

해수담수화용 역삼투막의 고회수율 공정 투과 특성

김 노원, 김 순식*, 홍 성표*, 형 훈*, 이용택*
동의대 환경공학과, *(주)새한 기술연구소, **경희대 환경·응용화학부

The Characteristics of Sea Water RO Membrane for High Recovery System

Nowon Kim, Soon Sik Kim*, Seung Pyo Hong*, Hun Hyoung*, Yong Taek Lee**
Department of Environmental Engineering, Dongeui University,
*R&D Center, Saehan Industries Inc.
**College of Environment & Applied Chemistry, KyungHee University

1. 서론

분리막을 이용하는 해수담수화 공정은 상 전이 과정이 없이 담수화가 가능하므로 에너지 소비량이 적어 유용한 방법으로 채택이 되고 있다. 역삼투막을 이용한 해수담수화 공정에서는 구동 압력을 55 kg/cm^2 이상에서 운전하는 것이 일반적인 표준 운전 조건으로 적용되고 있다. 해수의 삼투압보다 큰 구동 압력이 요구되어지므로 전력의 소모를 줄여 에너지를 절감할 수 있는 기술이 요구되어지고 있다. 단위 전력당 생산 수량을 높이는 방법으로는 기존의 운전 조건보다 높은 압력으로 구동하여 운전 회수율을 높이는 막 분리 시스템의 개선과 기존의 운전 조건 하에서 단위 면적 당 투과수량이 높은 역삼투 분리막을 담수화에 적용하는 역삼투막 재료의 성능 향상이 있을 수 있다. 높은 회수율의 조수 기술은 에너지 절감 효과뿐만 아니라 역삼투 분리막을 이용한 담수화 기술의 적용상에 문제점으로 남아있던 전처리 설비 비용 및 운전 비용을 절감하는 효과도 커서 초기 투자 비용을 절감할 수 있는 특징을 갖는다. 이러한 운전 조건 상의 장점으로 인해 이미 오래전부터 시스템 개선에 관한 연구가 진행되어져 왔으나 고압에서 내구성을 갖는 역삼투 분리막 제조 기술의 한계로 적용이 미루어져 오고 있다. 또한 단위 면적 당 투과수량이 높은 역삼투 분리막의 적용은 10 kg/cm^2 운전 압력에서 기수(brackish water)의 정수 공정에서 일부 적용되고 있으나 해수의 담수화에는 고압 내구성에 대한 문제점이 발생하여 적용되지는 않고 있다. 이에 본 연구는 방향족 폴리아미드계 복합 박막의 구조를 갖는 역삼투 분리막 중 해수의 담수화에 적합한 고압 내구성을 갖는 역삼투막을 이용하여 해수담수화에서 일어날 수 있는 여러 가지 조건에서의 투과 성능에 관한 특성을 조사하고 에너지 절감형에 맞는 역삼투 분리막의 구조에 대한 기초 연구를 수행하였다.

2. 실험 및 실험 장치

역삼투막의 구동 조건별 실험에 사용된 해수담수화용 분리막 평가 장치는 Osmonics type 평막 평가 장치를 사용하였다. 인공해수 저장조, 정밀여과막, 고압

펌프, 역삼투 분리막 평가 Cell로 구성되었으며 온도 조절을 위한 냉각기가 별도로 저장조와 직접순환식으로 연결되도록 구성하였다. 역삼투 분리막은 표 1의 상용막을 분해하여 평막으로 사용하였다. 인공 해수는 1 MΩ·cm의 순수에 NaCl을 첨가한 수용액을 농도 조절하여 사용하였다. 역삼투막의 물성은 온도(10 - 40 ℃), 압력(45 - 70 kg/cm²) 및 농도(35,000 - 60,000 ppm)를 바꾸어가며 투과 성능을 확인하였다. 실제 해수의 투과 성능 조사에 사용된 pilot 해수담수화용 분리막 평가 장치는 6개의 해수 담수화용 역삼투 분리막 모듈을 직렬로 연결하여 전단의 역삼투막 투과 농축수가 후단의 역삼투막 공급수로 사용할 수 있도록 설계하였으며 모듈 각각의 permeate water에 대한 sampling port를 두어 유량과 염제거율을 각 단수별로 측정할 수 있게 구성하였다. 해수담수화용 분리막은 (주) 새한의 RE 2540-SN 모듈을 사용하였으며 표 1에 역삼투막의 사양을 정리하였다. 구동 압력을 55 - 85 kg/cm² 으로 변화시키며 압력 변화에 따른 역삼투 분리막의 물성을 측정하였으며 온도나 농도에 대한 인위적인 조절은 고려하지 않았다.

표 1. 해수 담수화용 역삼투 분리막 사양

Model	RE 2540-SN (Saehan Industries Inc.)
Type	Thin Film Composite Membrane
Material	Polyamide
Charge	Negative
Configuration	Spiral Wound, FRP - Wrapping
Effective Area	2.5 m ²
Performance (Test Condition)	Flux 1.9 m ³ /day, Rejection 99.2% (NaCl concentration 32,000 ppm, 55 kg/cm ² , 8% recovery, 25℃, pH 6.5-7.0)

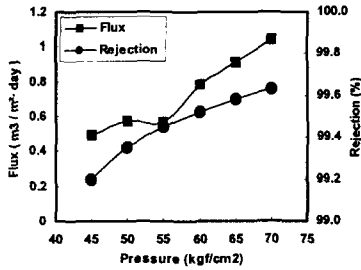
3. 결과 및 고찰

3.1 역삼투막 평막 평가의 구동 조건별 투과 성능

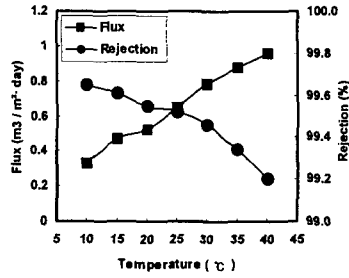
NaCl로 조제한 인공해수의 평막 평가에서 압력, 온도, 공급수 농도에 따른 처리수의 수질 및 유량을 그림 1에 나타내었다. 역삼투 분리막의 고압 처리 수질은 역삼투 분리막의 투과 특성 뿐만 아니라 모듈을 만드는 가공에서도 차이를 일으킬 수 있다. 평막 평가 운전 결과는 역삼투분리막 모듈 가공 과정에서의 내구성 문제를 배제하고 역삼투막 자체의 운전 조건에 따른 내구성을 확인할 수 있다.

본 실험에 사용된 역삼투막은 NaCl 32,000 ppm, 25℃에서의 압력에 대한 투과 물성이 70 kg/cm²까지 유지함을 보였다. 특히 압력이 올라갈수록 염제거율과 투과 유량이 증가하는 것으로 나타났다. NaCl 32,000 ppm, 55kg/cm²의 압력에서는 온도의 증가에 따라 투과 유량은 증가하나 염제거율이 감소하여 40℃ 이상에서는 99.2% 미만이 나타날 것으로 예측된다. 55kg/cm², 25℃에서의 공급수 농도에 따른 투과

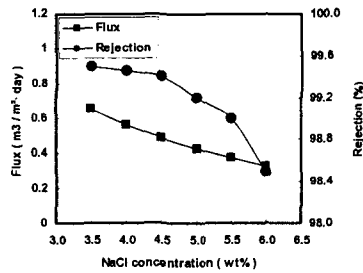
물성은 투과 유량은 서서히 감소함을 보이나 염제거율이 50,000 ppm 이상에서 급격히 감소함을 볼 수 있었다. 운전 회수율을 높이는 막 분리 시스템을 적용한다해도 농축수의 재사용 시 역삼투막에 공급되는 공급수의 농도가 60,000 ppm을 초과하여서는 정상적인 담수화가 이루어지기 어려움을 보여준다.



a) 압력변화



(b) 온도 변화



(c) 공급수 농도 변화

그림 1. 평막 평가 운전 조건별 생산 수질 비교

3.2. 직렬 연결 모듈의 단수별 투과 성능

역삼투막의 실 해수 평가는 평막 평가와 동일한 공정으로 제조된 막을 사용하였다. 실험수의 TDS는 48,800 μs 로 이온의 종류에 의한 영향은 무시하고 생산수의 전도도만을 염제거율 결과로 적용하였다. 그림 2에서 유량은 압력의 증가에 의해 비슷한 경향을 보이며 증가하나 2단, 6단 모듈의 경우 55 - 60 kg/cm^2 의 압력에서 이미 손상을 입은 것을 확인할 수 있었고 4단 모듈의 경우 80 kg/cm^2 의 압력에서 손상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 유량의 급등없이 일어난 손상은 역삼투막의 pin hole이 성장한 것 또는 접착부위의 미세한 leak에 의한 염제거율 저하로 추측된다. 1, 3, 5단의 역삼투막은 정상적인 성능을 발휘하는 것으로 보이며 전체 회수율 50%, 85 kg/cm^2 에서의 TDS는 각각 201, 297, 847 μs 로 측정되었다. 1, 3단의 염제거율 상승은 고압에 의한 염제거율 향상으로 이미 평막 평가에서 확인한 결과와 같은 경향을 보인다. 5단의 염제거율 악화는 5차레에 걸친 농축수의 영향으로

