

흡착콜로이드부상법에 의한 수용액중의 Cr(VI) 이온 제거

강성길 · 최상준*

경북대학교 공과대학 화학공학과, *환경공학과
(1993년 4월 9일 접수, 1993년 6월 22일 채택)

Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution by Adsorbing Colloid Flotation

Sung-Gil Kang and Sang-June Choi*

Dept. of Chem. Eng., *Dept. of Env. Eng., KyungPook National University, Taegu 702-701, Korea
(Received 9 April 1993; accepted 22 June 1993)

요 약

수용액중의 Cr(VI) 이온을 음이온 계면활성제 sodium lauryl sulfate를 사용하여 흡착콜로이드부상법을 이용하여 제거하였다. Cr(VI) 이온 제거의 최적 pH는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 를 흡착콜로이드로 사용한 경우에는 pH 4.0-4.5의 범위에서, FeSO_4 를 환원제로 사용한 경우에는 pH는 4.0-6.5의 범위에서 나타났다. Cr(VI) 이온 제거효율에 영향을 미치는 인자들인 계면활성제, 외부이온, Al(III) 이온 첨가 등의 영향에 대해 조사하였다. 거품분리기술에 의한 수용액중의 Cr(VI) 이온 제거에 있어 흡착기구 및 분리 메카니즘을 관찰하였다.

Abstract—Experimental investigations on the removal of Cr(VI) from aqueous solution were carried out by adsorbing colloid flotation using sodium lauryl sulfate as a collector. The optimum pH for the removal of Cr(VI) was found to be about 4.0-4.5 using $\text{Fe}(\text{OH})_3$ as an adsorbing colloid and about pH 4.0-6.5 using FeSO_4 as a reduction agent. The effects of surfactant(sodium lauryl sulfate), foreign ions(Na^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-}), and Al(III) on the removal efficiency were investigated. The adsorption and separation mechanism on the removal of Cu(II) ion by the foam separation techniques were observed.

1. 서 론

거품분리기술(foam separation techniques)은 회박한 용액중에 녹아있는 물질이나 부유물질을 분리 또는 제거하는 기술로서 석유공업, 제지공업, 금속공업, 폐수처리 등에 널리 응용되고 있다[1-5].

거품분리기술의 원리는 계면활성제에 의해 고체-액체 또는 기체-액체 계면을 활성화하여 용액중의 이온이나 부유물 등을 계면활성물질로 전환시킴으로써 부상하는 기포에 흡착시켜 용액으로부터 분리하는 것이다.

거품분리기술은 기체-액체 계면에 계면활성물질이 흡

착하는 성질을 이용하여 용액중으로 기포를 상승시켜 계면활성물질을 상승하는 기포에 흡착시켜 용액으로부터 분리시킨다. 제거하고자 하는 물질이 계면불활성인 경우에는 용액중에 계면활성물질을 가하여 계면활성물질과의 결합 또는 흡착에 의해 계면활성을 띄게 한 다음 여기에 기포를 부상시킴으로써 수용액중으로부터 분리시킨다.

거품분리기술에는 녹아있는 형태로 분리시키는 거품 분별법(foam fractionation)과 불용성의 물질을 분리시키는 거품부상법(froth flotation)이 있다. 거품부상법에는 용액중의 제거물질 또는 농축대상 물질에 따라 이

온부상법(ion flotation), 침전부상법(precipitate flotation), 흡착콜로이드부상법(adsorbing colloid flotation) 등으로 구분된다. 이온부상법은 용액중의 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 용액중의 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 표면 위에 용액중의 이온이나 부유물을 흡착 또는 공침시킨 다음 계면활성제를 사용하여 흡착 또는 공침된 침전물의 표면을 소수성으로 만들어 상승하는 기포의 계면에 흡착시켜 제거시키는 방법이다.

폐수중의 회박한 중금속 처리를 위해서는 화학침전 방법이 가장 많이 사용되어 왔다. 그러나 화학침전방법은 큰 침강 탱크가 필요하며 슬러지의 부피가 크고 용해도 이하로의 감량이 곤란하며 잔류 중금속 이온의 농도를 충분히 낮게 유지하기 위해서는 최종적으로 여과기에서 다시 여과하여야 하는 등 효율적 및 경제적인 분리가 어렵다. 이에 반해 거품분리기술은 용액중 잔존하는 금속이온의 농도를 낮게 유지할 수 있고, 조작이 빠르고, 좁은 공간에서도 조업이 가능하고, 다양한 크기의 여러 가지 금속에 적용이 가능하며, 비교적 싼 가격으로 조업이 가능한 등 여러 장점이 있다.

최근에는 경제성, 선택도 및 분리 효율성 때문에 침전부상법과 흡착콜로이드부상법에 관한 연구가 이루어지고 있다. Barson과 Ray[6]에 의하여 개발된 침전부상법은 이온부상법과 거품분리법에 비해 용액중에 존재하는 외부이온의 영향을 훨씬 적게 받으며 적은 양의 계면활성제량으로도 분리가 가능하였다[7-10]. 흡착콜로이드부상법은 Zeitlin의 그룹[11, 12]이 사용한 이래 최근까지 많은 연구가 이루어졌다[13-21].

Cr(VI) 이온 제거를 위한 연구는 여러 연구가들에 의하여 이루어졌다. Bhattacharyya 등[22]은 NaHSO_3 를 사용하여 Cr(VI) 이온을 Cr(III)로 환원한 뒤 NaOH를 첨가하여 크롬 수산화물 침전의 형태로 만들어 제거하는 침전부상법을 행하였다. Pietrenko[23]는 이온부상법과 침전부상법으로 수용액중의 Cr(III) 이온 제거를 행하였으며, Huang 등[24, 25]은 흡착콜로이드로 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 와 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 를 사용한 흡착콜로이드부상법으로 Cr(VI) 이온을 제거하였다.

지금까지의 연구에서는 Cr(VI) 이온의 흡착콜로이드부상시의 분리 메카니즘에 대한 설명이 부족하고, 또한

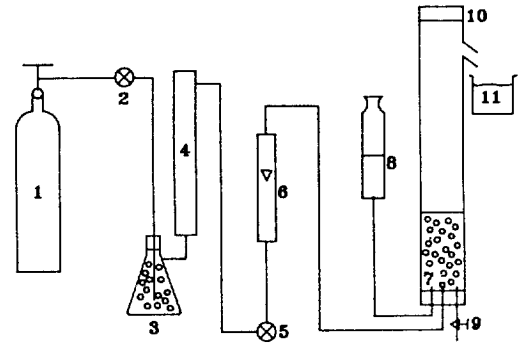


Fig. 1. Schematic diagram of experimental system.

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| 1. Nitrogen supply | 7. Fritted glass sparger |
| 2. Valve | 8. Reagent syringe |
| 3. Humidifier | 9. Drain and sampling |
| 4. Glass wool column | 10. Foam discharge port |
| 5. Needle valve | 11. Discharge foam |
| 6. Rotameter | |

수용액상에 존재하는 다른 이온의 영향 및 pH 영향 등에 대한 연구가 잘 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 Cr(VI) 이온을 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 에 흡착시켜 제거시킨 흡착콜로이드부상법과 Cr(VI) 이온을 FeSO_4 를 사용하여 Cr(III) 이온으로 환원시킨 후 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 와 함께 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 로 공침시켜 제거한 방법을 동시에 행하여 pH, 계면활성제 농도, 외부이온 등의 영향을 비교 검토하고자 한다. 아울러 각각의 방법에 따른 흡착기구 및 분리 mechanism을 규명하고 Al(III) 첨가 등이 Cr(VI) 이온 제거에 미치는 영향 등을 살펴보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 시약

본 실험에 사용한 계면활성제는 시약급의 음이온 계면활성제인 sodium lauryl sulfate(NLS)이다. Cr(VI) 이온 수용액은 탈이온화된 증류수에 시약급의 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 를 녹여서 만들었으며 환원제로는 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 를 사용하였다. 흡착콜로이드는 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 와 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 를 사용하여 만들었으며 외부이온으로는 NaNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SO_4 를 사용하였다.

2-2. 실험장치

Fig. 1에 본 실험에 사용된 실험장치를 나타내었다. 거품컬럼은 pyrex glass로 만든 직경 3.5 cm, 높이 90 cm의 것을 사용하였다. 거품은 질소가스를 사용하여 소결한 유리스파저를 통하여 만들었다. 질소가스는 실험도중 수용액의 증발현상을 방지하기 위해서 물로 포화

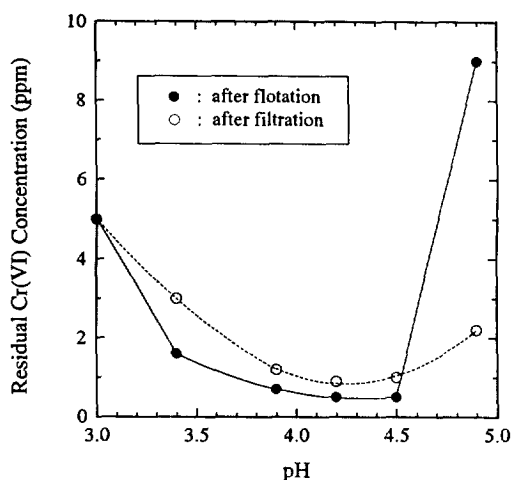


Fig. 2. Effect of pH on Cr(VI) removal by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

[Cr(VI) : 50 ppm, Fe(III) : 500 ppm, flotation time : 30 min, gas flow rate : 100 ml/min, NLS : 100 ppm]

시킨 다음 함유된 입자나 액체를 glass wool column을 통과시켜 불순물을 제거한 다음 사용하였다.

2-3. 실험방법

Cr(VI) 수용액은 stock 용액(1000 ppm)을 사용하여 만들었다. Fe(III)를 사용한 흡착콜로이드부상에서는 Cr(VI) 수용액을 침강 탱크에 준비한 뒤 Fe(III) 이온을 적당량 첨가한 다음 NaOH를 가하여 pH를 조절하면서 공침시켰다. 공침물을 만든 다음 NLS를 가하여 전체 수용액 체적이 200 ml가 되게 한 다음 질소가스를 유리스파저를 통과시켜 부상실험을 행하였다. FeSO_4 를 환원제로 사용한 흡착콜로이드부상에서는 Cr(VI) 이온을 FeSO_4 를 사용하여 Cr(III)로 환원시킨 후 적당량의 NaOH를 첨가하여 pH를 조절하면서 흡착콜로이드인 Fe(III)와 공침시킨 다음 부상실험을 행하였다. Cr(III)로의 환원은 약산성 용액(pH 2.5-3.0)하에서 자석식 교반기로 교반하여 만들었으며 Cr(VI) : Fe(III)의 몰비가 1.00 : 3.26이 되도록 하였다. Cr(VI) 이온의 환원 정도는 잔존하는 Cr(VI) 이온을 산성(pH 1.5-2.0)하에서 diphenylcabazide로 착색시켜 UV-Vis spectrophotometer로써 그 정도를 확인하였다[26].

실험을 시작하고 나서 5분마다 2 ml의 시료를 취하였으며 수용액중의 잔존 중금속이온의 농도는 원자흡광비색계(Shimadzu AA 610-S)를 사용하여 분석하였다. 잔존 용액중의 methylene blue-chloroform 추출방법을 사용하여 측정하였다[27]. 침전시킨 후 용액중의

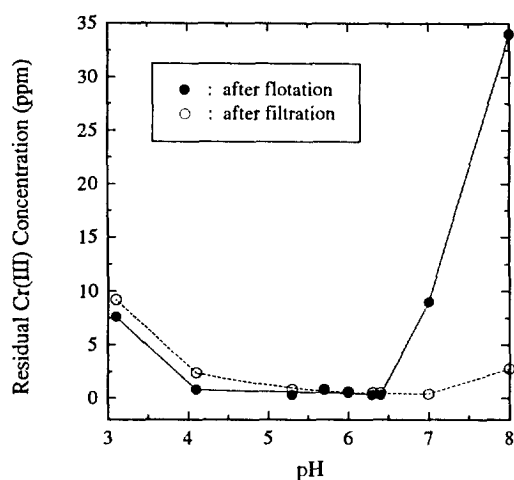


Fig. 3. Effect of pH on Cr(VI) removal by reduction with $\text{Fe}(\text{SO}_4)$ to Cr(III) followed by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

[Cr(VI) : 50 ppm, Fe(III) : 500 ppm, NLS : 100 ppm, flotation time : 30 min, gas flow rate : 100 ml/min]

잔존 크롬이온 농도는 0.45 μm pore filter paper를 통과 시킴으로써 침전물을 분리한 수용액중의 크롬이온 농도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. pH의 영향

Fig. 2는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 를 흡착콜로이드로 사용한 Cr(VI) 이온 제거시 pH의 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 점선은 여과 후의 수용액중의 잔존 Cr(VI) 이온 농도를 나타낸다. 그림에서 부상실험결과(실선) pH 4.0-4.5의 범위에서 최적조건이 나타나며 0.5 ppm 미만으로 제거할 수 있었다. 그러나 pH 3.5 미만에서는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 의 침전이 완전히 일어나지 않아 수용액중에 Fe(II) 이온이 존재하여 제거효율을 감소시키고, pH 4-4.5 범위에서는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 의 침전이 완전히 일어나 최적조건을 보인다. 그리고 pH 4.5 이상에서는 pH의 증가와 더불어 제거효율이 감소하고 있다. 이것은 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 의 등전점[28]이 7.1 근처이므로 등전점에 가까워짐에 따라 철수화물의 양이온성이 약해져서 Cr(VI) 이온과 음이온 계면활성제의 철수화물 표면으로의 흡착이 잘 이루어지지 않기 때문이다. Fig. 4의 (a)에 흡착메커니즘을 나타내었다.

Fig. 3은 FeSO_4 를 환원제로 사용하여 Cr(VI) 이온을 Cr(III)로 환원한 다음 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 와 공침시켜 제거한 결

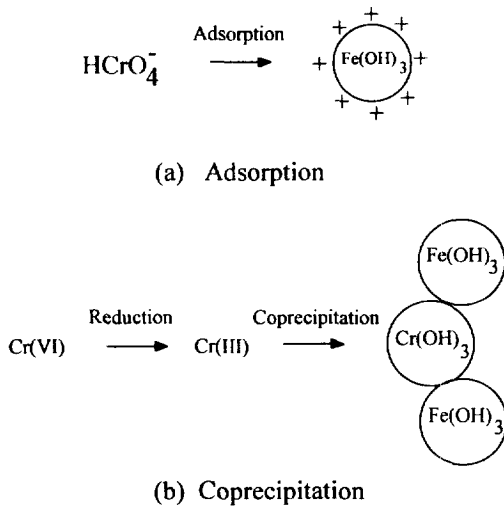


Fig. 4. Mechanism of adsorption and coprecipitation on the removal of Cu(VI).

Table 1. The effect of initial surfactant concentration on Cr(VI) removal by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Initial surfactant concentration(ppm)	Residual Cr(VI) concentration(ppm)
10	8.
20.	5.
30.	1.2
40.	1.0
50.	0.5
100.	0.5
150.	0.8
200.	1.7
300.	9

[Cr(VI) : 50 ppm, Fe(III) : 500 ppm, gas flow rate : 100 ml/min, flotation time : 30 min, pH : 4.5]

과로서 pH의 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 제거결과 (실선) pH 4.0-6.5의 범위에서 최적조건을 나타내며 Fig. 2의 Fe(III)를 흡착콜로이드로 사용한 제거에서의 최적 pH인 4.0-4.5보다 다소 높은 pH 범위에서 최적조건이 나타나고 있다. 이것은 Fe(III)를 흡착콜로이드로 사용한 제거에서는 양전하를 띄고 있는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 의 표면위에 음전하의 HCrO_4^- 이온이 흡착하여 제거되는데 비해, FeSO_4 를 환원제로 사용한 경우에는 Cr(VI) 이온이 Cr(III)로 환원되고 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 와 공침되어 제거되므로 최적 pH 범위가 넓어진다. Fig. 4의 (b)에 공침 메카니즘을 나타내었다.

Table 2. The effect of initial surfactant concentration on Cr(VI) removal by reduction with $\text{Fe}(\text{SO}_4)_4$ to Cr(III) followed by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Initial surfactant concentration(ppm)	Residual Cr(III) concentration(ppm)
50	15.
100.	0.5
150.	0.5
200.	0.5
250.	0.9
300.	2.6

[Cr(VI) : 50 ppm, Fe(III) : 175 ppm, gas flow rate : 100 ml/min, flotation time : 30 min, pH : 6.0]

3-2. 초기 계면활성제 농도의 영향

Table 1과 2는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 를 흡착콜로이드로 사용한 제거와 FeSO_4 를 환원제로 사용한 Cr(VI) 이온 제거시 초기 계면활성제 농도의 영향을 각각 나타낸 것이다. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 를 흡착콜로이드로 사용한 제거의 경우 계면활성제 농도 50 ppm에서 최적조건이 나타나고 있다. 최적조건 이하에서는 제거효율이 낮는데 이것은 낮은 계면활성제 농도하에서는 안정한 거품을 형성하지 못하여 컬럼을 따라 부상하던 공침물이 다시 용액중으로 재분산되는 현상이 일어나기 때문이다. 또한 최적조건 이상으로 계면활성제의 농도가 증가함에 따라 제거효율이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 최적조건 근처에서는 공침물이 계면활성제와 결합하여 소수성을 띄게 되므로 수용상으로부터의 분리가 가능하나 최적조건 이상으로 과잉의 계면활성제가 존재하게 되면 소수성을 띄고 있는 공침된 표면에 다시 계면활성제가 흡착하게 되어 침전이 침수성을 띄게 되므로 제거효율이 감소하게 된다.

FeSO_4 를 환원제로 사용한 제거에서는 계면활성제 농도 100 ppm 근처에서 안정한 거품을 형성하며 최적의 제거가 이루어지는 것으로 나타나며 NLS 농도 50 ppm에서는 약 70% 정도 제거되는 것으로 나타났다. 이것으로 보아 공침부상에 의한 제거에서는 흡착콜로이드 부상 보다 더 많은 양의 계면활성제가 요구됨을 알 수 있다. 이것은 Fe(III)를 흡착콜로이드로 사용한 제거에서는 Cr(VI) 이온이 양 전하를 띄고 있는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 표면위에 HCrO_4^- 의 형태로 흡착하여 제거되는데 비해 FeSO_4 를 환원제로 사용한 제거에서는 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 가 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 와 공침전을 형성한 상태로 제거되며 형성된 침전의 크기가 흡착에 의한 경우보다 작으므로 더 많은 양의 계면활성제를 필요로 하는 것으로 설명된다. 계면활성제 농도 100 ppm 이상에서는 보다 빠른 제거가

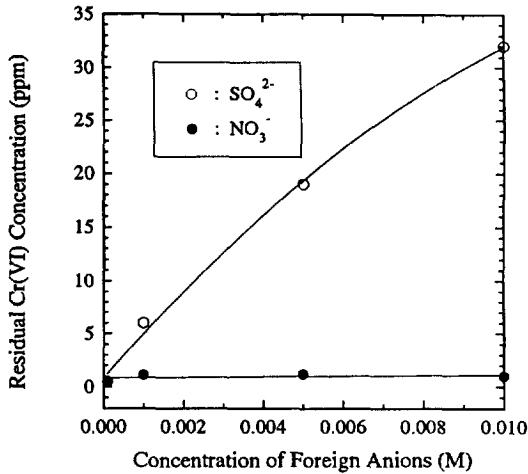


Fig. 5. Effect of foreign anions on Cr(VI) removal by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$.
[Cr(VI) : 50 ppm, NLS : 100 ppm, flotation time : 30 min, gas flow rate : 100 ml/min, pH : 8.0]

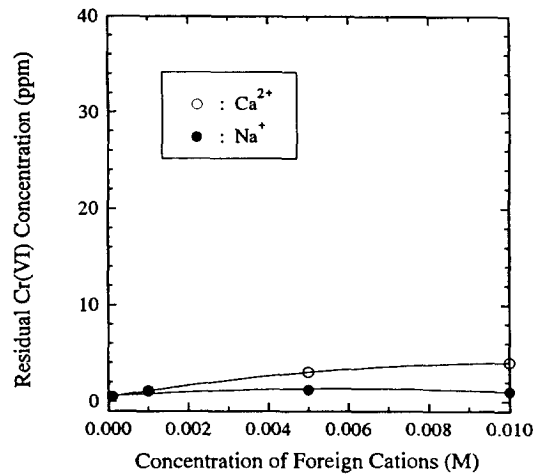


Fig. 7. Effect of foreign cations on Cr(VI) removal by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$.
[Cr(VI) : 50 ppm, NLS : 100 ppm, flotation time : 30 min, gas flow rate : 100 ml/min, pH : 8.0]

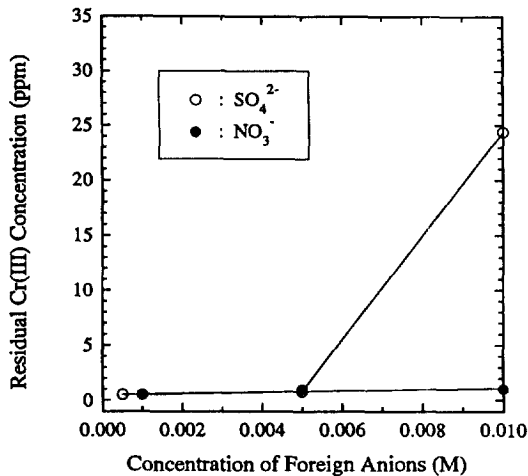


Fig. 6. Effect of foreign anions on Cr(VI) removal by reduction with $\text{Fe}(\text{SO}_4)$ to Cr(III) followed by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$.
[Cr(VI) : 50 ppm, Fe(III) : 500 ppm, NLS : 100 ppm, flotation time : 30 min, gas flow rate : 100 ml/min, pH : 4.5]

수용상으로부터의 분리가 가능하나 최적조건 이상으로 과잉의 계면활성제가 존재하면 소수성을 띄고 있는 공침물 표면에 다시 계면활성제가 흡착하여 표면이 친수성을 띄게 되므로 제거효율이 떨어지게 된다.

3-3. 외부 음이온의 영향

Fig. 5와 6은 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 를 흡착콜로이드로 사용한 제거와 FeSO_4 를 환원제로 사용한 제거시 외부 음이온의 영향을 각각 나타낸 것이다. NO_3^- 와 SO_4^{2-} 의 음이온은 sodium의 형태(NaNO_3 , Na_2SO_4)로 도입하였다. 그림에서 이가의 SO_4^{2-} 이온의 영향이 일가의 NO_3^- 이온의 영향보다 훨씬 심각한 것으로 나타났다. 이것은 SO_4^{2-} 이온이 NO_3^- 이온 보다 양전하를 띄고 있는 공침전에 더욱 강력하게 결합하여 음이온 계면활성제의 공침전 표면에서의 흡착을 방해하기 때문으로 생각된다.

3-4. 외부 양이온의 영향

Fig. 7과 8은 $\text{Fe}(\text{III})$ 를 흡착콜로이드로 사용한 제거와 FeSO_4 를 환원제로 사용한 제거에서의 외부 양이온의 영향을 각각 나타낸 것이다. Na^+ 와 Ca^{2+} 의 양이온은 nitrate의 형태(NaNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)로 도입하였다. 그림에서 이가의 Ca^{2+} 이온의 영향이 일가의 Na^+ 이온의 영향보다 훨씬 더 심각한 것으로 나타났다. 이것은 Ca^{2+} 이온이 음이온 계면활성제에 대해 표면에 양전하를 띄고 있는 침전과 서로 경쟁하게 되어 침전표면에 대한 계면활성제의 흡착을 방해하므로 제거효율이 떨어지는 것으로 설명된다.

가능하였으나 계면활성제의 농도가 증가함에 따라 제거 후 용액중의 잔존 계면활성제의 양이 증가하게 된다. 또한 최적조건 이상으로 계면활성제의 농도가 증가함에 따라 제거효율이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 최적조건 근처에서 친수성을 가지고 있는 공침물 표면에 음이온 계면활성제가 흡착하여 소수성을 띄게 되므로

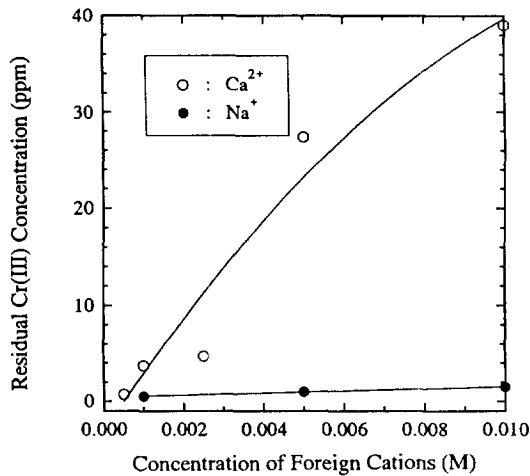


Fig. 8. Effect of foreign cations on Cr(VI) removal by reduction with $\text{Fe}(\text{SO}_4)_4$ to Cr(III) followed by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

[Cr(VI) : 50 ppm, Fe(III) : 500 ppm, NLS : 100 ppm, flotation time : 30 min, gas flow rate : 100 ml/min, pH : 4.5]

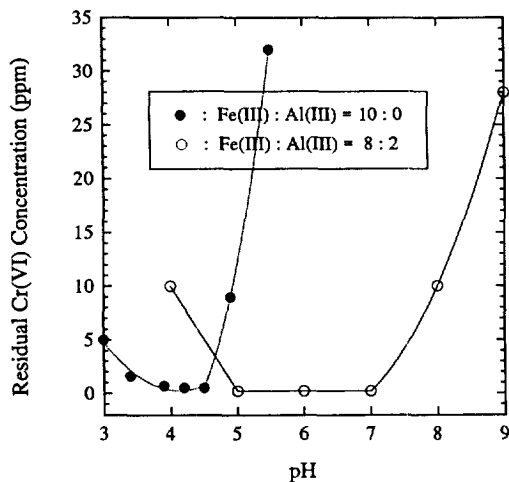


Fig. 9. Effect of Al(III) addition on Cr(VI) removal by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

[Cr(VI) : 50 ppm, Fe(III) : 500 ppm, NLS : 100 ppm, flotation time : 30 min, gas flow rate : 100 ml/min]

3-5. Al(III) 이온 첨가의 영향

Fig. 9는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 를 흡착콜로이드로 사용한 흡착콜로이드부상에 의한 제거에서 Al(III) 이온 첨가에 따른 pH의 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 Al(III) 이온을 첨가하지 않았을 경우(짧은 점선)에는 pH 4-4.5 근처

Table 3. The effect of Al(III) addition on Cr(VI) removal by reduction with $\text{Fe}(\text{SO}_4)_4$ to Cr(III) followed by adsorbing colloid flotation with $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Na_2SO_4 (M)	Al(III) (ppm)	Residual Cr(VI) concentration(ppm)
0.01	0	24.4
0.02	0	30.1
0.03	0	42.3
0.05	0	50.
0.01	20	0.5
0.02	20	0.5
0.03	20	10.
0.05	20	40.

[Cr(VI) : 50 ppm, Fe(III) : 175 ppm, NLS : 100 ppm, the gas flow rate 100 ml/min, the flotation time 20 min, pH : 60]

에서, Al(III) 이온을 첨가함으로써 넓은 pH 범위의 조건에서 Cr(VI) 이온을 제거할 수 있었다. 이것은 Al(OH)₃의 물에서의 등전점[28]이 9.1 근처로 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 의 등전점 7.1보다 높기 때문에 최적 pH가 이동하며 아울러 Al(III)가 공침물의 zeta potential을 증가시켜 공침물과 계면활성제의 친화력이 증가하므로 보다 넓은 범위의 pH 영역에서의 제거가 이루어졌다.

Table 3은 FeSO_4 를 환원제로 사용한 제거에서 외부 이온이 존재하는 경우 Al(III) 이온 첨가의 영향을 나타낸다. 표에서 나타난 바와 같이 Al(III) 이온의 첨가에 따라 제거효율이 향상되는 것으로 나타내며, SO_4^{2-} 이온 농도 0.02 몰까지는 Al(III) 이온을 20 ppm 첨가하여 효율적으로 제거할 수 있었다. 이와 같이 Al(III) 이온을 첨가함에 따라 제거효율이 향상되는 것은 Al(III)가 activator로서 작용하여 flocc의 표면전하를 더욱 강하게 만들어서 음이온 계면활성제의 흡착이 더욱 강하게 일어나기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

(1) 수용액중의 Cr(VI) 이온을 음이온 계면활성제인 sodium lauryl sulfate를 사용하여 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 를 흡착콜로이드로 사용한 제거와 FeSO_4 를 환원제로 사용한 제거의 흡착콜로이드부상법을 각각 행하였으며 잔존 Cr(VI) 농도를 환경기준치인 0.5 ppm 미만으로 제거할 수 있었다.

(2) 거품분리기술의 흡착콜로이드부상에 의한 Cr(VI) 이온 제거효율은 pH에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 최적 pH는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 를 흡착콜로이드로 사용한 제거에서는 pH 4-4.5, 그리고 Al(III) 이온을 소량

첨가함으로써 pH 5-7의 보다 넓은 범위의 pH 영역이었다. FeSO_4 를 환원제로 사용한 공침부상에서는 pH 4-6.5가 최적 pH였다.

(3) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 의 flocculating 성질로 인하여 흡착콜로이드부상법이 FeSO_4 로 환원하는 공침부상법에서 보다 훨씬 적은 제면활성제가 필요하였다.

(4) 외부이온의 영향은 흡착콜로이드부상법의 적용에 심각한 장애가 되었다. 일반적으로 이가 이온인 Ca^{2+} , SO_4^{2-} 이온의 영향이 일가 이온인 Na^+ , NO_3^- 이온보다 심각한 것으로 나타났다.

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. Wilson, D. J. and Clarke, A. N.: "Foam Flotation", Marcel Dekker, Inc., New York(1983).
6. Barson, R. E. and Ray, C. I.: Amer. Inst. of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Symposium, Dallas, Texas(1963).
7. Rubin, A. J., Johnson, J. D. and Lamb, J. C.: *Ind. Eng. Chem. Pro. Des. Dev.*, **5**(4), 368(1966).
8. Pinford, T. A.: "Precipitate Flotation in Adsorptive Bubble Separation Techniques", Lemlich, R.(ed.), Academic, New York(1972).
9. Grieves, R. B. and Bhattacharyya, D.: *Sep. Sci.*, **4**(4), 301(1969).
10. Jurkiewicz, K.: *Sep. Sci. Technol.*, **19**(13), 1051(1984).
11. Kim, Y. S. and Zetlin, H.: *Anal. Chem.*, **43**, 1390(1971).
12. Kim, Y. S. and Zetlin, H.: *Sep. Sci.*, **7**(1), 1(1972).
13. Huang, S. D. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci.*, **10**(4), 407(1975).
14. Huang, S. D. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci.*, **11**(3), 215(1976).
15. Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **13**(2), 107(1978).
16. Allen, W. D., Jones, M. M., Mitchell, W. C. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **14**(9), 769(1979).
17. McIntyre, G., Rodriguez, J. J., Thackston, E. L. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **17**(2), 359(1982).
18. McIntyre, G., Rodriguez, J. J., Thackston, E. L. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **17**(5), 673(1982).
19. McIntyre, G., Rodriguez, J. J., Thackston, E. L. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **17**(5), 683(1982).
20. Huang, S. D., Tzudo, J. J., Gau, J. Y., Hsieh, H. S. and Fann, C. F.: *Sep. Sci. Technol.*, **19**(13-15), 1061(1984).
21. Choi, S. J. and Ihm, S. K.: *Sep. Sci. Technol.*, **23**(4&5), 363(1988).
22. Bhattacharyya, D. J., Carton, A. and Grieves, R. B.: *Amer. Inst. Chem. Eng. J.*, **17**, 419(1971).
23. Pietrenko, B. K. and Selecki, A.: *Sep. Sci. Technol.*, **19**(13), 1025(1984).
24. Huang, S. D., Fann, C. F. and Hsieh, H. S.: *J. Colloid Interface Sci.*, **89**(2), 504(1982).
25. Huang, S. D. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **19**(8), 603(1984).
26. Franson, M. H.: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", Amer. Publ. Health Assoc., Washington, D.C.(1971).
27. Cross, J.: "Surfactant Science Series", 8, Dekker, New York(1977).
28. Parks, G. A.: *Chem. Res.*, **65**, 177(1965).