

직접 접촉 막증류 모듈에서 분리막의 성능 평가

황호중, 하가, 문일식*
 국립순천대학교 공과대학 화학공학과
 (ismoon@sunchon.ac.kr*)

Evaluation of various membranes for direct contact membrane distillation(DCMD) module

Ho Jung Hwang, Ke He, Il Shik Moon*
 Dept. of Chemical Engineering, Sunchon National University
 (ismoon@sunchon.ac.kr*)

서론

전 세계적으로 가뭄과 기후변화 등으로 인한 물 부족현상이 심각한 문제가 되고 있다. 이에 따른 담수화공정들이 많이 개발되고 있으며, 본 연구에서는 막분리(Membrane Distillation, MD)공정 중 직접 접촉 막증류(Direct Contact Membrane Distillation, DCMD)를 이용하여 탈염 연구를 수행하였다. 다른 공정에 비해 DCMD공정은 운전방식이 간단하고 투과 플럭스가 높다는 장점이 있다. DCMD 공정은 고온에 공급액으로부터 기화된 증기상이 모듈 내부의 압력으로 기공이 분포되어 있는 막을 투과하며 냉각부에서 응축시키는 방법으로 이온이 존재하는 용액으로부터 순수한 물이 분리되게 된다[1-3].

본 연구에서는 막증류 공정 중 DCMD공정을 이용하여 해수담수화의 가능성을 평가하기 위해 PTFE 분리막 선정과 기공크기 선정, 공급액과 냉각수의 유속, 흐름방향 공급액의 농도와 온도변화에 따른 투과 플럭스와 투과수의 전기전도도에 미치는 영향을 평가하였다[4-6].

실험

현재 MD공정에서 주로 사용하는 소수성(Hydrophobicity) 막에 기공이 분포되어 있는 PTFE (polytetrafluoroethylene) 재질을 주로 사용하고 있으며 본 연구에서는 DCMD공정 이용해 3사(GE Osmonics CO. LTD, USA; MEMBRANE SOLUTIONS CO. LTD, CHINA; NINGBO CHANGQI POROUS MEMBRANE TECHNOLOGY CO. LTD, CHINA) PTFE 재질의 제품을 선정해 실험하였다. 모듈은 아크릴 재질을 사용하여 0.06 m²(0.15 m * 0.4 m)의 크기로 제작하였으며 펌프, 유량계와 배관 등은 부식과 막의 파울링을 방지하기위해 PVC와 고무 재질을 이용하였다.

Table 1. Membrane Characteristics

Membrane type	Material	Average pore size(μm)	Thickness(μm)
GE Osmonics (GE)	PTFE	0.2 μm	110 μm
Membrane Solutions (MS)	PTFE	0.22 μm	160 μm
CHANGQI (CQ)	PTFE	0.2 μm	120 μm
CHANGQI (CQ)	PTFE	0.7 μm	120 μm
CHANGQI (CQ)	PTFE	1.2 μm	110 μm

공급액은 NaCl(DEA JUNG chemical Co. Ltd) 1~10%로 제조하였고 온도로는 50 ~ 70℃, 유속으로는 1.5 ~ 7 L/min을 이용하고 공급액의 열온으로는 태양열 온수기를 접목하여 에너지를 절감할 수 있었다. 또한 냉각수는 3차여과수를 이용하여 운전이 가능한 량만을 사용하였고 온도는 20℃로 고정시키고 유속은 공급액과 동일하게 1.5 ~ 7 L/min을 이용하였다. 투과수의 측정으로는 저울을 사용하였으며 투과수의 수질평가를 위해 냉각수의 열전도도(EC470-L, ISTEK, KOREA)를 측정하였다.

결과

본 실험에서 사용된 PTFE 재질의 Liquid Entry Pressure (LEP), Gas Permeability test pore size, Capillary flow porometer test pore size를 측정하여 막의 특성을 평가하였으며 Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다[5,6].

Table 2. Membrane Characteristics

Characteristics	GE 0.2 μm	MS 0.22 μm	CQ 0.2 μm	CQ 0.7 μm	CQ 1.2 μm
LEP (KPa)	150.4 \pm 2.5	121.3 \pm 2.5	140 \pm 2.5	90.7 \pm 2.5	70.9 \pm 2.5
Gas Permeability test pore size (μm)	0.28 \pm 0.05	0.37 \pm 0.05	0.35 \pm 0.05	0.68 \pm 0.05	0.93 \pm 0.05
Capillary flow porometer test pore size (μm)	0.27 \pm 0.05	0.23 \pm 0.05	0.39 \pm 0.05	0.73 \pm 0.05	1.08 \pm 0.05

Figure 2는 3사인 GE Membrane, MS Membrane, CQ Membrane에 동일한 기공크기인 0.2 μm 이용하여 유속에 따른 투과플럭스를 확인하였다. 유속이 높을수록 투과플럭스는 증가하였지만 4.5 L/min이상에서는 증가율이 낮아지면서 7 L/min에 높은 유속에서도 큰 차이가 없어 유속 4.5 L/min이상은 완전히 발달된 영역(Fully Developed Region)으로 판단된다.

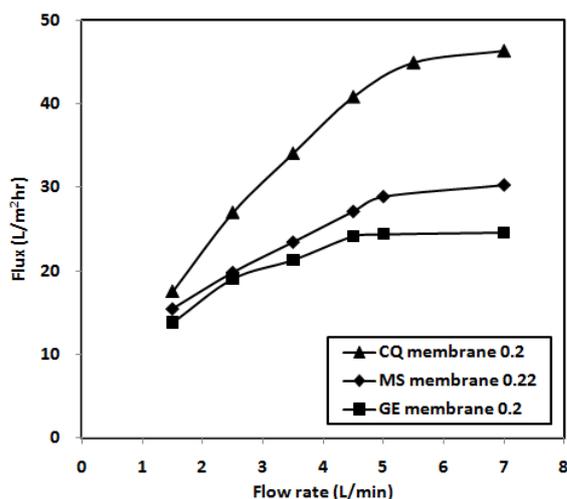


Figure 2. Effect of flow rate on flux for PTFE pore size 0.2 μm membrane from 3 different company. (Hot side: 60℃, Cold side: 20℃, NaCl conc.: 1%)

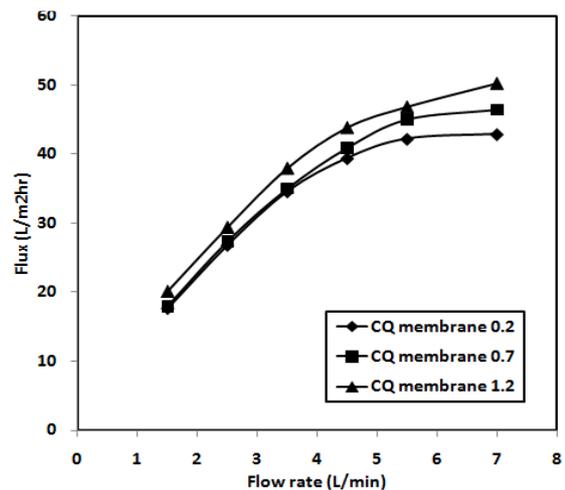


Figure 3. Effect of flow rate on flux for 3 type of different pore size PTFE membranes. (Hot side: 60℃, Cold side: 20℃, NaCl conc.: 1%)

또한 CQ membrane이 월등히 높은 결과 수 얻을 수 있었으며, Figure 3에서는 CQ membrane에 기공크기에 따른 투과플럭스를 평가하였다. 유속이 낮을 때보다 높을 때 차이를 보였고 1.2, 0.7, 0.2 μm 에 순서로 투과플럭스가 높았지만 1.2 μm 는 NaCl에 제거율이 낮아 탈염 연구에 적합하지 않은 분리막으로 판단된다. 0.7, 0.2 μm 는 100%에 가까운 제거율을 얻을 수 있었다.

Figure 4는 Figure 3에서 얻은 결과 높은 플럭스와 효율적인 제거율의 CQ membrane 0.7 μm 를 선정해 운전하였으며, 정방향(Co-Current)과 역방향(Counter-Current)의 동일조건에서의 투과플럭스를 비교하였다. 역방향은 유속이 높을수록 투과플럭스가 증가하다가 4.5 L/min 이상에서는 큰 차이가 없는 반면에 정방향의 유속이 높을수록 투과플럭스가 계속 증가됨을 알 수 있었다. 동일조건에서는 역방향이 정방향보다 높은 투과플럭스를 얻을 수 있음을 확인하였다.

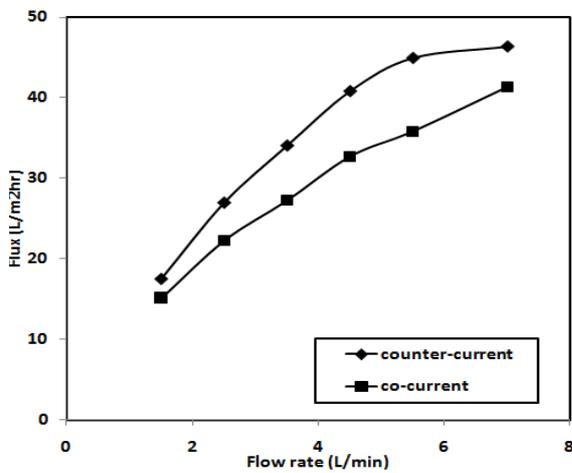


Figure 4. Comparison Co-Current and Counter-Current flow mode at difference flow rate conditions(Hot side: 60°C, Cold side: 20°C, NaCl conc.: 1%, CQ membrane 0.7 μm)

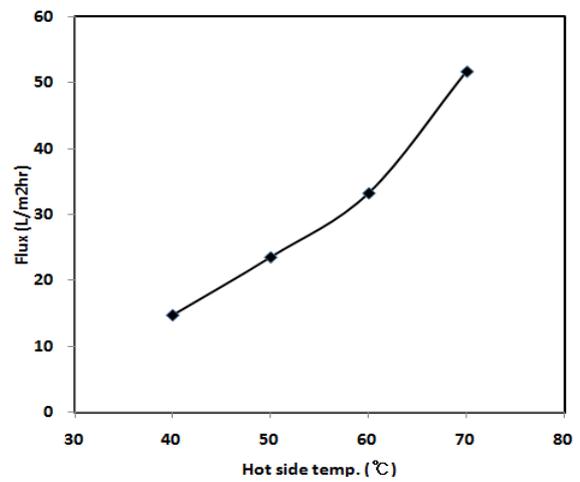


Figure 5. Effect of flow rate on flux for PTFE pore size 0.2 μm membrane from 3 different company.(Hot side Flow and Cold side: 4.5 L/min, Cold side temp.: 20°C, NaCl conc.: 1% , CQ membrane 0.7 μm)

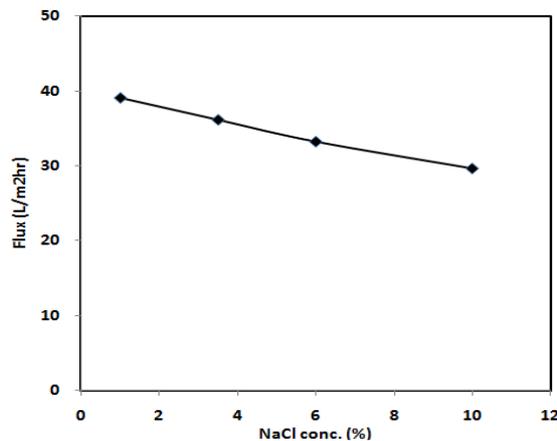


Figure 5. Effect of NaCl concentration on flux (Cold side temp.: 20°C, Hot side temp.: 60°C, Hot side Flow and Cold side: 4.5 L/min, NaCl conc.: 1% , CQ membrane 0.7 μm)

Figure 5는 공급액와 냉각수의 유속을 4.5 L/min로 동일하게 유지하면서, 냉각수의 온도는 20℃로 고정시키고 공급액의 온도에 따른 투과플럭스를 나타냈다. 공급액의 온도가 높을수록 즉 온도차(ΔT)가 커질수록 투과플럭스는 큰 폭으로 증가된다. DCMD에 원리는 온도차에 의해서 발생된 증기상이 모듈내부에서 발생하는 압력에 의해서 막의 기공을 투과된다. 온도차가 클수록 발생하는 증기상이 많은 것으로 판단된다.

Figure 6는 NaCl농도에 따른 투과플럭스를 평가한 결과 농도가 높아짐에 따라 투과플럭스는 감소하는 경향을 보였다. 농도증가에 의해 분극 현상, 기공막힘 현상 그리고 이온과 물분자간의 하이드레이트(hydrate)의 형성으로 플럭스가 감소하는 것으로 판단된다 [8].

결론

분리막으로는 CQ membrane 0.7 μm 가 높은 투과플럭스와 100% 제거율을 보였고, 유속이 높을수록 투과플럭스가 증가 하였지만 4.5 L/min 이상으로는 큰 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 온도차(ΔT)는 DCMD공정에서 투과플럭스 큰 영향 미치는 것으로 본 연구에서 확인할 수 있었고, 높은 농도에 RO(Rivers Osmosis)공정 농축수 처리에도 적용이 가능할 것으로 예상된다.

감사

본 연구는 지식경제부의 출연금으로 수행한 차세대소재퓨전 그린테크놀로지 지역혁신센터(RIC) 사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1]. A.S. Jonsson, R. Wimmerstedt and A.C. Harrysson, Desalination 56, 237-250 (1985).
- [2]. G.L. Liu, C. Zhu, C.S. Cheung and C.W. Leung, Heat Mass Transfer 34, 329기-335 (1998).
- [3]. A. Fahmi, Abu Al-Rub, Fawzi Banat, and Khalid Bani-Melhem, Sep. Sci. Technol 38, 3645-3667 (2003).
- [4]. M. Matheswarean, T. O. Kwon, J. W. Kim, Mikel Duke, Stephen Gray and Il Shik Moon, Desalination and Water Treatment 13, 362-368 (2010).
- [5]. He, K. Hwang, H. J. Woo, M. W. Moon, I. S. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, accepted (2010).
- [6]. Jianhua Zhang, Noel Dow, Mikel Duke, Eddy Ostarcevic, Jun-De Li, Stephen Gray, J. Membe. Sci., 349, 295-303 (2010).
- [8]. Rautenbach, R. and Albrecht, R., John Wiley & Sons (1989).