

산업 폐수중 유화액막에 의한 크롬(VI)의 분리
 Separation of Chromium(VI) Ion in Industrial Waste Water
 through Liquid Surfactant Membrane

초민승* 강안수** 우인성*** 이영순****
 Min-Seung Cho, An-Soo Kang, In-Sung Woo, Young-Soon Lee

ABSTRACT

The transport of Chromium(VI) ion from waste water through the liquid surfactant membrane containing tri-n-octylamine as a carrier, was analyzed by a slab model and was investigated through experiments. For the experiment of membrane stability, concentrations of surfactant and liquid paraffin oil were analyzed. Extraction experiments were carried out to observe the effect of system variables, such as stirring speed, concentration of carrier, and NaOH in internal aqueous phase, and concentrations of H_2SO_4 and initial chromium(VI) ion in external aqueous phase at 25°C.

It is concluded that the most stable formation of liquid membrane emulsion was obtained when surfactant concentration is above 3 wt. % and liquid paraffin oil concentration is 50 vol. %. The transport of chromium(VI) ion in batch extractor increased with increasing carrier concentration, the volume ratio of emulsion to external aqueous phases, and initial concentration of chromium(VI) ion under the optimum stirring speed of chromium(VI) ion below 2 ppm. The theoretical equation on the transport of chromium(VI) ion agreed well with the experimental results.

1. 서 론

폐수중 각종 중금속에 의한 하천 및 수자원의 오염은 심각한 사회적 문제로 대두되고 있으며 이에 대한 폐수처리공정의 개발이 시급한 과제이다. 산업폐수중의 크롬(VI) 이온은 독성이 강한 중금속이온으로 주로 전기도금, 피혁제품의 무두질공정(tanning) 및 염료의 제조공정, 합성고무의 생산공정 등에서 많이

배출된다. 1) 산업폐수 중 크롬(VI)이온의 제거는 3가크롬이온으로의 환원 및 침전법, 이온교환법, 증발법 2) 등이 있으나 근래에 와서 액막법에 의한 폐수처리공정이 개발되어 왔다. 액막에 의한 분리 및 제거공정은 용매추출의 장점을 유지하면서 장치가 간단하고 분리시간이 빠른 효율적인 공정으로서 폐가스의 처리 3), 폐수처리 등 4)의 여러분야에서 응용되고 있다. 유화액막은 일반적으로 용액의 성질에 따라서 Water/oil/water 형태와 oil/water/oil 형태의 막이 있으며, Li 5)에 의하여 최초로 개발되어 탄화수소 화합물의 분리 6), 중금속을 포함한 각종 금속 및 폐수

* 정회원 : 명지대학교 화학공학과
 ** 정회원 : 명지대학교 화학공학과
 *** 정회원 : 삼영전자공업(주) 삼성연구소 제품 연구실
 **** 정회원 : 서울산업대학 산업안전공학과

처리 등⁷⁾ 광범위하게 연구되어 왔다.

폐수중 크롬(VI)이온의 처리에 관한 연구는 Kitagawa 등⁸⁾이 운반체로 Alamine 336을 사용하여 크롬(VI)이온을, LIX64 W를 사용하여 구리이온을, Aliquat 336을 사용하여 카드뮴이온을 각각 분리하였고, Schiffer 등⁹⁾은 운반체로 tridodecylamine을 사용하여 크롬(VI)의 이동기구를 조사하였다. Braun 등¹⁰⁾은 운반체로 tri-n-octylamine, Amberlite LA-1 및 TOPO(tri-octyl-phosphine-oxide)를 사용하여 크롬(VI)이온의 분리에 미치는 운반체의 농도 영향 및 여러공정 변수의 영향을 실험하였다.

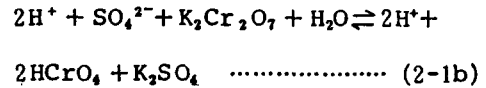
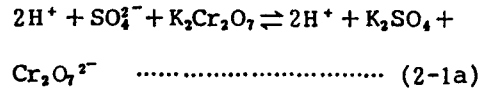
본 연구에서는 tri-n-octylamine을 운반체로 W/O/W유화액막을 제조하여 계면활성제(Span 80)의 농도와 막강화제의 농도를 변화시켜 액막의 안정성을 조사하였고, 폐수중 크롬(VI)이온의 분리에 미치는 공정변수의 영향을 조사하기 위하여 운반체의 농도, 내부수용액상(NaOH)의 농도, 외부수용액상(H₂SO₄)의 농도 및 크롬(VI)이온의 초기농도 등을 각각 변화시켜 크롬(VI)이온의 이동속도를 연구하였고 액막법에 의한 폐수처리가능성을 조사하였다.

2. 이론적 배경

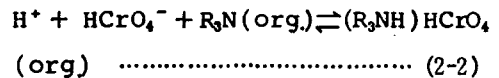
본 연구에서는 Wi/O/Wo(water in oil in water)유화액막을 이용한 회분식추출에서 기존의 모델이 복잡한 수치계산이나 물성치를 효과적으로 연관시키지 못하는 단점이 있기 때문에 이를 해결하기 위하여 확산계수, 분배계수, 평형상수 및 액적크기 등의 측정가능한 실험치를 이용하여 물질전달속도를 쉽게 알 수 있는 모델을 세웠다.

Wi/O/Wo 에멀전내에서 크롬(VI)이온이 이동되는 과정을 단계적으로 살펴보면 Fig. 1과 같이 4단계로 나눌 수 있고 액막을 수

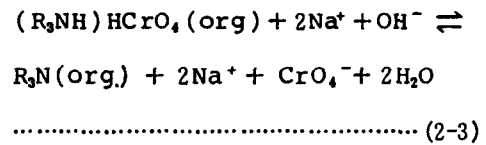
용액 I상과 II상으로 분리시키고 수용액 I상은 산성으로 H₂SO₄와 K₂Cr₂O₇을, 수용액 II상에는 알칼리성으로 NaOH가 용해되어 있다. 이온성 용질은 복합체만 형성하면 막을 자유롭게 이동할 수 있으나 운반체는 유기용매인 키틴렌에만 용해하므로 액막에서 빠져나올 수 없다. 크롬(VI)이온, 수소이온 및 운반체 사이의 반응 메카니즘은 다음과 같다.



외부수용액과 에멀전의 경계면에서 운반체와 크롬(VI)이온, 수소이온의 이온쌍은 즉시 반응하여 복합체를 형성한다.¹¹⁾ 이온쌍으로 반응하는 것은 유전상수(dielectric constant)가 매우 낮기 때문이다.



복합체는 내부수용액(II상)과 유기상의 경계면에서 다음과 같이 반응한다.



유화액막에 의한 크롬(VI)이온의 이동속도에 관한 모델을 세우기에 앞서 일반적인 Wi/O형에멀전 내부로 물질이 이동할 때 총괄물질전달속도에 영향을 미치는 인자를 다음

의 4가지로 구분할 수 있다.

- 1) 에멀전 외부수상막(external aqueous phase film)에서의 확산계수
- 2) 에멀전 표면에서의 운반체와 용질의 화학반응 속도상수
- 3) 에멀전매질 즉, 유기상에서의 확산계수
- 4) 미소액적(내부수용액상) 표면에서의 화학반응 속도상수

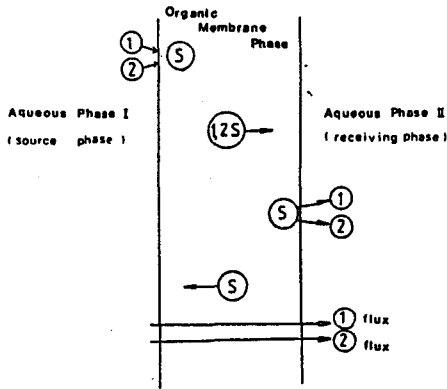


Fig. 1 The co-transport mechanism

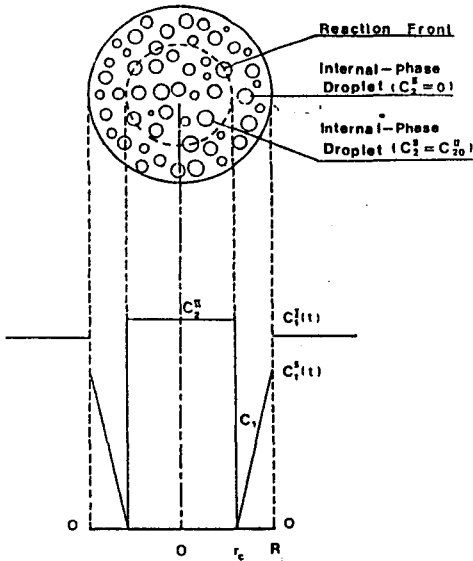


Fig. 2 Schematic diagram of a concentration profile through a liquid membrane.

액막의 물질전달속도를 예측하기 위한 모델로서는 Kondo 등¹²⁾이 제시한 것이 가장 간단하다. 이 모델에서는 3)의 확산이 지배하는 경우에 대하여 막의 두께를 일정하게 고정시켜 놓고 물질전달속도를 나타내었다. Teramoto 등¹³⁾은 1)과 3)의 인자를 고려하여 에멀전액적을 구로 가정하여 수치해법으로 물질전달식을 구하였다. 그 후 HO 등¹⁴⁾은 페놀의 분리에 있어서 페놀과 NaOH는 매우 빠른 비가역반응을 일으킨다고 가정하여 미소액적 내의 NaOH가 반응에 의하여 소모되므로 점점 내부로 이동하는 즉, 반응경계면을 moving boundary로 생각하여 advancing front model을 제시하였다.

본 연구에서는 에멀전 외부수상막에서 물질 전달저항(인자1)을 무시하여 다음과 같은 가정에서 Fig 2와 같은 평판모델을 세웠다.

- 가정 :
- 1) W_i/O 에멀전 액적은 그 크기가 균일하다.
 - 2) 에멀전 외부수상막에서 물질전달저항을 무시한다.
 - 3) 에멀전 내부의 전환영역(이미 반응에 의하여 미소액적이 사용된 영역)에서 복합체의 농도는 선형이다.
 - 4) 운반체 및 운반체와 용질의 복합체의 확산계수는 같고 일정하다.
 - 5) 내부 수용액과 유기상의 경계면에서 중화반응은 매우 빠른 비가역반응이므로 물질전달저항을 무시한다.

의사정상 상태에서 에멀전 advancing front 즉, 전환영역을 얇은 평판(slab)으로 생각하면 농도분포는 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 C_1}{\partial^2 r} = 0 \dots\dots\dots (2-4)$$

B.C.: 1) $r = R, C_1 = C_1(t)$

2) $r = r_c, C_1 = 0$

$$C_1 = C_1^I(t) \left(\frac{R - r_c}{R - r_c} \right) \dots\dots\dots (2-5)$$

여기서 C_1 은 액막내에서 복합체의 농도, $C_1^I(t)$ 는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 외부수용액 바로 안쪽의 액막내에서 복합체의 농도, R 은 에멀전의 반경, r_c 는 advancing front의 좌표 및 r 은 에멀전의 중심에서부터의 거리좌표이다.

외부수용액(I 상)에서 농도는 다음과 같다.¹⁵⁾

$$C_1(t) = \frac{K_1 k_p \bar{C}_1 C_1^I}{1 + K_1 k_p \bar{C}_1 C_1^I} \dots\dots\dots (2-6)$$

여기서 K_1 은 평형상수, K_{p1} 은 분배계수, \bar{C}_1 는 운반체의 평균농도 및 C_1^I 은 외부수용액 중 크롬(VI)이온의 농도이다.

식(2-6)의 분모에서 $1 \gg K_1 k_p \bar{C}_1 C_1^I$ 이므로¹⁵⁾

$$C_1 = K_1 k_p \bar{C}_1 C_1^I \left(\frac{R - r_c}{R - r_c} \right) \dots\dots\dots (2-7)$$

외부수용액에서 물질수지를 취하면 다음과 같다.

$$-V_w \frac{dC_1^I}{dt} = n(4\pi R^2) D_e \left. \frac{\partial C_1}{\partial r} \right|_{r=R} = \frac{3}{R} V_e D_e \left. \frac{\partial C_1}{\partial r} \right|_{r=R} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$I.C.: t = 0, C_1^I = C_{10}^I$$

여기서 V_w 는 외부수용액의 부피, V_e 는 에멀전의 부피, D_e 는 액막내에서 복합체의 확산계수 및 n 은 에멀전의 갯수이다.

Advancing(reaction) front에서 물질수지를 취하면

$$-\frac{\phi}{\delta} C_1^I \frac{dr_c}{dt} = D_e \left. \frac{\partial C_1}{\partial r} \right|_{r=r_c} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$I.C.: t = 0, r_c = R$$

여기서 ϕ 는 에멀전 내의 내부 수용액의 부피분율이고 δ 는 양론계수이다.

식(2-7)을 미분하면

$$\frac{\partial C_1}{\partial r} = \frac{\Omega C_1^I}{R - r_c} \dots\dots\dots (2-10)$$

여기서 $\Omega = K_1 k_p \bar{C}_1$ 이다.

식(2-10)을 식(2-8)에 대입하면

$$-V_w \frac{dC_1^I}{dt} = \frac{3}{R} V_e D_e \Omega \frac{C_1^I}{R - r_c} \dots\dots (2-11)$$

식(2-10)을 식(2-9)에 대입하면

$$-\frac{\phi}{\delta} C_1^I \frac{dr_c}{dt} = \frac{D_e \Omega C_1^I}{R - r_c} \dots\dots\dots (2-12)$$

식(2-11)과 (2-12)에서 C_1^I 을 소거하고 적분하면

$$\frac{C_1^I}{C_{10}^I} = 1 - \frac{3V_e \phi C_{10}^I}{RV_w \delta C_{10}^I} (R - r_c) \dots\dots\dots (2-13)$$

식(2-13)을 식(2-12)에 대입하고 변수분리하면 다음과 같다.

$$\frac{(R - r_c) dr_c}{[1 - \beta (R - r_c)]} = -\Gamma dt \dots\dots\dots (2-14)$$

$$I.C.: t = 0, r_c = R$$

$$\text{여기서 } \beta = \frac{3V_e \phi C_{10}^I}{RV_w \delta C_{10}^I}$$

$$\Gamma = \frac{D_e \delta C_{10}^I \Omega}{\phi C_{10}^I}$$

식(2-14)를 적분하면

$$\Gamma t = -\frac{1}{\beta} \{ (R - r_c) + \frac{1}{\beta} \ln [1 - \beta (R -$$

$$r_c)] \dots\dots\dots (2-15)$$

식(2-15)를 정리하면 시간에 따른 r_c 를 구할 수 있다.

$$t = -\frac{R^2 V_w C_{10}}{9V_e^2 C_1^2 \phi D_e} \left\{ \frac{3V_e C_1^2 \phi (R-r_c)}{RV_w C_{10} \delta} + \ln \left[1 - \frac{3V_e \phi C_1^2}{RV_w C_{10} \delta} (R-r_c) \right] \right\} \dots\dots\dots (2-16)$$

식(2-16)을 식(2-13)을 이용하여 정리하면 시간의 변화에 따른 외부 수용액중 용질 1의 농도를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{C_1}{C_{10}} - \ln \frac{C_1}{C_{10}} = \frac{9K_1 k_p V_e D_e C_1^2}{R^2 V_w C_{10} \delta} \bar{C}_e \alpha t + 1 \dots\dots\dots (2-17)$$

여기서 $\alpha = V_e/V_w$ 이다.

3. 실험장치 및 방법

3-1. 실험장치

알칼리 수용액을 포함한 내부 수용액상을 운반체를 포함한 유기상으로 microencapsulation하기 위한 Wi/O 에멀전 제조장치와 크롬(VI)이온을 분리하기 위한 W/O/W 추출장치를 Fig. 3에 나타내었다. 에멀전 제조장치는 폭 7mm의 stainless steel제 방해판(baffle) 4개가 고정되어 있는 내경 70mm인 500ml의 비이커에 직경이 48mm인 4개의 개방형 끝은 날터빈(open straight-blade turbine)을 이용하여 에멀전을 이루는 유기상과 수용액사이 접하는 부분에 날개(impeller)가 위치하도록 하였다. 추출장치는 에멀전 제조장치와 같은 장치로 폭 12mm의 방해판 4개가 고정되어 있는 내경 100mm, 높이 110mm인 원통형 유리에 계의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 water jacket를 항온조(Haake D₃)와 결합하여 물을 순환시켰고 impeller는 직경이 50mm

이고 날개가 6개인 개방형 끝은 날터빈을 사용하여 실험하였다.

3-2. 실험재료

운반체는 아민 계통의 tri-n-octylamine((CH₃(CH₂)₇)₃N, 95%, Fluka A.G.)을 사용하였고 액막의 점도를 높이기 위하여 막강화제로 1급 liquid paraffin(Junsei Chem. Co.)을 사용하였다. 계면활성제는 친유성인 비이온성 계면활성제로 HLB 값이 4.3인 Span80(sorbitan monooleate, Junsei Chem. Co.)을 사용하였다. 액막을 구성하는 유기용매는 xylene(97% Junsei chem. Co.)을 사용하였다. 폐수처리 실험에 사용한 공해물질로는 산업체에서 많이 배출되고 있는 1급 K₂Cr₂O₇(99.5%, Junsei Chem. Co.)을 택하였고, 외부 수용액상을 산성으로 유지하기 위하여 H₂SO₄(95%, Junsei Chem. Co.)를, 내부 수용액의 용질을 알칼리로 유지하기 위하여 NaOH(93%, Nakarai Chem. Co.)을 사용하였다.

3-3. 실험방법

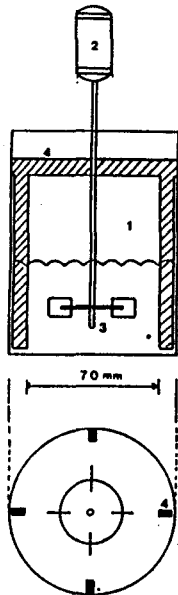
3-3-1. 액막의 안정성 실험

Wi/O/Wo(water in oil in water)계에서 에멀전의 안정도는 액막을 형성하는 유기용액의 점도, 계면활성제의 농도, 내부 수용액상(internal aqueous phase)과 외부수용액상(external aqueous phase)에 함유된 이온의 종류, 농도 및 교반속도 등의 영향을 받는다. 유화액막의 안정성을 조사하기 위하여 내부 수용액은 0.1N NaOH와 1000ppm K₂Cr₂O₇을 증류수에 용해시켜 일정한 농도로 제조하였다. 외부 수용액은 에멀전이 파괴된 후에 나오는 크롬(VI)이온을 측정할 수 있도록 순수한 증류수를 사용하였다. 유기상은 키실렌에 계면활성제의 농도를 1-5 wt%로, 막강화제를 20-70vol.%로, wi

/O에멀전의 내부 수용액과 외부 수용액의 부피비는 0.5-2로 각각 변화시키고 wi/O 에멀전과 외부 수용액의 부피비(V_e/V_{wo})는 1/5로 고정하여 교반속도 200rpm, 25℃에서 실험하였고 일정시간간격으로 외부 수용액에서 시료를 채취하여 자외선 분광기로 농도를 측정하였다.

액막의 파괴도는 내부 수용액에서 외부 수용액으로 용출된 크롬(VI)이온의 백분율로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{액막의 파괴도(\%)} = \frac{\text{외부수용액에 용출된 크롬(VI)이온의 양}}{\text{내부수용액에 존재하는 초기크롬(VI)이온의 양}} \times 100 \quad (3-1)$$



1. Reactor 2. Variable Speed Drive
3. Impeller 4. Baffle
Fig. 3 Schematic diagram of a emulsifier and extractor.

3-3-2. 에멀전의 제조와 추출실험

에멀전의 제조방법은 액막의 안정성 실험과 같은 조건으로 내부 수용액과 유기상을 혼합조에서 2000rpm으로 10분동안 고속교반하여 제조하였다.

유기상(oil)액막은 친유성 계면활성제인 Span 80의 농도를 1 - 5wt%, 막강화제인 액체 파라핀의 농도를 20-70vol.% 및 운반체인 tri-n-octylamine의 농도를 1-5wt%로 변화시켜 키실렌에 용해하여 제조하였다. 내부 수용액상은 수용액에 NaOH를 용해하여 0.01-0.1N수용액으로 제조하였다.

추출실험은 추출조에 0.01-0.5N H₂SO₄ 과 200-1000ppm의 크롬을 포함한 산성 외부수용액을 먼저 넣은 후 위에서 제조한 Wi/O 에멀전을 가하면서 교반속도 200rpm, 25℃에서 실험하였다.

크롬(VI)이온의 농도측정은 일정한 시간간격으로 주사기를 이용하여 교반액을 뽑아내어 정치시키면 밀도차에 의하여 상층에는 Wi/O 에멀전, 하층에는 외부수용액상으로 분리된다. 즉, 하층의 외부수용액상을 4ml 채취하여 자외선 분광기(Kontron Co. UVICON-820)로 흡광도를 측정하여 농도로 환산하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 유화액막의 안정성

Fig. 4는 액막의 안정성을 알아보기 위하여 막강화제인 paraffin oil의 농도변화에 따른 액막의 파괴도를 나타낸 것이다. 유기액막상은 계면활성제인 Span80의 농도를 3wt%, 운반체의 농도 3wt%, tri-n-octylamine 및 막강화제인 paraffin oil의 농도를 20-60vol.%로 변화하여 키실렌에 용해하여 제조하였다. 내부 수용액상은 0.1N NaOH와 1000ppm K₂Cr₂O₇을 증류수에 용해하여 제조한 다음, 유기액막상과 1:2로 혼합하여 2000rpm에서 10분 동안 고속

교반하여 Wi/O에멀전을 제조하였다. 외부수용액은 순수한 증류수를 사용하였고 wi/o 에멀전과 외부 수용액의 부피비를 1:5로 하여 25℃에서 실험을 하였다. 이 때 에멀전을 2000rpm의 고속교반속도로 제조한 것은 2000rpm 이하에서는 Wi/O에멀전 자체의 형성이 잘 안되거나 불안정하여 곧 파괴되었다. 최적교반속도는 교반기의 dimension에 따라 다른 값으로 문헌치¹⁶⁾와 비교하여 정하였다. 여기서 막강화제의 농도가 증가함에 따라 액막의 파괴도는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 막강화제의 농도가 20 vol. %이하에서는 유기상의 점도가 낮아져서 Wi/O에멀전이 잘 분산되지 않아 막파괴가 증가하게 되고 50 vol. %이상에서는 액막이 적당한 점도와 표면장력을 가지므로 액막의 파괴가 감소된다고 생각된다. 그러나 60 vol. %에서는 점도가 너무 커지기 때문에 demulsification시 문제가 생기므로 본 실험에서는 기타 실험에서 50 vol. %로 고정하여 실험하였다.

내부수용액과 유기상의 부피의 비(Vwi/Vo)를 0.3-1로 변화시킨 경우 액막의 파괴를 Fig. 5에 나타내었다. 실험은 Fig. 4와 같은 조건에서 막강화제의 농도를 50 vol. %로 고정하여 실험하였다. 여기서 Wi/O의 비가 증가할수록 액막의 두께가 작아지므로 크롬(VI)이온의 이동속도는 증가하지만 액막의 안정성은 감소하여 Wi/O에멀전의 파괴도는 증가함을 알 수 있다.

4-2. 운반체농도의 영향

크롬(VI)이온의 이동속도에 미치는 운반체의 농도의 영향을 조사하기 위하여 운반체의 농도변화에 따른 외부 수용액상에서 크롬(VI)이온의 초기농도와 추출후의 농도비를 이론식(2-17)과 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. 실험은 내부 수용액상에 0.1N NaOH, 유기액막상은 3wt % Span 80, 막강화제인 liquid paraffin oil 50 vol. % 및 운반체

의 농도를 1-5wt%로 변화시켜 키실렌에 용해시켜 제조한 다음 유기액막상을 내부 수용액상과 부피비 1:1로 에멀전 장치를 이용하여 2000rpm에서 10분동안 고속교반하여 Wi/O에멀전을 제조하였다. 크롬(VI)이온의 추출실험은 외부 수용액에 0.2N H₂SO₄와 1000 ppm K₂Cr₂O₇이 용해된 추출기에 Wi/O에멀전을 3:1 부피비로 넣은 후 200rpm, 25℃에서 크롬(VI)이온의 이동속도를 측정하였다. 여기서 운반체의 농도가 증가할수록 크롬(VI)이온의 추출속도는 증가하였다. 이것은 이론식(2-17)에서 알 수 있는 바와 같이 운반체의 농도(C_s)가 증가할수록 크롬(VI)이온의 추출속도가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 추출시간 5분 이내에서는 이론식과 실험식 사이에 오차가 생겼으나 5분 이후에는 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 즉, 본 평판 모델은 수치해석에 의한 기존의 복잡한 advancing front model과 반대로 추출시간이 긴 경우 실험치에 접근하는 것을 보여 주고 있다.

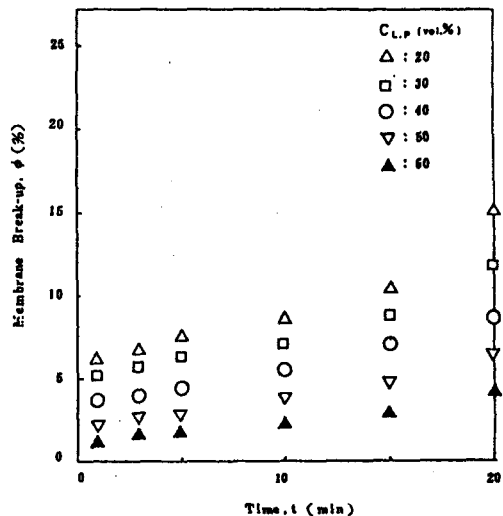


Fig. 4 Effect of paraffin oil concentration on membrane stability.

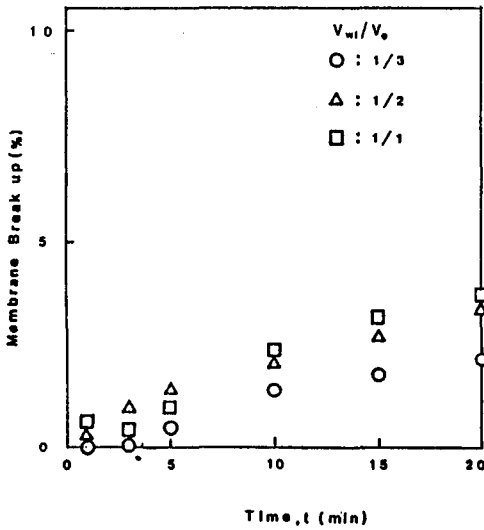


Fig. 5 Effect of V_{wi}/V_o volume ratio on membrane stability

4-3. 부피비(V_e/V_{wo})의 영향

에멀전의 부피(V_e)와 외부 수용액의 부피(V_{wo})의 비를 1/5, 1/3 및 1로 변화시키고 나머지 조건을 Fig. 6과 같이 하였을 때 제거된 크롬(VI)이온의 외부 수용액에서의 농도비를 이론식(2-17)과 비교하여 Fig. 7에 나타내었다. 여기서 부피비(V_e/V_{wo})가 커질수록 크롬(VI)이온의 이동속도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 외부수용액에 대한 에멀전의 부피비가 커짐에 따라 즉, 에멀전의 수가 증가되어 크롬(VI)이온과 액막사이의 물질전달면적이 커짐으로 크롬(VI)이온의 이동량이 증가하게 된다.

4-4. 크롬(VI)이온의 초기농도의 영향

외부 수용액 중의 크롬(VI)이온의 초기농도 변화에 따른 크롬(VI)이온의 이동속도와 연속 2단추출한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 실험은 Fig. 6과 같은 조건에서 운반체의 농도는 3wt%로 고정하고 크롬(VI)이온의 초기농도를 200-1000ppm으로 변화시켰다. 여기

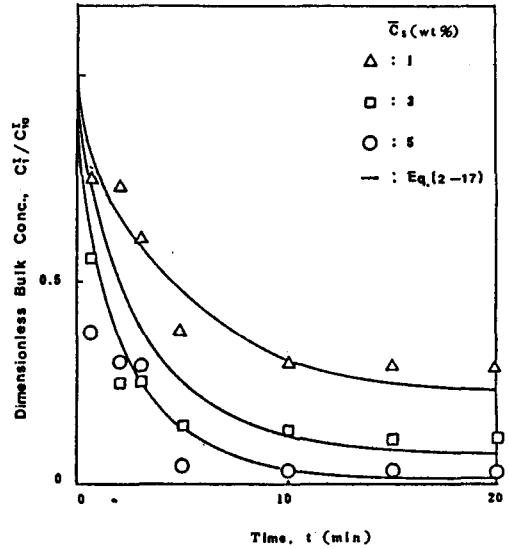


Fig. 6 Effect of carrier concentration on dimensionless bulk concentration of chromium (VI)

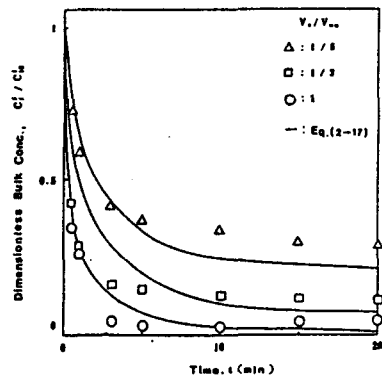


Fig. 7 Effect of V_e/V_{wo} volume ratio on dimensionless bulk concentration of chromium (VI)

서 크롬(VI)이온의 초기농도가 커짐에 따라 이론식(2-17)에서 알 수 있는 바와 같이 크롬(VI)이온의 이동속도가 커졌다. 초기농도를

1000, 700, 500 및 200 ppm으로 변화시켰을 때 20분 후 각각 117, 34, 23 및 13ppm으로 감소하였다. 이것은 환원 및 침전법 등 다른 방법에 비하여 액막법에 의하여 폐수처리를 할 경우 폐수 중 용질의 초기농도에 큰 영향을 받지 않고 용질을 제거할 수 있는 것을 보여준다. 또한, 크롬(VI)이온의 초기농도를 1000ppm으로 고정하고 2개의 추출기로 연속 추출한 결과 2ppm이하로 감소하였다. 이것은 연속 추출기를 사용하여 크롬(VI)이온을 제거할 경우 환경보존법에서 정하는 2ppm이하로 추출할 수 있다는 것을 보여준다.

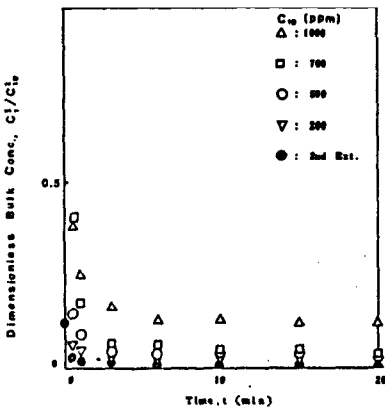


Fig. 8 Effect of initial chromium ion concentration on dimensionless bulk concentration of chromium(VI)

5. 결론

1. 유화액막을 통한 크롬(VI)이온의 분리시 막강화제의 농도 50vol%, 계면활성제의 농도 3wt%이상, V_{wi}/V_o 의 비가 1/3 및 교반속도가 200rpm일 때 유화액막은 안정하였다.
2. 본 실험의 회분식 추출기에서 최적교반

속도는 200rpm이었고 운반체의 농도가 클수록, V_e/V_{wo} 의 비율이 클수록 크롬(VI)이온의 이동속도는 커졌다.

3. 외부 수용액상의 H_2SO_4 의 농도가 0.2N이하에서 그리고 내부 수용액상의 NaOH의 농도가 증가할수록 즉, 양수용액상의 pH차가 커질수록 크롬(VI)이온의 이동속도는 커졌다.
4. 연속 2단 추출에 의한 폐수 중 크롬이온의 제거율은 99.8%로 산업폐수의 처리 공정에 이용될 수 있다.
5. $W_i/O/W_o$ 액막을 통하여 크롬(VI)이온을 분리할 때 크롬(VI)이온의 초기농도가 클수록 이동속도는 증가하였고 평판모델에 의한 본 연구의 이론값은 실험값과 잘 일치하였다.

참고 문헌

1. R. C. Henney, M. C. Fralish and W. V. Lacina, J. W. P. C. F., 52, 2755 (1980).
2. J. W. Patterson, Waste Water Treatment Technology 2nd ed., Ann Arbor Science Publisher Inc. (1972)
3. S. G. Kimura, S. L. Matson and W. J. Ward, Industrial Applications of Facilitated Transport 4, p. 11, Che Rubber Co., Cleveland (1972).
4. L. Boyadzhiev and E. Benzenehek, J. Membrane Sci., 14, 13 (1983)
5. R. P. Cahn and N. N. Li, Separation Science, 9, 505 (1974).
6. N. N. Li, U. S. Patent 3410794 (1968)
7. R. P. Cahn and N. N. Li, U. S. Pate-

- nt, 4086163 (1978)
8. T. Y. Kitagawa, Y. Nishigawa, J. W. Frankenfeld and N. N. Li, Environ. Sci. Technol., 11, 602 (1977).
 9. D. K. Schiffer, A. M. Hochhauser, D. F. Evans and E. L. Cussler., Nature, 250, 484 (1974).
 10. T. Braum, and A. B. Farag., Anal Chim, Acta, 100, 619(1978).
 11. 임선기, 김교선, 최상준 .. 화학공학 19, 217 (1981).
 12. K. Kondo, K. Kita and I. Koida .. J. Chem, Eng, (Japan) 12, 203 (1979)
 13. M. Teramoto, H. Takihara, M. Shibutani and H. Teranish., J.Chem Eng. (Japan) 14, 122 (1981).
 14. T. A. Hatton, E. N. Lightfoot and N. N. Li., AIChE J. 28, 662 (1982).
 15. 우인성, 운반체를 함침시킨 액막에 의한 아미노산의 이동, 박사학위논문, 명지대학교 (1986).
 16. 유재형, "액막법 분리공정의 교반형 추출탑의 해석", 박사학위논문, 고려대학교 (1984).