

## 黃銅 電球 Base 製造過程에서 發生한 구리와 아연 含有 黃酸廢水의 中和法에 의한 除去<sup>†</sup>

李晚承\* ·<sup>†</sup>安在禹\*\* · 李昌海\*\*\*

\*木浦大學校 工科大学 新素材工學科

\*\*大眞大學校 工科大学 新素材工學科

\*\*\*大眞大學校 工科大学 環境工學科

## Removal of Copper and Zinc Ions by Neutralization from the Spent Sulfate Solutions of Brass Bulb Base<sup>†</sup>

Man-Seung Lee\*, <sup>†</sup>Jae-Woo Ahn\*\* and Chang Hae Lee\*\*\*

\*Department of Advanced Materials Science & Eng., Mokpo National University, Chonnam 534-729, Korea

\*\*Department of Advanced Materials Science & Eng., Daejin University, Korea

\*\*\*Department of Environmental Engineering, Daejin University, Pocheon-si, Kyeonggi-do 487-711, Korea

### 요 약

황동 전구 base 제조과정에서 발생하는 황산폐수에 함유된 구리와 아연의 농도를 저감시키기 위해 중화법에 의한 최적조건을 조사하였다. 구리와 아연이 함유된 황산용액에 대해 화학반응과 물질수지를 고려하여 용액의 pH에 따른 구리와 아연의 농도분포와 용해도를 구하였다. 구리와 아연의 수산화물이 침전되는 pH영역에서 아연의 용해도가 구리의 용해도보다 크므로, 구리에 비해 아연의 제거율이 용액의 pH에 민감하였다. 응집제로  $Al_2(SO_4)_3$ 를 첨가하는 경우 아연의 제거율은 응집제의 첨가형태에 영향을 받지 않았으나, 구리의 경우에는 용액으로 첨가하는 것이 고체상태로 첨가하는 것보다 제거율이 높았다.

주제어 : 황동 base, 구리, 아연, 중화

### Abstract

Optimum condition for neutralization has been studied to remove the copper and zinc ions from spent sulfate solutions which resulted from the acid washing of the base of brass bulb. Chemical distribution of copper and zinc species and the variation of solubility of the two ions with solution pH were obtained by considering the complex formation reaction and mass balance. Removal percentage of zinc was more sensitive to solution pH than that of copper. This results from the fact that the solubility of zinc is higher than that of copper. The form of coagulant affected little the removal percentage of zinc, while addition of coagulant as the phase of solution resulted in higher removal percentage of copper than as the phase of solid.

Key Words : Brass base, Copper, Zinc, Neutralization

### 1. 서 론

산업제조공정에서 발생하는 산업폐수의 성분은 제조 공정 및 방법에 따라 좌우되기 때문에 매우 다양하다. 1차금속 제조시설에서는 산세척 및 세척공정에서 중금

속이 함유된 폐수가 발생한다. 이와 같이 발생하는 산업폐수는 산성 또는 알칼리성이고 중금속이 함유되어 있으므로 하수 처리장에 방류하기 전에 폐수의 pH를 중화시켜야 한다. 산업폐수의 pH를 조절하기 위해 사용하는 중화제를 선택함에 있어 중화제의 가격과 능력, 반응속도 및 중화생성물의 저장과 처리에 대한 면밀한 검토가 필요하다.<sup>1)</sup> 여러 중화제 중에서 가성소다는 시약

<sup>†</sup> 2007년 10월 24일 접수, 2007년 11월 24일 수리

\*E-mail: jwahn@daejin.ac.kr

의 균질성이 좋고, 저장 및 공급이 용이하면서 신속한 반응을 보이고 중화의 최종산물이 용해될 수 있다는 장점이 있다.<sup>1)</sup>

전구 base는 전기 전도도와 접촉면의 강도를 향상시키기 위해 황동으로 제조된다. 전구 base 표면을 황산 용액으로 에칭하고 세척하는 단계에서 구리와 아연이 각각 100 ppm정도 함유된 황산폐수가 발생한다. 현행 환경법규상 폐수에 함유된 구리와 아연의 최대배출 허용농도는 3 ppm이다. 수용액에 함유된 중금속을 제거하기 위한 방법의 하나로 중화법 이용시, 중금속 침전반응 및 침전물의 크기는 폐수의 pH와 응집제의 종류 및 첨가량에 의존한다. 본 연구에서는 중화법으로 황산폐수에 함유된 구리와 아연을 제거하기 위해 용액의 pH와 응집제의 종류 및 첨가방법 등을 변화시켜 최적조건을 도출하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

본 실험에서 사용한 시약은 모두 고순도 시약급으로 황산구리와 황산아연을 종류수에 용해하여 초기용액을 준비하였다. 용액의 pH를 조절하기 위해 수산화나트륨을 사용하였다.

용액의 pH를 측정하기 위해 pH미터(Orion 920A)를 사용하였다. 용액의 pH측정시 전극은 칼로멜 혼합전극을 사용하였고, pH 2, 4, 7 완충용액으로 pH미터를 보정한 다음 pH를 측정하였다. 실험은 상온에서 실시하였고, 수용액에 존재하는 구리와 아연이온의 농도는 ICP-AES(Spectroflame EOP)로 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 황산구리와 황산아연 혼합용액에서 농도분포

구리와 아연이 함유된 황산폐수를 중화법으로 처리하기 위해서는 폐수의 pH에 따른 화학종의 농도변화와 각 금속의 용해도를 조사해야 한다. 본 연구에서 고려한 구리 및 아연이온의 착물형성반응과 평형상수를 Table 1에 나타냈다.<sup>2)</sup> 도표로부터 구리, 아연 및 황의 물질수지를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[\text{Cu}]_{\text{total}} = [\text{Cu}^{2+}] + [\text{CuSO}_4^{\circ}] + [\text{CuOH}^+] + [\text{Cu}(\text{OH})_2^{\circ}] + [\text{Cu}_2(\text{OH})_2^{2+}] + [\text{Cu}(\text{OH})_{2,s}] + [\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}] \quad (1)$$

$$[\text{Zn}]_{\text{total}} = [\text{Zn}^{2+}] + [\text{ZnSO}_4^{\circ}] + [\text{ZnOH}^+] + [\text{Zn}(\text{OH})_2^{\circ}] + [\text{Zn}(\text{OH})_{2,s}] + [\text{Zn}(\text{OH})_3^-] + [\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}] \quad (2)$$

Table 1. Thermodynamic data for various chemical reactions

Chemical reaction	Log K
$\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$	14.00
$\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} = \text{HSO}_4^-$	1.98
$\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{CuSO}_4^{\circ}$	2.28
$\text{Cu}^{2+} + \text{OH}^- = \text{CuOH}^+$	6.3
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_2^{\circ}$	11.8
$\text{Cu}^{2+} + 4\text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$	16.4
$2\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Cu}_2(\text{OH})_2^{2+}$	17.7
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_{2,s}$	19.3
$\text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{ZnSO}_4^{\circ}$	2.49
$\text{Zn}^{2+} + \text{OH}^- = \text{ZnOH}^+$	5.0
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_2^{\circ}$	11.1
$\text{Zn}^{2+} + 3\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_3^-$	13.6
$\text{Zn}^{2+} + 4\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$	14.8
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_{2,s}$	15.5

$$[\text{S}]_{\text{total}} = [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HSO}_4^-] + [\text{CuSO}_4^{\circ}] + [\text{ZnSO}_4^{\circ}] \quad (3)$$

본 연구의 대상인 전구 base제조과정에서 발생하는 황산폐수에서 구리와 아연의 농도가 낮으므로, 본 연구에서는 각 화학종의 활동도계수값을 1로 가정하였다. 수용액에 침전물이 형성되는 경우 pH에 따른 화학종의 농도분포를 해석하기 위해서는 금속의 수산화물이 침전되는 pH를 기준으로 두 영역으로 나눠 생각할 필요가 있다. 이때 용액의 pH값으로부터 수소이온과 수산화이온의 농도는 알 수 있으므로, 구리와 아연의 수산화물이 형성되지 않는 pH영역에서는 14개의 화학종이 존재한다( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{CuSO}_4^{\circ}$ ,  $\text{CuOH}^+$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2^{\circ}$ ,  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2^{2+}$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{ZnSO}_4^{\circ}$ ,  $\text{ZnOH}^+$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_2^{\circ}$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_3^-$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ ). 따라서 14개 화학종의 농도를 구하기 위해 필요한 14개의 독립식을, Table 1에 나타난 11개의 화학반응식과 상기 3개의 물질수지에서 얻을 수 있다. 이때 구리의 물질수지에서 구리이온의 농도를, 아연의 물질수지에서 아연이온의 농도를, 황의 물질수지에서 황산이온의 농도를 구할 수 있다. 이와 같이 구한 구리, 아연, 황산이온의 농도를 여러 화학반응식에 대입하면 작물의 농도를 구할 수 있다.

구리와 아연의 수산화물이 침전되는 pH영역에서는 상기 14개의 화학종 이외에  $\text{Cu}(\text{OH})_{2,s}$ 와  $\text{Zn}(\text{OH})_{2,s}$ 도 존재한다. 따라서 16개 화학종의 농도를 구하기 위해 필요한 독립식을 13개의 화학반응식과 3개의 물질수지에서 얻을 수 있다. 먼저 아연 수산화물의 침전반응에

대한 자유에너지 변화를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{1}{[Zn^{2+}][OH^-]^2} = RT \ln \frac{K_{SP}}{[Zn^{2+}][OH^-]^2} \quad (4)$$

상기식에서  $K_{SP}$ 는 아연수산화물의 용해도적을 나타낸다. 따라서 식 (4)를 이용하면 아연의 수산화물이 침전되는 조건은 다음과 같다.

$$K_{SP} \leq [Zn^{2+}][OH^-]^2 \quad (5)$$

따라서 임의의 pH에서 상기 조건이 만족되는 경우 아연의 수산화물이 침전되며, 이 조건에서 아연이온의 농도는 다음 식으로 구할 수 있다.<sup>3)</sup>

$$[Zn^{2+}] = \frac{K_{SP}}{[OH^-]^2} \quad (6)$$

상기 방법으로 구한 아연이온의 농도를 아연착물의 화학반응식에 대입하여 아연의 여러 착물의 농도를 구할 수 있다. 이와 같이 구한 아연이온과 아연착물의 농도를 아연의 물질수지에 대입하면 침전된 아연 수산화물의 농도를 구할 수 있다.<sup>4)</sup>

$$[Zn(OH)_{2,s}] = [Zn]_{total} - [Zn^{2+}] - [ZnSO_4^0] - [ZnOH^+] - [Zn(OH)_2^0] - [Zn(OH)_3^-] - [Zn(OH)_4^{2-}] \quad (7)$$

구리와 아연의 농도가 각각 100 ppm인 황산용액에서 용액의 pH에 따른 구리와 아연 화학종의 농도분포를 상기방법으로 계산하여 Fig. 1과 2에 나타냈다. 구리의 경우 pH 5.5까지는 대부분의 구리가  $CuSO_4^0$ 로 존재하며, pH 7이상의 용액에서 구리의 대부분이 수산화물로 존재하는 것을 알 수 있다. 아연의 경우 pH 7이하의 용액에서 아연의 대부분은  $ZnSO_4^0$ 로 존재하며 pH 7에서 13사이의 용액에서는 대부분이 수산화물로 침전된다. 그러나 구리와 달리 pH 13 이상의 용액에서는 아연이  $Zn(OH)_4^{2-}$ 로 용해되므로, 중화법을 이용하는 경우 용액의 pH 조절이 매우 중요함을 알 수 있다.

### 3.2. 합성용액에서 중화법에 의한 구리와 아연 제거

용액의 pH 조절에 의한 구리와 아연의 제거율을 조사하기 위해 구리와 아연이 각각 100 ppm 함유된 단독 용액을 제조하여 NaOH용액으로 pH를 조절하면서 pH에 따른 구리와 아연의 농도를 측정하였다. 이 측정자료를 이용하여 다음 식으로 금속의 제거율을 구해 Fig. 3에 나타냈다.

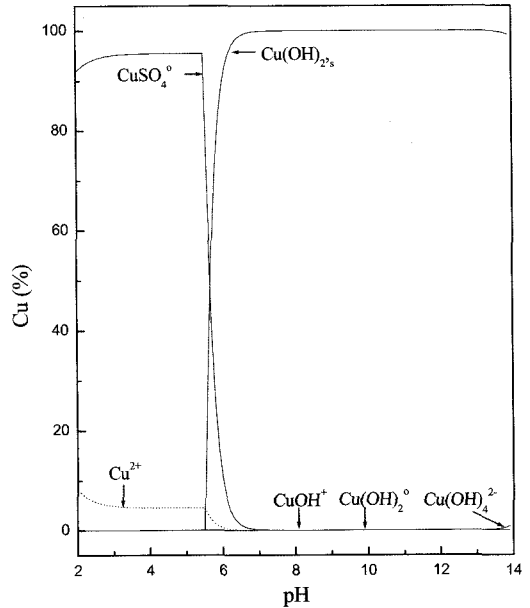


Fig. 1. Distribution of copper species with the change of solution pH.

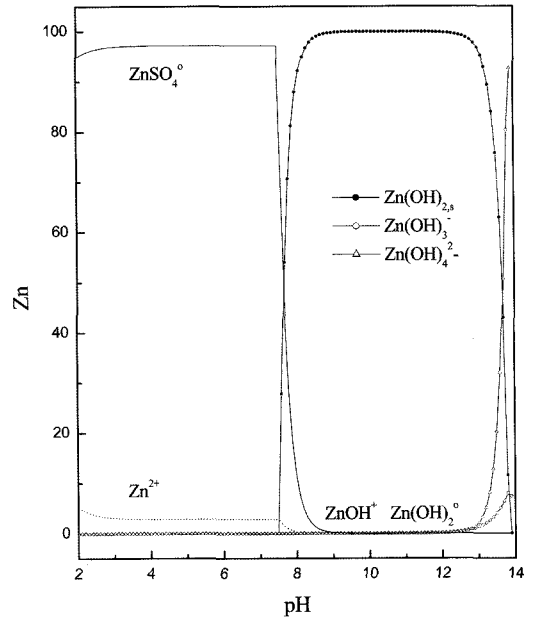


Fig. 2. Distribution of zinc species with the change of solution pH.

$$\text{Removal percentage} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100 \quad (8)$$

상기 식에서  $C_0$ 는 초기 농도를,  $C$ 는 각 pH에서 중화처리 후 금속농도를 각각 나타낸다.

구리의 경우 pH 7.2에서 13사이의 범위에서 99%이상이 제거되는 반면, 아연의 경우에는 제거율이 pH에 매우 민감하였다. 즉, pH 8.2부근에서 제거율이 99%까지 급격히 증가하여 pH 10.5까지 일정한 값을 유지하다가 이상의 pH에서는 제거율이 급격히 감소하였다. 따라서 구리와 달리 아연을 중화법으로 제거하기 위해서는 용액의 pH를 미세하게 조절해야 하는 것을 알 수 있으며, 이는 3.1 절의 열역학적 계산 결과와도 잘 일치하였다.

실제 황산폐수를 모사하기 위해 각각 100 ppm의 구

리와 아연이 혼합된 합성용액을 제조하여 pH에 따른 구리와 아연의 제거율을 조사하여 Fig. 4에 나타냈다. 구리의 경우에는 단독용액과 마찬가지로 pH 7에서 12사이의 범위에서 99% 이상의 제거율을, 아연의 경우에는 pH 9에서 11사이의 범위에서는 99%의 제거율을 얻었다. 그러나 pH가 11이상이면 아연의 제거율이 감소하므로 혼합용액에서 구리와 아연을 중화법으로 99% 이상 제거하기 위해서는 용액의 pH를 9에서 11사이로 조절해야 한다.

구리와 아연 모두 용액의 pH가 높은 조건에서는

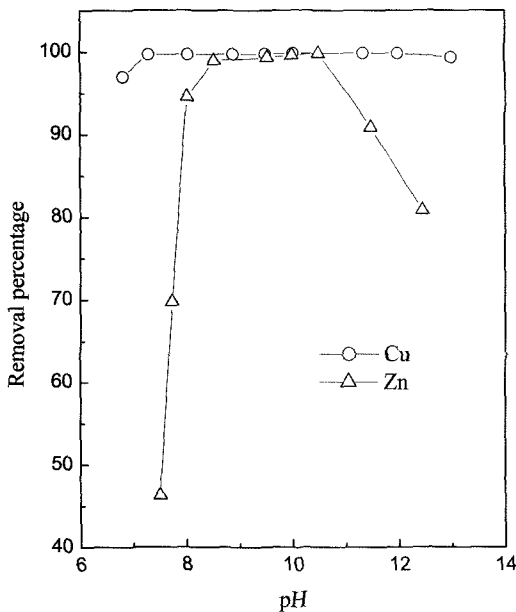


Fig. 3. Variation of removal percentage of metal ion with solution pH in individual sulphate solutions.

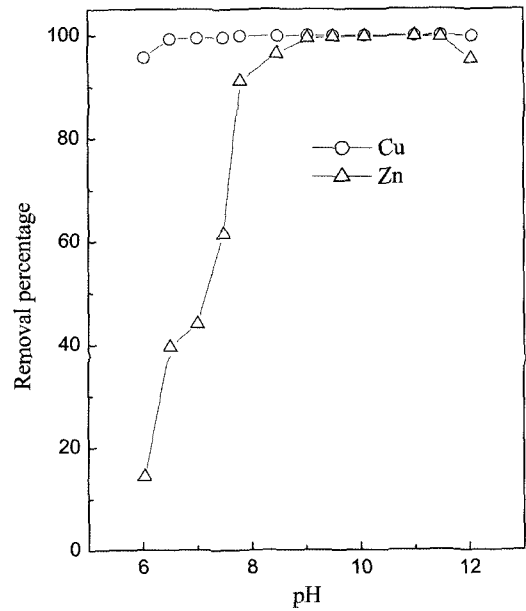
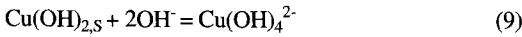


Fig. 4. Variation of removal percentage of metal ion with solution pH in the mixed sulphate solutions.

Table 2. Expression of solubility data for copper and zinc hydroxides

Chemical reaction	
$Cu(OH)_2, s = Cu^{2+} + 2OH^-$	$-\log[Cu^{2+}] \approx 2pH - 8.7$
$Cu(OH)_2, s = CuOH^+ + 2OH^-$	$-\log[CuOH^+] = pH - 1$
$Cu(OH)_2, s = Cu(OH)_2^0$	$-\log[Cu(OH)_2^0] = 7.5$
$2Cu(OH)_2, s = Cu_2(OH)_2^{2+} + 2OH^-$	$-\log[Cu_2(OH)_2^{2+}] = 2pH - 7.1$
$Cu(OH)_2, s + 2OH^- = Cu(OH)_4^{2-}$	$-\log[Cu(OH)_4^{2-}] = -2pH + 30.9$
$Zn(OH)_2, s = Zn^{2+} + 2OH^-$	$-\log[Zn^{2+}] \approx 2pH - 12.5$
$Zn(OH)_2, s = ZnOH^+ + 2OH^-$	$-\log[CuOH^+] = pH - 3.5$
$Zn(OH)_2, s = Zn(OH)_2^0$	$-\log[Cu(OH)_2^0] = 4.4$
$Zn(OH)_2, s + OH^- = Zn(OH)_3^-$	$-\log[Cu_2(OH)_2^{2+}] = -pH + 15.9$
$Zn(OH)_2, s + 2OH^- = Zn(OH)_4^{2-}$	$-\log[Cu(OH)_4^{2-}] = -2pH + 28.7$

$\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ 와 같은 음이온이 생성되면서 이미 침전되었던 수산화물이 음이온으로 용해될 수 있다. 그러나 본 실험결과와 같이 pH 11이상의 범위에서 구리와 아연의 제거율의 변화를 이해하기 위해 용액의 pH에 따른 구리와 아연의 용해도를 구했다. Table 1에 나타낸 자료를 이용하여 pH에 따른 화학종의 농도를 구하기 위해 다음과 같이 식을 변환시켜 이를 Table 2에 나타냈다.<sup>5)</sup>



임의의 pH에서 구리와 아연의 전체 용해도는 다음식으로 구했다.

$$[\text{Cu}]_{\text{total}} = [\text{Cu}^{2+}] + [\text{CuOH}^+] + [\text{Cu}(\text{OH})_2^0] + [\text{Cu}_2(\text{OH})_2^{2+}] + [\text{Cu}(\text{OH})_4^{2-}] \quad (10)$$

$$[\text{Zn}]_{\text{total}} = [\text{Zn}^{2+}] + [\text{ZnOH}^+] + [\text{Zn}(\text{OH})_2^0] + [\text{Zn}(\text{OH})_3^-] + [\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}] \quad (11)$$

용액의 pH에 따른 구리와 아연의 용해도를 상기 방법으로 구해 각각 Fig. 5와 Fig. 6에 나타냈다. 구리의 경우 pH 8에서 12사이의 범위에서 구리의 용해도는  $3 \times 10^{-8}$  M로 최소이며, 구리이온을 극히 적은 양까지 제

거하는 것이 가능한 것을 알 수 있다. 아연의 경우에는 약 pH 8.5에서 11.5 사이의 범위에서 용해도가  $3.1 \times 10^{-5}$  M로 최소값을 나타냈다. 아연과 구리의 용해도가 최소가 되는 용액의 pH범위는 비슷하나, 아연의 용해도가 구리의 용해도보다 높았다. 따라서 황산용액에 함유된 구리와 아연을 중화법으로 제거하기 위해서는 아연을 완전히 제거할 수 있는 pH조건을 선정하는 것이 중요한 것을 용해도 곡선자료로부터 알 수 있다.

### 3.3. 응집제 첨가효과

중금속이 함유된 수용액에서 중화에 의해 형성된 침전물의 크기가 1 mm 이상이면 여과에 의해 쉽게 분리된다. 그러나 콜로이드성 입자는 수중에서 안정한 상태로 분산되므로 단순한 여과로 분리하기 어렵다. 따라서 이와 같은 콜로이드성 입자를 쉽게 제거하기 위해 입자의 크기를 증대시키는 응집처리가 필요하다. 본 연구에서는 응집제로  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (Alum),  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 를 사용하여 폐수의 pH와 주입농도를 변화시키며 응집실험을 하였다. 먼저 상기 응집제를 폐수에 첨가하면 응집제의 가수분해반응에 의해 폐수의 pH가 감소한다.

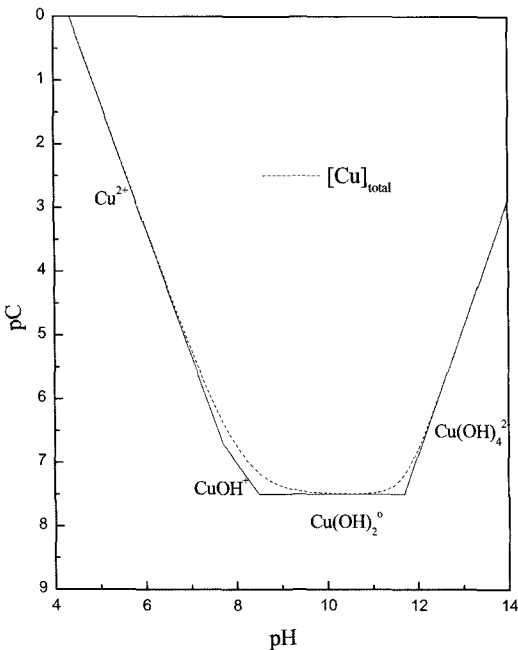
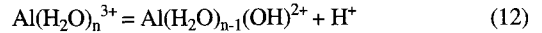


Fig. 5. Variation of the solubility of copper with the change of solution pH at 25°C.

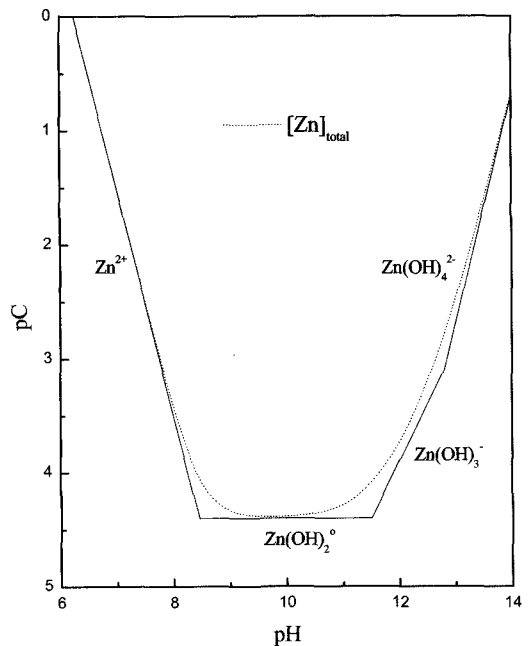


Fig. 6. Variation of the solubility of zinc with the change of solution pH at 25°C.

즉, 응집제를 첨가하면 상기 반응에 의해 용액의 pH가 감소되면서 침전된 중금속의 수산화물이 재용해될 가능성이 있다. 또한 응집제의 특성을 변화시켜 응집-응결조건이 변하면서 금속수산화물의 생성특성이 영향을 받는다.<sup>6,7)</sup> 따라서 응집제의 종류 및 주입농도에 따른 폐수의 pH 변화에 대한 자료가 필요하다. 이러한 목적을 위해 구리와 아연이 각각 100 ppm 함유된 황산 용액의 pH를 9, 9.5, 10, 10.5로 조절한 다음 응집제의 종류와 주입농도를 변화시키며 용액의 pH를 연속적으로 측정하였다. 응집제로  $Al_2(SO_4)_3$ 를 사용한 경우의 결과를 Fig. 7에,  $FeCl_3$ 의 결과를 Fig. 8에,  $Fe_2(SO_4)_3$ 의 결과를 Fig. 9에 각각 나타냈다. 본 연구에서 조사한 합성용액의 pH범위에서 응집용액의 첨가량이 증가할수록 용액의 pH가 감소하는 것을 알 수 있다. 특히  $FeCl_3$  응집용액을 사용한 경우에는 본 실험조건에서는 용액의 pH가 8이하로 감소하였다. 용액의 pH가 9.5이하인 합성용액 1L에  $Fe_2(SO_4)_3$ 의 농도가 1 g/L인 응집용액을 50 mL 첨가하면 황산용액의 pH가 8.0이하로 감소하면서 침전되었던 구리와 아연의 수산화물이 재용해될 수 있다. 이에 반해  $Al_2(SO_4)_3$ 의 경우에는 응집용액 첨가에 따른 합성용액의 pH 감소폭이 작았다.

실제 전구 base 제조과정에서 발생한 황산폐수를 대

상으로  $Al_2(SO_4)_3$  첨가량 및 첨가방법에 따른 구리와 아연의 제거율의 변화를 조사하였다. 황산폐수에는 구

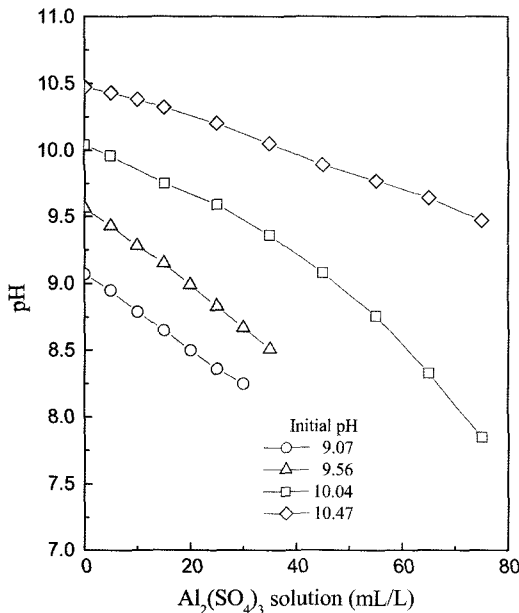


Fig. 7. Variation of solution pH with the added volume of  $Al_2(SO_4)_3$  solution. ( $[Al_2(SO_4)_3] = 1 \text{ g/L}$ ,  $pH = 3.73$ )

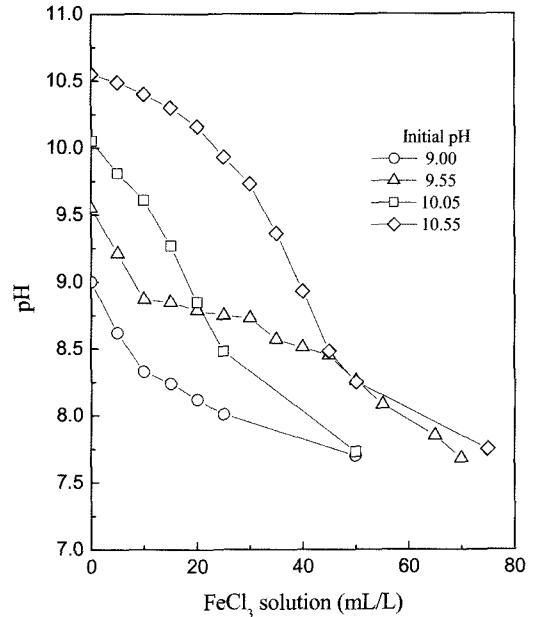


Fig. 8. Variation of solution pH with the added volume of  $FeCl_3$  solution. ( $[FeCl_3] = 1 \text{ g/L}$ )

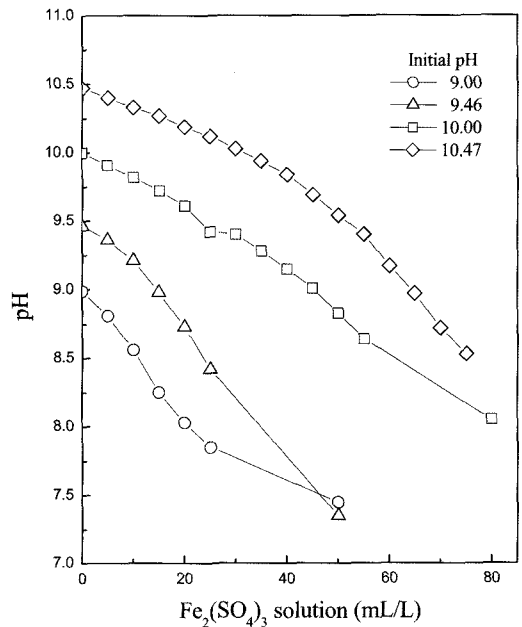


Fig. 9. Variation of solution pH with the added volume of  $Fe_2(SO_4)_3$  solution. ( $[Fe_2(SO_4)_3] = 1 \text{ g/L}$ ,  $pH = 2.53$ )

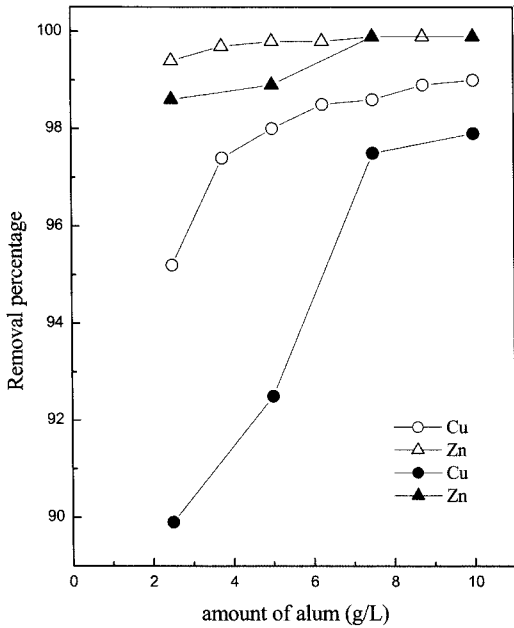


Fig. 10. Variation of removal percentage of Cu and Zn with the amount of alum. (open : Alum solution, closed: solid alum)

리가 88 ppm, 아연이 64 ppm 함유되어 있었다. 이러한 조성의 황산폐수의 pH를 9.0에서 9.5사이로 조절하면서  $Al_2(SO_4)_3$  첨가량을 변화시키며 침전실험을 수행하였다. 이때 공업용 Alum을 고체상태로 첨가하는 방법과 용액으로 첨가하는 경우의 응집효과를 비교하기 위해 Alum의 농도가 25 g/L인 용액을 제조하여 응집효과를 비교하였으며, 그 결과를 Fig. 10에 나타냈다. 폐수 1 L에 25 g/L의 Alum용액을 400 mL 첨가하면 구리는 99%, 아연은 99.3%가 제거되었다. 이에 반해 폐수 1 L에 alum을 고체상태로 10 g 첨가하면 구리와 아연의 제거율은 각각 97.9, 99.9%이었다. 아연의 경우에는 Alum의 첨가방법이 제거율에 영향을 미치지 않았으나, 구리의 제거율은 Alum의 첨가방법에 영향을 받는 것을 Fig. 10에서 알 수 있다.

安 在 禹

- 1991년 고려대학교 금속공학과 박사
- 현재 대전대학교 신소재공학과 교수
- 당 학회지 제 11권 6호 참조

4. 결 론

황동 전구 base 제조과정에서 발생하는 황산폐수에 함유된 구리와 아연의 농도를 3 ppm 이하로 감소시키기 위해 가성소다를 중화제로 사용하는 공정에 대해 조사하였다. 구리와 아연이 함유된 황산용액의 pH에 따른 구리와 아연 화학종의 농도분포를 해석하고 용해도변화에 대한 자료로부터 아연과 구리이온을 제거하기 최적의 pH범위(8-12)를 구했다. pH 8에서 12사이의 범위에서 구리의 용해도는  $3 \times 10^{-8}$  M로 최소이며, 동일 범위에서 아연의 용해도는  $3.1 \times 10^{-5}$  M이었다. 구리에 비해 아연의 제거율이 용액의 pH에 민감하였다. 응집제로  $Al_2(SO_4)_3$ 를 용액으로 첨가하는 것이 고체상태로 첨가하는 것에 비해 구리 제거 측면에서 유리하였다.

참고문헌

1. 기문봉, 김낙주, 이시진, 1998: 산업폐수처리, 동화기술, pp. 99.
2. Stumm, W. and Morgan, J.J. 1996: Aquatic chemistry, A Wiley-Interscience publication, pp.326.
3. 양운진, 2000: 수질화학, 신평문화사, pp. 205-218.
4. Ji, J. and Cooper, W.C. 1996: Nickel speciation in aqueous chloride solutions, *Electrochimica Acta*, **41**(9), pp. 1549-1560.
5. Stumm, W. and Morgan, J.J. 1996: Aquatic chemistry, A Wiley-Interscience publication, pp.272-275.
6. 성동모, 윤태일, 1997: PDA를 이용한 응집공정에서의 pH 영향의 on-line monitoring, *대한환경공학회지*, **19**(11), pp. 1443-1454.
7. 문성용 외, 2005: 정수처리용 응집·한외여과 혼성공정에서 응집 효과에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **27**(8), pp. 837-843.

李 晚 承

- 현재 목포대학교 신소재공학과 교수
- 당 학회지 제11권 1호 참조

李 昌 海

- 1983 한양대학교 공과대학 토목공학과 공학사
- 1990 한양대학교 공과대학 토목공학과 공학석사
- 1996 한양대학교 공과대학 토목공학과 공학박사
- 현재 대전대학교 공과대학 환경공학과 부교수