

PCBs의 스크랩으로부터 Au 용출과 회수

유돈상 · 박천영*

조선대학교 에너지자원공학과, 501-759, 광주광역시 동구 필문대로 309

The Leaching and Recovery of Au from Scrap of PCBs

Don-Sang You and Cheon-Young Park*

Department of Energy and Resource Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

Abstract: This study was carried out to find an environmental friendly and effective way to leach Au and Ag from scrap of Printed Circuit Boards (PCBs) using sodium-hypochlorite solution. In an EDS analysis, valuable metals such as Cu, Sn, Sb, Al, Ni, Pb and Au were all found in PCBs. The highest leaching rates obtained were 1% of pulp density with a chlorine:hypochlorite of 2:1 and a concentration of NaCl at 2 M. The highest Au recovery was observed with the addition of sodium metabisulfite to make a 3 M solution. It is confirmed that the leaching agent (chlorine-hypochlorite) could effectively leach Au and Ag from Printed Circuit Boards (scrap parts) and the additive reagent sodium metabisulfite could easily precipitate Au from the chlorine-hypochlorite solution.

Keywords: chlorine-hypochlorite, Au, leaching and recovery, scrap, sodium metabisulfite

요약: 폐 PCBs의 스크랩으로부터 염소-차아염소산염 용액을 이용하여 Au와 Ag를 친환경적이고 효과적으로 용출시키고자 하였다. PCBs에 Cu, Sn, Sb, Al, Ni, Pb, Au 등과 같은 유용금속이 함유되어 있는 것을 EDS 분석으로 확인하였다. 최대 Au 용출율은 1%의 광액농도, 2:1의 염산:차아염소산나트륨 그리고 2 M의 NaCl 농도조건이다. Au 회수율이 가장 높은 메타중아황산나트륨 농도는 3 M에서였다. 염소-차아염소산염이 폐 컴퓨터에 함유되어 있는 Au와 Ag를 효과적으로 용출시킬 수 있는 용매제 임을 그리고 메타중아황산나트륨이 Au를 간단하게 침전시킬 수 있는 첨가제임을 확인하였다.

주요어: 염소-차아염소산염, 금, 용출 및 회수, 스크랩, 메타중아황산나트륨

서론

전세계적으로 폐전자제품이 쓰레기로 매년 20-50 백만 톤이 발생되고 있으며, 약 61%가 금속 그리고 21%가 플라스틱으로 되어 있다. 이 금속 중에는 Fe, Cu, Al, Pb, Sn, Ni, Au, Ag 및 Pd 등이 함유되고 있다. 그리고 인쇄회로기판(printed circuit board)에는 Au가 250 g t^{-1} 이상으로 함유되어 있으며, 이 양은

일반적인 금 정광(gold concentrate)의 품위 $1.0\text{-}10.0 \text{ g t}^{-1}$ 보다 25에서 250배로 많은 것이다(Tuncuk et al., 2012). 미국에서 개인용 컴퓨터의 수명이 1992년에는 4.5년이었으나 1999년에는 3년 그리고 2005년에는 2년으로 감소되었다. 전자제품의 수명이 감소됨에 따라 엄청난 양의 폐전자제품이 발생되고 있으며, 이 중 TV에 귀금속(precious metal)이 27.1 wt. %, 컴퓨터에 0.02 wt. % 함유되어 있다(Kang and Schoenung, 2005). 폐전자제품에는 일반금속(base metal)과 귀금속(platinum group metals, PGM)은 물론 인듐(indium), 탄탈럼(tantalum) 등과 같은 희유원소들이 포함되어 있기 때문에 도시광석(urban ore 혹은 E waste)으로 불린다(Yamasue et al., 2009; Pant et al., 2012). 특히 컴퓨터 중앙처리장치(CPU)의 집적회로를 연결하거나 접속할 때 납땜(solder)으로 Au가 주로 사용되고 있으며, 회로기판의 금속이 부식되는 것을

*Corresponding author: cybpark@chosun.ac.kr

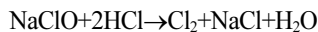
Tel: +82-62-230-7119

Fax: +82-62-233-2110

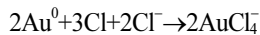
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

방지하기 위하여 Au 피막 도포(coating)하고 있다. 또한 확장카드(expansion card) 연결 슬롯(slot)과 핀(pin) 표면을 Au로 코팅 한다. 따라서 중앙처리장치에 평균 1.02-1.5 wt. % (10,000-15,000 ppm) 그리고 확장카드에 평균 0.015-0.02 wt. % (150-200 ppm)의 Au가 함유되어 있다. 이들 Au는 접촉 및 노출부분 그리고 동, 철 및 은 등의 금속 표면에 약 10 μm 두께로 피복되어 있기 때문에 일반 저항성 금광석(refractory gold ore)에 비하여 쉽게 용출시킬 수 있다(Lin and Huarng, 1994; Barbieri et al., 2010).

폐전자부품에 함유된 Au를 회수하기 위하여 왕수(aqua regia), 시안(cyanide), 티오요소(thiourea), 티오황산염(thiosulfate)과 같은 화학적 용매가 이용되고 있으며, 최근에는 *Acidithiobacillus ferrooxidans*, 혹은 *Acithiobacillus thiooxidans* 등과 같은 미생물들을 활용하고 있다(Hoffmann, 1992; Brandl et al., 2001; Yang et al., 2009; Xiang et al., 2010; Pant et al., 2012). 그러나 할로젠 원소에 해당되는 염소(chlorine)를 이용하여 폐전자부품으로부터 Au를 용출 및 회수하는 연구는 아직 미진하다. 차아염소산나트륨을 염산이나 황산에 반응시키면 염소가 격렬하게 생성된다(Hilson and Monhemius, 2006).



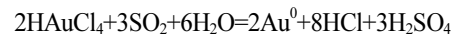
생성된 염소가 폐전자부품의 Au를 용해시켜 AuCl_4^- 를 생성시킨다(Pangum and Browner, 1996).



폐전자부품의 Au는 금속 표면으로 노출되어 있기 때문에 저항성 금광석의 황화광물 속에 포획되어 있는 Au에 비하여 쉽게 염소-차아염소산염에 용해된다(Baghalha, 2007). 염소-차아염소산염은 초기에 시안 대체 용매제로 개발되었다. 이 용매제는 Au를 매우 빠르게 용해시키고 시안에 비하여 환경에 대한 독성이 매우 적은 장점을 갖고 있다. 따라서 염소-차아염소산염을 정광 및 광미로부터 Au와 Ag 용출(Almeida and Amarante, 1995; Jeffrey et al., 2001; Baghalha, 2007; Nam et al., 2008), 황동석 정광으로부터 Cu 용출(Puvvada and Murthy, 2000; Ikiz et al., 2006) 혹은 황비동석(enargite)으로부터 비소(As)를 용출하는데 사용된다(Curreli et al., 2005; Padilla et al., 2005). 또한 이 용매제는 광재(furnace slag)로

부터 Cu를 용출(Herreros et al., 1998)하는데, 폐전자부품으로부터 Au, Sb, Sn 등을 용출하는데 사용하였다(Saleh et al., 2001). 그러나 차아염소산은 강한 부식성 시약이므로 취급하는데 철저한 주의가 필요하다. 그리고 차아염소산은 Au보다 황철석이나 맥석광물을 더 빠르게 용해시키기 때문에 염소 소비가 증가하게 되고 Au 용해율이 떨어진다. 따라서 황 함량이 높은 황화광물에 염소를 이용하는 것이 경제적이 못하기 때문에 황이 거의 없는 폐전자부품에 적용하는 것이 효율적이다(Hilson and Monhemius, 2006; Baghalha, 2007).

용출용액 속에 용해되어 있는 Au를 회수하기 위하여 aluminum 및 zinc 분말(powder)을 첨가하여 Au를 침전시키는 침전법(cementation), 활성탄 혹은 레진(resin)에 Au를 흡착시켜 회수하는 흡착법(adsorption), 그리고 electrowinning 방법들이 이용되고 있다(Prasad et al., 1991; Habashi, 2009). 이들 방법은 시설투자가 고가이고 회수기술이 매우 복잡하다. 따라서 이들 방법 보다 더 경제적이고 기술적으로 더 간단한 방법이 필요하다. 즉, Au가 용해되어 있는 염소 용액에 이산화황(sulfur dioxide, SO_2)을 주입하면 금속성의 Au가 다음과 같은 반응에 의하여 침전된다(Hoffmann, 1990).



또한 메타중아황산나트륨(sodium metabisulfite, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 용액을 염소-차아염소산염 용액에 첨가하면 금속성의 Au가 간단하게 침전된다. 최근 우리나라에서 많은 양의 폐전자제품이 발생하고 있지만(Lee et al., 2007), 염소-차아염소산염 용액을 이용하여 폐전자부품으로부터 Au를 효과적으로 용출시키고, 이 용액에 메타중아황산나트륨을 첨가하여 금속성의 Au를 간단하게 회수하는 연구는 아직 미진하다(Kim et al., 2012). 그러므로 친환경적이고 간단한 방법을 폐전자부품에 적용한다면 많은 양의 Au 회수는 물론 귀금속 및 희유금속도 회수할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구 목적은 염소-차아염소산염을 이용하여 폐 PCBs의 스크랩으로부터 Au를 친환경적으로 용출시키고, 또한 이 용출용액에 메타중아황산나트륨 용액을 첨가하여 Au를 효과적으로 회수하였으며, 용출 및 침전 실험을 통하여 최대 Au 용출 및 회수 인자들을 얻고자 하였다.

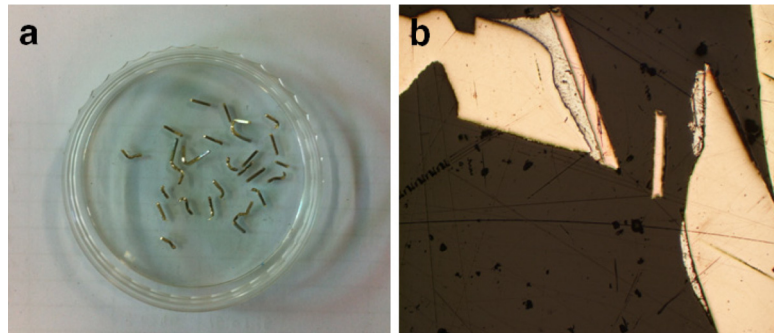


Fig. 1. Image of scraps from the PCBs. (a): Photograph, (b): Microphotograph ($\times 160$).

실험 및 분석방법

시료

폐 PCBs에서 포트(port) 및 슬롯(slot)와 연결되는 스크랩들을 수작업으로 채취하였다. 핀들의 길이는 0.5 cm에서 2.0 cm이고 직경이 0.25 mm에서 0.64 mm 범위이다. 표면에 피복된 금속 성분을 확인하기 위하여 연마편을 제작하였다(Fig. 1).

실험방법

Au-Ag 용출실험

초기 용출실험에서 Au-Ag 용출율(%)이 최대로 나타나는 변수 하나를 결정하였다. 결정된 변수로 용출 용액을 제조하고, 용출실험을 수행하여 다음 변수를 결정하였다. 이와 같이 Au 최대 용출율이 나타나는 변수들을 단계별로 결정하였다. 삼각 플라스크에 35% HCl (hydrochloric acid) 용액과 5% NaClO (sodium hypochlorite) 용액을 1.5:1 비율로 혼합하고 NaCl 1 M을 첨가하여 75 mL의 용출 용액을 조제하였다. 이 용출용액에서 광액농도에 따른 용출실험을 15분 동안 상온에서 수행하였다. 용출실험이 진행되는 동안 시간별로 용출액 1 mL를 채취-분석하여 Au 최대 용출율이 나타나는 광액농도를 결정하였다. 이 광액농도에서 염산과 차아염소산나트륨 혼합 비율에서 용출실험을 각각 수행하였다. 최대 Au 용출율이 나타나는 혼합비율을 결정하였고, 다시 NaCl 농도에 따른 용출실험을 수행하였다.

Au 침전 및 회수실험

최대 Au 용출율이 얻어지는 변수에서 용출실험을

수행하여 용출용액 750 mL를 얻었다. 750 mL 용출 용액에 메타중아황산나트륨을 농도별로 첨가하여 금속성의 Au를 침전시켰다. 침전실험이 진행되는 동안 용출용액을 시간별로 1 mL 채취하여 Au 함량을 측정하였다. 최대 Au 침전이 일어나는 메타중아황산나트륨 농도를 결정하였다.

분석방법

스크랩 0.75 g를 heating block에서 70°C로 왕수로 1시간 동안 분해하였다. 왕수 분해 용액을 10배로 희석하고 0.45 μm 여과지로 여과하였다. 왕수분해, 용출 및 침전실험의 용출용액에 함유된 Au 및 Ag 함량을 원자흡광분광기(atomic absorption spectrophotometry, AAS, AA-7000, Shimadzu, Japan)로 측정하였다. 스크랩을 연마편으로 제작하여 금속 단면에 대하여 편광반사현미경(Leitz, Othplan-pol) 및 SEM(scanning electron microscope, Japan, Hitachi, S4800) 관찰을 수행하였고 금속성분은 EDS (energy dispersive analyzer, Japan, Hitachi, S4800)분석으로 확인하였다. 침전물에 대하여 SEM 관찰과 EDS 분석을 수행하였다.

결 과

스크랩 단면에 대한 편광현미경 및 SEM 관찰

Fig. 1은 포트(port) 및 슬롯(slot)에 연결하는 핀(pin)의 단면을 편광현미경으로 관찰한 것이다. 핀을 구성하는 금속 부분은 Cu (100.0 wt. %)으로 구성되어 있고 핀과 핀을 연결하는 접합부분은 Sn (47.32 wt. %), Sb (4.96), Al (1.32) 및 O (46.40)로 되어 있는 것을 EDS분석으로 확인하였다. Fig. 2a는 핀의

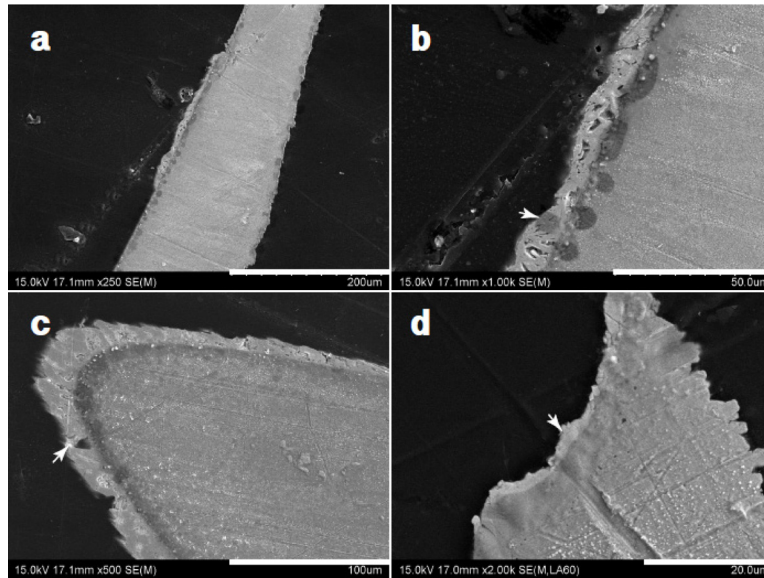


Fig. 2. SEM image of scrap in PCBs (a: cross-section, b: enlargement of Fig. 2a, c and d: the tip). The arrows are a point of EDS analysis. The scale bar is 200.0 μm (a), 100.0 μm (c), 50.0 μm (b) and 20.0 μm (d) in length.

단면 모습이고 Fig. 2b는 핀의 단면을 확대한 것으로 EDS분석 결과 O (17.63 wt. %), Cl (1.54), Ni (11.4), Sn (58.26) 및 Au (11.12) 등이 검출되었다. Fig. 2c와 Fig. 2d는 핀의 끝부분으로 EDS분석결과 O (8.39 wt. %), Cl (1.48), Sn (63.55), Pb (26.58) 등과 O (17.69 wt. %), Cl (1.17), Ni (8.79), Sn (72.35) 등이 각각 검출되었다. 여러 종류의 핀으로 이루어진 스크랩 0.75g을 왕수분해한 결과 Au가 $392.01 \text{ mg kg}^{-1}$ 이 그리고 Ag는 45.48 mg kg^{-1} 으로 측정되었다.

광액농도에 따른 Au-Ag 용출율

염산:차이염소산나트륨을 1.5:1로 혼합하여 염소-차이염소산염 용출용액(75 mL)을 제조하였고, 스크랩을 광액농도(w v^{-1})별로 첨가하여 용출실험을 상온에서 15분 동안 각각 수행하였다(Fig. 3). 1, 2, 5%의 광액농도로 용출실험을 수행한 결과, 광액농도 1%에서 Au가 $61\%(241 \text{ mg kg}^{-1})$ 용출되었고, 광액농도 2%에서 29% 그리고 광액농도 5%에서 14%의 Au가 용출되었다. Ag는 광액농도 1%에서 $65\%(40 \text{ mg kg}^{-1})$, 광액농도 2%에서 27% 그리고 광액농도 5%에서 3%가 용출되었다. 광액농도 1%에서 Au와 Ag 용출율이 각각 최대로 나타났고, 광액농도가 증가하면 Au와 Ag의 용출율이 감소하였다.

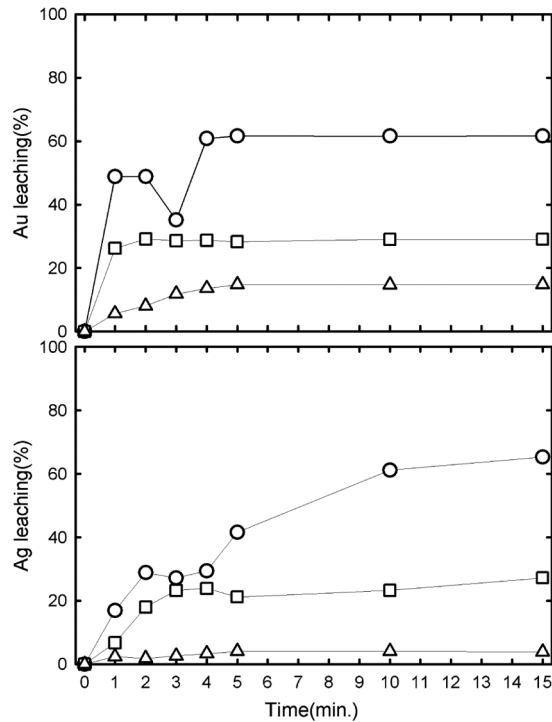


Fig. 3. The Au and Ag leaching rates from the scrap with chlorine-hypochlorite solution at room temperature (pulp density ○: 1%, □: 2%, △: 5%).

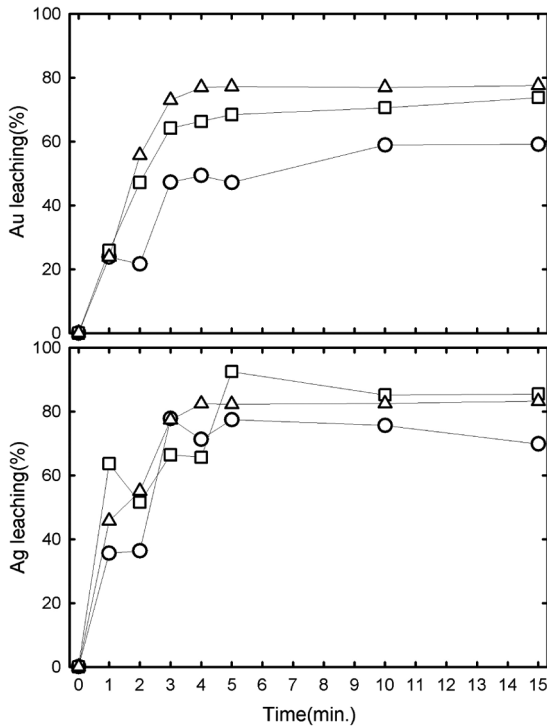


Fig. 4. The Au and Ag leaching rates from the scrap with chlorine-hypochlorite solution at room temperature (pulp density=1%, hydrochloric acid:sodium hypochlorite ○: 1:1, □: 1.5:1, △: 2:1).

염산:차아염소산나트륨 혼합비율에 따른 Au-Ag 용출율

광액농도를 1%로 고정하고 염산:차아염소산나트륨 비율을 1:1, 1.5:1, 2:1로 혼합하여 용출용액을 제조하였다(Fig. 4). 용출실험을 수행한 결과, 혼합비율 1:1에서 Au가 59%, 1.5:1에서 73% 그리고 2:1에서 77% (304 mg kg^{-1})가 용출되었다. Ag는 혼합비율 1:1에서 69%, 1.5:1에서 85% (53 mg kg^{-1}) 그리고 2:1에서 83% 용출되었다. Au가 최대 용출되는 염산: 차아염소산나트륨 혼합비율은 2:1에서였고 Ag는 1.5:1에서 최대 용출되었다.

NaCl 농도에 따른 Au-Ag 용출율

광액농도를 1%, 염산:차아염소산나트륨 혼합비율 2:1로 용출용액을 제조하였다. 이 용액에 NaCl을 농도별로 첨가하여 용출실험을 수행하였다(Fig. 5). 0.5, 1, 2 M의 NaCl 농도로 용출실험을 수행한 결과 NaCl 농도 0.5 M에서 Au가 49% 용출되었고, 1 M에

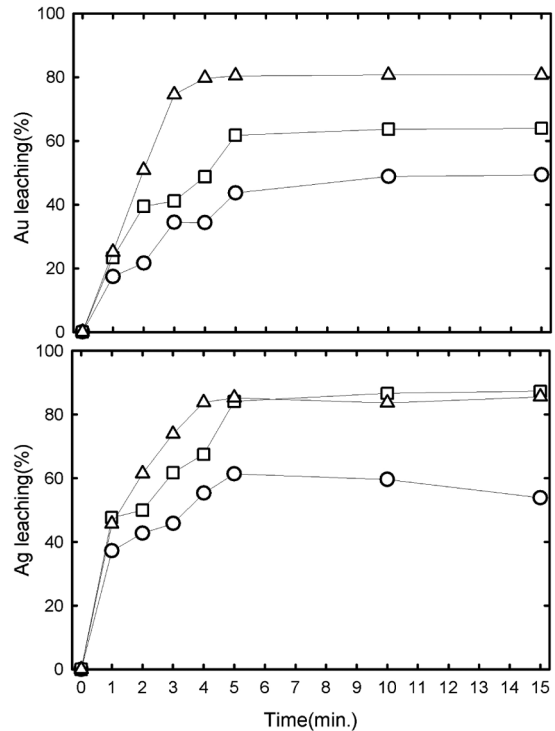


Fig. 5. The Au and Ag leaching rates from the scrap with chlorine-hypochlorite solution at room temperature (pulp density=1%, hydrochloric acid:sodium hypochlorite ratio=2:1, NaCl concentration ○: 0.5 M, □: 1 M, △: 2 M).

서 63%, 2 M에서 80% (316 mg kg^{-1})가 용출되었다. Ag는 0.5 M에서 53%, 1 M에서 87% (54 mg kg^{-1}) 그리고 2 M에서 85% 용출되었다. Au가 최대 용출된 NaCl 농도는 2 M에서였고 Ag는 1 M에서 최대 용출율을 보였다.

메타중아황산나트륨 첨가에 따른 Au 침전 함량과 회수율

광액농도 1%, 염산:차아염소산나트륨 혼합 비율 2:1, NaCl 농도 2 M으로 용출용액(750 mL)을 제조하였다. 스크랩 7.5 g (광액농도 1%)을 첨가하여 15분 동안 용출실험을 수행하여 용출용액 750 mL를 얻었다. 7.5 g의 스크랩을 용출실험에 사용한 이유는 즉, 광액농도를 10배 증가시킨 이유는 750 mL 용출용액에서 금속성의 Au를 직접 채취하기 위해서였다. 750 mL 용출용액에는 Au가 3920 mg kg^{-1} 그리고 Ag는 624 mg kg^{-1} 이 용해되어 있는 썸이다. 용출용액에 용해되어 있는 Au를 침전시키기 위하여 메타중아황산

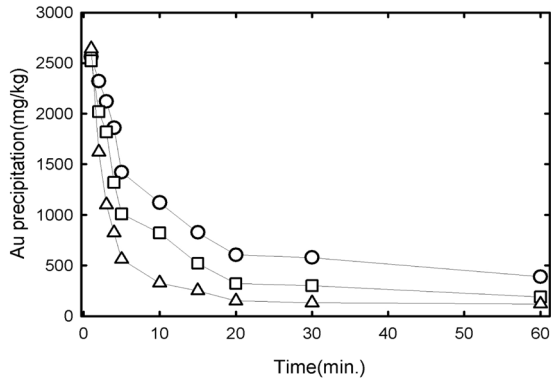


Fig. 6. The precipitation of Au content vs time in the chlorine-hypochlorite solution at room temperature (addition of sodium metabisulfite concentration ○: 1 M, □: 2 M, △: 3 M).

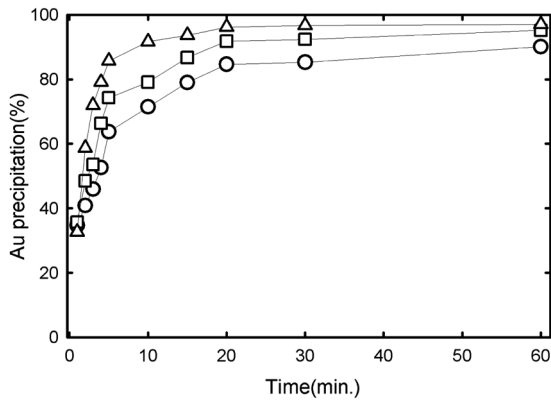


Fig. 7. The precipitation rate of Au in the chlorine-hypochlorite solution at room temperature (addition of sodium metabisulfite concentration ○: 1 M, □: 2 M, △: 3 M).

나트륨을 농도별로 첨가하였다. Au 침전실험이 진행되는 동안 용출용액을 시간별로 분석하여 메타중아황산나트륨 첨가에 따른 Au 제거 함량과 침전율을 조사하였다. 메타중아황산나트륨 1 M 첨가하고 60분 후, Au 함량은 3389 mg kg^{-1} , 2 M을 첨가했을 때 190 mg kg^{-1} , 그리고 3 M일 때 118 mg kg^{-1} 이었다 (Fig. 6). 메타중아황산나트륨 첨가에 따른 Au 침전율은 1 M에서 90%, 2 M에서 95% 그리고 3 M에서 96%이었다 (Fig. 7). 최대 Au 회수율이 나타나는 메타중아황산나트륨 농도는 3 M에서였다.

침전물의 특성

메타중아황산나트륨 첨가에 따른 침전물을 $0.45 \mu\text{m}$

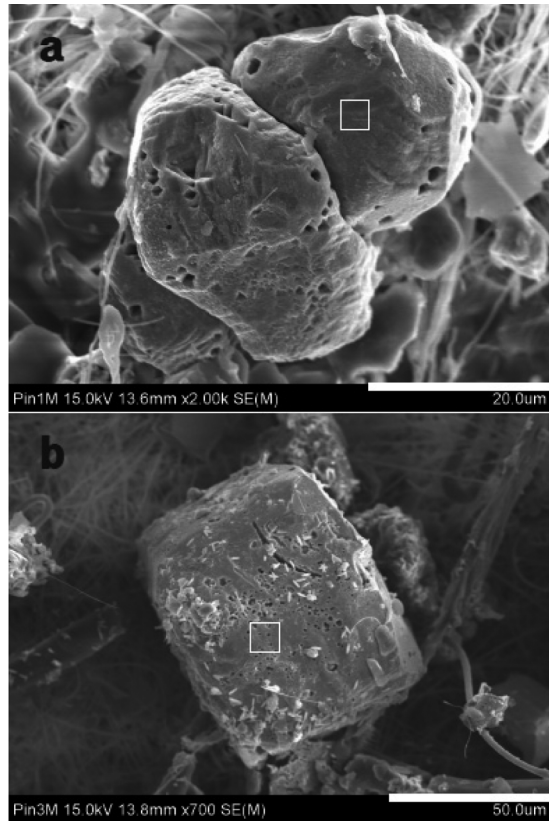


Fig. 8. SEM image of the precipitated materials from chlorine-hypochlorite solution (a: addition of sodium metabisulfite (1 M), b: addition of sodium metabisulfite (3 M)). The marks of a regular tetragon are a point of EDS analysis. The scale bar is $20.0 \mu\text{m}$ (a) and $50.0 \mu\text{m}$ (b) in length.

여과 후 채취하여, SEM 및 EDS 분석하였다. 침전물 중 Fig. 8a의 결정은 소금과 황 결정으로 사료된다. EDS분석 결과 Na (3.13 wt. %), Al (0.6), Si (1.29), S (46.62), Cl (5.09) 및 Fe (43.26) 등이 검출되었다. 그리고 Fig. 8b의 침전물에 대하여 EDS분석 결과 O (12.69 wt. %), Al (1.15), Si (3.09), S (42.29), Ti (0.66) 및 Fe (40.12) 등이 검출되는 것으로 보아 황 결정으로 사료된다. 침전물 중 NaCl 성분은 염소-차아염소산염 및 소금으로 구성된 용출용액으로부터 유래한 것으로 그리고 황 성분은 메타중아황산나트륨으로부터 유래한 것으로 사료된다. Au 입자는 SEM에서 확인하지 못하였다. Au 입자를 침전물에서 SEM으로 확인하지 못한 이유는 750 mL에 용해된 Au 함량(약 3920 mg kg^{-1})이 너무 적은 양이기 때문으로 사료된다. 광액농도를 더 증가시켜 용출용액에 Au

함량을 증가시킨다면 침전물에서 육안으로 볼 수 있는 Au 입자를 얻을 수 있을 것이다.

고 찰

본 연구에서 Au, Ag에 초점을 맞춰 실험을 진행하였다. 이는 Au, Ag는 고가일 뿐만 아니라 지난 30년 동안 전자산업에서 상당량 사용되어 왔기 때문이다. 쓰레기로 버려지는 스크랩에는 Cu, Sn, Sb, Al, Ni, Pb, Au 등이 함유되어 있는 것을 EDS 분석으로 확인하였다. 스크랩에 염소-차아염소산염 용액을 적용하여 Au와 Ag를 친환경적으로 용출시켰다. 최대 Au 용출율이 나타나는 변수를 단계별로 결정할 결과 광액농도 1%에서 Au가 61% (241 mg kg^{-1}), 염산:차아염소산나트륨 비율 2:1에서 77% (304 mg kg^{-1}) 그리고 NaCl 농도 2 M에서 80% (316 mg kg^{-1}) 용출되었다. Au와 Ag가 용출되는 시간은 약 5-6분이 소요되었다. 이 용출시간은 시안의 24시간 그리고 티오요소의 15분 보다 빠른 것이다(Prasad et al., 1991). Au 용출율이 80%로 낮은 이유는 용출반응이 약 6분 이내로 매우 짧게 일어나기 때문인 것으로 사료된다. 용출실험 시작 후 약 6분 동안 염소 가스가 격렬하게 발생된다. 발생된 염소 가스가 Au 용해작용에 이용되게 하도록 삼각 플라스크를 실리스토퍼로 막지만 시료 채취과정에서 염소 가스가 배출된다. 용출실험 6분 이후에는 반응이 거의 일어나지 않는 것이 관찰되었다. 따라서 생성되는 염소 가스가 Au 용출에 이용되도록 하고 그리고 용출반응이 6분 이상에서도 지속적으로 천천히 일어나게 한다면 90% 이상의 Au 용출율을 기대할 수 있을 것이다. 또는 $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, CuCl_2 , FeCl_3 을 사용하거나(Almeida and Amarante, 1995; Barbieri et al., 2010) 산화제로 MnO_2 를 사용한다면(Leon and Quispe, 1986) Au 용출율을 더 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. Au가 최대 용출되는 변수를 이용하여 용출용액을 제조하고 10배의 광액농도에서 용출실험을 수행하였다. 750 mL 용출용액에 메타중아황산나트륨을 농도별로 첨가한 결과 Au 침전율이 3 M에서 96%였다. 침전물에서 Au 입자는 확인하지 못하였다. 만약 더 많은 폐 전자부품을 용출용액에 적용한다면 육안으로 확인할 수 있는 Au 입자를 회수할 수 있을 것이다. 염소-차아염소산염 용출용액이 반응속도도 매우 빠르고 친환경적인 용매제임을 그리고 메타중아황산나트륨이 Au를 간단

하게 침전시킬 수 있는 첨가제임을 확인하였으며, 기존의 도시광석을 이용한 실험과 비교하여 본 연구는 PCBs에 Au의 구성 및 존재량이 다르며, 전체적인 자원회수공정이 비교적 간단하다는 장점이 있다. 본 연구를 기초로 semi-pilot 수준으로 확대한다면 버려지는 폐 전자부품으로부터 Au는 물론 Cu, Sn, Sb, Al, Ni, Pb, Ag와 같은 유용금속들을 지속적으로 그리고 친환경적으로 회수 할 수 있을 것이다.

결 론

스크랩에 Cu, Sn, Sb, Al, Ni, Pb, Au 등의 유용금속이 함유되어 있는 것을 EDS 분석으로 확인하였다. Au가 최대 용출되는 광액농도는 1%에서, 염산:차아염소산나트륨 비율은 2:1에서 그리고 NaCl 농도는 2 M에서였다. 메타중아황산나트륨 농도 3 M을 첨가했을 때 Au 회수율이 가장 높았다. 스크랩에 함유되어 있는 Au와 Ag를 염소-차아염소산염을 적용함으로써 친환경적으로 그리고 매우 빠른 반응으로 용출시킬 수 있었다. 그리고 메타중아황산나트륨을 첨가함으로써 간단하게 Au가 침전되는 것을 확인하였다.

사 사

본 연구는 2013년도 조선대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었으며, 연구비를 지원해준 조선대학교에 감사한다.

References

- Almeida, M.F. and Amarante, M.A., 1995, Leaching of a silver bearing sulphide by-product with cyanide, thiourea and chloride solutions. *Minerals Engineering*, 8, 257-271.
- Baghalha, M., 2007, Leaching of an oxide gold ore with chloride/hypochlorite solutions. *International Journal of Mineral Processing*, 82, 178-186.
- Barbieri, L., Giovanardi, R., Lancellotti, I., and Michelazzi, M., 2010, A new environmentally friendly process for the recovery of gold from electronic waste. *Environmental Chemistry Letters*, 8, 171-178.
- Brandl, H., Bosshard, R., and Wegmann, M., 2001, Computer-munching microbes: Metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi. *Hydrometallurgy*, 59, 319-326.
- Curreli, L., Ghiani, M., Surracco, M., and Orru, G., 2005,

- Beneficiation of a gold bearing enargite ore by flotation and As leaching with Na-hypochlorite. *Minerals Engineering*, 18, 849-854.
- Habashi, F., 2009, Recent trends in extractive metallurgy. *Journal of Mining and Metallurgy*, 45B, 1-13.
- Herreros, O., Quiroz, R., Manzano, E., Bou, C., and Vinals, J., 1998, Copper extraction from reverberatory and flash furnace slags by chlorine leaching. *Hydrometallurgy*, 49, 87-101.
- Hilson, G. and Monhemius, A.J., 2006, Alternative to cyanide in the gold mining industry: What prospects for the future? *Journal of Cleaner production*, 14, 1158-1167.
- Hoffmann, J.E., 1990, The wet chlorination of electrolytic refinery slimes. *The Journal of The Minerals, Metals and Materials Society*, 42, 50-54.
- Hoffmann, J.E., 1992, Recovering precious metals from electronic scrap. *The Journal of The Minerals, Metals and Materials Society*, 44, 43-48.
- Ikiz, D., Gulfen, M., and Aydin, A.O., 2006, Dissolution kinetics of primary chalcopryrite ore in hypochlorite solution. *Minerals Engineering*, 19, 972-974.
- Jeffrey, M.I., Breuer, P.L., and Choo, W.L., 2001, A kinetic study that compares the leaching of gold in the cyanide, thiosulfate, and chloride systems. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 32, 979-986.
- Kang, H.Y. and Schoenung, J.M., 2005, Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options. *Resources Conservation and Recycling*, 45, 368-400.
- Kim, B.J., Cho, K.H., Choi, N.C., and Park, C.Y., 2012, The leaching characteristics of Au in CPU chip of abandoned computer using chlorine-hypochlorous acid. *The Korean Society for Geosystem Engineering*, 49, 778-787. (in Korean)
- Lee, J.C., Song, H.T., and Yoo, J.M., 2007, Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea. *Resources Conservation and Recycling*, 50, 380-397.
- Leon, C.A.V. and Quispe, C.C.S., 1986, Non-conventional Peruvian processing. *Mining International*, 42-46.
- Lin, J.C. and Huang, J.J., 1994, Electrochemical stripping of gold from Au-Ni-Cu electronic connector scrap in an aqueous solution of thiourea. *Journal of Applied Electrochemistry*, 24, 157-165.
- Nam, K.S., Jung, B.H., An, J.W., Ha, T.J., Tran, T., and Kim, M.J., 2008, Use of chloride-hypochlorite leachants to recover gold from tailing. *International Journal of Mineral Processing*, 86, 131-140.
- Padilla, R., Giron, D., and Ruiz, M.C., 2005, Leaching of enargite in H₂SO₄-NaCl-O₂ media. *Hydrometallurgy*, 80, 272-279.
- Pangum, L.S. and Browner, R.E., 1996, Pressure chloride leaching of a refractory gold ore. *Minerals Engineering*, 9, 457-556.
- Pant, D., Joshi, D., Upreti, M.K., and Kotnala, R.K., 2012, Chemical and biological extraction of metals present in E waste: A hybrid technology. *Waste Management*, 32, 979-990.
- Prasad, M.S., Mensah-Biney, R., and Pizarro, R.S., 1991, Modern trends in gold processing-overview. *Minerals Engineering*, 4, 1257-1277.
- Puvvada, G.V.K. and Murthy, D.S.R., 2000, Selective precious metals leaching from a chalcopryrite concentrate using chloride/hypochlorite media. *Hydrometallurgy*, 58, 185-191.
- Saleh, S.M., Said, S.A., and El-Shahawi, M.S., 2001, Extraction and recovery of Au, Sb and Sn from electrorefined solid waste. *Analytica Chimica Acta*, 436, 69-77.
- Tuncuk, A., Stazi, V., Akcil, A., Yazici, E.Y., and Deveci, H., 2012, Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling. *Minerals Engineering*, 25, 28-37.
- Xiang, Y., Wu, P., Zhu, N., Zhang, T., Liu, J., Wu, J., and Li, P., 2010, Bioleaching of copper from waste printed circuit boards by bacterial consortium enriched from acid mine drainage. *Journal of hazardous Materials*, 184, 812-818.
- Yamasue, E., Minamino, R., Numata, T., Najajima, K., Murakami, S., Daigo, I., Hashimoto, S., Okumura, H., and Ishihara, K.N., 2009, Novel evaluation method of elemental recyclability from urban mine-concept of urban ore TMR. *Materials Transactions*, 50, 1536-1540.
- Yang, T., Xu, Z., Wen, J., and Yang, L., 2009, Factors influencing bioleaching copper from waste printed circuit boards by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Hydrometallurgy*, 97, 29-32.

Manuscript received: April 2, 2014

Revised manuscript received: June 10, 2014

Manuscript accepted: June 26, 2014