

특별강연 I

Osmotic Sink Reverse Osmosis Process를 이용한
에탄올의 농축특성에 관한 연구

이 광 현
동의대학교 공과대학 화학공학과

A Study on the Ethanol Concentration by
Osmotic Sink Reverse Osmosis Process
Kwang - Hyun Lee
Department of Chemical Engineering, Dongeui University

1. 서 론

기존의 일반적인 에탄올 제조법으로는 1) ethylene의 가수분해, 2) 전분이나 당분의 발효, 3) acetylene으로부터 얻은 acetaldehyde의 환원반응이 있다. 기존의 화석연료에 의존하지 않고 에탄올을 생성하는 방법은 발효에 의한 방법이다. 발효에 의해 생성되는 에탄올의 농도는 batch식 발효에서 13 - 14 %, 고정화 발효방법에서 5 - 10 % 정도이다. 이를 고순도의 에탄올로 농축하기 위한 방법으로는 증류법, 무과중발법, 역삼투법등이 있으며 증류를 이용하여 농축하는 경우에는 상당히 큰 열에너지를 필요로한다.

막을 이용한 에탄올 농축공정중에서 역삼투 분리공정은 연속공정이 용이하며, 물리적 조작이므로 장치가 간단한 특징이 있어 해수 담수화, 폐수처리, 유용물질 회수, 초순수제조, 식품 및 의약품의 분리, 농축등 여러 산업분야에서 응용되고 있다.

일반적인 역삼투공정에서 큰 삼투압을 나타내는 용액을 농축시키기위해서는 삼투압보다 큰 적용압력을 가해줘야 하나 사용된 막은 일정 압력이상에서는 수축되어 계기능을 발휘하지 못하게 되므로 일반적인 역삼투 공정에서는 큰 삼투압을 나타내는 용액의 농축에는 사용될 수 없다.

이는 막 양단간의 삼투압차가 가해줄 수 있는 적용 압력보다 커지기 때문으로, 이 삼투압차를 줄여서 같은 압력에서도 더 큰 농축효과를 얻기위해 고안해낸 방법이 항류식 역삼투 공정이다. 즉 역삼투 공정은 일정 농도

이상의 용존염 및 에탄올 용액 농축시 막양단의 삼투압차가 크게 증가되므로 유효 압력차를 유지하기 위해 적용 압력을 높여야 하는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 막하부 쪽에 고농도의 용액을 흘려보내 막 양측의 삼투압차를 감소시켜 외부에서 가해주어야 하는 수력학적 압력이 역삼투 공정보다 낮은 상태에서도 역삼투 공정을 진행할 수 있도록 한 것이 향류식 역삼투 공정이다.

본 연구에서는 향류식 역삼투 단일단 과 다단 test cell을 사용하여 역삼투 및 osmotic sink reverse osmosis공정에 의한 에탄올 투과실험을 행하여 막분리 공정에서의 기본적인 물질전달 현상을 이해하고, 역삼투 및 osmotic sink reverse osmosis공정에서의 에탄올 농축도를 비교하여 그 차이점을 검토, 분석함으로써 osmotic sink reverse osmosis공정에 적합한 막의 선택 및 막분리 공정의 응용에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

2. 이론적 배경

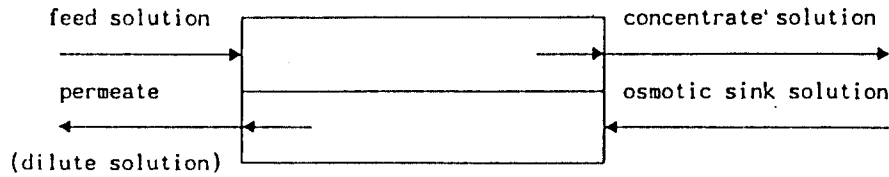
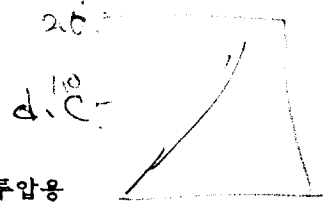
OSRO는 막을 사이에 두고 공급액과 osmotic sink solution을 상호 역방향으로 격리공급시킴으로서 혼합을 방지한 상태에서 막양측의 삼투압차를 감소시켜 상대적으로 증가된 유효압력차에 의해 역삼투 공정보다 다량의 물이 투과되어 공급액이 농축되는 공정이다.

막을 통한 용질의 플럭스는 막양측의 농도차에 비례하므로 막하부쪽에 osmotic sink solution의 도입으로 인한 농도증가 효과에 의해 역삼투공정에 비해 용질의 플럭스가 감소하게 된다. 따라서 에탄올 용액은 보다 농축될 수 있다. 1973년 Loeb과 Bloch는 향류 흐름의 방법과 종류에 따라 향류식 역삼투 공정을 다음의 세가지로 구분하였다;

- 1) Concentrate return reverse osmosis (CRRO)
- 2) Osmotic sink reverse osmosis (OSRO)
- 3) Osmotic sink osmosis (OSO)

OSRO는 Fig. 1에서와 같이 막의 저압쪽으로 도입되는 용액이 osmotic sink solution이다. Osmotic sink solution이란 삼투압 차를 줄일 수 있는 농도가 높은 용액으로, 천연적 혹은 인공적일 수도 있다. 흑해는 천연적인

osmotic sink solution의 예인데, 이것은 용액을 탈수시켜 높은 삼투압용액을 만들 수 있는 잠재력이 큰 천연자원이다.



low feed con.
high ΔP
high d.c.

Fig. 1. Schematic diagram of osmotic sink reverse osmosis (OSRO).

3. 실험

항류식 역삼투 실험에 사용된 막들은 역삼투 복합막인 TFCL (UOP Co., U.S.A.)과 FT-30 (FilmTec Co., U.S.A.) 그리고 blend막인 CA blend (UOP Co., U.S.A.) 평판막의 3 종류 막을 사용하였다.

공급용액인 에탄올 수용액을 Table 1 및 Table 2와 같은 조작 조건하에서 역삼투와 osmotic sink reverse osmosis 공정의 농축실험을 행하여 농축도 (degree of concentration)를 구하였다. 실험장치의 가동시간에 따른 투과량 및 배제율을 측정하여 정상상태 도달시간을 구하였으며 모든 데이터는 정상상태에 도달한 후에 측정하였다.

Table 1. Experimental conditions in reverse osmosis and osmotic sink reverse osmosis of the ethanol solutions (single-test cell).

Membrane	TFCL (UOP Co., U.S.A.) FT-30 (FilmTec Co., U.S.A.) CA blend (UOP Co., U.S.A.)
Feed Concentration (wt%)	5.2, 9.8
Feed flowrate (ml/sec)	0.522
Temperature (°C)	20 ± 0.2
Pressure (MPa)	2.94, 3.92, 4.90, 5.88
Osmotic sink solution concentration (wt%)	5.2, 9.8
Osmotic sink solution flowrate (ml/sec)	4.08

Table 2. Experimental conditions for osmotic sink reverse osmosis (multi-test cell).

Membrane	FT-30 (FilmTec Co., U.S.A.)
Feed Concentration (wt%)	5.2, 9.8, 16, 18
Feed flowrate (ml/sec)	0.522, 0.667, 0.790, 0.836
Temperature (°C)	20 ± 0.2
Pressure (MPa)	2.94, 3.92, 4.90, 5.88
Osmotic sink solution concentration (wt%)	5.2, 9.8, 16, 18
Osmotic sink solution flowrate (ml/sec)	4.08, 7.29, 11.57, 14.43

4. 결과 및 고찰

역삼투공정과 비교하여 OSRO공정의 농축효과의 척도를 의미하는 농축도차 ($DC_{OSRO} - DC_{RO}$)는 전 실험범위에서 항상 0보다 큰값을 보이므로 에탄올 농축에 있어서 OSRO공정이 역삼투공정에 비해 효과적임을 알 수 있었다.

따라서 OSRO공정에 의한 농축공정을 개발하여 에탄올 농축에 적용한 바 역삼투공정에 비하여 높은 에탄올 농축효과를 얻었으며, 에탄올 분리효과가 뛰어난 OSRO용 막의 개발 및 농축장치를 보다 간단으로 할 경우 산업화가 가능하다는 결과를 얻었다. OSRO공정에 대한 이론식의 수치모사시 도입변수와 막상수값을 이용하여 해석하였으며 이로부터 총부피 투과 플럭스와 배제액 농도의 정량적인 해를 구할 수 있었으며, 해석적 결과로부터 농축도 이론치는 실험치와 약 15% 이내에서 일치하였다. 공급액농도와 부피유속, 적용압력, osmotic sink solution의 부피유속과 같은 조작변수들의 변화에 따른 역삼투 및 OSRO공정의 농축도변화를 고찰하면, 농축도는 적용압력과 osmotic sink solution의 부피유속에는 비례하여 증가하며, 공급액 농도와 부피유속에 대해서는 감소함을 알 수 있었으며, 본 연구에서는 실험범위의 수치모사에 의한 농축도 이론치도 제시하였다.

참 고 문 헌

1. Sourirajan, S., and Matsura, T.: "Reverse Osmosis/Ultrafiltration Process principles", National Research Council of Canada(1985).
2. Loeb, S. and Bloch, M.R. : Desalination, 13, 207(1973).
3. Lee, E.K.L., Babcock, W.C. and Bresnahan, P.A. : Countercurrent Reverse Osmosis for Ethanol-Water Separation, U.S. Department of Energy, (DOE/ID/12320-T1(DE 83009725).(1983).
4. Lloyd, D.R.: "Materials Science of Synthetic Membranes", ACS (1985).
5. Charles, M. M., Debra, E. E., Stephen, A. L., and Briant L. C. : "Membrane Applications and Research in Food Processing", Noyes Data Co.(1989).
6. Katchalsky, A., and Curran, P.F.: "Nonequilibrium Thermodynamics in Biophysics", Harvard University Press(1965).