

電子스크랩에서 구리 및 주석의 회수를 위한 窒酸 浸出 및 浸出液에서 遊離窒酸 除去 研究[†]

*安在禹·徐在成

大眞大學校 新素材工學科

Nitric acid leaching of electronic scraps and the removal of free nitric acid from the leaching solution for the recovery of copper and tin.[†]

*Jae-Woo Ahn and Jae-Seong Seo

Dept. of Advanced Materials Sci. & Eng., Daejin University

요 약

전자스크랩중에 함유된 구리 및 주석을 습식공정으로 회수하기 위하여 기초 연구를 실시하였다. 침출제로 질산을 이용하여 분쇄된 전자스크랩에서 구리, 주석, 납, 철 등의 금속 성분들에 대한 침출율을 조사하고 최적 침출조건을 제시 하였다. 이러한 질산 침출 용액으로부터 TBP를 이용하여 유리질산을 분리·추출하여 재활용하기 위한 기초 연구를 실시하였다. 실험 결과 3.0-4.0 M 질산으로 구리를 효과적으로 침출시킬 수 있었으며, 질산 침출액 중 유리질산을 60% TBP에 의해 95%정도 추출이 가능하였고, 유기상에 추출된 질산의 98%를 증류수에 의해 탈거하여 질산침출액으로 재사용이 가능하였다.

주제어 : 전자스크랩, 질산침출, 용매추출, 회수, 구리, 주석

Abstract

Fundamental study has been made on the recovery of copper from the electronic scrap by hydrometallurgical process. Nitric acid was used as a leaching agent to dissolve the metals such as Cu, Sn, Pb, Fe etc. from the crushed electronic scraps. TBP was employed to extract nitric acid from the strong nitric acid leaching solutions and to reclaim nitric acid. From the experimental results, Cu was effectively leached by 3.0-4.0 M nitric acid. And 95% of nitric acid in the leaching solution was extracted by 60% TBP, and 98% of nitric acid was stripped from the loaded organic phase by distilled water and it was possible to reuse as a leaching agent.

Key words : Electronic scrap, nitric acid leaching, solvent extraction, recovery, Copper, tin.

1. 서 론

최근 전자산업의 비약적인 발전과 전자제품의 Life cycle이 짧아짐에 따라 폐전기·전자기기 등과 같은 폐기물의 발생량이 급증하고 있으나 이에 따른 적절한 처리 기술의 미비로 인하여 환경문제가 심각하게 대두되

고 있다. 한편 이들 폐기물에는 고가의 귀금속 외에 구리, 주석, 아연, 납 등의 유가금속이 함유되어 있어 매력적인 2차 자원이며, 특히 부존자원이 부족하여 대부분의 금속 관련 산업원료를 전량 수입에 의존하는 우리나라로서는 폐기물로부터 유가금속의 회수가 시급한 실정이다. 특히 21세기 자원무기화 경향에 대비하여 전자스크랩 및 IC칩 등과 같이 발생량이 많은 폐기물로부터 귀금속 및 고가금속의 회수는 자원의 안정적 확보 차원에서 대단히 중요하다고 할 수 있다. 전자스크랩 으

[†] 2009년 9월 3일 접수, 2009년 9월 29일 1차수정

2009년 10월 5일 수리

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

로부터 유기금속 회수 기술은 대부분 건식공정에 의해 일부 제련소에서 처리되고 있고, 부분적으로 습식공정을 개발하여 소규모로 처리하려는 시도¹⁻⁸⁾가 있으나 금 등의 귀금속을 제외하고는 아직까지 기술이 미진한 상태라고 할 수 있다. 따라서 습식공정에 의해 구리 및 주석 등의 일반 금속을 회수할 수 있는 공정을 개발하고자 기초 연구를 실시하였다.

습식공정에 의해 전자스크랩 으로부터 구리, 주석 등의 유기금속을 회수하기 위한 첫 단계는 분쇄 등의 전처리 공정을 거친 후 적당한 용매를 이용하여 유기 금속을 용해시키는 침출 공정이다. 전자스크랩에서 구리 등을 침출시키기 위해서는 주로 질산,⁹⁾ 염산¹⁰⁾ 등을 이용한 무기산 침출법이 일반적인 방법이며 환경친화적인 미생물 침출법¹¹⁻¹²⁾에 대해서도 일부 기초 연구결과가 소개되어 있다. 본 연구에서는 비교적 유기금속의 침출율이 높고 또한 침출제의 재활용면에서 유리한 질산을 이용하여 전자스크랩에서 유기금속의 침출율을 고찰하여 최적 침출조건을 조사하고자 하였다. 한편, 질산으로 침출한 용액에서 구리 등을 회수하기 위해서는 용매추출법, 이온교환수지법, 치환법, 침전법 등을 적용할 수 있다. 그러나 이러한 공정을 적용하기에는 질산 침출액의 질산농도가 높기 때문에 과잉의 유리질산을 사전에 제거하여야 한다. 이 경우 대부분은 알칼리로 중화·침전시켜 제거하고 있으나 처리비용이 고가이고 또한 침전물을 재처리해야 하는 등 또다른 환경오염 문제를 유발할 수 있다. 따라서 환경문제를 유발시키지 않고 효과적으로 유리질산을 분리 회수하여 재사용하는 방안이 필요하다. 이에 대한 처리방안으로 황산치환법에 의하여 질산을 회수하고 나머지 유기금속을 회수하는 방법¹³⁾과 침출액을 130°C 이상의 고온으로 가열·증발시켜 질산을 회수하고 남은 액 중의 금속을 회수하는 방법이 있다. 또한 이온교환수지를 이용하여 재생하는 방법¹⁴⁾과 Alamine계 유기용매를 이용하여 회수하는 방법¹⁵⁾ 등이 소개되고 있으며, 최근에는 확산투석 및 전기투석법에 의해 질산을 회수하려는 연구도 시도되고 있다. 그러나 이들 방법들은 나름대로의 장점과 단점을 지니고 있기 때문에 침출액의 성분과 농도 그리고 처리량 등을 고려하여 효과적인 처리법을 선택해야 한다. 최근 용매추출법이 지니고 있는 많은 장점 때문에 산 분리 영역에도

용매추출 기술이 많이 응용되고 있다.¹⁶⁾ 따라서 본 연구에서는 질산침출액에서 과잉의 유리질산의 제거 및 재활용을 위해 용매추출법을 적용하고자 기초 연구를 실시하였다. 추출제로 TBP(Tri-n-Butyl-Phosphate)를 사용하여 질산침출액중의 유리질산을 선택적으로 추출·분리할 수 있는 최적 조건을 도출하여 효과적으로 질산을 재활용할 수 있는 방안에 대하여 고찰하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료

전자스크랩에서 구리를 회수하기 위해 사용한 시료로는 국내의 재활용업체에서 전처리하여 분쇄한 후 4.5 mm 크기로 선별한 시료를 사용하였다. 시료의 금속성분의 분석치는 Table 1과 같으며 구리 함유량이 22,572 mg/kg 으로 가장 많았고, 상대적으로 철의 함유량이 다소 낮았다.

2.2. 질산을 이용한 전자스크랩중 유기금속의 침출을 조사

침출제로 질산을 이용하여 구리, 주석, 아연, 철, 납, 니켈, 알루미늄 등의 유기금속의 침출거동을 조사하기 위해 온도조절이 가능한 1.0 L 회분식 반응기를 사용하여 침출실험을 실시 하였다. 실험에 사용된 전자스크랩은 고액농도(pulp density)가 100 g/L이었고, 질산농도를 1.0 M, 2.0 M, 3.0 M, 4.0 M 로 농도를 변화시켰으며, 반응온도는 50°C로 유지하여 실험을 실시하였다. 반응시작 후 일정시간마다 시료를 채취한 후 용액중의 유기금속의 농도를 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer : PerkinElmer, Optima-4300 DV)를 사용하여 분석한 후 각 금속의 침출율을 구하였다.

2.3. TBP 에 의한 질산 분리

질산침출액에서 질산을 추출·분리하기 위하여 추출제로 TBP를 등유에 희석하여 사용하였다. 분액여두에 일정량의 수용액과 유기상을 넣고 25°C에서 30분간 교반한 후 분액깔때기에서 약 30분간 정치하여 수상과 유기상을 분리하였다. 수상에 존재하는 질산의 농도는 0.1N NaOH 표준용액으로 적정하여 분석하였고, 유기

Table 1. Concentration of elements in samples (Unit : mg/kg)

Element	Cu	Fe	Sn	Pb	Zn	Al	Ni
Conc.	22,572	36	1,208	1,644	2,625	5,271	238

상으로 추출된 질산의 농도는 물질수지를 이용하여 구하였다. 또한 수상에 존재하는 구리, 철, 주석, 납 등의 농도는 ICP-AES로 분석하였다. 한편 유기상으로 추출된 질산의 탈거실험은 증류수를 탈거용액으로 사용하여 추출실험과 같은 방법으로 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 질산을 이용한 구리 침출

전자스크랩으로부터 구리 등을 회수하기 위한 첫 단계는 분쇄 및 선별 등의 전처리 공정을 거친 시료를 적절한 침출제를 이용하여 용해시키는 단계이다. 이때 사용할 수 있는 침출제로는 황산, 염산, 질산 등이 있는데 본 연구에서는 비교적 유기금속의 침출율이 높고, 침출제인 산을 비교적 쉽게 재활용할 수 있는 질산을 이용하였다.

질산을 침출제로 사용하여 유기금속(Cu, Fe, Sn, Pb, Zn, Al, Ni)의 침출율을 조사 하기 위해 전자스크랩의 고액농도를 100 g/L, 반응온도를 50°C로 유지하면서 질산농도를 변화시키면서 침출실험을 실시하였다. 이에 대한 실험결과를 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1은 각 질산농도에 따라 구리의 침출율을 고찰한 결과로, 그림으로부터 알 수 있듯이 구리의 경우 질산농도가 증가함에 따라 침출율이 증가하며 질산 농도가 1.0 M에서는 12% 정도의 낮은 침출율을 나타내고 2.0 M에서는 32%, 3.0 M 이상에서는 85% 이상의 높은 침출율을 나타내었다. 또한 침출반응이 질산농도가 1.0-2.0 M인 경우 시간이 지남에 따라 침출반응이 서서히 진행되는 경향을 보이고 있으나, 질산농도가 3.0 M 이상에서

는 반응초기(20분)에 반응이 대부분 일어난다는 것을 알 수 있다. 따라서 질산을 이용하여 구리를 침출시킬 경우 질산농도는 3.0 M 이상이 적당하고, 반응시간은 약 40분 정도가 적절하다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 2는 질산농도 변화에 따른 구리 뿐만 아니라 납, 아연, 니켈, 주석, 철, 알루미늄의 침출율을 비교한 그림이다. 그림으로부터 모든 금속이 질산농도 증가에 따라 침출율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 납과 니켈 그리고 아연의 경우는 질산 3.0 M에서 90%이상의 비교적 높은 침출율을 나타내었다. 철의 경우 질산농도가 증가함에 따라 침출율이 서서히 증가하여 2.0 M까지는 35% 전후의 침출율을 보이고 3.0 M에서 60%, 4.0 M에서 70%정도의 침출율을 보이고 있다. 주석과 알루미늄의 경우는 전 질산농도 범위에서 10%이하의 낮은 침출율을 보이고 있는데 이것은 강산화성인 질산용액 중에서 산화물로 침전되기 때문이라 생각된다. 특히 주석의 경우 저질산농도에서는 일부분만 용해되고 질산농도가 증가함에 따라 주석침전물(metastannic acid : H₂SnO₃)이 형성되기 때문에 고농도 질산용액에서도 주석의 침출을 막을 수 있다. 이에 대한 주요 금속 성분들의 침출반응식은 다음과 같다.

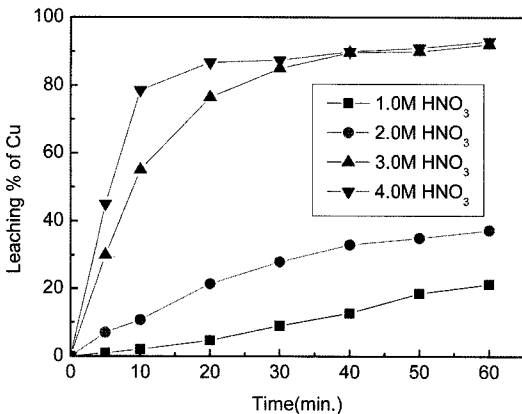
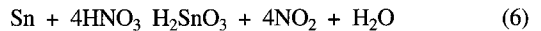
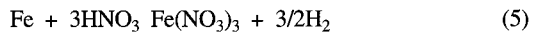
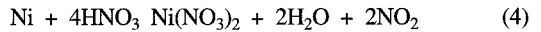
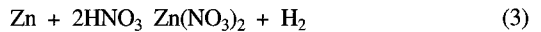
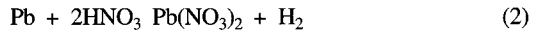
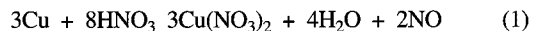


Fig. 1. Leaching % of Copper at various HNO₃ concentration with time. (pulp density : 100 g/L, 50°C)

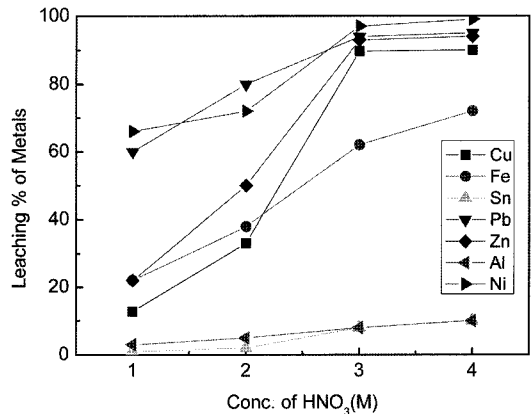
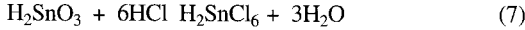


Fig. 2. Leaching % of metals with HNO₃. (pulp density : 100 g/L, 40min., 50°C)

한편, 주석 침전물(metastannic acid)의 경우는 다음 반응과 같이 약 1.5M 염산을 첨가하면 주석이 쉽게 용해되기 때문에 후속공정에서 주석의 회수가 가능하다.



이상의 결과로부터 질산을 이용하여 전자스크랩으로부터 유가금속을 침출시에는 질산 3.0~4.0 M 으로 구리와 납, 아연, 니켈 그리고 철을 선택적으로 침출시키고 침출잔사에 주석을 침전시킨 후 염산을 이용한 2단 침출을 통해 주석을 침출시킨 후 침출액에서 회수하는 방법이 바람직할 것으로 생각된다.

Fig. 3에는 질산 3.0 M, 50°C에서 고액농도 변화에 따른 구리의 침출을 변화 추이를 나타낸 그림이다. 그림으로부터 고액농도가 50 g/L 인 경우 85%의 가장 높은 침출율을 보이고 고액농도가 증가함에 따라 구리의 침출율이 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 고액농도 50 g/L 와 100 g/L에서 구리의 침출을 차이가 별로 없기 때문에 100 g/L 인 경우가 보다 효율적이라고 생각한다.

Fig. 4의 경우는 질산 3.0 M, 고액농도 100 g/L인 경우 온도변화에 따라 구리의 침출을 변화를 나타낸 그림이다. 그림으로부터 온도가 증가함에 따라 구리의 침

출율이 증가하고 있고 상온에서 50°C 까지는 침출율이 급격히 증가하는 현상을 보이나 50°C이상에서는 침출을 증가가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 따라서 침출 온도는 50°C로 유지하는 것이 바람직하다고 생각한다.

한편, 질산농도가 3.0 M 인 경우 전자스크랩의 침출실험 결과 침출액의 농도를 Table 2에 나타내었다. 구리의 경우 농도가 18.6 g/L로 가장 높았고, 아연이 2.38 g/L, 납이 1.58 g/L로 이었으며 주석의 경우는 침출액 중에 0.1 g/L으로 낮아 선택적 침출이 가능 하였다. 한편, 이 경우 철의 농도가 낮은 이유는 원시료중에 철의 농도가 낮았기 때문이다.

3.2. 질산침출액에서 TBP 에 의한 질산 분리

전자스크랩에서 구리 등을 질산으로 침출시킨 후 침출액에서 용매추출 등의 단위공정을 이용하여 구리를 회수하기 위해서는 침출액에 존재하는 과잉의 질산을 제거할 필요가 있다. 실제로 침출액의 질산 농도가 3.0 M 이상인 경우 침출액의 pH가 낮아(pH 0 이하) 구리를 추출하기가 어렵다. 일반적으로 구리 추출제로 많이 사용되고 있는 LIX84를 이용하여 구리를 추출시에 침출액의 pH가 2.5-3.0 부근이 바람직 하다. 이러한 경우에 일반적으로 침출액을 가성소다 등을 이용하여 중화한

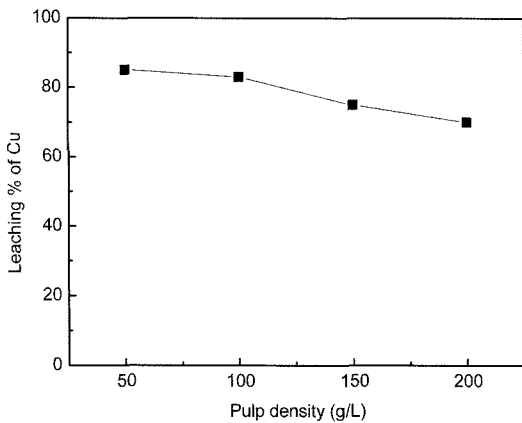


Fig. 3. Leaching % of Copper at various pulp density. (3.0 M HNO₃, 50°C, 40 min.)

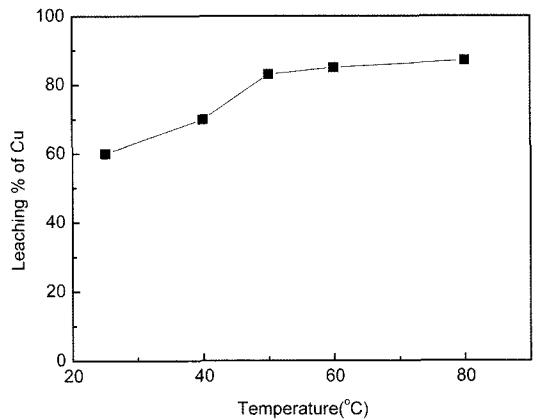


Fig. 4. Leaching % of Copper at various temperature. (3.0 M HNO₃, pulp density : 100 g/L, 40 min.)

Table 2. Composition of leaching solution.(3.0 M HNO₃, 50°C)

	Cu	Fe	Sn	Pb	Zn	Al	Ni
Initial Conc. (ppm)	22,572	36	1,208	1,644	2,625	5,271	238
Leaching solution (ppm)	18,580	26	116	1,585	2,380	1,125	234
Leaching percentage(%)	82.3	72.2	9.6	96.4	90.7	21.3	98.2

후 침전시켜 제거하고 있으나 처리비용이 많이 들고 또 한 침전된 슬러지를 처리하는 과정에서 2차 환경오염의 문제가 있다. 따라서 가급적이면 과잉의 유리질산을 제거하여 재활용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 비교적 공정이 간단하고 질산의 재활용도를 높힐 수 있는 방안의 일환으로 용매추출법을 적용하고자 하였다. 실제로 용매추출공정을 이용하여 폐산에서 질산 및 불산 등을 재활용하는 공정이 소개되어 있으며, 산 회수에 사용되고 있는 추출제로는 TBP, Alamine336 그리고 Cyanex923 등이 있다.

본 연구에서는 비교적 가격이 저렴하고 쉽게 사용할 수 있는 TBP를 사용하여 질산추출 및 회수 공정에 대한 연구를 실시하였다. TBP에 의하여 질산을 추출할 경우 일반적인 추출반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



Fig. 5는 질산침출액으로부터 유리질산의 분리·추출 가능성을 고찰하기 위하여 TBP농도를 유기상의 70%까지 변화시켜 가면서 질산 및 각 금속이온들의 추출거동을 조사하여 나타낸 결과이다. 침출액의 질산농도가 4.0 M인 경우 그림으로부터 TBP농도가 증가함에 따라 질산의 추출률은 증가현상을 보이고 있고, 70% TBP에서 약 35%정도의 추출률을 보이고 있다. 그러나 이 경우 침출액에 같이 존재하는 구리 등의 금속이온들은 유기상으로 거의 추출되지 않아 질산성분만의 분리·추출이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 질산농도 변화에 따라 침출액 중에 존재하는 구리, 철, 납, 주석, 아연 등 금속이온들의 추출거동

을 조사한 결과이다. 그림으로부터 질산농도가 0.5 M 이상으로 증가할 경우 철을 제외한 구리, 주석, 납, 아연의 경우는 유기상으로 거의 추출되지 않는 경향을 보이고 있다. 그러나 질산농도가 0.05 M 이하로 감소함에 따라 납 과 주석의 추출률이 조금씩 증가하고 질산농도가 0.01 M 에서는 20%정도 유기상으로 추출되는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 유리질산이 금속이온보다 경쟁적으로 추출제인 TBP에 추출되기 때문이며, 질산성분이 어느정도 추출이 되고 난 후에 금속성분들이 추출되기 때문이라고 생각되는데, 이러한 현상은 질산 용액에서 크롬, 철, 니켈, 우라늄 추출시 에도 보고되어 있다. 따라서 이 결과로부터 질산침출액에서 질산을 효과적으로 회수하기 위해서는 질산침출액중 질산농도가 0.1 M 정도로 낮아질 때까지 질산성분을 추출하는 것이 순수한 질산성분을 회수하는데 적당하다고 할 수 있다.

Fig. 7은 연속적으로 질산을 추출할 경우 이론적으로 추출단수를 결정하기 위한 McCabe-Thiele Diagram을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 초기 질산침출액 중 질산농도가 250 g/L (4.0M)인 경우 60% TBP에 의해 A/O비가 1/3에서 5단추출로, A/O비가 1/2인 경우 9단추출로 95% 이상의 질산의 추출이 가능하다는 것을 알 수 있다. 이 경우 침출액중의 질산농도가 0.2M 정도이기 때문에 침출액에 존재하는 구리 와 납 등의 금속이온들은 거의 추출되지 않았다.

질산침출액에서 질산을 추출한 유기상에 함유된 질산을 재활용하기 위해서는 다시 순수한 용액으로 질산을 탈거를 해야 한다. TBP의 경우는 보통 탈거액으로 순수를 사용한다. Fig. 8은 질산이 추출된 유기상으로부터

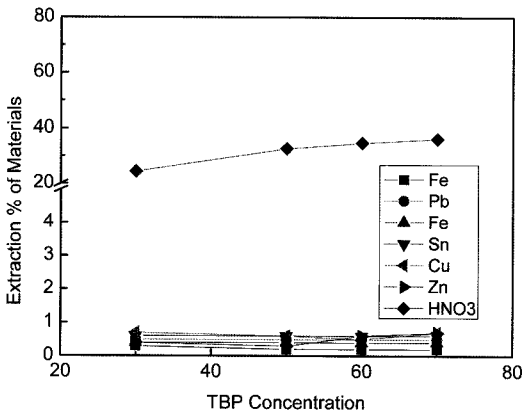


Fig. 5. Effect of HNO₃ on the extraction of metal ions and HNO₃. (O/A=1, 25°C, 50%TBP)

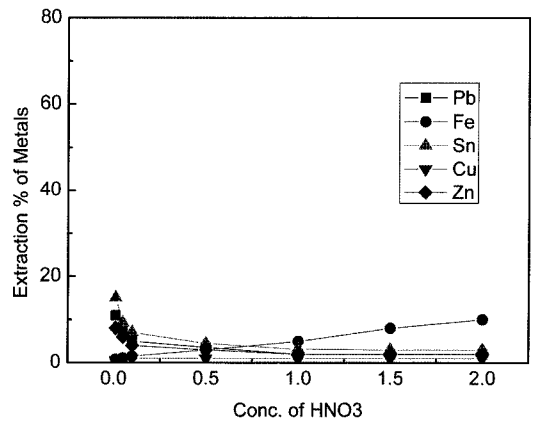


Fig. 6. Effect of TBP concentration on the extraction of metal ions. (O/A=1, 25°C, 4.0M HNO₃)

중류수를 이용하여 탈거할 경우 이론적인 탈거 단수를 분석하기 위해 McCabe-Thiele Diagram을 나타낸 것이다. 질산침출용액에서 질산을 추출하여 유기상에 질산이 1.25 M 함유된 경우, 그림에서와 같이 O/A비가 2에서 4단으로 유기상중의 질산을 98% 이상 탈거를 할 수 있다. 이 경우 탈거액의 질산농도는 약 2.5 M 정도로 농축되어 질산침출액으로 재사용이 가능하다는 것을 알 수 있다.

한편, 질산침출액에서 질산을 제거하면 구리 및 일부

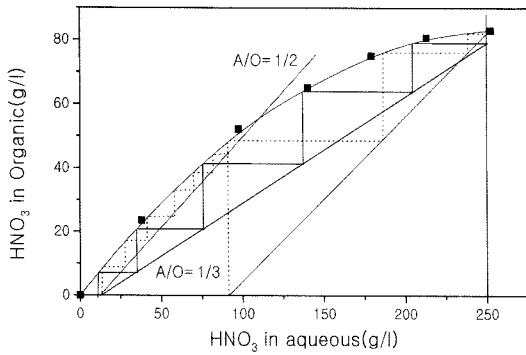


Fig. 7. McCabe-Thiele Diagram of HNO₃ extracted by TBP. (25°C, 60% TBP)

금속이온들이 존재하게 되는데 이러한 침출액에서 구리를 회수하기 위해서는 구리를 선택적으로 추출할 수 있는 LIX 84를 이용한 용매추출 방법이 효과적이라고 생각된다. LIX 84를 사용한 용매추출의 기본 메카니즘 및 공정에 대해서는 이미 많이 알려져 있으며, 이에 대한 연구결과는 추후 발표할 예정이다. Fig. 9에는 질산침출법을 이용하여 구리와 주석을 회수하는 개략적인 공정도를 나타내었다. 질산을 이용해 침출한 후 침출액

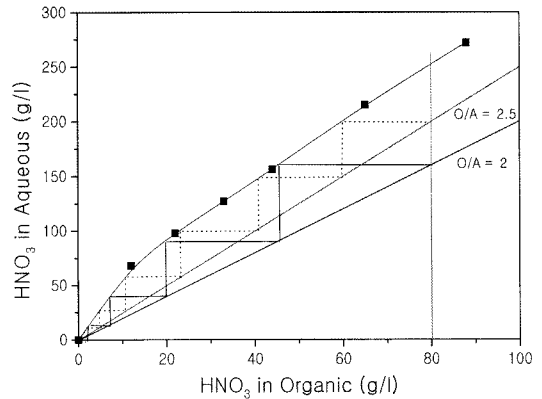


Fig. 8. McCabe-Thiele Diagram of HNO₃ stripped by water. (25°C)

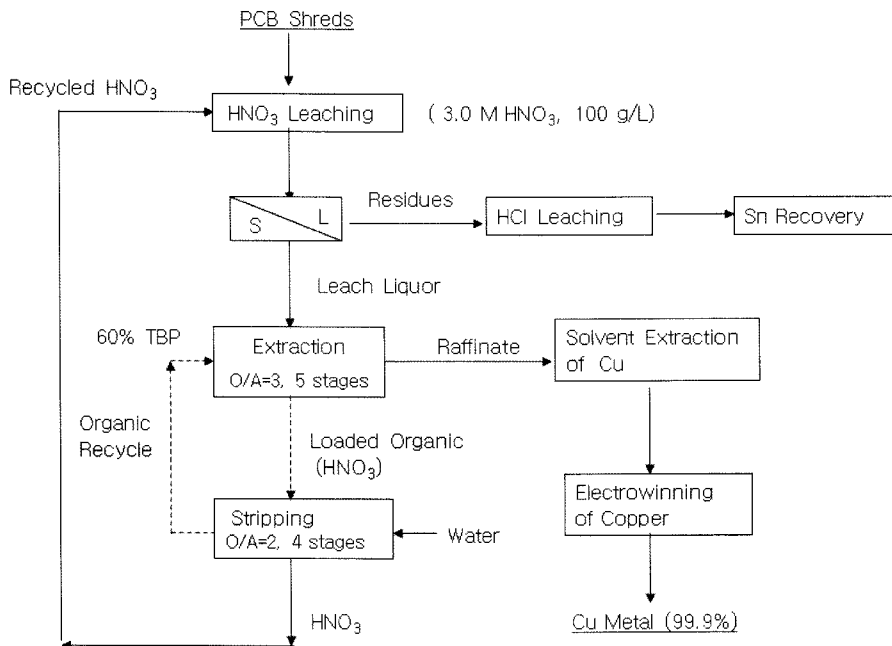


Fig. 9. Hydrometallurgical process for the recovery of copper & tin from electronic scraps.

의 유리질산을 TBP를 이용해 분리하여 질산 침출액으로 재사용하고, 질산이 제거된 침출용액에서 용매추출법과 전해채취법을 거쳐 구리 금속으로 회수가 가능하다. 한편, 질산침출 후 잔사로 존재하는 주석 침전물(metastannic acid)의 경우에는 염산을 이용해 침출시킨 후 치환법¹⁷⁾이나 또는 전해채취법¹⁸⁾ 등을 이용해 금속 주석으로 회수가 가능하다.

4. 결 론

전자스크랩 으로부터 질산침출 및 TBP를 이용한 유리질산 제거 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 니켈, 납, 아연, 구리 등은 질산에 의해 비교적 침출률이 높았으나, 주석, 알루미늄 등은 침출율이 낮았다.

2) 구리의 경우 질산농도가 증가함에 따라 침출율이 증가하였으며, 질산 1.0M에서는 20%이하의 침출율을 나타내나 2.0M에서는 30%, 3.0M 이상에서는 85% 이상의 높은 침출을 나타내었다.

3) 고액농도가 증가할 수 록 구리의 침출율은 감소하였고, 온도 증가는 구리의 침출율을 증가시켰다. 이 경우 적정 고액농도는 100 g/L 이었고, 온도는 50°C가 적당하였다.

4) 질산침출액에서 60% TBP로 질산을 추출할 경우 A/O비가 1/3인 경우 5단에 의해 95% 이상의 질산을 추출하는 것이 가능하였고, 이때 침출액에 존재하는 철, 구리, 납, 주석 등은 질산농도가 0.1M 이상에서는 TBP에 의해 추출되지 않았다. 또한 TBP에 의해 추출된 질산의 경우 순수한 물로 쉽게 탈거가 되기 때문에 순수한 정제질산으로 회수하여 재활용이 가능하다는 것을 확인 하였다.

사 사

이 논문은 2009년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

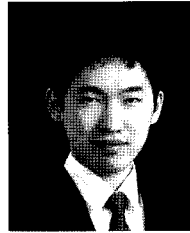
- Sum, E. Y. L., 1991: The recover of metal from electronic scrap, *JOM*, **43**(4), pp53-61.
- Hoffman, J. E., 1992: The recovery of metal from electronic scrap, *JOM*, **44**(7), pp43-48.
- Andrea Mecucci and Keith Scott, 2002: Leaching and electrochemical recovery of copper, ; lead and tin from scrap printed circuit boards, *J. of Chemical Technology and Biotechnology*, **77**, pp449-457.
- Maurice C. Fuerstenau, Guoxin Wang, 1997: Selective separation of tin from a chloride leach solution, *Hydrometallurgy*, **46**, pp229-234.
- S. M. Saleh, S. A. Asid and M. S. El-Shahawi, 2001: Extraction and recovery of Au, Sb and Sn from electrorefined solid waste, *Analytica Chimica Acta*, **436**, pp69-77.
- A. Mecucci and K. Scott, 2001: Electrochemical recovery of copper, lead and tin from a nitrate and chloride leaching solution of scrap printed circuit boards, *Electrochemical Society Proceedings*, **23**, pp293.
- M. A. Rabah, 1998: Combined hydro-pyrometallurgical method for the recovery of high lead/tin/bronze alloy from industrial scrap, *Hydrometallurgy*, **47**, pp281-295.
- Jae-Woo Ahn, Meong-Woon Kim, Jin-Ki Jeong, Jae-Chun Lee, 2006: Recovery Cu and Sn from the bioleaching solution of electronic scrap, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, **15**(6), pp41-47.
- Le, Long Hoang, Yoo, Kyong-Keun, Jeong, Jin-Ki, Lee, Jae-Chun, 2008: Leaching of copper and silver from ground mobile phone printed circuit boards using nitric acid, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, **17**(3), pp48-55.
- Min-seuk Kim, Jae-chun Lee, Jin-ki Jeong, Byung-su Kim and Eun-young Kim, 2008: Leaching of Copper from Electronic scrap Using Electro-generated Chlorine in Hydrochloric Acid, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, **14**(5), pp48-55.
- Jae-Woo Ahn, Myeong-Woon Kim, Jin-Ki Jeong, Jae-Chun Lee, Dong-Gin Kim, Jong-Gwan Ahn, 2005: Biological leaching of Cu, Al, Zn, Ni, Co, Sn and Pb from waste electronic scrap using thiobacillus ferrooxidans, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, **14**(1), pp17-25.
- Jae-Woo Ahn, Jin-Ki Jeong, Jae-Chun Lee, Dong Gin Kim, 2005: Bioleaching of valuable metals from electronic scrap using fungi(*Aspergillus niger*) as a microorganism, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, **14**(5), pp24-31.
- Norvell J. Nelson: Regenerative copper etching process and solution, U.S. Patent, 4,545,850.
- C.J. Brown, D. Davy and P.J. Simmons, 1980: Recovery of nitric acid from solutions used for treating metal surface, Plating and surface finishing, **2**, pp60-62.
- T.K. Mattila, 1977: Nitrate removal from waste solutions by solvent extraction, *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, **16**(4), pp469-472.
- M. Hoshino, 1986: Nitric-hydrofluoric acid recovery process of solvent extraction method, *Aromatics*, **38**(10), pp217-222.

17. Jae-Woo Ahn and Sun-Seob So, 2008: Cementation of tin by aluminium from hydrochloric acid solution, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, **17**(2), pp70-75.

18. Stefanowicz, T., Napieralska-Zagozda, S. and Osinska, M., 1991: Tin recovery from an electroplating sludge, Resources, Conservation and Recycling, **6**, pp61-69.

安 在 禹

- 현재 대전대학교 신소재공학과 교수
- 당 학회지 제11권 6호 참조



徐 在 成

- 대전대학교 신소재공학과 학사
- 현재 대전대학교 신소재공학과 대학원 석사과정

《광 고》 본 學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

- * EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원
(The 2th International Symposium on East Asian Recycling Technology)
- * 자원리사이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
- * 학회지 합본집 I~VIII 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)
(I: 통권 제1호~제10호, II: 통권 제11호~제20호, III: 통권 제21호~제30호, IV: 통권 제31~제40호, V: 통권 제41호~제50호, VI: 통권 제51호~제62호, VII: 통권 제63호~제74호, VIII: 통권 제75호~제86호)
- * 한·일자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
- * 한·미자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
- * 자원리사이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
- * '97 미주 자원재활용기술실태조사(1997년) 107쪽, 價格 : 15,000원
- * 日本의 리사이클링 産業(1998년 1월)395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文知社
- * EARTH 2001 Proceeding (2001) 788쪽, 價格 : 100,000원
(The 6th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
- * 오재현의 자동차 리사이클링기행(2003년 2월) 312쪽, 價格 : 20,000원, 발행처-MJ미디어
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 1999년) 440쪽, 價格 : 15,000원, 발행처-文知社
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2004년) 578쪽, 價格 : 27,000원, 발행처-淸文閣
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2009년) 592쪽, 價格 : 30,000원, 발행처-淸文閣