

역삼투에 의한 염수탈염

현 영 진

제주대학교 환경연구소

Desalination of Brackish Water through the Reverse Osmosis

Young jin, Hyun

*Environmental Research Institute, Cheju National University,
Cheju, Chejudo, 690-756, Korea*

The experiments were carried out through the reverse osmotic membrane to predict the effects of the operating conditions on the desalination. As the permeation fluxes of water under the constant flow rate and feed concentration were increased with the reverse osmotic pressure, the ratios of desalination were increased.

As the feed concentrations were increased under the constant flow rate and reverse osmotic pressure, the ratios of desalination were decreased due to the larger permeation fluxes of salt than water.

There were negligible effects of flow rate on the ratio of desalination under the constant reverse osmotic pressure and feed concentration. Therefore, the main operating variables were the feed concentration and the reverse osmotic pressure to determine the ratios of desalination.

1. 서 론

지구에 내리는 년평균 강수량은 육지표면을 74cm 두께로 덮을 정도로 알려져 있다. 그러나 산업 및 생

활용수가 급증하고 화석연료의 과다 사용에 의한 기상이변으로 여러나라들이 용수기근에 시달리고 있다.¹⁾²⁾

하천이 없고 모든 용수를 전적으로 지하수에만 의존하는 본 道의 경우 사시사철 용수의 부족을 겪고 있다.

따라서 지하수가 무절제하게 개발됨으로써 동부지역은 물론 서·북부 해안지역의 용출수에 염분함유량도 증가하고 있다. 동부지역의 지하수에 함유된 염의 농도가 해수의 침입으로 1,000ppm인 곳도 있다. 공동주택단지 및 중산간지역 지하수에도 질산성 질소함유량도 증가하고 있다. 용수부족에 대비한 다양한 연구가 진행되고 있다.³⁾ 그 대표적인 연구가 역삼투 공정에 의한 용수 확보이다. 이 공정은 1953년 미국의 Florida 대학 Reid교수가 해수를 담수화시키는데 적용되면서 알려졌다.

역삼투는 삼투와는 달리 용액쪽에 삼투압 이상의 압력을 가하여 용매분자가 반투막을 통하여 순수용매쪽으로 이동하는 현상이다. 즉 용질과 용매가 분리되어 용질이 농축되는 공정이다.⁴⁾

역삼투 공정의 특성으로, 역삼투압 변화가 주 조작변수이고 장치가 간단하다. 고온 증발법에서 나타나는 관의 부식우려도 없다. 한편, 장기간조작으로 막표면에 농도분극, 막기공 배열의 이상 및 막 안정성저하 등으로 분리 성능이 감소되는 단점도 있다.⁵⁾

막에는 비대칭막과 복합막이 있다. 비대칭막은 0.25 μm 의 조밀 활성스킨층과 수 μm 의 세공이 존재하는 스폰지형의 지지층으로 구성된다. 복합막은 분리기능을 담당하는 조밀층과 지지층이 서로 다른 재질로 구성된다.

막의 재질로 셀룰로오스 유도체, 나이트릴-아마이드와 같은 폴리아마이드 유도체, 폴리피란과 같은 폴리머 등이 사용된다. 셀룰로오스막은 U.O.P, Du Pont, Dow Chemical, 폴리아마이드막은 Du Pont, 폴리머막은 일본의 데진·주일화학, U.O.P에

서 제조된다.

압력차를 이용한 막분리공정에는 압력과 세공크기에 따라 정밀여과, 한외여과, 역삼투공정이 있다. 저압(2atm 이하)에서 200Å 이상의 세공을 갖는 다공성 막을 이용하여 콜로이드입자, 곰팡이와 같은 균의 분리에 정밀여과가 적용된다.⁶⁾ 중압(10atm 이하)에서 10Å~200Å의 세공을 갖는 다공성막을 이용하여 고분자혼합물의 분리에 한외여과가 이용된다.⁷⁾ 고압(10atm 이상)에서 10Å 이하의 세공을 갖는 염 또는 저분자 혼합물의 분리에 역삼투막 공정이 적용된다.

역삼투에 의한 탈염은 막의 세공을 통한 염수 또는 순수의 기공흐름 및 확산의 상호관계에 의해 해석되었다.⁸⁾ 이의 분리효율을 상승시키고져 막계면에서 염의 농도분극을 정량적으로 고찰하여 이의 억제연구도 진행되었다.^{9),10)} 용질분자들과 막표면간의 친화도에 따른 상호작용을 고려하여 분리성능을 해석하기도 하였다.¹¹⁾

본 道의 인근도서인 우도의 용수원 확보를 위해 해수의 역삼투 공정을 건설하고 있다. 따라서 본 연구에서는 용수 확보 및 처리차원에서 급액농도 범위를 지하수의 최대 염농도(1,000ppm) 이상으로 선정하였다. 염수(2,500~10,000ppm)의 탈염효과를 고찰하기 위하여 역삼투 공정에 의한 탈염연구를 수행하였다.

역삼투압, 급액농도 및 유량변화에 따른 염수와 순수의 플럭스변화로부터 조업변수에 따른 탈염효과를 고찰하여, 지하수에 함유된 염수(brackish water)의 탈염을 향상시키는 조업범위를 제시하는데 본 연구의 목적을 두었다.

아울러 향후 이 조업범위에서 해수탈염에 의한 음용수 확보에 대한 경제성 평가도 수행할 예정이다.

2. 실험장치 및 방법

2-1 실험장치

본 연구에 사용된 역삼투막은 Fig. 1과 같이 초박막층, 미세다공층 및 섬유강화피륙층(nonwoven web

reinforcing fabric)으로 구성되며, 방향성 폴리아미드로 이루어진 thin-film composite membrane (FILMTEC FT30)이다. 특히 미세다공지지층은 폴리술폰층으로 기공성과 강도가 양호하다. 막의 표면적은 $23ft^2$ 이다. 최대 조작압력과 온도는 6.9MPa, 45°C이다.

pH범위는 2~11이다. 최대 급액유량은 16gpm이다. 실험장치는 Fig. 2와 같다.

Reverse Osmosis Membrane

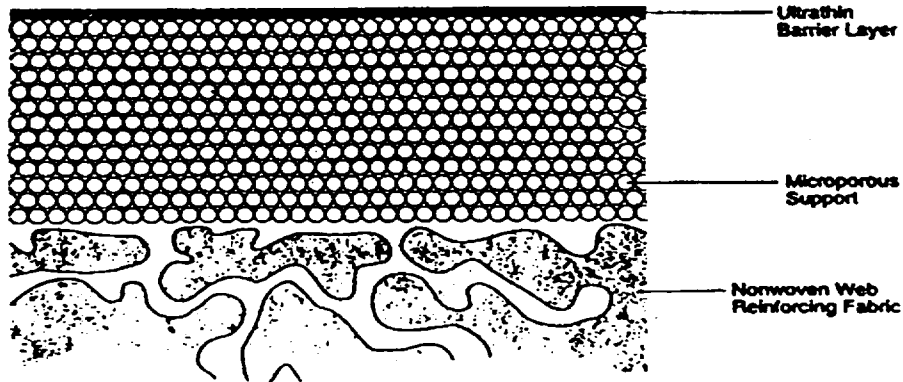


Fig. 1. Cross-section of a thin-film composite reverse osmosis membrane

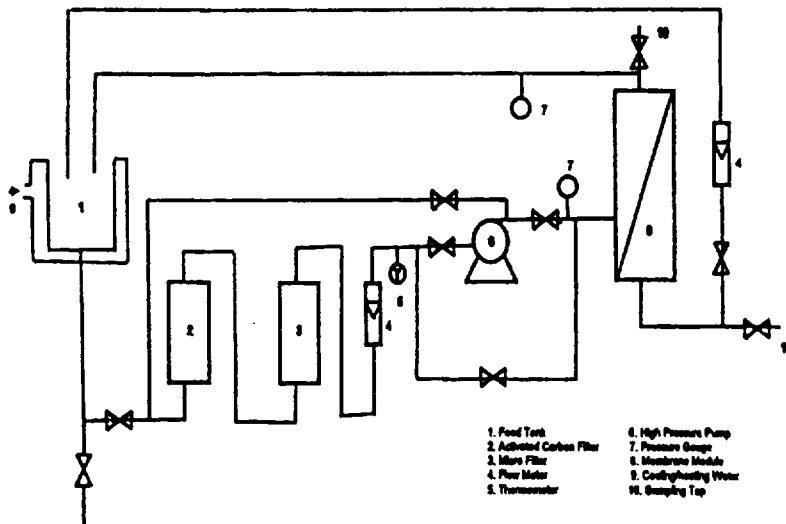


Fig. 2. Schematic diagram of R.O. apparatus

2-2 실험방법

염의 농도는 2,500ppm, 5,000ppm, 7,500ppm, 10,000ppm으로 변화시켰다. 역삼투압은 $5\text{Kg}/\text{cm}^2$, $10\text{Kg}/\text{cm}^2$, $15\text{Kg}/\text{cm}^2$, $20\text{Kg}/\text{cm}^2$, $25\text{Kg}/\text{cm}^2$ 으로 변화시켰다. 유량은 $8\text{ l}/\text{min}$, $12\text{ l}/\text{min}$, $16\text{ l}/\text{min}$, $20\text{ l}/\text{min}$ 으로 변화시켰다.

처리수의 염농도는 전기전도도를 측정하여 표준 환산선으로부터 결정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 역삼투압에 따른 염의 플럭스 변화

역삼투압에 따른 염의 투과플럭스 변화를 Fig. 3. 4.에 나타내었다. 급액농도가 2,500ppm일 때, 역삼투압이 $10\text{Kg}/\text{cm}^2$ 일때까지는 염과 순수의 투과플럭스가 거의 동일하여 유입유량에 무관하게 염의 투과플럭스가

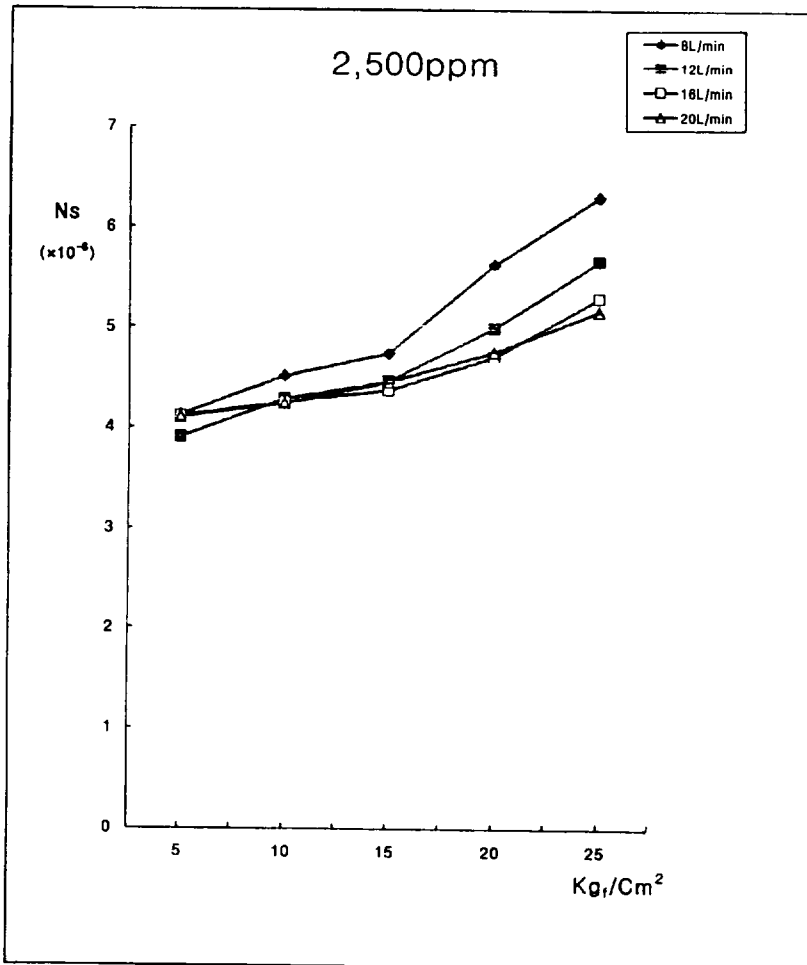


Fig. 3. Salt flux in reverse osmosis with the variation of reverse osmotic pressure under the constant feed concentration(2,500ppm) and the constant flow rate (8 - 20L/min)

일정하였다. 그 이상에서는 염의 투과플럭스가 역삼투압에 따라 선형적으로 증가하였다. 동일 역삼투압에서 유입유량이 커지면 벌크흐름에 의한 순수 투과유량이 커짐으로서 염의 투과플럭스는 감소하였다.

따라서 본 급액농도에서는 역삼투압과 유입유량이 증가하면 탈염효과가 향상됨을 예측할 수 있었다.

급액농도를 10,000ppm으로 증가시키면, 유입유량과 역삼투압에 무관

하게 염의 투과플럭스가 증가하였다. 한편 역삼투압이 커지면, 염의 투과플럭스는 미소하게 감소하다 증가하는 경향을 보임으로서 거시적으로는 일정하였다. 이로부터, 급액농도가 10,000ppm이면 역삼투압 및 유입유량변화가 염의 투과플럭스에 영향을 주지 못했다.

이로부터 염의 투과플럭스에 미치는 주 조업변수는 역삼투압과 급액농도로 나타났다.

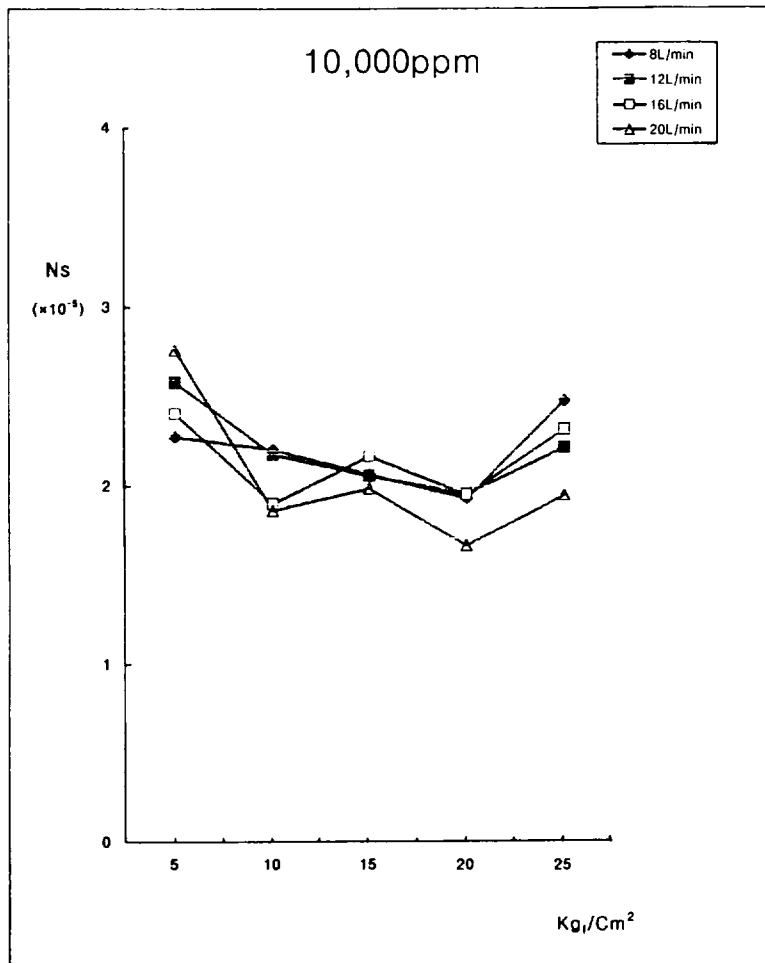


Fig. 4. Salt flux in reverse osmosis with the variation of reverse osmotic pressure under the constant feed concentration(10,000ppm) and the constant flow rate (8-20L/min)

3-2 유입유량에 따른 염의 투과 플럭스변화

Fig. 5. 6.에 유입유량에 따른 염의 투과플럭스의 변화를 나타내었다. 급액농도가 2,500ppm일 때, 역삼투압이 $20\text{Kg}/\text{cm}^2$ 보다 크고 유입유량이 커지면 염의 투과플럭스는 미소하게 감소하다 일정하였다. 역삼투압이 $5\sim 15\text{Kg}/\text{cm}^2$ 일 때 염의 투과

플럭스는 유입유량에 무관하게 거의 일정하였다.

급액농도가 10,000ppm으로 증가하면, 염의 투과플럭스는 유입유량과 역삼투압에 무관하게 2,500ppm일 때보다 증가하였으나 그 값은 거의 일정하였다.

이로부터 역삼투압과 급액농도가 증가할수록 유입유량은 염의 투과플럭스에 무관함을 보여주었다.

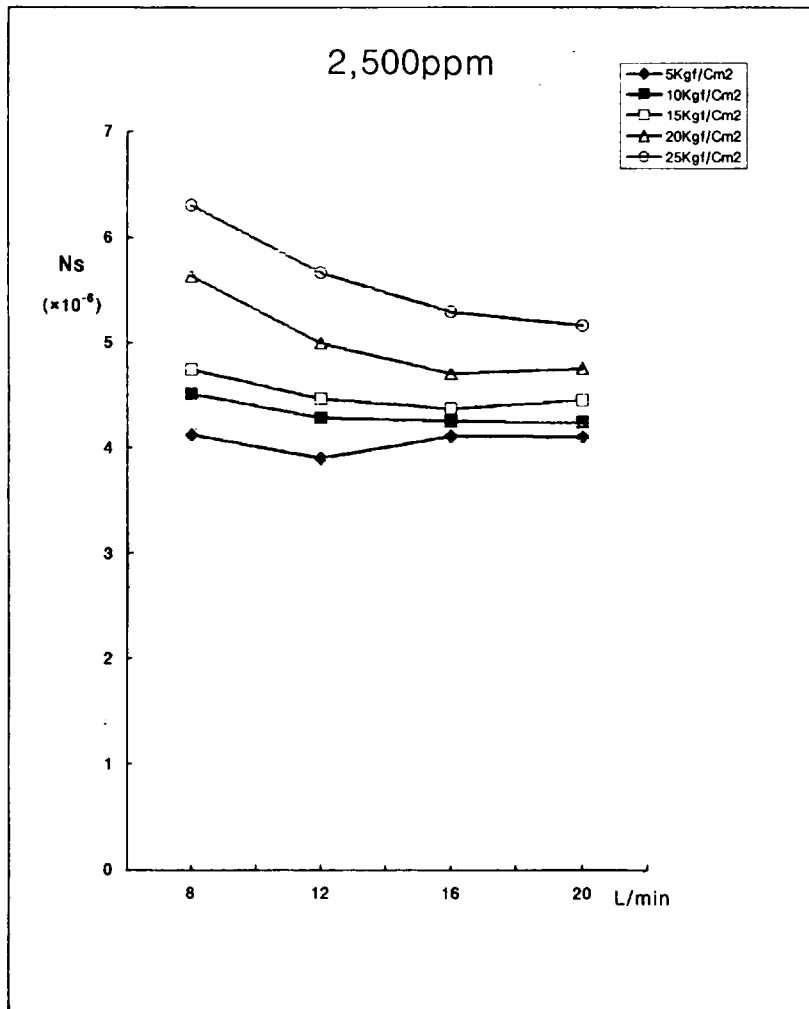


Fig. 5. Salt flux in reverse osmosis with the variation of flow rate under the constant feed concentration(2,500ppm) and the constant reverse osmotic pressure(5 - 25Kg_f/Cm²)

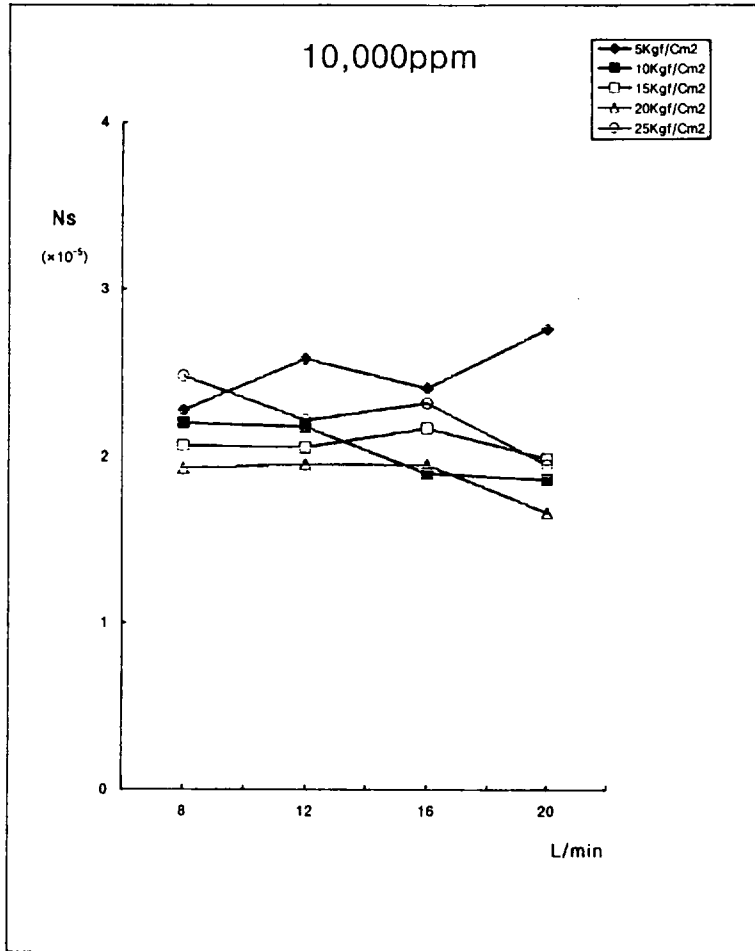


Fig. 6. Salt flux in reverse osmosis with the variation of reverse osmotic pressure under the constant feed concentration(10,000ppm) and the constant flow rate (8 - 20L/min)

3-3 역삼투압에 따른 순수의 투과 플럭스변화

Fig. 7. 8. 9. 10.에 역삼투압에 따른 순수의 투과플럭스 변화를 나타내었다. 역삼투압이 커질수록 선택적으로 염보다는 순수의 투과가 지배적으로 일어나기에 순수의 투과플럭스는 선형적으로 증가하였다. 일정 급액농도와 일정 역삼투압에서

유입유량이 커지면 벌크흐름에 의한 순수의 투과플럭스가 증가하였다. 또한 일정 역삼투압과 일정 유입유량에서 급액농도가 커지면 염의 투과플럭스가 커져, 상대적으로 급액농도가 10,000ppm일 때의 순수의 투과플럭스는 2,500ppm일 때보다 감소하였다.

이로부터도 탈염의 조업변수는 역삼투압과 급액농도로 나타났다.

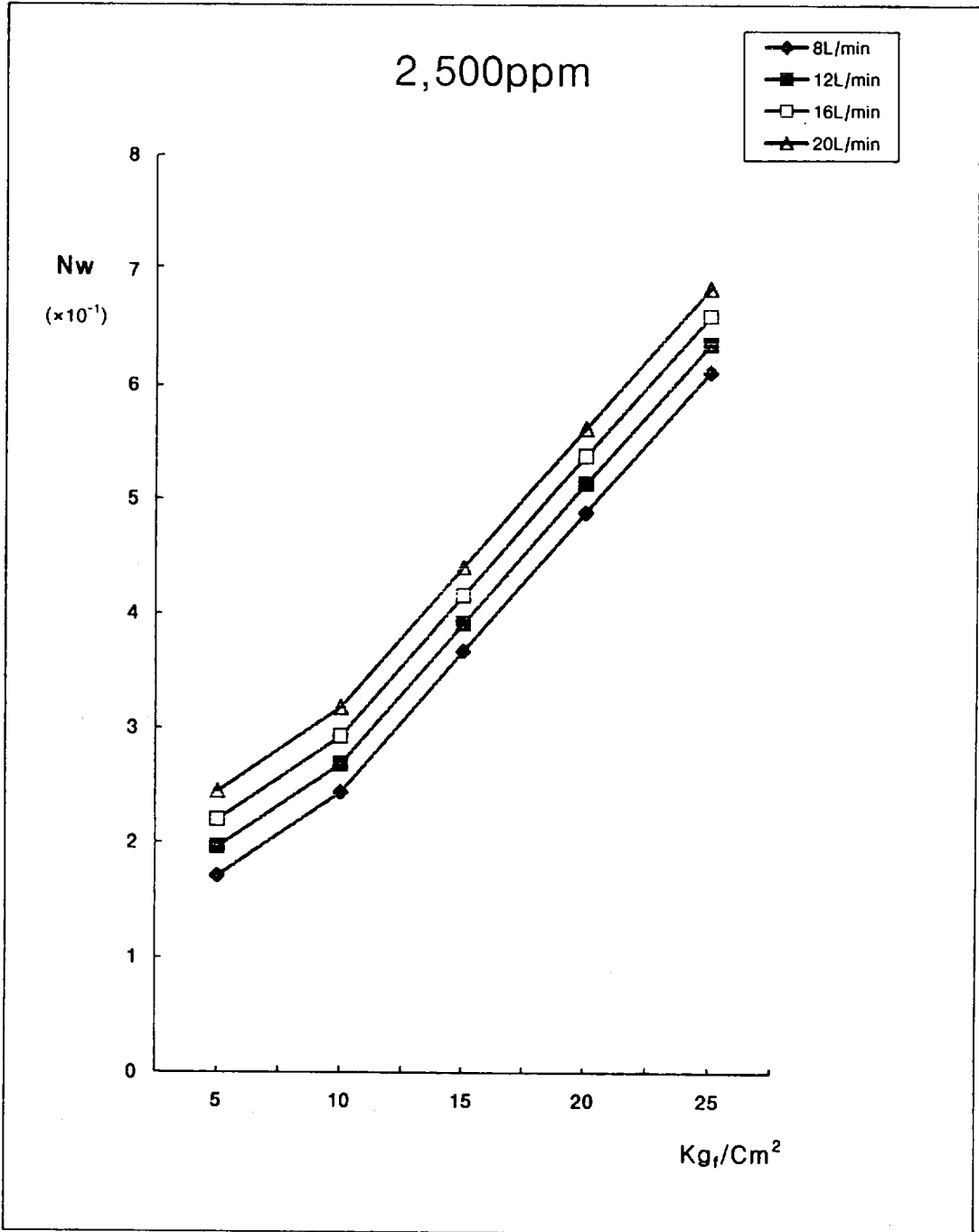


Fig. 7. Water flux in reverse osmosis with the variation of reverse osmotic pressure under the constant feed concentration(2,500ppm) and the constant flow rate (8 - 20L/min)

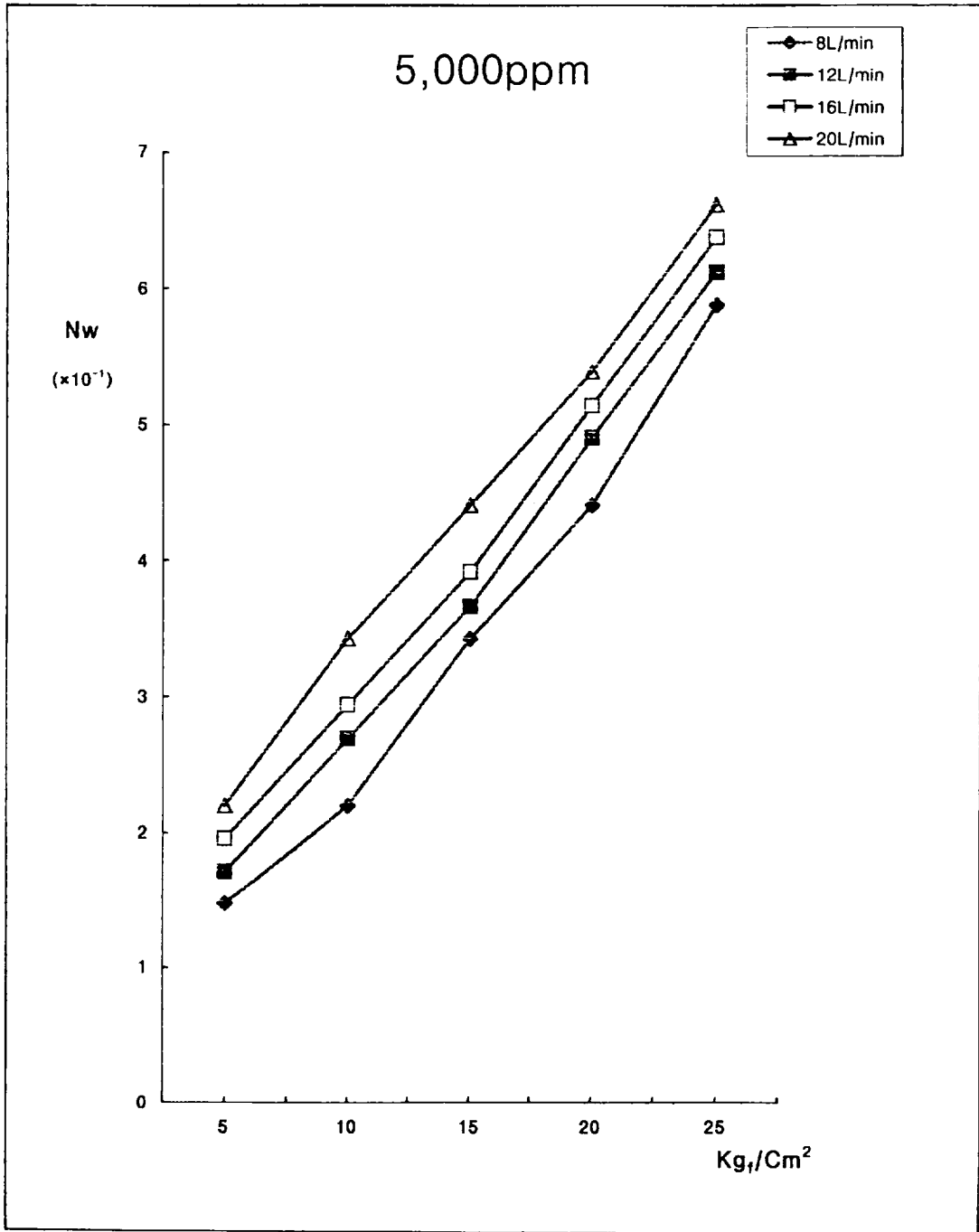


Fig. 8. Water flux in reverse osmosis with the variation of reverse osmotic pressure under the constant feed concentration(5,000ppm) and the constant flow rate (8 - 20L/min)

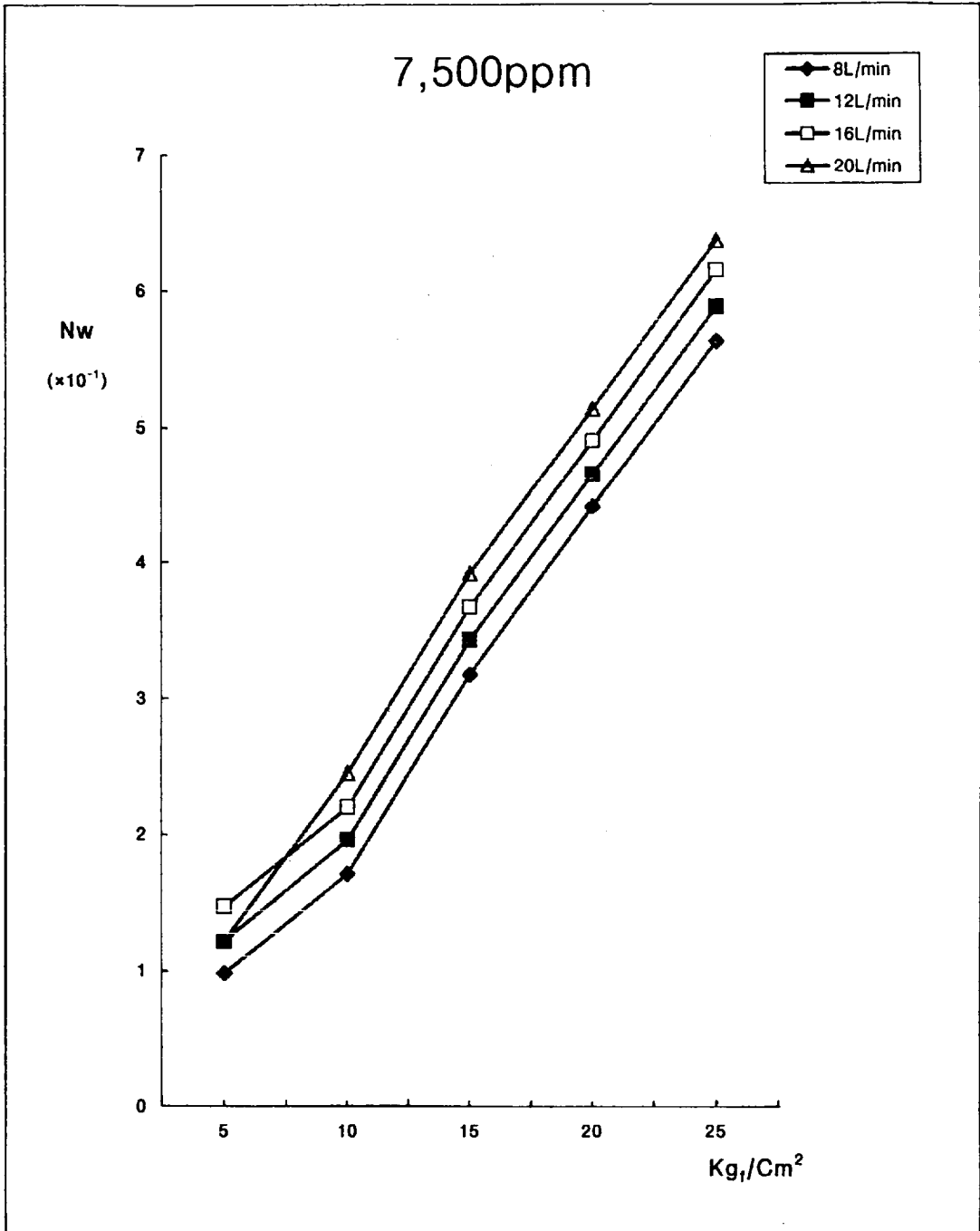


Fig. 9. Water flux in reverse osmosis with the variation of reverse osmotic pressure under the constant feed concentration(7,500ppm) and the constant flow rate (8 - 20L/min)

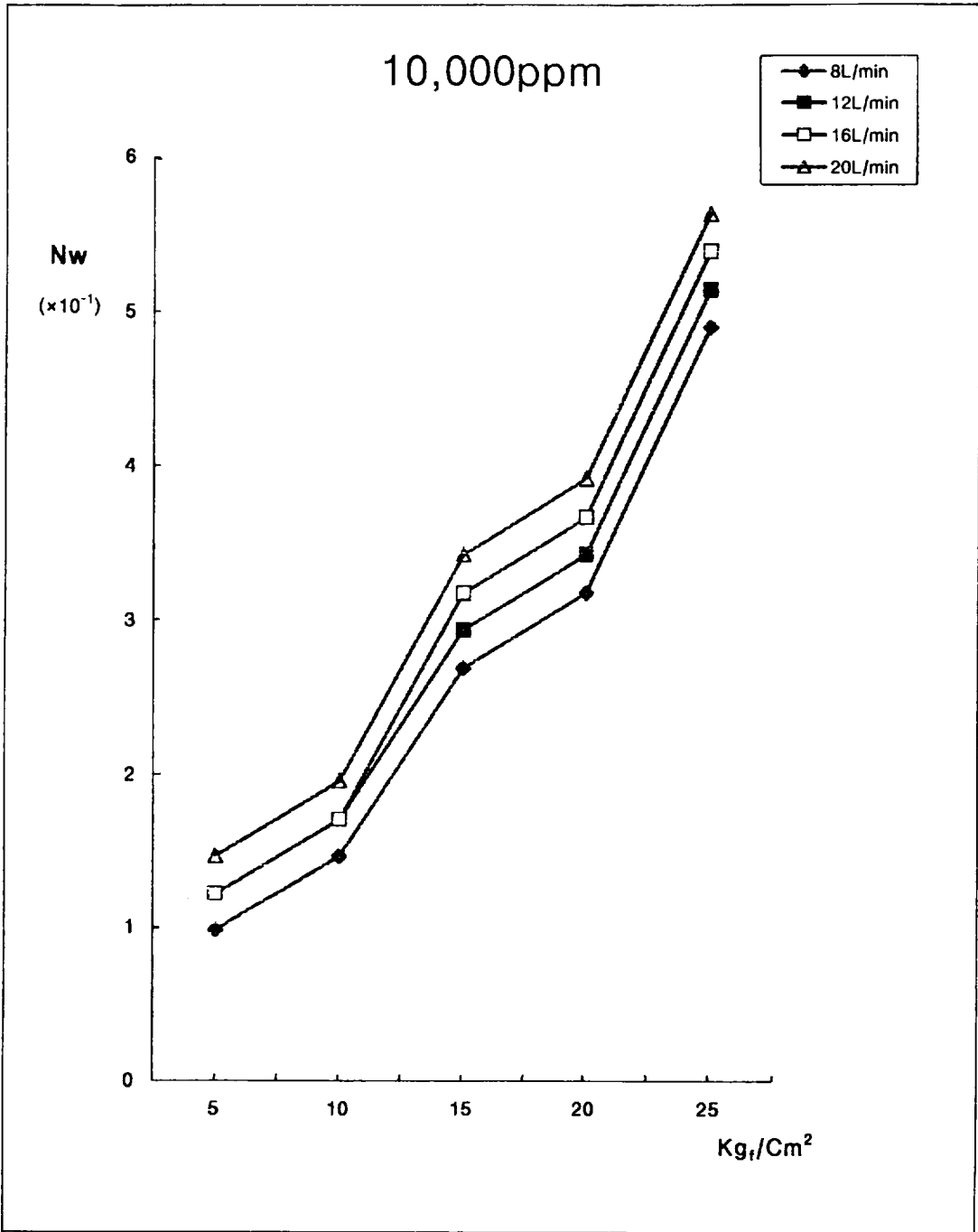


Fig. 10. Water flux in reverse osmosis with the variation of reverse osmotic pressure under the constant feed concentration(10,000ppm) and the constant flow rate (8 - 20L/min)

3-4 역삼투압에 따른 탈염율의 변화

Fig. 11.에 역삼투압에 따른 탈염율의 변화를 나타내었다. 급액농도가 2,500ppm일 때 유입유량과 역삼투압이 커지면 염보다는 순수의 투과플럭스가 증가하여 탈염율이 99.04~99.7%로 증가하였다. 일정 역삼투압 및 일정 급액농도(2,500ppm)에서 유입유

량이 커지면 순수의 투과플럭스가 증가하여 탈염율이 미소하게 증가하였다.

급액농도가 10,000ppm일 때 유입유량과 역삼투압이 커지면 순수의 투과플럭스가 증가하여 탈염율이 97.68~99.65%로 증가하였다. 일정 역삼투압 및 일정 급액농도(10,000ppm)에서 유입유량이 커지면 벌크흐름에 의한 순수의 투과플럭스 증가로 탈염율이 증가하였다.

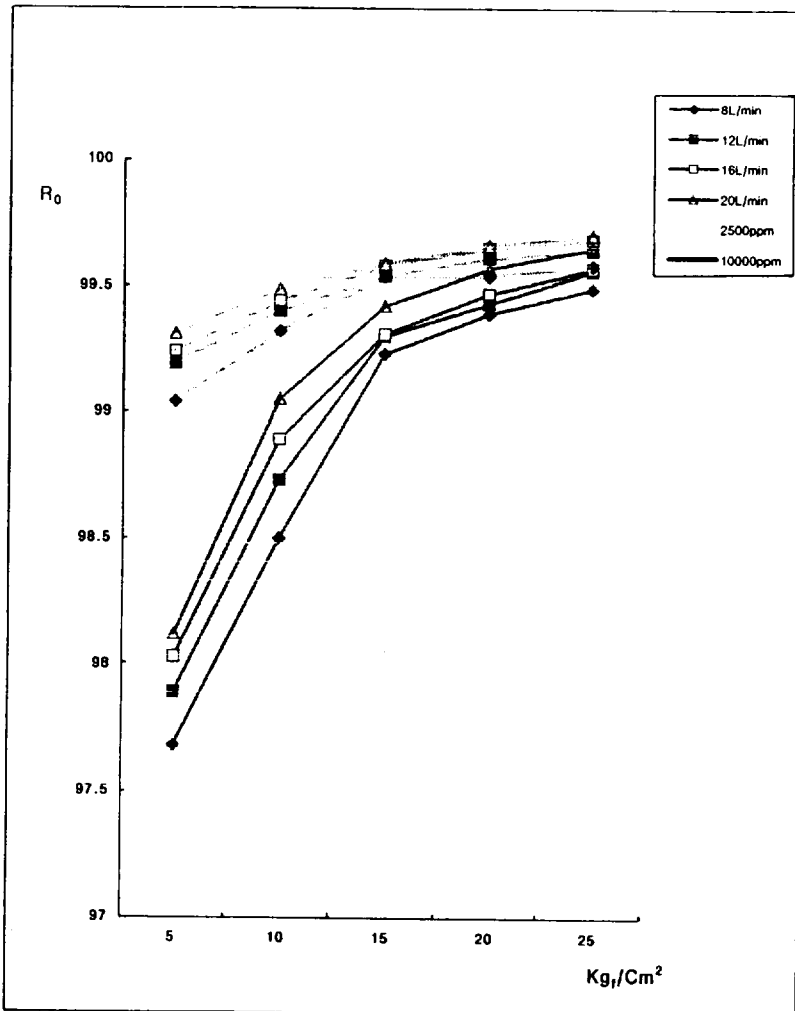


Fig. 11. Desalination ratio with the variation of reverse osmotic pressure under the constant feed concentration(2,500ppm & 10,000ppm) and the constant flow rate (8 - 20L/min)

일정 역삼투압 및 일정 유입유량에 대하여 급액농도가 커지면 염의 투과플럭스 증가율이 순수의 투과플럭스 증가율보다 커서 탈염율이 감소하였다.

따라서 탈염율에 미치는 조업변수는 역시 역삼투압과 급액농도로 나타났다.

4. 결 론

역삼투막에 의한 제주도 지하수에 유입된 염수(brackish water)의 탈염을 실험한 결과 다음과 같은 내용을 제시할 수 있었다.

1. 역삼투압이 증가하고 급액농도가 감소할수록 순수의 투과플럭스가 선형적으로 증가하여 탈염율이 증가하였다. 일정 역삼투압과 일정 급액농도에서 유입유량은 염의 투과플럭스에 거의 영향을 미치지 않았지만 순수의 투과플럭스에는 미소하게 영향을 미쳤다. 따라서 탈염에 미치는 조업변수는 역삼투압과 급액농도였다.

2. 급액농도가 10,000ppm일 때 유입유량 및 역삼투압에 따른 순수의 투과플럭스가 급격히 증가하였기에 급액농도 2,500~10,000ppm에 대한 조업범위로서 역삼투압은 5~25Kg/cm², 유입유량은 8~20 l/min였다.

3. 본 실험범위내에서 급액농도가 2,500~7,500ppm일때 탈염율은 98.12~99.7%였다. 급액농도가 10,000ppm일 때 탈염율은 97.68~99.65%였다.

기 호 설 명

$$R_o : \frac{C_{si} - C_{so}}{C_{si}} \times 100$$

C_{si} : input salt concentration (mg/ℓ)

C_{so} : output salt concentration (mg/ℓ)

N_s : salt flux (mg/cm² · s)

N_w : water flux (mg/cm² · s)

참 고 문 헌

1. Korea Water Resources Corporation, Journal of Water Resources Information, Vol.2, No.3, 6-18 (1997)
2. Research Society of Conservation and Quality of Ground Water, Vol.2, No. 1, 30-48 (1997)
3. R. E. Kesting, U. S. Patent 3, 290, 286 (1966)
4. Bangham, A. G., Prog. Biophys. and Biol. Vol.18, 29-95 (1968)
5. E. G. Schwartz, W. G. Reid, Ind. Eng. Chem. Vol. 56, 26 (1964)
6. Schweizer, P. A. : "Handbook of Separation Techniques for Chem. Engineer" Mc Graw-Hill N. Y. (1973)
7. Leob, S. and Sourirajan, S : UCLA Eng. Report NO. 60, 60 (1960)
8. T. K. Sherwood and R. E. Fisher, I. & E. C. Fundamentals, Vol.6, NO.1, 2-12 (1967)
9. William N. Gill and Chi Tien, I. & E. C. Fundamentals, Vol. 4, NO.4, 434-445 (1965)
10. T. K. Sherwood and Lawrence Dresner, I. & E. C. Fundamental, Vol. 4, NO.2, 113-118 (1965)
11. H. Mehdizadeh and J. M. Dickson, AIChE J, Vol. 39, NO.3, 434-445 (1993)