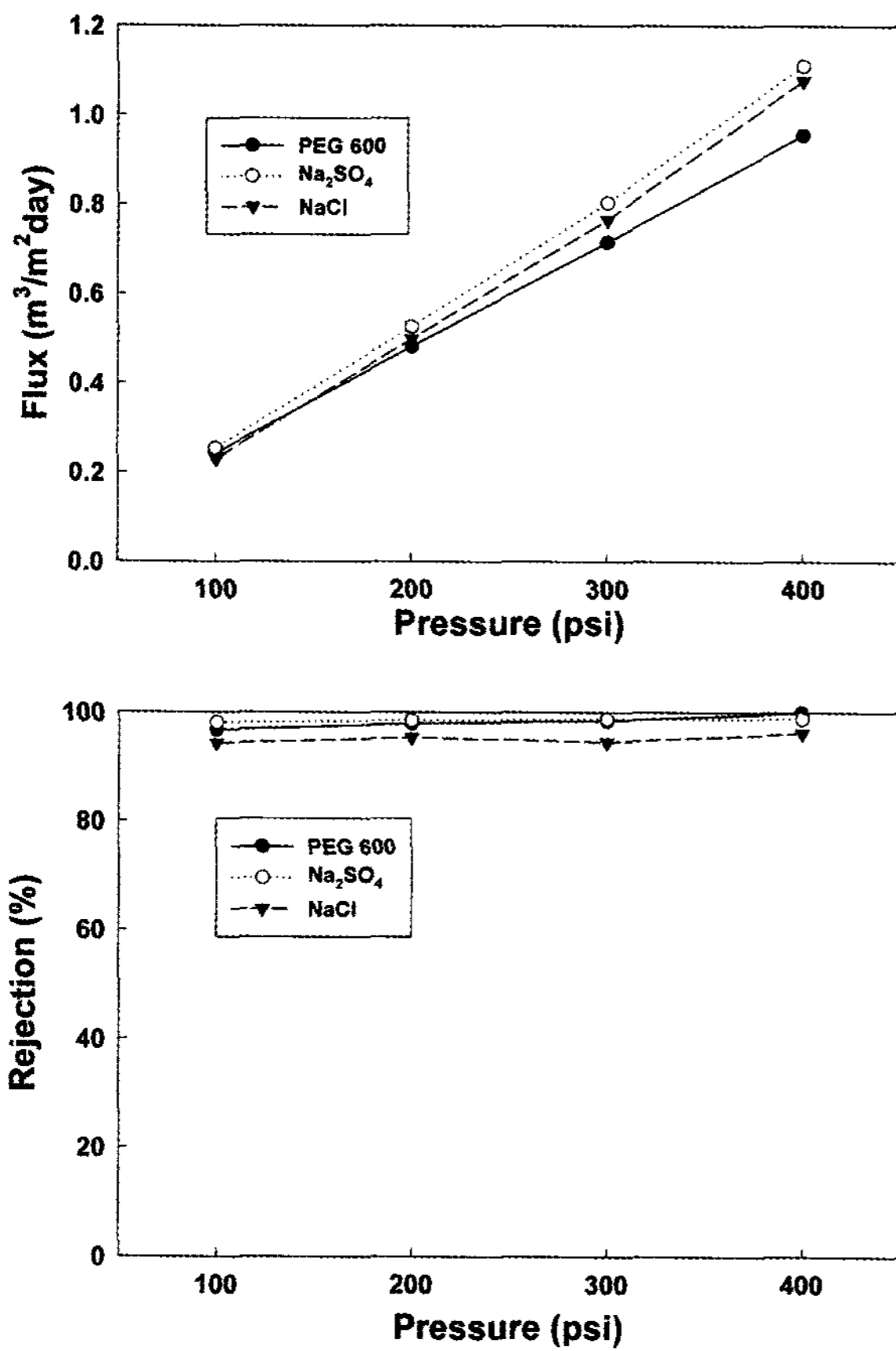


Fig. 4. Flux and rejection of the Osmonics RO membrane when 1,000 ppm aqueous solutions of PEG 600, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl were used as feed solutions.

TDS는 40% 정도 제거되었고 COD는 90% 정도 제거된 것으로 확인되었다. 그리고 처리수의 COD는 모든 압력에서 30 ppm 이하로 COD의 법정 규제 농도인 40 ppm 이하를 잘 만족시켰다.

한편 RO 분리막을 사용하였을 경우는 처리 효율이 보다 우수하여, 두 종류의 RO 분리막 모두 80% 이상의 conductivity와 TDS 제거율을 보였으며, COD의 제거율은 거의 100%에 가까웠다. 따라서 처리수의 COD는 COD의 규제 농도를 잘 만족시키고 있었다.

Fig. 5는 염색 폐수를 처리할 시 사용된 분리막들의 performance를 나타내고 있다. NF 막의 경우 200 psi에서 0.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·day 정도의 유량과 90% 정도의 용질 배제율을 나타내었으며, 두 종류의 RO 막의 경우는 동일 압력에서 0.3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·day 정도의 유량과 거의 100%에 가까운 제거율을 나타내었다.

이상의 결과로 볼 때, 염료 폐수를 처리하는 경우에는 굳이 RO막을 사용하지 않고 NF 분리막 만을 사용

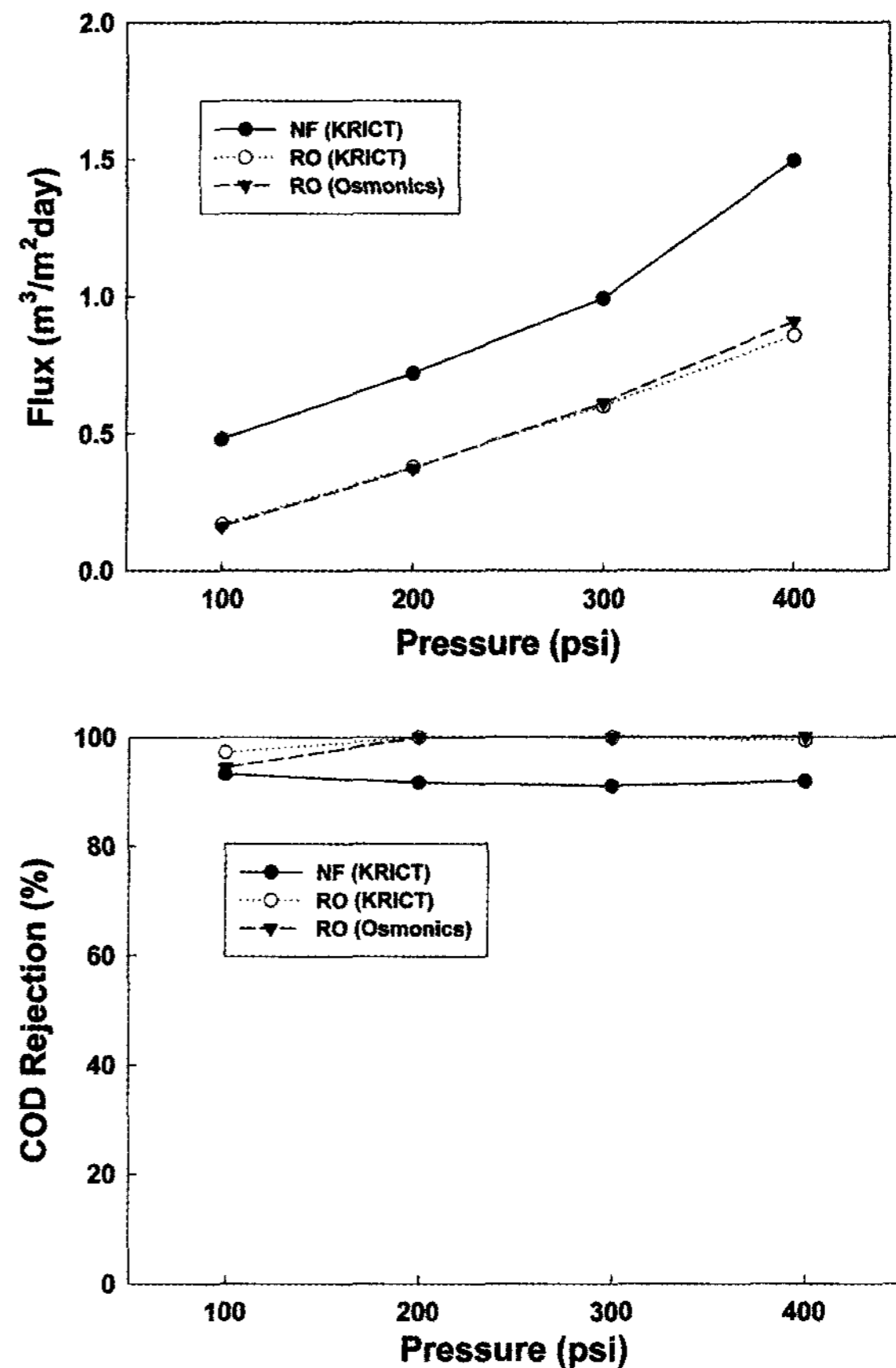


Fig. 5. Performance of the membranes with operating pressure when dye wastewater was used.

하여도 좋겠다는 결론을 얻을 수 있었으며, 이는 NF 분리막을 사용할 경우 적절한 용질 배제율과 높은 투과도를 얻을 수 있기 때문이다.

### 3.3. 분리막 CIP

이상의 세 종류의 분리막을 이용하여 장시간 동안 실제 염료 폐수를 처리하면서 매 5시간마다 CIP를 실시하여 분리막 유량 회복을 조사해 보았다. 오염이 발생한 분리막을 세척하기 위한 방법에는 물리적 방법과 화학적 방법이 있는데, 본 연구에서는 화학적 세정제를 이용한 화학적 세척 방법을 사용하였다. 일반적으로 사용되는 화학 세정제에는 크게 산성과 염기성 세정제들이 있다. 산성 세정제로 대표적인 것은 시트릭 산 (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>(OH)(COOH)<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O)이 있는데 주로 무기염을 용해시켜서 제거하는데 사용되고, 염기성 세정제로는 Sodium Dodecyl Sulphate (SDS, C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>OSO<sub>3</sub>Na)와 Sodium Tripoly Phosphate (STP, Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub>), 일반세제 등이 사용되는데, 이들은 유기물 제거에 용이하다.

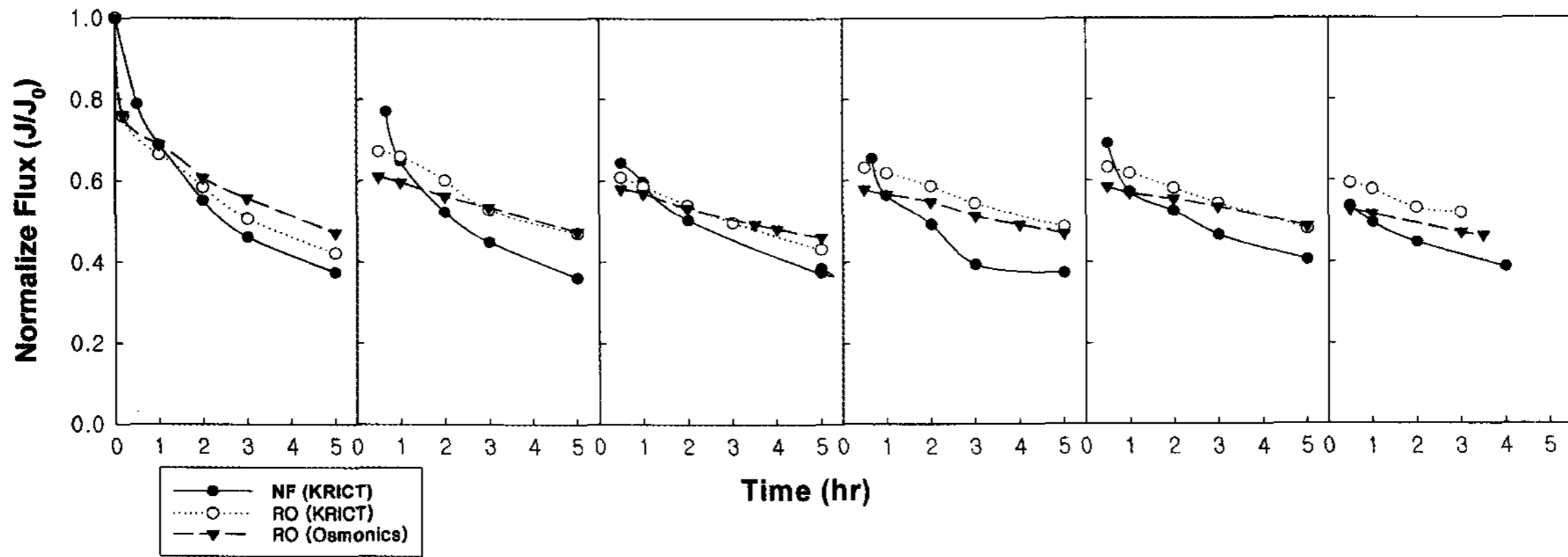


Fig. 6. Flux recovery of each membrane after cleaning every 5 hrs of operation with 0.5 wt% aqueous solution of STP (Sodium Tripoly Phosphate).

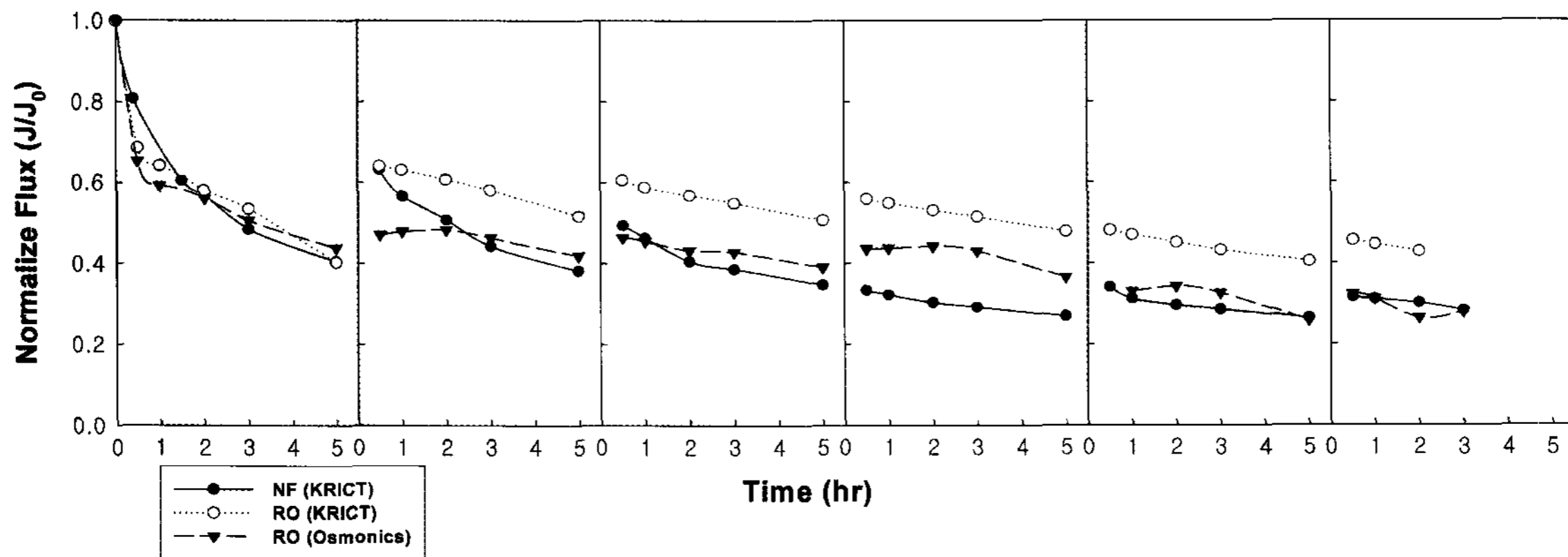


Fig. 7. Flux recovery of each membrane after cleaning every 5 hrs of operation with 2.0 wt% aqueous solution of citric acid.

본 연구에서는 산성 세정제로써 2.0 wt%의 시트릭 산을 사용하였고 염기성 세정제로는 0.5 wt%의 STP를 사용하였다. 먼저 초기 유량을 1.0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>day로 고정시키고 시간에 따른 유량의 감소를 살펴보았다. 막의 세정 주기는 5시간 간격으로 실시하였고 감소된 유량을 세정제로 세척 후 유량의 회복율을 살펴보았다. CIP 실험은 초기의 유량을 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>day로 고정시키고 시간에 따른 유량의 감소를 살펴보았다.

Fig. 6은 0.5 wt%의 STP를 사용했을 때 세 가지 막에 대한 유량의 회복율을 나타낸 것이다. NF 막의 경우는 초기 5시간 후 유량이 0.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>day까지 감소하고 세정 후 0.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>day까지 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. RO 막의 경우는 NF 막의 경우보다 유량 감소율이 더 적고 유량 회복율도 떨어지는 경향을 나타내었다. 세 가지 막 중에서 NF 막의 유량 감소율이 제일 크게 나타나서 막의 오염이 가장 심하다는 것을 알 수 있

었고, RO 막의 경우는 두 종류 막의 차이가 거의 없지만 본 연구에서 제조된 RO 분리막의 경우가 플럭스 감소가 제일 작은 것으로 나타났다. 유량 회복율은 NF 막의 경우가 가장 좋고, Osmonics RO 막이 가장 나쁜 것으로 나타났다.

Fig. 7은 2.0 wt%의 시트릭 산을 사용했을 때 세 가지 막에 대한 유량의 회복율을 나타낸 것이다. STP를 사용했을 경우와 비교했을 때 시트릭 산을 사용할 경우 유량 회복율이 매우 낮게 나타났다. 따라서 이 폐수의 오염을 일으키는 물질은 무기염보다는 유기물이 더 많다는 것을 알 수 있었다. NF 막의 경우 5시간마다 세정을 시켰지만 5번째 세정 후 3시간 운전 시에는 유량이 0.3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>day까지 떨어져서 세정의 효과가 그다지 크지 않았다. 그리고 RO (KRICT) 분리막의 유량 감소율이 가장 낮게 나타난다. 따라서 세 가지 막 중에서 RO (KRICT)막의 오염이 가장 적게 나타나는 것을 알

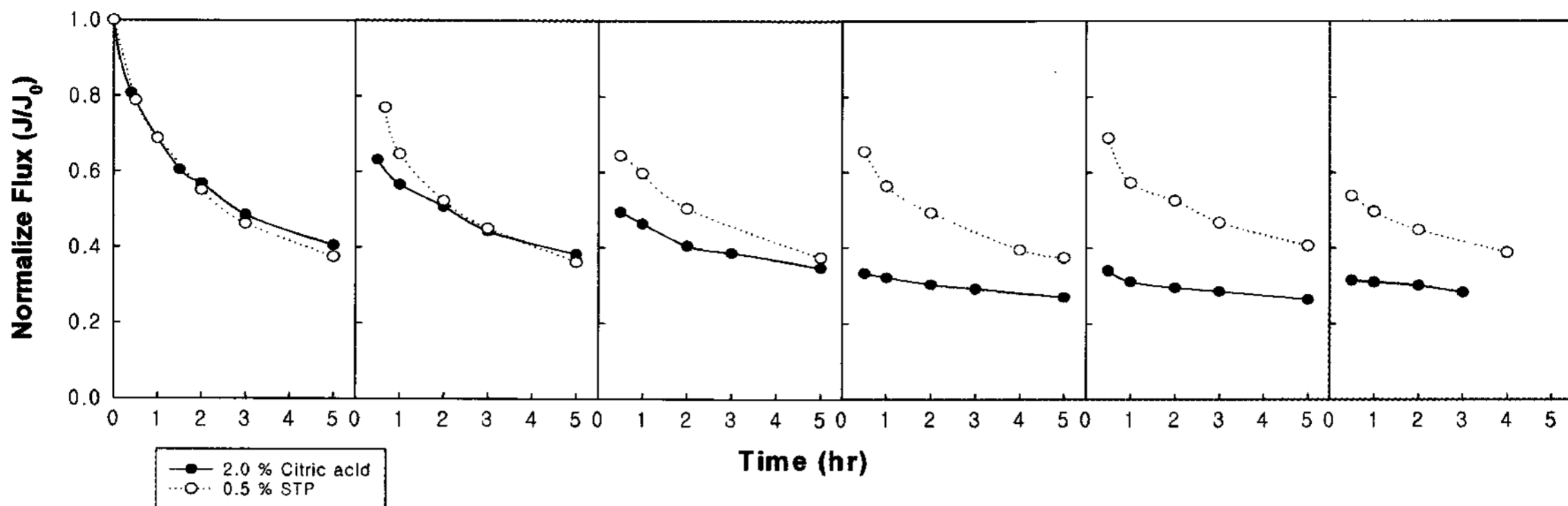


Fig. 8. Flux recovery of the NF membrane as 2.0 wt% citric acid and 0.5 wt% STP were, respectively, used every 5 hrs of operation for membrane cleaning.

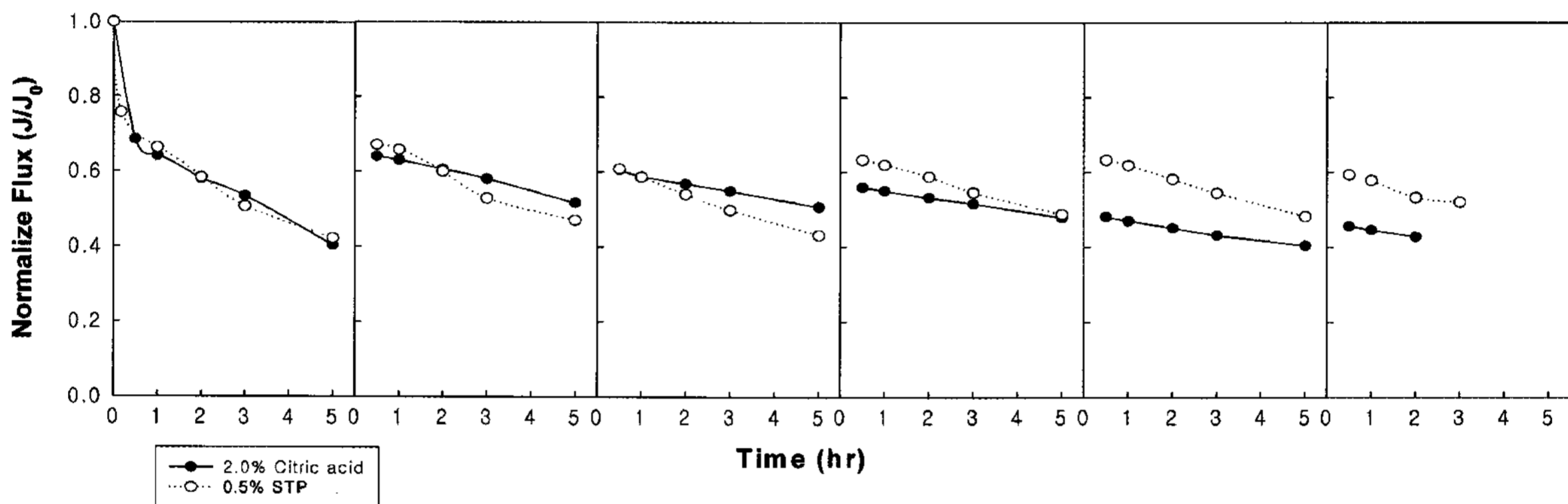


Fig. 9. Flux recovery of the RO (KRICT) membrane as 2.0 wt% citric acid and 0.5 wt% STP were, respectively, used every 5 hrs of operation for membrane cleaning.

수 있었다. 유량 감소율은 NF 막이 가장 크고 RO (KRICT) 막이 가장 낮았다.

Fig. 8에서는 NF 막에 대해서 두 가지 세정제의 유량 회복 효과를 비교하여 보았다. 초기 5시간의 유량 감소율은 비슷하지만 세정 후 유량의 회복율은 STP가 훨씬 높게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 5번째 세정 후 3시간 운전 시에는  $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{day}$  정도까지 유량의 차이가 나고 시트릭 산은 본 연구에서 사용된 염색 폐수의 오염을 최소화하기 위한 목적에는 적합하지 않았다. STP 세정제를 사용한 경우 5번째 세정 후 3시간 운전 시의 유량은  $0.4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{day}$  정도였다.

Fig. 9는 RO (KRICT) 막에 대해서 두 가지 세정제의 유량 회복 효과를 나타낸 것이다. 앞의 NF 막의 경우와 비슷한 경향을 나타내었으며, STP의 세정 효과가 더 탁월하게 나타났다. STP를 사용한 경우 5번째 세정 후 3시간 운전 시의 유량은  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{day}$  정도로 NF 막의 경우보다 훨씬 높게 나타났으며, NF 막보다 오

염이 덜 일어났다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 10은 RO (Osmonics) 막에 대해서 두 가지 세정제의 유량 회복 효과를 나타낸 것이다. 역시 비슷한 경향을 나타내었고 시트릭 산의 세정 효과는 거의 없는 것으로 나타났다. STP를 사용한 경우 5번째 세정 후 3시간 운전 시의 유량은  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{day}$  정도로 RO (KRICT) 막과 비슷하게 나타났지만 시트릭 산의 경우는  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{day}$  정도로 매우 낮게 나타났다.

#### 4. 결 론

PIP와 TMC를 계면중합법으로 한외여과막 표면에 얇은 층의 가교된 폴리아마이드 활성층을 형성함으로써 전형적인 NF 특성을 지닌 복합막을 제조할 수 있고, PIP/MPD (80/20, 무게비) 혼합물과 TMC를 단량체로 사용하고, 반응용매를 벤젠/헥산(80/20, 무게비)을 사용하여 동일한 방법으로 계면중합을 함으로써 RO 특성을

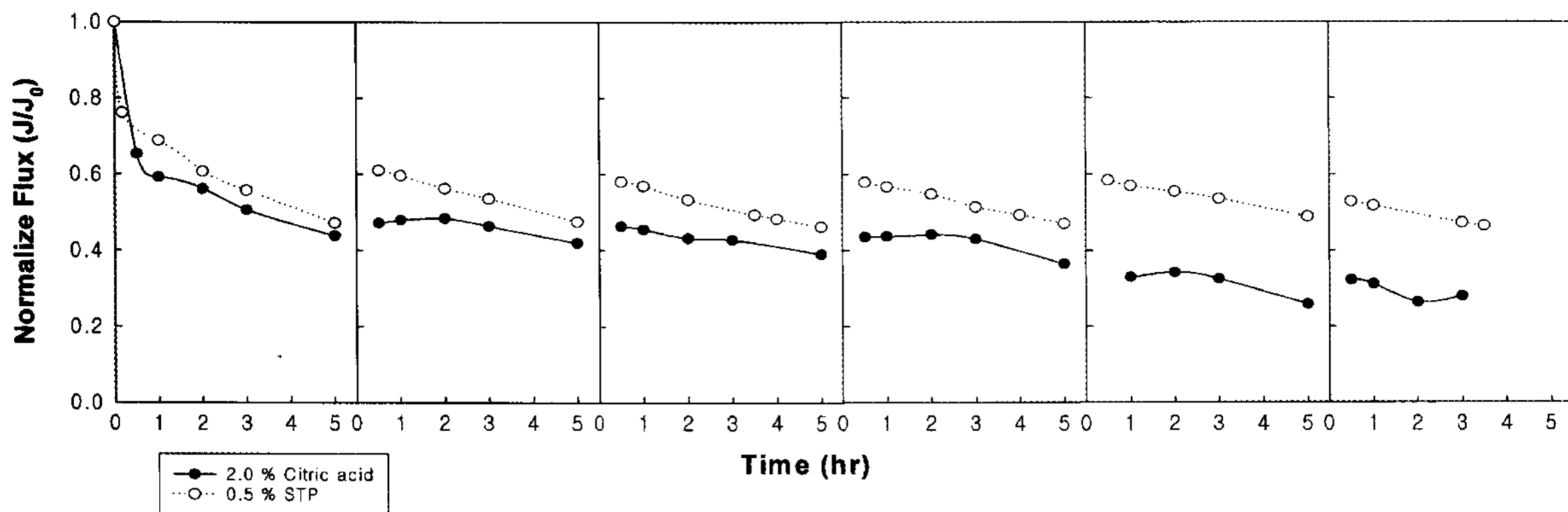


Fig. 10. Flux recovery of the RO (Osmonics) membrane as 2.0 wt% citric acid and 0.5 wt% STP were, respectively, used every 5 hrs of operation for membrane cleaning.

지닌 복합막을 제조할 수 있었다. 이때 제조된 RO 분리막은 Osmonics의 RO 분리막과 매우 유사한 분리특성과 특성을 나타내었다. 이렇게 제조된 폴리아마이드계 NF 분리막은 실제 염료 폐수를 처리하기 적합하였으며, 재활용수 제조를 위한 목적이 아니라면 NF 분리막으로 충분하다고 할 수 있겠다. 이들 분리막을 이용한 염료 폐수처리 시 시간에 따른 유량 감소는 NF 분리막이 RO 분리막보다 심하였으나, 화학세정제에 의한 세정효과는 NF 분리막이 보다 우수한 것으로 나타났다. 염료 폐수 처리 시 사용에 적합한 세정제로는 염기성 세제인 STP가 산성 세제인 시트릭 산보다 우수한 것으로 나타났으며 이는 염료 폐수 내에 유기물의 함량이 무기물보다 많기 때문이었다.

### 참 고 문 헌

1. J. S.-Ledakowicz, T. Koprowski, W. Machnowski, and H. H. Knudsen, "Membrane filtration of textile dyehouse wastewater for technological water reuse", *Desalination*, **119(1-3)**, 1 (1998).
2. G. Chen, X. Chai, Y. P. Lock, and Y. Mi, "Treatment of textile desizing wastewater by pilot scale nanofiltration membrane separation", *J. Membr. Sci.*, **127(1)**, 93 (1997).
3. A. D. Dhale and V. V. Mahajani, "Studies in treatment of disperse dye waste: membrane-wet oxidation process", *Waste Management*, **20(1)**, 85 (2000).
4. H. Wenzel, H. H. Knudsen, G. H. Kristensen, and J. Hansen, "Reclamation and reuse of process water from reactive dyeing of cotton", *Desalination*, **106(1-3)**, 195 (1996).
5. R. Jiraratananon, A. Sungpet, and P. Luangsowan "Performance evaluation of nanofiltration membranes for treatment of effluents containing reactive dye and salt", *Desalination*, **130(2)**, 177 (2000).
6. P. C. Vandevivere, R. Bianchi, and W. Verstraete, "Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies", *J. of Chem. Tech. & Biotech.*, **72(4)**, 289 (1998)
7. M. Marcucci, G. Nosenzo, G. Capannelli, I. Ciabatti, D. Corrieri, and G. Ciardelli, "Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane technologies", *Desalination*, **138(1-3)**, 75 (2001).
8. K. Treffry-Goatley, C. A. Buckley, and G. R. Groves, "Reverse osmosis treatment and reuse of textile dyehouse effluents", *Desalination*, **47(1-3)**, 313 (1983).
9. J. Jegal, N.-W. Oh, D.-S. Park, and K. H. Lee, "Characteristics of the nanofiltration composite membranes based on PVA and sodium alginate", *J. Appl. Polym. Sci.*, **79(13)**, 2471 (2001).
10. N.-W. Oh, J. Jegal, and K.-H. Lee, "Preparation and characterization of nanofiltration composite membranes using polyacrylonitrile (PAN). II. Preparation and characterization of polyamide com-



- posite membranes”, *J. Appl. Polym. Sci.*, **80(14)**, 2729 (2001).
11. J. Jegal, K.-S. Baek, and K.-H. Lee, “Nanofiltration of Dye solutions through polyamide composite membranes”, *Korean Membrane J.*, **4(1)**, 12 (2002).
  12. J. Mo, J. E. Hwang, J. Jegal, and J. Kim, “Pre-treatment of a dyeing wastewater using chemical coagulants”, *Dyes and Pigments*, **72**, 240 (2007).
  13. 김노원, “내오염성 나노여과막의 제조 및 특성”, *멤브레인*, **17**, 44 (2007).
  14. 김노원, “역삼투 분리막 표면특성의 내오염성 상관관계 연구”, *멤브레인*, **12**, 28 (2002).
  15. 김영길, 김노원, 이용택, “역삼투분리막 표면개질을 통한 내염소성 향상에 관한 연구”, *멤브레인*, **15**, 320 (2005).
  16. 고상열, 변기수, 노수홍, “염료폐수처리를 위한 분리막의 오염현상 및 세척”, *대한환경공학회지*, **19**, 7 (1997).
  17. 김종표, 김재진, 전명석, 전성덕, 민병렬, 정건용, “한외여과막을 이용한 함유 세척수의 처리”, *대한환경공학회지*, **21**, 5 (1999).