

## PCB스크랩으로부터 유가금속성분 회수를 위한 용융처리

권의혁 · 장성환 · 한정환<sup>†</sup> · 김병수\* · 정진기\* · 이재천\*

인하대학교 재료공학부  
\*한국지질자원연구원

## Melting of PCB scrap for the Extraction of Metallic Components

Eui-Hyuk Kwon, Sung-Hwan Jang, Jeong-Whan Han<sup>†</sup>, Byung-Su Kim,  
Jin-Ki Jeong and Jae-Chun Lee\*

School of Materials Science and Engineering, Inha University  
\*Minerals and Materials Processing Division, KIGAM

(2004년 11월 23일 받음, 2004년 12월 23일 최종수정본 받음)

**Abstract** It is well known that PCB (Printed Circuit Board) is a complex mixture of various metals mixed with various types of plastics and ceramics. In this study, high temperature pyro-metallurgical process was investigated to extract valuable metallic components from the PCB scrap. For this purpose, PCB scrap was shredded and oxidized to remove plastic materials, and then, quantitative analyses were made. After the oxidation of the PCB scrap, 30.6wt%SiO<sub>2</sub>, 19.3wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 14wt%CaO were analyzed as major oxides, and thereafter, a typical composition of 32wt%SiO<sub>2</sub>-20wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-38wt%CaO-10wt%MgO was chosen as a basic slag system for the separation of metallic components. Moreover a size effect of crushed PCB scrap was also investigated. During experiments a high frequency induction furnace was used to melt and separate metallic components. As a result, it was found that the size of oxidized PCB scrap was needed to be less 0.9 mm to make a homogeneous liquid slag and to recycle metallic components over 95%.

**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, 이러한 결과 전자 부품의 사용 수명의 단축 및 이에 따른 전자스크랩의 발생량이 급속도로 증가하기 시작하였다. 전자스크랩이라 함은 전자제품의 제조 시에 발생하는 불량품과 컴퓨터, PCB와 컨넥터, 플라스틱 또는 금속 케이스 등과 같은 기 사용 전자제품의 폐기 시에 발생하는 폐기물을 말한다. 전자스크랩 내에는 기본적으로 유가 성분인 Cu, Fe, Ni, Al 등과 귀금속 성분인 Au, Ag, Pd 등의 함유로 인해 부가가치가 매우 크기 때문에 필수적으로 유가 및 귀금속성분이 재활용되도록 회수방안이 검토되어야 한다. 그러나 전자스크랩 내에는 다양한 금속성분과 함께 산화물과 유기물질 등이 복합적으로 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. Bernades<sup>1)</sup> 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. 그러나 전자스크랩의 사용연도 및 제품에 따라 크게 변화하는 것으로 알려져 있다. 최근 이러한 전자스크랩으로부터 유가 및 귀금속 성분을 회수하기 위하여 습식제련법과 전기화학에 의한 방법 등 여러 가지 회수방안이 제안되기도 하였다.<sup>2,4)</sup> 또한 고온의 용융공정으로 유가 및 귀금속성분을 포집금속에 농축한 후, 습식공정으로 이를 고순도화하는 복합회수공정이 제안되기도 하였다.

전자스크랩에 함유된 금속 외의 성분들인 유기물 및 산화물 들은 용체의 용점을 높여 고온의 용융처리과정에서 금속 성분의 회수에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 고온의 용융처리를 위해서는 전자스크랩의 전처리 과정으로 유기물의 하소 및 산화과정이 필요하며, 산화처리 후 생성된 복합산화물들의 용체를 형성시키고, 비중 차에 의한 고비중의 금속 성분의 회수를 용이하게 하기 위해 형성된 용체인 슬래그의 용점 및 점도의 저하를 목적으로 플럭스의 첨가는 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 전자스크랩 중 하나인 컴퓨터 하드디스크의 기관인 PCB 스크랩으로부터 귀금속 성분을

<sup>†</sup>E-Mail : jwhan@inha.ac.kr

회수하기 위한 기초 연구로서 고온의 용융공정으로 PCB 스크랩 중 산화물의 슬래그화 및 금속성분의 분리를 위해 형성된 슬래그의 점도 변화를 조사하였다. 전 처리 과정으로 PCB 스크랩 중 함유된 유기물질에 대한 산화처리 조건이 조사되었고, 산화처리된 시료의 정량분석을 실시하였다. 또한 산화처리된 PCB 스크랩의 성분분석 결과로부터 귀금속분리에 필요한 적정 유동성을 가진 슬래그조성을 선정하였으며, PCB 스크랩에 추가적으로 플럭스성분을 첨가하여 슬래그를 조제하여 PCB 스크랩으로부터 금속을 회수하고자 하였다. 특히 산화 처리된 PCB 스크랩의 용융처리시 스크랩의 입도가 금속성분 회수에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 PCB 산화물 슬래그 시스템

PCB에 사용된 전자부품소재들에는 제조공정상 Cu, Fe, Ni 등 유가금속 및 미량의 귀금속성분과 함께 많은 산화물 및 유기물질 등이 사용되기 때문에, 산화처리한 PCB 스크랩은  $\text{SiO}_2$ 나  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 등과 같은 산화물로 구성되어 있다고 보고하였다.<sup>1)</sup> 따라서, PCB 스크랩을 고온의 용융공정으로 유가금속회수를 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CaO- $\text{SiO}_2$  슬래그계의 3원계 상태도를 나타내었다. 점선은 등온선을 그리고 실선은 등점도선을 의미한다.

산화 처리된 PCB 스크랩의 주요 구성 산화물로 알려진  $\text{SiO}_2$ 는 용해시 고리형태의 연결망을 형성하여 형성된 슬래그의 점도를 증가시키는 원인이 된다. CaO- $\text{SiO}_2$ 의 2

원계 용체에 있어서는 CaO함량이 증가함에 따라 1473 K 내외의 비교적 저온의 액체 칼슘 실리케이트를 형성시킬 수 있으며, 50 wt% 정도 첨가되는 경우, 점도가 가장 낮은 것으로 알려져 있다. 이는 CaO를 계속 첨가함에 따라 3차원 실리케이트 연결고리를 끊어주게 되어  $2\text{MO} \cdot \text{SiO}_2$ (orthosilicate)가 되면 모든 Si-O 사면체의 연결고리를 끊고  $(\text{SiO}_4)^{4-}$ 의 사면체가 되어 점도가 감소하기 때문으로 이러한 현상은  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CaO- $\text{SiO}_2$ 의 3원계 슬래그에서도 똑같이 적용되는 것으로 보고 되어져 있다.<sup>6,7)</sup> 온도 변화에 따른 슬래그 점도변화는 조성에 따라 큰 차이가 있지만, 일반적으로 온도 강하에 따라 점도가 급격히 증가하는 경향을 보이기 시작한다. 점도 급상승의 주 원인으로서는 슬래그 내에서 결정상의 고상 석출이 최초로 시작하는 온도와 유사하다고 보고 되어 있다.<sup>8)</sup> 따라서, 온도 변화에 따른 슬래그의 점도를 측정하는 경우, 슬래그의 용점을 대략적으로 유추할 수 있을 것으로 판단되며, 본 연구의 관심인 다양한 성분으로 구성된 산화 처리된 PCB 스크랩에 플럭스를 추가적으로 첨가하여 조제한 슬래그의 측정된 점도로부터 PCB 스크랩의 고온의 용융처리 및 금속 성분의 비중분리 가능여부를 판단할 수 있을 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CaO- $\text{SiO}_2$ -MgO의 4성분계 슬래그 시스템을 선택하였다. Fig. 2에서 보듯이, PCB의 주요 성분인  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ 의 주요 성분인 CaO와 MgO 같은 염기성 산화물을 플럭스 성분으로 첨가하여 저점도 슬래그를 조제하여 PCB에서 금속성분을 회수하는데 알맞은 슬래그 성분을 조사하였다.

### 2.2 시료의 전처리

PCB 스크랩으로부터 유가 금속을 회수 시, PCB 스크랩의 전처리 과정으로서 파쇄, 햄머밀, 그리고 입도선

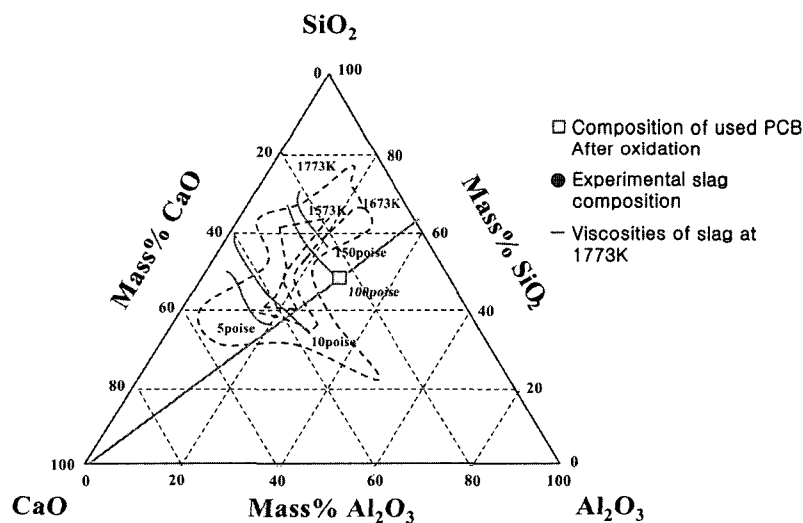


Fig. 1. A phase diagram of a ternary  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CaO- $\text{SiO}_2$  slag system.<sup>5)</sup>

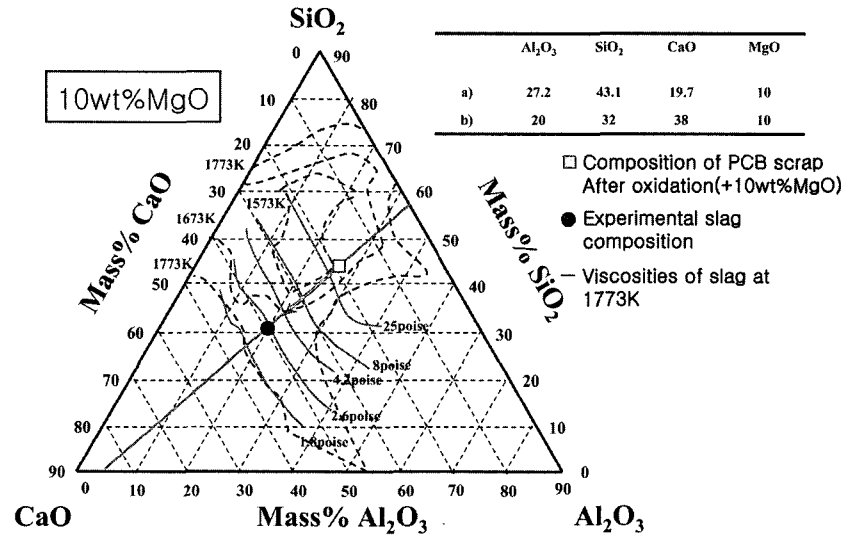


Fig. 2. A phase diagram of a quaternary Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub>-10wt%MgO slag system.<sup>9)</sup>

별의 공정이 필요하다. 또한 PCB 스크랩 내에는 금속 성분과 함께 많은 유기물질 및 산화물들이 함유되어 있고 PCB 가열시 유기물질에서 유리한 카본이 슬래그와 혼합되어 점도를 현저히 증가시키기 때문에,<sup>10)</sup> 본 연구에서 사용하는 고온 용융처리를 위해서는 전처리로서 유기물질의 제거가 필수적이다. PCB 스크랩의 전처리 공정은 두 가지 단계로 구분되어질 수 있으며, 첫 번째 단계로 유기물질을 열분해, 휘발시키는 하소(incineration)공정과 두 번째 유기물질을 완전히 태우는 산화처리(oxidation)공정으로 구분된다. 산화처리공정에서는 하소 후, 잔류 유기성분을 CO<sub>2</sub>와 물로 분해하도록 1273 K의 고온 산화성 분위기를 유지하는 공정이다.<sup>11)</sup>

### 2.3 슬래그 점도측정 실험

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO의 4성분계 슬래그 시스템의 조성에 대한 슬래그를 조절하기 위해 시약급 순수 플럭스 성분을 V 믹서에서 혼합한 후, 건조기에서 373 K의 온도로 약 10시간 이상 건조하였다. 순수한 플럭스만으로 이루어진 슬래그와 산화처리시킨 PCB 스크랩을 플럭스 성분들과 함께 혼합하여 조절한 슬래그로 나누었다. 점도측정에는 Brookfield사의 DV-II+ 모델의 점도계가 사용되었다.<sup>10)</sup> Ar분위기 하에서 점도측정을 수행하였으며 회전형 점도측정을 위해서 실린더 타입의 도가니와 스피ndl을 사용하였다.

### 2.4 용융 실험

산화 처리된 PCB 스크랩의 정량 분석 결과를 바탕으로 산화처리된 PCB 스크랩 40 g에 flux성분을 첨가하여 20%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-38wt%CaO-32wt%SiO<sub>2</sub>-10wt%MgO의 슬래그계를 조절하여, 유기 및 귀금속성분 회수를 위한 용융실

험을 실시하였다. 이때 슬래그 하부에 응집 회수된 금속의 무게를 측정하여 회수율을 판단하였다. 용융실험은 고주파 유도로에서 실시하였다. 일반적인 고주파 유도 가열의 경우, 온도 조절이 용이치 않으며, 본 연구에서는 탄소 도가니를 간접 가열하는 방식을 사용하여 온도조절을 용이하게 하였다. 이때 얻어진 온도 조절곡선을 이용하여 선정된 온도로부터, 용융물의 온도를 추정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 PCB 산화처리에 따른 중량시차분석 및 정량 분석 결과

PCB 스크랩을 산화처리한 결과, 무게가 감소하는 현상이 나타나는데 이는 PCB 스크랩에 함유된 유기물질의 열분해, 산화현상에 의한 것으로 판단된다. 특히 산화처리 실험 후, 4시간 후에는 무게의 변화는 더 이상 나타나지 않음을 볼 수 있었는데, 이것으로부터 적정 산화 시간이 약 5~7시간 정도 되는 것으로 판단된다. 이를 토대로 5시간동안 파분쇄한 PCB 스크랩을 산화처리하였고 산화 시간에 따른 중량변화를 Fig. 3에 나타내었다.

산화처리된 PCB 스크랩의 정량분석결과를 Table 1에 나타내었다. 산화처리 시료 중 산화물의 주성분은 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 CaO가 각각 30.6, 19.3 및 14.0% 함유된 것으로 나타났으며, 그 외 MgO, BaO, TiO<sub>2</sub> 등이 1.1, 0.63 및 0.38%로 소량 함유된 것으로 분석되었다. 또한 금속 성분으로는 Cu의 함량이 가장 많은 21.1%이고, PCB 스크랩 중 귀금속성분인 Ag 및 Au도 각각 0.21, 0.02%로 상당량 함유된 것으로 분석되었다.

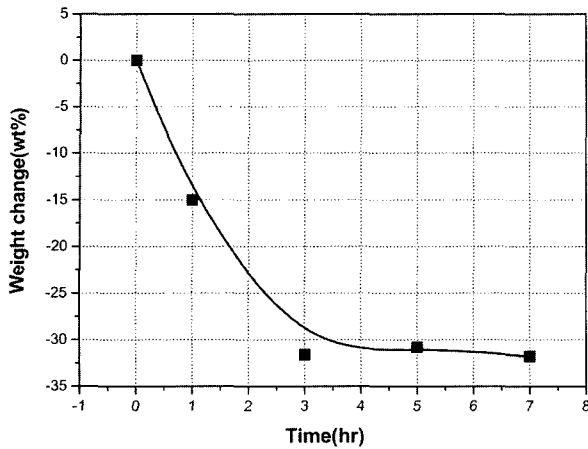


Fig. 3. Weight reduction of PCB scrap after oxidation.

### 3.2 조제된 슬래그의 점도측정 결과

PCB 스크랩을 용해처리하기 위한 기초연구로서 산화처리 시료에 대한 정량분석을 실시하였고, 그 결과, Table 4와 같이 산화처리시료 중 산화물의 주성분은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  및  $\text{CaO}$ 가 각각 30.6, 19.3 및 14.0%로 분석되었다. 산화처리 시료만의 상태로서, 기타 성분을 제외한 3원상태만을 가정하고 각 성분의 함량을 100%로 다시 환산하면 각각 47.9, 30.2 및 21.9%가 된다. 이 조성은 Fig. 1의 폐곡선 내, 우 상단에 위치하여 용점은 1773 K 내외로 추정되나 점도가 100poise 이상으로 매우 높은 상태로 예상되며 금속성분의 비중분리에 적합하지 않다고 생각된다. 예비실험결과, 단순 가열에 의해서는 1773 K에서도 산화처리한 PCB 스크랩은 용융되지 않았다. 이는 시료의 특성상 상들이 분리된 상태에서 고융점의 산화물들이 공정 반응이 어려워 용융되지 않은 것으로 판단되며, 귀금속

성분의 분리를 위해서는 용체의 형성이 중요하며 형성된 용체의 점도가 고려되어야 한다. 따라서 이를 용융시키기 위해서는 추가적으로 순수한 플럭스성분을 적절히 첨가하여야 할 것으로 생각된다.

이러한 결과를 바탕으로 용융처리에 적합한 용점 및 점도를 가진 슬래그 조성을 얻기 위해, Fig. 1의 평형상태도로부터 Table 2의 슬래그 성분에 제시된 조성에 대한 점도측정실험을 우선 실시하였다. 특히 산화처리된 PCB 스크랩에는  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 높으며, 이 함량을 기준으로 추가의 플럭스성분을 첨가하는 경우에 대하여 검토하였다. 그러나 용점을 낮게 관리하기 위해 PCB의 주요 성분인  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 와  $\text{SiO}_2$ 의 함량을 기준으로  $\text{CaO}$ 와  $\text{MgO}$ 를 첨가하여 슬래그 성분을 조정하였다.

Fig. 4는 순수한 플럭스만으로 조제한  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{CaO}$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{MgO}$  슬래그계의 조성의 변화(A-C)에서 온도에 따른 점도의 측정치를 나타낸 그림이다. 20wt% $\text{Al}_2\text{O}_3$ -30wt% $\text{CaO}$ -40wt% $\text{SiO}_2$ -10wt%  $\text{MgO}$ 의 슬래그의 경우, 1773 K에서 5.9poise, 1673 K에서 11.8poise, 1623 K에서 18.2poise의 점도를, 20wt% $\text{Al}_2\text{O}_3$ -35wt% $\text{CaO}$ -35wt% $\text{SiO}_2$ -10wt% $\text{MgO}$ 의 슬래그의 경우, 1773 K에서 5.8poise, 1673 K에서 8.4 poise, 1623 K에서 16.8poise의 점도를 보였다. 20wt%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -38wt% $\text{CaO}$ -32wt% $\text{SiO}_2$ -10wt%  $\text{MgO}$  슬래그의 경우에는 1773 K에서 1673 K에서 각각 2.6, 7.2poise를 나타내어 이전 슬래그에 비해 상대적으로 낮은 점도를 나타내고 있다. 특히 1773 K에서는 5 poise 이내의 점도를 보여 금속성분의 비중분리에 필요한 점도가 얻어짐을 추정할 수 있다.<sup>12)</sup>

### 3.3 용융실험

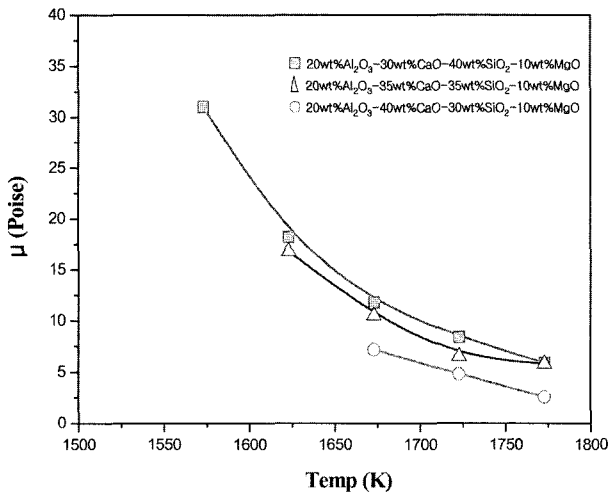
상기의 점도측정 결과를 바탕으로, 1773 K에서 비교적

Table 1. Average composition of Printed Circuit Boards

Composition	wt (%)	Group Product	Composition	wt (%)	Group Product
$\text{SiO}_2$	30.6	Group 1 = Oxides 66.37% of PCBs	Cu	21.1	Group 3 = Alloy 25.63% of PCBs
$\text{Al}_2\text{O}_3$	19.3		Sn	3.24	
$\text{CaO}$	14.0		Pb	0.39	
$\text{MgO}$	1.1		Fe	0.35	
BaO	0.63		Ag	0.21	
$\text{TiO}_2$	0.38		Ni	0.13	
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.18		Cr	0.09	
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.13		Co	0.08	
MnO	0.04		Au	0.02	
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	<0.17		Pd	0.01	
$\text{Na}_2\text{O}$	<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	

**Table 2.** Chemical compositions of slag system considered in this study.

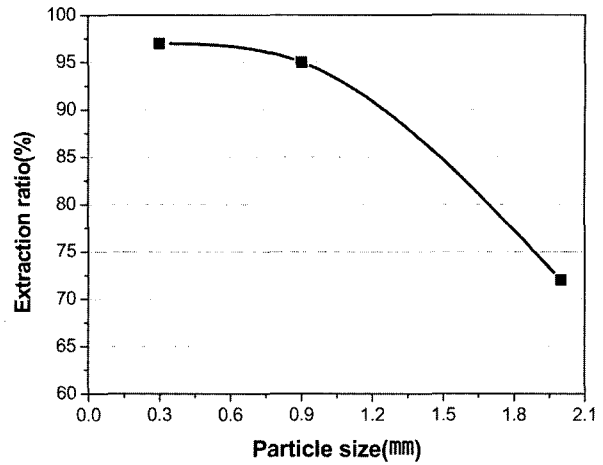
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Basicity (CaO/SiO <sub>2</sub> )	Remarks
	(wt%)					
A	20	30	40	10	0.75	
B	20	35	35	10	1	pure flux
C	20	38	32	10	1.19	



**Fig. 4.** Viscosities of the 20wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub>-10wt%MgO slags at different basicity(0.75-1.19).

낮은 점도를 나타낸 20wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-38wt%CaO-32wt%SiO<sub>2</sub>-10wt%MgO 슬래그시스템에 해당된 플럭스 성분을 산화처리된 PCB 스크랩에 첨가하여, 용융 실험을 수행하였다. Fig. 2에 있는 상태도에 따르면, 이 슬래그 시스템은 약 1723 K의 용점을 가지며 회수 실험을 한 1773 K에서 2poise의 점도를 가지고 있는 것으로 판단된다. 정량 분석 결과를 통해 금속 성분의 함량으로부터 회수된 금속의 무게를 측정하여 금속의 회수율을 측정하였다.

특히, 산화 처리한 PCB의 입도가 금속 회수에 미치



**Fig. 5.** Metals recovery change by particle size of used PCB.

는 영향을 조사한 결과, 입도를 2, 0.9, 0.3 mm로 변화시킴에 따라 각각 72%, 95%, 97%의 금속 성분의 회수율이 얻어졌고, 이를 Fig. 4에 나타내었다. 결국, 0.9 mm보다 작은 크기로 파쇄한 PCB는 슬래그 성분 사이에 균질한 혼합이 이루어졌고, 이에 따라 95% 이상의 회수율이 나타남을 확인하였다.

Table 3에는 입도별 회수실험결과 얻어진 금속 성분의 정량 분석한 결과를 나타내었다. PCB 스크랩으로부터 금속성분의 회수율이 72%로 낮은 경우 Cu의 함량이 높았으나 금속성분의 회수율이 95%로 높아진 경우 귀금속 성분을 포함한 전반적인 금속성분의 함량이 증가하였고, 상대적으로 Cu의 함량이 감소하는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 PCB 스크랩 재활용을 위한 고온 용융처리를 위해, 산화처리한 PCB 스크랩의 용해실험에서 산화잔재에 함유된 많은 성분들이 용점 및 점도의 변화에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되나, 많은 잔여 성분들의 복합적인 영향을 정량적으로 분석하기에는 큰 어려움이 있었다. 그러나, 잔여 성분의 함량에 관계없이 용융온도를 올리면 슬래그의 점도를 낮추는 것이 가능하다

**Table 3.** Metal components(72% v.s. 95% extraction ratio)

Composition	wt (%)		Composition	wt (%)	
	2 mm (72% extraction)	0.9 mm (95% extraction)		2 mm (72% extraction)	0.9 mm (95% extraction)
Cu	77.45	75.76	Co	0.23	0.30
Sn	9.08	11.60	Au	0.038	0.05
Pb	0.21	1.43	Zn	0.043	0.04
Fe	0.68	1.27	Pd	0.017	0.04
Ag	0.62	0.75	Al	0.3	0.02
Ni	0.38	0.47	Rh	<0.003	<0.003
Cr	0.17	0.33	Pt	<0.003	<0.003
C	0.47	0.48	S	0.0017	0.0011

고 판단되며, 이러한 낮은 점도의 슬래그에서는 유가금속 성분과 슬래그의 분리는 원활할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

PCB 스크랩 중 함유된 금속성분을 회수하기 위한 건식용융실험을 실시하였다. 전처리 과정으로 PCB 스크랩을 산화처리 한 후, 정량분석 한 결과 산화처리 PCB 중 산화물의 주성분은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  및  $\text{CaO}$ 가 각각 30.6, 19.3 및 14.0% 함유된 것으로 나타났으며, 그 외  $\text{MgO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{TiO}_2$  등이 1.1, 0.63 및 0.38%로 소량 함유된 것으로 분석되었다. 또한 금속성분으로는  $\text{Cu}$ 의 함량이 가장 많은 21.1%이고, PCB 스크랩 중 귀금속성분인  $\text{Ag}$  및  $\text{Au}$ 는 각각 0.21, 0.02%로 나타났다.

이들 금속과 귀금속성분의 분리에 적합한 4성분계 슬래그 시스템으로 20wt% $\text{Al}_2\text{O}_3$ -38wt%  $\text{CaO}$ -32wt% $\text{SiO}_2$ -10wt% $\text{MgO}$ 를 선정하였으며 이 슬래그 조성의 경우에는 1773 K에서 2.6poise를 나타내어 금속성분의 분리에 유리한 조성으로 판단하였다. 상기의 정량분석 결과를 토대로 산화 처리한 PCB에 플럭스 성분을 첨가하여 20wt% $\text{Al}_2\text{O}_3$ -38wt% $\text{CaO}$ -32wt% $\text{SiO}_2$ -10wt% $\text{MgO}$  슬래그를 만들어 용융 실험을 수행하였다. 그 결과 0.9 mm보다 작은 크기로 파쇄한 PCB는 기존의 산화물과 첨가된 플럭스 사이에 균질한 혼합이 이루어졌고, 이에 따라 95%이상의 회수율이 나타남을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 논문은 과학기술부 21C 프론티어 연구개발사업의 일환으로 산업폐기물 재활용 기술개발 사업단의 연구비 지원하에 있는 “유가금속 회수를 위한 OA기기의 건식

처리기술” 연구과제 중의 하나입니다. 본 연구를 지원해주신 모든 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

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