

역삼투에 의한 염수탈염의 정상조작조건

현 영진*

공과대학 화학공학과

The Steady Operation Conditions for the Desalination through the Reverse Osmosis

Young-Jin Hyun*

Department of Chemical Engineering, Cheju National University, Cheju, Chejudo, 690-756, Korea

The conditions of steady desalination in brackish water through the reverse osmotic membrane are predicted. The experimental variables are reverse osmotic pressure(10 atm, 30atm, 50atm), feed concentration(2,500ppm, 5,000ppm, 7500ppm, 10,000ppm) and the operating time(5min~30min). The slope of dN_s / dt is decreased steeply for the initial permeation of salt. The time reaching the steady operation is decreased with increase of reverse osmotic pressure regardless of the feed concentration. The steady operation times are 10min and 25min respectively for the 10atm and 25atm. Desalination percentage is 97.6%~99.5% for the steady operation condition.

서 론

지구에 내리는 년평균 강수량은 육지표면을 74cm 두께로 덮을 정도로 알려져 있다. 그러나 산업 및 생활용수가 급증하고 화석연료의 과다사용에 의한 기상이변으로 여러나라들이

용수기근에 시달리고 있다.¹⁾ 하천이 없고 모든 용수를 전적으로 지하수에만 의존하는 본 道의 경우 사시사철용수의 부족을 겪고 있다. 따라서 지하수가 무절제하게 개발됨으로써 동부지역은 물론 서·북부 해안지역의 용출수에 염분 함유량도 증가하고있다.

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 담수화시키는 데 적용되면서 알려졌다. 역삼투는 삼투와는 달리 용액쪽에 삼투압이상의 압력을 가하여 용매분자가 반투막을 통하여 순수용매쪽으로 이동하는 현상이다. 즉 용질 과 용매가 분리되어 용질이 농축되는 공정이다.⁴⁾

역삼투공정의 특성으로, 역삼투압변화가 주 조작변수이고 장치가 간단하다. 고온 증발법에서 나타나는 관의 부식우려도 없다. 한편, 장기간조작으로 막표면에 농도분극, 막기공 배열의 이상 및 막 안정성저하 등으로 분리성능이 감소되는 단점도 있다.⁵⁾

막에는 비대칭막 과 복합막이 있다. 비대칭막은 0.25 μm 의 조밀 활성스킨층 과 수 μm 의 세공이 존재하는 스폰지형의 지지층으로 구성된다. 복합막은 분리기능을 담당하는 조밀층 과 지지층이 서로 다른 재질로 구성된다. 막의 재질로 셀룰로오스 유도체, 나이트릴-아마이드와 같은 폴리아마이드 유도체, 폴리퓨란과 같은 폴리머 등이 사용된다. 셀룰로오스막은 U.O.P, Du Pont, Dow Chemical, 폴리아마이드막은 Du Pont, 폴리머막은 일본의 데진·주일화학, U.O.P에서 제조된다.

압력차를 이용한 막분리 공정에는 압력 과 세공크기에 따라 정밀여과, 한외여과, 역삼투공정이 있다. 저압(2atm 이하)에서 200Å 이상의 세공을 갖는 다공성 막을 이용하여 콜로이드입자, 곰팡이와 같은 균의 분리에 정밀여과

가 적용된다.⁶⁾ 중압(10atm이하)에서 10 Å ~ 200Å의 세공을 갖는 다공성막을 이용하여 고분자혼합물의 분리에 한외여과가 이용된다.⁷⁾ 고압(10atm이상)에서 10Å 이하의 세공을 갖는 염 또는 저분자 혼합물의 분리에 역삼투압공정이 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⁾ 용질분자들 과 막표면간의 친화도에 따른 상호작용을 고려하여 분리성능을 해석하기도 하였다.¹¹⁾

따라서 본 연구에서는 용수 확보차원에서 염수의 탈염효과를 고찰하기 위하여 역삼투공정에 의한 탈염연구를 수행하였다. 역삼투압, 금액농도 및 유량변화에 따른 염수 와 순수의 플럭스 변화를 조작시간을 증가시키면서 고찰하였다. 이런 실험결과로부터 정상조작에 미치는 변수들을 도출하여 정상조작조건들을 제시하는 데 본 연구의 목적을 두었다.

실험장치 및 방법

실험장치

본 연구에 사용된 역삼투막은 Fig.1.과 같이 초박막층, 미세다공층 및 섬유강화 피륙층(nonwoven web reinforcing fabric)으로 구성되며, 방향성 폴리아마이드로 이루어진 thin-film composite membrane(FILMTEC FT30)이다. 특히 미세다공지지층은 폴리슬폰층으로 기공성과 강도가 양호하다. 막의 표면적은 23ft²이다. 최대 조작압력과 온도는 6.9MPa, 45°C이다.

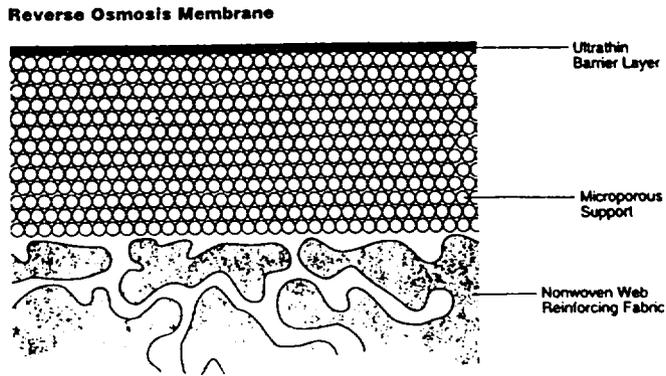


Fig. 1. Cross-Section of a Thin-film Composite Reverse Osmosis Membrane

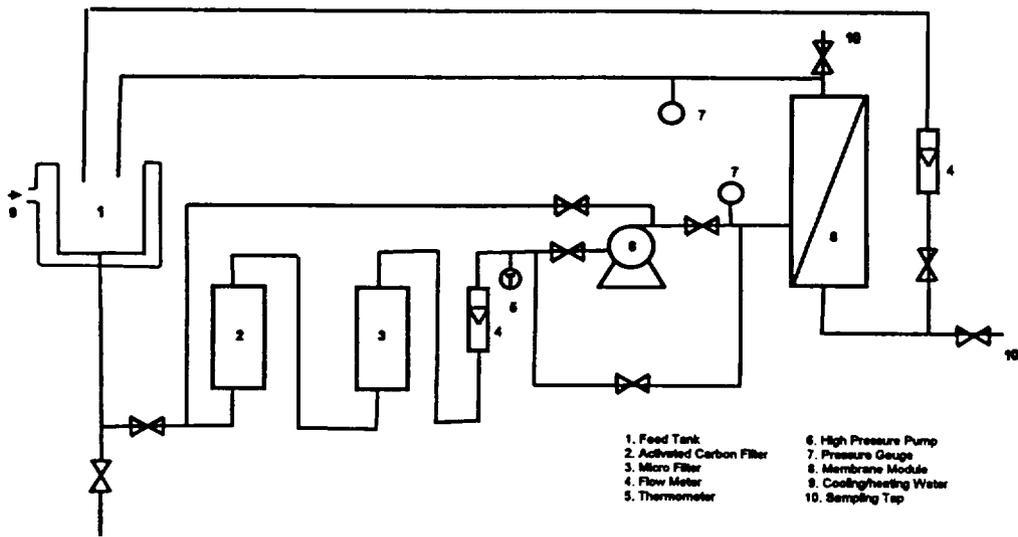


Fig. 2. Schematic Diagram of R.O. Apparatus

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

실험방법

염의 농도는 2500ppm, 5000ppm, 7500ppm, 10,000ppm으로 변화시켰다. 역삼투압은 10atm, 20atm, 30atm, 50atm으로 변화시켰다. 유량은 2.2gal/hr ~ 32gal/hr으로 변화시켰다. 위 조건에 따라 연속조작을 수행한 후 5분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분간격으로 시료채취기를 통해 처리수를 채취하였다. 처리수의 염농도는 전기전도도를 측정하여 표준환산선으로 부터 결정하였다.

결과 및 고찰

급액농도와 조작시간에 따른 염의 플럭스변화

Fig.3, 4, 5에 역삼투압을 10atm, 30atm, 50atm으로 각각 일정하게 유지하고, 조작시간의 변화와 2500ppm, 5000ppm, 7500ppm, 10,000ppm의 급액농도에 따른 염의 플럭스를 표시하였다.

조작시간에 따른 막을 투과하는 염의 플럭스는 투과초기인 10분 사이에 투과기전력차이가 최대이기에 급격히 감소하는 경향을 보여주었다. 특히 급액농도 보다는 역삼투압이 증가할 때 초기 염의 투과플럭스 감소경향이 커졌다. 일정 역삼투압에서 급액농도가 커지면 염의 투과플럭스도 증가하였다. 역삼투압이 10atm이고 급액농도가 7500ppm까지 조작시간 25분에서 염의 투과플럭스가 일정하였다. 10,000ppm

일 때 염의 투과플럭스가 현저히 증가하였다.

역삼투압이 30atm, 50atm으로 증가할 때, 급액농도에 무관하게 조작시간이 각각 15분, 10분에서 염의 투과플럭스가 일정하였다. 따라서 정상조작에 이르는 시간은 역삼투압 증가에 따라 25분, 15분, 10분으로 나타났다. 이로부터 염의 투과플럭스에 미치는 주 조작변수는 역삼투압으로 나타났다.

역삼투압 과 조작시간에 따른 염의 플럭스변화

Fig.6. 7. 8.에 급액농도를 2500ppm, 7500ppm, 10,000ppm으로 각각 일정하게 유지하고, 역삼투압을 10atm, 30atm, 50atm으로 변화시키면서 조작시간변화에 따른 염의 투과플럭스를 표시하였다.

조작시간에 따른 막을 투과하는 염의 플럭스도 동일하게 투과초기 조작시간 5분에서 10분 사이에 급격히 감소하였다. 역삼투압이 증가하면 투과초기 막을 투과하는 염의 플럭스도 현저히 감소하였다. 일정 급액농도 및 일정 조작시간에서 역삼투압이 증가하면 염의 투과플럭스는 증가하였다.

급액농도가 2500ppm, 5000ppm, 7500ppm으로 일정할 때는 역삼투압이 일정할 경우와는 달리 역삼투압이 커짐에 따라 조작시간 15분 이상에서 염의 투과플럭스가 증가하였다.

정상조작에 이르는 시간은 급액농도에 무관하게 역삼투압이 10atm일 때 25분, 역삼투압이 50atm일 때 10분으로 나타났다. 따라서 염의 투과플럭스에 미치는 주 조작변수는 역삼투압이다.

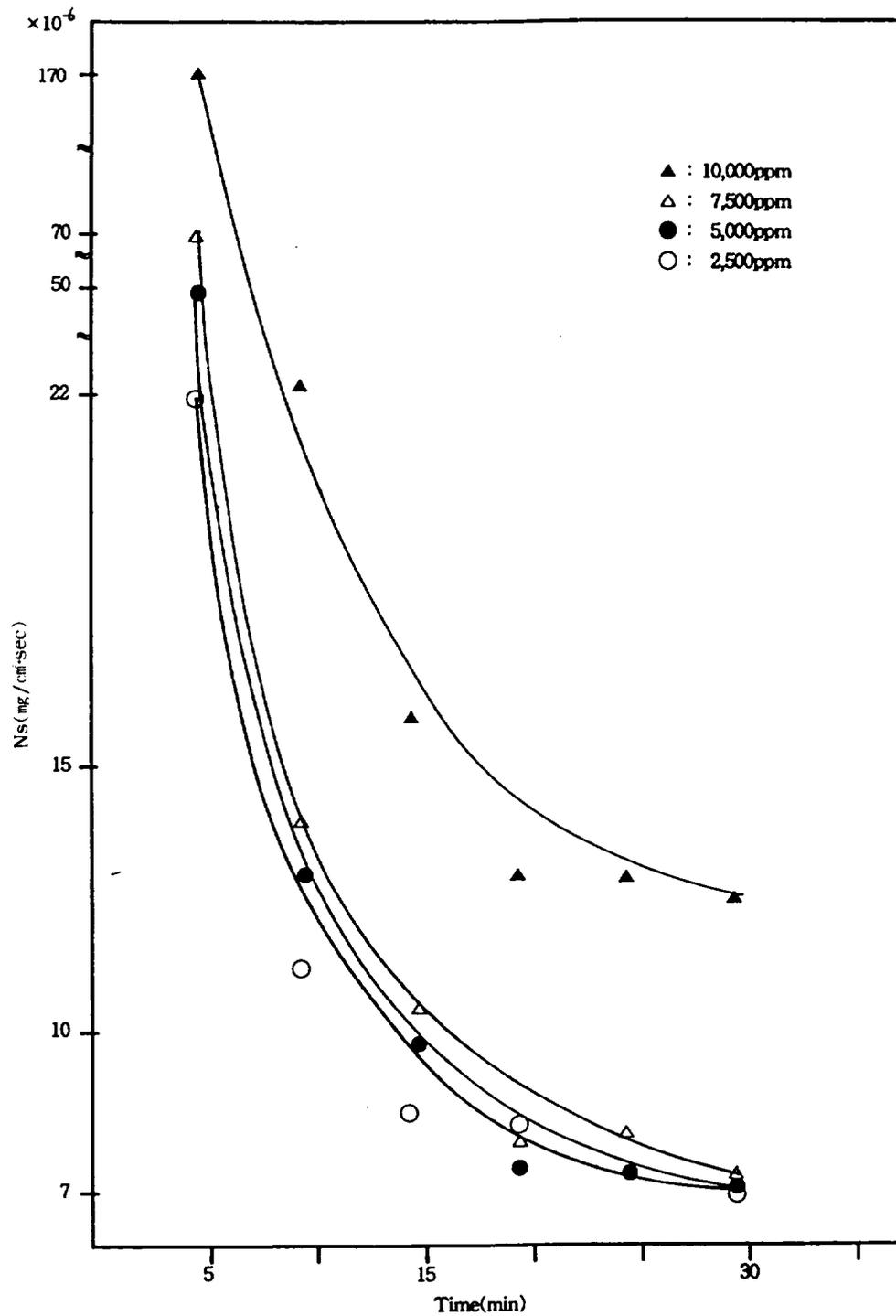


Fig. 3. Dependence of Salt Permeation Flux on Operating Time and Feed Concentration Under the Reverse Osmotic Pressure(10atm)

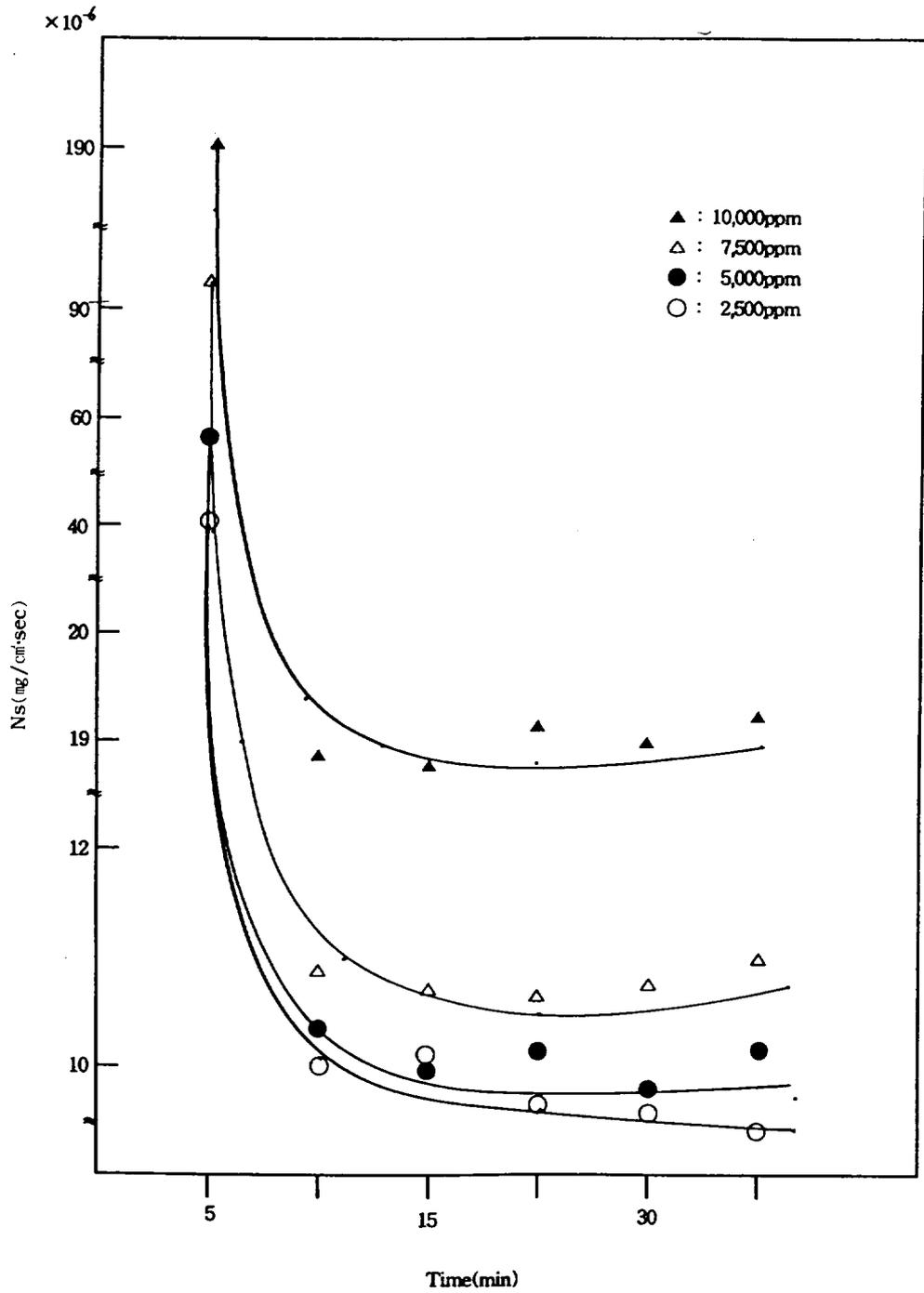


Fig. 4. Dependence of Salt Permeation Flux on Operating Time and Feed Concentration Under the Reverse Osmotic Pressure(30atm)

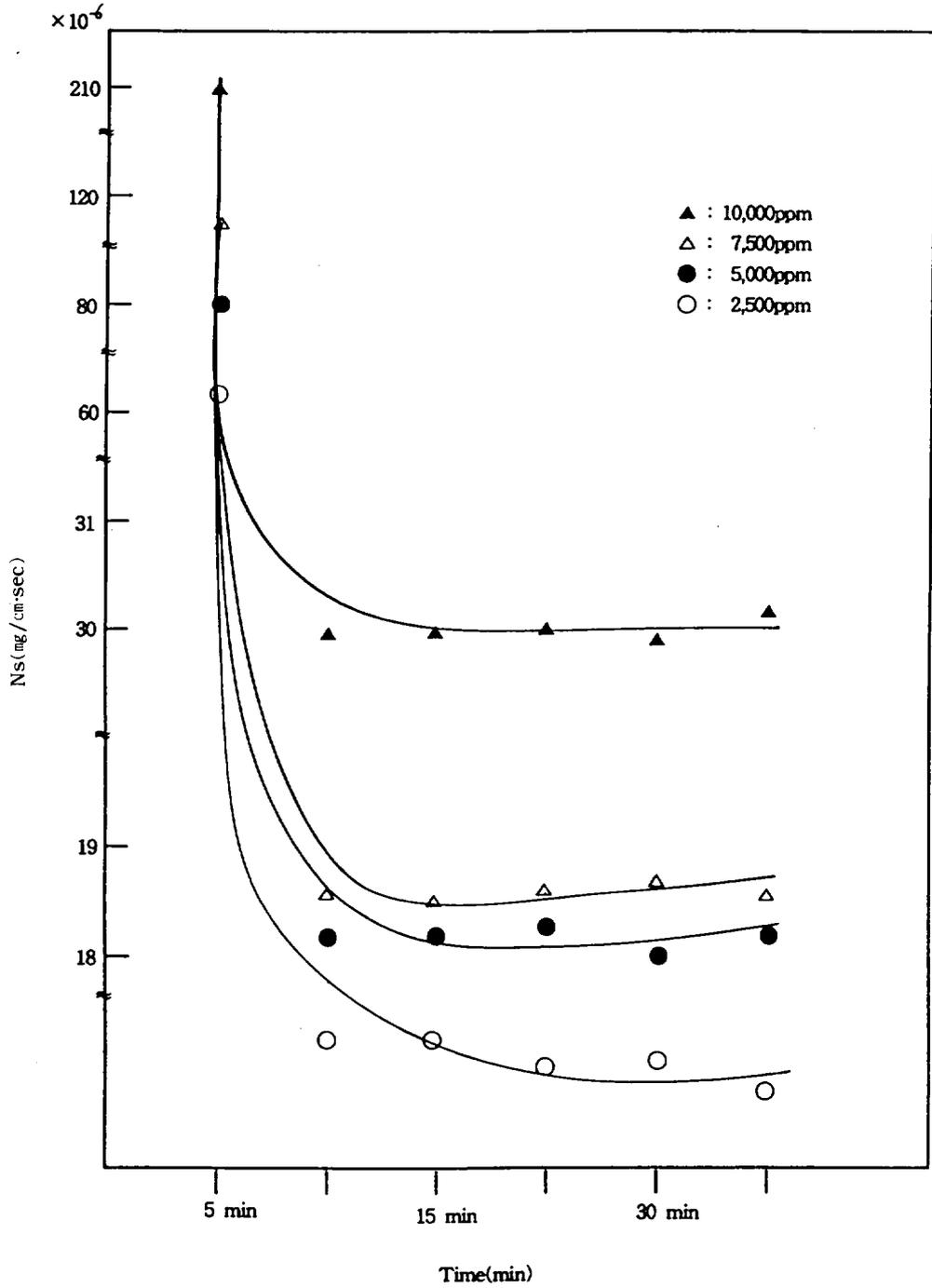


Fig. 5. Dependence of Salt Permeation Flux on Operating Time and Feed Concentration Under the Reverse Osmotic Pressure(50atm)

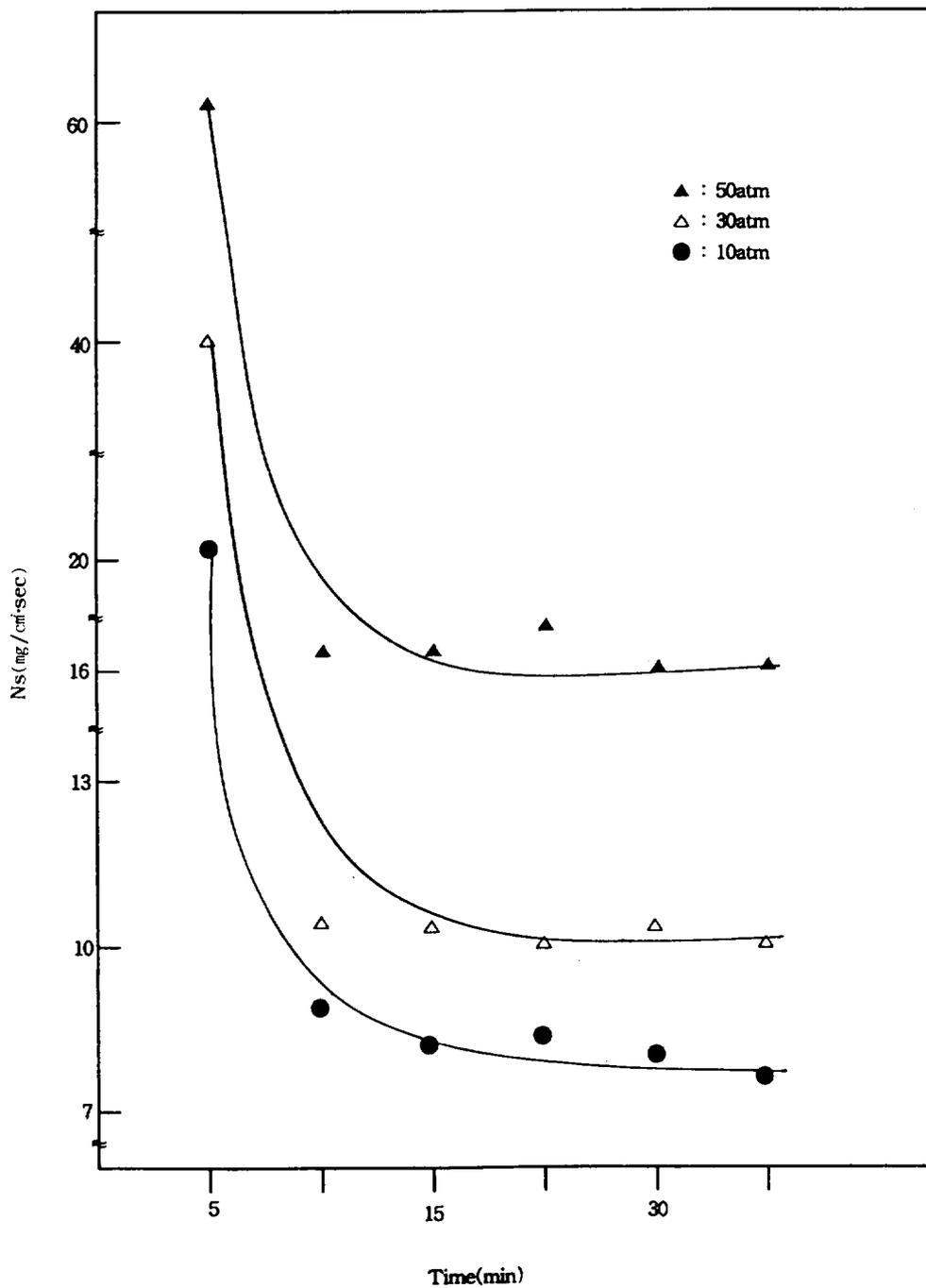


Fig. 6. Dependence of Salt Permeation Flux on Operating Time and Reverse Osmotic Pressure Under the Feed Concentration(2500ppm)

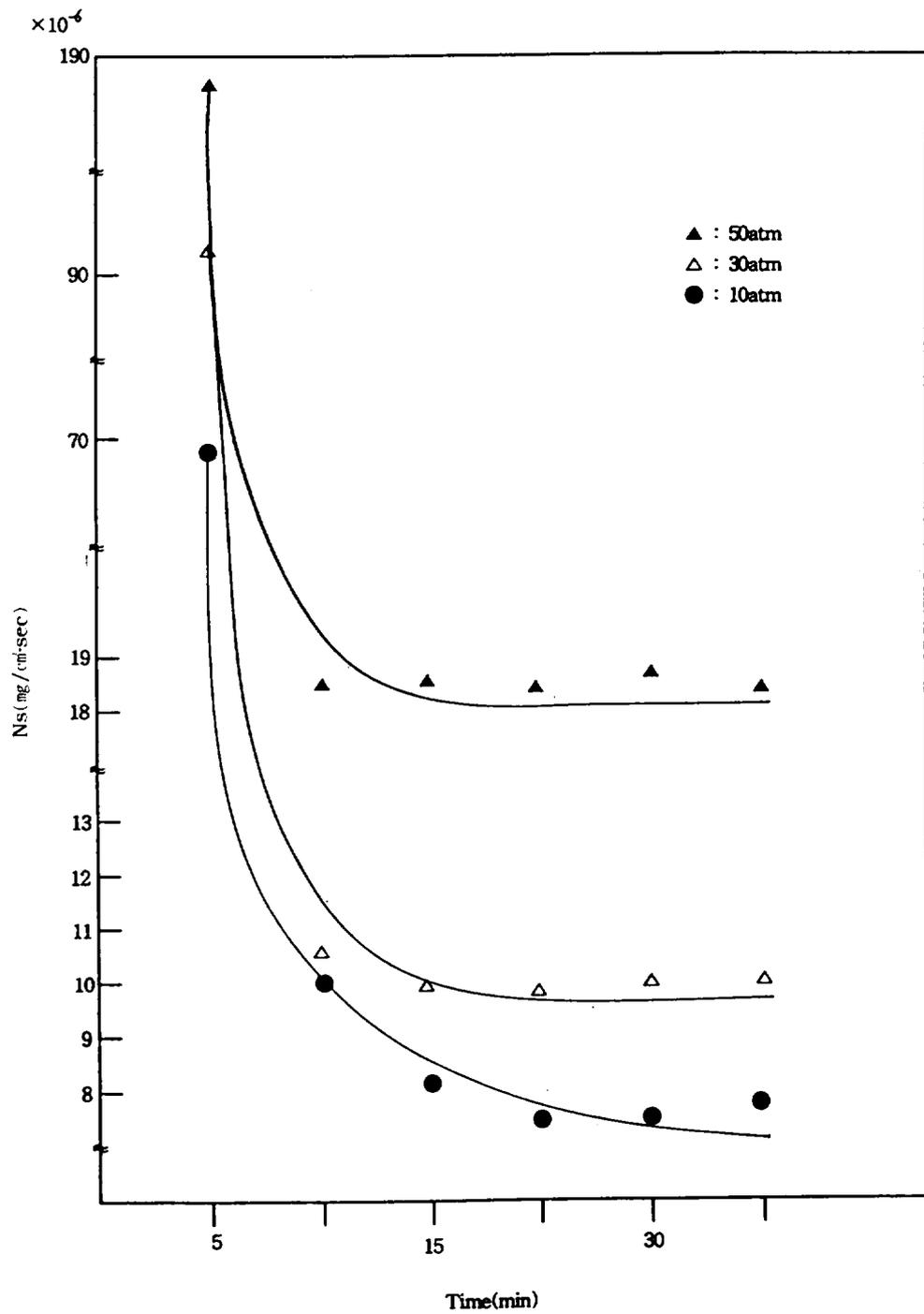


Fig. 7. Dependence of Salt Permeation Flux on Operating Time and Reverse Osmotic Pressure Under the Feed Concentration(7500ppm)

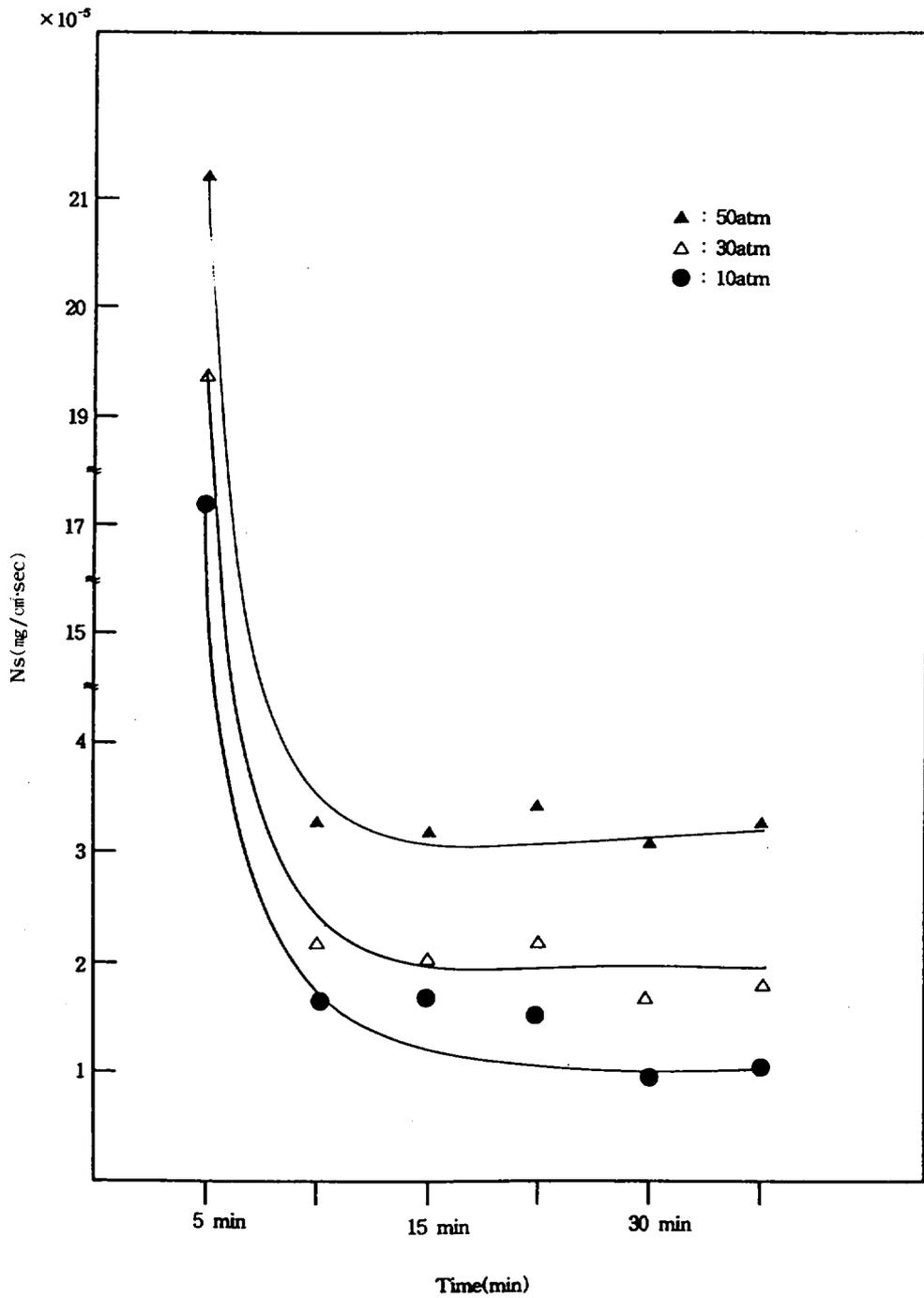


Fig. 8. Dependence of Salt Permeation Flux on Operating Time and Reverse Osmotic Pressure Under the Feed Concentration(10,000ppm)

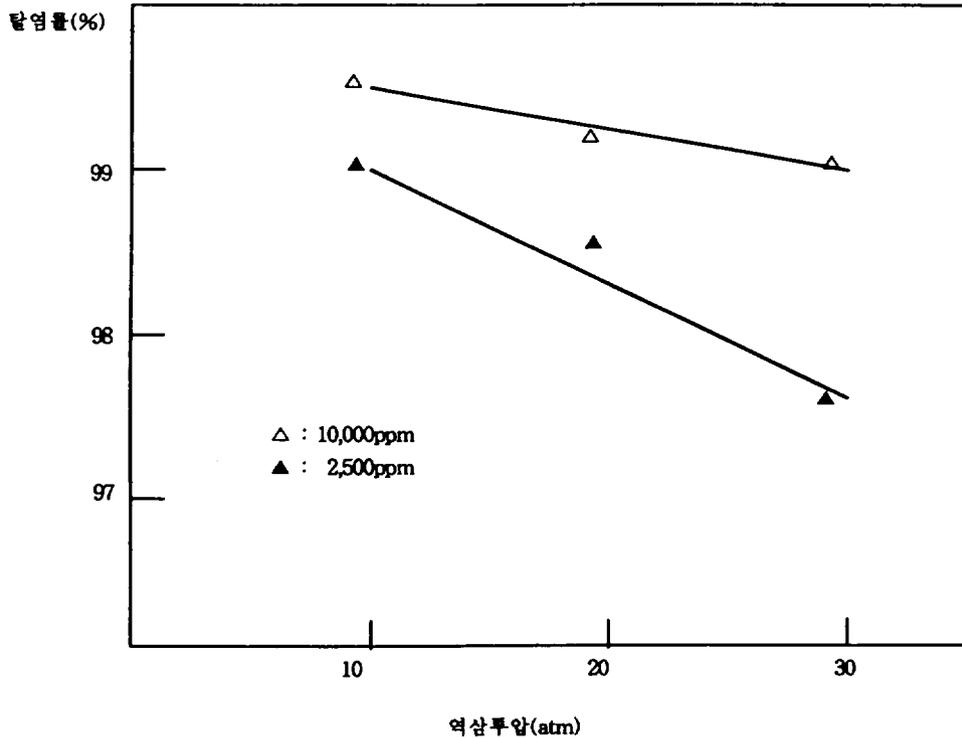


Fig. 9. Dependence of Desalination Fraction on Reverse Osmotic Pressure and Feed Concentration

급액농도와 역삼투압 변화에 따른 탈염율

Fig. 9로 부터 역삼투압이 10atm이고 급액농도가 2,500ppm에서 10,000ppm으로 증가할 때 확산흐름이 염의 플럭스보다는 물의 플럭스를 증가시키기에 탈염율이 98%에서 99.5%로 증가하였다.

역삼투압이 50atm이고 급액농도가 2,500ppm에서 10,000ppm으로 증가할 때 탈염율은 97.6%에서 98.9%로 증가

하였다.

한편 급액농도가 2500ppm이고 역삼투압이 10atm에서 50atm으로 증가할 때 기공흐름이 물의 플럭스보다는 염의 플럭스를 증가시키기에 탈염율은 99%에서 97.6%로 감소하였다. 급액농도가 10,000ppm이고 역삼투압이 10atm에서 50atm으로 증가할 때도 마찬가지로 탈염율이 99.5%에서 99.8%로 감소하였다.

결 론

역삼투압, 급액농도 및 조작시간변화에 따른 염수의 탈염효과를 연구한 결과 다음과 같은 결론이 도출되었다.

1. 조작시간에 따른 염의 투과플럭스를 나타내는 기울기는 투과초기에 투과기 전력이 최대라서 급격히 감소하였다. 정상조작에 이르는 시간은 급액농도에 무관하게 역삼투압이 10atm에서 50atm으로 증가할 때 25분에서 10분으로 감소하였다.

2. 일정급액농도에서 역삼투압증가에 따른 염의 투과플럭스는 현저히 증가하였고, 일정역삼투압에서 2,500ppm에서 7,500ppm으로 급액농도증가에 따른 염의 투과플럭스는 거의 변화가 없어 정상조작에 영향을 주는 주 조업변수는 역삼투압으로 나타났다.

따라서 역삼투압 변화에 의한 염의 기공흐름이 염의 투과플럭스를 지배하였다.

3. 본 실험 범위내에서 탈염율은 97.6% ~ 99.5%로 추산되었다.

감 사 의 글

본 연구는 1997년 제주대학교의 발전기금 연구비 지원으로 이루어 졌습니다. 이에 감사드립니다.

기 호 설 명

C_{Si} ; input salt concentration(mg/l)
 C_{So} ; output salt concentration(mg/l)
 N_s ; salt 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 Serparation Techniques for Chem. Engineer" Mc Graw-Hill N. Y., 1973
7. Leob, S. and Sourirajan, S : U C L A 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. Fundamentals, Vol. 4, NO.2, 113 - 118, 1965
11. H. Mehdizadeh and J. M. Dickson, AIChE J, Vol. 39, NO.3, 434 - 445, 1993