

반친 액막을 통한 페놀의 물질전달촉진 해석

C.F. 카세게르, 이성수*, 문진복, 박상욱
 부산대학교 공과대학 화학공학과
 * 포항제철 기술연구소

Facilitated Transport of Phenol through Supported Liquid Membrane

C. F. Kaseger, S. S. Lee, J. B. Moon and S. W. Park
 Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Pusan National University
 * POSCO Technical Research Lab.

서론

폐수중 페놀을 분리하는 공정을 포함하여 많은 화학분리공정은 주로 분리하고자 하는 물질들의 물리적인 성질을 기준으로 하여 진행된다[1-2]. 이와 같은 분리공정들은 공정비가 많이 소요되고 선택도 및 분리능에 한계가 있어 이를 보완하기 위해 액막법을 사용하여 분리한다. 액막법중 에멀전액막법(emulsion liquid membrane, ELM이라 칭함)을 사용하여 페놀의 분리 및 농축에 관한 연구[3-5]가 많이 있으나 에멀전의 안정성과 후처리 공정이 수반되기 때문에 산업적 적용범위가 한정되어 있다. 한편 반친액막법(supported liquid membrane, SLM이라 칭함)은 추출과 스트리핑 공정을 동시에 수행하며 액막의 안정성과 작동수명에 따라 사용범위가 에멀전 액막보다 넓다고 하겠다[6-10].

전보[11]에서 평판형 PTFE 지지막에 추출제인 benzene을 함침시켜 형성된 SLM이 페놀의 분리와 농축을 동시에 행할 수 있는 공정으로 규명되었고, 양이온을 포집할 수 있는 운반체로서 crown ether 일종인 dibenzo-18-Crown-6 (DBC라 칭함)를 이용한 결과 페놀의 분리속도를 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다. 경막설에 의해 페놀의 물질전달기구를 해석하고 이로부터 페놀의 총괄물질전달계수 및 각층의 물질전달계수를 구하였고, 운반체를 액막내에 함침시킬 경우 용질의 물질전달계수가 증가함을 보였다.

이는 운반체와의 화학반응에 의하여 증가함을 추측할 수 있으므로, 본 연구에서는 전보[11]의 실험결과를 기준으로하여 액막내에 함침된 운반체에 의한 페놀의 화학반응을 수반한 물질전달촉진현상을 체계적으로 해석하고자 한다.

이론

운반체인 DBC에 의한 페놀의 물질전달 기구는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 공급측에서 액막내로 전달된 페놀이 액막내에 존재하는 DBC와 반응을 하여 착화합물을 형성하고 형성된 착화합물이 해리하면서 페놀을 스트리핑측으로 전달한다. 그러므로 액막내에 운반체가 존재하지 않는 경우보다 존재하는 경우는 화학반응을 수반하기 때문에 페놀의 물질전달이 촉진됨을 알 수 있다. 액막측에서 페놀과 DBC의 가역반응을 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.



여기서 A는 페놀, B는 DBC, AB는 페놀과 DBC로부터 형성된 착화합물이고, k_1 과 k_{-1} 는 반응속도상수이다.

평판형 액막내에서 페놀이 경막설에 따라 집축계면의 수직방향으로 전달된다

고 가정하면 정상상태에서 각 성분의 물질수지식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_A \frac{d^2 C_A}{dx^2} - k_1 C_A C_B + k_{-1} C_{AB} = 0 \quad (2)$$

$$D_B \frac{d^2 C_B}{dx^2} - k_1 C_A C_B + k_{-1} C_{AB} = 0 \quad (3)$$

$$D_{AB} \frac{d^2 C_{AB}}{dx^2} + k_1 C_A C_B - k_{-1} C_{AB} = 0 \quad (4)$$

운반체의 농도, C_T 의 물질수지는 식 (5)와 같다.

$$C_T = C_B + C_{AB} \quad (5)$$

식 (2)-(4)의 해를 구하기 위한 경계조건은 다음과 같다.

$$\text{at } x = 0, C_A = C_{A0}, \frac{dC_B}{dx} = \frac{dC_{AB}}{dx} = 0 \quad (6)$$

$$\text{at } x = L, C_A = C_{AL}, \frac{dC_B}{dx} = \frac{dC_{AB}}{dx} = 0$$

액막을 통한 페놀(A)의 전체 flux는 식 (7)과 같이 운반체가 존재하지 않는 경우의 flux와 운반체에 의한 flux의 합과 같다.

$$N_{AT} = -D_A \frac{dC_A}{dx} - D_{AB} \frac{dC_{AB}}{dx} \quad (7)$$

그리고 물질전달촉진계수는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$F = \frac{N_{AT}}{N_{A0}} \quad (8)$$

여기서 N_{A0} 는 운반체가 없는 경우의 페놀의 flux이다. 식 (2)-(4)를 경계조건, 식 (6)을 사용하여 막내에서의 각성분의 농도분포를 구할 수 있으며, 이들 농도분포로부터 $x=L$ 에서의 접선의 기울기로부터 운반체에 의한 페놀의 flux와 운반체가 없는 경우의 flux로부터 페놀의 물질전달 촉진계수, F 를 구할 수 있다.

실험

본 연구에서 사용한 시약 및 회분식 막분리기는 전보[11]와 같다.

결론

4.1. 액막측 페놀의 농도

공급측 수용액의 농도, C_F 인 페놀이 평판형 고분자 다공질 지지막에 담지된 유기상을 통해 스트리핑측으로 이동되는 과정을 Fig.2에 나타내었다. 공급측, 액막측 및 스트리핑측에서 페놀의 flux는 경막설을 이용하여 일반적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N^o = K^o (C_f - C_s) = k_f^o (C_f - C_{fi}) = k_m^o (\overline{C}_f - \overline{C}_s) = k_s^o (C_{si} - C_s) \quad (9)$$

여기서 K 는 총괄물질전달계수, k_f, k_m, k_s 는 각 측에서의 물질전달계수이다.

공급측과 스트리핑측의 수용액상과 액막측 유기상에서 페놀의 분배계수, E 를 다음과 같이 정의하면 식 (9)와 (10)으로부터 식 (11)과 같은 액막측 페놀의 농도를 구하기 위한 관계식을 얻을 수 있다.

$$E = \frac{\bar{C}}{C} \quad (10)$$

$$C_{A0} = \frac{k_f C_{Af} + k_m C_{AL}}{k_m + \frac{k_f}{E}} \quad (11)$$

4.2. 운반체의 농도에 따른 페놀의 물질전달촉진

운반체인 DBC의 영향을 고찰하기 위하여 공급측 페놀의 초기농도, 0.00054mole/l, 스트리핑측 수용액을 순수로하여 DBC의 농도를 0.001에서 0.015 mole/l로 변화시키면서 구한 물질전달촉진계수, F_{exp} 과 이론식들로부터 산출된 물질전달촉진계수, F_{calc} 과 비교하여 Fig. 3에 도시하였다. 이 그림에서 DBC의 농도가 증가할수록 물질전달촉진계수는 증가하고 실험값과 계산값들이 근사함을 알 수 있다. 이는 액막내에서 존재하는 운반체, DBC가 공급측에서 액막으로 전달된 페놀과 화학반응이 수반하기 때문에 페놀이 빠르게 스트리핑측으로 전달되고 페놀의 물질전달촉진계수도 증가함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 모델의 타당성을 확인할 수 있다.

참고문헌

1. Urtiaga, A. M., Ortiz, M. I., Salazar, E. : Ind. Eng. Chem. Res., 31, 877 (1992).
2. Noble, R. D., Koval, C. A. : Chem. Eng. Prog., March, 58 (1989).
3. Cahn, R. P. and Li, N. N. : Sep. Sci. Technol., 9, 505 (1974).
4. Halwachs, W., Flaschel, E. and Schugerl, K. : J. Membr. Sci., 6, 33 (1986).
5. Teramoto, M. and Matsuyama, H. : J. Chem. Eng. Japan, 19, 469 (1986).
6. Noble, R. D., Way, J. D. and Bunge, A. : Ion Exch. Solvent. Extr., 10, 63 (1988).
7. Prasad, R. and Sirkar, K. K. : AIChE J., 34, 177 (1988).
8. Basu, R., Prasad, R. and Sirkar, K. K. : ibid., 36, 450 (1990).
9. Sengupta, A., Basu, R. and Sirkar, K. K. : ibid., 34, 1698 (1988).
10. Way, J. D., Noble, R. D. and Bateman, B. R. : ACS Symp. Ser. 269, 119 (1985).
11. 카세게르, C. F., 이 성수, 문진복, 박 상욱, 화학공학의 이론과 응용, "95 춘계 학술발표회 논문집", 제 1권, 제 1호, 221 (1995).

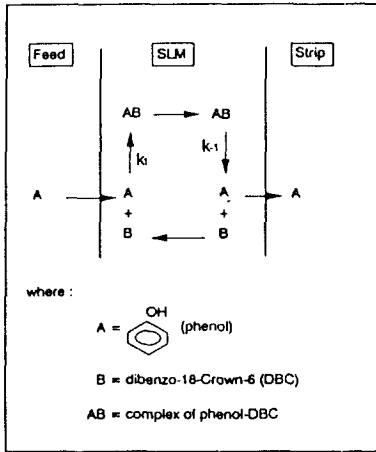


Fig. 1. Phenol transfer through SLM using DBC as carrier

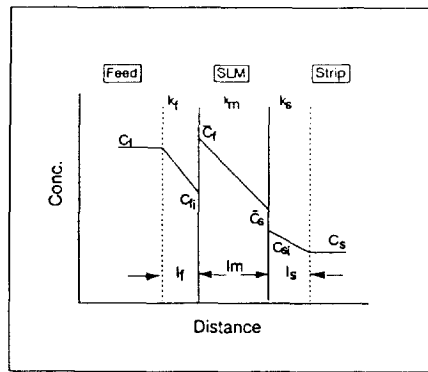


Fig. 2. Concentration profiles of phenol in the bulk solutions, aqueous boundary layers and SLM at steady state by film theory.

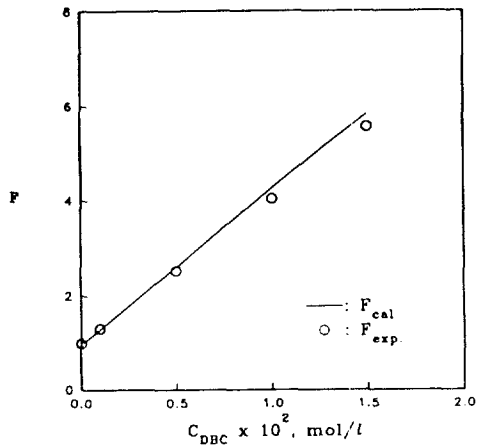


Fig. 3. Effect of carrier concentration on facilitation factor (F).