

지지막을 이용하는 액막 추출기 내에서 아연 이온의 이동

주 창 식·이 석 희·이 민 규·홍 성 수·하 흥 두·정 석 기
부경대학교 화학공학과
(1999년 12월 11일 접수)

Transport of Zinc Ion in a Contained Liquid Membrane Permeator with Two Micro-Porous Films

Chang-Sik Ju, Seok-Hee Lee, Min-Gyu Lee, Seong-Soo Hong,
Hong-Doo Ha, and Suk-Ki Jeong
Dept. of Chem. Eng., Pukyong National University
(Manuscript received 11 December, 1999)

For the purpose of development of a liquid membrane permeator which separates metal ions from aqueous solutions continuously and effectively, a continuous membrane permeator with the membrane solution trapped between extraction and stripping phases by two micro-porous hydrophilic films was manufactured.

Experimental researches on the separation of zinc ion from aqueous solutions were performed in the liquid membrane permeator with 30 vol % D₂EHPA solution in kerosene as liquid membrane. As results, the liquid membrane permeator separates zinc ion from aqueous solutions continuously and effectively in the wide range of operating conditions. A simple mass transfer rate model using equilibrium constant of the extraction reaction for the system used were proposed, and the model was compared with experimental results of separation of zinc ion in the permeator. And the effects of operating factors, such as space time, pH of extraction solution, extraction temperature, on the separation rate of zinc ion in the permeator were experimentally examined

Key words : liquid membrane permeator, zinc transport, micro-porous film

1. 서 론

수용액 중의 특정 용질을 분리하는 많은 공정들 중에서 액막을 이용하는 분리법은 회박 용액으로부터 금속이온이나 단백질 등의 용질을 분리, 농축하는 매우 유용한 방법으로 알려지고 있다. 액막을 이용하는 분리 장치로는 여러 가지가 소개되고 있으나, 지지막을 이용하는 액막 추출기는 추출과 회수의 두 단계를 한 장치 내에서 수행할 수 있을 뿐 아니라, 분리 속도가 비교적 빠르고, 에너지 비용이 적게 소요되는 등 유리한 점이 많아 연구가 매우 활발하게 수행되고 있다.

지지막을 이용하는 액막 추출기로는 비 기능성 다공 박막의 미세공에 막액을 함침시켜 분리에 사용하는 함침액막추출기(supported liquid membrane permeator)¹⁾와 주로 공중사와 유리관의 shell-and-tube 형 구조를 갖는 hollow fiber contained liquid membrane permeator (HFCLMP)²⁾가 사용되고 있다. 그러나 함침액막추출기는 함침된 막액의 양이 매우 적은 관계로 막의 내구성이 우수하지 못하고, HFCLMP는 공중사의 지름이 매우 작기 때문에 처리액 중에 부유물이 존재하는 경우에는 사용이 매우 불편하다는 단점이 지적되고 있다.

액막 추출기를 수용액 중의 금속이온 분리에 이용한 연구로는 D₂EHPA를 추출제로 사용하여 수용액 중의 니켈 이온 분리를 시도한 L.H. Cruz 등³⁾의 연구를 비롯하여 많은 연구 결과가 보고되고 있다.

최근에는 액막 추출기를 아미노산이나 단백질의 분리에 이용한 연구 결과들도 다수 보고되고 있어, 액막 추출기의 이용 영역이 더욱 확대될 것으로 예상된다. M. Bryjak⁴⁾ 등은 crown-ether를 추출제로 사용하여 함침액막추출기에서 아미노산을 분리하는 연구를 행하였고, Y.F. Shi 등⁵⁾은 함침액막추출기를 사용하여 효소에 의한 peniciline G의 가수분해 억제물질을 분리하는 연구 결과를 발표하였다.

액막 추출기 내에서 일어나는 이동현상의 수학적 모사는 실험 결과의 해석과 장치의 설계에 매우 중요하다. E.L. Cussler⁶⁾는 추출제를 함유하는 액막을 통한 물질이동에 관한 기본적인 이동 속도식을 제시한 바, N.N. Li⁷⁾는 추출기 내에서 용질의 이동속도가 추출상과 회수상의 농도 차이에 비례한다는 간단한 수학적 모델을 제시한 바가 있다. 그 후에도 Martin과 Davies,⁸⁾ Volk과 Halwachs⁹⁾ 그리고 Gladek 등¹⁰⁾도 비슷한 수학적 모델들

을 제시하였다. 그러나, 액막 추출기 내에서의 물질이동은 추출제와 용질 사이의 추출반응을 동반하기 때문에, 추출기 내에서의 용질 이동 모델은 사용된 추출제와 용질 사이의 추출반응기구에 따라 달라지게 된다.

따라서, 본 연구에서는 수용액 중의 금속이온을 효과적이고 지속적으로 분리할 수 있는 액막 추출기를 개발할 목적으로 두 장의 친유성 미세 여과지를 지지막으로 사용하는 연속식 액막 추출기를 제작하고, 막막으로는 케로신에 30 vol %로 희석시킨 D₂EHPA 용액을 사용하여 수용액 중의 아연 이온을 분리하는 실험적 조사를 행하였다. 본 연구에서 사용한 지지막을 이용하는 액막 추출기는 추출제를 함유하는 유기상(막액)의 박막을 두 장의 비기능성 다공 박막을 사용하여 추출상과 회수상 사이에 설치한 구조로 되어 있다. 이 액막 추출기는 추출과정에서 유실된 막액이 자동 보충되므로 합침액막추출기에 비하여 액막의 내구성이 매우 높을 뿐 아니라, 기존의 HFCLMP와는 달리 처리액에 부유물이 존재하는 경우에도 효과적으로 사용할 수 있었다.¹¹⁾

추출반응 평형상수를 이용하여 본 연구에서 사용한 계에 대한 간단한 물질전달 속도 모델을 제시하고, 액막 추출기 내에서의 아연 이온 분리 속도 실험 결과와 이 물질전달 속도 모델을 비교 검토하였다.

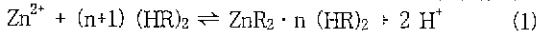
아울러 아연 이온의 분리 속도에 영향을 미치는 공간 시간, 추출액의 pH, 추출 온도 등 조작변수들의 영향도 실험적으로 조사하였다.

2. 아연 이온 추출 모델

액막 추출기 내에서의 물질전달은 1) 추출상 내에서의 이동, 2) 추출상-액막 계면에서의 추출반응, 3) 액막 내에서의 확산, 4) 액막-회수상 계면에서의 회수반응, 5) 회수상 내에서의 이동의 5 단계를 거쳐 진행된다.

2.1. D₂EHPA에 의한 아연 이온의 추출평형

유기상 내에서 D₂EHPA는 이량체와 평형을 이루며 존재하고, 아연을 비롯한 2가 금속의 D₂EHPA에 의한 추출반응은 다음과 같이 진행되는 것으로 알려져 있다.¹⁾



이 추출반응의 추출평형 상수 K_{ex}는

$$K_{ex} = \frac{[\text{ZnR}_2 \cdot n (\text{HR})_2][\text{H}^+]^2}{[\text{Zn}^{2+}][(\text{HR})_2]^{n+1}} \quad (2)$$

여기서 조건부 평형상수(conditional equilibrium constant) K^{*}_{ex}를 아래와 같이 정의한다.

$$K_{ex}^* = K_{ex}[\text{H}^+]^{-2} \quad (3)$$

추출반응이 매우 빨라 추출상-액막 계면에서 화학평형이 존재한다고 가정하면 추출제 HR의 수지식은

$$[\text{HR}]_0 = [\text{HR}] + 2(n+1)K_{ex}^*[\text{Zn}^{2+}][(\text{HR})_2]^{n+1} \quad (4)$$

2.2. 액막 추출기 내에서의 아연 이온 Flux 계산

추출 및 회수반응은 확산에 비하여 매우 빠르게 일어나므로, 추출 및 회수반응에서 기인되는 물질전달 저항을 무시하면 물질전달 속도식을 확산 항만으로 표시할

수 있다. 액막 추출기 내에서의 농도구배가 선형이라 가정하면, 추출상 경막에서의 flux J₀와 액막 내에서의 flux J_m은 각각 다음 식으로 표시된다

$$J_0 = \frac{D_a}{d_a} ([\text{Zn}^{2+}]_i - [\text{Zn}^{2+}]_j) \quad (5)$$

$$J_m = \frac{D_m}{d_m} ([\text{ZnR}_2 \cdot n (\text{HR})_2]_{m,j} - [\text{ZnR}_2 \cdot n (\text{HR})_2]_{m,i}) \quad (6)$$

추출반응이 매우 빨라 화학평형에 도달했다 가정하면

$$[\text{ZnR}_2 \cdot n (\text{HR})_2]_{m,j} = K_{ex}^*[\text{Zn}^{2+}]_j [(\text{HR})_2]_{m,j}^{n+1} \quad (7)$$

이 된다.

그리고, 회수상 중의 산 농도가 충분히 클 경우 액막-회수상 계면에서의 아연 이온 분배계수가 추출상-액막 계면에서의 분배계수보다 대단히 작으므로

$[\text{ZnR}_2 \cdot n (\text{HR})_2]_{m,i} = 0$ 이라 가정하면, 정상상태에서의 아연 이온 추출 flux J는

$$J = J_0 = J_m = \frac{(D_m/d_m)K_{ex}^*[(\text{HR})_2]^{n+1}(D_a/d_a)}{(D_a/d_a) + (D_m/d_m)K_{ex}^*[(\text{HR})_2]^{n+1}} [\text{Zn}^{2+}]_i$$

$$= \frac{K_{ex}^*[(\text{HR})_2]^{n+1}}{(d_m/D_m) + (d_a/D_a) \cdot K_{ex}^*[(\text{HR})_2]^{n+1}} [\text{Zn}^{2+}] \quad (8)$$

여기서 $d_m/D_m = R_m$, $d_a/D_a = R_a$ 로 두면

$$J = \frac{K_{ex}^*[(\text{HR})_2]^{n+1}}{R_m + R_a \cdot K_{ex}^*[(\text{HR})_2]^{n+1}} [\text{Zn}^{2+}] \quad (9)$$

민저 추출상의 아연 농도 $[\text{Zn}^{2+}]_i$ 가 매우 클 경우에는 $[\text{HR}]$ 가 매우 작아져 $R_m \gg R_a \cdot K_{ex}^* \cdot [(\text{HR})_2]^{n+1}$ 이 되고, 추출제 수지식에서 $[\text{HR}]_0 = 2(n+1) \cdot K_{ex}^* \cdot [\text{Zn}^{2+}] \cdot [(\text{HR})_2]^{n+1}$ 이 되므로

$$J = \frac{K_{ex}^*[(\text{HR})_2]^{n+1}[\text{Zn}^{2+}]}{R_m} = \frac{[\text{HR}]_0}{2R_m(n+1)} \quad (10)$$

이 되어 flux J는 추출액 중의 아연 농도와 무관하게 된다

그리고, 혼합흐름반응기 내에서의 flux J를

$$J = \frac{Q}{A} ([\text{Zn}^{2+}]_i - [\text{Zn}^{2+}]_j) \quad (11)$$

로 정의하면, 이들 두 식에서부터 액막 추출기 내에서의 정상상태 아연농도는

$$[\text{Zn}^{2+}]_j = [\text{Zn}^{2+}]_i - \frac{[\text{HR}]_0 A}{2 R_m (n+1) V} \tau \quad (12)$$

로 구할 수 있게 된다.

추출상의 아연 농도 $[\text{Zn}^{2+}]_j$ 가 매우 작을 경우에는 $[\text{HR}]$ 가 매우 커져, $R_m \ll R_a \cdot K_{ex}^* \cdot [(\text{HR})_2]^{n+1}$ 이 되고, 추출제 수지식에서 $[\text{HR}]_0 = [\text{HR}]$ 가 되므로

$$J = \frac{[\text{Zn}^{2+}]_i}{R_a} \quad (13)$$

이 되어 flux가 추출액 중의 아연 농도에 비례하게 된다.

3. 실험

본 연구에서는 수용액 중의 금속이온을 효과적이고 지속적으로 분리, 농축할 수 있는 액막 추출기를 개발할 목적으로 Fig. 1에 나타난 것과 같은 연속식 액막 추출기를 제작하여 수용액 중에 존재하는 아연 이온의 분리 실험을 행하였다.

연속식 액막 추출기의 구조와 크기는 지난 회분식 추

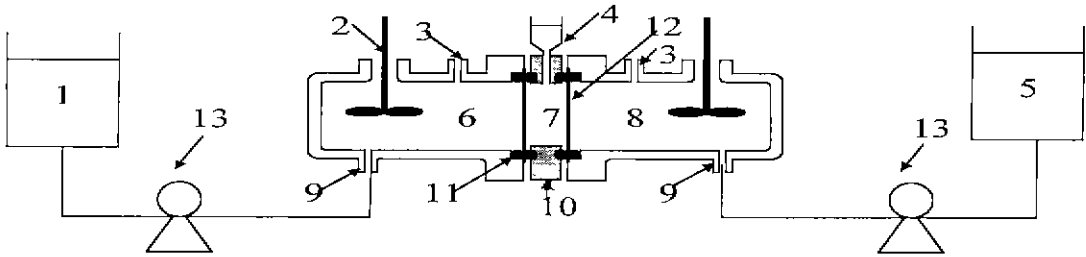


Fig. 1. The schematic diagram of contained liquid membrane permeator with two micro-porous films.

- | | |
|----------------------------------|----------------------|
| 1. extraction solution reservoir | 8. stripping phase |
| 2. stirrer | 9. feeding tap |
| 3. drain tap | 10. teflon cell |
| 4. liquid membrane reservoir | 11. teflon seal |
| 5. stripping solution reservoir | 12. membrane filter |
| 6. extraction phase | 13. peristaltic pump |
| 7. liquid membrane | |

출 연구¹¹⁾에서 사용한 것과 동일하게 하였으며, 연속식 조작을 할 수 있도록 추출조와 회수조에 각각 출-입구를 설치하고 미량 펌프를 사용하여 추출액 및 회수액 저장조로부터 추출액과 회수액을 일정한 유속으로 공급할 수 있도록 준비하였다

막액으로는 케로신에 30 vol%로 희석시킨 D₂EHPA 용액을 사용하였고, 회수액으로는 1 mol/l의 황산 수용액을 사용하였다.

액막 추출기를 원하는 온도로 향온이 유지된 항온 수조 속에 설치하고 열적 평형에 도달시킨 후, 미량 펌프를 통하여 추출액과 회수액을 동일하게 일정한 속도로 추출조와 회수조 속으로 유입시킨다. 추출액과 회수액이 유입되기 시작한 시각으로부터 일정시간 간격으로 추출상과 회수상으로부터의 유출액을 각각 취하여 원자흡광분광광도계(AA)로 아연의 농도를 분석하였다. 추출상과 회수상 출구에서의 아연 농도가 시간의 경과에도 불구하고 일정해지는 시점을 액막 추출기가 정상상태에 도달한 시작으로 판정하였다. 정상상태에 도달하면 추출상의 수소이온 농도를 측정하였다.

유입되는 추출액과 회수액의 유속(공간시간), 추출액 중의 아연 이온 초기농도, 추출액의 초기 pH, 추출온도 등의 조작 변수들을 변화시키면서 추출 실험을 행하여 이들 추출 변수들이 추출에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다

아울러 액막 추출기가 정상상태에 도달한 이후에도 상당 시간 동안 분리 조작을 계속하여 액막의 내구성을 조사하였다

4. 결과 및 고찰

Fig. 1에 나타낸 지지막을 이용한 연속식 액막 추출기를 사용하여 수용액 중의 아연 이온 추출 실험을 행하

여, 추출기 조작 시간에 따른 추출상과 회수상의 농도 변화를 공간시간을 매개변수로 하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig 2를 보면 추출이 시작되어 일정 시간이 경과할 때까지는 추출기 조작 시간이 증가하면 추출상의 아연 농도는 감소하고 회수상의 아연 농도는 증가하다가, 일정 시간이 경과하면 추출이 정상상태에 도달하여 각 상의 아연 농도가 일정하게 유지되는 것을 일 수 있었다. 추출 초기에는 추출상의 아연 농도가 급격히 감소함에도 불구하고 회수상의 아연 농도가 영을 유지하는데 이는 추출상 중의 아연 이온이 액막 중에 축적되는 기인을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 추출 조작을 시작한 지 대략 10 - 15 시간이 경과하면 추출기가 정상상태에 도달하

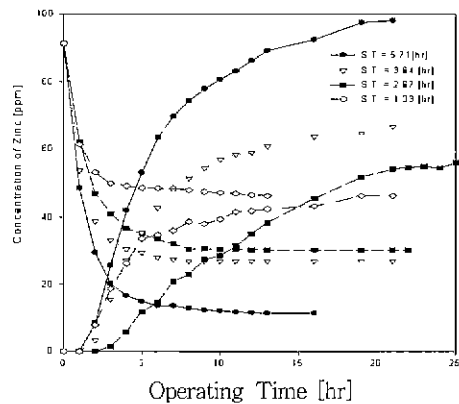


Fig. 2. The representative concentration profile of zinc ion in extraction and stripping solutions with operating time at various space times. [T=30°C, C_{Zn,0} = 0.01mol/l, C_{H₂SO₄} = 1mol/l]

는 것으로 나타났다. 정상상태에 도달한 후의 추출상 중 아연 잔류농도는 공간시간이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타나, 추출물이 공간시간에 따라 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 Fig 2에서 추출상의 아연 이온 농도 감소 폭과 회수상의 아연 이온 농도 증가 폭이 다소 다른 것은 실험상의 문제로 인하여 두 상의 유속이 정확하게 일치하지 않았기 때문에 나타나는 현상으로 해석된다.

공간시간에 따른 아연 이온의 평형 추출물 변화를 나타내고 있는 Fig. 3을 보면, 공간시간이 증가할수록 그리고 추출액 중의 아연 초기 농도가 감소할수록 평형 추출물은 증가하는 경향을 보이고 있다 이는 공간시간이 증가할수록 아연의 추출 시간이 길어져 평형 추출물은 증가하고, 추출액 중의 아연 이온 초기 농도가 증가할수록 평형 추출량은 증가할 것으로 예상되나 초기의 아연 이온 농도가 높기 때문에 평형 추출물은 감소하는 것으로 나타난다고 생각된다. 이러한 연속식 액막 추출기의 실험 결과를 동일한 액막 추출기를 사용하고 아연 이온의 초기 농도를 0.03 mol/l로 하여 회분식 조작에서 얻은 결과(Fig. 3에서 점선으로 표시된 것)와 비교하면, 회분식 조작에서 얻은 추출물이 동일 초기 농도에서 연속식 조작에서 얻은 값보다 다소 높은 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 회분 반응기와 혼합흐름반응기의 반응기 특상상의 이유도 있겠지만, 회분 조작 시에는 추출 초기에 액막에 아연 이온이 축적되는 과정이 정상상태에 도달한 후의 아연 추출속도보다 빠르기 때문인 것으로 해석된다

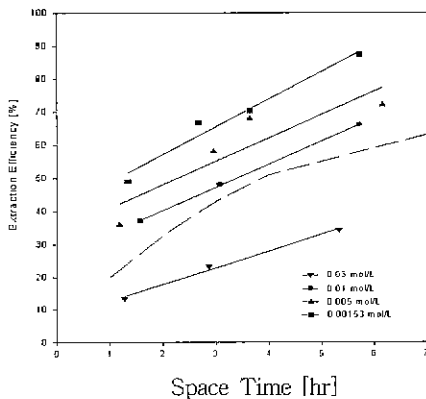


Fig. 3. The effect of space time and initial zinc concentration of feed solutions on the extraction efficiency of zinc ion in the permeator. (dotted line is in batch permeator at the same conditions)

지지막을 이용하는 연속식 액막 추출기 내에서의 아연 이온 이동 속도를 조사하기 위해서 실험 결과들로부터 아연 이온 추출 flux를 산출하였다. 연속식 액막 추출기를 사용하여 아연 이온을 추출할 경우 추정정상상태에 도달한 후의 추출상을 기준으로 한 아연 이온 flux J를

(11) 식과 같이 정의하고, 각 조건에서의 flux를 산출하여 아연 이온 초기 농도를 계변수로 하여 공간시간의 함수로 Fig. 4에 나타내었다.

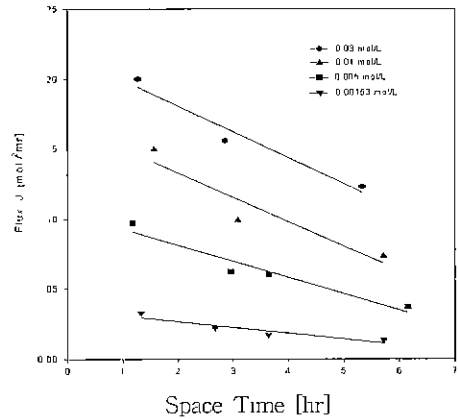


Fig 4. The influence of space time on the zinc flux at various initial concentration of zinc in extraction solutions

Fig. 4를 보면, 공간시간이 감소할수록, 그리고 아연 이온의 초기 농도가 증가할수록 flux는 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 근본적으로 flux가 아연 이온의 평형 농도에 비례하는 경향이 있기 때문에, 공간시간이 감소하거나 추출액의 초기 아연 농도가 증가하면 결과적으로 추출액 중의 아연 이온 평형 농도가 높게 유지되기 때문에 flux가 증가하는 것으로 해석된다.

flux는 일반적으로 아연 이온의 평형 농도에 비례할 것으로 예상되기 때문에 이들의 구체적인 관계를 규명하기 위해서, flux를 공간시간을 계변수로 하여 아연 이온 평형 농도의 함수로 나타낸 것이 Fig. 5이다. Fig. 5를 보면, 아연의 평형 농도가 극히 낮은 영역에서는 flux가 공간시간에 관계없이 아연 이온의 평형 농도에 따라 직선적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나, 아연 이온의 평형 농도가 증가하면 flux의 증가 속도가 점차 감소하다가, 아연 이온의 평형 농도가 큰 영역에서는 flux가 아연 이온의 평형 농도와 무관하게 일정해지는 경향을 보인다 그리고, 아연 이온의 평형 농도가 큰 영역에서는 flux가 공간시간의 영향을 받아 공간시간이 증가할수록 flux가 감소하는 것으로 나타났다.

이러한 현상들은 2절에서 제시한 아연 이온 추출 모델로 설명할 수 있다.

본 연구에서 제시한 아연 이온 추출 모델에서 추출상의 아연 이온 평형 농도가 매우 낮은 경우는 flux J가 (13) 식과 같이 되어 flux가 아연 이온 평형 농도에 비례하는 것으로 나타나고 있다. 이 때 비례상수는 $1/R_a = D_a/d_a$ 로 추출상에서의 확산계수 D_a 와 추출상 경막의 두께 d_a 의 비로 나타난다 본 계에서는 교반이 일정하고 충분히 진행되고 있다고 가정하면 이들 두 값들은 일정

하므로 flux가 아연이온 평형 농도에 따라 직선적으로 증가하는 것을 나타내게 된다 이 때, 이 두 값의 비는 Fig. 5에서 직선 부분의 기울기로 알 수 있다.

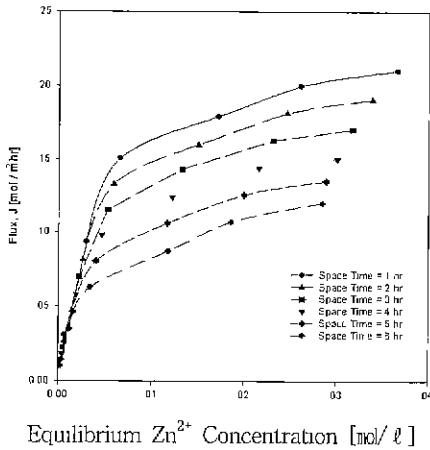


Fig. 5. The correlation of zinc flux to the equilibrium concentration of zinc solutions at various space time.

아연 이온의 평형 농도가 높은 영역에서는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 아연 이온의 flux가 아연의 농도에는 거의 무관하고, 공간시간 감소할수록 증가하는 경향을 나타낸다. 이러한 현상도 아연 이온 추출 모델로서 해석할 수 있다 아연 이온 추출 모델에서 아연 이온의 평형 농도가 큰 경우에는 flux J가 (10) 식과 같이 되어 아연 이온의 평형 농도와는 무관하게 일정한 값을 갖게 된다. 그러나, 공간시간이 증가하면 아연 flux는 감소하는 것으로 나타났다

Fig 6은 실험 결과들로부터 아연 이온의 평형 농도를 추출상의 아연 이온 초기 농도를 매개변수로 하여 공간 시간 τ 의 함수로 나타낸 것이다. Fig. 6을 보면 아연 이온의 평형 농도는 초기 농도에 관계없이 공간시간의 증가에 따라 거의 직선적으로 감소하는 것으로 나타나 있다 아연 추출 모델에서는 아연 이온의 평형 농도가 대단히 큰 경우에 아연 이온의 평형 농도는 (12) 식과 같이 되어, 절편이 아연 이온 초기 농도 $[Zn^{2+}]_0$ 이고 공간시간에 따라 직선적으로 감소하는 직선으로 나타난다 그러나, Fig. 6의 실험 결과는 평형 농도가 공간시간에 따라 직선적으로 감소한다는 점에서는 모델과 일치하지만, 절편은 $[Zn^{2+}]_0$ 와 일치하지 않는다. 아연 이온의 초기 농도가 0.03 mol/l로 가장 큰 경우에는 절편이 초기 농도 $[Zn^{2+}]_0$ 에 비교적 가까우나, 초기 농도가 낮아질수록 $[Zn^{2+}]_0$ 에서 크게 벗어나는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 (12) 식이 아연 이온 평형 농도가 대단히 큰 경우에 적용되는 식이기 때문에 나타나는 현상으로 해석된다.

추출 온도, 추출액의 pH 등 추출 조건이 추출에 미치는 영향을 조사한 결과를 Fig. 7과 8에 나타내었다. 추출

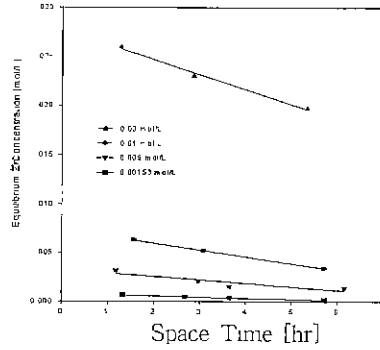


Fig. 6. The concentration profiles of zinc ion in the permeator with space time at different initial concentrations of zinc ion.

액 중의 아연 이온 초기 농도가 100ppm인 경우(아연 이온의 평형 농도가 매우 낮은 경우)에 추출 온도가 추출에 미치는 영향을 나타내고 있는 Fig. 7을 보면, 추출 온도가 증가할수록 아연 이온의 추출 flux는 거의 직선적으로 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 유기추출제를 사용하는 액막 추출에서는 일반적으로 추출반응이 매우 빨라 추출 flux를 확산항만으로 쓸 수 있다는 것을 감안한다면, 추출 온도가 증가하여 추출반응이 빨라진데서 기인한다는 것보다는 추출 온도의 증가에 따라 수용액 중의 아연 이온 확산계수 D_a 가 증가하여 (13)식에 따라 추출 flux가 증가하게 된 것으로 해석할 수 있다.

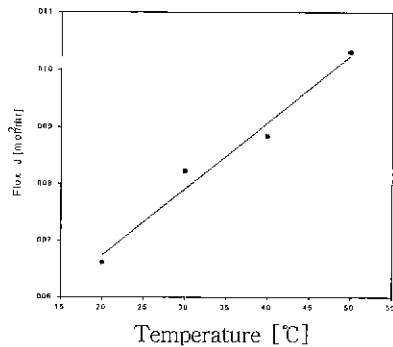


Fig 7. The effect of extraction temperature on the zinc ion flux in the permeator at space time of 8 hr

추출기가 정상상태에 도달한 후의 추출기 내의 추출액 pH가 아연 이온의 추출에 미치는 영향을 나타내고 있는 Fig. 8을 보면, 추출액의 pH가 증가할수록 아연 이온 추출 flux가 전반적으로 증가하여 추출이 잘 이루어지는 것으로 나타나고 있다 그러나, 추출액의 pH가 증가할수록 아연 이온 추출 flux의 증가폭이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 회분식 실험에서 추출액의 평형 pH가 낮은 영역에서는 pH가 추출에 큰 영향을 미치지만,

평형 pH가 일정 값 이상이 되면 거의 영향을 미치지 않는다는 연구 결과와 일치하는 것으로 볼 수 있다.

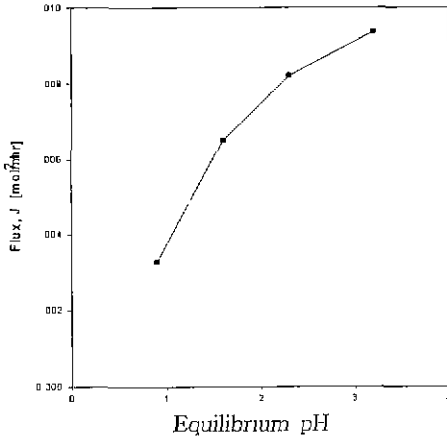


Fig. 8. The effect of equilibrium pH of extraction phase on the zinc ion flux in the permeator at the space time of 8 hr.

5. 결론

수용액 중의 금속이온을 효과적이고 지속적으로 분리할 수 있는 액막 추출기를 개발할 목적으로 두 장의 친유성 미세 여과자를 지지막으로 사용하는 액막추출기를 제작하여 행한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 본 연구에서 사용한 지지막을 이용하는 연속식 액막 추출기는 추출 개시 후 대개 10 - 15 시간이 경과하면 추출 평형에 도달하였으며, 평형 추출률은 공간시간이 증가할수록 그리고 아연 이온의 초기농도가 감소할수록 증가하였다.

2) 아연 이온 추출 flux는 아연 이온의 평형 농도가 매우 낮은 경우에는 아연 이온의 평형 농도에 따라 직선적으로 증가하지만, 아연 이온의 평형 농도가 증가하면 증가폭이 점차 감소하여 아연 이온의 농도가 매우 큰 영역에서는 아연 이온의 평형 농도에 무관하게 일정한 값을 나타낸다

3) 아연 이온의 평형 농도는 공간시간에 따라 직선적으로 감소하며, 초기 아연 농도가 높을수록 절편이 초기 농도에 근접하였다.

4) 아연 이온의 정상상태 추출 flux는 추출 온도에 따라 직선적으로 증가하고, 추출액의 pH에 따라서도 증가하는 경향을 나타내었다.

사용 기호

- A : mass transfer area D : diffusivity
 d : thickness
 J : steady state zinc flux
 K_{ex} : extraction equilibrium constant
 K_{ex}^* : conditional extraction equilibrium constant
 Q : volumetric flow rate R : d / D
 V : cell volume τ : space time

하첨자

- a : in aqueous film F : in feed
 f : at extraction phase - liquid membrane interface
 i : initial m : in membrane
 o : overall
 s : at stripping phase - liquid membrane interface

참고 문헌

- 1) Guerriero, R and L. Meregalli, 1988, Hydrometallurgy, 20, 109.
- 2) Guha, A. K., C. H. Yun., R. Basu. and K. K. Sirkar, 1994, AIChE J., 40(7), 1223.
- 3) Cruz, L. H., G. T. Lapidus and F. C. Romo, 1998, Hydrometallurgy, 48, 265.
- 4) Bryjak, M., P. Wiczorek and P. Kafarski, 1988, J. Membr. Sci., 37, 287
- 5) Shi, Y. F., X. Yu and Q. Yuan, 1997, Proc. Asia-Pacific Biochem. Eng. Conf., Beijing, 408.
- 6) Cussler, E. L., 1976, "Multicomponent Diffusion", Elsevier Scientific, Amsterdam.
- 7) Li, N. N., 1971, Ind. Eng. Chem. Process, 10, 215.
- 8) Martin, T. P., G. A. Davies, 1976, Hydrometallurgy, 2, 315.
- 9) Volkel, W. and W. Halwachs, 1980, J. Membr. Sci., 6, 19.
- 10) Gladek, L., J. Stemazek, and J. Szust, 1982, J. Membr. Sci., 12, 153.
- 11) Ju, C. S., J. K. Cheon and H. D. Ha, 1999, HWA-HAK GONGHAK, in press.