

직접 접촉 막증류 시스템에서 모듈 구조에 따른 성능 비교

황호중, 하가, 정상준, 광명화¹, 문일식*국립순천대학교 공과대학 화학공학과, ¹(재)포항산업과학연구원 그린환경연구본부²
(ismoon@sunchon.ac.kr*)**Comparison of Module Dimensions on Direct Contact Membrane Distillation System Performance**Ho Jung Hwang, Ke He, Sang Joon Chung, Kwak Mounghwa¹, Il Shik Moon*

Dept. of Chemical Engineering, Sunchon National University,

¹Environment & Energy Research Center, Research Institute of Science & Technology
(ismoon@sunchon.ac.kr*)**서론**

전 세계적으로 가뭄과 기후변화 등으로 인한 물 부족현상이 심각한 문제가 되고 있다. 현재 해수 담수화 공정으로는 역삼투압 (Reverse Osmosis, RO), 증발법, 전기투석법, 막증류 (Membrane Distillation, MD) 공정 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 막증류 공정은 모듈 및 운전 방식에 따라 크게 4가지로 구분된다. 먼저 막의 하부의 응축수가 막과 직접 접촉하는 방식 (Direct contact membrane distillation, DCMD), 막의 하부표면과 응축수 표면의 중간에 공기층이 있어 서로 분리된 방식 (Air gap membrane distillation, AGMD), 막의 하부를 감압하는 방식 (Vacuum membrane distillation, VMD) 그리고 막의 투과된 증기상을 Sweeping 가스 또는 기체를 이용하여 처리하는 방식 (Sweeping gas membrane distillation, SGMD)으로 나눌 수 있으며, 각각의 막증류 공정은 그 운전방식 및 구조에 따라 각기 서로 다른 장점과 응용성을 가지게 된다 [1-4].

다른 공정에 비해 DCMD공정은 투과 플럭스가 높다는 장점이 있으며 DCMD 공정에서는 액체로부터 기화된 증기는 높은 증기 압력으로 막의 작은 기공을 통과하여 응축되고 이러한 방법으로 용액으로부터 신선한 물이 분리되게 된다[5-7].

본 연구에서는 막증류 공정 중 DCMD공정을 이용하여 해수담수화의 가능성을 평가하기 위해 공급액의 온도, 공급액 중 NaCl의 농도변화가 투과 플럭스와 투과수의 전기전도도에 미치는 영향을 고찰하였으며 공급액과 냉각수의 유속, 흐름방향 및 모듈의 단면적에 따른 투과 플럭스와 투과수의 전기전도도를 평가 하였다.

실험

본 연구에 사용된 DCMD 장치는 Figure 1에서와 같이 크게 공급액, 냉각수 부분으로 구성되어 있으며, NaCl 용액에 의한 부식을 방지하고 분리막에 오염문제를 위하여 모듈과 펌프 배관 등에 재질을 플라스틱을 사용하였다.

실험의 분리막은 PTFE (GE Osmonics, USA)재질이며, 일정한 농도 (1 ~ 6%)로 제조된 NaCl 용액을 40 °C와 60 °C로 온도를 일정하게 유지하면서 펌프를 이용하여 1.5 ~ 7 L/min의 유속으로 공급액 모듈에 순환시켰고, 20 °C로 온도를 일정하게 유지한 냉각수는 공급액과 동일한 유속으로 순환 시켰다. 또한 공급액과 냉각수의 흐름방향 즉, Co-current와 Counter-current의 일정한 공급액과 냉각수의 유속에 투과수의 플럭스와 열전도도 (EC470-L, ISTEK, KOREA)를 측정하였고, 막증류 모듈의 단면적변화 [0.012 m² (0.4 *

0.03 m), 0.0045 m² (0.15 * 0.03 m)]에 따른 투과수의 플럭스와 열전도도를 측정하였다.

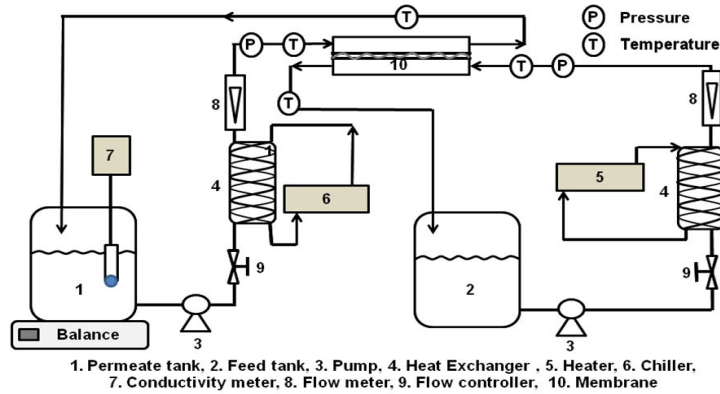


Figure 1. Schematic diagram of DCMD experimental setup.

결과

실험에 사용된 PTFE 분리막은 Liquid Entry Pressure (LEP), Contact angle, Gas permeability test pore size, Capillary flow porometry test pore size을 측정하여 분리막의 특성을 평가하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Membrane characteristics.

LEP (Liquid Entry Pressure)	160.1±2.5 kPa
Contact angle	122 ± 5°
Gas permeability test pore size	0.28 ± 0.05 μm
Capillary flow porometry test pore size	0.2716 μm

Figure 2는 공급액과 냉각수의 흐름방향을 Co-current, Counter-current로 달리하여 유속에 따른 투과 플럭스를 나타낸 것이다. 일정한 유속에서 Co-current 흐름은 Counter-current에 비해 3 ~ 5 %이상 투과 플럭스가 증가함을 알 수 있었다. 또한 유속이 증가할수록 플럭스는 증가하였으나 4.5 L/min 이상에서는 투과 플럭스의 변화가 없는 완전히 발달된 영역 (fully developed region)의 현상임을 알 수 있었다.

Figure 3은 공급액과 냉각수의 온도차(ΔT)를 20 °C에서 40 °C로 증가하면서 투과 플럭스를 나타낸 것으로, 막증류 공정의 driving force인 온도차가 증가할수록 상분리가 촉진되어 투과 플럭스가 증가함을 알 수 있었다.

Figure 4는 유입 유속을 달리하여 모듈 단면적에 따른 투과 플럭스를 나타낸 것이다. 모듈의 단면적이 0.0045에서 0.012 m²로 증가할수록 투과 플럭스는 유입 유속에 따라 0 ~ 20%까지 증가함을 알 수 있었다.

Figure 5는 공급액에 NaCl 농도에 따른 투과 플럭스와 열전도도를 측정한 결과이다. 공급액의 농도에 무관하게 일정한 열전도도를 나타내고 있고, 반면에 플럭스의 경우막상부의 기공입구에서 용질의 농도증가에 의한 농도분극현상, 기공막힘현상 그리고 이온과 물분자간의 하이드레이트(hydrate)[8]의 형성으로 플럭스가 감소함을 나타내게 된다.

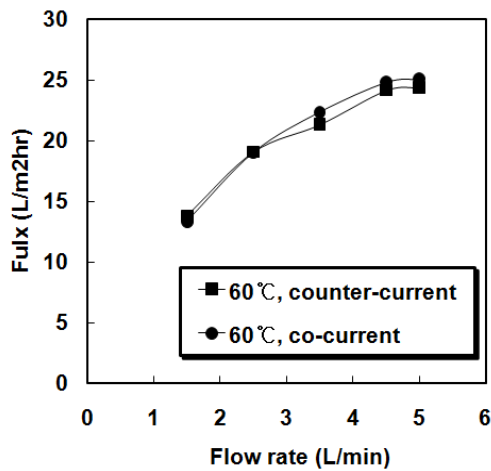


Figure 2. Effect of flow rate on different flow mode at 60 °C. (NaCl concentration of 1%, coolant temperature of 20 °C)

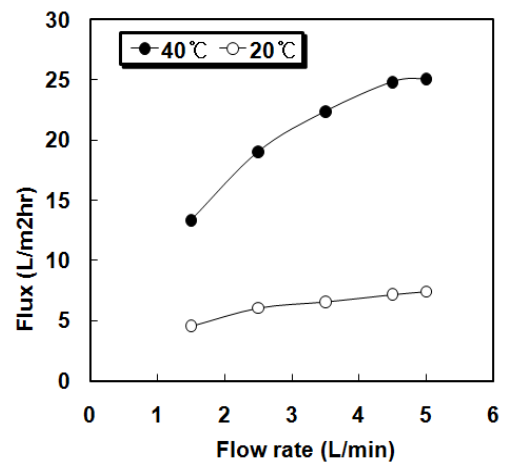


Figure 3. Effect of flow rate on flux at different temperature. (NaCl concentration of 1%, coolant temperature of 20 °C)

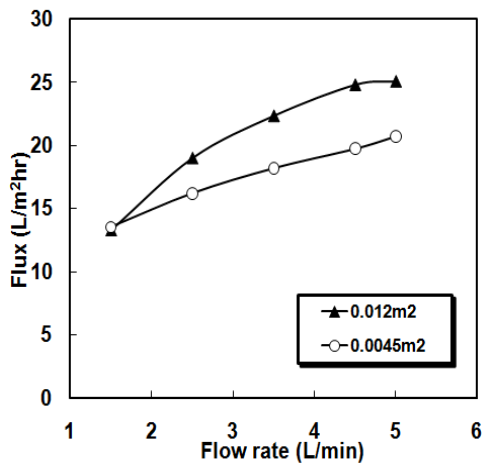


Figure 4. Effect of flow rate on different module dimensions at 60 °C. (NaCl concentration of 1%; coolant temperature of 20 °C)

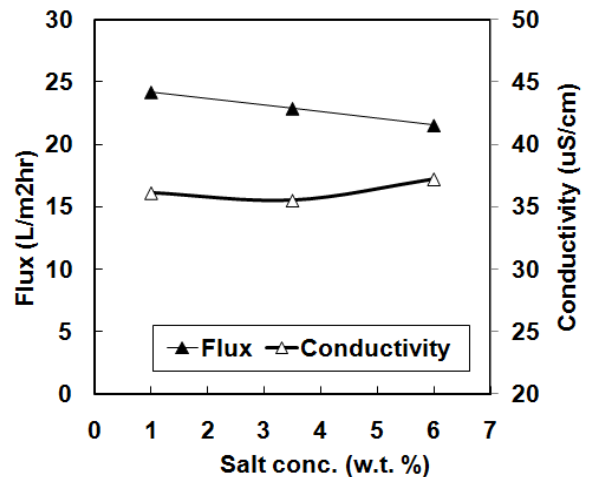


Figure 5. Effect of salt concentration on flux and conductivity. (Feed inlet temperature of 60 °C, coolant temperature 20 °C; flow rate 4.5 L/min)

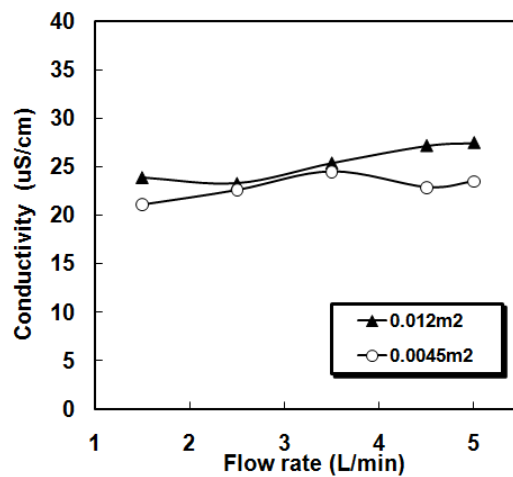


Figure 6. Effect of flow rate on permeate conductivity for different module dimensions at 60 °C. (NaCl concentration of 1%; coolant temperature of 20 °C)

Figure 6은 모듈 단면적에 따른 투과수의 열전도도를 측정한 결과이다. 열전도도는 3시간동안 30분 간격으로 총 6번에 측정한 평균값을 나타낸 것이며, 유속이 증가함에 따라 열전도도에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

결론

공급액과 냉각수의 유속이 증가 할수록 투과수의 플럭스는 증가하며, 온도차(ΔT)가 클수록 투과수의 플럭스는 증가됨을 확인 할 수 있었고, 또한 같은 유속이지만 모듈에 단면적에 따라 X-Flow에 플럭스가 높다는 결론을 얻을 수 있었다. 공급액에 NaCl 농도가 높아질수록 감소하지만 큰 차이는 없었다. 또한 DCMD공정은 높은 농도에 NaCl을 제거함으로써 RO 농축수 처리에도 적용이 가능 할 것으로 예상된다.

모든 조건에서 NaCl 제거율이 100%에 가까움을 알 수 있었다.

감사

본 연구는 국토해양부 플랜트기술고도화사업의 연구비지원(07해수담수B01-0165)에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1]. S. Nene, S. Kaur, K. Sumod, B. Joshi, and K.S.M.S. Raghavarao, Desalination 147, 157-160, (2002).
- [2]. A.Banat, and J. Simandl, J. Membr. Sci. 163, 333- 348, (1993).
- [3]. M. Gryta, M. Tomaszewska, J. Grzechulska and A.W. Morawski, J. Membr. Sci. 181, 279-287, (2001).
- [4]. H. Udriot, A. Araque and U. Von Stokar, Chem. Eng. J. 54, 87-93, (1994).
- [5]. A.S. Jonsson, R. Wimmerstedt and A.C. Harrysson, Desalination 56, 237-250, (1985).
- [6]. G.L. Liu, C. Zhu, C.S. Cheung and C.W. Leung, Heat Mass Transfer 34, 329-335, (1998).
- [7]. A. Fahmi, Abu Al-Rub, Fawzi Banat, and Khalid Bani-Melhem, Sep. Sci. Technol. 38, 3645-3667, (2003).
- [8]. Rautenbach, R. and Albrecht, R.: "Membrane Processes", John Wiley & Sons (1989).