

## 鹽化구리와 鹽化鐵 混合溶液의 組成이 pH와 溶液電位에 미치는 影響<sup>†</sup>

\*李晩承 · 孫誠皓\*

木浦大學校 工科大學 新素材工學科, \*韓國生產技術研究院 仁川技術支援本部

### Effect of Composition on the pH and Solution Potential of Mixed Solutions of Copper and Iron Chloride<sup>†</sup>

\*Man Seung Lee and Seong Ho Son\*

Department of Advanced Materials Science & Engineering, Mokpo National University, Chonnam 534-729, Korea

\*Korea Institute of Industrial Technology, Incheon Technology Service Division, 7-47, Songdo-dong, Incheon, 406-840, Korea

#### 요 약

염화 제 2철용액에 의한 구리황화광의 침출액을 모사하기 위해  $\text{FeCl}_3\text{-FeCl}_2\text{-CuCl}_2\text{-CuCl-NaCl-HCl-H}_2\text{O}$ 의 조성을 지닌 합성용액을 제조하였다. 합성용액에서 염화철과 염화구리의 농도를 0.1에서 1 m까지 변화시키며 성분의 농도변화에 따른 25°C에서 용액의 pH와 전위의 변화를 측정하였다. 염산의 농도가 일정한 조건에서 CuCl의 농도를 증가시키면 용액의 pH는 증가하였다. 그러나 염산과 CuCl의 농도가 일정한 조건에서 다른 용질의 농도를 증가시키면 수소이온의 활동도계수가 증가하면서 용액의 pH는 감소하였다. CuCl의 농도를 증가시키면 염화 제 1구리이온이 안정해지는 방향으로 반응이 진행하나  $\text{FeCl}_3$ 은 반대의 효과를 나타냈다.

주제어 : 염화 철(II, III), 염화 구리(I,II), pH, 전위

#### Abstract

In order to simulate the leaching solution of copper sulfide ore in  $\text{FeCl}_3$  solutions, synthetic solutions with composition of  $\text{FeCl}_3\text{-FeCl}_2\text{-CuCl}_2\text{-CuCl-NaCl-HCl-H}_2\text{O}$  were prepared. The concentration of iron and copper chloride was varied from 0.1 to 1 m in synthetic solutions. The effect of composition on the mixed solution pH and potential at 25°C was measured. When HCl concentration was constant, the increase of CuCl concentration increased solution pH. The increase of other solutes excluding HCl and CuCl decreased solution pH owing to the increase of the activity coefficient of hydrogen ion. A high CuCl concentration favored the redox equilibrium in the direction of Cu(I), while  $\text{FeCl}_3$  had the opposite effect.

Key words : Iron chloride(II, III), copper chloride(I, II), pH, potential

#### 1. 서 론

염화 제 2철용액은 산화력이 강해 chalcopyrite( $\text{CuFeS}_2$ )와 같은 황화동광 및 여러 황화광의 침출과 PCB등의 에칭에 사용되고 있다.<sup>1,2)</sup> 염화 제 2구리용액도 chalcocite( $\text{Cu}_2\text{S}$ )와 covellite( $\text{CuS}$ )와 같은 구리황화광의 침출용액 뿐만 아니라 에칭액으로 사용되고 있다.<sup>3,4)</sup> 따라서 염화철과 염화구

리용액에 의한 황화광의 침출반응에 대한 속도론적 연구가 많이 행해졌다.<sup>5-9)</sup>

염화 제 2철용액으로 구리황화광을 침출하면 ferrous, ferric, cuprous 및 cupric이온이 침출액에 존재한다. 철과 구리이온은 염소이온과 착물을 형성하려는 경향이 매우 강하므로 구리황화광을 침출한 염화 제 2철용액의 이온평형은 매우 복잡하다. 철이온의 경우 ferric이온은  $\text{FeCl}^{2+}$ ,  $\text{FeCl}_2^+$ ,  $\text{FeCl}_3^0$ ,  $\text{FeCl}_4^-$ 와 같은 착물을, ferrous이온은  $\text{FeCl}^+$ 와  $\text{FeCl}_2^0$ 를 형성한다고 보고된바 있다.

<sup>†</sup> 2008년 8월 12일 접수, 2008년 9월 17일 수리

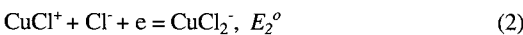
\*E-mail: mslee@mokpo.ac.kr

또한 ferrous이온에 비해 ferric이온이 염소이온과 착물을 형성하려는 경향이 크다.<sup>10)</sup> 한편 염산용액에서 구리 1가 이온은  $\text{CuCl}_2^-$ ,  $\text{CuCl}_3^{2-}$ ,  $\text{Cu}_2\text{Cl}_4^{2-}$ ,  $\text{Cu}_3\text{Cl}_6^{3-}$ 과 같은 착물을, 구리 2가 이온은  $\text{CuCl}^+$ ,  $\text{CuCl}_2^0$ ,  $\text{CuCl}_3^-$ ,  $\text{CuCl}_4^{2-}$ 와 같은 착물을 형성하며 구리 2가 이온에 비해 구리 1가 이온이 염소이온과 착물을 형성하려는 경향이 크다.<sup>11-12)</sup> 염화 제 2철용액에 의한 구리황화광의 침출액에 대한 연구가 많이 행해졌으나, 용액에 존재하는 용질의 수가 매우 많고 또한 이러한 용질들간의 상호작용을 고려할 수 있는 열역학 자료가 부족하다.<sup>13-14)</sup> 따라서 지금까지 행해진 대부분의 연구에서는 이온평형을 고려시 용질들의 활동도계수를 고려하지 않아 이온강도가 센 용액에서는 그 적용이 어렵고 실제 용액의 특성을 정확히 나타내기 어렵다.

HydroCopper<sup>TM</sup>은 염소를 함유한 용액으로 chalcopyrite 광을 처리하는 공정으로 Outokumpu에서 개발되었다.<sup>15)</sup> 이 공정에서는 조업을 제어하기 위한 수단으로 침출용액의 pH와 Eh를 연속적으로 측정하고 있다. 따라서 용액의 pH와 Eh를 용액의 조성과의 연관시킬 수 있는 평형모델을 개발한다면, 이러한 측정값을 이용하여 침출 반응을 해석하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 염화철과 염화구리가 혼합되어 있는 염산용액에 대한 평형모델을 개발하기 위한 연구의 첫단계로  $\text{FeCl}_3\text{-FeCl}_2\text{-CuCl}_2\text{-CuCl-NaCl-HCl-H}_2\text{O}$ 계의 조성에 따른 혼합용액의 pH와 전위를 측정하고 그 결과를 해석하였다.

## 2. 이론적 배경

염산용액에서 염화 제2구리와 제 1구리 이온사이의 산화-환원반응을 다음의 두 반응으로 나타낼 수 있다.



상기 식들에서  $E_1^0$ 와  $E_2^0$ 는 각각 식 (1)과 (2)반응의 표준환원전위를 나타낸다.

염화 제 1구리 및 제 2구리이온과 염소이온사이의 착물형성반응과 그 평형상수를 다음에 나타냈다.



상기 평형상수의 정의를 이용하여 식 (2)반응의 평형 전위를 나타내면 다음과 같다.

$$E_2 = E_2^0 - \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{[\text{CuCl}_2^-]}{[\text{CuCl}^+][\text{Cl}^-]} \right) = E_2^0 - \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{K_{I,2}}{K_{II,1}} \right) - \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{[\text{Cu}^+]}{[\text{Cu}^{2+}]} \right) \quad (5)$$

표준 자유에너지 변화의 정의로부터 식 (1)과 (2)반응의 표준환원전위 및 식 (3)과 (4)의 평형상수를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-FE_1^0 = \mu_{\text{Cu}^+}^0 - \mu_{\text{Cu}^{2+}}^0 \quad (6)$$

$$-FE_2^0 = \mu_{\text{CuCl}_2^-}^0 - \mu_{\text{CuCl}^+}^0 - \mu_{\text{Cl}^-}^0 \quad (7)$$

$$-RT \ln K_{II,1} = \mu_{\text{CuCl}^+}^0 - \mu_{\text{Cu}^{2+}}^0 - \mu_{\text{Cl}^-}^0 \quad (8)$$

$$-RT \ln K_{I,2} = \mu_{\text{CuCl}_2^-}^0 - \mu_{\text{Cu}^+}^0 - 2\mu_{\text{Cl}^-}^0 \quad (9)$$

상기 식들에서  $\mu^0$ 는 표준화학포텐셜을 나타낸다.

식 (6)-(9)를 정리하면 다음 식을 구할 수 있다.

$$E_1^0 = E_2^0 - RT \ln \left( \frac{K_{I,2}}{K_{II,1}} \right) \quad (10)$$

상기 식을 식 (5)에 대입하면 다음의 관계를 얻는다.

$$E_2 = E_2^0 - \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{K_{I,2}}{K_{II,1}} \right) - \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{[\text{Cu}^+]}{[\text{Cu}^{2+}]} \right) = E_1^0 - \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{[\text{Cu}^+]}{[\text{Cu}^{2+}]} \right) = E_1 \quad (11)$$

즉, 염화 제 1구리와 제 2구리가 혼합된 용액에서 식 (1)과 (2)로 표현되는 용액의 전위는 동일하다.

## 3. 실험재료 및 방법

본 실험에서 사용한 시약은 모두 일급시약으로  $\text{CuCl}$ ,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaCl}$  및 염산(32%)을 사용하였다. 미리 질소가스를 주입한 Mill-Q 증류수 50 g에 칭량한 시약을 첨가한 후 완전히 용해시켜 혼합용액을 준비하였다.

혼합용액을 glass cell에 부은 다음 항온수조(Rowe Scientific Pty Ltd)를 이용하여 용액의 온도를 25°C로 조절하였다. 백금전극을 작동전극으로, calomel전극을 참조전극으로 삼아 Potentiostat(EG&G Princeton Applied Research Model 273A)로 혼합용액의 Eh를 측정하였고, 용액의 pH는 pH미터(Orion, 535A)로 측정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1. 염산 농도의 영향

FeCl<sub>3</sub>-FeCl<sub>2</sub>-CuCl<sub>2</sub>-CuCl-NaCl-HCl-H<sub>2</sub>O계에서 염산, 염화철과 염화구리 및 NaCl의 농도가 혼합용액의 pH와 전위에 미치는 영향을 조사하였다. 혼합용액에서 FeCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>와 CuCl의 농도가 0.1 m(molality)이고 염산의 농도가 0.2 m, NaCl의 농도가 2m인 혼합용액을 대표조성으로 삼았다. 먼저 염산의 농도변화가 혼합용액의 pH와 전위에 미치는 영향을 조사하기 위해 대표 조성을 지닌 혼합용액에서 염산농도를 0.1에서 3.0 m까지 변화시키며 측정한 결과를 Fig. 1에 나타냈다. 염산의 농도가 증가함에 따라 혼합용액의 pH는 감소하고 전위는 증가하는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 염산의 농도가 최소 0.1 m이상인 조성을 대상으로 삼았다. 이러한 혼합용액의 pH는 1이하이므로 용액에서 수산화이온의 농도는 무시할 수 있으므로 수소이온의 농도를 다음과 같이 염산의 농도로 나타낼 수 있다.

$$[H^+] = [HCl]_{total} \quad (12)$$

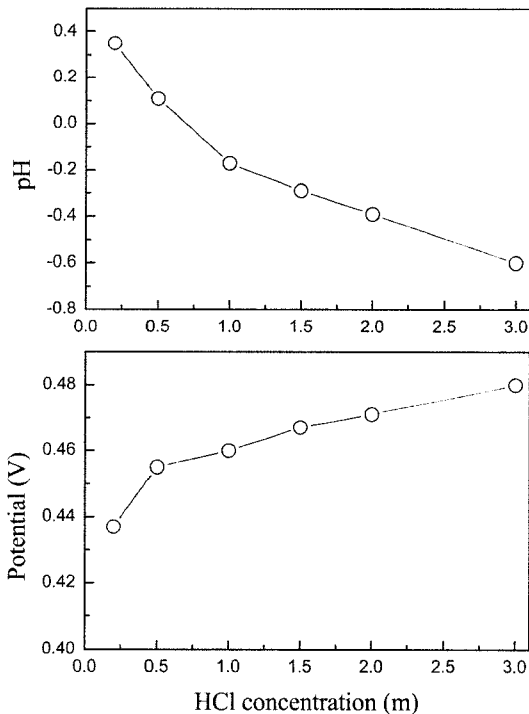


Fig. 1. Effect of HCl concentration on the pH and potential of the mixed chloride solution. ([NaCl]=2 m, [CuCl]=0.1 m, [CuCl<sub>2</sub>]=0.1 m, [FeCl<sub>2</sub>]=0.1 m, [FeCl<sub>3</sub>]=0.1 m)

염산의 농도가 증가하면 수소이온의 농도가 증가하면서 용액의 pH가 감소하며, 염산농도가 1.0 m이상의 조건에서는 혼합용액의 pH가 음의 값을 나타낼 정도로 매우 강산성을 나타낸다.

한편 Fig. 1을 보면 염산의 농도가 0.1에서 3 m로 증가함에 따라 혼합용액의 전위가 40 mV 정도 증가했다. 혼합용액에서 염산의 농도는 용액의 pH에 큰 영향을 미치지지만, 용액의 전위는 염산의 농도 증가에 따라 약간만 증가하였다.

##### 4.2. 염화철 농도의 영향

염화철의 농도가 혼합용액의 pH와 전위에 미치는 영향을 조사하기 위해 대표조성을 지닌 혼합용액에서 염화 제 2철과 제 1철의 농도를 0.1에서 1 m까지 변화시키며 혼합용액을 준비하였다. 먼저 염화 제 2철의 농도 변화에 따른 혼합용액의 pH와 전위를 Fig. 2에 나타냈다. 이때 이온강도의 영향을 같이 조사하기 위해 NaCl의 농도를 5 m로 조절한 혼합용액에 대해서도 동일한

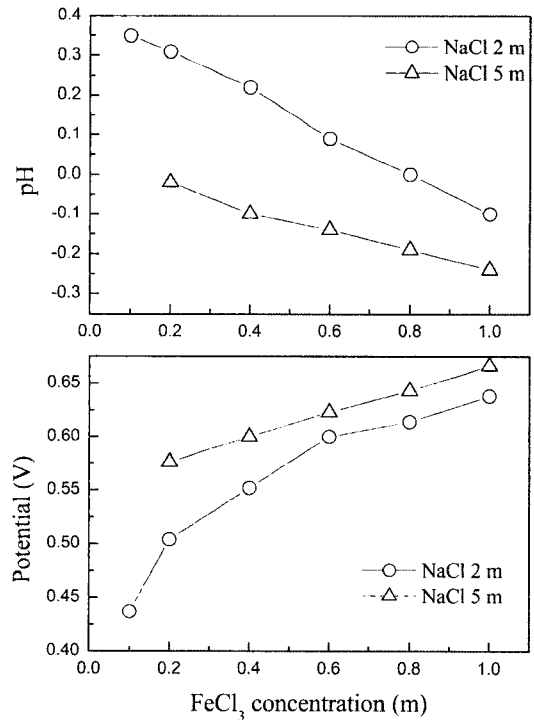


Fig. 2. Effect of FeCl<sub>3</sub> concentration on the pH and potential of the mixed chloride solution at different NaCl concentration. ([HCl]=0.2 m, [CuCl]=0.1 m, [CuCl<sub>2</sub>]=0.1 m, [FeCl<sub>2</sub>]=0.1 m)

실험을 수행하여 그 결과를 Fig. 2에 같이 나타냈다. 염화 제 2철의 농도가 증가함에 따라 혼합용액의 pH가 지속적으로 감소하였다. 염산의 농도가 일정한 조건에서 염화 제 2철의 농도의 증가에 따른 용액의 pH 감소는 수소이온의 활동도계수의 변화와 관계가 있다. 수 용액의 pH는 다음과 같이 정의된다.

$$pH = -\log[H^+] \gamma_{H^+} \quad (13)$$

순수한 염산용액에서 염산용액의 농도변화에 따른 염산의 평균활동도계수의 변화에 대해 문헌에 발표된 자료를 Fig. 3에 나타냈다.<sup>16)</sup> 염산용액의 이온강도가 2 m 이상인 조건에서 염산의 평균활동도계수는 1이상으로 증가하는 것을 Fig. 3에서 알 수 있다. 염화 제 2철의 농도가 증가하면 용액의 이온강도가 증가한다. 따라서 염화 제 2철의 농도증가에 따른 용액의 pH 감소는 용액의 이온강도 증가에 따른 수소이온의 활동도계수의 증가때문이라고 생각할 수 있다. 염화 제 2철의 농도가 동일한 조건에서 NaCl의 농도가 5 m인 혼합용액에서는 NaCl의 농도가 2 m인 용액에 비해 혼합용액의 pH가 더욱 감소하는 것도 역시 이온강도의 영향이다.

염화 제 2철의 농도가 증가하면 용액의 산화분위기가

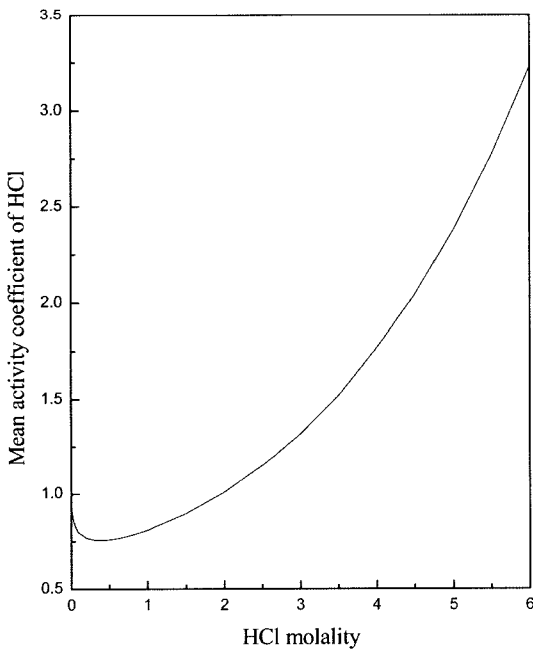


Fig. 3. Variation of the mean activity coefficient of HCl with HCl concentration at 25°C. (Measured data reported by NBS)

증가하므로 용액의 전위는 증가할 것으로 예상되며 이는 Fig. 2의 실험결과와 잘 일치한다. 즉 NaCl의 농도가 2 m인 혼합용액에서 염화 제 2철의 농도를 0.1에서 1 m로 증가시키기에 따라 용액의 전위가 약 200 mV정도 증가하여 산화성 분위기가 강해졌다. 그러나 NaCl의 농도가 5 m인 혼합용액에서는 염화 제 2철의 농도증가에 따라 약 100 mV정도 용액의 전위가 증가하였다.

대표조성을 지닌 혼합용액에서 염화 제 1철의 농도를 0.1에서 1 m까지 증가시켜 측정된 용액의 pH와 전위를 Fig. 4에 나타냈다. 염화 제 1철의 농도가 증가함에 따라 용액의 이온강도가 증가하면서 수소이온의 활동도계수가 증가하므로 혼합용액의 pH가 감소하였다. 염화 제 1철의 농도가 증가하면 환원성 분위기가 강해지면서 용액의 전위가 감소할 것으로 예상되었으나, 측정결과 염화 제 1철의 농도가 0.1에서 1 m로 증가함에 따라 용액의 전위가 약 60 mV증가하였다. 이러한 결과는 염화 제 1철의 농도가 증가하면 염화 제 1구리이온이 염소이온과 착물을 많이 형성하여 염화 제 1구리이온의 농도가 감소하기 때문이다. 즉, 염화철과 염화구리 혼합용

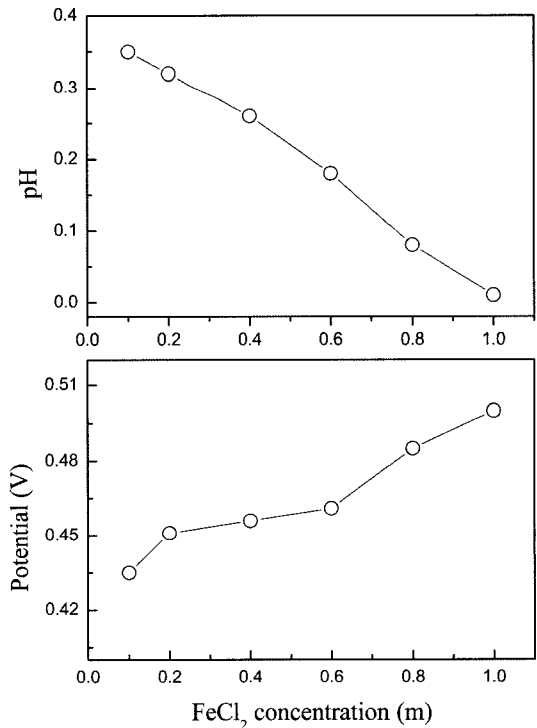


Fig. 4. Effect of FeCl<sub>2</sub> concentration on the pH and potential of the mixed chloride solution. ([NaCl]=2 m, [HCl]=0.2 m, [CuCl]=0.1 m, [CuCl<sub>2</sub>]=0.1 m, [FeCl<sub>3</sub>]=0.1 m)

액에서 염화 제 1철을 첨가하더라도 용액의 전위를 환원성분위기로 조절할 수 없었다.

### 4.3. 염화구리 농도의 영향

염화구리의 농도가 혼합용액의 pH와 전위에 미치는 영향을 조사하기 위해 대표조성을 지닌 혼합용액에서 염화 제 2구리와 제 1구리의 농도를 0.1에서 1 m까지 변화시키며 혼합용액을 준비하였다. 먼저 염화 제 2구리의 농도변화에 따른 혼합용액의 pH와 전위를 Fig. 5에 나타냈다. 이때 이온강도의 영향을 같이 조사하기 위해 NaCl의 농도를 5 m로 조절한 혼합용액에 대한 실험 결과도 Fig. 5에 같이 나타냈다. 염화 제 2구리의 농도가 증가함에 따라 혼합용액의 pH는 감소하고 전위는 증가하였다. 또한 NaCl의 농도를 5 m로 증가시켜 용액의 이온강도를 증가시킨 경우 pH와 전위가 더욱 많이 변했다. 염화 제 2철의 농도를 0.1에서 1 m로 증가시킨 혼합용액에서는 용액의 전위가 200 mV가량 증가하였다. 그러나 염화 제 2구리의 농도를 동일한 범위에서 변화시

켰을 경우 약 100 mV정도의 전위가 증가한 것을 Fig. 5에서 알 수 있다. 따라서 염화 제 2구리보다는 염화 제 2철의 첨가가 용액의 전위에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

대표조성을 지닌 혼합용액에서 염화 제 1구리의 농도를 0.1에서 1 m까지 증가시켜 측정된 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 염화 철과 염화 제 2구리의 농도를 증가시키면 용액의 pH가 감소하는데 반해, 염화 제 1구리의 경우에는 농도가 0.1에서 1 m로 증가함에 따라 pH가 오히려 증가하였다. 염화 제 1구리와 2구리 혼합용액에 대한 이온평형결과를 보면 염화 제 1구리의 대부분은 음이온으로 존재한다.<sup>12)</sup> 따라서 혼합용액에서 염화 제 1구리의 농도가 증가하면 음이온의 농도가 증가하면서 수소이온과의 상호작용으로 인해 수소이온의 활동도가 감소하면서 pH가 증가한다. 한편 용액의 전위의 경우에는 염화 제 1구리의 농도가 증가하면 환원성 분위기가 강해지면서 전위가 감소할 것으로 예상된다. Fig. 6을 보면 염화 제 1구리의 농도가 0.1에서 1 m로 증가함에 따라 용액의 전위가 약 150 mV 감소하면서 용액의 환

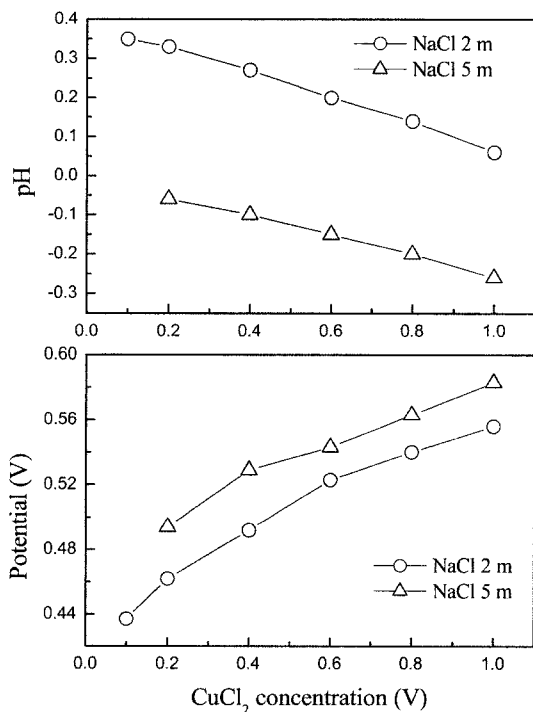


Fig. 5. Effect of CuCl<sub>2</sub> concentration on the pH and potential of mixed chloride solution at different NaCl concentration. ([HCl]=0.2 m, [CuCl]=0.1 m, [FeCl<sub>2</sub>]=0.1 m, [FeCl<sub>3</sub>]=0.1 m)

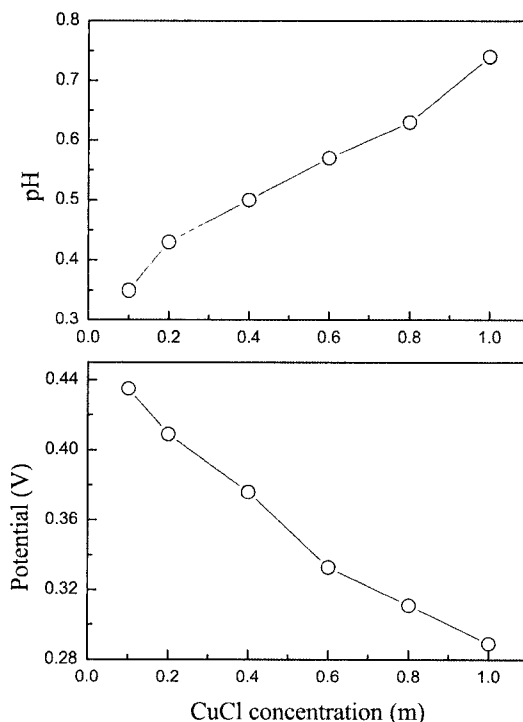


Fig. 6. Effect of CuCl concentration on the pH and potential of mixed chloride solution. ([HCl]=0.2 m, [CuCl]=0.1 m, [FeCl<sub>2</sub>]=0.1 m, [FeCl<sub>3</sub>]=0.1 m)

원성 분위기가 증가하였다. 따라서 염화 철과 염화 구리의 혼합용액에서 용액을 환원성분위기로 조절하고자 하는 경우에는 염화 제 1구리의 농도를 증가시켜야 한다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 황화광의 침출반응에 대한 전기화학적 해석시 용액의 전위를 조절하는데 이용될 수 있다.

#### 4.4. NaCl 농도의 영향

NaCl의 농도가 혼합용액의 pH와 전위에 미치는 영향을 조사하기 위해 대표조성을 지닌 혼합용액에서 NaCl의 농도를 1에서 5m까지 변화시키며 준비한 혼합용액의 pH와 전위를 Fig. 7에 나타냈다. NaCl의 농도가 증가함에 따라 용액의 이온강도가 증가하면서 수소이온의 활동도계수 증가로 인해 용액의 pH가 감소하였다. 한편 NaCl의 농도가 1에서 5m로 증가함에 따라 혼합용액의 전위는 약 70 mV로 증가하면서 산화성분위기가 되었다. 염화철과 염화구리의 농도가 일정한 조건에서 NaCl의 농도가 증가하면 염화 제 1구리이온이 염소이온과 착물을 많이 형성하므로 염화 제 1 구리이온의 농

도가 감소하면서 용액의 전위가 증가한다.

## 5. 결 론

FeCl<sub>3</sub>용액으로 구리황화광을 침출한 용액을 모사하기 위해 FeCl<sub>3</sub>-FeCl<sub>2</sub>-CuCl<sub>2</sub>-CuCl-NaCl-HCl-H<sub>2</sub>O계의 합성용액을 제조하였다. FeCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>와 CuCl의 농도가 0.1 m이고 염산의 농도가 0.2 m, NaCl의 농도가 2 m인 혼합용액을 대표조성으로 삼아 용질의 농도를 변화시키며 25°C에서 용액의 pH와 전위를 측정하였다. 전체적으로 혼합용액의 이온강도가 증가함에 따라 용액의 pH가 감소하며, 용액의 pH는 이온강도에 큰 영향을 받았다. 상기 조성계에서 FeCl<sub>3</sub>와 CuCl이 용액의 pH와 전위에 가장 큰 영향을 미쳤다. 용질중에서 CuCl의 농도를 증가시키면 염화 제 1구리이온이 형성하는 음이온의 농도 증가로 인해 수소이온의 활동도가 감소하면서 pH가 증가하였다. 혼합용액의 전위를 조절하는 경우 FeCl<sub>3</sub>의 농도를 증가시키면 용액의 전위가 상승하면서 산화분위기로, CuCl의 농도를 증가시키면 용액의 전위가 감소하면서 용액의 환원분위기를 강화시켰다.

## 참고문헌

1. Córdoba, E. M., *et al.*, 2008 : Leaching of chalcopyrite with ferric ion. Part I. General aspects, *Hydrometallurgy*, **93**, pp. 81-87.
2. Córdoba, E. M., *et al.*, 2008 : Leaching of chalcopyrite with ferric ion. Part I. Effect of redox potential, *Hydrometallurgy*, **93**, pp. 88-96.
3. Lundström, M., *et al.*, 2005 : Leaching of chalcopyrite in cupric chloride solution, *Hydrometallurgy*, **77**, pp. 89-95.
4. McDonald, G. W. and Langer, S. H., 1983 : Cupric chloride leaching of model sulfur compounds for simple copper ore concentrates, *Metallurgical Transactions B*, **14B**, pp. 559-570.
5. Antonijević, M. M. and Bogdanović, G. D., 2004 : Investigation of the leaching of chalcopyritic ore in acidic solution, *Hydrometallurgy*, **73**, pp. 245-256.
6. Carranza, F., *et al.*, 2004 : Treatment of copper concentrates containing chalcopyrite and non-ferrous sulphides by the BRISA process, *Hydrometallurgy*, **71**, pp. 413-420.
7. Palencia, I., *et al.* 2002 : Treatment of secondary copper sulphide (chalcocite and covellite) by the BRISA process, *Hydrometallurgy*, **66**, pp. 85-93.
8. Aydoğan, S., Aras, A., and Canbazoglu, M., 2005 : Dissolution kinetics of sphalerite in acidic ferric chloride leaching,

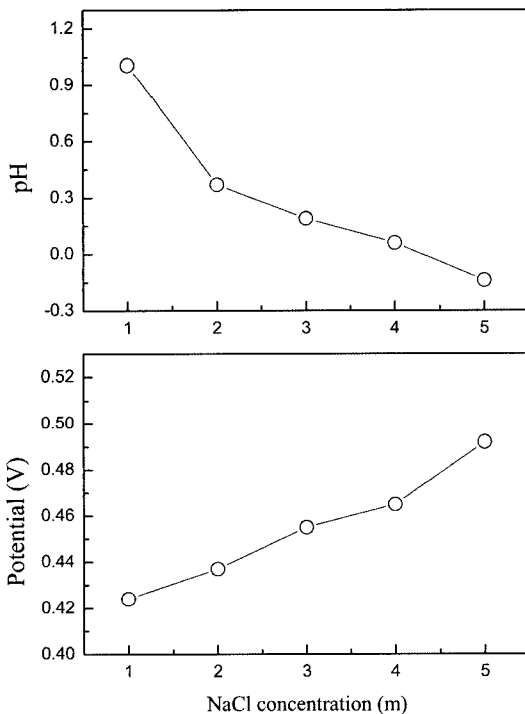


Fig. 7. Effect of NaCl concentration on the pH and potential of mixed chloride solution. ([HCl]=0.2 m, [CuCl]=0.1 m, [CuCl<sub>2</sub>]=0.1 m, [FeCl<sub>2</sub>]=0.1 m, [FeCl<sub>3</sub>]=0.1 m)

Chemical Engineering Journal, **114**, pp. 67-72.

9. Park, K. H., Mohapatra, D., and Reddy, B. R., 2006 : A study on the acidified ferric chloride leaching of a complex (Cu-Ni-Co-Fe) matte, Separation and Purification Technology, **51**, pp. 332-337.
10. Lee, M. S., 2006 : Use of the Bromley equation for the analysis of ionic equilibria in mixed ferric and ferrous chloride solutions at 25°C, Metallurgical and Materials Transactions B, **37B**, pp. 173-179.
11. Wang, M., Zhang, Y., and Muhammed, M., 1997 : Critical evaluation of thermodynamics of complex formation of metal ions in aqueous solutions III. The system Cu(I,II)-Cl<sup>-</sup>e at 298.15K, Hydrometallurgy, **45**, pp. 53-72.
12. 이만승, Nicol, M. J., 2008 : 염화 제 1구리와 제 2구리 혼합용액의 이온평형, 대한금속재료학회지, **46**(1), pp. 20-25.
13. McDonald, G. W., et al., 1984 : Equilibria associated with cupric chloride leaching of chalcopyrite concentrate, Hydrometallurgy, **13**, pp. 125-135.
14. Kimur, R. T., Haunschild, P. A., and Liddell, K. C., 1984 : A mathematical model for calculation of equilibrium solution speciations for the FeCl<sub>3</sub>-FeCl<sub>2</sub>-CuCl<sub>2</sub>-CuCl-HCl-NaCl-H<sub>2</sub>O system at 25°C, Metallurgical Transactions B, **15B**, pp. 213-219.
15. Von Bonsdorff, R., et al. 2005 : Electrochemical sensors for the HydroCopper™ process solution, Hydrometallurgy, **77**, pp. 155-161.
16. Zemaitis, J. F., Clark, Jr. D. M., Rafal, M., and Scrivner, N. C., 1986 : Handbook of aqueous electrolyte thermodynamics, pp. 99-101, A Publication of the Design Institute for Physical Property Data, NY, USA.

李 晓 承

- 현재 목포대학교 신소재공학과 교수
- 당 학회지 제 11권 1호 참조



孫 誠 皓

- 1989. 3~1991. 2 고려대학교 일반대학원 금속공학 공학석사
- 1991. 9~1996. 8 고려대학교 일반대학원 금속공학 공학박사
- 2002. 8~현재 한국생산기술연구원 인천기술지원본부 수석연구원

학회지 광고게재 안내

격월로 년간 6회 발간되는 한국자원리싸이클링 학회지에 광고를 게재하고 있습니다. 알찬 내용의 학회지가 될 수 있도록 특별회원사 및 관련기관에서는 많은 관심을 가지고 협조하여 주시기 바랍니다. 광고게재 비용은 아래와 같으며, 기타 자세한 내용 및 광고게재에 관해서는 학회로 문의하시기 바랍니다.

	칼라인쇄 (1회)	흑백인쇄 (1회)	1년 6회 게재 기준			
			칼라 인쇄		흑백 인쇄	
			일 반	특별회원사	일 반	특별회원사
앞표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 바깥쪽	60 만원	40 만원	200 만원	150 만원	150 만원	120 만원
학회지 안(내지)	30 만원	20 만원	100 만원	80 만원	80 만원	50 만원

※Film을 주시는것을 기준으로 책정된 금액입니다.