

有價金屬 回收를 위한 PCB 스크랩의 乾式處理技術[†]

申東燁 · 李常東 · 鄭現富 · 俞炳敦 · [†]韓晶煥 · 鄭鎮己*

仁荷大學校 新素材工學部, *韓國地質資源研究院

Pyro-metallurgical Treatment of used OA Parts for the Recovery of Valuable Metals[†]

Dong-Yeop Shin, Sang-Dong Lee, Hyeon-Bu Jeong,
Byung-Don You, [†]Jeong-Whan Han and Jin-ki Jung*

Department of Materials Science and Engineering, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

*Minerals & Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, Deajeon, Korea

요 약

폐 컴퓨터나 OA기기 중 PCB(Printed Circuit Board)에는 귀금속을 포함한 많은 양의 금속성분이 함유되어 있으며, 본 연구에서는 이들을 분리회수하기 위한 건식처리기술을 검토하였다. 폐 컴퓨터로부터 얻은 PCB 스크랩을 산화처리한 시료에 대해 정량분석을 실시하고, 함유된 산화물 종류에 대하여 적합한 슬래그제를 선정하여 유가금속을 분리회수하기 위한 산화물 성분의 슬래그화를 시도하였다. 용융작업을 위해 슈퍼칸탈 회전로를 사용하였으며, 이때 도가니 회전이 금속의 회수율에 미치는 영향을 조사하였다.

주제어 : 재활용, PCB, 건식기술, 금속회수, 슬래그

Abstract

It is well known that PCB(Printed Circuit Board) is a complex mixture of various metals. In this study, pyro-metallurgical process was investigated to extract valuable metallic components from the PCB scrap. PCB scrap was shredded and oxidized to remove plastic materials, and then, quantitative analysis were made. 15 mass %Al₂O₃-45 mass %CaO-40 mass %SiO₂ and 32 mass %SiO₂-20 mass %Al₂O₃-38 mass %CaO-10 mass %MgO, were chosen as basic slag compositions which are determined based on the quantitative analysis of PCB scrap. During experiments a super kanthal rotating furnace was used to melt and separate metallic components. Moreover the revolution effect on was the recovery of valuable metals from PCB scrap also investigated.

Key words : Recycling, PCB(Printed Circuit Board), Pyro-metallurgical process, Metal extraction, Slag

1. 서 론

급속한 IT 산업 발전에 따라 전자산업은 산업전반에 걸쳐 중요한 기반산업이 되어왔으나, 그 결과 전자부품 사용수명의 단축되고, 이에따라 전자스크랩의 발생량이 급속도로 증가하기 시작하였다. 전자스크랩이라 함은 전자제품의 제조 때 발생하는 불량품과 컴퓨터, PCB와 콘넥터, 플라스틱 또는 금속 케이스 등과 같은 사용한

전자제품의 폐기 시에 발생하는 폐기물을 말한다. 전자 스크랩은 기본적으로 유가 성분인 Cu, Fe, Ni, Al 등과 귀금속 성분인 Au, Ag, Pd 등의 함유로 인해 부가가치가 매우 크기 때문에 필수적으로 유가 및 귀금속 성분이 재활용되도록 회수방안이 검토되어야 한다. 그러나 전자스크랩 내에는 다양한 금속성분과 함께 산화물과 유기물질 등이 복합적으로 함유되어 있어 Bernades¹⁾ 등은 전자스크랩의 종류에 따라 크게 차이가 있지만 주성분으로 49%의 유리, 세라믹, 그리고 산화물을 포함하고 있으며, 19%의 플라스틱 물질, 28%의 금속성분 등으로 이루어져 있다고 보고하기도 하였다. 그

[†] 2007년 9월 27일 접수, 2008년 2월 5일 수리

* E-mail: jwhan@inha.ac.kr

러나 이들 값은 전자스크랩의 사용연도 및 제품에 따라 크게 변화하는 것으로 알려져 있다. 최근 전자스크랩으로부터 유가 및 귀금속 성분을 회수하기 위하여 습식제련법과 전기화학에 의한 방법 등 여러 가지 회수방안이 제안되기도 하였다.^{2,4)} 또한 고온의 용융공정으로 유가 및 귀금속성분을 포집금속에 농축한 후, 습식공정으로 이를 고순도화하는 복합회수공정이 제안되기도 하였다.³⁾

전자스크랩에 함유된 금속 외의 성분들인 유기물 및 산화물들은 용체의 용점을 높여 고온의 용융처리 과정에서 금속성분의 회수에 부정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 고온의 용융처리를 위해서는 전자스크랩의 전처리 과정으로 유기물의 분리 및 산화처리과정이 필요하며, 산화처리 후 생성된 복합 산화물들은 저용점의 용체를 형성시켜야 한다. 이를 위해서는 공정온도 저하를 위해 다른 산화물로 구성된 플럭스 성분의 첨가가 필요하게 된다. 이때 비중에 높은 금속성분의 회수를 용이하게 하기 위해 형성된 용체의 점도를 저하시키는 것도 금속성분의 회수를 위해서는 필수적 과정이다.

따라서 본 연구에서는 전자 스크랩 중 하나인 컴퓨터 하드디스크의 기판인 PCB 스크랩으로부터 유가 금속을 농축 회수하는 공정기술을 확립하기 위한 기초 연구로서, 고온의 용융공정으로 PCB 스크랩 중 형성된 슬래그의 저 점도화를 검토하였다. 전 처리 과정으로 PCB 스크랩 중 함유된 유기물질에 대한 산화처리 및 산화처리된 시료의 정량분석을 실시하였다. 또한 연속적인 용융이 가능하도록 산화처리된 시료를 적절한 형상의 브리켓(briquette)으로 성형하여 실험에 사용하였으며, 추가적으로 플럭스 성분을 첨가하여 PCB 함유 산화물들의 액상 슬래그화를 유도하여 PCB 스크랩으로부터 금속성분의 분리/회수를 시도하였다. 특히 PCB 스크랩의 용융처리 시 용체에 가해지는 교반력이 금속 회수율에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료준비

본 실험에서는 전자 스크랩의 일종인 컴퓨터용 하드디스크(HDD)의 PCB를 대상으로 하였다. PCB 스크랩을 파/분쇄 한 후, 약 3 kg정도의 시료를 체분리기에 넣고 일정시간 체질하여 분쇄된 PCB 스크랩을 입도별로 분리하였다. 체는 10 mesh 부터 200 mesh 까지 입도별로 사용하였다. 분리된 시료의 입도별 무게를 Table 1에 나타내었다. 대략 83%정도의 시료가 10 mesh 이상의 입도를 나타내었으며 나머지는 미세한 입도로 분포됨을 확인하였다. 미세한 입도로 분포된 시료는 PCB에 사용된 소자들이 다양한 산화물 형태로 구성되어 이들이 파쇄쇄 도중 미세한 입자로 분리된 것으로 판단된다.

2.2. 시료의 전처리

PCB 스크랩 내에는 금속성분과 함께 많은 유기물질 및 산화물들이 함유되어 있어 PCB 스크랩의 용융처리 시 유기물질에서 유리된 카본이 슬래그와 혼합되어 점도를 현저히 증가시키기 때문에⁹⁾, 본 연구에서 사용하는 고온 용융처리를 위해서는 전처리로서 유기물질의 제거가 필수적이다.¹⁰⁾ 전처리 공정은 PCB 스크랩 내에 존재하는 유기물질을 제거하는데 사용되는데, 유기금속을 효율적으로 농축 회수하기 위해서는 건식처리에 앞서 전처리 과정은 매우 중요한 공정이다. PCB 스크랩의 전처리 공정은 두 가지 단계로 구분되며, 첫 번째 단계로 유기물질을 열분해, 휘발시키는 하소(calcination)공정과 두 번째 유기물질을 완전히 태우는 소각(incineration)공정으로 구분된다. 산화처리 공정에서는 하소 후, 잔류 유기 성분을 CO₂와 물로 분해하도록 1273 K의 고온 산화성 분위기를 유지하는 공정이다.¹¹⁾ 본 실험에서는 시차중량분석장치인 Cahn사의 Cahn D-200을 사용하여 입

Table 1. Size distributions of PCB scrap after shredding and screening

MESH	1st(g)	2nd(g)	3rd(g)	4th(g)	5th(g)	average weight(g)	mass %
200	92.94	48.09	36.03	48.24	51.84	55.428	1.85
150	38.04	50.61	52.38	45.03	45.57	46.326	1.54
100	36.15	42.72	33.75	30.42	31.59	34.926	1.16
60	79.17	86.31	69.12	64.23	67.20	73.206	2.44
20	356.28	326.85	265.83	268.11	290.49	301.512	10.05
10	2397.42	2445.42	2542.89	2543.97	2513.31	2488.602	82.95

도별로 산화처리를 진행하였다. 본 실험은 용융실험에 앞서 산화처리 공정에 필요한 최적온도 및 시간 등을 정립하고자 하였다. 약 0.14 g 정도의 PCB 스크랩을 칭량하여 백금도가니에 장입하여 실험을 진행하였다. 실험은 300°C/hr의 승온 속도로 1273 K까지 승온하였고, 그 후 10시간 유지하면서 무게변화를 측정하였다. 분위기는 가스질량유량계(MFC)를 이용하여 산소:질소를 21:79의 비로 혼합하여 대기분위기와 유사토록 조절하였다. 산화 처리된 PCB 스크랩은 ICP 및 XRF를 이용하여 정량분석을 실시하였다.

2.3. PCB 산화를 슬래그 시스템

PCB에 사용된 전자부품소재들은 제조공정상 Cu, Fe, Ni 등 유기금속 및 미량의 귀금속성분과 함께 많은 산화물 및 유기물질들이 사용되기 때문에, 산화처리한 PCB 스크랩에는 SiO₂나 Al₂O₃등과 같은 산화물이 주요 구성성분으로 구성되어 있다고 보고되어있다.¹⁾ 따라서, PCB 스크랩을 고온의 용융공정으로 유기금속 회수를 고려할 때, 형성될 슬래그의 조성을 검토할 필요가 있다. 특히 슬래그조성 제어를 위해 산화 처리된 PCB 스크랩의 잔류성분들을 바탕으로 용점과 점도 등을 고려하여 첨가할 플럭스를 선정해야 할 것으로 판단된다. Fig. 1은 Al₂O₃-CaO-SiO₂ 슬래그계의 3원계 상태를 나타내었다. 점선은 등온선을 그리고 실선은 등

점도선을 의미한다.

산화 처리된 PCB 스크랩의 주요구성 산화물로 알려진 SiO₂는 용융시 chain형태의 network 고리를 형성하여 형성된 슬래그의 점도를 증가시키는 원인이 된다. CaO-SiO₂의 2원계 용체에 있어서는 CaO함량이 증가함에 따라 1473 K 내외의 비교적 저온의 액체 칼슘 실리케이트를 형성시킬 수 있으며, 50 mass %정도 첨가되는 경우, 점도가 가장 낮은 것으로 알려져 있다. 이는 CaO를 계속 첨가함에 따라 3차원 실리케이트 네트워크를 끊어주게 되어 2MO · SiO₂(orthosilicate)가 되면 모든 Si-O 사면체의 네트워크를 끊고 (SiO₄)⁴⁻의 사면체가 되어 점도가 감소하기 때문에 이러한 현상은 Al₂O₃-CaO-SiO₂의 3원계 슬래그에서도 똑같이 적용되는 것으로 보고 되어있다.^{6,7)} 온도변화에 따른 슬래그의 점도변화는 조성에 따라 큰 차이가 있지만, 일반적으로 온도 강하에 따라 점도가 급격히 증가하는 경향을 보이기 시작한다. 점도 급상승의 주 원인으로는 슬래그 내에서 결정상의 고상 석출이 최초로 시작하는 온도와 유사하다고 보고 되어 있다.⁸⁾

따라서, 본 연구에서는 선행 연구에서 유기금속 회수에 유리한 슬래그 시스템으로 보고된 Al₂O₃-CaO-SiO₂의 3성분계와 Al₂O₃-CaO-SiO₂-MgO의 4성분계 슬래그 시스템을 선택하였다.^{12,13)} Fig. 2에는 염기성 산화물 플럭스인 MgO가 첨가된 4원계 상태를 나타내었다. Case A

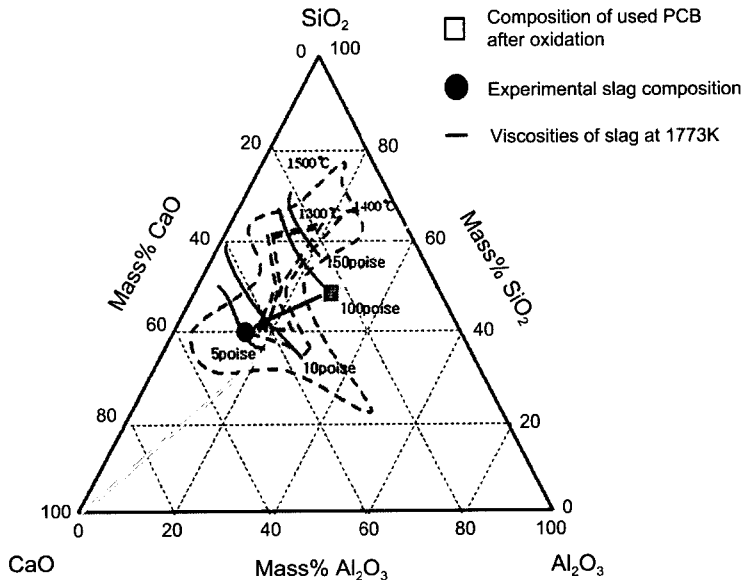


Fig. 1. A phase diagram of a ternary Al₂O₃-CaO-SiO₂ slag system.⁵⁾

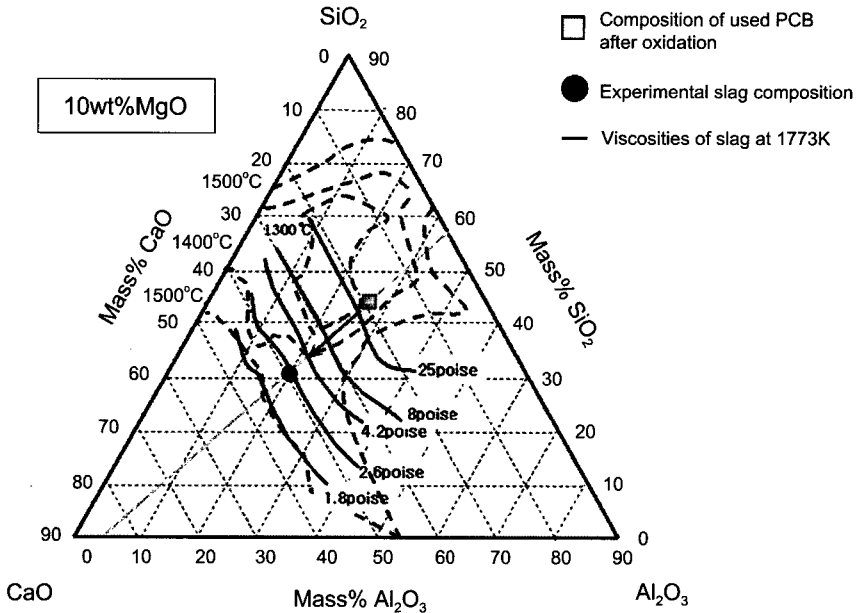


Fig. 2. A phase diagram of a quaternary Al_2O_3 -CaO- SiO_2 -10 mass %MgO slag system.⁹⁾

의 경우는 40 mass % SiO_2 -15 mass % Al_2O_3 -45 mass % CaO의 3원계 조성으로, Case B의 경우는 32 mass % SiO_2 -20 mass % Al_2O_3 -38 mass %CaO-10 mass %MgO의 4원계 조성으로 플럭스를 제조하여 실험을 진행하였다. Fig. 1과 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 본 실험에 사용된 조성의 점도는 1773 K에서 Case A는 7 P(poise), Case B는 2 P(poise)임을 확인 할 수 있다.

2.4. 브리켓 (briquette) 의 제조

산화 처리된 PCB 스크랩과 플럭스는 대부분 분말 형태이므로, 추가 장입 시 열기류에 의해 다시 노외로 배출될 수 있으므로 고온에서 연속적인 용융 작업이 이루어지기에는 곤란하다. 따라서 연속적인 용융 작업이 가능하고, 전기로에 장입하는 과정에서 분화하지 않을 정도의 강도를 유지할 수 있는 적절한 형상의 브리켓 (briquette)으로 성형하여 사용해야 한다. 브리켓은 산화 처리된 PCB 스크랩, 플럭스, 벤토나이트(bentonite), 그리고 소량의 물을 균일하게 혼합하여 고무 주형에 충전하고, 약 10kg/cm²의 정수압을 이용한 가압 성형법으로 직경 약 16 mm, 무게 5.2~6 g의 구형으로 제조하였다.

2.5. 용융 실험

산화 처리된 PCB 스크랩의 정량 분석 결과를 바탕

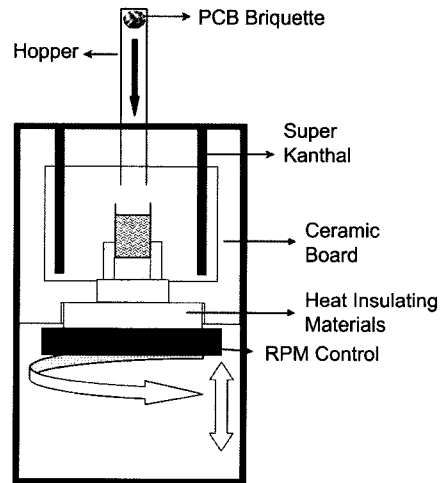


Fig. 3. Schematic diagram of the experimental apparatus.

으로 PCB 스크랩 200 g에 시약급 산화물 플럭스 성분을 첨가하여 Case A(40 mass % SiO_2 -15 mass % Al_2O_3 -45 mass %CaO)와 Case B(32 mass % SiO_2 -20 mass % Al_2O_3 -38 mass %CaO-10mass%MgO)의 슬래그를 제조하여, 유가 및 귀금속성분 회수를 위한 용융실험을 실시하였다. 또한 본 실험에서는 슬래그와 금속간의 분리가 원활하도록 도가니를 회전 시킬 수 있는 전기로를 이

용하였다. 도가니에 회전을 가하게 되면 금속 용탕과 슬래그 사이에 교반이 가해지게 되므로 유기금속의 농축 회수에 유리할 것으로 판단된다. Fig 3에 본실험에 사용된 장치의 개략도를 나타내었다. 노 상부에는 PCB스 크랩과 플럭스를 혼합 하여 제조한 브리켓을 장입할 수 있는 20 mm 지르코니아 관을 설치하였고, 발열체는 슈퍼칸탈을 이용하였다. 도가니는 내경이 약 30 mm인 알루미늄 도가니를 사용하였고, 승온 시 약 75 g 정도의 PCB스 크랩과 플럭스를 혼합하여 도가니에 충전하였고, 목표온도 도달 후 미리 제조한 브리켓을 연속적으로 장 입하여 총 200 g의 PCB 스크랩을 용융하였다. 온도는 1573 K, 1673 K, 1773 K로 유지하였고, 200 g 용융 후 도가니 회전은 약 0~300 rpm 수준까지 다양하게 변화 를 주어 실험을 진행하였다. 실험 전 과정에서 분위기는 대기상태를 유지하였다. 이때 정량분석 결과를 통한 금속성분의 함량으로부터 회수된 금속의 무게를 측정하여 금속의 회수율을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. PCB 산화처리에 따른 중량시차분석 및 정량분석 결과

PCB 스크랩의 산화 시간에 따른 중량변화를 Fig. 4 에 도시하였다. 분쇄된 PCB 스크랩의 모든 입도에서 온

도 증가에 따라 무게가 급격히 감소하는 현상이 나타나 는데, 이는 PCB스 크랩에 다량 함유된 유기물질의 열분 해 및 산화 현상에 기인한 것으로 판단된다. 특히 산화 처리 실험 후, 6시간 이후에는 무게의 변화는 더 이상 나타나지 않음을 확인 할 수 있다. 이를 통하여 적정 산화 시간이 약 6~7시간 정도 되는 것으로 판단된다. 또한 10 mesh 입도의 경우에는 10시간 이후 약간의 무 게 증가 현상이 나타났는데, 이는 PCB 스크랩에 함유 되어있는 일부 금속성분들의 산화반응에 의한 무게 증 가일 것으로 추정된다. 한편 200 mesh 입도에는 산화물 이 많기 때문에 무게감량이 작고, 10-20 mesh 입도의 시료에는 금속성분이 많이 함유되어 있고, 그 외의 입도

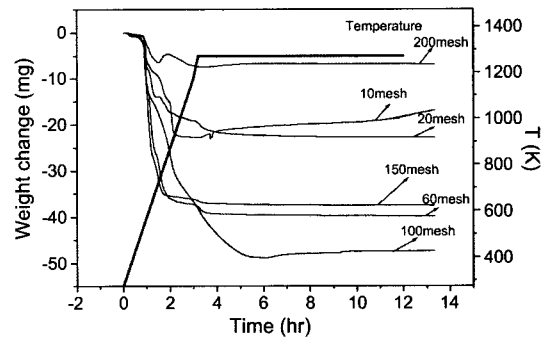


Fig. 4. Results of TG analysis of PCB scrap in each mesh size.

Table 2. Average composition of PCB considered in this study.

Composition	mass(%)	Group Product	Composition	mass(%)	Group Product
SiO ₂	29.4	Group 1=Oxides 66.37% of PCBs	Cu	24.5	Group 3=Alloy 25.63% of PCBs
Al ₂ O ₃	19.5		Sn	1.24	
CaO	15.0		Pb	0.39	
MgO	1.1		Fe	0.35	
BaO	0.63		Ag	0.21	
TiO ₂	0.38		Ni	0.13	
P ₂ O ₅	0.18		Cr	0.09	
Fe ₂ O ₃	1.13		Co	0.08	
MnO	0.04		Au	0.02	
Cr ₂ O ₃	<0.17		Pd	0.01	
Na ₂ O	<0.01		Zn	0.01	
C	0.31		Rh	<0.003	
S	0.24		Pt	<0.003	
		Group 2=Dust 0.55% of PCBs	Remainder	7.45	

에는 유기물질이 많이 포함되어 있는 것으로 판단된다.

산화 처리된 PCB 스크랩의 정량분석결과를 Table 2에 나타내었다. 산화 처리된 시료 중 산화물의 주성분은 SiO₂, Al₂O₃ 및 CaO가 각각 29.4%, 19.5%, 및 15.0% 함유된 것으로 나타났으며, 그 외 MgO, Fe₂O₃, BaO 등이 1.1%, 1.13%, 및 0.63% 정도로 소량 함유된 것으로 분석되었다. 또한 금속 성분으로는 Cu의 함량이 가장 많은 24.5% 이고, 귀금속 성분인 Ag 및 Au도 각각 0.21%, 0.02%로 상당량 함유된 것으로 나타났다.

3.2. 용융 실험 결과

선행 연구 결과¹³⁾에 의해 저융점, 저점도 조성임을 확인한 Case A와 Case B의 경우로 산화 처리된 PCB 스크랩과 플럭스를 혼합하여 온도에 따른 금속회수율을

비교분석하였다. Fig. 5에 도가니를 회전시키지 않은 상태에서의 온도변화에 따른 금속 회수율을 나타내었다. Case B가 Case A에 비해 회수율이 다소 높게 나타나는데 이는 유가 금속의 농축 회수를 위해서는 슬래그의 점도가 중요한 요소임을 나타낸다. 또한 온도가 높아질수록 금속의 회수율이 높아지는 이유는 슬래그의 유동성이 개선되므로 금속의 분리가 수월해 진 것으로 판단된다.

상기의 용융실험결과를 바탕으로 추가적으로 도가니를 회전시켜 교반력에 의한 영향을 조사하였다. 도가니의 회전속도는 100, 200, 300 rpm으로 변화시켰으며, 회전시간은 목표온도에 도달한 후 30분간 유지하였다. Fig. 6에 회전속도의 변화에 따른 금속 회수율을 나타내었다. 도가니를 회전시킨 경우 즉, 용체에 교반을 가

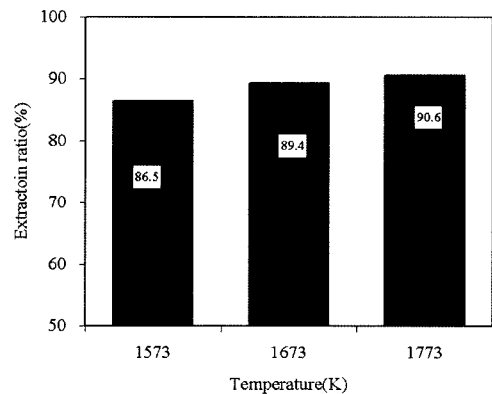
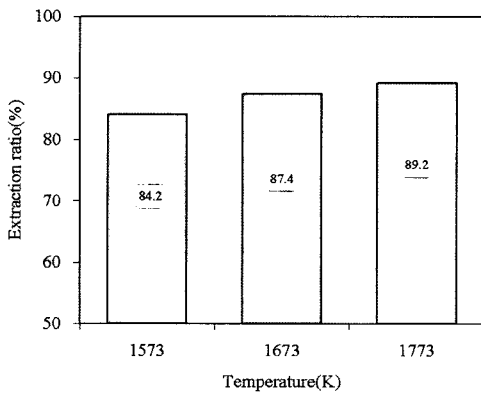


Fig. 5. Extraction ratio of valuable metal from PCB scrap with melting temperature.

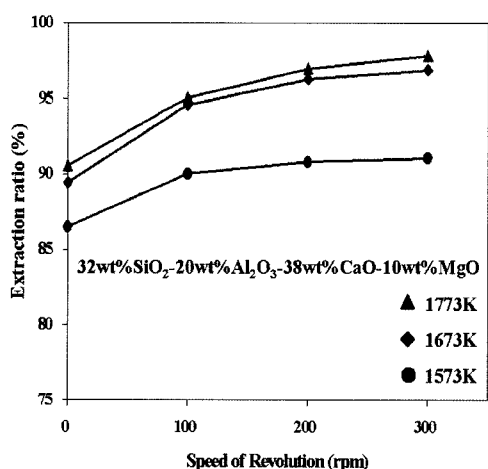
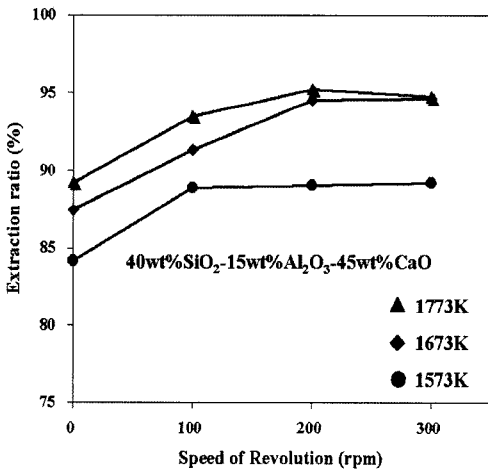


Fig. 6. Extraction ratio of valuable metal from PCB scrap with speed of revolution, temperature.

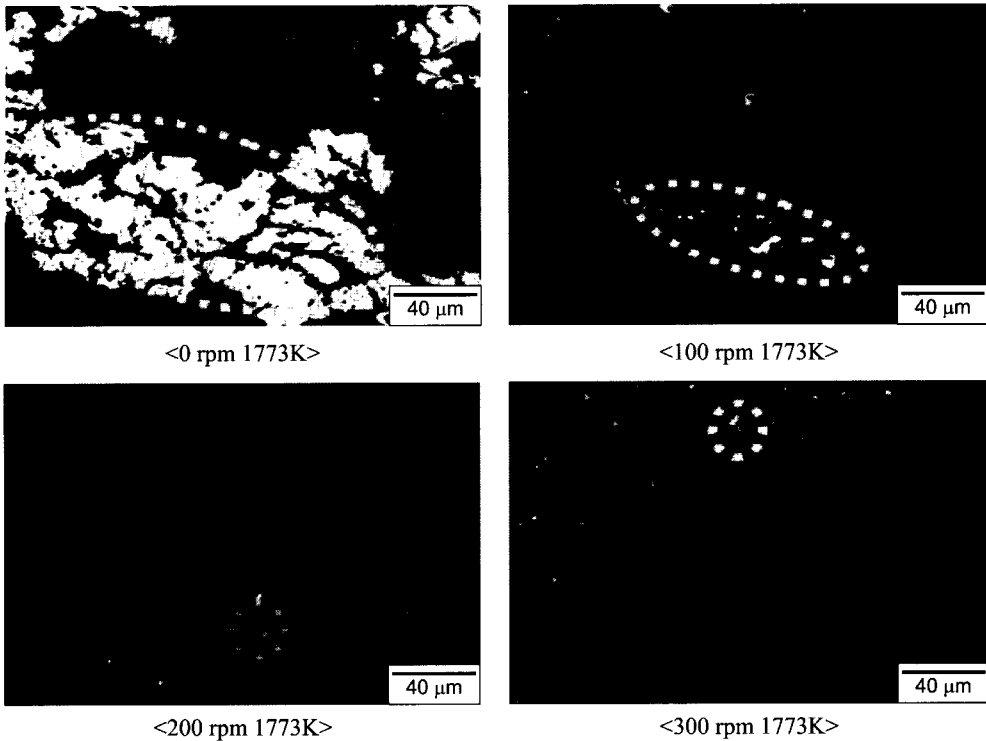


Fig. 7. Remaining metal of Case B PCB scrap with speed of revolution, 1773K.

Table 3. Metal components(86.5% v.s. 97% extraction ratio)

Composition	mass(%)		Composition	mass(%)	
	86.5% extraction	97% extraction		86.5% extraction	97% extraction
Cu	76.61	74.20	Co	0.27	0.29
Sn	10.34	11.36	Au	0.044	0.049
Pb	0.82	1.40	Zn	0.042	0.039
Fe	0.98	1.24	Pd	0.029	0.035
Ag	0.69	0.73	Al	0.16	0.20
Ni	0.43	0.46	Rh	<0.003	<0.003
Cr	0.25	0.32	Pt	<0.003	<0.003
C	0.48	0.47	S	0.0014	0.0011

한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 월등히 높은 회수율을 보였다. Case A는 1773 K에서 회전속도를 증가 시킴에 따라 약 95%정도, Case B는 약 97%정도의 회수율이 얻어졌다. 이는 교반력에 의한 슬래그와 금속간의 계면에서의 분리율이 개선되어진 것으로 판단된다. 하지만 회전속도가 200 rpm 이상에서는 회수율 증가수

준이 적은 것으로 보아 교반력에 의한 금속의 회수반응은 임계점이 존재하는 것으로 판단된다. Fig. 7에는 1773 K에서 실험 후 슬래그에 존재하고 있는 잔류 금속을 관찰한 사진을 도시하였다. 사진에서 확인 할 수 있듯이 교반력이 강해질수록 슬래그에 잔존하는 금속의 양이 적어짐을 알 수 있다.

용융실험결과 얻어진 금속 성분을 ICP 및 XRF, C/S 분석기를 이용한 정량 분석결과를 Table 3에 나타내었다. PCB 스크랩으로부터 금속성분의 회수율이 86.5%로 낮은 경우 Cu의 함량이 높았으나 금속성분의 회수율이 97%로 높아진 경우 귀금속 성분을 포함한 전반적인 금속성분의 함량이 증가하였고, 상대적으로 Cu 함량이 감소하는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 PCB 스크랩 재활용을 위한 고온 용융처리를 위해, 산화처리한 PCB 스크랩의 용융실험에서 산화잔재에 함유된 많은 성분들이 용점 및 점도의 변화에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되나, 많은 잔여 성분들의 복합적인 영향을 정량적으로 분석하기에는 큰 어려움이 있었다. 하지만 잔여 성분의 함량에 관계없이 슬래그를 저융점, 저점도화 시킬 수 있는 플럭스를 첨가하고, 용체에 일정수준의 교반력을 가하게 된다면 유가금속성분과 슬래그의 분리는 원활할 것으로 판단된다.

4. 결 론

PCB 스크랩 중 함유된 금속성분을 회수하기 위한 건식용융실험을 실시한 것으로 결과를 종합하면 다음과 같다.

1) 전처리 과정으로서 6시간의 산화처리가 적정하였고, 입도분석결과 10-20 mesh의 큰 입도에서는 금속성분이, 60-150 mesh의 중간입도에서는 유기물질에 의한 무게감량이 나타났으나, 200 mesh의 작은 입도에서는 산화물이 많아 무게감량이 상대적으로 작게 나타났다.

2) 산화처리 PCB 중 산화물의 주성분은 SiO₂, Al₂O₃ 및 CaO가 각각 29.4%, 19.5%, 및 15.0% 함유된 것으로 나타났으며, 그 외 MgO, Fe₂O₃, BaO 등이 1.1%, 1.13%, 및 0.63%정도로 소량 함유된 것으로 분석되었다. 또한 금속 성분으로는 Cu의 함량이 가장 많은 24.5% 이고, 귀금속 성분인 Ag 및 Au도 각각 0.21%, 0.02%로 상당량 함유된 것으로 나타났다.

3) 유가 금속의 원활한 농축 회수를 위해서는 PCB 스크랩을 저융점, 저점도화 시킬 수 있는 플럭스를 사용하고, 온도를 높게 유지하여 슬래그의 점도를 낮게 유지 하는 것이 유리하다.

4) 교반이 용체에 가해지면 그렇지 않은 경우에 비해 금속회수율이 매우 높게 나타났으며 1673 K, 5 P (poise) 이하의 점도에서는 약 95% 이상의 금속회수율을

얻었으며, 교반력이 일정 수준 이상 증가해도 회수율은 크게 증가 하지 않음을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 교육과학기술부 21C 프론티어 연구개발사업의 일환으로 자원재활용기술개발사업단에서 지원하고 있는 “귀금속 회수 상용화 기술 개발” 연구과제 중의 하나입니다. 본 연구를 지원해주신 모든 관계자 여러분께 감사드립니다.

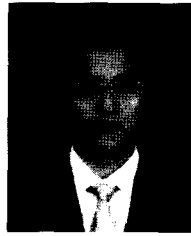
참고문헌

1. A. Bernades, I. Böhlinger, and D. Rodriguez *et al*, 1997: Recycling of Printed Circuit Boards by Melting with Oxidizing/Reducing Top Blowing Process, TMS Annual Meeting, Orlando, 363.
2. E. Jackson, 1986: Hydrometallurgical Extraction and Reclamation, Ellis Horwood, 204.
3. V. A. Ettel and B.V. Tilak, 1981: Comprehensive Treatise of Electrochemistry, vol. 2, Plenum Press, 328.
4. C. L. Mantell, 1960: Electrochemical Engineering(4th ed), McGraw-Hill Inc., 198.
5. M. Alibert, H. Gaye, and J. Geiseler *et al.*, 1995: Slag Atlas 2nd Edition, Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Germany, 353.
6. E. H. Kwon, J. W. Han, and J. C. Lee *et al.*, 2003: Korea Journal of Materials Research 13(4), 243.
7. J. E. Hoffmann, 1992: Recovering Precious Metals from Electronic Scrap, JOM 44, 43.
8. M. Alibert, H. Gaye, J. Geiseler *et al.*, 1981: Schlackenatlas Slag Atlas, Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Germany, 57.
9. B. Langanke, H. Schmalzried, 1979: Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 83, 59.
10. W. Petuskey, H. Schmalzried, 1980: Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 84, 218.
11. S. Dhara, Precious Metals, Ed-G. Vermeylen and R. Verb, 1987: Processings of 11th International precious Metals institute Conference, Brussels, Belgium, 253.
12. J. W. Han, E. H. Kwon, and S. S. Han *et al*, 2003: Materials Science Forum, 439, 154.
13. E. H. Kwon, S. H. Jang, and J. W. Han *et al*, 2005: Korea Journal of Materials Research 15(1), 31.



申 東 燁

- 2004년 인하대학교 재료공학부 공학사
- 2006년 인하대학교 금속공학과 공학석사
- 現, 인하대학교 금속공학과 박사과정



李 常 東

- 2006년 인하대학교 재료공학부 공학사
- 2008년 인하대학교 금속공학과 공학석사
- 現, 동부제강(주) 기술개발팀 근무



鄭 現 富

- 2006년 인하대학교 재료공학부 공학사
- 現, 인하대학교 금속공학과 석사과정



俞 炳 敦

- 1974년 경북대학교 금속공학과 공학사
- 1977년 연세대학교 금속공학과 공학석사
- 1983년 Motan University(Austria) 철야금학 공학박사
- 現, 인하대학교 신소재공학부 정교수



韓 晶 煥

- 1987. 9-1990. 8 Metal Processing Center, McGill Univ. Canada Post-doctor Fellow
- 1989. 9-1990. 8 CRL BHP, Australia Consultant
- 1990. 9-1994. 6 산업과학기술연구소, Rist 주임연구원
- 1994. 7-1996. 2 (주) 포항제철 기술연구소 책임연구원
- 現재 인하대학교 신소재공학부 정교수



鄭 鎮 己

- 現재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
- 당 학회지 제10권 6호 참조