

중금속 황화물 침전의 기-액계면 흡착분리에 관한 연구

신정호·민성기*·정갑섭·허광선

부산대학교 공과대학 화학공학과

*부산공업대학 화학공학과

(1988년 6월 10일 접수, 1988년 11월 15일 채택)

Separation of Heavy Metal Sulfide by Precipitate Foam Adsorption

Jeong Ho Shin, Seong Kee Min*, Kab Seob Jeong, and Kwang Sun Heo

Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Pusan National University

**Dept. of Chem. Eng., Pusan National Institute of Technology*

(Received 10 June 1988; accepted 15 November 1988)

요 약

중금속 황화물의 기-액계면 흡착분리 특성을 고찰하고 최적조건을 구하기 위해 단일 및 혼합계에 대하여 계면 흡착분리 실험을 하였다. 미립자의 기-액계면 흡착을 상승기포와 입자간의 충돌에 의한 흡착으로 가정하면 미립자의 잔류농도와 분리시간간의 관계는 다음과 같은 식으로 표시될 수 있었다.

$$C = C_0 \exp \left[- \frac{3}{4} f \frac{Gh}{V_a} t \right]$$

포집효율에 미치는 공기유속효과, 관 높이, EHDA-Br농도의 영향을 검토하였으며, 포집효율은 응집을 위한 EHDA-Br의 최적농도에서 최대였으며 중금속 1 mole당 최적 EHDA-Br의 몰수는 금속종류에 따라 0.06-0.13 mole이다.

Abstract—In order to investigate the characteristics and the optimum condition of the gas-liquid interface adsorptive separation of metal sulfides, the coagulation-dispersion and the adsorptive separation of the single and mixed systems were experimentally carried out, and the adsorptive separation model was considered.

Theoretically, the separation rate of fine particles by gas-liquid interface adsorption was derived under the assumption of adsorption by collision between rising bubbles and particles. The relation between the residual concentration of fine particles and the bubbling time was obtained as follows and this equation proved successful with the experimental results.

$$C = C_0 \exp \left[-(3/4)f \cdot (Gh/V_a) \cdot t \right]$$

The effects of air flow rate, column height and ethylhexadecyldimethylammonium bromide(EHDA-Br) concentration on the collection efficiency have experimentally been investigated.

The collection efficiency was maximum at the optimum concentration of EHDA-Br for the coagulation, i.e., 0.06-0.13 moles of EHDA-Br per unit mole of metal sulfides.

1. 서 론

용액 중에 존재하는 미세한 독성중금속 침전물의 신속한 분리, 제거 및 회수는 환경오염과 자원 재활용의 견지에서 중요하다. 미립상의 중금속 침전물의 분리에는 공학적으로 처리의 신속성, 장치 및 조작의 간편성과 고농도 농축 등 여러 조건이 요구된다.

미량 중금속의 신속한 분리, 제거에는 침강, 여과 등 일반적인 분리 조작보다는 상승기포에 의한 계면활성물질의 흡착을 이용하는 기-액계면 흡착분리가 저농도에서도 매우 효과적인 방법으로 기대되고 있어 많은 연구와 응용이 시도되어 왔다.

최근의 연구로서는 Cd, Ni 및 Cu 이온간의 선택적 분리[1], 계면활성물질 및 양이온의 제거[2, 3], 회박 용액으로부터 Cd, Cu 및 Pb 이온의 포말분리[4], 폐수로부터 Pb, Cd 이온의 포말분리[5], ethylhexadecyldimethylammonium bromide(EHDA-Br)을 이용한 Cu 이온의 포말분리[6], 흡착교질 부상분리에 의한 해수 및 공업폐수에서 Cu, Zn 이온의 분리[7], 입자크기에 따라 Al_2O_3 의 흡착을 충돌과 확산영역으로 구분하여 입자전달계수, 포집효율, pH 및 입자크기간의 상관관계 규명[8], 기포탐내 촉방향의 농도분포의 측정, 분리비와 농도, 기체유량 탑높이 및 직경간의 상관관계[9], 포집제로 sodium dodecylbenzene sulfonate(DBS)를 사용하여 Cd 이온의 연속흡착분리[10], 계면활성제의 흡착분리에 미치는 공존이온의 영향과 제거비의 실험 및 이론적 고찰[11, 12], 미립자의 기포흡착에 관한 유체역학적 고찰로부터 흡착속도식의 도출[13], 회분 기-액계면 흡착의 해석과 실험으로부터 EHDA-Br에 대한 흡착열의 연구[14] 외에 여러 연구[15-18]가 있다. 그러나 sulfide 반응으로 생성된 중금속 sulfide 침전의 기-액계면 흡착분리에 관한 상세한 연구는 아직 없다.

본 연구에서는 EHDA-Br에 의한 중금속 sulfide 침전의 기-액계면 흡착분리 특성을 고찰하기 위하여, 미세 입자의 기-액계면 흡착을 기포와 입자간의 충돌흡착 모형으로 가정하여 흡착분리 속도식을 도출하고 중금속 sulfide 침전의 EHDA-Br에 의한 응집-분산현상의 고찰로부터 EHDA-Br의 최적 첨가농도를 구하였으며, 흡착분리에 있어서 입자농도의 시간적 변화의 측정으로부터 포집효율에 미치는 공기유량, 분리관 높이, 계면활성제 농도 등의 영향을 고찰하여 이론 속도식과 실험 결과를 비교 검토하고, 중금속 혼합계의 기-액계면 흡

착에 의한 선택적 분리를 고찰하였다.

2. 이 론

2-1. 인력흡착 모형

입자가 구형이고 무점성의 이상액체라 가정하고, 기포-입자간의 인력으로 입자가 기포표면에 흡착할 수 있는 기포표면과 입자간의 거리 δ 이내에 있는 모든 입자는 인력으로 흡착된다고 가정한다. Kennedy[13]는 이러한 가정하에서 기포-입자간의 인력흡착에 의한 분리 속도식을 다음과 같이 도출하였다.

기포반경을 a 라 하고 $y=r/a$ 로 놓으면 무점성의 이상액체에서 stream line은 다음 식으로 주어진다[13].

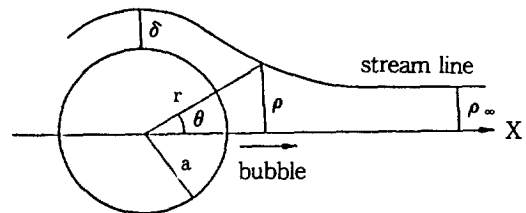
$$Z = [2y^2 - (2/y)] \sin \theta \quad (1)$$

기포의 윗쪽 먼 위치에서는 식 (1)은 다음과 같이 된다.

$$Z = 2y^2 \sin^2 \theta = 2\rho_\infty^2 / a^2 \quad (2)$$

$\theta = \pi/2$ 에서는 식 (1)과 (2)로부터 다음과 같이 된다.

$$(2\rho_\infty^2 / a^2) = [2y^2 - (2/y)] \quad (3)$$



$\delta/a \ll 1$ 의 가정하에서 $1/y$ 를 δ/a 의 멱급수로 전개하여 정리하면 다음과 같은 식으로 된다.

$$\rho_\infty = \sqrt{3\delta a} \quad (4)$$

액 높이 h 를 상승하는 동안 1개 기포가 입자를 흡착할 수 있는 액체의 체적은 식 (4)로부터 다음과 같이 된다.

$$v = \pi \rho_\infty^3 h = 3\pi \delta a h \quad (5)$$

단위시간당 도입되는 기포수를 n , 입자의 농도를 C 라 하면 흡착분리속도 W 는 nVC 이므로 처리액 체적을 V , 공기유량을 G 라 하면 분리속도는 다음과 같다.

$$-V \frac{dC}{dt} = \frac{9\delta h G}{4a^2} C \quad (6)$$

초기농도를 C_0 라 하면 다음과 같이 된다.

$$\ln \frac{C_0}{C} = \frac{9\delta h G}{4a^2 V} t \quad (7)$$

2-2. 충돌흡착 모형

미립자의 기-액계면 흡착분리는 기포와 응집 입자간의 충돌하는 응집입자중 일부가 계면에 흡착하여 기포에 동반상승되어 분리된다고 가정한다. 기포와 충돌할 수 있는 총입자량에 대하여 기포에 흡착분리 제거되는 물을 포집효율 f 라 하고, 기포 1개가 상승운동으로 차지하는 공간을 \bar{V} 라 하면 흡착분리속도는 다음과 같다.

$$W = f \cdot n \cdot \bar{V} \cdot C \quad (8)$$

$W = -V(dC/dt)$ 이므로 식 (8)은 다음과 같이 된다.

$$-V \left(\frac{dC}{dt} \right) = f \cdot \frac{3G}{4\pi a^3} \cdot \pi a^2 h \cdot C \quad (9)$$

식 (9)를 적분하면 다음과 같이 된다.

$$\ln \left(\frac{C_0}{C} \right) = \frac{3fhG}{4aV} t \quad (10)$$

$$C = C_0 \exp \left(- \frac{3fhG}{4aV} t \right) \quad (11)$$

3. 실험

3-1. 기-액계면 흡착분리

중금속 sulfide 입자의 기-액계면 흡착분리 실험에 사용된 장치는 Fig. 1과 같고 분리관은 내경 5.5cm와 8.3cm, 길이 22~200cm 범위에서 몇가지 크기의 아크릴원통관을 사용하였다.

pH 7에서 중금속 수용액에 1.05당량의 Na_2S 수용액을 가하고 3분간 격렬하게 교반하여 중금속 sulfide를 생성시킨 다음 EHDA-Br를 첨가하여 2분간 교반 후 분리관에 주입하였다. 수분으로 충분히 포화시킨 공기를 needle valve로 유량을 조절하여 분리관 하단에 고정된 분산판을 통하여 분산도입시켜 입자를 상승기포에 흡착분리하였다.

분리관의 중앙 위치에서 일정시간 간격을 두고 시료를 취하여 잔류중금속 농도를 측정하였다. 기포분산판은 내경 3.5cm의 유리 다공성원판을 사용하였고, 기포경은 사진촬영으로 [8] 구하였으며 기포 100개의 평균 직경은 0.091cm이었다. 분리실험 범위는 중금속 초기 농도 20-120mg/l, EHDA-Br 농도 1.32×10^{-5} - 1.82×10^{-4} mole/l, 공기유량 1.25-7.50 cm³/sec로 하

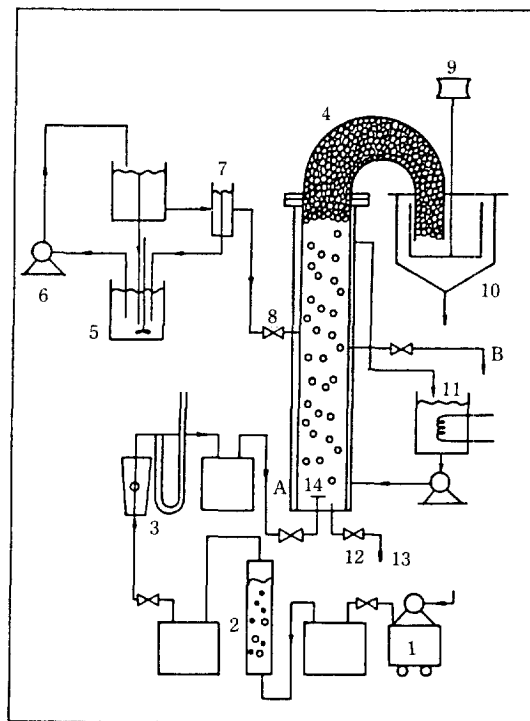


Fig. 1. Apparatus for bubble foam adsorptive separation.

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. Compressor | 2. Humidifier |
| 3. Rotameter | 4. Column |
| 5. Feed tank | 6. Feed pump |
| 7. Level controller | 8. Feed flow |
| 9. Foam breaker | 10. Foamate flow |
| 11. Circulation water | 12. Micrometer |
| 13. Bottom flow | 14. Distributor |
| A. Air flow | B. Bulk liquid flow |

였다.

3-2. 농도 및 입도분석

중금속 농도는 원자흡광분광기 (shimadzu model AA-670/GV-5)로 측정하였다. 농도와 흡광도간에 직선관계가 성립하는 검량선 농도범위내로 시료를 희석한 다음 흡광도를 측정하여 농도를 구하였다.

기-액계면 흡착에 사용된 중금속 sulfide의 입경분포는 자동입도 분석장치 (Coulter counter TA II, Coulter Electronics)를 사용하여 측정하였다 (Fig. 2).

측정한 입도분포로부터 구한 CuS, CdS 및 ZnS의 체적평균 입자직경은 각각 5.9, 6.3, 5.5 μm 이었다.

3-3. 응집-분산 실험

미립자의 기-액계면 흡착분리는 계면활성물질에 의한

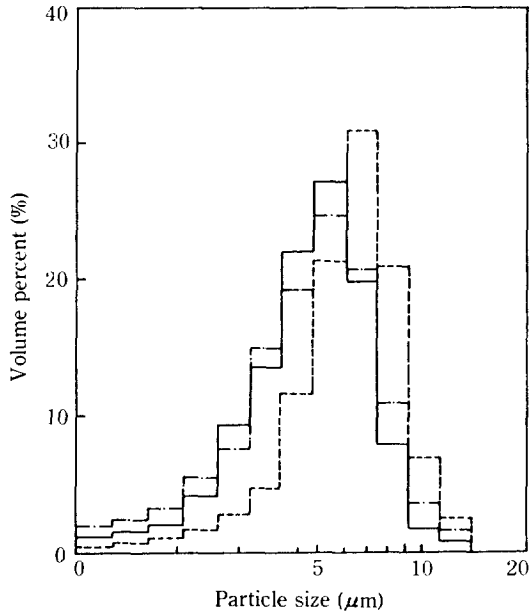


Fig. 2. Particle size distribution of metal sulfide.
....., CdS; —, CuS; — · —, ZnS

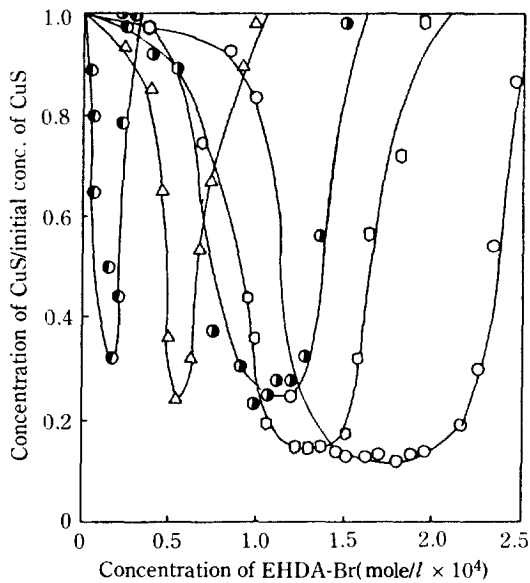


Fig. 3. Coagulation of CuS by EHDA-Br for concentration of Cu(II) = 10(●), 40(Δ), 80(○), 120(○), and 160(○), g/l × 10³.

입자의 응집과 응집입자에 흡착된 계면활성물질의 소수기의 기-액계면 흡착을 이용하여 응집입자를 상승기포에 흡착동반시켜 분리하는 것이므로 계면활성물질이 입자의 포집작용을 하려면 그 입자에 대한 응집력을 가져야 한다.

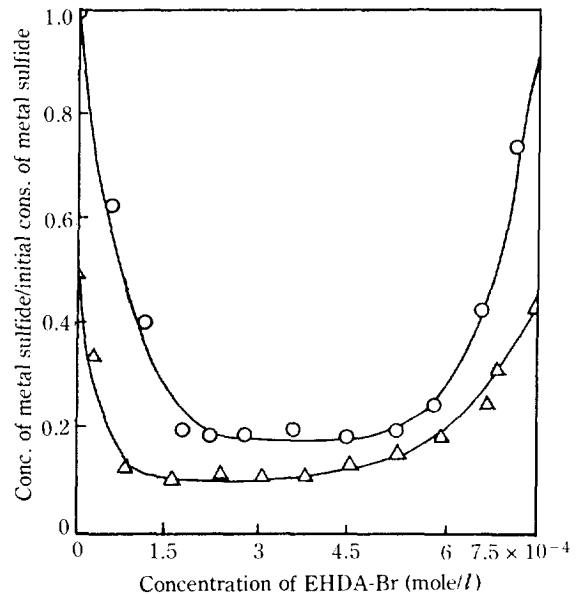


Fig. 4. Coagulation of metal by EHDA-Br.
Metal sulfide: (○) ZnS, (Δ) CdS

야 한다.

중금속 sulfide의 기-액계면 흡착분리에서 EHDA-Br(Eastman Kodak)의 입자포집성을 검토하기 위하여 Cu(II), Cd(II) 및 Zn(II) 수용액 500 ml에 1.05 당량의 Na₂S 수용액을 가하여 pH 7에서 3분간 교반하여 황화 반응시킨 다음, EHDA-Br를 첨가하여 2분간 교반하고 내경 3.7 cm, 높이 30 cm의 침강관에 주입하여 10분간 방치, 침강시킨 후 액면으로부터 깊이 10 cm 위치에서 시료를 취하여 잔류중금속 농도를 측정하여 첨가한 EHDA-Br 농도에 대하여 도시하였다(Fig 3, 4).

응집분산 실험의 중금속 농도범위는 20 - 160 mg/l, EHDA-Br 농도범위는 0.4×10^{-5} - 7.5×10^{-4} mole/l 이었다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 응집-분산현상

기-액계면 흡착으로 입자를 분리하려면 계면활성물질이 입자를 응집시켜 입자적경이 증대할수록 입자의 침강속도가 증가하며, 일정시간 침강후의 잔류입자농도는 감소하므로 침강후의 잔류농도는 계면활성물질의 응집력에 대한 한 척도가 된다. 첨가된 EHDA-Br 농도에 대하여 CuS, CdS 및 ZnS의 잔류농도 대 초기농도의

비를 나타낸 Fig. 3, 4를 보면 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

EHDA-Br 첨가량의 증가에 따라 응집-분산현상이 나타나며 CuS는 응집-분산현상의 임계농도가 명확하고 이 두 임계농도 사이의 범위가 매우 좁아 EDHA-Br 농도에 따른 응집-분산현상이 매우 예민하게 변함을 알 수 있다. CuS농도와 최적 EHDA-Br 첨가 농도간에는 직선적인 관계 (Fig. 5)가 잘 성립하며 EHDA-Br 1mole로서 CuS 14mole을 응집할 수 있다.

CdS와 ZnS는 응집-분산의 두 임계농도 사이의 범위가 CuS보다 넓어 CuS처럼 응집-분산현상이 명확하지는 않았다. Cd와 Zn의 초기농도 80 mg/l에서 최적 EHDA-Br 농도는 각각 0.96×10^{-4} , 1.68×10^{-4} mole/l이었다.

4-2. 기-액계면 흡착

EHDA-Br에 의한 중금속 sulfide의 응집실험 결과에서 EHDA-Br를 사용하면 기-액계면 흡착으로 중금속 sulfide의 효과적인 분리가 예상된다.

내경 5.5 cm, 높이 105 cm의 분리관을 사용하여 pH 7, 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 공기유량 $2.5 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 에서 Cu

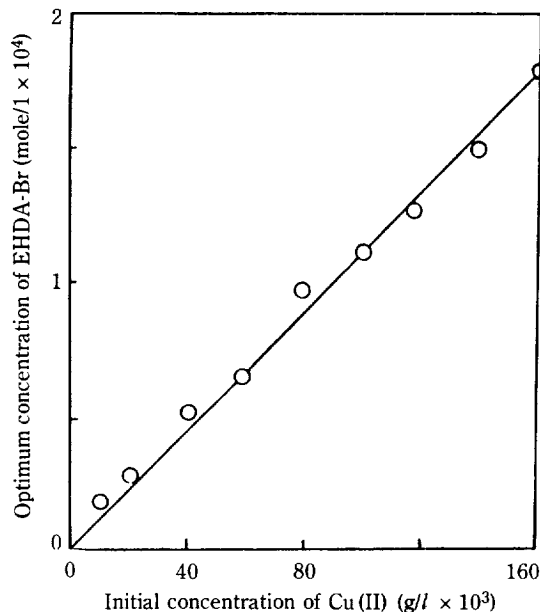


Fig. 5. Relation between optimum concentration of EHDA-Br and CuS concentration of suspension.

(pH = 7, mixing time = 2 min and settling time = 10 min)

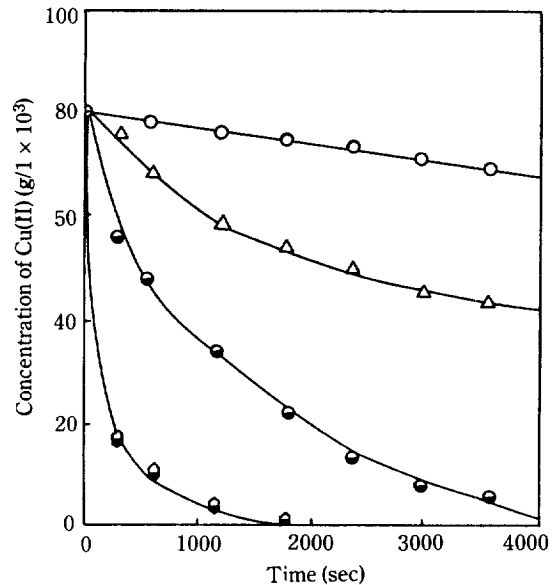


Fig. 6. Removal rate of CuS.

○ : 5.28×10^{-5} mole/l of EHDA-Br
 △ : 7.54×10^{-5} mole/l of EHDA-Br
 ● : 9.06×10^{-5} mole/l of EHDA-Br
 ◼ : 1.13×10^{-4} mole/l of EHDA-Br

(II) 초기농도는 20-120 mg/l, EHDA-Br 농도는 1.32×10^{-5} — 1.82×10^{-4} mole/l 범위에서 실험하여 몇가지 대표적인 결과를 Fig. 6으로 나타내었다.

중금속 sulfide의 기-액계면 흡착이 기포-입자간 충돌흡착 모형에 따른다면 식 (10)에 의해서 $\ln(\text{Co}/\text{C})$ 대 t의 관계는 직선적으로 표시되어야 한다.

Fig. 7에 나타난 바와 같이 Cu(II) 초기농도 80 mg/l에 대하여 직선적인 관계가 잘 성립하며 Cu(II) 초기농도가 다를 때도 마찬가지로 이었다. 따라서 EHDA-Br에 의한 CuS 침전의 기-액계면 흡착은 기포-입자간 충돌현상 모형으로 설명할 수 있을 것이다.

4-3. EHDA-Br 농도의 영향

응집임계농도 이하에서는 EHDA-Br 농도의 증가에 따라 분리속도가 증가하여 최적농도에서 최대로 되고 그 이상으로 증가하면 분리속도는 급히 감소하며, 분산 임계농도 이상으로 증가하면 초기에는 CuS는 거의 분리되지 않고, 어느시간 경과 후부터 다시 급히 분리된다 (Fig. 8). 이런 현상은 분산임계농도 이상으로 EHDA-Br를 첨가하면 CuS가 분산되어 초기에는 과잉의 EHDA-Br가 기-액계면에 흡착분리되고, 시간경과

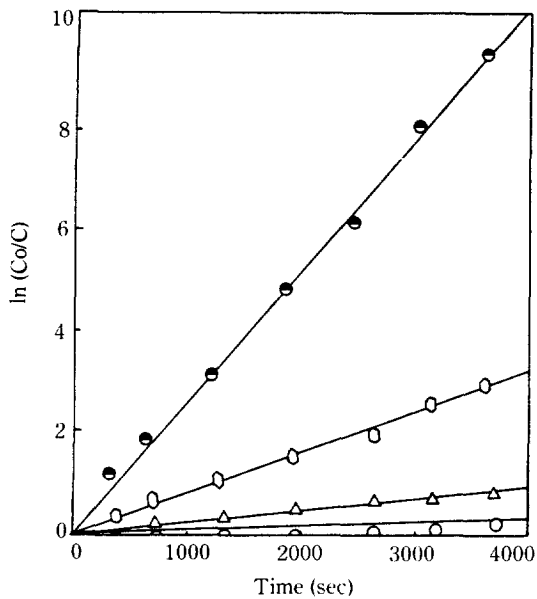


Fig. 7. The relationship between $\ln(Co/C)$ and time (Initial concentration of $Cu(II) = 80$ mg/l).

○: 5.28×10^{-5} mole/l of EHDA-Br
 □: 7.54×10^{-5} mole/l of EHDA-Br
 △: 9.06×10^{-5} mole/l of EHDA-Br
 ●: 1.13×10^{-4} mole/l of EHDA-Br

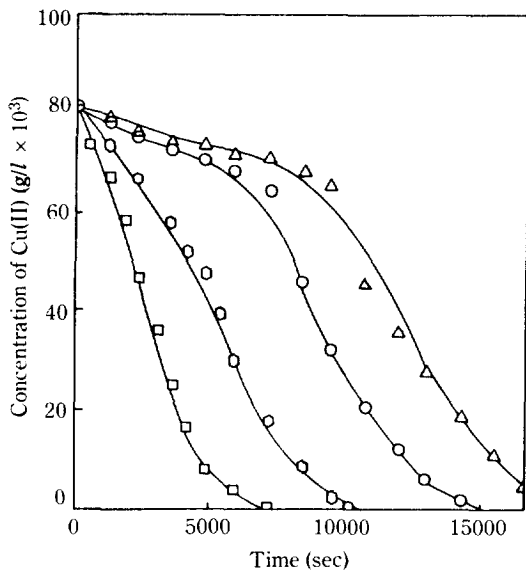


Fig. 8. Removal rate of CuS for concentration of EHDA-Br = $1.26(\square)$, $1.36(\circ)$, $1.50(\circ)$ and $1.66(\triangle)$ mole/l $\times 10^4$.

에 따라 잔류 EHDA-Br 농도가 감소하여 분산임계농도 이하로 되면 CuS가 응집되어 분리되기 때문이라 생각된다.

응집-분산 실험결과와 기-액계면 흡착분리 실험결과로부터 계면활성물질의 최적응집 첨가농도와 흡착분리의 최적첨가농도가 잘 일치하므로 응집실험으로부터 흡착분리에 필요한 최적농도를 예측할 수 있다.

Cu(II) 초기농도 20-120 mg/l, EHDA-Br 농도 $1.32 \times 10^{-5} - 1.82 \times 10^{-4}$ mole/l 범위에서 분리실험한 결과를 (EHDA-Br 농도/초기 Cu(II)농도)의 비에 따라 $\ln(Co/C)$ 대 t로 Fig. 9에 도시하였다.

공기유량 $2.5 \text{ cm}^3/\text{sec}$, 처리액 높이 105 cm, 처리액 체적 2495 cm^3 , 기포반경 0.0455 cm 를 사용하여 식 (10)과 Fig. 9로부터 포집효율 f 를 계산하여 Fig. 10에 표시하였다. 이 때 최대포집효율은 농도비가 0.09 일 때 0.0027이었으며 기포표면이 입자로 포화되어 있지 않는 기포에 대해서는 기포가 충돌하는 입자량의 0.27%를 표면에 흡착동반하여 분리됨을 알 수 있다. 따라서 Cu(II)에 대한(초기농도 80 mg/l) 단위표면적당 흡착은 $5.67 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2$ 이다.

인력흡착 모형으로부터 도출한 잔류농도와 시간과의

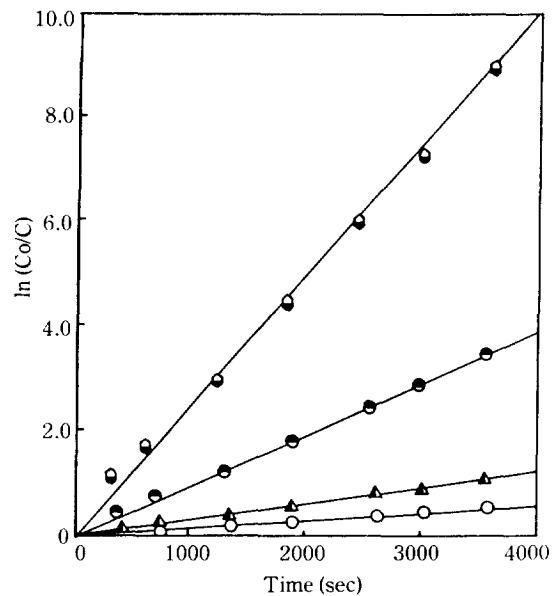


Fig. 9. The relationship between $\ln(Co/C)$ and time for [Conc. of EHDA-Br(mole/l)/Initial conc. of $CuS(g/l)$] = $2.56(\circ)$, $3.84(\triangle)$, $4.48(\bullet)$ and $5.76(\bullet)$.

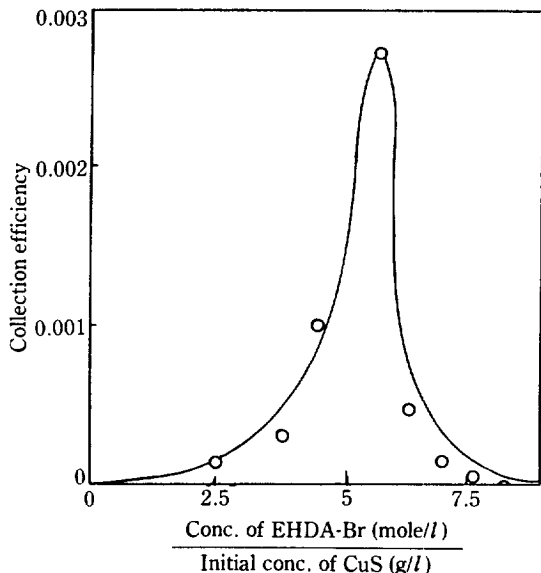


Fig. 10. Effect of EHDA-Br concentration on collection efficiency.

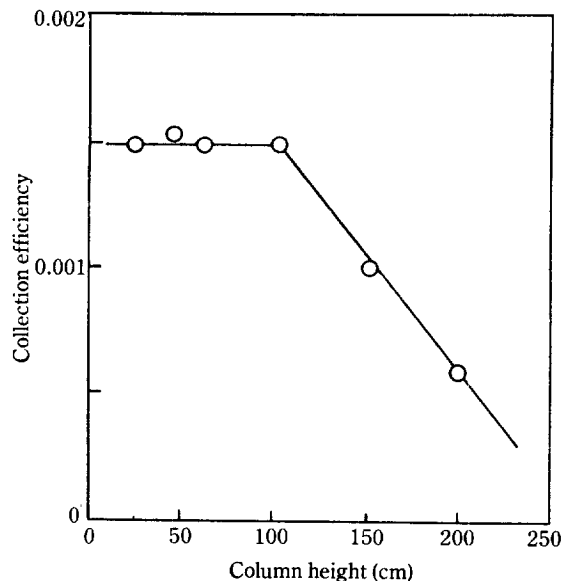


Fig. 11. Column height vs. efficiency.

관계식 (7)은 충돌흡착 모형처럼 $\ln(C_0/C)$ 에 t 간에는 직선관계가 성립하며 δ 는 EHDA-Br 농도에 의존함을 알 수 있다. Fig. 7에서 기울기가 가장 큰 직선은 EHDA-Br 농도가 1.13×10^{-4} mole/l일 때이다. 이 직선으로부터 δ 를 계산하면 2.2×10^{-5} cm이다.

기포표면에 흡착된 입자중심과 기포표면간의 거리가 입자반경과 같으므로 인력흡착거리 δ 는 입자반경보다 커야 할 것이다. 입자분석으로 구한 CuS의 평균반경이 2.8×10^{-4} cm이므로 δ 가 2.2×10^{-5} 인 stream line상에 있는 입자는 그 중심과 표면간의 거리는 입자반경의 1/10 이하이다. 이것은 인력흡착 모형에 따라 입자가 기포표면에 흡착되려면 이미 입자반경의 9/10가 기포 내부로 침투되어 있어야 하므로 기-액계면 흡착과는 모순이 된다.

4-4. 분리관 높이의 영향

공기유량 $2.5 \text{ cm}^3/\text{sec}$, Cu(II) 초기농도 80 mg/l 에서 내경 8.3 cm , 길이 $22\text{--}200 \text{ cm}$ 의 6종의 분리관을 사용하여 실험한 결과는 Fig. 11과 같다. EHDA-Br 농도는 중금속 잔류농도의 시간적 변화가 적당한 9.1×10^{-5} mole/l로 하였다.

분리관 높이에 따른 잔류농도의 시간적 변화는 105 cm 까지는 거의 같으며 그 이상의 높이에서는 분리관 길이가 길어짐에 따라 분리속도가 감소하였다. 이들 값

으로부터 길이 h 에 따른 포집효율 f 가 식 (10)으로부터 계산되며 그 결과 관길이 105 cm 까지는 포집효율 f 가 일정하고 관길이 h 가 길수록 f 가 감소하고 있다.

기포가 상승하면서 충돌한 입자의 일부를 흡착하므로 기포가 상승함에 따라 흡착량이 증가하여, 100 cm 정도 상승하면 기포는 입자로 포화되어 그 이상 상승하면서 충돌하여도 더 이상 흡착되지 않는 것이다.

4-5. 공기유량의 영향

pH 7에서 Cu(II) 초기농도 80 mg/l , EHDA-Br 농도 9.1×10^{-5} mole/l에서 내경 8.3 cm , 길이 105 cm 의 분리관을 사용하여 공기유량 $1.25\text{--}7.50 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 의 범위에서 실험하였다.

실험결과를 $\ln(C_0/C)$ 에 t 에 대해서 직선적인 관계가 잘 성립하여서 본 실험의 공기유량 범위내에서는 충돌흡착 모형이 잘 적용됨을 알 수 있다. 처리액 체적, 기포직경, 액 높이는 일정하므로 임의시간 t 에 대한 $\ln(C_0/C)$ 값을 구하여 공기유량에 따른 포집효율을 계산한 결과 거의 일정한 값을 나타내었다(Fig. 12). 따라서 CuS의 기-액계면 흡착분리에서 분리속도는 공기유량에 의존하지만 포집효율은 공기유량에 무관함을 알 수 있다.

4-6. 혼합계의 선택적 분리

기-액계면 흡착에 의한 중금속 sulfide 혼합물의 선

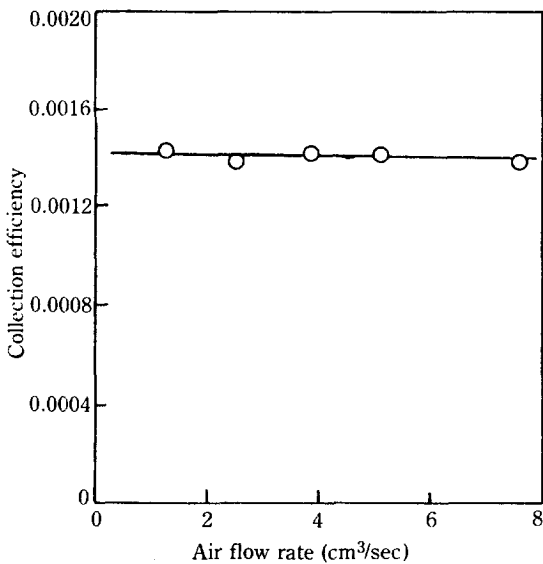


Fig. 12. Air flow rate vs. efficiency.

택적 분리 가능성을 검토하기 위하여 Cu-Cd, Cu-Zn 및 Cd-Zn의 각 혼합계에 대하여 공기유량 $2.5 \text{ cm}^3/\text{sec}$, 내경 8.3 cm , 관길이 105 cm 의 분리관을 사용하였다. EHDA-Br 농도는 단일계의 최적첨가농도로 하였으며 중금속의 초기농도는 80 mg/l 로 하였다. 혼합계에서 최적 EHDA-Br 농도는 Cu-Cd계에서는 Cu 단일계의 최적 EHDA-Br 농도로, Cu-Zn계와 Cd-Zn계에서는 Zn 단일계의 농도로 실험하였으며 효과적인 선택적 분리가 가능하였다. 그 대표적인 결과중 Cd-Zn 혼합계를 Fig. 13에 표시하였다.

기포도입시간 20분에서 Cu-Cd계에서는 잔류 Cu대 Cd의 비는 1대 30, 제거된 Cu대 Cd의 비는 1대 0.25, Cu-Zn계에서 잔류 Cu대 Zn의 비는 1대 29, 제거된 Cu대 Zn의 비는 1대 0.31, Cd-Zn계에서 잔류 Cd대 Zn의 비는 1대 75, 제거된 Cd와 Zn의 비는 1대 0.23 이어서 기-액계면 흡착으로 중금속 sulfide 혼합계의 효과적인 선택적 분리가 가능함을 알 수 있다.

5. 결 론

EHDA-Br에 의한 중금속 sulfide 침전의 기-액계면 흡착분리에 관한 실험과 고찰로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. CuS, CdS 및 ZnS의 EHDA-Br에 의한 응집에서 응집-분산의 임계농도가 있으며 중금속 1mole당 최

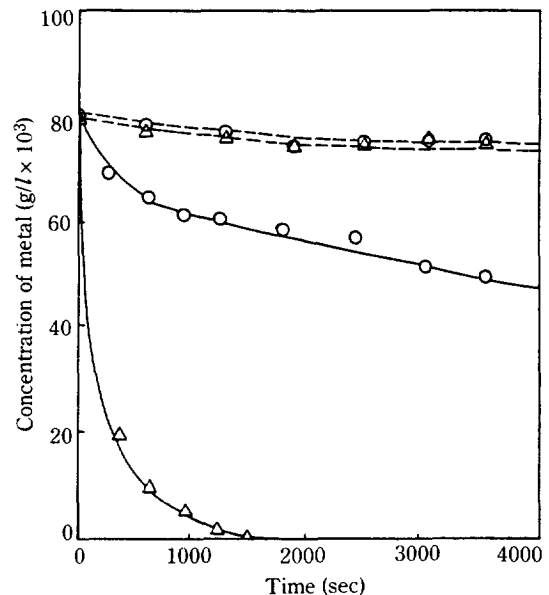


Fig. 13. Bubble foam adsorption of Cd-Zn mixed system.

—, concentration of EHDA-Br(mole/l): 1.77×10^{-4}

- - -, concentration of EHDA-Br(mole/l): 0.92×10^{-4}

△: CdS

○: ZnS

적 EHDA-Br의 mole수는 중금속에 따라 $0.06-0.13$ mole이다.

2. 중금속 sulfide의 기-액계면 흡착분리의 최적 EHDA-Br 농도는 최적응집농도와 같으며 잔류중금속 농도의 시간적 변화는 기포-입자간 충돌흡착 모형으로 구한 다음 식과 잘 일치한다.

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{3fhG}{4aV}t\right)$$

3. 기포의 입자포집효율은 공기유량 및 어느 정도의 관의 길이에 무관하고 그 이상보다 커지면 감소하였으며, EHDA-Br 농도에 의존하며 최대포집효율은 EHDA-Br의 최적농도에서 최대였다.

4. Cu-Cd, Cu-Zn 및 Cd-Zn의 혼합계에서 EHDA-Br 첨가농도에 따라 기-액계면 흡착으로 선택적 분리가 가능하다.

감 사

본 연구는 1986년도 문교부 자유과제 학술연구비에 의하여 이루어진 것으로 당국에 감사드립니다.

NOMENCLATURE

- a : radius of bubble [cm]
 C : concentration of particles [g/cm^3]
 Co : initial concentration of particles [g/cm^3]
 d : diameter of bubble [cm]
 f : collection efficiency [-]
 G : volumetric flow rate of air [cm^3/sec]
 h : height of liquid [cm]
 n : number of bubbles per second [sec^{-1}]
 r : radial distance [cm]
 t : time [sec]
 V : volume of liquid [cm^3]
 v : volume occupied by a bubble rising through liquid [cm^3]
 v : liquid volume in which particles are captured by a rising bubble [cm^3]
 W : adsorption rate of particles [g/sec]
 y : dimensionless distance defined by r/a [-]
 Z : function of stream line [-]
 θ : angle (radian)
 δ : distance across which particles are adsorbed to bubble surface by coulombic attraction [cm]
 ρ : distance perpendicular to x-axis [cm]

REFERENCES

1. Chou, E.J. and Okamoto, Y.: *Sep. Sci. Technol.*, **13**, 439 (1978).
2. Kubota, K. and Hayashi, S.: *Kagaku Kogaku Rombunshu*, **8**, 578 (1982).
3. Kubota, K. and Hayashi, S.: *Kagaku Kogaku Rombunshu*, **8**, 677 (1982).
4. Huang, R.C.H. and Talbot, F.D.: *Canadian J. Chem. Eng.*, **51**, 709 (1973).
5. Ferguson, B.B. and Wilson, D.J.: *Sep. Sci.*, **9**, 125 (1974).
6. McDonald, C. and Suleiman, A.: *Sep. Sci. Technol.*, **14**, 219 (1979).
7. Kim, Y.S. and Zeitlin, H.: *Sep. Sci.*, **7**, 1 (1972).
8. Lee, S.S. and Shin, J.H.: *Hwahak Konghak*, **24**, 89 (1986).
9. Shah, G.N. and Lemlich, R.: *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **9**, 350 (1970).
10. Kubota, K. and Hayashi, S.: *Kagaku Kogaku Rombunshu*, **3**, 142 (1977).
11. Shiotsuka, T. and Ishiwata, M.: *Kagaku Kogaku*, **37**, 921 (1973).
12. Kato, K. and Nakamori, I.: *Kagaku Kogaku Rombunshu*, **2**, 541 (1976).
13. Kennedy, R.M. and Wilson, D.J.: *Sep. Sci. Technol.*, **15**, 1339 (1980).
14. Shin, J.H. and Lee, S.S.: *Hwahak Konghak*, **22**, 167 (1984).
15. Grieves, R.B. and Bhattacharya, D.: *Sep. Sci.*, **10**, 777 (1975).
16. Richmond, P.: *Chemistry and Industry*, **4**, 792 (1977).
17. Rubin, A.T. and Johnson, J.D.: *Analytical Chemistry*, **39**, 298 (1967).
18. Nielsen, K.A. and Hill, J.C.: *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **5**, 149 (1976).