

Poly(dimethyl siloxane)막에 의한 삼성분 알코올수용액의 투과증발

김 상 집 · 김 진 환

전남대학교 공과대학 화학공학과
(1996년 7월 2일 접수, 1996년 11월 14일 채택)

Pervaporation of Ternary Aqueous Alcohol Solutions through Poly(dimethyl siloxane) Membrane

Sang-Jib Kim and Jin-Hwan Kim

Dept. of Chem. Eng., Chonnam National Univ., Kwangju 500-757, Korea
(Received July 2, 1996, Accepted November 14, 1996)

요 약 : Poly(dimethyl siloxane)막을 이용하여 45°C에서 에탄올/이소프로판올/물의 삼성분 혼합물에 대한 투과증발실험을 행하고, 에탄올과 이소프로판올의 존재가 상호의 투과특성에 미치는 영향을 연구하였다. 에탄올과 이소프로판올은 각각 상호의 투과속도를 감소시키는 경향을 나타내었으며, 이소프로판올이 에탄올의 투과에 미치는 영향보다는 에탄올이 이소프로판올의 투과에 미치는 영향이 더 현저하였다. 투과속도의 감소는 고분자막에 대한 에탄올이나 이소프로판올의 가소화 영향보다는 투과성분 사이의 상호작용에 의한 영향이 더 크기 때문으로 생각되었다. 삼성분 혼합물에서 투과성분 사이의 강한 상호작용은 에탄올과 이소프로판올의 투과에 대한 추진력을 감소시키는 결과를 나타내었다.

Abstract: Pervaporation experiments of ternary ethanol/isopropanol/water mixtures were performed using poly(dimethyl siloxane)(PDMS) membrane at 45°C and the mutual effects of ethanol and isopropanol on the permeation characteristics were studied. Compared to the case of the binary aqueous ethanol or isopropanol solutions, the existence of ethanol or isopropanol in the ternary mixtures resulted in the depression of each other's permeation rate. The depression effect of ethanol on the isopropanol permeation was more considerable than the depression effect of isopropanol on the ethanol permeation. These decreases in the permeation rate were thought to be due to the larger interactions between permeants than the plasticizing effects of ethanol or isopropanol on the polymer membrane. The strong interactions between permeants reduced the driving forces for both ethanol and isopropanol permeation in the ternary mixtures.

1. 서 론

투과증발(pervaporation)은 비다공성막을 사이에 두고 공급측에 액체혼합물을 접촉시키고 투과측에서 투과물이 증기상태로 얻어지는 막분리 기술이다. 이때 투과측에서 투과물을 증기화시키기 위하여 진공상태를 유지하거나 담체기체(carrier gas)를 흘려 보내는 방법이 사용된다.

투과증발은 친수성 고분자막에 의한 유기수용액의 탈수, 소수성 고분자막에 의한 유기물의 제거 및 유기혼합물중 특정 성분의 분리 등에 효과적이다. 특히 기존의 분리공정으로는 분리가 어려운 공비혼합물의 분리, 비등점이 유사한 액체혼합물의 분리, 이성질체 및 열에 민감한 액체혼합물의 분리와 폐수중 유해성분의 제거, 유기용매의 회수 및 발효공정에서 생성물의 분리 등 다방면에 응용이 기대되는 분리기술이다

[1-3].

비다공성막을 통한 각 성분의 투과기구는 대부분 Binning[4]이 제안한 용해-확산-증발의 3단계 전달 기구에 의한 용해-확산 모델(solution-diffusion model)에 기초를 두고 있다. 그러나 투과증발에서와 같이 액체혼합물의 경우는 coupling현상[5-8]과 확산계수의 농도의존성[9, 10] 때문에 단일성분의 용해나 확산실험을 통해 구한 매개변수를 이용하여 분리거동을 예측하기는 어렵다.

지금까지의 투과증발에 관한 연구는 이성분 액체 혼합물의 분리에 역점을 두었을 뿐, 삼성분 이상의 다성분 분리에 있어서 투과특성의 해석은 거의 이루어지지 않았다. 화학공정에서 유기용매의 회수나 폐수중 유해성분의 제거는 대부분 이성분 혼합물보다는 다성분 혼합물에서 이루어지기 때문에 막분리 공정을 이러한 분야에 응용하기 위해서는 다성분 혼합물의 분리특성에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 소수성 고분자인 poly(dimethyl siloxane)(PDMS)막을 이용하여 삼성분 알코올 수용액의 투과특성을 연구하였다. PDMS막에 선택성이 있는 에탄올과 이소프로판올의 혼합수용액에 관한 투과증발 실험을 행하고, 에탄올과 이소프로판올의 존재가 상호투과특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 투과증발에 의한 수용액으로부터 유기물의 선택분리는 유기물이 비교적 낮은 농도로 존재하는 경우에 적용되기 때문에 본 연구에서는 전체 알코올의 조성이 40wt% 이하인 영역에서만 실험을 행하였다.

2. 이 론

용해-확산 거동이 이상적인 계에서 막내의 물질전달은 추진력으로 농도구배만을 고려한 Fick의 법칙으로 잘 설명된다. 평막에서와 같이 단일 방향으로만 투과가 일어날 경우 Fick의 법칙은 다음과 같다.

$$J_i = -D_i \frac{\partial c_i}{\partial z} \quad (1)$$

여기에서 D_i 는 Fick의 확산계수, c_i 는 몰농도를 나타낸다. Fick의 법칙은 수학적인 형태가 단순한 장점이 있으나 용해도계수와 확산계수의 농도의존성이 매우 복잡한 비이상적인 계를 설명할 수 없다. 비이상적인 계에서의 확산식은 추진력으로 화학포텐셜을 사용하여 Fick의 법칙과 유사하게 다음과 같이 나타낸다.

$$J_i = -c_i \frac{D_{i0}}{RT} \frac{d\mu_i}{dz} \quad (2)$$

여기에서 D_{i0} 는 열역학적 확산계수를 나타내며, 비이상성이 강한 계에서도 농도의존성이 Fick의 확산계수 D_i 에 비하여 훨씬 작다[11]. 식(2)는 막을 통한 성분 i 의 플럭스가 농도와 이동도 및 추진력의 곱과 같다는 것을 의미한다.

혼합물에서 성분 i 의 화학포텐셜은 부분몰 Gibbs 에너지와 같으므로 일정온도에서 다음의 관계식이 성립한다.

$$d\mu_i = d\bar{G}_i = RT d \ln \hat{f}_i \quad (3)$$

여기에서 \bar{G}_i 는 용액속에서 성분 i 의 부분몰Gibbs에너지를 나타내며, \hat{f}_i 는 혼합물에서 성분 i 의 퓨개시티를 나타낸다. 식(3)를 식(2)에 대입하면 확산 방정식은 다음과 같다.

$$J_i = -c_i D_{i0} \frac{d \ln \hat{f}_i}{dz} \quad (4)$$

또한 혼합물에서 성분 i 의 활동도계수는 다음과 같이 정의된다.

$$\gamma_i = \frac{\hat{f}_i}{x_i f_i} \quad (5)$$

여기에서 x_i 는 성분 i 의 몰분율이며, f_i 는 혼합물과 같은 온도에서 순수한 성분 i 의 퓨개시티를 나타낸다.

식(5)를 이용하여 식(4)를 변형하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$J_i = -\frac{\rho_M D_{i0}}{f_i} \cdot \frac{1}{\gamma_i} \cdot \frac{d\hat{f}_i}{dz} \quad (6)$$

여기에서, ρ_M 은 혼합물의 몰밀도를 나타낸다. Fick의 확산 방정식을 적분하기 위해서는 막 계면에서의 용해도에 관한 모델식이 필요하게 된다. 그러나 식(6)은 막 계면에서 상평형을 가정하면 적분을 위한 경계조건으로 공급액과 투과액의 퓨개시티를 바로 이용할 수 있다. 전술한 바와 같이 열역학적 확산계수의 농도의존성이 작기 때문에 농도의존성을 무시하고 식(6)을 적분하면 다음 식이 얻어진다.

$$J_i = \frac{\rho_M D_{i0}}{\bar{\gamma}_{iM}} [x_{i,1} \gamma_{i,1} - x_{i,2} \gamma_{i,2}] \quad (7)$$

여기에서 $\bar{\gamma}_{iM}$ 은 막내에서 성분 i 의 평균 활동도계수이며 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{\gamma}_{iM} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} \gamma_i(z) dz \quad (8)$$

식(7)에서 첨자 1은 공급측을, 2는 투과측을 나타낸다. 투과증발에서는 투과측의 압력이 매우 낮으므로 이상기체로 간주한다면, 식(7)을 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$J_i = \frac{\rho_M D_{i0}}{\delta \bar{\gamma}_{iM}} \left[x_{i,1} \gamma_{i,1} - \frac{y_{i,2} p_2}{p_0} \right] \quad (9)$$

여기에서, p_2 는 투과측의 압력을 나타내며 p_0 는 실험온도에서 성분 i 의 증기압을 나타낸다. 물질전달속도는 추진력을 저항으로 나눈 값과 같으므로 식(9)로부터 투과공정에 대한 추진력과 저항을 다음과 같이 나타낼 수 있다[11].

$$\text{Driving force} = x_{i,1} \gamma_{i,1} - \frac{y_{i,2} p_2}{p_0} \quad (10)$$

$$\text{Resistance} = \frac{\delta \bar{\gamma}_{iM}}{D_{i0} \rho_M} \quad (11)$$

투과증발실험에 의하여 각 성분의 투과속도를 구하고 식(10)의 활동도계수를 UNIFAC식이나 UNIQUAC식 등에 의하여 계산하면 식(11)의 저항값을 계산할 수 있다. 식(10)과 (11)을 이용하면 다성분 혼합물의 투과에서 투과성분들의 가소화 영향(plasticizing effect)과 상호작용에 의한 영향(interaction effect)을 근사적으로 비교할 수 있다. 즉 고분자막에 대한 투과성분의 가소화 영향은 저항을 감소시켜 투과를 촉진하게 되며, 투과성분 사이의 상호작용에 의한 영향은 추진력이 감소할 경우 투과에 음의 영향(투과를 억제)을 주게되나 추진력이 증가할 경우에는 투과에 양의 영향(투과를 촉진)을 주게된다.

3. 실험

3.1. 재료 및 막의 제조

본 연구에 사용된 에탄올은 Farmitalia Carlo Erba 사 제품이고, 이소프로판올은 Yakuri Pure Chemical 사 제품이다. 막의 재료인 PDMS는 Dow Corning사 제품(Silastic 4-2736)이며, 경화제로는 AKZO Chemical사 제품의 2,4-dichloro-benzoyl peroxide(Cadox TS-50)를 사용하였다. PDMS막은 압착법으로 제조하였으며, 제조된 막의 두께는 $230 \mu\text{m}$ 이었다. 제조 방법 및 순서는 다음과 같다.

1) PDMS수지와 경화제를 톨루엔에 녹여 혼합하였다. 경화제는 PDMS수지의 1.3%를 첨가하였다.

2) 혼합이 균일하게 이루어진 후 용매를 제거하기 위하여 상온에서 3일간 방치한 후 진공건조기에서 하루동안 잔류용매를 제거하였다. 이 때는 가교반응이 일어나지 않고 용매만 제거하기 위하여 진공건조기도 상온을 유지하였다.

3) 압착기에서 20ton의 하중(압착판의 면적: 400cm^2)으로 압착하여 막을 제조하였다. 이때 상하 압착판의 온도를 116°C 로 유지하여 막이 형성됨과 동시에 가교가 이루어지도록 하였으며 압착은 5분간 유지하였다.

4) 압착판에서 막을 분리한 후 150°C 의 진공건조기에서 하루밤 동안 유지하여 잔류용매의 제거와 가교반응이 완전히 이루어지도록 하였다.

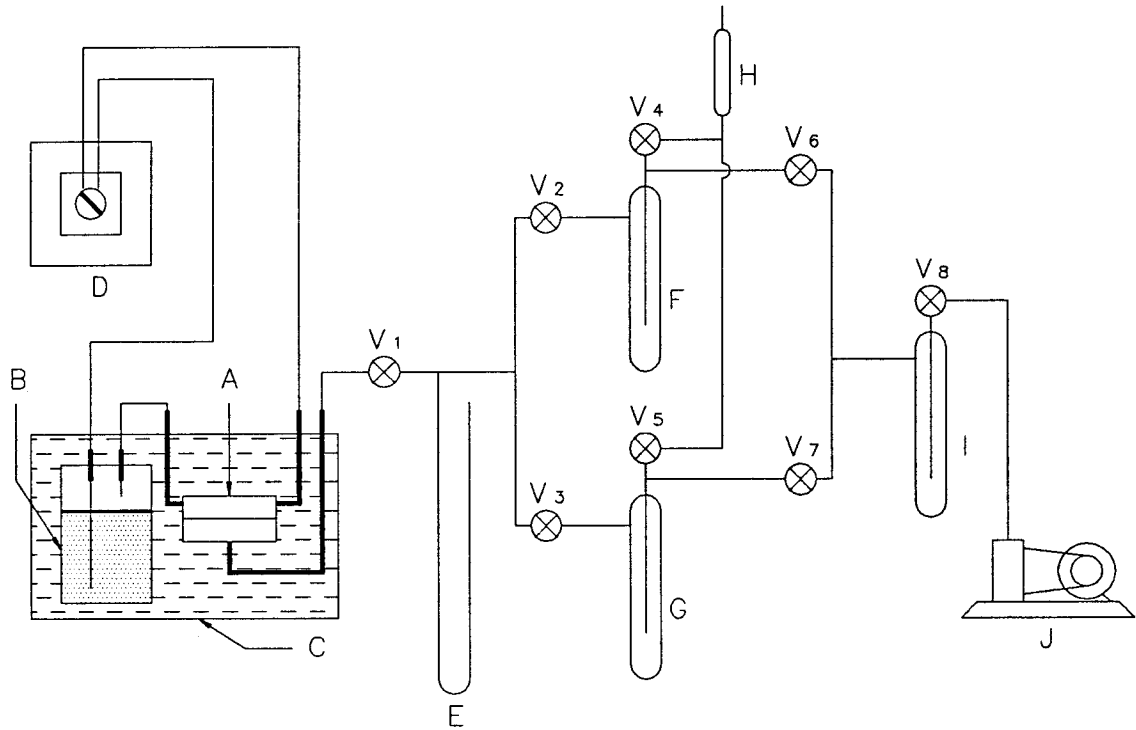
3.2. 투과증발실험

투과증발실험은 Fig. 1과 같은 장치를 이용하여 수행하였다. 투과 cell은 직경 10cm의 stainless steel로 만들었으며 막의 유효투과면적은 18.635cm^2 이다. 실험 온도를 조절하기 위하여 막이 장착된 투과 cell과 feed tank를 항온조 내에 완전히 잠기게 하였다. 공급액은 미량펌프를 이용하여 일정유속으로 투과 cell에 공급하였으며, 투과측을 진공상태로 유지하기 위해 진공펌프를 사용하였다. 투과 증기는 액체질소를 사용하여 trap에서 포집하였다.

투과특성을 비교하기 위하여 에탄올/이소프로판올/물의 삼성분 알코올 수용액의 투과증발뿐만 아니라 단일성분과 에탄올/물과 이소프로판올/물의 이성분 알코올 수용액의 투과증발실험을 병행하였다. 모든 실험은 45°C 에서 수행하였으며 투과측의 압력은 1 torr 이하로 유지하였다.

4. 결과 및 고찰

45°C 에서 PDMS막에 의한 물(H_2O), 에탄올(EtOH) 및 이소프로판올(IPA)의 단일성분 투과특성은 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 상호작용계수는 PDMS막과 각 성분사이의 상호작용계수를 나타내며, solubility parameter를 이용하여 계산한 값(25°C)과 평형팽윤실험에서 구한 값(45°C)을 비교하였다. 소수성 고분자인 PDMS막을 통한 투과속도와 투과도계수가 물의 경우에는 현저하게 낮았으나, 에탄올과



A : Permeation cell B : Feed tank C : Constant temp. bath
 D : Peristaltic pump E : Manometer F : Cold trap
 G : Cold trap H : Vents to atmosphere I : Cold trap
 J : Vacuum pump V : Valves

Fig. 1. Schematic diagram of the pervaporation apparatus.

Table 1. Pervaporation Characteristics of Pure Component

Component	Permeate flux J_p , [kg/m ² h]	Permeability coefficient* $\bar{P}_i \times 10^9$, [m ² /h]	Interaction parameter with PDMS, χ_{ip}	
			25 °C**	45 °C***
H ₂ O	0.031	7.17	7.113	6.460
EtOH	0.367	109.95	2.371	2.063
IPA	0.585	176.14	1.499	1.050

* $P_i = \frac{J_i \cdot \delta}{c_i}$, ** Calculated from solubility parameters, *** Determined from swelling experiments

이소프로판올의 경우에는 물에 비하여 매우 높은 값을 나타내었다. 이는 PDMS막과의 상호작용계수가 작아질수록 투과속도와 투과도계수가 증가함을 보여 준다. 물에 대한 이상적인 선택도(투과도계수의 비)는 에탄올의 경우 15.3이었으며, 이소프로판올의 경우 22.8로 에탄올보다는 이소프로판올의 선택도가 더

컸다. 따라서 삼성분 알코올 수용액의 투과실험에서는 PDMS막에 의한 선택성이 비교적 큰 에탄올과 이소프로판올의 존재가 상호의 투과특성에 미치는 영향을 알아보았다.

삼성분 알코올 수용액의 투과실험은 에탄올과 이소프로판올 중의 한 성분의 조성을 10wt%와 20wt%

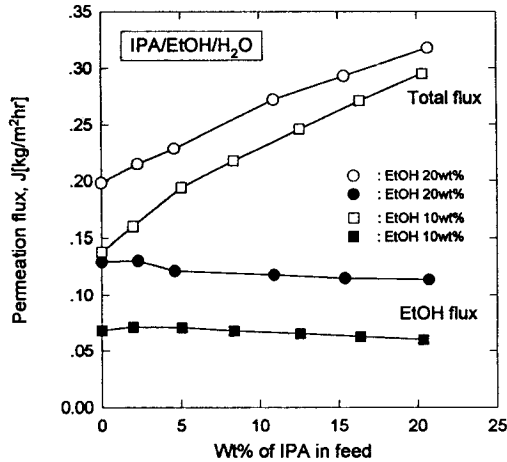


Fig. 2. Influence of IPA content on partial EtOH flux and total flux.

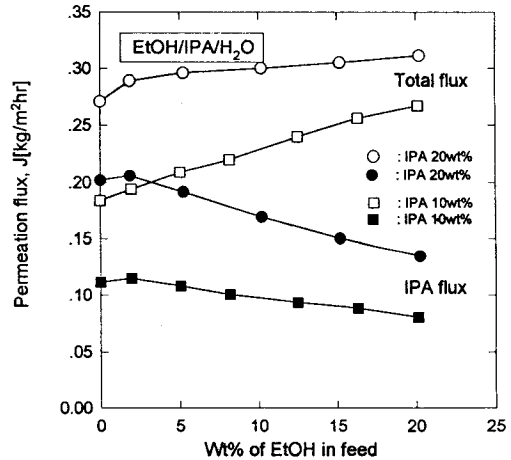


Fig. 3. Influence of EtOH content on partial IPA flux and total flux.

로 고정시켜 놓고 다른 성분의 조성을 변화시키면서 수행하였다. Fig. 2에는 공급액중 에탄올의 조성을 각각 10wt%와 20wt%로 고정하고 이소프로판올의 조성변화에 따른 에탄올의 투과속도와 전체투과속도를 도시하였다. 공급액중 이소프로판올의 조성이 증가함에 따라 에탄올의 투과속도가 감소하였으나, 감소하는 경향은 작았다. 이소프로판올은 PDMS막과의 친화력이 에탄올보다 크기 때문에 이소프로판올에 의한 가소화 영향으로 에탄올의 투과속도가 증가할 것으로 예상하였으나 오히려 감소하였다. Fig. 3은 공급액중 이소프로판올의 조성을 각각 10wt%와 20wt%로 고정하고 에탄올의 조성변화에 따른 이소프로판올의 투과속도와 전체투과속도를 나타낸 것이다. 에탄올의 농도가 증가함에 따라 이소프로판올의 투과속도가 감소하였으며, Fig. 2에 비하여 감소하는 경향이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 전체투과속도에도 영향을 미쳐 Fig. 2에 비하여 Fig. 3에서 전체투과속도의 증가추세가 현저하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 2와 3에서 에탄올이나 이소프로판올의 조성이 2~3wt%이하의 낮은 영역에서는 각 성분의 투과속도가 약간 증가하고 있는 데, 이러한 현상이 실험오차에 의한 것인지의 여부는 추후 저농도 영역에서의 연구를 통하여 확인할 필요가 있을 것으로 생각된다.

Fig. 4는 에탄올의 조성변화에 따른 에탄올의 투과속도를 이성분과 삼성분 혼합물에 대하여 비교한 것

이다. 이성분 수용액이나 삼성분 수용액에 대한 에탄올의 투과속도가 거의 차이가 없음을 보이고 있으며 이것은 Fig. 2와 일치된 경향이다. 그러나 에탄올의 조성이 약 15wt%이상에서는 이성분 수용액보다 삼성분 수용액의 경우에 에탄올의 투과속도가 작아지며, 이소프로판올이 10wt%일 때보다 20wt%일 때 더 작아짐을 알 수 있다. Fig. 5는 공급액중 이소프로판올의 조성에 따른 이소프로판올의 투과속도를 이성분과 삼성분 수용액에 대하여 비교하였다. 여기에서도 Fig. 3에서 보는 바와 같이 에탄올의 존재가 이소프로판올의 투과속도를 감소시키는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다. 같은 이소프로판올의 조성에서 이소프로판올의 투과속도는 에탄올이 전혀 존재하지 않는 경우가 가장 컸으며, 에탄올이 10wt%에서 20wt%로 증가함에 따라 이소프로판올의 투과속도는 감소하였다.

다성분 혼합물의 투과에서 한 성분의 존재가 다른 성분의 투과에 미치는 영향은 가소화에 의한 영향과 상호작용에 의한 영향의 두 가지가 고려된다[1]. 가소화에 의한 영향은 고분자와 친화력이 큰 성분이 고분자막을 팽윤시키기 때문에 자유부피를 증가시킨다. 자유부피의 증가는 확산계수를 증가시켜 결국 투과속도를 증가시키게 된다. 반면에 고분자막 내에서 각 투과성분 사이의 상호작용은 서로의 확산계수를 감소시킬 수도 있고 증가시킬 수도 있다. Fig. 2와 4에서와 같은 현상은 이소프로판올의 가소화 영향에 의한

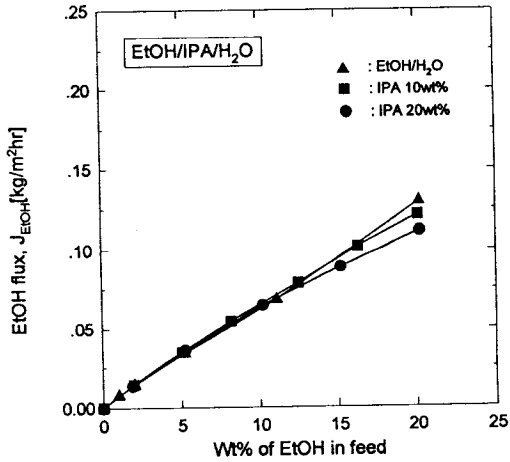


Fig. 4. Influence of EtOH content on partial EtOH flux.

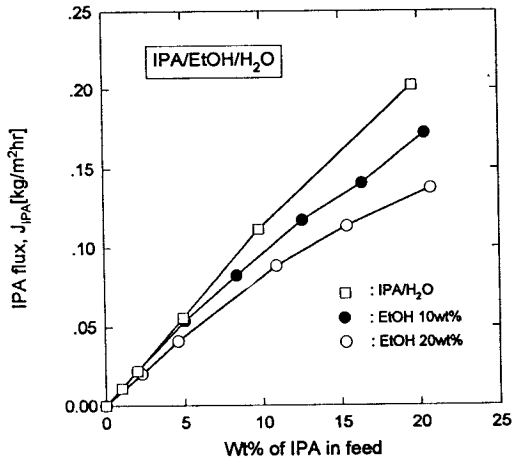


Fig. 5. Influence of IPA content on partial IPA flux.

여 에탄올의 투과가 촉진되는 경향과 혼합물 중 각 성분 사이의 상호작용에 의한 에탄올의 투과가 억제되는 경향이 거의 서로 상쇄되고 있는 것으로 볼 수 있다. 그러나 에탄올의 농도가 증가할수록 상호작용에 의한 영향보다 가소화의 영향이 상대적으로 적어져서 이성분 투과의 경우에 비하여 삼성분 투과의 경우에 에탄올의 투과속도가 작아짐을 볼 수 있다. 반면에 Fig. 3과 5에서와 같이 이소프로판올의 투과속도가 이성분 수용액의 경우보다 에탄올이 제 삼성분으로 존재하는 경우에 더 작아지는 것은 각 성분 사이의 상호작용에 의한 영향이 에탄올에 의한 가소화

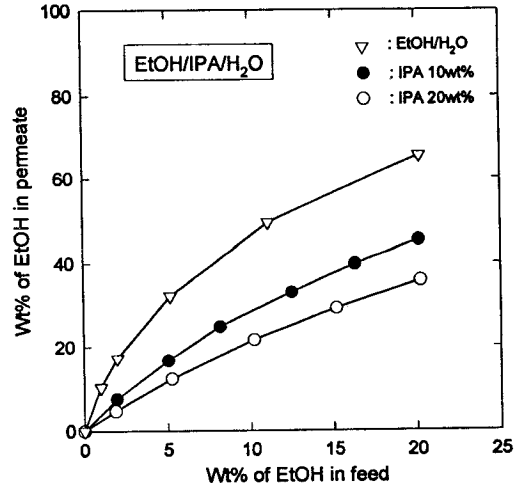


Fig. 6. Influence of EtOH content on the separation characteristics of the ternary system.

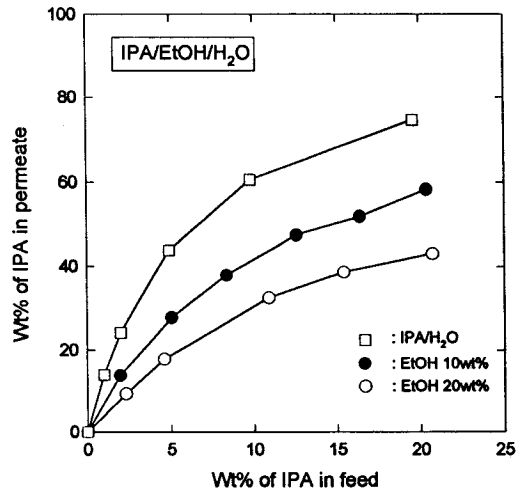


Fig. 7. Influence of IPA content on the separation characteristics of the ternary system.

영향보다 크기 때문으로 생각된다.

이상의 결과로부터 PDMS막을 통한 삼성분 알코올 수용액의 투과증발에서 이소프로판올과 에탄올은 이성분 수용액에 비하여 상호의 투과속도를 감소시키는 경향을 나타내며 이소프로판올이 에탄올의 투과속도를 감소시키는 경향보다 에탄올이 이소프로판올의 투과속도를 감소시키는 경향이 더 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 삼성분 알코올 수용액에서 에탄올이나 이소프로판올에 의한 PDMS막의 가소화 영향보다는

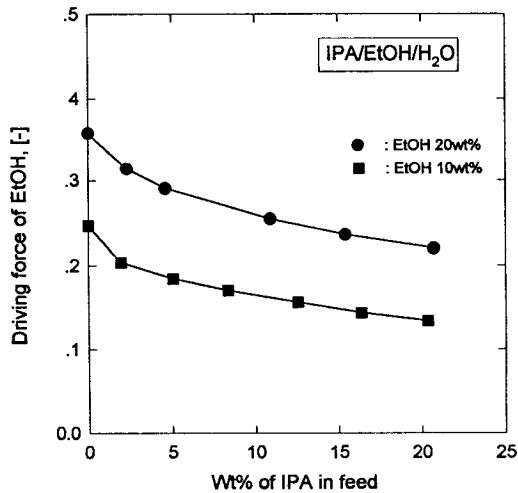


Fig. 8. Influence of IPA content on EtOH driving force.

투과성분 상호간의 작용력에 의한 영향이 더 크며 상호작용의 영향은 상호의 투과에 음의 영향을 미치기 때문으로 생각된다.

Fig. 6은 이성분과 삼성분 수용액에 대하여 공급액 중 에탄올의 농도에 따른 투과물 중 에탄올의 조성을 나타낸 것이다. 투과물의 에탄올 조성은 이성분 수용액의 경우에 가장 크고 이소프로판올의 함량이 증가할수록 감소하였다. Fig. 7은 이성분과 삼성분 수용액에 대하여 공급액 중 이소프로판올의 조성에 따른 투과액 중의 이소프로판올의 조성을 나타낸 것이다. Fig. 6에서와 마찬가지로 투과액 중 이소프로판올의 조성은 이성분 수용액의 경우에 가장 높았으며, 에탄올의 함유량이 증가할수록 감소하였다.

삼성분 알코올 수용액에서 에탄올과 이소프로판올이 상호의 투과속도를 감소시키는 원인을 규명하기 위해서 에탄올과 이소프로판올의 투과에 대한 추진력을 식(10)에 의하여 계산하였다. 추진력의 계산에 필요한 활동도계수는 UNIFAC으로 계산하였다.

Fig. 8은 에탄올의 조성을 각각 10wt%와 20wt%로 고정하였을 때 이소프로판올의 조성에 따른 에탄올투과의 추진력을 도시한 것이다. 에탄올/물 이성분계(이소프로판올의 조성이 0wt%일 때)에 비하여 삼성분 수용액에서 이소프로판올의 조성이 증가할수록 에탄올의 추진력이 감소하였다.

Fig. 9에는 이소프로판올의 조성을 각각 10wt%와 20wt%로 고정하였을 때 에탄올의 조성에 따른 이소

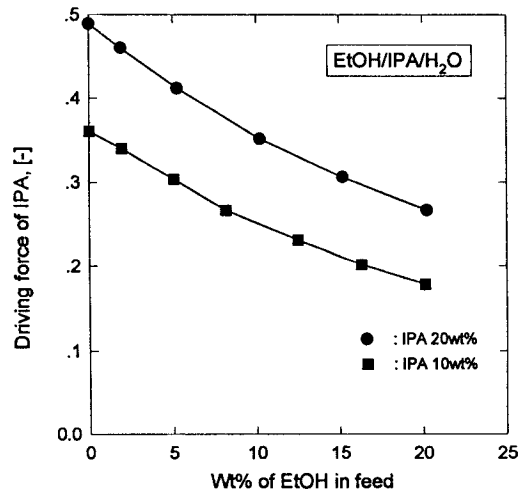


Fig. 9. Influence of EtOH content on IPA driving force.

프로판올 투과의 추진력을 나타낸 것이다. 역시 이소프로판올/물의 이성분계에 비하여 삼성분 수용액에서 에탄올의 조성이 증가할수록 이소프로판올의 추진력이 감소하였으며, Fig. 8과 비교하면 감소하는 경향이 더욱 크게 나타났다. 따라서 에탄올과 이소프로판올이 상호의 투과속도를 감소시키는 주된 이유는 삼성분 수용액에서 추진력의 감소 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 2에서 설명한 바와 같이, 이소프로판올의 존재가 에탄올의 투과속도에 미치는 영향이 적은 것은 이소프로판올에 의한 가소화의 영향과 추진력의 감소에 의한 영향의 차이가 작기 때문으로 생각한다. 반면에 Fig. 3에서와 같이 이소프로판올의 투과속도가 에탄올의 조성이 증가할수록 현저하게 감소하는 것은 추진력의 감소가 지배적이기 때문으로 생각된다. 이것은 이소프로판올에 비하여 에탄올이 PDMS막과의 친화력이 적기 때문에 에탄올에 의한 가소화 영향은 이소프로판올에 의한 가소화 영향보다 적은 반면, 투과성분 사이의 상호작용으로 이소프로판올 투과의 추진력이 현저하게 감소됨을 나타낸다.

가소화의 영향은 막을 팽윤시켜 각 성분들의 투과저항을 감소시킬 것으로 예상되어 식(11)로 나타낸 저항을 계산하였다. Fig. 10은 에탄올의 함유량을 각각 10wt%와 20wt%로 고정하였을 때 이소프로판올의 조성에 따른 에탄올의 투과저항을 나타낸 것이다. 예상한 바와 같이 이소프로판올의 조성이 증가함에

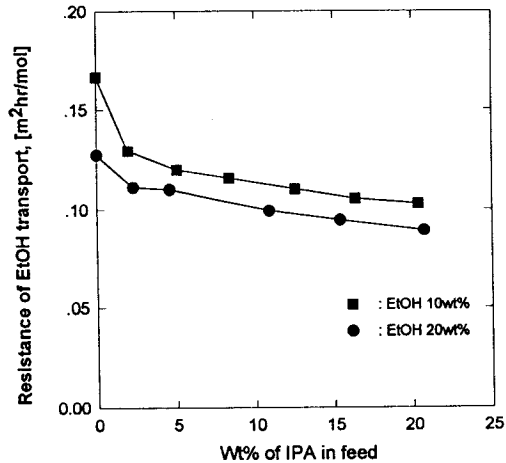


Fig. 10. Influence of IPA content on the resistance of EtOH transport.

따라 막의 가소화 영향 때문에 에탄올의 투과저항이 감소하였다. Fig. 11에는 이소프로판올의 함유량을 각각 10wt%와 20wt%로 고정하였을 때 에탄올의 조성에 따른 이소프로판올의 투과저항을 나타내었다. 에탄올의 조성이 증가함에 따라 이소프로판올의 투과저항도 감소함을 알 수 있다.

5. 결 론

45°C에서 PDMS막을 통한 에탄올/이소프로판올/물의 삼성분 혼합물의 투과실험을 행하고 그 분리특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 에탄올과 이소프로판올은 각각 상호의 투과속도를 감소시키는 경향을 나타내었다.
2. 이소프로판올이 에탄올의 투과에 미치는 영향보다는 에탄올이 이소프로판올의 투과에 미치는 영향이 더 컸다.
3. 에탄올과 이소프로판올이 상호의 투과속도를 감소시키는 경향은 에탄올과 이소프로판올에 의한 가소화 영향보다는 투과성분 사이의 상호작용에 의한 영향이 더 크기 때문으로 생각되었다.
4. 삼성분 수용액의 투과에서 에탄올과 이소프로판올은 상호의 투과저항과 추진력을 감소시키는 경향을 나타내었다.

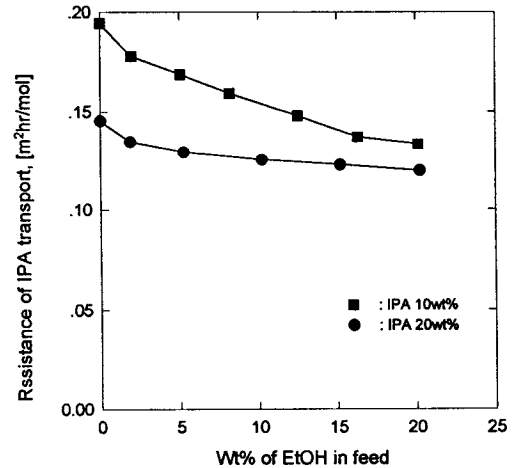


Fig. 11. Influence of EtOH content on the resistance of IPA transport.

Nomenclature

- D_i : Fick's diffusion coefficient, [m²/h]
- D_{i0} : thermodynamic diffusion coefficient, [m²/h]
- \bar{G}_i : partial molar Gibbs energy of component i in solution, [kJ/kgmol]
- J_i : permeation flux of component i , [kg/m²h or kgmol/m²h]
- J_{ni} : normalized permeation flux of component i , [kg/m²h or kgmol/m²h]
- p_2 : pressure in the permeate side, [atm]
- p_{i0} : vapor pressure of component i at experimental temperature, [atm]
- \bar{P}_i : average permeability coefficient of component i , [m²/h]
- R : gas constant, [kJ/kgmol K]
- T : absolute temperature, [K]
- c_i : concentration of component i in feed, [kgmol/m³]
- f_i : fugacity of component i , [atm]
- \hat{f}_i : fugacity of component i in solution, [atm]
- x_i : weight fraction or mole fraction of component i in feed, [-]
- y_i : weight fraction or mole fraction of component i in permeate, [-]
- z : position within membrane, [m]

Greek Symbols

- ρ_M : molar density, [kgmol/m³]
 δ : membrane thickness, [m]
 μ_i : chemical potential of component i, [kJ/kgmol]
 γ_i : activity coefficient of component i, [-]
 $\bar{\gamma}_{iM}$: average activity coefficient of component i in membrane, [-]
 χ_{iP} : Flory-Huggins interaction parameter, [-]

참고문헌

1. R. Y. M. Huang, "Pervaporation Membrane Separation Process", 117-118, Elsevier Science Publishers B. V.(1991).
2. P. Aptel, N. Challard, J. Cuny, and J. Neel, *J. Membrane Sci.*, **1**, 271(1976).
3. R. W. Baker, et al., "Membrane Separation Systems : Recent Developments and Future Directions", Noyes Data Corporation(1991).
4. R. C. Binning, R. J. Lee, J. F. Jennings, and E. C. Martin, *Ind. & Eng. Chem.*, **53**, 45(1961).
5. M. H. V. Mulder and C. A. Smolders, *J. Membrane Sci.*, **17**, 289(1984).
6. M. H. V. Mulder, A. C. M. Franken, and C. A. Smolders, *J. Membrane Sci.*, **23**, 41(1985).
7. M. H. V. Mulder, T. Franken, and C. A. Smolders, *J. Membrane Sci.*, **22**, 155(1985).
8. F. W. Greenlaw, R. A. Shelden, and E. V. Thompson, *J. Membrane Sci.*, **2**, 333(1977).
9. S. Goethaert, C. Dotremont, M. Kuijpers, M. Michiels, and C. Vandecasteele, *J. Membrane Sci.*, **78**, 135(1993).
10. R. Rautenbach, C. Herion, M. Franke, A. Asfour, A. Bemquerer-Costa, and M. Bo, *J. Membrane Sci.*, **36**, 445(1988).
11. R. Rautenbach, M. Franke, and S. T. Klatt, *J. Membrane Sci.*, **61**, 31(1991).