

浮選法에 의한 廢水中 鐵이온의 除去에 關한 基礎 研究*

김형석 · 조동성 · 오재현*

인하대학교 자원공학과

*연세대학교 금속공학과

A Basic Study on the Removal of Iron Ion in Waste Water by the Precipitation Flotation Method

Hyung Sung Kim, Dong Sung Cho and Jae-Hyun Oh*

Dept. of Mining and Mineral Eng., Inha Univ.

*Dept. of Metallurgical Eng., Yonsei Univ.

요 약

부선법에 의하여 폐수속에 함유되어 있는 철이온을 제거하기 위한 몇가지 효과적인 포수제와 최적 조건들을 알아본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다. 음이온 포수제인 sodium lauryl sulfate에 의해서 2가와 3가 철은 각각 pH 7과 6에서 효과적으로 제거되었다. 음이온 포수제인 aeropromotor 845에 의해서 2가와 3가철은 모두 pH 5~9영역에서 효과적으로 제거되었다. 양이온 포수제인 trimetyl dodecyl ammonium chloride에 의해서 2가 철은 pH 10~11영역에서, 3가철은 pH 4~10영역에서 효과적으로 제거되었다.

따라서, 2가와 3가철은 2가와 3가 철이온의 침전점 이상으로 단순히 용액의 pH 값을 조절하여 수산화철 침전으로 만든 다음 부선법에 의하여 효과적으로 제거된다고 할 수 있다. 그 때의 효과적인 pH 조절제는 NaOH와 Na₂CO₃였고, 효과적인 포수제는 aeropromotor 845와 trimetyl dodecyl ammonium chloride이었다.

ABSTRACT

This study was carried out in order to define the effective collectors and the optimum conditions for the removal of iron ion in waste water by flotation method. The results obtained in this study are summarized as follows. Fe(II) and Fe(III) were removed effectively at pH 7 and 6 respectively by using sodium lauryl sulfate, an anionic collector. The anionic collector, aeropromotor 845, removed both Fe(II) and Fe(III) effectively in pH ranges of from 5 to 9. The cationic collector, trimetyl dodecyl ammonium chloride, removed both Fe(II) and Fe(III) effectively in pH ranges from 10 to 11 and from 4 to 10, respectively. Therefore, Fe(II) and Fe(III) could be effectively removed by forming the iron hydroxide precipitates by simple pH adjustment of the solutions above precipitation point of ferrous and ferric ion by flotation method. Then, the effective pH regulator and collector were NaOH and Na₂CO₃, aeropromotor 845 and trimetyl dodecyl ammonium chloride, respectively.

1. 서 론

산업의 발달이 여러 가지 물질의 사용량을 크게 증대 시킴에 따라 각종 중금속 이온등으로 인한 수질 오염이 불의 자정 능력의 한계를 벗어나게 되어 심각한 사회 문제로 대두되고 있다. 따라서 우리 나라에서도 폐수중

철이온 함유 한계치¹⁾를 10 mg/l 이하로 제한하고 있다. 그러나 철이온이 물속에 0.2 mg/l만 존재하여도 치사량이 되는 어족이 있으므로 대부분의 나라가 우리보다 철이온 함유 한계치를 엄격히 규제하고 있다.

일반적으로 철이온이 함유된 물을 알칼리성으로 하면 철이온은 쉽게 수산화물이 되므로 이를 침전시켜 처리

*본 연구는 1992년도 인하대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

하는 것이 보통이나 철의 함유량이 적은 용액에서 침전물을 농축시키려면 큰 침전 용적과 긴 시간이 필요하므로 경제적으로 부담이 될 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 철이온을 계면 활성제(포수제)와 난용성 화합물인 소수성염을 만들어 선별하는 이온부선법^{26)과}, 철이온을 함유한 용액을 알칼리성으로 하여 철이온을 수산화철로 만들고 포수제를 흡착시켜 선별하는 침전 부선법^{27)을} 적용함에 있어서 이온과 침전의 부선 효율을 좌우하는 여러 가지 요소와 변수들 가운데에 포수제의 농도와 pH 조절제 및 침전제에 의한 영향 등을 검토하여 철이온을 함유한 폐수 처리의 기초 자료를 얻고자 노력하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료

본 실험에 사용된 시료는 일급 시약으로 日本 Shinyo社의 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 와 純正化學會社の $Fe_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ 이며, 포수제는 Cyanamid社의 Aeropromotor 845와 Armour社의 Trimetyl dodecyl ammonium chloride 그리고 일급 시약인 日本 純正化學株式會社の Sodium Lauryl Sulfate를 사용하였고, 침전제 및 pH 조절제는 모두 일급 시약으로 日本純正化學株式會社の CaO와 H_2SO_4 그리고 キョウタ化學株式會社の Na_2CO_3 와 Tedie社의 NaOH를 사용하였다.

2.2 실험 및 분석 방법

부선은 임펠러의 회전 속도를 1500 r.p.m.으로한 Denver Sub-A형 부선기를 사용하였다. 그리고 시료는 황산철염($FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 와 $Fe_2(SO_4)_3$)을 사용하였다. 왜냐하면

폐수속에 철이온이 함유되는 대부분의 원인이 철제품의 산화된 표면을 제거할 때 산처리를 하기 때문에 발생하는 것이고, 이때 사용되는 산은 특별한 경우를 제외하고는 가장 경제적이라고 할 수 있는 황산이 사용되기 때문이다. 따라서 시약용 황산철염을 증류수에 녹이고 희석하여 시료로 사용하였으며, 이 시료를 일정 농도의 2가나 3가 철이온이 되게 만들어 500 ml의 부선조에 넣은 후 pH를 조절하고 부선제를 첨가한 다음 3분간 조건 조절한 후 5분간 부선하였다. 철이온의 분석은 2가 철이온(3가 철이온은 2가 철이온으로 환원시킴)을 오르토펜 안트라닐린철(II)착물로 만들어 UV-930 Spectro-photometer로 508 nm인 파장에서 흡광도를 읽어 측정하였고 사용되는 부선 시약들이 바뀔 때마다 검량선을 작성하여 측정 오차를 최대한 줄였다. 그리고 수산화철의 제타전위측정은 미국 Zeta-meter社의 Zeta-Meter system 3.0을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1과 2는 음이온 포수제인 Sodium Lauryl Sulfate를 첨가하였을 때, 20 mg/l인 2가와 3가 철이온의 부유율을 pH 값에 따라 나타낸 것이다. Sodium Lauryl Sulfate를 50 mg/l 첨가하였을 때, 2가 철이온은 pH 4에서부터 부유되기 시작하여 pH 7에서는 90%의 부유율을 나타내며 pH 9이상의 알칼리 용액에서는 거의 부유되지 않았다. 그리고 3가 철이온은 pH 2에서 부유되기 시작하여 pH 6정도에서 86% 까지 부유율을 보이나 2가 철이온의 부유 특성과 비슷하게 알칼리측으로 됨에 따라 부유율이 낮아져 pH 9 이상의 알칼리 용액에서는 전혀

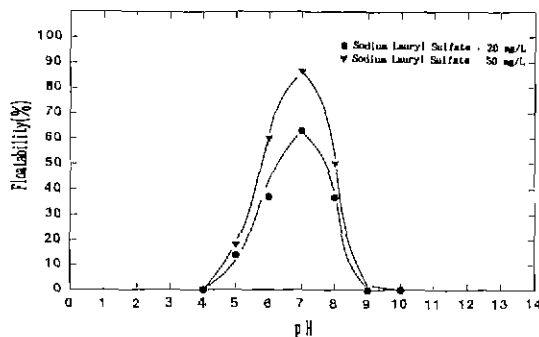


Fig. 1. Floatability of Fe(II) with Sodium Lauryl Sulfate as a function of pH.

Fe(II) concentration : 20 mg/l, pH regulator : NaOH, Temperature : 20°C.

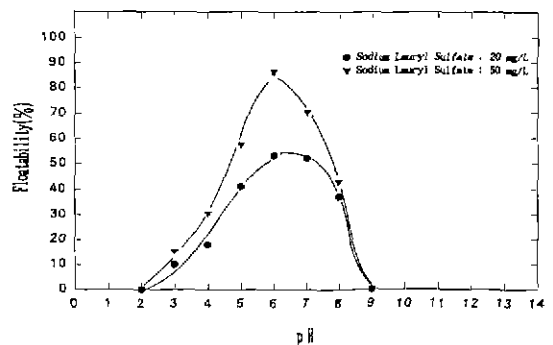


Fig. 2. Floatability of Fe(III) with Sodium Lauryl Sulfate as a function of pH.

Fe(III) concentration : 20 mg/l, pH regulator : NaOH, Temperature : 20°C.

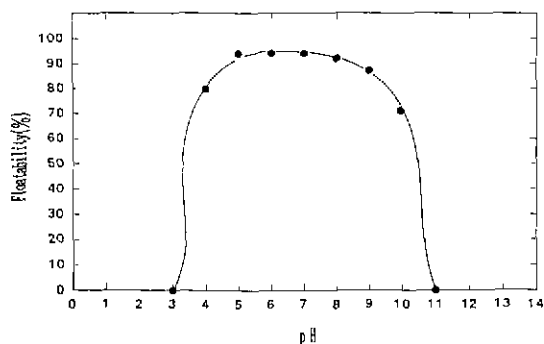


Fig. 3. Floatability of Fe(II) with Aeropromotor 845(100 mg/l) as a function of pH.
Fe(II) concentration : 20 mg/l, pH regulator : NaOH, Temperature : 20°C.

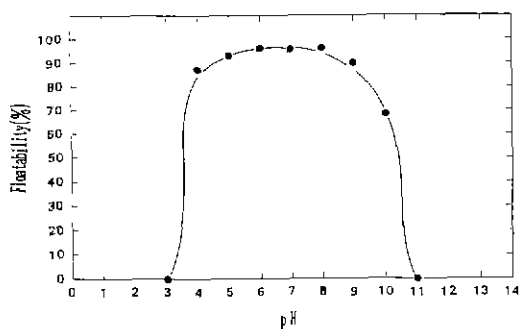


Fig. 4. Floatability of Fe(III) with Aeropromotor 845 (100 mg/l) as a function of pH.
Fe(III) concentration : 20 mg/l, pH regulator : NaOH, Temperature : 20°C.

부유되지 않았다. 결국 중성 pH에서 50 mg/l 이상의 Sodium Lauryl Sulfate를 첨가함으로써 수용액속의 철이온 함유량을 3 mg/l 이하로 저하시킬 수 있었다.

이온 부선행법을 이용하여 0.2 mM(약 18 mg/l)인 3가 철이온을 Sodium Lauryl Sulfate의 농도와 질소 가스의 유량을 변화시키면서 측정한 Rubm 등의 실험 결과⁵⁾에 의하면 pH 4 이상의 알칼리측 용액에서의 부유율은 나타나지 않았으나 pH 3~4영역에서는 거의 100%가 부유되고 거의 모든 철이 이온 상태로 존재하는 pH 3 이하에서는 부유율이 대단히 낮으며 pH 1 이하에서는 거의 부유되지 않는다고 하였다. 그러나 pH 3 이하의 강산성 용액에서도 포수제인 Sodium Lauryl Sulfate의 농도와 질소 가스의 유량을 증가시킴으로써 철이온의 부유율을 다소 증가시킬 수 있다고 하였다. 그리고 이와 같이 pH 3 이상에서 부유율이 높은 것으로 하전된 표면을 갖는 수산화제이철과 음이온 포수제와의 흡착에 의해서 부유된다고 하였고 강산성용액에서 부유율이 감소되는 것은 pH값이 낮아짐(수소 이온의 농도 증가)에 따라 상대적으로 나트륨 이온의 농도가 감소되고 증가된 수소 이온이 Lauryl Sulfate 음이온과 결합하여 Lauryl Sulfate 음이온의 양이 적어졌기 때문에 철이온의 제거율이 최대 제거율보다 떨어진다고 하였다.

본 실험에서 철이온과 철의 수산화물이 부유되는 것은 포수제와의 흡착으로 수소성을 갖기 때문이지만 특히 중성 pH에서 수소 이온이 감소됨에 따라 철의 부유율이 감소되는 것은 각종 용해성 철이온이 존재하여 포수제와 안정한 화합물을 만들기 때문에 수산화철 침전물에 포수제의 흡착 효율이 저하되었기 때문으로 생각되고, pH 3 이하의 강산성용액에서 부유율이 더욱 낮은 것은 위와

같이 수소이온 농도의 증가로 기포성을 갖고 있는 포수제의 해리되지 않은 양이 많아져 포수제가 emulsion 상태가 되어 안정한 기포가 잘 발생되지 않기 때문으로 생각된다. 그리고 pH 9 이상의 알칼리 용액에서 부유율이 감소되는 현상은 pH조절을 위해 첨가된 NaOH의 해리로 생성된 Na^- 이온에 의해 해리된 Lauryl Sulfate 음이온의 농도가 낮아져 부유율이 떨어지는 것으로 보인다.

그러나 pH 3 이하의 강산성 용액에서 질소 가스 유량과 Sodium Lauryl Sulfate의 농도를 증가시켜 부유율을 높일 수 있다는 Rubm 등의 지적에도 불구하고 본 실험에서 나타난 결과는 철이온의 함유량이 20 mg/l 정도인 폐수 처리에서 포수제인 Sodium Lauryl Sulfate를 철이온을 제거시킬 목적으로 사용하기에는 적합하지 못한 것으로 나타났다. 왜냐하면 Sodium Lauryl Sulfate에 의해서 pH 3 이상에서 생성되는 기포는 함유량이 많아 농축효과가 대단히 낮아지기 때문이다. 실제로 20 mg/l의 철이온을 부유시키기 위해서 5분 동안 부선행하고 부선행조에 남은 용액이 Sodium Lauryl Sulfate의 첨가량이 20 mg/l일때에는 약 1/2(250 ml)로, 그리고 50 mg/l일때에는 약 1/3(160 ml)로 되어 철이온의 농도를 2mg/l 이하로 낮추기 위하여 포수제의 농도를 더욱 높일 수 없었다.

Fig.3과 4는 각각 20 mg/l의 2가와 3가 철이온을 제거하기 위하여 시판되고 있는 Sulfonate 계통의 음이온 포수제인 Aeropromotor 845를 100 mg/l첨가 하였을 때 pH에 따른 철이온의 부유율을 보인 그림으로 2가와 3가 철이온은 모두 pH 5~9 사이에서 약 90% 이상의 부유율을 나타내었다. 이것은 수산화철의 양이온이 철수산화물의 침전을 양으로 하전시키므로 Sulfonate 음이온에

의해 강하게 흡착되고 소수성이 증대⁸⁾되었기 때문에 생각된다. 그리고 pH 11 이상의 강알칼리성용액과 pH 3 이하의 강산성용액에서 철이온이 부유되지 않는 것은 역시 강알칼리 용액에서는 Na^+ 이온농도의 증가, 강산성 용액에서는 H^+ 이온농도의 증가로 해리된 포수제 이온 농도가 감소되기 때문으로 생각된다.

일반적으로 수용액에서 철이온은 2가와 3가 그리고 1~2가의 수산화철이온으로 존재한다. 수용액에서 $1 \times$

10^{-4}M 의 3가 철이온⁹⁾의 경우는 pH 2.7부터 수산화제이 철이 생성되어 pH 4 이상의 영역에서는 거의 모든 3가 철이온은 수산화제이철 침전으로 변하고, 2가 철이온¹⁰⁾은 약 알칼리 용액에서부터 이온의 농도가 감소하기 시작하여 pH 10 이상의 알칼리용액에서는 대부분이 수산화 제일철 침전이 되는 것으로 알려져 있다.

그리고 2가 철이온은 공기중의 산소와 탄산 가스에 의하여 3가로 산화가 되기도 하며 3가 철이온은 불안

Table 1. Iron compounds obtained from aqueous solution and suspensions.^{14,15)}

Material	Mineral	Structure(A°)	Color
FeO	Wustite	Cubic a=4.2274 -4.3108	Black
Fe(OH) ₂		Hexa a=3.262 c=4.596	White
Fe(OH) ₂ ·FeOOH	Green Rust I	Hexa a=3.18-3.26 c=22.5-24.2	Dark blue
	II	Hexa a=3.174 c=10.94	Dark green
Fe ₃ O ₄	Magnetite	Cubic a=8.3963	Black
α-Fe ₂ O ₃	Hematite	Hexa a=5.035 c=13.749	Dark red
γ-Fe ₂ O ₃ cubic-Fe ₂ O ₃	Maghemite	Cubic a=8.338	Brosnush red
		Cubic a=8.37	
α-FeOOH	Goethiate	Ortho. b=9.937 c=3.015	Yellowish brown
β-FeOOH	Akaganaitite	Tetra. a=10.48 c=3.06 a=3.87	Dark orange Yellow
γ-FeOOH	Lipidorocite	Ortho. b=12.51 c=3.06	Dull orange yellow
δ-FeOOH		Hexa a=2.94-2.95 c=4.50 a=7.20	Black
KFe ₃ (SO ₄) ₂ ·(OH) ₆	Jarosite	Mono c=17.00 =61°18' a=7.20	Amber Yellow
NH ₄ Fe ₃ (SO ₄) ₂ ·(OH) ₆	Ammonojarosite	Mono c=17.00 =61°18' a=7.18	Amber Yellow
NaFe ₃ (SO ₄) ₂ ·(OH) ₆	Natrojarosite	Mono c=15.30 =63°23'	Amber Yellow

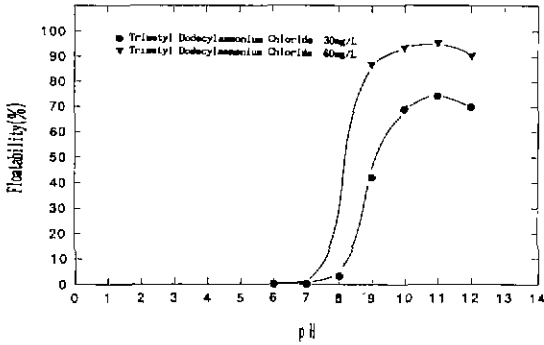


Fig. 5. Floatability of Fe(II) with Trimethyl Dodecylammonium Chloride as a function of pH.
Fe(II) concentration : 20 mg/l, pH regulator : NaOH, Temperature : 20°C.

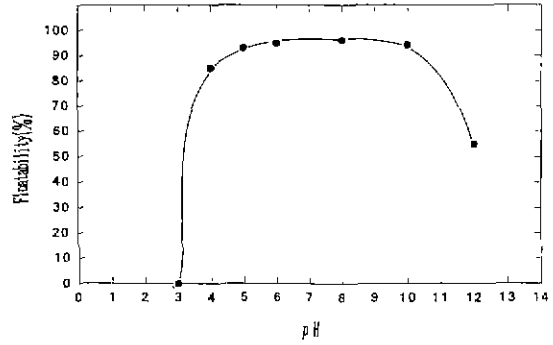


Fig. 6. Floatability of Fe(III) with Trimethyl Dodecylammonium Chloride (60 mg/l) as a function of pH.
Fe(III) concentration : 20 mg/l, pH regulator : NaOH, Temperature : 20°C.

정하여 수산화제이철로 침전된다고 알려져 있다. 또한 三澤등에 의한 수용액중에 존재하는 $Fe(OH)_2$ 는 산화되어 Green Rust I과 II를 만들고 이들은 더 산화되어 Fe_3O_4 나 $\gamma-FeOOH$ 가 된다고 보고^{12,13)}하였다.

그러므로 2가나 3가 철이온을 수산화물로 침전시키면 순수한 2가나 3가에 해당하는 순수한 수산화물만이 생성되는 것이 아니라 Table 1^{14,15)}과 같은 조성비도 알 수 없는 혼합물이 생성될 것이므로 침전물의 부유도에 특별한 차이점을 기대하기는 곤란하지만 2가와 3가 철이온의 시료를 각각 만들어 실제로 부유도의 차이가 어느 정도 나타나는지를 조사하여 보았다.

그러나 음이온 포수제에 의한 실험 결과에 따르면 Sodium Lauryl Sulfate와 Aeropromotor 845를 사용한 2가와 3가 철이온의 부선에서는 거의 비슷한 부유 특성을 나타내므로 폐수 처리를 위한 부선에서는 굳이 2가와 3가 철이온을 의식하여 처리할 필요가 없을 것으로 보이며 또한 기포의 흡수량과 부유율에 따른 수산화철의 농집능력을 비교하여 볼때 Sodium Lauryl Sulfate보다는 Sulfonate계통인 Aeropromotor 845가 더 효과적이라고 생각된다.

Fig. 5와 6은 20 mg/l의 2가와 3가 철이온에 대하여 60 mg/l의 양이온 포수제인 Trimethyl Dodecyl Ammonium Chloride를 사용하였을 때 pH값 변화에 따른 부유율을 각각 보인 것으로 2가 철이온은 pH 8부터 부유되기 시작하여 pH 10~11사이의 영역에서, 그리고 3가 철이온은 pH 4~10사이 영역에서 최고의 부유율을 보여 수산화철의 침전에 양이온 포수제의 흡착 거동을 잘 보여준다.

즉, pH의 변화에 따라 용액내의 철이온의 존재량이

부유율에 상당한 영향을 미침을 알 수 있게 한다. 이와 같은 결과는 3가 철이온에 포수제로 Stearylamine을 사용하여 부선 실험한 Rubin 등의 연구결과⁶⁾에서 3가의 철이온만 존재하는 pH범위내에서는 이온부선에 의해서 철성분은 부유되지 않고 수산화제이철 침전으로 존재하는 pH범위내에서는 침전부선법에 의해서 약 82%까지 부유된다고 하였으며 철이온이 제거되지 않는 것은 철이온이 질소와 배위결합하는 성질이 없고, 산소와 배위결합성을 갖는 물질이기 때문에 친수기 부분이 질소로 이루어진 Stearylamine과 반응성이 없기 때문이고, 수산화제이철이 82%까지 제거되는 것은 변하기 쉬운 특성을 갖고 있는 철침전물과 포수제와의 불안정한 화합물을 형성하기 때문이라고 하였다. 본 실험의 결과도 포수제로 사용한 Trimethyl Dodecyl Ammonium Chloride가 Stearylamine과 같은 Amine계통의 물질이기 때문에 이온으로 존재하는 철은 질소와 배위결합 능력이 없기 때문에 부유되지 않는다고 생각되고, 침전물이 부유되는 것은 위와 같이 포수제와 불안정한 화합물을 형성하기 때문이며 침전의 표면이 전기적으로 같은 부호의 하전을 띄는 pH영역내에서도 용해성 철이온의 양이 적어짐에 따라 흡착량의 증가가 가능하였던 이유로 생각된다. 따라서 양이온 포수제인 Trimethyl Dodecyl Ammonium Chloride로 2가와 3가 철이 수산화철 등의 이온으로 함께 용액내에 존재할 때에도 수소이온의 농도를 조절하여 용액의 pH를 10정도로 하면 거의 모든 철이온은 침전인 수산화철이 되고 용액내에 수산화철의 양이온이 거의 없어짐에 의하여 철성분의 부유율을 향상시킬 수 있을 것으로 보인다. 그리고 pH 11 이상의 용액에서는 거의 모든 2가 및 3가 철이 수산화철침전으로

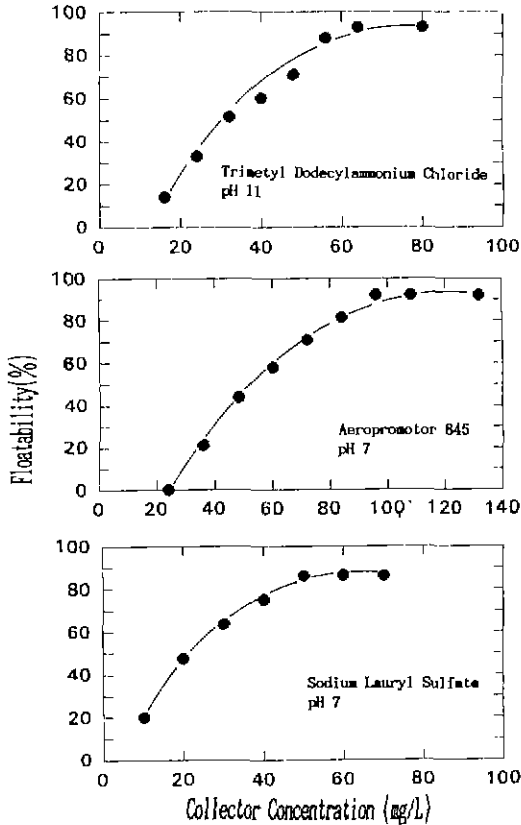


Fig. 7. Floatability of as a function of collector concentration(mg/l).

Fe(III) concentration : 20 mg/l, pH regulator : NaOH, Temperature : 20°C.

존재하지만 부유율이 낮은 것은 포수제로 사용한 Trimethyl Dodecyl Ammonium Chloride가 해리되어 이온으로 존재하는 양이 적어지기 때문으로 생각된다. 즉, 10^{-4} M의 Dodecyl Amine은 해리¹⁰⁾될때 pH 10.6 근처에서 RNH_3^+ 와 $\text{RNH}_{2(\text{am})}$ 의 농도가 같아 지고 pH 10.6을 경계로 하여 낮은 pH에서는 아민 이온 농도가 증가되고, 높은 pH에서는 감소된다. 따라서 Dodecyl Amine에 의한 수산화철의 부유율이 pH 10 이하의 영역에서 높고, pH 10 이상의 강알칼리 용액에서 낮아지는 것으로 생각된다.

Fig. 7은 포수제의 최적 첨가량을 알아보기 위하여 20 mg/l의 3가 철이온에 대하여 음이온 포수제인 Sodium Lauryl Sulfate와 Aeropromotor 845는 pH 7에서, 양이온 포수제인 Trimethyl Dodecyl Ammonium Chloride는 pH 11에서 포수제의 첨가량 변화에 따른 부유율을 알아본 결과이다.

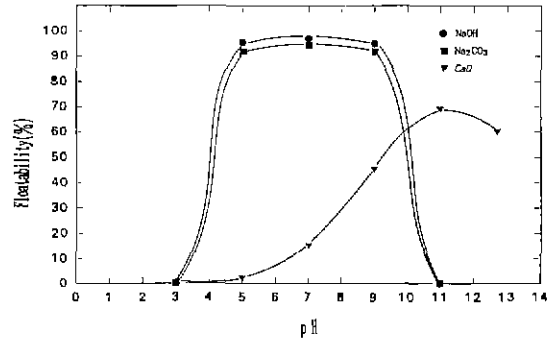


Fig. 8. Floatability of Fe(III) with Aeropromotor 845 (100 mg/l) as a function of pH and pH regulator. Fe(III) concentration : 100 mg/l. pH regulator : NaOH, Temperature : 20°C.

실험 결과에 의하면 양이온 포수제인 Trimethyl Dodecyl Ammonium Chloride는 60 mg/l, 음이온 포수제인 Sodium Lauryl Sulfate는 50 mg/l, 그리고 Aeropromotor 845는 100 mg/l정도가 최적 첨가량을 알 수 있었다.

Fig.8은 100 mg/l의 3가 철이온 용액에 NaOH, Na₂CO₃와 CaO를 각각 첨가하여 pH를 조절하고 음이온 포수제인 100 mg/l의 Aeropromotor 845를 첨가하였을 때 철의 부유율을 나타낸 그림이다. pH 조절제가 NaOH인 경우 pH 5~9사이의 영역에서 약 97%, Na₂CO₃인 경우는 역시 pH 5~9사이의 영역에서 약 94%로 거의 같은 부유의 경향성을 보였다. 그러나 CaO의 경우 pH 5에서는 포말이 거의 형성되지 않으며 부유율도 극히 낮고 pH 11에서는 상당한 포말이 형성되지만 약 70% 이하의 낮은 부유율을 보였다.

이와 같이 약알칼리 용액에서 부유율이 향상된 것은 pH 조절제로 첨가된 CaO양이 증가되면 칼슘이온과 포수제의 화합물 생성이 적어질 수 없음에도 불구하고 상당한 포말이 발생하였다. 이때의 포말 발생은 칼슘 화합물상태인 포수제분자들의 응집이 약하게 되어 분산된 결과로 밖에 이해할 수 없으며 이때 포수된 칼슘 화합물과 수산화제이철 침전의 일부에 의해서 포수제의 흡착에 의해서가 아닌 주로 기계적으로 수산화제이철 침전이 함께 부유된 결과로 관측되었다.

Fig.9는 100 mg/l의 3가 철이온에 대하여 포수제로 Aeropromotor 845를 사용하고 pH조절제로 CaO를 사용했을 때, pH 7에서 Aeropromotor 845의 첨가량에 따른 철이온의 부유율을 보인 것으로 Aeropromotor 845의 첨가량이 400 mg/l 이상이 되어야만 90% 이상의 철이온을 부유시킬 수 있음을 보인 결과이다. 즉, pH조절제로

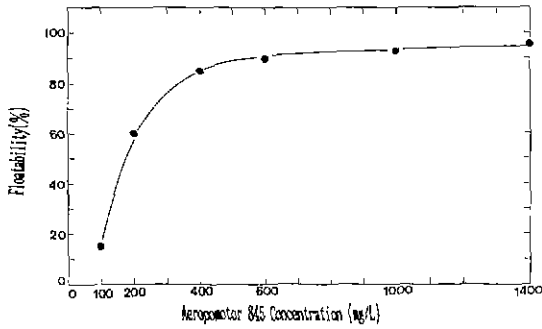


Fig. 9. Floatability of Fe(III) as a function of Aeropromotor 845 Concentration(mg/l) at pH 7.
Fe(III) concentration : 100 mg/l, pH regulator : CaO.

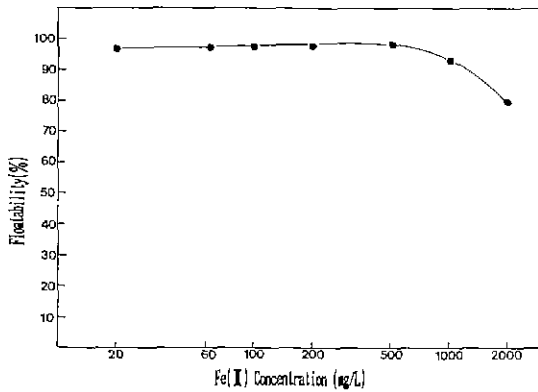


Fig. 10. Floatability of Fe(III) with Aeropromotor 845 (100 mg/l) as a function of Fe(III) concentration (mg/l) at pH 7.
pH regulator : NaOH, Temperature : 20°C.

NaOH와 Na_2CO_3 를 사용했을 때보다 CaO를 사용할 경우는 4배 이상의 Aeropromotor 845를 첨가하여야 비슷한 양의 철을 부유시킬 수 있었다. 그러므로 음이온인 Aeropromotor 845를 이용한 부선에서는 비교적 값이 싼 CaO나 CaCO_3 를 pH조절제로 사용하기가 곤란할 것으로 생각된다.

일반적으로 폐수중의 중금속 이온 함유량은 허용 기준치의 100배 이상인 경우가 대부분이다. 따라서 일정 포수제 양으로 부유할 수 있는 철이온의 양을 알아 보기 위하여 Aeropromotor 845의 농도를 100 mg/l로 고정하고 3가 철이온의 양을 변화시키면서 철이온의 부유율을 조사해 본 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 철이온의 농도가 500 mg/l까지는 약 98%

까지 부유율을 보이나. 그 이상의 농도에서는 부유율이 낮아지고 2000 mg/l일 때에는 약 80%의 부유율을 보인다.

4. 결 론

철이온을 2가와 3가 철이온으로 구분하여 각종 pH조절제(NaOH와 Na_2CO_3 그리고 CaO)로 pH를 조절한 후 음이온 포수제로 Aeropromotor 845와 sodium lauryl sulfate를, 양이온 포수제로 trimetyl dodecyl ammonium chloride를 사용하여 부선 실험한 결과는 다음과 같다.

- 50 mg/l의 Sodium lauryl sulfate를 사용했을 때 20 mg/l의 2가철이온은 pH 7에서 약 90%, 20 mg/l의 3가 철이온은 pH 6에서 약 86%까지 부유되었다.
- 20 mg/l의 2가와 3가 철이온은 100 mg/l의 Aeropromotor 845에 의해서 각각 pH 5~9영역에서 약 96%를 부유시켰고, pH 7에서 100 mg/l의 Aeropromotor 845의해서 효과적으로 제거할 수 있는 철이온의 농도는 500 mg/l까지였다.
- 60 mg/l의 Trimetyl dodecyl ammonium chloride에 의해서, 2가 철이온(20 mg/l)은 pH 9~11영역에서 약 95%, 3가 철이온(20 mg/l)은 pH 4~10 영역에서 약 96%까지 부유되었다.
- 포수제로 100 mg/l의 Aeropromotor 845를 사용하고, NaOH와 Na_2CO_3 그리고 CaO를 각각 pH조절제로 사용했을 때, pH 5~9 영역에서 NaOH에 의해서 약 97%, Na_2CO_3 에 의해서는 약 94%, 그리고 pH 11에서 CaO에 의해서는 약 70%까지 100 mg/l의 3가 철이온이 부유되었다.
- 2가와 3가 철은 이온상태로 존재할 때 보다는 용액의 pH를 2가와 3가 철이온의 침전점 이상으로 조절하여 수산화철침전으로 만든 다음 부선에 의해서 잘 제거되고 이때 효과적인 포수제와 pH 조절제는 각각 Aeropromotor 845와 trimetyl dodecyl ammonium chloride 그리고 NaOH와 Na_2CO_3 이었다.

참고문헌

- 환경정책기본법, 법률 제 4257호, 제 40조(별표11 : 방류수수질기준).
- 오재현, 이효숙, 유용주, 조동성 : "浮選法에 의한 廢水中의 카드뮴이온 除去에 關하여," 대한광산학회지, 15(2), 144-148 (1978).
- 원창환, 이효숙, 오재현 : "浮選法에 의한 廢水中의 銅이온 除去에 關하여," 대한광산학회지, 13(3), 141-148 (1976).

4. F. Sebba : "Ion flotation", *Elsevier Pub. Co.*, Amsterdam-London-New York (1962)
5. Alan J. Rubin and J. Donald Jonson : "Effect of pH on Ion and Precipitate Flotation Systems", *Analytical chemistry*, **39**(3), 298 (1967).
6. 若松貴英 : "Ion flotation," *水産會誌*, **17**(10), 437 (1973).
7. R.E. Baarson and C.L. Ray : "Pricipitate Flotation of A New Metal Extration and Concentration Technique", *Amer. Inst. of mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Symposium Dallas, Texas* (1963).
8. A.M. Gaudin : "Flotation", *American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc.*, 102 (1976)
9. i.b.i.d. 8) p.169.
10. i.b.i.d. 8) p.164.
11. 한국동력자원연구소 : "지구화학시료분석법", **958**, 문영사 (1984).
12. 三澤俊平, 久野忠一, 末高, 下平三郎 : "ヒドロキソ第一鐵 鉛體の 空氣 酸化", *日本金屬學會誌*, **33**, 1149 (1969).
13. T. Misawa, K. Hashimoto and S. Shimodaira : "Formation of Fe(II)₁-Fe(III)₁ Intermediate Green Complex on Oxidation of Ferrous Ion in Neutral and Slightly Alkaline Sulfate Solutions", *J Inorg.Nucl.Chem.*, **35**, 4167 (1973).
14. 木山雅雄 : "水酸化鐵(II)(III)の 化學", *粉體 および 粉體冶金*, **23**(3), 1 (1976).
15. 井山 克夫 : "磁性材料の 開發と 磁粉の 高分散化技術", *株式會社 總合技術センタ 出版事業部*, **1**, 東京 (1982).
16. i.b.i.d. 8) p.104.