

UF와 디스크필터를 전처리시설로 이용한 역삼투압해수담수설비의 평가[§]

양근모* · 임동훈* · 김준하** · 정형호****†

* 한국해양대학교 대학원 , ** 광주과학기술원 환경공학과, *** 한국해양대학교 기계·에너지시스템공학부

Evaluation of Seawater Reverse Osmosis Desalination System with UF and Disk Filter as Pre-Treatment

Keun-Mo Yang*, Dong-Hoon Lim*, Joon Ha Kim** and Hyung-Ho Jung****†

* Graduate school, Korea Maritime Univ.,

** Dept. of Environmental Science and engineering, Gwangju Institute of Science and Technology

*** Div. of Mechanical and Energy Systems Engineering, Korea Maritime Univ.

(Received May 6, 2013 ; Revised June 5, 2013 ; Accepted June 5, 2013)

Key Words: Sea Water Reverse Osmosis Desalination(역삼투압해수담수), Pre-treatment(전처리), Chemical Enhanced Backwashing(화학역세) Trans-Membrane Pressure(막차압), Ultra Filtration(한외여과)

초록: 본 연구에서는 한외여과막과 역삼투압막으로 이루어진 해수담수화장치를 구성하였다. 해수를 취수하여 디스크필터와 한외여과막을 이용한 전처리설비를 통과시켜 생산한 전처리수의 SDI₁₅와 탁도를 측정하여 역삼투압해수담수설비에 적합함을 밝혔다. 역삼투압해수담수설비의 부산물인 브라인을 전처리수와 혼합하여 역삼투압해수담수설비의 입구농도를 변화시켰다. 농도 변화실험에서, 해수농도가 역삼투압해수담수설비의 성능에 끼치는 영향을 실험으로 구하였다. 염배제율, 회수율, 생산수의 수질은 입구농도에 따라 많은 변화가 있었으며, 에너지소비량도 입구농도에 거의 선형적으로 상승하는 것을 실험으로 구하였다.

Abstract: In the present study, sea water reverse osmosis desalination system was composed with an ultra-filtration membrane as a pre-treatment. Sea water was induced into the pre-treatment composed with an auto-screen filter and an ultra-filtration membrane. It was proved that the permeate of the pre-treatment was adequate for reverse osmosis desalination system by measuring the SDI₁₅ and the turbidity. Feed salinities was changed by mixing the brine and the permeate. Inlet salinities effected the performances of sea water reverse osmosis desalination system in a large amount such as the salt rejection, the recovery ratio, the pressure, the product salinity. Energy consumptions per the ton of the product were almost linearly increased with the inlet salinities.

- 기호설명 -

- CEB : 화학역세
- CIP : 유지세정
- NTU : 탁도
- SDI : 실트밀도지수
- TMP : 막차압(bar)
- UF : 한외여과

1. 서론

우리나라는 금수강산이라 불릴 정도로 좋은 물이 풍부한 것으로 알고 있었으나, 현재는 물부족 국가

§ 이 논문은 대한기계학회 플랜트부문 2013년도 춘계학술강연회(2013. 6. 4.-5., 한국수자원공사 교육원) 발표논문임

† Corresponding Author, junggh@hhu.ac.kr

로 분류되어 있다.⁽¹⁾ 우리나라뿐만 아니라 많은 나라가 물부족 현상을 겪고 있는데, 가장 큰 이유는 지구온난화현상이라 알려져 있다.⁽²⁾ 인구의 증가와 물을 아끼지 않는 과소비, 일인당 물 소비량이 증가하는 것도 그 다음 이유가 된다. 또한 국가별 그리고 한 국가 내에서도 지역적으로 가용할 수 있는 물의 양이 불균일하게 분포하는 것도 물부족 이유가 된다.

물부족 문제를 해결하기 위해서는 가용할 수 있는 수자원을 확보하는 것이 우선적이다. 댐을 건설해서 우기때 물을 저장하거나, 관정을 뚫어 지하수 또는 강변여과수를 확보하는 기술들이 있다. 하수 또는 우수를 재활용하거나 건물 내에서 사용한 상수도의 물을 재이용하는 중수도 개념을 적용하는 것은 물 소비량을 줄이는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 기본적으로 가용할 수 있는 수자원이 있는 경우에 공학적으로 적용할 수 있는 기술들이다.

물부족을 겪고 있는 많은 지역에서는 사용할 수 있는 수자원 자체가 부족하기 때문이다. 다행스럽게도 인류는 바다를 접하는 지역에 많이 거주하고 있기 때문에, 수자원이 부족한 나라에서는 해수담수화 기술로 물부족문제를 해결할 수 있었다. 해수담수화기술에는 열을 이용한 다중효용해수담수화방법과 다단플래쉬해수담수화방법이 있다. 다단플래쉬해수담수화방법은 1950년대 중동 산유국에서 처음 적용되었다. 다중효용해수담수화방법은 다단플래쉬해수담수화방법에 비해 스케일이 크게 문제가 되어 적용이 늦어졌으나, 기술개발로 최근에는 많이 적용되고 있다. 다중효용해수담수화방법은 첫효용의 온도가 다단플래쉬해수담수화방법 낮기 때문에 에너지 소비량이 다단플래쉬해수담수화방법보다 적다.

1970년대 이후 막분리 기술을 이용한 역삼투압해수담수화방법(SWRO, sea water reverse osmosis)이 적용되기 시작하였다. 이 방법은 상변화를 이용한(잠열을 이용한) 열방식 해수담수화방법(다중효용해수담수화방법과 다단플래쉬해수담수화방법)보다 에너지소비량이 적다. 열방식 해수담수화방법에 비하여 역삼투압해수담수화방법은 담수 생산 가격이 싸고 설치 및 운전이 용이하기 때문에 역삼투압해수담수화방법 현재 전 세계 시장의 60% 이상을 차지하고 있다.^(3,4) 그리고 역삼투압해수담수플랜트 대형화하고 되고 있으며 시장규모는 지속적으로 성장하고 있다.

역삼투압해수담수플랜트는 취수, 전처리, 역삼투압시스템, 후처리 등의 4가지 공정으로 구성된다. 취수부는 해양생물과 부유물을 막기 위한 스크린과, 해수를 취수하기 위한 취수펌프로 구성되어 있다. 전처리 공정은 역삼투막의 수명과 성능을 유지하기 위해 모래, 미생물, 고형부유물질을 제거하는 공정으로 전통적인 물리화학적방법과 분리막을 이용하는 방법이 있다. 물리화학적인 전처리방법은 많은 공간을 차지하고 역삼투압설비에 부적합한 수질을 생산하기 때문에 최근에는 분리막을 이용한 전처리 방법이 적용되고 있다. 역삼투압시스템은 고압펌프, 에너지회수장치, 역삼투막으로 구성된다. 고압펌프는 해수를 삼투압이상의 압력으로 가압하여 막모듈에 밀어주는 역할을 하며 이때의 역삼투막의 운전압력은 해수의 염분농도에 따라 다르지만 일반적으로 40-70 bar 사이로 설계된다.⁽⁵⁾

역삼투압시스템은 삼투압 이상의 압력을 가하여 해수에서 담수를 뽑아내는데, 해수의 온도, 압력 등에 의해 큰 영향을 받는다. 운전변수가 역삼투압플랜트의 성능에 미치는 영향에 관한 연구는 Wilf 등^(6,7)에 의해 활발히 이루어지고 있으며 역삼투막의 성능을 이론적으로 계산하고 수치해석을 통해 예측하는 연구도 많이 이루어졌다.⁽⁸⁻¹⁰⁾ Nisan⁽¹¹⁾은 ROSA 소프트웨어를 통해 역삼투막의 입구온도를 10~45℃까지 변화시키면서 회수율, 에너지소비량, 입구압력, 담수비용 등을 입구농도(30,000~50,000 ppm)따라 계산하였다. 그 결과 입구압력, 에너지소비량, 담수비용은 입구온도가 상승할수록 감소하였고 회수율은 같은 온도에서 입구농도에 따라 다른 경향을 보일 수 있다고 하였다.

Hawlder⁽¹²⁾은 입구 농도, 온도, 압력과 유량이 역삼투막의 성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 5 m³/day 역삼투압해수담수화플랜트를 실험하였다. 실험결과 막의 회수율은 입구 온도와 압력이 높아질수록 상승하였지만 농도와 유량이 높아질수록 하강하였으며 염통과율은 온도와 농도가 높아질수록 상승했지만 압력과 유량이 높아질수록 감소한다고 하였다.

Abou Rayan⁽¹³⁾은 역삼투압해수담수플랜트의 운전조건을 최적화시키고 그 성능을 평가하기 위해 2000 m³/day의 플랜트를 6년 동안 실험하였다. 역삼투막의 생산성은 입구온도가 상승될수록 상승했으며, 입구농도가 상승될수록 감소한다고 하였다. Djebedjian⁽¹⁴⁾은 5000 m³/day 역삼투압해수담수플랜트의 성능을 평

가하였다. 실험결과 입구온도와 압력이 상승할수록 플랜트의 생산성은 증가하였고 생산수의 농도는 하강한다는 결과를 얻었으며, 입구 농도가 상승할수록 생산성은 감소하고 생산수의 농도는 상승한다고 하였다.

이번 연구에서 사용한 해수담수화설비는 다른 전처리 방법과는 달리 40 μ m의 디스크 필터와 중공사형 UF막을 전처리 설비로 구성하였다. 전처리 막을 오래 사용하기 위해 UF멤브레인에 부착되는 오염물질을 제거하기 위해 화학역세(CEB: chemical enhanced back wash)와 화학세정(CIP: clean in place)가 가능하도록 설비를 구축하였다. 그리고 전처리설비에서 생산된 처리수는 역삼투압시스템에서 담수가 만들어 지도록 하였다. 본 논문에서는 새롭게 구성한 전처리 설비가 해수담수시스템에 적합한 수질을 생산할 수 있는지를 확인하는 것이다. 그리고 역삼투압해수담수화플랜트 성능에 영향을 주는 많은 인자 중에서 해수의 농도를 변화에 의한 해수담수시스템의 성능을 비교하기 위한 것이다. 해수의 농도는 33,500 ppm에서 최대 47,000 ppm까지 변화시켰으며 농도변화의 따른 역삼투막의 운전압력과 염배제율, 생산수의 유량과 농도를 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

전체실험설비는 취수부, 전처리 시스템, 역삼투압시스템으로 구성되어 있으며 그 구성도를 Fig. 1에 나타냈다. 취수부는 수중펌프와 펌프가 설치되어 있는 진공탱크로 구성되고 전처리 시스템은 취수된 원수를 저장하는 5 m³의 취수탱크, 화학세정 설비, 40 μ m 디스크필터, 0.05 μ m UF모듈 3개와 생산수탱크로 구성된다. 디스크필터는 ARKAL Filtration systems Ltd. 사의 2" Spin Klin 모델이다. 디스크필터는 40 μ m 디스크가 들어있는 용기 2개와 역세에 사용되는 물을 저장해놓는 역세용 용기로 구성 되어있으며, 설정된 차압과 역세주기에 의해 자동으로 역세하면서 운전된다.

핵심적인 전처리시스템 부품은 중공사막형 UF 멤브레인 막이고 실험에 사용된 UF막은 (주) 웅진 케미컬의 CSM 막이며 전처리용량에 맞게 총 3개의 UF 모듈 병렬로 설치하였다. NTU (nephelometry turbidity unit, 탁도)와 SDI (silt density index)를 측정하여 역삼투압시스템에 적합한 수질인지 판단하였다.

Table 1 Chemicals and concentrations for CEB and CIP of UF

Chemical	CEB (ppm)	CIP (ppm)
NaOCl	500	2,000
NaOH	500	10,000
H ₂ SO ₄	500	10,000

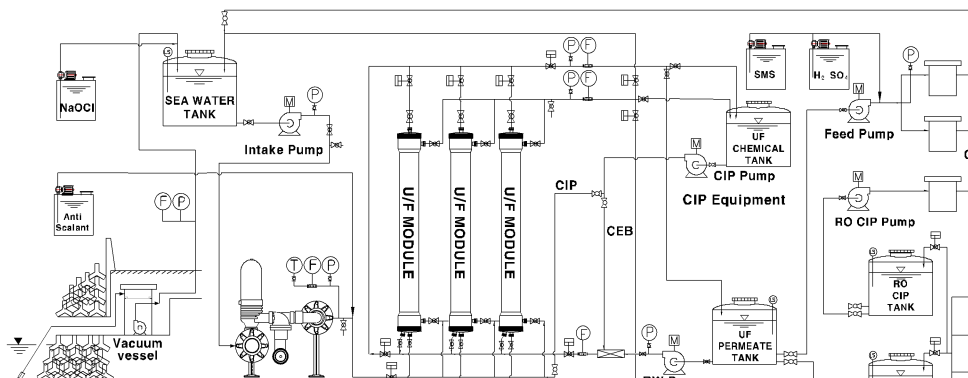


Fig. 1 Schematic diagram of experiment facilities

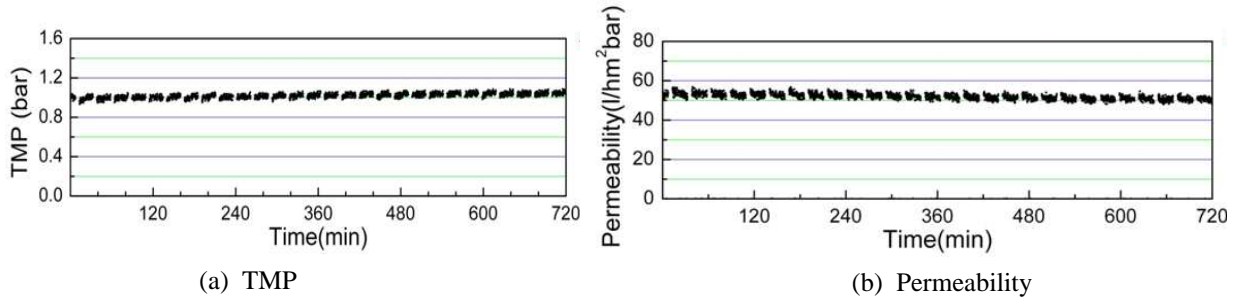


Fig. 2 Variation of TMP and permeability during 12 hours operation on a typical day

멤브레인을 오래 사용하기 위해서 물리적 방법(에어스카우팅, 역세)으로 멤브레인 막 표면에 부착된 오염원을 주기적으로 제거하도록 하였다. 물리적인 방법으로 제거되지 않은 오염물질은 화학적인 방법으로 제거할 수 있는 시스템을 추가하였다. 전처리시스템에서의 유량, 온도, 압력 등 실험데이터를 획득하고 시스템 운전상황을 모니터링 제어하기 위한 제어판넬이 있다. 역삼투압시스템은 전처리 설비가 고장이 나는 경우를 대비하기 위하여 1 μ m 카트리지가 필터, 고압펌프, 역삼투막시스템, 제어부, 에너지회수장치, 계측장비 및 화학약품 탱크로 구성되어 있다.

2.2 실험방법

유량, 압력(원수, 생산수, 드레인), 입구온도 그리고 원수와 생산수의 탁도는 10초마다 측정하였고 원수와 생산수 SDI는 하루에 한번 시료를 채취하여 측정하였다. UF 막의 화학역세 및 화학세정에 사용한 약품과 농도를 Table 1에 나타내었다. 화학역세할 때 알칼리용액으로 먼저 20분 동안 순환시키고 난 뒤 40분 침적시켰다. 그 다음 UF 생산수로 UF막을 행군 다음 산용액으로 같은 과정을 반복하였다. 실험기간 동안 CIP는 실시하지 않았다.

공급되는 해수의 농도를 변화시키기 위해 역삼투압시스템에서 버려지는 농축수를 전처리생산수탱크로 연결하여 전처리생산수와 농축수를 혼합되도록 하였다. 원수탱크로 들어가는 농축수 라인에 유량계를 설치하여 원수 유량과 농축수 유량을 조절하여 농도를 상승시켰다. 농도가 안정화 될 때까지는 실험을 지속하였다. 유입수, 생산수와 농축수의 압력, 유량, 농도는 10초마다 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전처리실험

실험은 2012년 9월 19일부터 10월 22일까지 약 5주간 실시했다. Fig. 2는 연속 운전 기간 중 특정한 날의 12시간 동안의 UF막에서의 TMP(trans membrane pressure)와 투수율(permeability)을 나타낸 것이다. TMP는 UF막의 유입압력과 생산수 압력의 차로 구하였으며, 상하로 배치된 압력계의 수두차가 있어 수력학적 압력을 고려하였다. Fig. 2에서 심벌로 연결되는 부분은 UF의 여과 과정이며, 심벌이 없는 부분은 여과 후의 물리적으로 오염원을 제거하는 에어스카우팅, 역세, 수세 공정기간이다. 에어스카우팅과 역세의 의해 막 표면에 부착된 오염물이 제거되었다가 여과 과정에서 다시 막 표면에 부착되어 TMP가 상승하는 현상을 보여주고 있다. 실험기간동안의 역세에 의한 TMP의 회복은 약 0.028 bar 이었다. 운전을 계속 할수록 막의 TMP는 비가역성 오염(irreversible fouling)에 의해 계속 증가하고 있음을 보여 주고 있다.

일반적으로 막의 TMP가 상승하면 생산수의 플럭스는 감소한다. 그러나 이번 실험기간동안 TMP의 상승과 비교하였을 때 막 오염에 의한 생산수 플럭스의 감소는 미미하였다. 생산수의 플럭스를 TMP로 나눈 투수율의 변화를 Fig. 2(b)에 나타냈다. 그림에서, TMP가 상승한 비율만큼 투수율이 감소하고 있는 것을 보여주고 있다.

Fig. 3은 5주간의 TMP 변화를 나타낸 것이다. 이 기간 동안 3번의 화학역세를 실시하였다. 첫 번째

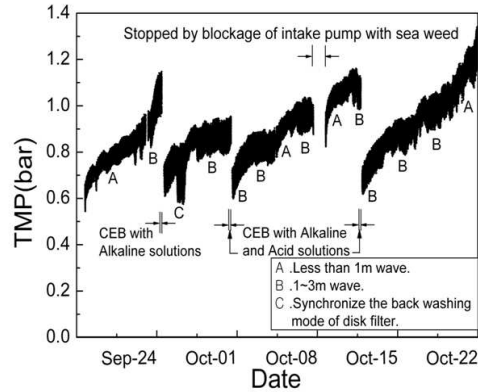


Fig. 3 Impacts of operation time, sea water condition and system operation on TMP

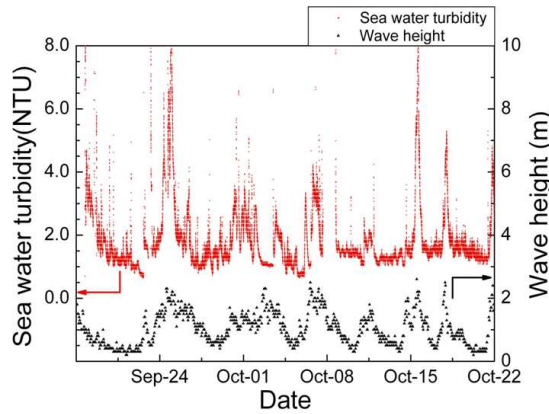


Fig. 4 Comparison of sea water NTU with wave heights

화학역세는 알칼리용액으로만 순환, 침적 시켰다. 2 번째와 3 번째는 알칼리용액을 먼저 순환, 침적 시킨 뒤 생산수로 행군 다음 산용액을 사용하여 알칼리용액과 같은 방법으로 순환, 침적 시켰다. TMP의 회복 정도로 판단했을 때, 알칼리용액이 산용액보다 효과가 더 좋았다. 산용액에 의한 TMP회복도 무시할 수 없었기 때문에 이후 화학역세를 실시할 때, 알칼리와 산용액을 모두 사용하였다. 이번 실험에서 하루 동안 TMP 상승량은 약 0.065 bar 이었다.

Fig. 4는 실험기간 동안의 해수의 탁도와 파고의 변화를 나타낸 것이다. 파고는 기상청의 부산 북항의 파고 데이터를 참조하였으며 1시간 마다 측정된 데이터이다. 그림에서 파고의 변화와 해수의 탁도 변화는 아주 유사한 경향을 보였다. Fig. 3에서 나타난 것과 같이 해수의 상태와 시스템의 운전에 따른 TMP 변화 효과를 알 수 있었다. 이 그림에서 A기간은 파고가 1m 이하가 되는 경우를, B기간은 파고가 1~3m 되는 경우를 의미한다. 두 기간에서의 TMP의 변동 폭을 살펴보면 파고가 낮고 잔잔한 A의 경우가 그렇지 않은 B의 경우에 비해 전처리 운전이 양호하였다. 이 결과는 파고가 높아질수록 더 높은 탁도의 해수가 전처리 시스템으로 유입되었으며, 디스크필터의 잦은 역세로 인해 UF막의 TMP 변화에 많은 영향을 준 것으로 보인다. C기간은 디스크필터의 차압이 1 bar에서 역세가 되도록 설정되어 있던 값을 2 bar로 수정하였을 때의 TMP변화폭을 나타낸 것이다. 디스크의 막힘으로 인해 디스크필터의 차압이 상승하였으며, UF 전단에서의 유입유량이 감소되었고 이로 인해 막의 TMP 변화가 심하였다. 이 결과들은 해수의 수질과 전처리 시스템의 구성, 특히 디스크필터의 운전 상황에 따라 막의 TMP가 많은 영향을 받을 수 있다는 것을 보여준다. Fig. 5는 5주간의 운전기간 동안의 투수율의 변화를 나타낸 것이다. TMP 변화와 같이 CEB를 실시하면 투수율이 원 상태로 거의 회복되고 있는 것을 보여주고 있다. 투수율의 변화는 TMP의 변화보다는 안정적인 경향을 보였다.

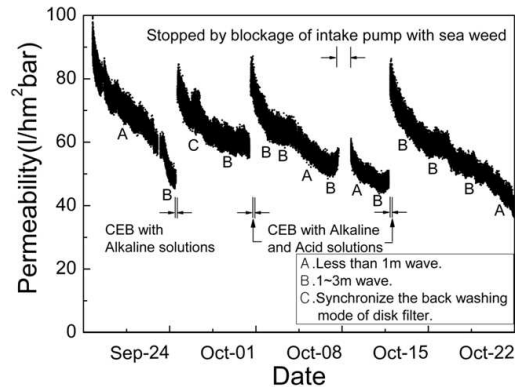


Fig. 5 Trends of permeability during experiment

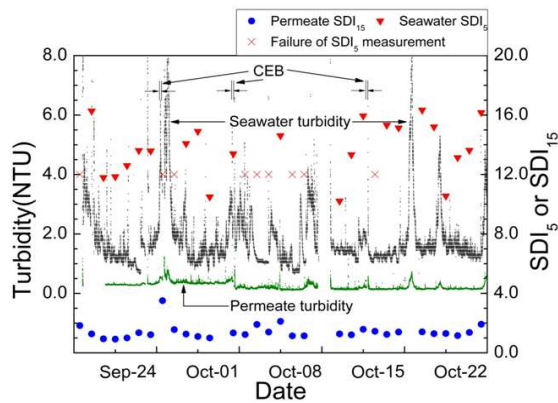


Fig. 6 Trends of turbidity and SDI

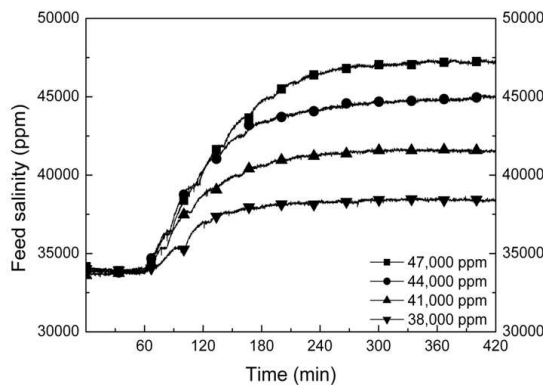


Fig. 7 Variation of feed salinity

Fig. 6은 운전기간 동안의 해수와 생산수의 탁도와 SDI를 측정하여 나타낸 것이다. 탁도는 매 10초간 획득한 값이고 SDI는 하루에 한 번씩 해수와 생산수를 채취하여 측정한 것이다. 실험 기간 동안 생산수 SDI₁₅의 값은 대부분 1과 2사이의 값을 유지하였으며 탁도는 원수의 탁도가 나쁜 경우를 제외하고는 0.15 NTU 이하의 값을 유지하였다.

3.2 역삼투막 농도 변화실험

역삼투막으로 공급되는 유입수의 농도변화를 Fig. 7에 나타내었다. 4가지 경우 모두 유입수의 초기 1시간 동안의 농도는 약 33,500 ppm에서 34,000 ppm사이였다. 초기 1시간 동안에 역삼투압 시스템으로 유입되는 유량은 8.55 m³/h 으로 일정하였고 약 30%의 회수율로 2.55 m³/h를 생산수를 생산하고 6 m³/h

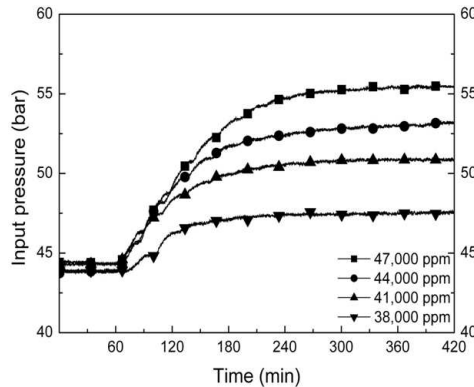


Fig. 8 Experimental result of pressure under the condition of various feed salinity

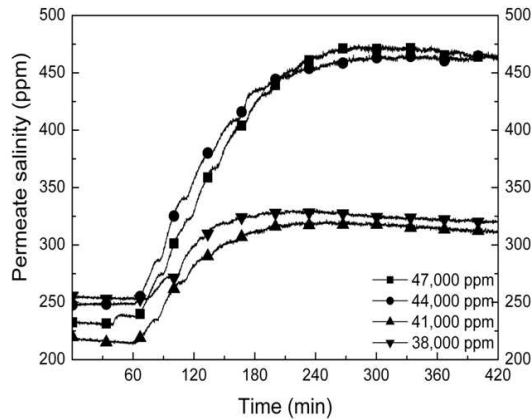


Fig. 9 Experimental result of permeate salinity under the condition of various feed salinity

의 농축수를 방류하였다. Fig. 7에서, 6 m³/h의 농축수를 방류시키지 않고 모두 해수와 혼합하였을 때는 농도가 47,000 ppm 까지 상승하였다. 혼합되는 농축수의 양을 0.9 m³/h 감소시켜가며 상승되는 농도를 조절하였다. 5.1 m³/h 혼합시켰을 때 44,000 ppm, 4.2 m³/h 일 때 41,000 ppm, 3.3 m³/h 일 때 38,000 ppm 까지 농도가 상승하였다. 실험은 41,000 ppm, 47,000 ppm, 44,000 ppm, 38,000 ppm의 순서로 진행되었다.

유입수의 농도 변화에 따른 운전압력의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 농도를 38,000 ppm 까지 상승시켰을 때의 압력변화는 43.5 bar에서 47.5 bar, 41,000 ppm 일 때 44 bar에서 50 bar, 44,000 ppm 일 때 43.5 bar에서 53 bar, 47,000 ppm일 때 44 bar에서 56 bar 까지 각각 상승하였다. Fig. 7의 농도변화와 비교하였을 때, 농도가 상승될수록 운전압력도 따라서 상승하였고 그 변화도 아주 유사한 것을 확인할 수 있다. 이 결과는 유입수의 농도가 상승한 만큼 요구되는 역삼투압도 따라서 상승한다는 것을 보여준다.

유입수 농도변화에 따른 생산수의 농도변화를 Fig. 9에 나타내었다. Fig 7에서 나타나있듯이, 유입수의 초기 1시간 동안의 농도변화는 33,500 ppm에서 34,000ppm 사이로 차이가 작는데 비해 생산수의 농도는 220 ppm에서 260 ppm 까지 차이가 있었다. 막을 새 막으로 교체 후 바로 진행되었던 41,000 ppm의 경우에 초기 1시간 동안의 생산수 농도는 220 ppm으로 가장 낮게 측정되었지만 가장 마지막 실험경우인 38,000 ppm의 경우 260 ppm까지 생산수 농도가 상승하였다. 실험이 진행 될수록 직렬로 연결되어 있는 8개의 막 중, 후단의 막에서 농축수 농도 상승으로 인해 생산수질이 악화된 걸로 보인다.

유입수 농도를 38,000 ppm까지 상승시켰을 때의 생산수의 농도변화는 260 ppm에서 320 ppm, 41,000 ppm 일 때 220 ppm에서 310 ppm까지 상승했다. 44,000 ppm일 때는 250 ppm에서 460 ppm, 47,000 ppm 일 때는 230 ppm에서 460 ppm까지 상승하였다. 실험결과 4가지 경우의 생산수 농도는 모두 먹는 물 수질(< 600 ppm) 기준을 만족하였다. 유입수의 농도가 상승할수록 생산수 농도의 상승량도 더 크다는 것을 확인하였다. 특이한 점은 유입수의 농도가 41,000 ppm과 38,000 ppm일 때보다 44,000 ppm 이상 일

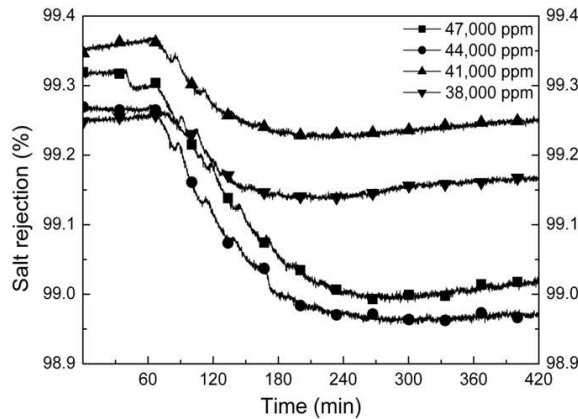


Fig. 10 Salt rejection under the condition of various feed salinity

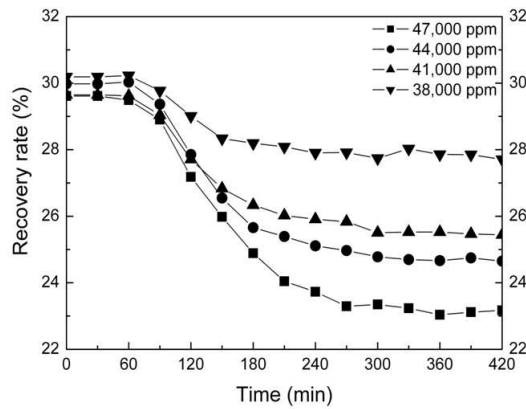


Fig. 11 Recovery rate under the condition of various feed salinity

때 생산수의 농도 상승폭이 훨씬 크다는 것이다. 이 결과로 인해 사용된 역삼투막이 특정한 유입농도 이상에서는 TDS 배제율이 떨어지는 걸로 생각된다.

Fig. 10에 염배제율의 변화를 나타냈다. 염배제율은 막을 통해 제거되는 염의 비율로 정의된다. 38,000 ppm과 41,000 ppm에서 약 0.1%의 감소를 보였고 44,000 ppm과 47,000 ppm에서는 약 0.3%의 감소를 보였다. 염배제율은 유입수와 생산수의 농도로 구해지기 때문에 그림에서 초기 1시간 동안의 염배제율의 차이는 초기 1시간 동안의 생산수 농도의 차이에 의한 것이며 약 0.1 %의 차이를 보였다. 이 결과를 통해 염배제율은 생산수 농도변화에 따라 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

Fig 11에 회수율의 변화를 나타냈다. 여기서 회수율은 공급된 피드수량에 대한 생산수량으로 정의된다. 초기 1시간 동안의 회수율은 29.6%에서 30.2% 사이였다. 회수율의 감소는 38,000 ppm에서 2.4%, 41,000 ppm 에서 3.5%, 44,000 ppm에서 5.2%, 47,000 ppm에서 6.8% 감소하였다. 이 결과는 30%의 회수율로 6.0 m³/day를 생산하는 역삼투압 해수담수 플랜트에서 최대 46 m³/day 까지 생산수량이 감소할 수 있는 결과이다. 이 결과는 역삼투막으로 공급되는 해수의 농도가 회수율에 아주 큰 영향을 줄 수 있다는 것을 보여준다.

Fig. 12에는 담수 1톤을 생산하는데 필요한 전력소비량을 농도변화에 따라서 계산하였다. 취수펌프의 전력을 포함한 전처리설비에서 사용된 전력소비량과 이 전력소비량에서 역삼투압시스템에서 사용된 전력량을 더한 전체전력소비량으로 나누어 표시하였다. 농도를 변화시키기 전 33,500 ppm에서 초기 전력 소비량은 6.0 kWh/m³ 이었다. 38,000 ppm ~ 47,000 ppm까지 농도를 상승시켰을 때 각각 6.93 kWh/m³, 7.39 kWh/m³, 7.98 kWh/m³, 8.58 kWh/m³의 증가를 보였다.

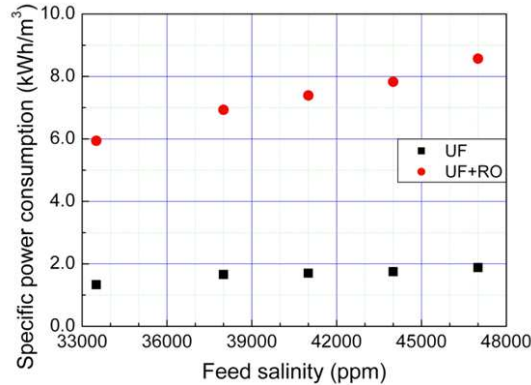


Fig. 12 Power consumptions with various feed salinity

취수펌프의 전력을 포함한 전처리에서 전기소비량은 입구농도에 따라 약간 상승하는 것으로 나타나는데 이 양은 농도를 변화시키기 위해 전처리 생산량을 교축하여 줄이는데 추가된 전력량이라 생각된다. 대부분 소비동력의 증가는 입구농도가 상승함에 따라 삼투압이 상승하여 역삼투압시스템에서 운전압력이 상승한 것으로 생각된다. 이 결과는 농도상승에 따른 운전압력 상승으로 인해 플랜트의 전력소비량이 증가된 것으로 보인다.

4. 결 론

5주간의 전처리 성능 실험과 역삼투막 농도변화 실험 결과 본 실험범위 내에서는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- (1) UF막의 차압은 해수의 상태와 전처리 운전조건에 따라 변동 폭이 크다.
- (2) 이번 실험에서는 알칼리 용액을 이용한 화학세정(CEB)의 효과가 산용액을 이용한 화학세정보다 효과가 좋았다.
- (3) 전처리 실험기간의 85% 동안 UF생산수의 SDI₁₅는 1~2 사이의 값을 유지하고 탁도가 0.1 정도 유지되었으므로 역삼투압해수담수화방법의 전처리로 적합하다.
- (4) 공급되는 해수의 농도가 높아질수록 생산수의 농도는 최대 230 ppm에서 460 ppm까지 상승했고 염배제율은 0.3 % 감소되므로 플랜트의 생산수질을 악화시킨다.
- (5) 공급되는 해수의 농도가 높아질수록 플랜트의 회수율은 최대 6.8% 감소하였고 이는 플랜트의 생산량에 큰 영향을 준다.
- (6) 공급되는 해수의 농도가 높아질수록 운전압력은 최대 12 bar 상승하였고 이로 인해 플랜트의 전력 소비량은 2.3 kWh/m³ 증가하였으므로 해수의 농도상승은 플랜트의 전력소비량을 거의 선형적으로 증가시킨다.

후 기

본 연구는 국토교통부에서 지원한 광주과기원의 해수담수플랜트사업단과 해양수산부의 지원으로 수행한 해양에너지전문인력양성사업의 연구결과이다.

참고문헌

(1) Kim, B. D., Park, S. J., Kim, J. Y., Song, C. S., Kim, J. H., Kim, Y. C., Jang, Y. J., Lim, Y. S., Lee, S. S., Lee, Y. R., Na, Y. S., Hur, P. W., Ahn, I. C., Kim, M. B., Choi, J. S., Han, Y. S., Lee, Y. H.,

- Jeong, K. R., Hwang, N. S., Ko, H. J. and Lee, E. J., 1998, Development of Desalination Technology for Barge-Mounted Plant, Ministry of Science and Technology, p. 1.
- (2) Lee, D. K., 2008, "Variation of Climate and Water Effluence of Korean Peninsula with Climate Change," *Magazine of SAREK*, Vol. 37, No. 1, pp. 8~12.
- (3) Reddy, K. V. and Ghaffour, N., 2007, "Overview of the Cost of the Desalinated Water and Costing Methodologies," *Desalination*, Vol. 205, pp. 340~353.
- (4) <http://www.desalination.com/market/technologies>.
- (5) Wilf, M. and Klinko, K., 2001, "Optimization of Seawater RO Systems Design," *Desalination*, Vol. 138, pp. 299~306.
- (6) Wilf, M. and Schierach, M. K., "Improved Performance and Cost Reduction of RO Seawater Systems Using UF Pretreatment," *Desalination*, Vol. 135, pp. 61~68.
- (7) Goosen, M. F. A., Sablani, S. S., Al-Maskari, S. S., Al-Belushi, R. H. and Wilf, M., 2002, "Effect of Feed Temperature on Permeate Flux and Mass Transfer Coefficient in Spiral-Wound Reverse Osmosis Systems," *Desalination*, Vol. 144, pp. 367~372.
- (8) Arora, M., Maheshwari, R. C., Jain, S. K. and Gupta, A., 2004, "Use of Membrane Technology for Potable Water Production," *Desalination*, Vol. 170, pp. 105~112.
- (9) Villafafila, A. and Mujtaba, I. M., "Fresh Water by Reverse Osmosis Based Desalination: Simulation and Optimization," *Desalination*, Vol. 155, pp. 1~13.
- (10) Alahmad, M., 2010, "Prediction of Performance of Sea Water Reverse Osmosis Units," *Desalination*, Vol. 261, pp. 131~137.
- (11) Nisan, S., 2005, "A New Method for the Treatment of the Reverse Osmosis Process, with Preheating of the Feed Water," *Desalination*, Vol. 182, pp. 483~495.
- (12) Hawlader, M. N. A., Ho, J. C. and Teng, C. K., 2000, "Desalination of Seawater: an Experiment with RO Membranes," *Desalination*, Vol. 132, pp. 275~280.
- (13) Abou Rayan, M. and Khaled, I. "Seawater Desalination by Reverse Osmosis (Case Study)," *Desalination*, Vol. 153, pp. 245~251.
- (14) Djebedjian, B., Gad, H., Khaled, I. and Rayan, M. A., 2007, "Reverse Osmosis Desalination Plant in Nuweiba City (Case Study)," *IWTC11*, pp. 315~330.