

혼합계면활성제 용액의 시너지효과를 이용한 이온부상법과 흡착콜로이드부상법의 분리효율 향상

김경화 · 서은진 · 최상준[†]

경북대학교 환경공학과
(1998년 8월 26일 접수, 1998년 10월 21일 채택)

Improvement of the Separation Efficiency of Ion Flotation and Adsorbing Colloid Flotation by the Synergistic Effect of Mixed Surfactant Solutions

Kyung-Hwa Kim, Eun-Jin Seo and Sang-June Choi[†]

Dept. of Env. Eng., Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea
(Received 26 August 1998; accepted 21 October 1998)

요 약

수용액 중의 Cd(II) 이온을 이온부상법과 Fe(III)를 사용한 흡착콜로이드부상법을 이용하여 제거하였다. Cd(II) 이온 제거의 최적 pH는 이온부상법의 경우는 pH 6.4, 흡착콜로이드부상법의 경우에는 pH 11로 나타났다. Cd(II) 이온의 제거효율에 영향을 미치는 인자들인 부상시간, pH, 계면활성제, 외부이온, 알킬알코올의 영향에 대해 조사하였다. 거품분리를 이용한 Cd(II) 이온 제거에서 방해인자인 외부이온은 혼합계면활성제 용액의 표면활성을 이용하여 극복할 수 있다. 이 연구에서는 혼합계면활성제의 시너지효과를 이용한 거품부상법의 분리효율향상을 실험적으로 증명하였다.

Abstract—Experimental investigations on the removal of Cd(II) from aqueous solution were carried out through two foam separation techniques : ion flotation and adsorbing colloid flotation with Fe(III). The optimum pH for good removal was found to be about 6.4 for the former and about 11 for the latter. The effects of flotation time, pH, surfactant(sodium lauryl sulfate), foreign ions(Na^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-}) on the efficiency of Cd(II) removal were discussed. The presence of foreign ions inhibit the Cd(II) removal by foam flotation. It was suggested that the limitation of foam flotation on Cd(II) removal may be overcome by the surface activity of mixed surfactant solution. The application of the synergistic effect of mixed surfactant solutions to the improvement of the removal efficiency of foam flotation was experimentally verified in this work.

Key words : Ion Flotation, Adsorbing Colloid Flotation, Mixed Surfactant, Synergistic Effect

1. 서 론

거품분리기술은 수용액 중의 용해성 또는 불용성 물질을 분리하거나 농축하는데 주로 이용된다. 거품분리기술을 회박한 농도의 폐수에 이용할 때는 몇 가지 장점을 기대할 수 있다. 낮은 잔류금속농도, 신속한 작동, 적은 부지 소요, 그리고 저비용이 그것이다. 거품분리기술에 관해서는 많은 논문이 발표되어 있고[1-4], 폐수 처리시 부상기술의 적용은 분리공정 분야에서 많은 관심을 가져왔다[5-8]. 본 연구팀에서도 거품분리기술에 의한 폐수 중의 Cu(II), Cr(IV), Direct Red, Direct Blue 제거에 관한 연구를 수행하였다[9-14].

거품분리기술은 기체-액체 계면에 계면활성물질이 흡착하는 성질을 이용하여 상승하는 기포에 계면활성물질을 흡착시켜 용액으로부터 분리시킨다. 제거하고자 하는 물질이 계면활성인 경우에는 용액 중에 계면활성물질을 가하여 계면활성물질과의 결합 또는 흡착에 의해 계면활성을 띄게 한 다음 여기에 기포를 부상시킴으로써 수용

액 중으로부터 분리시킨다.

거품분리기술에는 녹아있는 형태로 분리시키는 거품 분별법(foam fractionation)과 불용성의 물질을 분리시키는 거품부상법(froth flotation)이 있다. 거품부상법에는 용액 중의 제거물질 또는 농축대상물질에 따라 이온부상법(ion flotation), 침전부상법(precipitate flotation), 흡착콜로이드부상법(adsorbing colloid flotation) 등으로 구분된다. 이온부상법은 용액 중의 이온을 포말의 계면, 즉 기체-액체의 계면을 계면활성제로 활성화시켜 이온이 포말 계면에 흡착되도록 하거나, 이온을 계면활성제와 결합시켜 소수성을 띄게 하여 포말에 흡착되도록 한 다음 포말을 회수하는 기술이며, 침전부상법은 용액 중의 이온을 침전물의 형태로 만들어 그 침전물의 표면을 계면활성제로 소수성이 되게 한 다음 포말에 흡착시켜 그 포말을 회수하는 것이다. 또한 흡착콜로이드부상법은 용액내에 Fe(III)나 Alum 등을 첨가하여 흡착콜로이드를 만들어서 이 흡착콜로이드의 표면위에 용액 중의 이온이나 부유물을 흡착 또는 공침시킨 다음 계면활성제를 사용하여 흡착 또는 공침된 침전물의 표면을 소수성으로 만들어 상승하는 기포의 계면에 흡착시켜 제거시키는 방법이다.

[†]E-mail : sjchoi@kyungpook.ac.kr

거품분리를 이용한 Cd(II) 제거에 관한 연구는 여러 연구가들에 의하여 이루어졌다. Ferguson 등[15]은 hexadecyltrimethyl ammonium bromide 계면활성제를 사용하여 CdS 형태로의 침전부상법과 FeS를 이용한 흡착콜로이드부상법을 행하였다. Huang 등[16]은 Cd(OH)₂ 형태로의 침전부상법과 Al(OH)₃, Fe(OH)₃, CuS를 사용한 흡착콜로이드부상법으로 Cd(II)를 제거하였다. 위에 언급된 방법 중 FeS나 CdS를 이용한 CdS 형태의 흡착콜로이드부상[15, 16]이 폐수 중 Cd 제거에 상당히 효과적인 것으로 나타났다. 분리속도가 매우 빨랐고 넓은 이온세기에서 분리가 효과적으로 이루어졌다. 그러나 황으로 인한 독성과 수질저하에 따른 문제점으로 또 다른 대안을 모색해 봐야 한다. Huang과 Wang[17]도 흡착콜로이드부상법을 이용하여 카드뮴을 제거하였다. Fe(OH)₃와 Al(OH)₃를 공침제로 사용하고 sodium lauryl sulfate를 이용하여 실험한 결과 0.1 M NaNO₃, 0.05 M Na₂SO₄를 함유한 폐수에서 특히, Zn이온을 활성화제로 주입했을 때 매우 효과적인 분리를 이룰 수 있었다.

거품부상에 의한 Cd 제거는 대부분 효과적이지만 이온세기에 따라 제거효율에 심각한 방해로 받았다. 이런 한계점은 혼합계면활성제의 표면활성으로 극복할 수 있을 것이다. 혼합계면활성제의 표면활성은 상호 영향이 없는 한 단일계면활성제보다 클 것으로 기대된다[18]. 본 연구에서는 이온부상법과 흡착콜로이드부상법을 사용하여 제거시간, pH, 계면활성제 농도, 외부이온의 영향, 혼합계면활성제의 시너지 효과를 이용하여 높은 이온세기에서 Cd(II)이온의 제거에 대해 살펴보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 시약

본 실험에 사용한 계면활성제는 시약급의 음이온 계면활성제인 sodium lauryl sulfate(SLS)이다. 흡착콜로이드는 Fe(NO₃)₃ · 9H₂O를 사용하였고 Cd(II) 이온 수용액은 탈이온화된 증류수에 시약급의 Cd(NO₃)₂ · 4H₂O를 녹여서 만들었다. 비이온성 계면활성제로는 중성의 알킬알코올인 C₈H₁₇OH(octanol), C₁₀H₂₁OH(decanol), C₁₂H₂₅OH(dodecanol), C₁₄H₂₉OH(tetradecanol)을 사용하였고 pH 조절을 위해 1N의 HCl, NaOH 용액을 준비하였다.

2-2. 실험장치

Fig. 1에 본 실험에서 사용된 실험장치를 나타내었다. 거품컬럼은 pyrex glass로 만든 직경 3.5 cm, 높이 90 cm의 것을 사용하였다. 거품은 질소가스를 사용하여 조절된 유리스파저를 통하여 만들었다. 질소가스는 실험 도중 수용액의 증발 현상을 방지하기 위해서 물로 포화시킨 다음 함유된 입자나 액체를 glass wool column을 통과시켜 불순물을 제거한 다음 사용하였다.

2-3. 실험방법

Cd(II) 수용액은 모액(1,000 ppm)을 사용하여 준비하였다. 먼저 이온부상법의 경우 200 mL용기에 Cd(II) 이온 수용액과 SLS를 주입하고 시너지 효과를 위한 비이온성 계면활성제는 SLS 주입 물의 1/10 만큼 주입하였다. 각각 1N의 NaOH, HCl 용액으로 원하는 pH로 조절하고 전체 체적이 200 mL가 되게 한다. 그 다음 질소가스를 유리스파저에 통과시켜 원하는 공기유속으로 고정된 후 준비된 실험용액을 컬럼상부로 주입하여 부상실험을 행하였다.

Fe(III)를 사용한 흡착콜로이드부상법에서는 Cd(II) 이온 수용액을 침강탱크에 준비한 뒤 Fe(III) 이온을 적당량 첨가한 다음 NaOH를 가하여 pH를 조절하면서 공침물을 형성시켰다. 이어서 SLS와 음이온성 계면활성제를 첨가하고 전체 용액의 부피가 200 mL가 되도록 조정하

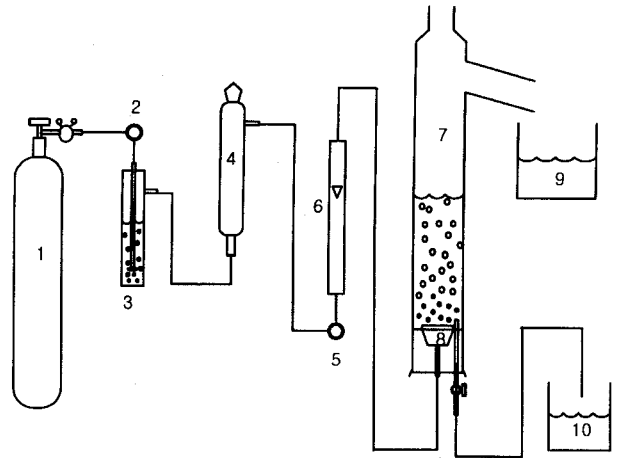


Fig. 1. Schematic diagram of experimental system.

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| 1. Nitrogen supply | 6. Rotameter |
| 2. Valve | 7. Flotation column |
| 3. Humidifier | 8. Fritted glass sparger |
| 4. Glass wool column | 9. Discharge foam |
| 5. Needle valve | 10. Drain and sampling |

였다. 실험용액의 컬럼주입방법은 이온부상법과 동일하게 행하였다.

두 방법 다 실험용액의 주입과 동시에 시간을 측정하고 나서 5분마다 2 ml의 시료를 취하여 불용성착물을 해리시키기 위하여 질산 1 ml를 혼합하여 착물이 완전히 해리되면 원자흡광광도계(Varian spectrAA 250 plus)를 사용하여 수용액 중의 잔존 Cd(II)의 농도를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 부상시간의 영향

Fig. 2는 이온부상법과 흡착콜로이드부상법의 부상시간의 영향을 나타내었다. 부상실험결과 10분 처리후에 이온부상에서는 Cd(II)이온을 50% 이상 제거할 수 있었으며 초기 Cd(II) 이온 20 ppm 주입한 흡착

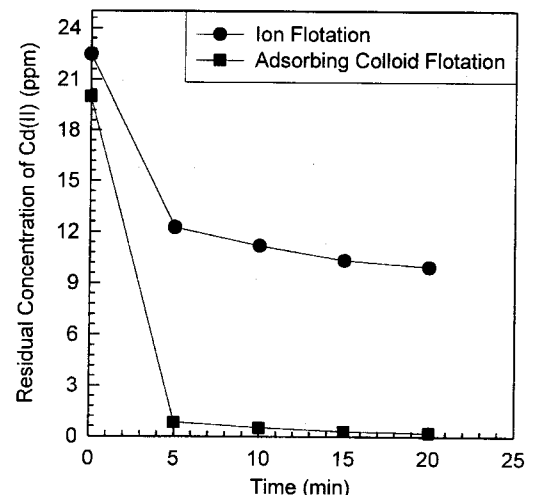


Fig. 2. Effect of flotation time on Cd(II) removal.

Ion flotation : Cd(II) 22.5 ppm(0.2 mM), SLS 0.4 mM, pH 6.4, gasflow rate 100 ml/min.

Adsorbing colloid flotation : Cd(II) 20 ppm, SLS 80 ppm, Fe(III) 80 ppm, pH 11, gasflow rate 100 ml/min.

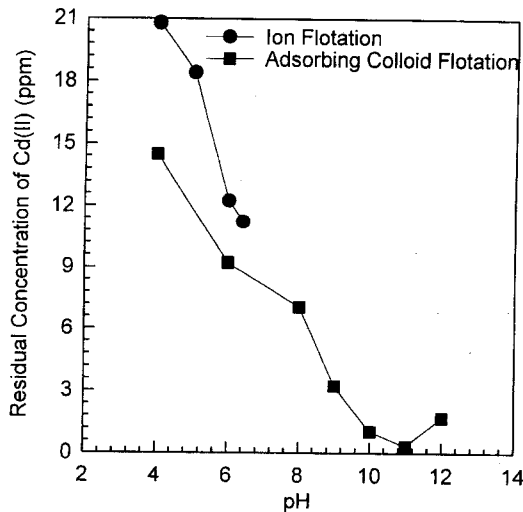


Fig. 3. Effect of pH on Cd(II) removal.

Ion flotation: Cd(II) 22.5 ppm(0.2 mM), SLS 0.4 mM, gasflow rate 100 ml/min.

Adsorbing colloid flotation: Cd(II) 20 ppm, SLS 80 ppm, Fe(III) 80 ppm, flotation time 10 min, gasflow rate 100 ml/min.

콜로이드부상에서는 잔류 Cd(II) 이온 농도를 0.5 ppm 미만으로 낮출 수 있었다. 그래서 모든 실험에서의 부상시간은 10분으로 고정하였다.

3-2. pH의 영향

Fig. 3은 이온부상법과 흡착콜로이드부상법 사용시 Cd(II) 제거에 미치는 pH의 영향을 나타낸 것이다. 이온부상은 Cd(II)의 침전점이 pH 7.0 근처이므로 pH 7.0 미만에서 행하였다. 이온부상에서는 pH 6.4에서 Cd(II) 이온이 50% 정도 제거가 이루어졌으며 흡착콜로이드 부상에서는 pH 11에서 0.5 ppm 미만으로 제거가 가능하였다.

이온부상에서는 침전점(약 pH 7) 이하에서는 pH가 증가할수록 잔류 Cd(II) 농도는 감소한다. SLS는 음이온계면활성제이기 때문에 계면활성제에 대한 Cd(II)이온과 H⁺이온의 경쟁이 pH가 낮을수록 증가한다. pH가 낮을수록 첨가된 산으로 인해 Cd(II)-계면활성제 착물 형성이 방해받아 제거효율은 떨어진다. 침전점 이상 pH에서는 Cd(OH)₂ 침전물이 얻어진다. 이온부상을 위해서는 침전이 일어나기 전 조건을 유지시켜 줘야 하므로 이후의 실험에서는 pH를 6.4로 고정하여 실험하였다.

Fe(OH)₃를 이용한 흡착콜로이드부상에서는 pH 11에서 가장 효과적인 분리를 이룰 수 있었다. pH 10 이하에서는 플러크와 Cd(II) 이온의 불완전 공침으로 인하여 제거효율이 낮고 적정 pH 이상에서는 금속 침전물의 양이온성이 약해져서 Cd(II) 이온과 음이온 계면활성제의 철수화물 표면으로의 흡착이 잘 이루어지지 않기 때문이다.

3-3. 초기 계면활성제 농도의 영향

Fig. 4와 5는 각각 이온부상법과 흡착콜로이드부상법에 의한 Cd(II) 이온 제거시 초기 계면활성제 농도의 영향을 각각 나타낸 것이다. 이온부상의 경우 계면활성제의 Cd(II) 이온에 대한 몰비가 2:1, 즉 화학양론적인 값을 주입하였을 때 가장 빠른 분리속도와 제거효율을 나타냈다. 이는 낮은 계면활성제 농도하에서는 계면활성제의 부족으로 Cd(II)와 계면활성제가 충분히 반응하지 못하여 효율이 저조하고 과잉의 계면활성제는 Cd(II)-계면활성제 착물과 컬럼내부로 상승하는 기포표면에 경쟁흡착함으로써 기포표면에 흡착되어지는 Cd(II)-계면활성제 착물의 양이 줄어들어 제거효율이 떨어진다.

반면, 흡착콜로이드부상의 경우는 이온부상에 비해 훨씬 적은 양

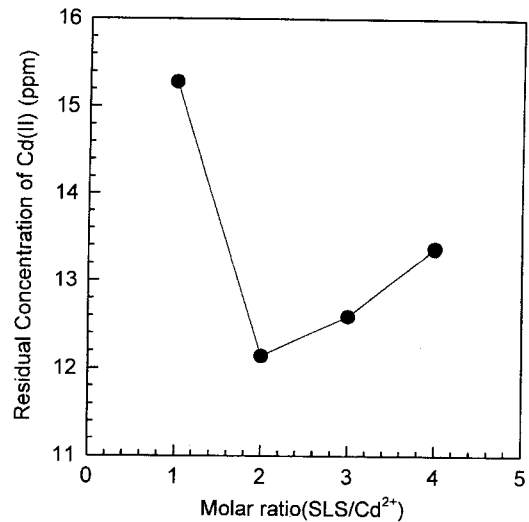


Fig. 4. Effect of molar ratio of surfactant to Cd(II) on Cd(II) removal by ion flotation.

Cd(II) 22.5 ppm(0.2 mM), gasflow rate 100 ml/min, flotation time 10 min.

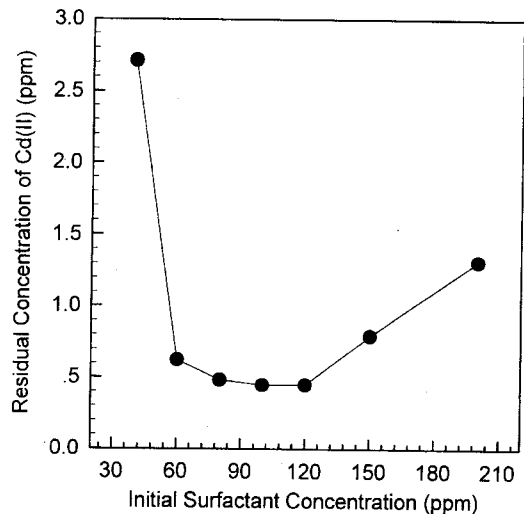


Fig. 5. Effect of initial surfactant concentration on Cd(II) removal by adsorbing colloid flotation with Fe(OH)₃.

Cd(II) 20 ppm, gasflow rate 100 ml/min, Fe(III) 80 ppm, flotation time 10 min.

의 계면활성제가 필요하였다. 흡착콜로이드 실험을 할 때에는 안정한 거품을 형성할 수 있는 범위내에서 최소한의 계면활성제 양이 필요하다. 실험결과 Fe(OH)₃를 흡착콜로이드로 사용한 제거의 경우 계면활성제 농도 80 ppm에서 안정된 거품형성과 잔류 Cd(II) 이온 농도를 0.5 ppm 미만으로 유지할 수 있었다. 최적 조건 보다 낮은 계면활성제 농도하에서는 제거 효율이 낮는데 이것은 낮은 계면활성제 농도하에서는 안정한 거품을 형성하지 못하여 컬럼을 따라 부상하던 공침물이 다시 용액 중으로 재분산되는 현상이 일어나기 때문이다. 또한 계면활성제 농도 150 ppm 이상에서는 계면활성제의 농도가 증가함에 따라 제거효율이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 최적조건 근처에서는 공침물이 계면활성제와 결합하여 소수성을 띄게 되므로 수용액상으로부터의 분리가 가능하나 최적 조건 이상으로 과잉의 계면활성제가 존재하게 되면 소수성을 띄고 있는 공침전 표면에 다시 계면활성제가 흡착하게 되어 침전이 친수성을 띄게 되므

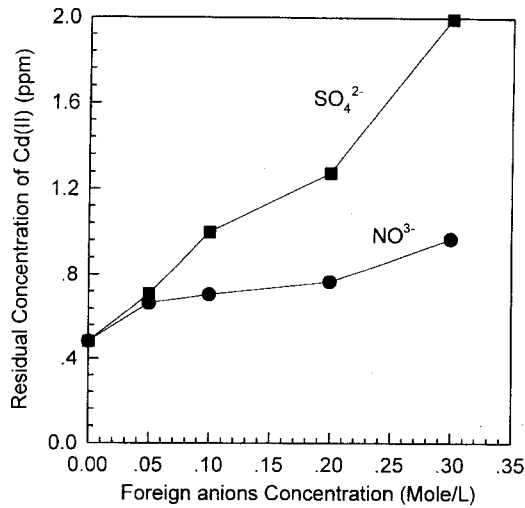


Fig. 6. Effect of foreign anions on Cd(II) removal by adsorbing colloid flotation.

Cd(II) 20 ppm, SLS 80 ppm, Fe(III) 80 ppm, pH 11, flotation time 10 min, gasflow rate 100 ml/min.

로 제거효율이 감소하게 된다.

3-4. 외부 음이온의 영향

Fig. 6은 흡착콜로이드부상에 의한 Cd(II) 제거시 외부음이온의 영향을 나타낸 것이다. NO₃⁻와 SO₄²⁻의 음이온은 나트륨염 형태[NaNO₃, Na₂SO₄]로 도입하였다. 그림에서 이가의 SO₄²⁻이온의 영향이 일가의 NO₃⁻이온의 영향보다 훨씬 심각한 것으로 나타났다. 이것은 SO₄²⁻이온이 NO₃⁻이온보다 양전하를 띠고 있는 공침전에 더욱 강력하게 결합하여 입자표면의 제타전위를 감소시켜 음이온 계면활성제의 공침전표면의 흡착을 방해하기 때문으로 생각된다. 결과적으로 양전하를 띠고 있는 공침전과 음이온 계면활성제의 인력이 약해지고 제거효율은 감소한다.

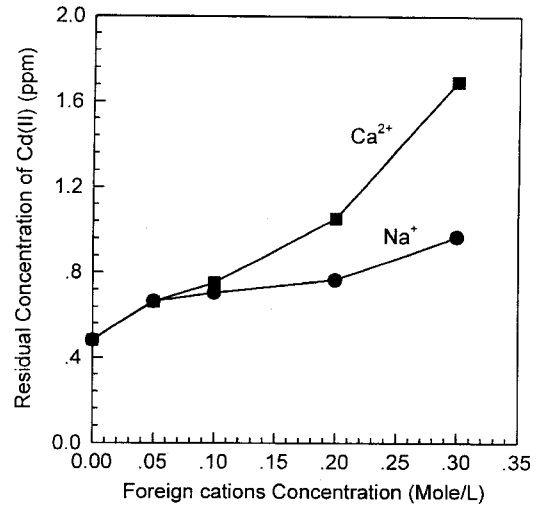


Fig. 7. Effect of foreign cations on Cd(II) removal by adsorbing colloid flotation.

Cd(II) 20 ppm, SLS 80 ppm, Fe(III) 80 ppm, pH 11, flotation time 10 min, gasflow rate 100 ml/min.

3-5. 외부양이온의 영향

Fig. 7은 Fe(III)를 흡착콜로이드로 사용한 제거에서의 외부양이온의 영향을 나타낸 것이다. Na⁺와 Ca²⁺의 양이온은 질산염의 형태[NaNO₃, Ca(NO₃)₂]로 도입하였다. 그림에서 이가의 Ca²⁺이온의 영향이 일가의 Na⁺이온의 영향보다 훨씬 더 심각한 것으로 나타났다. 이것은 Ca²⁺이온이 음이온 계면활성제에 대해 표면에 양전하를 띠고 있는 침전물과 서로 경쟁하게 되어 침전표면에 대한 계면활성제의 흡착을 방해하므로 제거효율이 떨어지는 것으로 설명된다.

흡착콜로이드부상의 경우 Ca²⁺이온에 의한 Cd(II) 제거율의 감소는 Ca²⁺이온이 Fe(OH)₃의 흡착콜로이드의 역할을 빼앗는 것으로 생각된다. 플렉형성이 잘 안 되면 공침전물의 입자크기가 감소하게 되므로 계면활성제양이 고정되어 있을 경우, 침전입자가 적정 크기보

Table 1. Effect of mixed surfactant solutions on Cd(II) removal in the presence of NaNO₃.

NaNO ₃ (Mole/L)	Residual Cd(II) concentration(ppm)				
	Sodium lauryl sulfate 80(ppm)	Sodium lauryl sulfate, 80(ppm)			
		Octanol 5(ppm)	Decanol 5(ppm)	Dodecanol 5(ppm)	Tetradecanol 5(ppm)
0	0.482	0.300	0.402	0.332	0.318
0.05	0.665	0.331	0.467	0.384	0.394
0.1	0.705	0.358	0.557	0.417	0.442
0.2	0.764	0.417	0.582	0.442	0.521
0.3	0.964	0.475	0.638	0.494	0.576

Cd(II): 20 ppm, SLS: 80 ppm, Fe(III): 80 ppm, pH 11, gasflow rate: 100 ml/min, flotation time: 10 min

Table 2. Effect of mixed surfactant solutions on Cd(II) removal in the presence of Na₂SO₄.

Na ₂ SO ₄ (Mole/L)	Residual Cd(II) concentration(ppm)				
	Sodium lauryl sulfate 80(ppm)	Sodium lauryl sulfate, 80(ppm)			
		Octanol 5(ppm)	Decanol 5(ppm)	Dodecanol 5(ppm)	Tetradecanol 5(ppm)
0	0.482	0.300	0.402	0.332	0.318
0.05	0.708	0.321	0.617	0.394	0.437
0.1	0.996	0.389	0.774	0.473	0.549
0.2	1.274	0.475	0.865	0.708	0.800
0.3	1.994	0.496	0.871	0.752	0.889

Cd(II): 20 ppm, SLS: 80 ppm, Fe(III): 80 ppm, pH 11, gasflow rate: 100 ml/min, flotation time: 10 min

Table 3. Effect of mixed surfactant solutions on Cd(II) removal in the presence of Ca(NO₃)₂

Ca(NO ₃) ₂ (Mole/L)	Residual Cd(II) concentration(ppm)				
	Sodium lauryl sulfate 80(ppm)	Sodium lauryl sulfate, 80(ppm)			
		Octanol 5(ppm)	Decanol 5(ppm)	Dodecanol 5(ppm)	Tetradecanol 5(ppm)
0	0.482	0.300	0.402	0.332	0.318
0.05	0.634	0.376	0.440	0.345	0.458
0.1	0.750	0.421	0.519	0.439	0.472
0.2	1.050	0.479	0.540	0.581	0.626
0.3	1.693	0.645	0.610	0.640	0.635

Cd(II): 20 ppm, SLS: 80 ppm, Fe(III): 80 ppm, pH 11, gasflow rate: 100 ml/min, flotation time: 10 min

다 작으면 큰 입자보다는 부상에 의한 제거가 어렵다.

3-6. 혼합계면활성제의 시너지 효과

Table 1-3은 Fe(OH)₃를 흡착콜로이드로 사용한 Cd(II) 제거에서 외부이온 존재시 혼합계면활성제의 시너지 효과를 나타낸 것이다. 음이온계면활성제인 SLS에 비이온성 계면활성제인 중성의 알킬알코올-octanol, decanol, dodecanol, tetradecanol-을 소량 첨가하여 시너지 효과를 살펴보았다. 표에서 나타난 바와 같이 SLS 단독 사용시 Cd(II)의 잔류농도는 외부이온의 농도가 증가할수록 급격하게 증가하는 반면 소량의 알킬알코올을 첨가하였을 때 전반적으로 처리효율이 월등히 높아짐을 알 수 있다.

Table 1에서 알 수 있듯이 외부이온으로 일가인 Na⁺, NO₃⁻이온이 도입된 경우 SLS에 알킬알코올 5ppm을 첨가하여 잔류 Cd(II) 농도를 0.5-0.6 ppm으로 유지할 수 있었다. Table 2와 3에서와 같이 외부이온으로 이가인 Ca²⁺, SO₄²⁻가 도입된 경우는 더 확실한 시너지 효과를 관찰할 수 있었는데 SLS 단독 사용시 잔류 Cd(II) 이온 농도는 1.5-2 ppm으로 상당히 높았으나 소량의 알킬알코올 첨가로 잔류 Cd(II) 농도를 1 ppm 미만으로 낮출 수 있었다. 또한 비이온성 계면활성제인 알킬알코올을 주입시 0.1-0.3 Mole/L의 외부이온 농도범위에서 잔류 Cd(II) 이온의 농도 증가가 뚜렷하지 않은 것으로 보아 넓은 범위의 이온세기에서 적용할 수 있을 것으로 본다. 주입한 4가지 알킬알코올 모두에서 시너지 효과를 관찰할 수 있었으나 그 중에서도 octanol이 가장 좋은 시너지 효과를 나타내었다. 이것은 실험에 사용한 4가지 알킬알코올 중 분자량이 가장 작아 물에 대한 용해도가 높기 때문으로 생각된다.

혼합계면활성제의 표면활성은 단일 계면활성제에서 기대되는 것보다 훨씬 크다. 이러한 특성을 혼합계면활성제의 시너지 효과라고 하는데 혼합계면활성제 용액의 표면장력은 단일 성분의 표면장력보다 낮게 나타나 기체-액체 계면을 안정화시킨다. 그리고 혼합계면활성제의 기체-액체 계면에서의 흡착은 단일성분에서 보다 훨씬 크게 일어나는 것으로 알려져 있다. 특히 비이온성 계면활성제는 수용액 중의 이온세기에 무관하게 작용하여 높은 이온세기의 수용액 중에서 제거효과가 크게 나타났다.

4. 결 론

(1) 수용액 중의 Cd(II) 이온을 음이온계면활성제인 sodium lauryl sulfate(SLS)를 사용하여 이온부상과 Fe(OH)₃를 이용한 흡착콜로이드부상으로 제거하였다. 거품분리에서 Cd(II) 이온의 제거효율은 pH에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 이온부상의 경우는 pH 6.4, 흡착콜로이드부상의 경우는 pH 11이 최적 pH로 나타났다.

(2) 거품부상기술 중 Cd(II) 이온의 제거는 이온부상법 보다는 흡

착콜로이드부상법이 훨씬 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

(3) 거품분리에서 외부이온은 Cd(II) 이온의 제거에 심각한 장애가 되었다. 일반적으로 이가이온인 SO₄²⁻, Ca²⁺ 이온의 영향이 일가이온인 NO₃⁻, Na⁺ 이온보다 심각한 것으로 나타났다.

(4) 외부이온의 농도가 높을 때 활성화제로써 비이온성 계면활성제를 소량 주입함으로써 혼합 계면활성제의 시너지 효과를 이용하여 Cd(II) 이온의 제거효율을 향상시킬 수 있었다.

감 사

본 연구는 1997년도 한국과학재단 핵심전문연구(KOSEF 971-1107-045-2)에 의해 연구되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lemlich, R.(ed.): "Adsorptive Bubble Separation Techniques", Academic Press, New York(1972).
2. Clake, A. N. and Wilson, D. J.: *Sep. Purif. Methods*, **7**(1), 55(1978).
3. Grives, R. B.: *Chem. Eng.*, **10**, 93(1975).
4. Somasundaran, P.: *Sep. Purif. Methods*, **1**(1), 117(1972).
5. Sebba, F.: "Ion Flotation", America Elsevier, New York(1962).
6. Grieves, R. B., Bhattacharyya, D. and Ghosal, J. K.: *Sep. Sci.*, **8**, 501(1973).
7. Walkowiak, W., Bhattacharyya, D. and Grieves, R. B.: *Anal. Chem.*, **48**, 975(1976).
8. McIntyre, G., Rodriguez, J. J., Thackston, E. L. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **17**(5), 673(1982).
9. Choi, S. J. and Ihm, S. K.: *Sep. Sci. Technol.*, **23**(4&5), 363(1988).
10. Choi, S. J. and Choi, Y. H.: *Sep. Sci. Technol.*, **31**(15), 2105(1996).
11. Choi, S. J. and Ihm, S. K.: *HWAHAK KONGHAK*, **26**, 158(1988).
12. Kang, S. K. and Choi, S. J.: *HWAHAK KONGHAK*, **31**, 611(1993).
13. Kang, S. K. and Choi, S. J.: *HWAHAK KONGHAK*, **32**, 483(1994).
14. Choi, Y. H., Lee, J. D. and Choi, S. J.: *HWAHAK KONGHAK*, **35**, 63(1997).
15. Ferguson, B. B., Hinkle, C. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci.*, **9**, 125(1974).
16. Huang, S. D. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci.*, **11**, 215(1976).
17. Huang, S. D. and Wang, T. F.: *Sep. Sci. Technol.*, **23**(10&11), 1083(1988).
18. Shih, N. H. and Jer, R. M.: *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, **24**, 38(1985).
19. Sarker, M., Bettler, M. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **22**(1), 47(1987).