

분리막 공정을 이용한 제철 폐수처리장 방류수 재이용

권태옥, 전정철, 문일식*
 순천대학교 공과대학 화학공학과
 (ismoon@sunchon.ac.kr*)

Reusing of treated wastewater from steel company by membrane process

Tea-Ouk Kwon, Jung-Chul Jun, Il-Shik Moon*
 Department of Chemical Engineering, Sunchon National University
 (ismoon@sunchon.ac.kr*)

1. 서론

2020년까지 세계인구 증가에 따른 전세계 물 사용량이 40%가량 증가하게 될 것으로 예상되고 있어 수자원의 재활용에 대한 필요성이 날로 증가하고 있는 추세이며, 사회 여러 분야에서 부족한 수자원을 효율적으로 재활용하기 위한 많은 노력과 연구가 현재 진행되고 있다. 부족한 수자원을 재활용 하기 위한 여러 연구방법들 중 분리막공정을 이용한 재활용 기술은 초기 투자비가 많이 들고 장기 운전시 막오염으로 인한 투과수량의 감소와 분리막 교체시 비용이 많이 든다는 단점에도 불구하고, 간소한 설비로 인해 설치면적이 좁고, 유입폐수의 성상 및 상태변동 등에 비해 비교적 안정적인 처리수질을 확보할 수 있으며, 특히 산업폐수 중 다량 함유된 용존염을 효과적으로 제거할 수 있는 장점이 있다. 이뿐만 아니라 운전시스템의 자동화로 인한 무인 시스템의 구축이 쉽고 공정에 투여되는 약품이 기타 화학적 처리방법에 비해 적으며, 공정 운영시 악취의 발생이 없어 청정기술로 큰 관심을 끌고 있다[1].

따라서, 이와 같은 분리막기술을 사용하여 비교적 수질이 양호한 방류수를 처리하여 공업용수로 재이용 하고자 국내 K제철소의 방류수를 대상으로 분리막에 의한 재활용 가능성을 검토하였다. 현재 국내 K제철소 배수종말처리장에서 처리되고 있는 방류수의 양은 대략 60,000 ton/day정도이며, 응집침전공정, 모래여과공정, 활성탄 흡착공정을 통해 최종 방류되고 있다. 방류수의 수질은 비교적 양호하지만 Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ 와 같은 무기이온 성분들의 농도가 높고, 높은 전기전도도로 인해 냉각수등과 같은 공업용수로 재이용하기에는 적합하지가 않아 일부 살수용으로 재활용 될 뿐 대부분은 방류되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 분리막을 이용하여 많은 양의 제철 방류수를 재활용할 수 있는 방법에 관하여 검토하였다.

2. 실험 및 방법

2.1. 실험재료 및 실험장치

1) 실험재료

본 연구에서는 Osmonics(USA)사의 NF(Nano-filtration)막 모델 HL, DK와 RO(Reverse

osmosis)막 모델 AG를 대상으로 하여 평막실험을 수행하였으며, 2.5inch의 나선형(Spiral wound) AG2540 RO모듈을 사용하여 Pilot실험을 수행하였다. 실험전 막은 초순수를 사용하여 표면의 불순물을 제거한 후 실험에 사용하였다. Table 1에 막의 종류 및 특성을 나타내었다.

2) 평막실험장치

Fig. 1에 평막실험장치의 개요를 나타내었다. 평막 Cell의 여과 면적은 $9.5 \times 10^{-3} \text{m}^2$ 이며, 농축수와 투과수의 압력측정을 위한 압력계, 유량 측정을 위한 Flow meter등으로 구성되어 있다.

3) Pilot 실험장치

BMF모듈 CP20-1010(pore size $0.001 \mu\text{m}$, Toray, Japan)모듈을 장착한 BMF(Backwashable microfilter)장치와 2.5inch의 나선형 RO 모듈로 구성된 Pilot장치는 유입수와 처리수의 전기전도도, 압력을 On-line으로 측정 가능토록 제작되었으며, 그 외 구성은 Fig. 1에 나타낸 바와 같다.

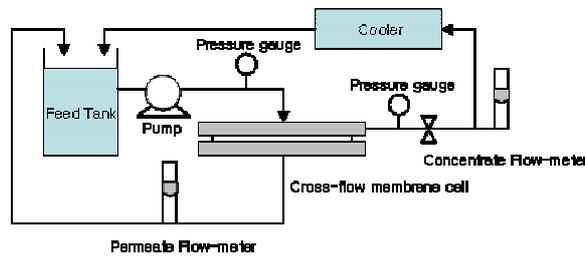


Fig. 1. Schematic diagram of membrane cell tester

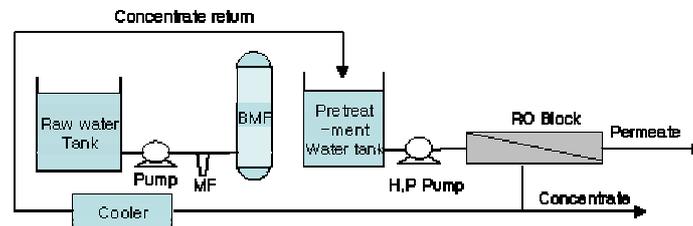


Fig. 2. Schematic diagram of pilot membrane system.

2.2. 실험방법

1) 평막실험

평막실험은 농축수와 처리수를 공급수 Tank로 다시 순환시키는 회분식 방법으로 수행하였으며, 농축수의 유량을 조절하여 전체 시스템의 운전압력을 일정하게 유지하였다. 운전압력에 따른 투과 Flux, 전기전도도 제거율을 측정하였으며, 장시간 운전을 통한 평막에서의 오염을 조사하였다.

2) Pilot 실험

2.5 inch의 나선형 AD2540 RO모듈을 사용하여 운전압에 따른 모듈 1개당의 회수율, 전기전도도 배제율과 같은 운전인자를 조사하였다.

2.3. 수질분석

원수와 투과수의 전기전도도와 TDS(Total dissolved solids)는 Conductivity meter Model 47C (Istek, Korea)를 사용하여 측정 하였으며, 용존이온성분의 분석은 Shim-pack C3 Cation Column,

A3 Anion Column (4.6×150mm, Shimadzu, Japan)과 CDD 10A Conductivity detector가 장착된 CLASS VP LC-10ADvp Ion Chromatography system (Shimadzu, Japan)을 사용하여 분석하였다. 그 외 수질분석항목은 수질공정시험법에 의해 수행되었다.

Table 1. Specifications of NF & RO membrane

| | Model | Area, m ² | Typical operating Pressure, kg _f /cm ² | Material | Type |
|----------------------|---------|----------------------|--|-----------|--------------|
| NF (Osmonics Co.) | HL | 9.5×10 ⁻³ | 5-21 | Polyamide | Flat type |
| | DK | 9.5×10 ⁻³ | 5-28 | Polyamide | Flat type |
| RO (Osmonics Co.) | AG | 9.5×10 ⁻³ | 14-40 | Polyamide | Flat type |
| | AG 2540 | 2.5 | 14-40 | Polyamide | Spiral wound |

Table 2. Characteristics of raw water

| Item | Average value | Unit | Item | Average value | Unit |
|-----------------|---------------|-------|-------------------------------|---------------|------|
| pH | 6.65 | - | SO ₄ ²⁻ | 664 | ppm |
| COD | 2.32 | ppm | NO ₃ ⁻ | 30 | ppm |
| TDS | 1,800-2,200 | ppm | Ca ²⁺ | 271 | ppm |
| SS | 0.5 | ppm | Na ⁺ | 423 | ppm |
| Conductivity | 2,700-3,000 | μs/cm | K ⁺ | 67 | ppm |
| Cl ⁻ | 689 | ppm | NH ₄ ⁺ | 21 | ppm |

3. 결과 및 고찰

Table 2에 나타난 바와 같이 TDS와 Conductivity 및 Cl⁻, SO₄²⁻ 같은 일부 이온성분을 제외한 일반적인 수질은 양호하였다. 분리막 공정 유입수의 수질은 BMF공정을 통하여 SDI(Silt density index) 3이하로 충분히 충족시킬 수 있었으며, 평막 및 Pilot 실험에서의 전기전도도 및 염배제율은 원수와 투과수의 전기전도도 및 염농도비를 이용한 다음과 같은 방법에 의해 구하였다[2,3].

$$\text{배제율 (Rejection, \%)} = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100 \quad (C_f \text{와 } C_p \text{는 각각 공급수와 투과수의 전기전도도 및 염농도})$$

평막 실험결과 Fig. 3과 4에 나타난 바와 같이 20kg_f/cm²의 운전압력하에서 RO막 모델 AG가 NF막 모델 HL, DK의 투과 Flux 79, 85 L/Hr·m²에 비해 36 L/Hr·m²로 50% 정도 낮은 투과 Flux를 보였으나, 전기전도도 배제율은 NF막 모델 HL, DK의 38, 34%에 비해 RO막 모델 AG가 99%이상의 높은 제거율을 보여 제철 방류수의 용존이온의 제거에는 RO막 AG가 효과적임을 알 수 있었다. 또한, Fig. 5, 6의 Pilot실험결과에서 모듈 1개당 적정 회수율인 10%의 회수율과 전기전도도 제거율을 고려한 최적 운전압력은 15~20kg_f/cm²이었으며, 방류수의 용존이온 중 가장 높은 농도를 차지하는 Cl⁻ 이온은 물론 SO₄²⁻ 이온까지 모두 98%이상의 높은 제거율을 보임을 알 수 있었다. 분리막 공정을 이용하여 높은 전기전도도를 가지는 제철 방류수를 재활용하는 데는 NF막 보다는 RO막이 더욱 적합한 것으로 나타났으며, 차후 현재 진행중인 장시간 운전을 통하여 막 오염 및 오염주기를 조사할 예정이다.

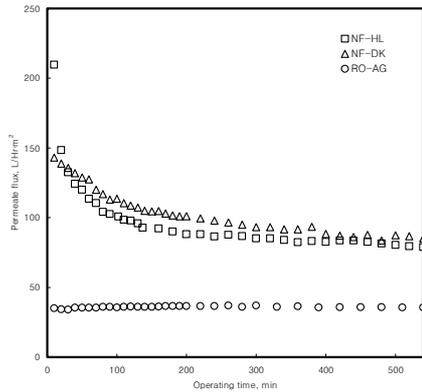


Fig. 3. Permeate flux variation as a function of operating time in NF & RO membrane.

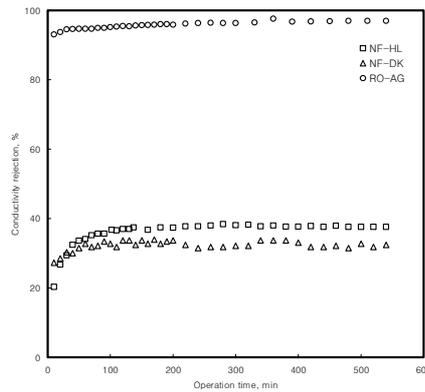


Fig. 4. Conductivity rejection variation as a function of operating time in NF & RO membrane.

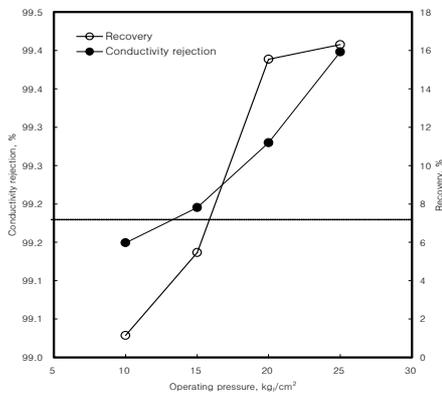


Fig. 5. Recovery and Permeate conductivity rejection versus operating pressure.

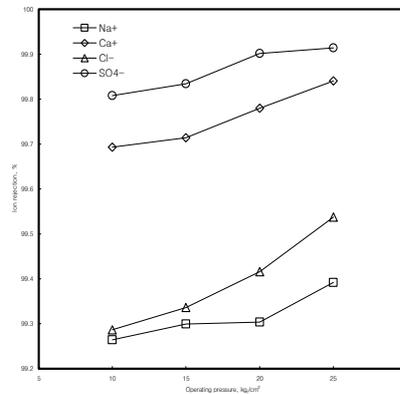


Fig. 6. Ion rejection versus operating pressure.

감사

본 연구는 순천대학교 환경친화형 물질공정 기술혁신센터와 2003년 지역전략산업 석·박사 연구 인력 양성사업의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

4. 참고문헌

[1]. Fane. A. G., "Membrane for water production and wastewater reuse", *Desalination*, 106, 1-9(1996).
 [2]. Jian-Jun Qin, Maung-Nyunt Wai, Maung-Htun Oo, Fook-Sin Wong, "A feasibility study on the treatment and recycling of a wastewater from metal plating", *Journal of membrane science*, 108, 213-221(2002).
 [3]. A. Bodalo-Santoyo, J. L. Gomez-Carrasco, E. Gomez-Gomez, F. Maximo-Martin, A. M. Hidalgo-Montesinos, "Application of reverse osmosis to reduce pollutants present in industrial wastewater", *Desalination*, 155, 101-108(2003).