

미세기포를 이용한 역삼투 모듈 세정 효율 평가

김 동 진 · 강 신 경[†] · 조 하 영* · 이 재 우* · 문 일 식**

(재)포항산업과학연구원, *(주)한수, **순천대학교
(2016년 12월 14일 접수, 2016년 12월 26일 수정, 2017년 1월 5일 채택)

Evaluation of Cleaning Efficiency of Reverse Osmosis Module Using Micro-bubble

Dongjin Kim, Shingyung Kang[†], Hayoung Cho*, Jeawoo Lee*, and Ilshik Moon**

Research Institute of Industrial Science & Technology, Gwangyang 57801, Korea

*HANSOO CO, Ansan 15611, Korea

**Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

(Received December 14, 2016, Revised December 26, 2016, Accepted January 5, 2017)

요 약: 역삼투막 운영에 있어서 유기물 오염에 대한 문제들을 해결하기 위해 많은 연구를 하고 있다. 현재 가성소다(NaOH)를 사용하여 유기물 오염 제거를 하고 있다. 본 연구는 지속적인 막오염 증가 문제를 해결하기 위한 물리/화학적 세정 기법으로서 기존에 사용하던 가성소다와 Micro-bubble를 이용하여 유기물 오염 제거 실험을 수행되었다. 멤브레인 강제 오염을 위해 Humic acid sodium, Bovine serum albumin, Sodium alginate 약품을 사용하여 유기물 오염을 시켰다. 유기물 오염에 따른 Flux를 관찰하였고, 가성소다와 Micro-bubble를 이용한 유기물 오염 제거 실험은 가성소다로만 사용했을 때보다 향상된 것을 관찰했다.

Abstract: Among many methods in solving the organic contamination in the reverse osmosis operation, caustic soda (NaOH) wash method is efficient and commercially affordable. In continuation of our many organic pollution removal works, this study focused mainly on caustic soda wash with micro-bubble to removal the organic contamination of the spent membrane from reverse osmosis process. First, the membrane was forced the pollute using known organic pollutants such as Humic acid, Bovine serum albumin, Sodium alginate drug. The organic contamination on the membrane was monitored flux. The decontamination of organic contaminants was derived flux variation at individual caustic soda was injected micro-bubble methods and combined method as well. the found results explain removal of organic contaminants effective only by combined caustic soda wash with micro-bubble methods.

Keywords: cleaning etc, microbubble, permeate flux, reverse osmosis membrane

1. 서 론

전 세계적으로 인구증가와 산업의 발달 및 오염의 확산으로 지표수 및 지하수에 의한 용수의 공급은 심각한 위기를 맞을 것으로 예상된다. 2025년이 되면 거의 모든 국가들이 물 부족을 겪게 되며 그 중 절반의 국가들은 물자원의 고갈을 맞을 것으로 예견된다. 우리나라의 경우도 물 부족이 예상되며, 따라서 수자원 공급에 대

한 국가적 대책마련이 필요하다. 지구상에 존재하는 물의 양은 약 13억 8,500만 km³으로 추정되며, 이 수자원 중 97%를 차지하고 있는 해수의 활용은 오래 전부터 관심의 대상이 되어 왔다. 세계 담수화 설비는 2010년 말 기준 6,000만 톤/일이 운영되고 있으며 향후 10년간 지속적으로 성장하여 확대될 것으로 전망되고 있다. 해수담수화 시장은 중동지역을 비롯하여 중국, 미국 및 인도 등을 중심으로 큰 성장을 보일 것으로 기대된다.

[†]Corresponding author(e-mail: sgkang61@rist.re.kr, <http://orcid.org/0000-0002-8914-6211>)

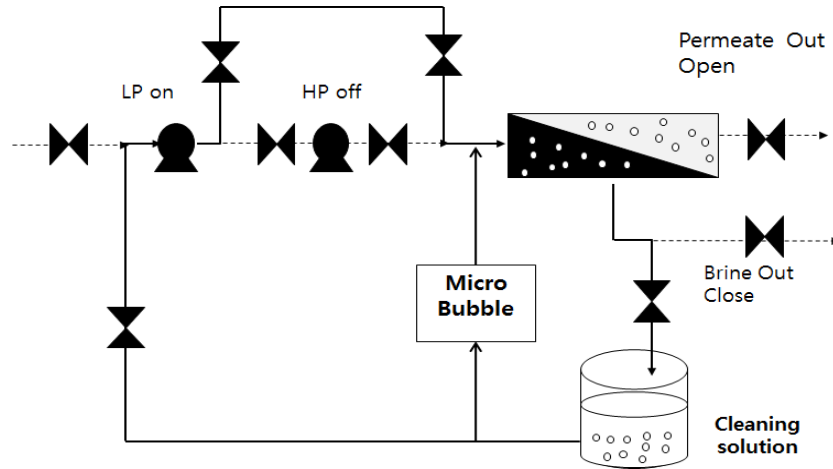


Fig. 1. Cleaning process of SWRO module using micro-bubble.

2015년에서 2020년까지 더욱 크게 확대되어 연평균 약 15% 대의 성장률을 이룰 것으로 전망(GWI, 2008)되고 있으며, 이 중 역삼투(RO) 방식은 2005년 전체 담수화 시장의 48%를 점유하고 있으나 향후 2020년에는 71% 까지 증가할 것으로 예상되고 있다[1]. 해수는 96.5%가 순수한 물이며 물을 제외한 약 30여 종의 주요 원소로 구성되어 있다. 해수 중에는 무기물이 40,000~50,000 mg/L, 유기물이 2~4 mg/L 정도 함유되어 있으며 유기물이 무기물과 비교하여 무시할 정도의 적은 양이 존재하고 있지만 RO 막오염의 50% 이상이 유기물에 의한 것으로 알려져 있을 정도로 유기물은 막오염 발생 원인 물질로 막여과 해수담수화 플랜트 운전에 큰 영향을 주고 있다. RO 막여과 공정에서 막오염(fouling)의 발생은 필수불가결한 현상이기 때문에 대상원수나 막오염원에 따른 적절한 화학세정공정의 최적 운전조건의 도출 및 적용은 중요하다. 실제적으로 운영 요소 기술로서의 화학세정공정의 잘못된 적용은 RO막여과공정의 막교체비용, 유지관리비용, 화학약품비용, 인력비용을 증가시킨다.

특히, polyamide (PA)막의 경우 생물 막오염에 매우 취약하기 때문에 실제적으로 “Fouling complex” 형태의 복잡한 막오염이 RO막 표면에 형성되어 화학 세정공정을 어렵게 할 수 있다[2-7]. 이는 막여과 공정의 경제성과 직결되므로 해결책이 필요하다. 막여과 공정의 적용으로 필연적으로 수반되는 지속적인 막오염 증가 문제를 해결하기 위한 물리/화학적 세정 기법 연구가 반드시 필요하다. 미세기포의 약품역세 및 화학세정 조합이 세정 효율이 좋아 막여과 성능의 향상뿐만 아니라 저농

Table 1. Chemicals

Reagent	Purpose
Humic acid sodium salt	Organic Matter
Bovine serum albumin	
Sodium alginate	
Calcium chloride	Inorganic Matter
Ferric chloride	

도의 약품 사용으로 막 수명을 연장시켜 막여과 공정의 경제성을 향상시킬 수 있다[8-9]. 본 연구는 미세기포를 이용하여 평막 실험한 결과를 가지고 RO vessel 장치에 유기물 오염에 대한 가성소다와 micro-bubble를 이용한 세정 실험을 수행하였다. 유기물 오염을 세정 조건에 따라 flux를 비교하여 세정 효율 실험을 진행하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 역삼투막은 8” Vessel 2set를 이루어졌으며, 폴리아미드계 역삼투 분리막(SWC4+, Composite PA, Nittodenko)으로 구성하였고, 모듈 내에 자체 설계한 미세기포 발생기(Micro-bubble Generator, (주)한국아쿠오시스)를 장착하였다. Fig. 1은 미세기포를 이용한 SWRO 공정 모식이다.

SWRO module에 오염시키기 위해 해수와 같은 조건으로 Table 1과 같이 유기물 오염 약품과 무기물 오염 약품을 사용하였다. 유기물 오염에 사용된 약품들은 각각 4.5 ppm 농도로 제조하여 역삼투막(RO)을 오염시켰다. 무기물 오염은 세정이 원활하게 이루어지기 때문에

Table 2. Each of CIP Method

Case	CIP method
1	DI Water
2	Micro-bubble
3	NaOH
4	NaOH + Micro-bubble

유기물 오염만 실험 실시하기로 했다.

Table 2는 역삼투 모듈 CIP 조건을 나타낸 것이다. 유기물 세정 시 용해수 온도를 35°C 이하로 올려준다. CIP Method 중에 가성소다를 사용할 경우 CIP 탱크에 투입하여 세정액을 제조한다. 세정펌프의 밸브를 세정액이 역삼투막으로 이송되도록 조정해준다. 세정 조건은 압력 3 bar 이하, 유량 6~9 m³/hr 정도의 펌프를 사용한다. 이때 미세기포 발생 장치는 용존 공기 부상법(DAF)을 응용해서 공기를 진공 또는 가압 후 압력차에 의한 수중의 과포화된 기포가 석출되는 방식을 선택하였다. 미세기포 발생 장치는 자체적으로 압력 3 bar, 유량 6~9 m³/h으로 운전을 할 수 있는 장치를 설치하였다. 세정 시간 및 조건은 RO막 회사에서 제시하는 조건으로 실시하였으며, 화학세정으로 세정할 때 세정이 끝나고 DI Water의 pH, 도전율이 나올 때까지 순환을 시켜준다. DI Water는 공업용수를 사용하였다. RO 공정으로 전환하여 각각 세정 효율을 판단한다. 물리/화학적 세정 후 투과수량(플럭스) 회복정도를 관찰하기 위해 세정 효율을 식 (1)과 같이 계산하여 화학 세정 효율을 평가하였다.

$$CE(Cleaning\ Efficiency)\ 세정\ 효율(\%) = \frac{(f_c - f_f)}{(f_i - f_f)} \quad (1)$$

여기서 f_i = 초기 플럭스
 f_f = 감소된 플럭스
 f_c = 세정 후 회복된 플럭스

3. 결과 및 고찰

Figs. 2~3는 세정 조건에 따른 염 제거율과 세정 효율을 보여주고 있다. 가성소다와 미세기포를 사용한 세정 방법이 염 제거율이 가성소다로만 사용한 경우보다 시간이 지남에 따라 염 제거율이 높게 형성되어졌

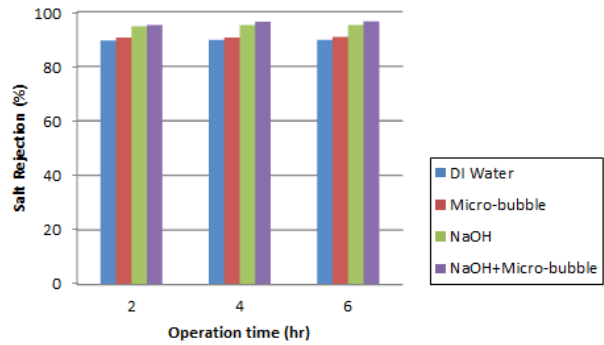


Fig. 2. Salt rejection by cleaning method.

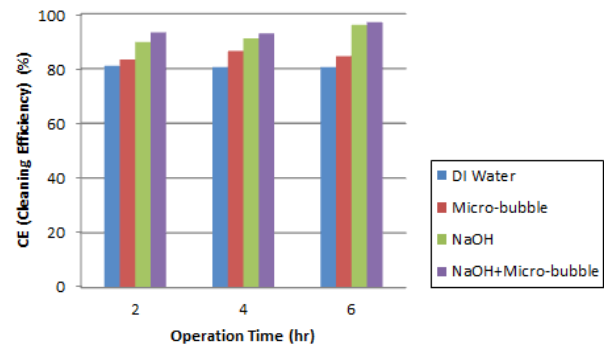


Fig. 3. Cleaning efficiency by cleaning method.

다. 또한 세정 효율도 가성소다와 미세기포를 사용한 세정 방법이 가성소다보다는 높게 보여진다. Fig. 4는 세정 후 Flux를 비교한 그림이다. DI Water로만 세정했을 시에는 Flux 회복률이 1.3% 증가하였고, 미세기포를 동시에 사용했을 시에는 Flux 회복률이 5.1% 증가하였다. DI Water+NaOH 세정액으로 사용했을 경우에 일반적인 Chemical CIP 효과로 11.4% 증가하였다. NaOH + micro-bubble를 사용했을 시 Flux 회복률이 13% 증가하였다. 가성소다로만 사용했을 때와 가성소다 + micro-bubble 사용은 초기 SWRO Flux에 가깝게 회복이 되어진 걸 확인할 수 있다. 세정 결과는 기존 가성소다 사용했을 때 대비해서 가성소다와 micro-bubble를 주입한 경우 비교하여 약 13% 이상 향상됨을 확인하였다. Flux 회복률은 가성소다와 micro-bubble 동시에 사용하였을 때 세정이 가장 좋은 효율이 보여진다. 여기서 가성소다로와 micro-bubble을 동시에 사용했을 때 가성소다보다 나은 결과를 나타낸 이유는 cavitation 작용으로 미세기포가 붕괴하면 입자의 표면을 세정시키는 결과로 판단된다. micro-bubble이 그리고 가성소다와 micro-bubble를 사용하여 세정을 하였을 경우 짧은 시

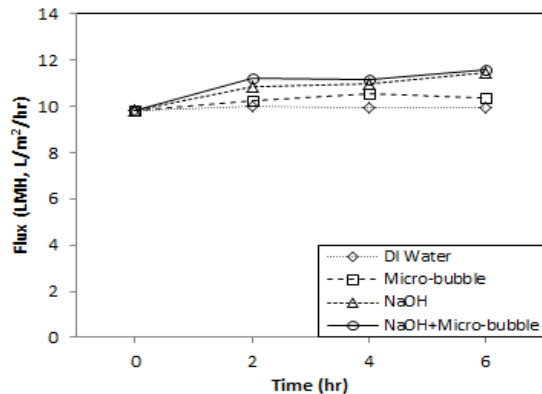


Fig. 4. Compared flux after each cleaning method.

간에 가성소다 6시간을 운전했을 때 비슷한 회복률을 나타내어 미세기포를 이용한 세정 효과를 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 해수담수화용 폴리아미드계 역삼투 분리막 모듈 내에 자체 설계한 미세기포 발생기를 발생에 따른 유기물 오염 세정 효율을 평가하였다.

세정 방법을 달리하여 세정 효율과 염 제거율, flux 개선효과를 알아보았다. 가성소다로만 세정할 때보다 가성소다와 micro-bubble로 사용한 세정 방법이 효과적으로 나타내었다. 하지만 micro-bubble로만 세정할 경우 효과적이지 못하다. 가성소다를 저농도로 세정시간을 길게 했을 경우 어떠한 영향을 작용할 것인지와 동력없이 micro-bubble를 발생하는 Ventury를 이용하여 세정 효율과 경제성을 판단하는 추가 실험이 필요하다.

감 사

본 연구는 국토교통부 플랜트연구개발사업의 연구비지원(과제번호 161FIP-C088924-03)에 의해 수행되었습니다.

Reference

1. I. S. Kim and B. S. Oh, "Technologies of seawater Desalination and Wastewater Reuse for solving wa-

- ter shortage", *J. Korean Society of Environmental Engineers*, **30**, 1197 (2008).
2. J. Y. Park, S. H. Hong, J. H. Kim, W. W. Jeong, J. W. Nam, Y. H. Kim, M. J. Jeon, and H. S. Kim, "Evaluation on chemical cleaning efficiency of organic-fouled SWRO membrane in seawater desalination process", *J. Korean Society of Water and Wastewater*, **25**, 177 (2011).
3. A. G. I. Dalvi, R. Al-Rasheed, and M. A. Javeed, "Studies on organic foulants in the seawater feed of reverse osmosis plants of SWCC", *Desalination*, **132**, 217 (2000).
4. K. Katsoufidou, S. G. Yiantsios, and A. J. Karabelas, "An experimental study of UF membrane fouling by humic acid and sodium alginate solution the effect of backwashing on flux recovery", *Desalination*, **220**, 214 (2008)
5. S. Hong and M. Elimelech, "Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes", *J. Membr. Sci.*, **132**, 159 (1997).
6. M. Nystrom, L. Kaipia, and S. Luque, "Fouling and retention of nanofiltration membranes", *J. Membr. Sci.*, **98**, 249 (1995).
7. S. Kim, S. Lee, E. Lee, S. Sarper, C. Kim, and J. Cho, "Enhanced or reduced concentration polarization by membrane fouling in seawater reverse osmosis (SWRO) processes", *Desalination*, **247**, 162 (2009).
8. W. S. An, S. Y. Lee, and M. Elimelech, "Chemical and physical aspects of cleaning of organic-fouled reverse osmosis membrane", *J. Membr. Sci.*, **272**, 198 (2006).
9. Y. H. Kim, "Evaluation of physical and chemical cleaning performance of microbubble of secondary effluents treatment membrane system" Ph.K. Dissertation, Uni. of sungkyunkwan, Seoul, Korea (2011).