

제철 방류수 재이용을 위한 분리막 공정

권태옥, 강신경*, 문일식

순천대학교 화학공학과; 포항산업과학연구원 수질환경 연구팀*

Membrane process for recycling of treated wastewater from steel company

Tea-Ouk Kwon, Shin-Gyung Kang, Il-Shik Moon

Department of Chemical Engineering Suncheon National University

Water Protection Research Team, Research Institute of Industrial Science and Technology*

1. 서론

최근 방류수 배출 허용기준의 강화 및 폐수 총량 규제, Green Round 와 같은 국제적 환경 규약 등으로 인해 폐수 발생량을 저감시키고, 부족한 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 많은 노력이 지속되고 있다[1,2].

이와 같이 폐수 발생량을 줄이고, 수자원을 재활용하기 위한 여러 방법 중 분리막을 이용한 기술은 설비가 간소하고, 좁은 설치면적, 유입폐수의 성상 및 상태변동 등에 비해 비교적 안정적인 처리수질을 확보할 수 있으며, 특히 산업폐수 중 함유된 용존염의 효과적 제거와 같은 장점으로 인해 수처리 분야에서 폭넓게 연구되고 있다[3,4].

따라서, 본 연구에서는 전기전도도가 약 $3,000 \mu\text{s}/\text{cm}^2$ 인 제철 폐수처리장 방류수를 공업용수로 재활용함에 있어, 부식과 스케일 형성에 영향을 미칠 수 있는 Cl, SO₄ 와 같은 용존염을 효과적으로 제거하고자 평막 실험장치와 Pilot실험 장치를 이용하여 평막에서의 투과특성 및 전기전도도 배제율, 회수율 70%에서의 운전 조건을 조사하고 분리막을 통한 제철 방류수의 공업용수 재이용 가능성에 대한 기초 연구를 수행하였다.

2. 실험 장치 및 실험방법

본 연구에서 사용한 평막실험장치는 Cell의 여과면적이 $9.5 \times 10^8 \text{m}^2$ 으로 처리수와 농축수를 모두 유입수로 순환시키는 회분식 방법을 사용하였으

며, Pilot 실험장치는 2.5 inch 나권형 RO 모듈을 장착하였고 농축수의 일부를 유입수로 순환시키는 방법을 사용하여 실험을 수행하였다. 전처리 장치로는 BMF 모듈 CP20-1010(Pore size 0.001 μ m, Toray, Japan)을 장착한 BMF(Backwashable microfilter) 장치를 사용하여 SDI(Silt Density Index) 6이상인 원수의 SDI수치를 5이하로 처리하여 실험을 수행하였다.

평막실험장치에 사용된 분리막은 Osmonics(USA)사의 Nano-filtration막 모델 HL(Poly amide, Flat Type), Reverse Osmosis막 모델 AG(Poly amide, Flat type)를 이용하였으며, Pilot 실험을 위해 사용된 막은 2.5inch 나권형 AG2540 RO 모듈(Area: 2.5m², Poly amid)을 이용하였다. 실험전 막은 초순수를 사용하여 막 표면의 이물질을 제거한 후 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

1) 실험결과

실험에 앞서 초순수를 이용하여 NF막과 RO막의 투과 Flux를 측정한 결과를 Fig. 1에 나타내었으며, Fig. 2에 평막실험장치에서 운전시간의 증가에 따른 RO막 모델 AG의 투과Flux 변화 및 전기전도도 배제율의 변화를 나타내었다.

또한, Fig. 3에 평막실험 후 RO막 모델 AG의 막표면 SEM 이미지를 보였다.

Table 1. Characteristics of raw water & treated water

Item	Raw water	Treated water	Unit	Rejection, %
Cl ⁻	689	5.11	ppm	99.26
SO ₄ ²⁻	664	0.68	ppm	99.89
NO ₃ ⁻	30	0.26	ppm	99.13
Ca ²⁺	271	0.59	ppm	99.78
Na ⁺	423	3.83	ppm	99.09
K ⁺	67	1.14	ppm	98.29
NH ₄ ⁺	21	0.365	ppm	98.26

Table 1에 Pilot 실험에서 유입수와 2.5inch AG2540 나권형 RO 모듈에 의해 처리된 처리수의 이온종류별 농도와 이온 제거율을 보였다. Fig. 4에는 운전압력에 따른 전기전도도 변화 및 회수율의 변화를 나타내었으며, 운전압력 15kg/cm²에서 농축수의 일부를 유입수로 순환하여 전체 회수율을 70%로 조절하였을 때 유입수의 전기전도도는 초기 3,000 μ s/cm에서 서서히 증가하여 약 7,880 μ s/cm까지 상승한 후 안정화되었으며, 이때의 처리수 전기전도도는 약 68 μ s/cm이었다.

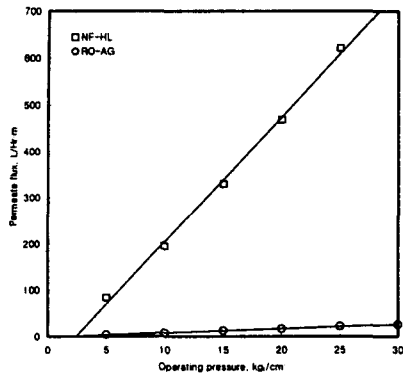


Fig. 1. Deionized water permeate flux verse operating pressure

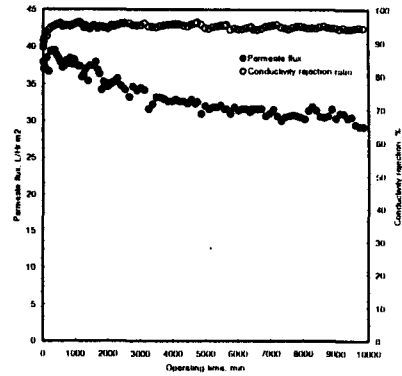


Fig. 2. Permeate flux & conductivity rejection variation as a function of operating time

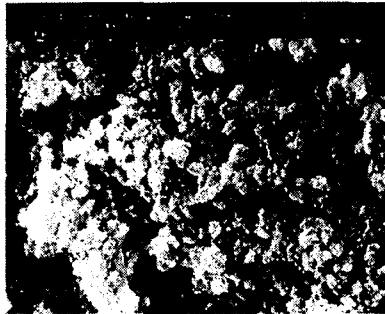


Fig. 3. SEM image of RO membrane surface after using

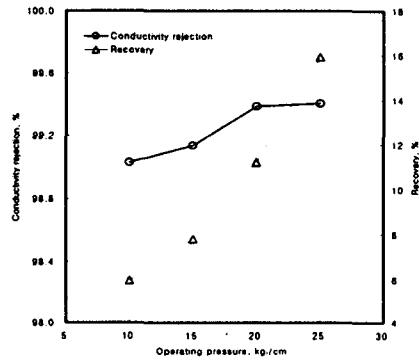


Fig. 4. Recovery and permeate conductivity rejection verse operating time

2) 고찰

평막 및 Pilot 실험에서의 전기전도도 및 염배제율은 원수와 투과수의 전기전도도 및 염농도비를 이용한 다음과 같은 방법에 의해 구하였다.

$$\text{배제율 (Rejection, \%)} = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100$$

(C_f 와 C_p 는 각각 공급수와 투과수의 전기전도도 및 염농도)

평막 실험결과 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 운전압력하에서 RO막 모델 AG가 NF막 모델 HL의 투과 Flux $79\text{ L}/\text{Hr} \cdot \text{m}^2$ 에 비해 $36\text{ L}/\text{Hr} \cdot \text{m}^2$ 로 50% 정도 낮은 투과 Flux를 보였으나, 전기전도도 배제율은 NF막 모델 HL의 38%에 비해 RO막 모델 AG가 99%이상의 높은 제거율을 보여 제철 방류수의 용존

이온 제거에는 RO막 AG가 효과적임을 알 수 있었다. 또한, 평막실험 후 막 표면을 분석한 Fig. 3의 SEM 이미지를 통해 170시간동안의 운전에서는 유기물로 추정되는 구형입자에 의한 fouling 현상이 심하게 나타나 있는 것을 알 수 있었다. Pilot실험결과 모듈 1개당 적정 회수율인 10%의 회수율과 전기전도도 제거율을 고려한 최적 운전압력은 15~20kgf/cm²이었으며, Table 1에 나타난 바와 같이 제철 방류수의 용존 이온 중 가장 높은 비중을 차지하는 Cl 이온은 물론 SO₄²⁻ 이온까지 모두 98%이상의 높은 제거율을 보임을 알 수 있었다. 또한, 회수율 70%로 운전시 처리수의 전기전도도 배제율은 약 99%로 유지되었다.

감 사

본 연구는 순천대학교 환경친화형 물질공정 기술혁신센터와 2003년 지역 전략산업 석·박사 연구인력 양성사업의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

4. 참고문헌

1. S. Y. Koh, K. S. Byun, S. H. Noh, "Membrane fouling and cleaning for dye wastewater treatment", J. of KSEE, 19, 7, 929 (1997).
2. Y. C. Lee, "Development of wastewater treatment equipment for surfactant plant by reverse osmosis membrane process", J. of KSEE, 21, 4, 775 (1999).
3. A. G. Fane, "Membrane for water production and wastewater reuse", Desalination, 106, 1 (1996).
4. S. H. Oh, H. Y. Oh, I. H. Jang, S. L. Song, "A study on the application of spiral wound ultrafiltration membrane for reuse of primarily treated sewage", J. of KSEE, 20, 5, 665 (1998).