

## Clay-EAF Dust계 소지의 소결온도 범위에 미치는 $Al_2O_3$ 의 영향

김광수 · 강승구<sup>†</sup> · 이기강 · 김유택 · 김영진 · 김정환

경기대학교 첨단산업공학부 신소재공학전공  
(2003년 4월 8일 접수; 2003년 4월 22일 승인)

### The Effect of $Al_2O_3$ upon Firing Range of Clay-EAF Dust System Body

Kwang-Soo Kim, Seunggu Kang,<sup>†</sup> Ki-Gang Lee, Yoo-Taek Kim, Young-Jin Kim, and Jung-Hwan Kim

Department of Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon 442-760, Korea

(Received April 8, 2003; Accepted April 22, 2003)

#### 초 록

금속 제련공정에서 배출되는 특정폐기물인 EAF(Electrical Arc Furnace) dust를 점토와 혼합하여 건축용 벽돌을 제조함에 있어  $Al_2O_3$ 의 첨가가 소결범위에 미치는 영향을 연구하였다.  $Al_2O_3$ 가 첨가되지 않은 시편은 1200-1250°C에서 과량의 액상에 의해 기포가 형성되고 개기공(open pores)이 감소함으로 겉보기 밀도가 크게 감소하였으며 1250°C 이상에서는 기포가 시편 외부로 소멸되어 흡수율이 증가되었다. 그러나  $Al_2O_3$ 가 첨가된 Clay-Dust 계 소결체는 1200-1250°C 구간에서 소결온도에 따른 밀도 변화율이 크게 감소되었고, 1250°C 이상에서는 흡수율(%)의 증가율이 둔화되었다.  $Al_2O_3$ 가 첨가되지 않은 시편은 1275°C에서 소결된 경우 cristobalite상이 주된 상인 반면, mullite( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ )상은 소량 합성되었고, 원료성분인 hematite( $Fe_2O_3$ )는 소멸되지 않아 액상이 과량 생성되는 조성임을 확인하였다. 반면  $Al_2O_3$ 가 15 wt% 첨가된 시편의 경우, 1275°C에서 cristobalite는 완전 소멸되고 mullite상이 합성되어 주상이 되며, hematite 상이 일부  $Al_2O_3$ 와 반응하여 hercynite( $FeAl_2O_4$ )상을 형성하여 액상 생성량이 많지 않을 것으로 분석되었다. 이상의 결과로부터 Clay-Dust계에  $Al_2O_3$ 를 첨가하면 액상의 발생량과 특성 및 결정상 종류를 변화시켜줌으로써 시편물성의 변화율을 감소시켜 소결온도범위를 넓히는 효과가 있는 것으로 분석되었다.

#### ABSTRACT

The effects of  $Al_2O_3$  addition upon the sintering range of clay-EAF dust (the specified wastes produced from steel making process) system body which would be used as a constructing bricks were investigated. The slope of apparent density to sintering temperature decreased for Clay-dust body containing 5~15 wt%  $Al_2O_3$  sintered at 1200-1250°C, and the absorption(%) of specimen sintered above 1250°C decreased due to the formation of open pores produced by pore bloating. For the specimen without any  $Al_2O_3$  addition sintered at 1275°C, the major phase was cristobalite, the small amount of mullite ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) formed and the hematite ( $Fe_2O_3$ ) remained. In the Clay-dust system body containing  $Al_2O_3$  15 wt%, however, the cristobalite disappeared and the major phase was mullite. Also the part of  $Al_2O_3$  reacted with hematite to form hercynite ( $FeAl_2O_4$ ). From the these results, addition of  $Al_2O_3$  to Clay-dust system body enlarges a sintering range; decreasing an apparent density and absorption slop to sintering temperature owing to consumption of liquid phase  $SiO_2$  at higher temperature and gas-forming component  $Fe_2O_3$  at reduced atmosphere which would decrease an amount of liquid formed and increase the viscosity of the liquid produced during the sintering process.

**Key words** : EAF dust, Sintering range,  $Al_2O_3$ , Apparent density, Flux, Mullite, Hematite

#### 1. 서 론

최근 우리나라 폐기물의 발생현황을 보면 생활폐기물의 경우에는 1993년 이래로 그 양이 줄어드는 반면 산업장 폐기물의 경우에는 늘어나는 추세이다. 그 중 특정폐기물인 EAF dust는 전기로 제강을 하는 제강업체에서 고

철을 용해할 때 발생하는 분진으로 국내 전기로 제강업체 고철 소비량의 약 1.5 wt%인 300,000톤/년으로 추정되고 있다.<sup>1)</sup> EAF dust는 그동안 대부분 매립으로 처리되어 왔으나 매립지 확보의 한계성과 침출수로 인한 토양 및 지하수의 오염 등의 문제점을 갖고 있어 그 해결방안으로 EAF dust에 존재하는 유가금속 회수,<sup>1,2)</sup> 시멘트 고화에 의한 처리<sup>3)</sup> 등 다양한 방법이 연구되고 있다. 그러나 유가금속 회수의 경우에는 고가의 설비비와 운영비로 인하여 비경제적이고, 아스콘 채움재, 공정재 및 매립에 의한 처리방법은 장기간에 걸친 안정성이 아직 검증되지 않

<sup>†</sup>Corresponding author : Seunggu Kang  
E-mail : sgkang@kyonggi.ac.kr  
Tel : +82-31-249-9767 Fax : +82-31-249-9775

은 상태이다.

최근 EAF dust를 점토와 혼합, 소결하여 건축용 벽돌을 제조하거나<sup>4,6)</sup> 용융 처리하여 유리 원료화 하는 방법<sup>7,9)</sup> 등이 국내에서 활발히 연구되고 있다. 특히 첫번째 방법은 지정 폐기물의 안정한 처리와 동시에 건설재를 제조하는 방법이어서 경제적으로 폐기물의 대량처리가 용이하다는 장점이 있다. 그런데 EAF dust 내에는 분위기에 따라 flux 성분으로 작용할 수 있는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 약 40 wt% 함유되어 있어 소결과정에서 SiO<sub>2</sub>와 공정반응(eutectic reaction)을 하여 액상을 다량 형성한다. 이러한 액상형성은 저온소결을 유도하여 제품의 강도 및 에너지 절감에 기여하는 반면 과량 생성되면 소결체의 형상이 무너지거나 표면이 터지는 등의 불량 원인이 된다. 즉 소결온도범위가 좁아지게 되어 온도구배가 큰 대량생산용 킬른에서 제품 생산이 어렵게 된다.

본 연구에서는 Clay-dust계 시편의 소결과정 중에서 생성되는 액상의 특성 및 결정상 종류를 제어함으로써 소결범위를 넓히고자 하였다. 이를 위하여 첨가제로서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 선정하였다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 soda lime silicate 유리에서 망목간 결합을 유도하여 유리의 점도를 높이는 중간제(intermediates)역할을 할 뿐만 아니라, SiO<sub>2</sub>와 반응하여 mullite (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>)상 등을 생성할 수 있으므로, 소결과정에서 생성되는 액상의 특성 및 시편내 상변화를 제어하는데 적합한 성분으로 판단되었기 때문이다.

## 2. 실험방법

실험에 사용된 원료는 적점토, EAF dust, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(99%)이며 각 시료의 성분비율은 Table 1에 나타내었다. 폐기물인 dust와 적점토는 4분법에 의해 채취하여 40 mesh 이하의 미분으로 분쇄하여 사용하였다. 시편내 EAF dust의 함량은 5~10 wt%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량은 5~15 wt%로 변화시켰다. 본 실험에서 제조된 시편의 조성을 SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3성분계 상태도상에 표시하여 Fig. 1에 나타내었다. 시편은 유압식 프레스를 이용하여 150 MPa의 압력으로 일축 성형하였다. 성형시편은 90°C/24 h 건조한 뒤, 1100~1300°C/2 h에서 소결하였다. 소결시 승온 속도는 10°C/min이며 노냉시켰다.

제작된 시편의 겉보기 밀도와 흡수율은 Archimedes method를 이용하여 측정하였다. 결정상 확인은 X-ray 회

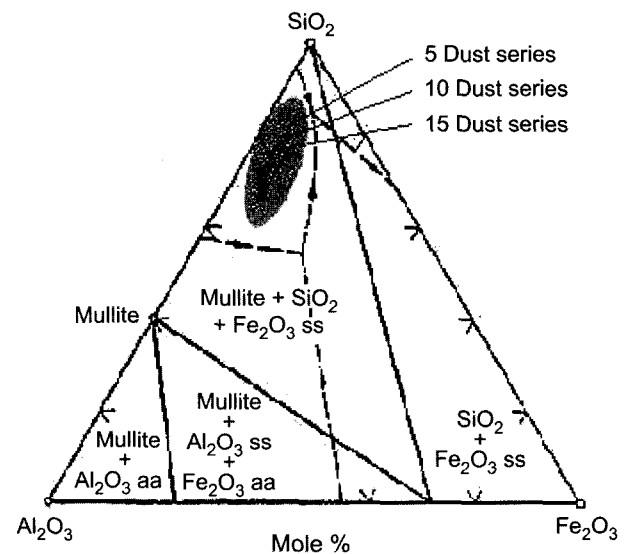


Fig. 1. Composition point of specimens in SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system.

절분석기(D/MAX 2500/PC)를 사용하였으며 Cu- $\alpha$ 선, 40 kV/40 mA, scan speed = 0.1°/sec의 조건으로 측정하였고 측정 범위는 10° < 2 $\theta$  < 80°이었다. 시편내 mullite 결정상 관찰은 연마면을 불산(HF)에 1 sec 에칭한 후 SEM(JSM-5600, JEOL Co.)으로 행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 흡수율 및 겉보기 밀도

시편내 dust의 비율은 5 wt%로 고정하고, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가량을 0~15 wt%로 변화시킨 시편에 대하여 소결온도별 겉보기 밀도(apparent density)와 흡수율을 Fig. 2에 나타내었다. 소결체의 겉보기 밀도는 전반적으로 소결온도와 더불어 감소하는 경향을 나타낸다(Fig. 2(a)). 소결온도가 증가함에 따라 겉보기 밀도가 감소하는 것은 생성된 액상 때문이다. Table 1에 나타난 dust 조성을 보면 고온에서 용제(flux)로 작용할 수 있는 성분들이 대부분이며 특히 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량이 42.7 wt%이다. 이러한 시편내의 용제성분들은 소결시 다른 성분보다 먼저 녹으면서 다른 성분을 용해시키거나 주변의 SiO<sub>2</sub>와 공정반응(eutectic reaction)을 하여 액상을 다량 형성한다. 이렇게 형성된 액상은 시편 외부를 감싸면서 표면과 내부를 연결하는 개기공(open pore)

Table 1. Chemical Composition of Raw Materials

Composition	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	ZnO	Others	I.L.*
Red Clay	64.8	17.7	7.2	0.2	0.7	0.2	1.8	-	-	3.8	3.6
Dust**	5.5	2.7	42.7	4.2	1.0	3.3	2.3	2.3	10.0	1.0	25.0

\*I.L. is an ignition loss.

\*\*Dust is produced from a certain steel-making company.

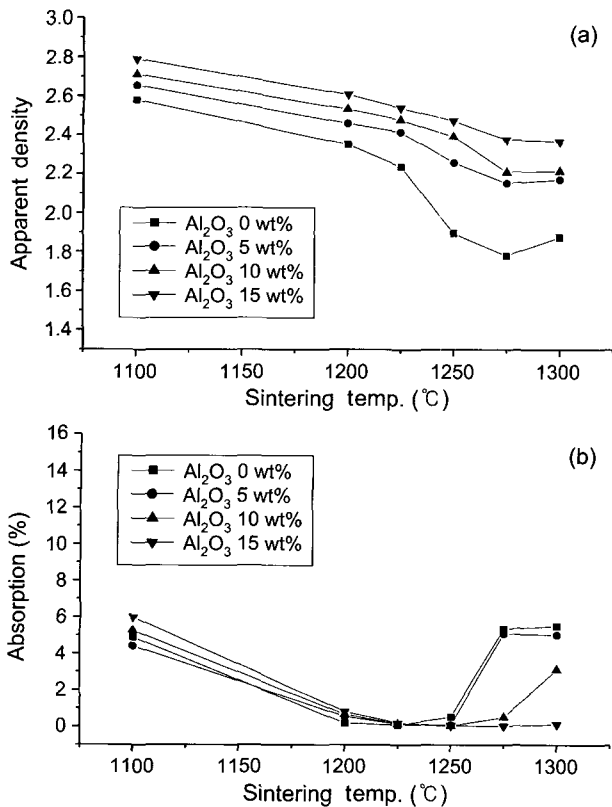


Fig. 2. (95-x)Clay-5dust-xAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system body at various sintering temperature; (a) apparent density and (b) absorption.

을 감소시키며 동시에 기공이 외부로 빠져나가는 것을 억제하여 내부 기공크기를 증가시킨다. 따라서 겉보기 부피가 증가되고 결국 겉보기 밀도는 감소하게 된다. 특히 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않은 시편(■)은 1200~1250°C 구간에서 급격한 겉보기 밀도의 감소를 나타낸다. 이러한 급격한 변화는 그 온도구간에서 액상이 과량 생성되었기 때문으로 해석된다.

반면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 5 wt% 이상 첨가된 시편들은 1200~1250°C 구간에서의 겉보기 밀도 감소율이 크지 않았다. 온도에 대한 밀도 감소율이 감소한 것은 생성되는 액상에 변화가 있었기 때문으로 판단된다. 즉 첨가된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 액상의 점도를 높여주었거나 액상 생성량을 감소시킨 것으로 해석된다. 첨가된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 액상의 점도를 증가시킨 것으로 해석하는 것은 일반적으로 유리 형성과정에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 중간제(intermediate)로서 스스로는 유리 망목구조를 형성하지 못하지만, SiO<sub>2</sub>와 같은 유리형성제와 함께 용융시키면 유리수식제(modifier)로 인해 끊어진 비가교 산소(non-bridging oxygens)를 연결하면서 유리형성제 역할을 하기 때문이다. 즉 비가교 산소로 인해 저하된 점도를 첨가된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 망목구조들을 연결하면서 높여주었다고 생각된다.

한편 액상 주성분인 SiO<sub>2</sub>의 일부분이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 반응하

여 mullite(3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>)로 전이되었고, 또한 dust 성분 중 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 반응하여 hercynite(FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)를 생성하기 때문에 첨가된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 액상의 생성량을 감소시킨 것으로 판단된다(“3.2. X-ray 회절 및 미세구조 분석” 참조). 이 같은 추론의 이유는 dust에 약 40 wt% 존재하는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 환원 분위기에서 용제성분이 되며 동시에 FeO로 되면서 가스를 발생하는 성분이기 때문이다.

시편의 흡수율은 소결온도 1100~1250°C 범위 내에서는 소결온도와 함께 감소하였다(Fig. 2(b)). 이러한 흡수율 감소현상은 소결온도 증가와 함께 시편표면이 액상으로 덮이면서 표면 개기공(open pore)이 액상으로 채워졌기 때문이다. 그러나 1250°C 이상에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 0~5 wt% 첨가된 시편들의 흡수율은 급격히 증가하였다. 이는 생성된 액상의 점도가 온도증가에 따라 낮아짐으로서 내부기포가 쉽게 팽창하여 일부 기포는 시편외부로 빠져나가면서 개기공을 형성하기 때문으로 생각된다. 한편 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 10~15 wt% 첨가된 시편은 1250°C 이상에서 흡수율 증가가 둔화되거나, 거의 변화되지 않았다. 이는 앞서 고찰한 바와 같이 첨가된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 일부가 SiO<sub>2</sub>와 결합하여 mullite로 전이되면서 액상생성량을 줄여주었고 동시에 일부 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 망목구조를 연결하면서 액상의 점도를 높여줌으로써 시편내부의 기포가 팽창하여 개기공이 형성되는 것을 억제하였기 때문인 것으로 생각된다.

### 3.2. X-ray 회절에 의한 결정상 분석

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가유무(15 wt%와 0 wt%)에 따른 Clay-dust계 시편의 소결온도별 결정상 분석을 Fig. 3에 나타내었다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않은 시편(Fig. 3(a))은 1000°C로 소결한 경우, 주된 상은 quartz이며 일부 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 존재하였다. 1100°C에서는 약간의 hercynite(FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)상도 합성되지만 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 완전히 소멸되지 않았으며, 1200°C 이상에서는 quartz상이 cristobalite상으로 전이됨과 동시에 mullite(3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>)도 생성되었고, hercynite와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>상은 여전히 존재하고 있었다. 1200°C에서 quartz가 cristobalite상으로 바뀐 것은 SiO<sub>2</sub>의 저온형이 고온형으로 전이된 것이며, 1100°C에서 합성된 hercynite상은 1275°C까지 안정하였으나 첨가된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 없던 까닭에 그 상대적인 양은 적었다. 또한 1200°C에서 형성된 mullite 역시 1275°C까지 안정하였으나 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 부족으로 그 생성량은 많지 않음을 회절피크의 상대적 크기로 알 수 있다.

한편 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 15 wt% 첨가된 시편은 1000~1200°C로 소결한 경우 모두 corundum이 존재하는 것 외에는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않은 시편과 상 종류가 동일하였다. 그러나 1275°C로 소결된 시편에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않은 시편과 달리 cristobalite상은 완전히 소멸되고 mullite와 hercynite상이 생성되었으며 또한 corundum과 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 존재하지 않았다. 첨가된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 1100°C까지 corundum으로 존재하지

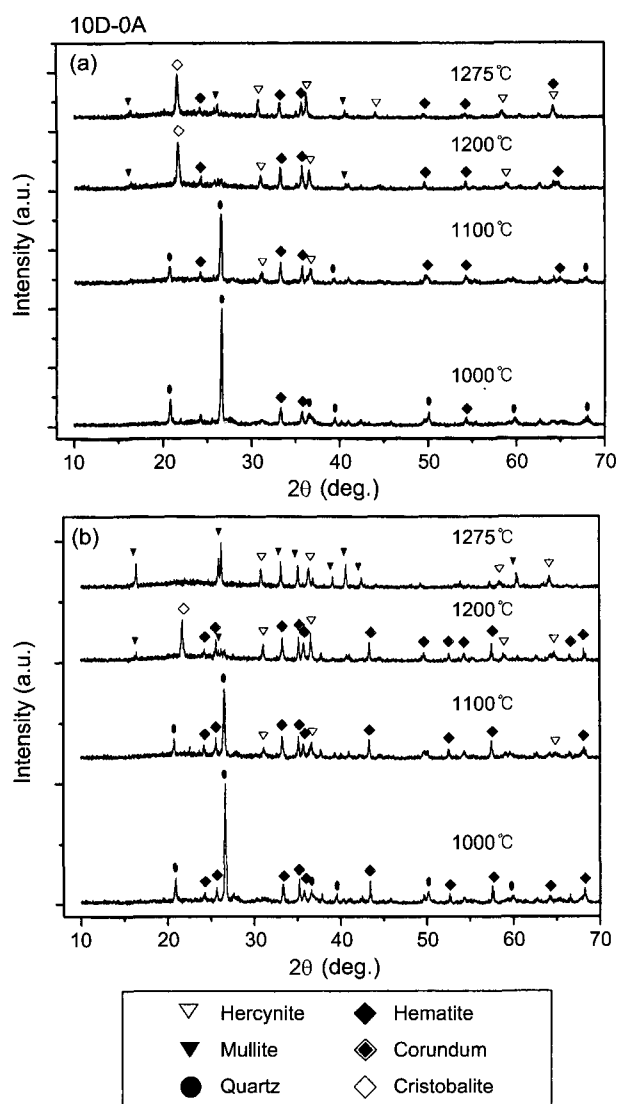


Fig. 3. X-ray diffraction patterns at various sintering temperatures for 2 h of (a) 90Clay-10Dust (wt%) and (b) 75Clay-10Dust-15Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (wt%) system bodies.

만 1200°C로 소결된 시편에서는 그 일부가 hercynite상을 생성하는데 소비된 것으로 보인다. 이는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 1200°C 소결시편의 hercynite상 피크가 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않은 시편의 그것보다 더 큰 것으로부터 확인할 수 있다. 또한 1275°C에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 cristobalite와 반응하여 mullite상으로 바뀌면서 cristobalite는 완전 소멸되었다. 이와 같이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가는 1200°C 이상으로 소결할 경우, 시편내 상 종류를 크게 변화시키는 것으로 확인되었다.

### 3.3. 미세구조 분석

Dust 함량에 따른 소결체의 표면사진을 Fig. 4에 나타내었다. Dust의 함량이 10 wt%인 시편(Fig. 4(a))에 비하여 20 wt%인 시편의 표면(Fig. 4(b))이 더 평탄한 것을 볼 수

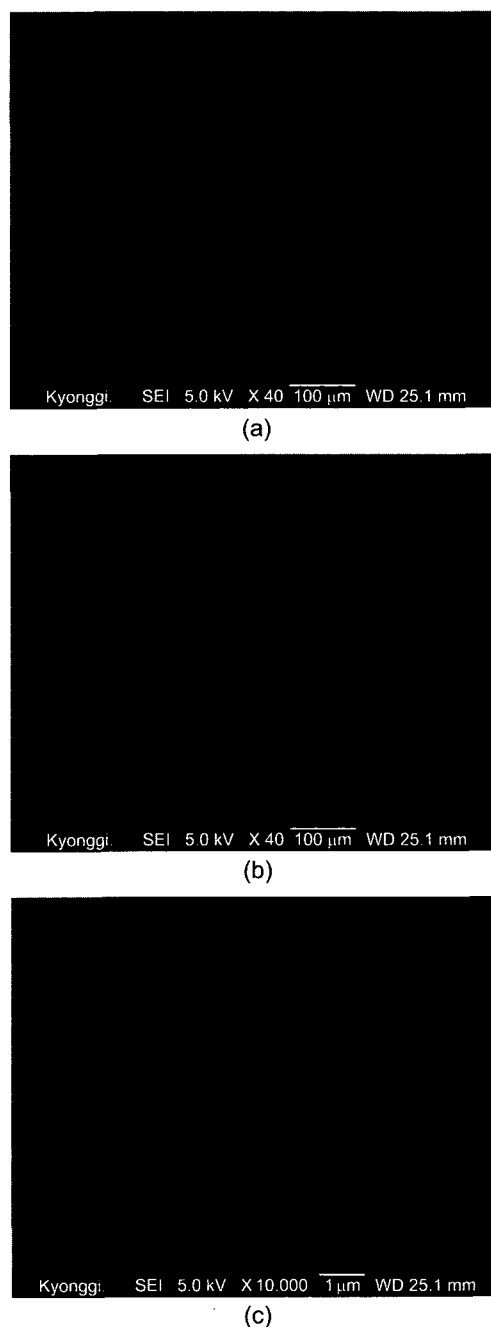
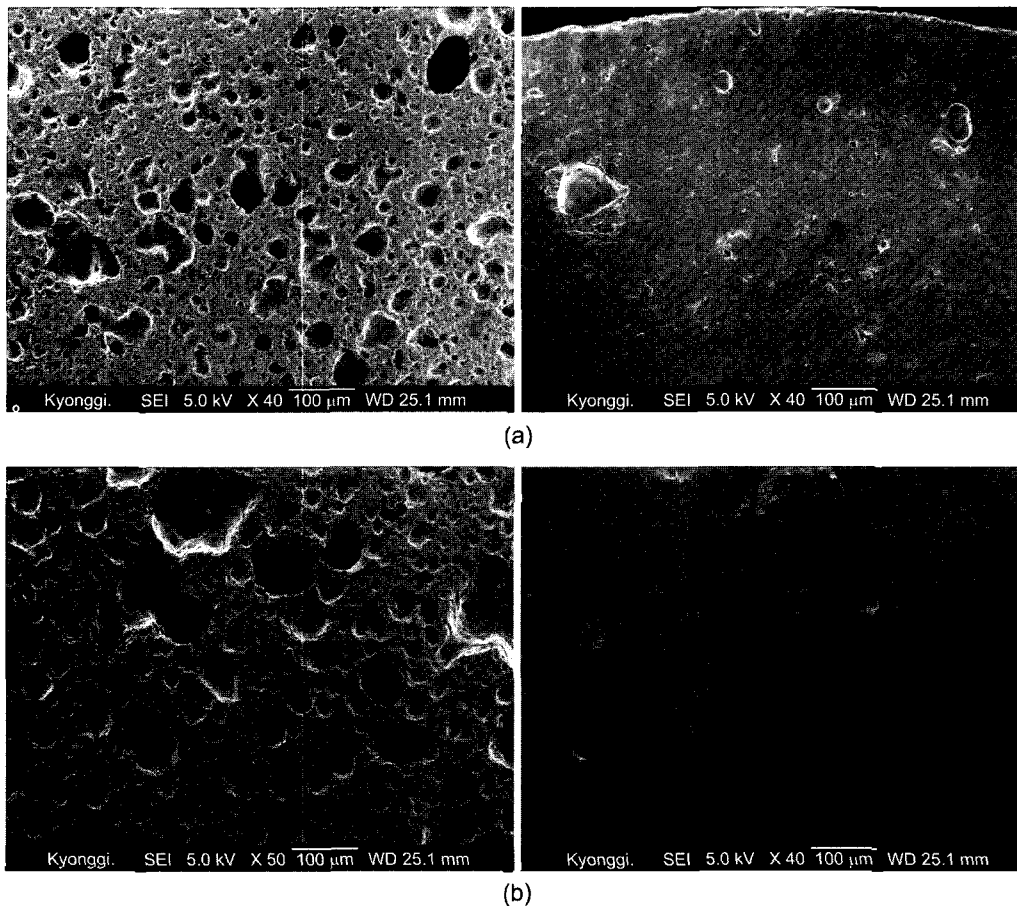


Fig. 4. SEM micrographs of free surfaces for Clay-Dust system bodies containing of (a) 10 wt% and (b) 20 wt% EAF dust. Sintering temperature is 1225°C. The micrograph (c) is magnified by 10,000 of the specimen (b).

있다. Dust의 함량을 증가시키면 시편내 용제성분의 증가 되므로 소결과정에서 액상량이 증가된다. 이때 과량의 액상은 시편 밖으로 나와 표면을 덮게 된다. 따라서 dust 함량이 10 wt% 시편에 비하여 20 wt% 시편 표면은 기공이나 미세균열이 충분히 액상으로 코팅되어 평탄한 것으로 보인다. 그런데 dust가 20 wt% 함유된 시편의 경우에도



**Fig. 5.** SEM micrographs for 95Clay-5Dust specimens sintered for 2 h at (a) 1225°C and (b) 1250°C. The left side is for cross-section and the right side is for free surface.

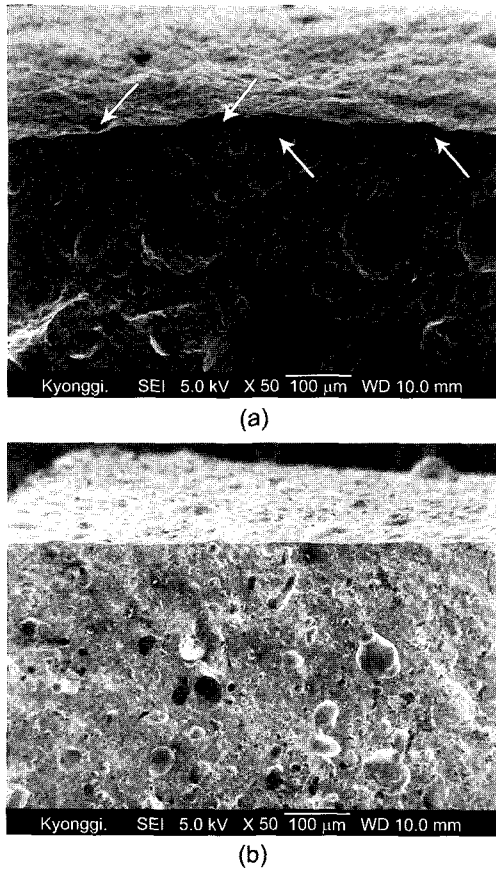
10,000배로 확대하여 관찰(Fig. 4(c))하면, micron 크기 이하의 미결정입자들이 표면 유리상 위로 성장되어있음을 알 수 있다. 이는 액상에 용해되었던 성분들이 냉각과정에서 용해도 감소로 인해 석출되어 결정화 된 것으로 보인다.

소결온도에 따른 Clay-dust계 시편의 미세구조변화를 Fig. 5에 나타내었다. 내부기공은 1225°C에 비해 1250°C 시편에서 더 크게 발포되었고 기공분포도 불균일하다. 이는 1225°C 보다 1250°C에서 더 많은 양의 액상이 생성되었고 따라서 기포가 시편 밖으로 나와 소멸되지 못했기 때문으로 생각된다. 1250°C 소결시편이 더 많은 액상을 형성하였다는 것은 표면형상에서 확인할 수 있다. 1225°C에서 소결된 시편의 표면형상은 거친 것에 반하여 1250°C 소결시편에서는 많은 액상이 형성되어 표면을 충분히 덮고 있음을 확인할 수 있다.

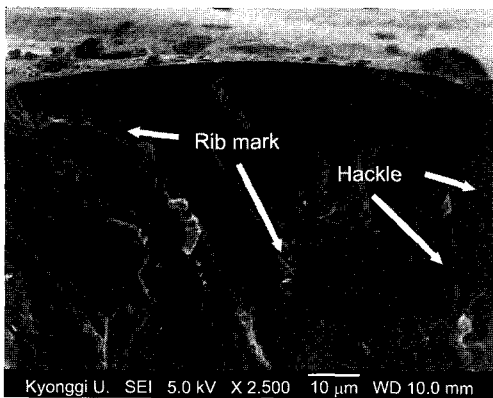
1275°C로 소결된 시편에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가유무에 따른 파단면 미세구조를 Fig. 6에 나타내었다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않는 시편의 경우 크게 발포된 기공이 많고 전체적으로 기공분포가 불균일한 반면, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 15 wt% 첨가된 시편

의 경우 상대적으로 크게 발포된 기공이 없으며 기공분포도 비교적 균일하다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않는 시편은 dust의 용제성분에 의해 생성된 액상이 기공 발포를 유도하여 기공크기가 증가된 반면, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 시편은 생성되는 액상의 양과 점도가 감소되어 그러한 발포현상이 억제되었음을 보여준다. 이는 흡수율 측정결과(Fig. 2(b))와도 일치한다. 즉 1275°C에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되지 않는 시편은 발포로 인한 개기공이 발생하여 흡수율이 증가된 것으로 보이며 반면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 15 wt% 첨가된 시편은 흡수율 변화가 거의 없는데 이는 첨가된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 액상량을 줄여 주었거나 점도를 높여 기포의 발포현상을 억제한 것으로 생각된다.

Dust 함량이 많아지면 소결과정에서 액상이 다량 발생하고 이는 냉각과정에서 유리상으로 남게된다. Fig. 7에 dust가 15 wt%가 첨가되고 1250°C로 소결된 시편의 파단면을 SEM으로 관찰하여 나타내었다. 파단면상에 *hackle*와 *rib mark*가 보이는데 이는 전형적인 유리상(비정질상)의 파단면 형상이므로 dust가 액상을 형성시켰다는 것을 확인할 수 있다.

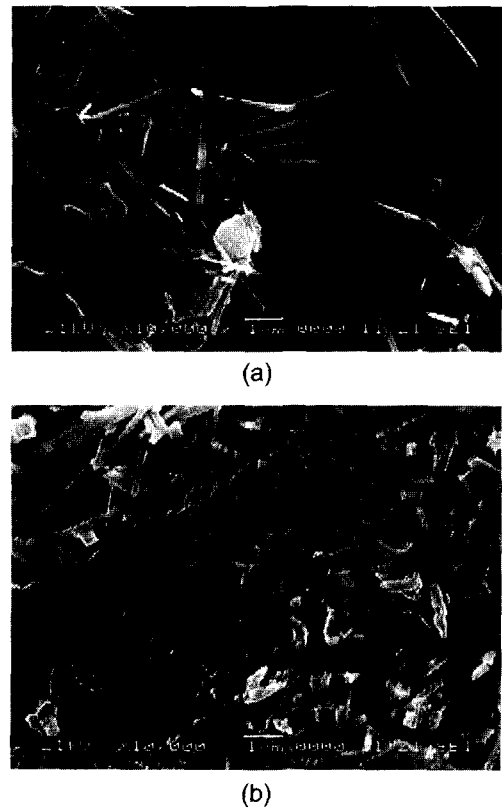


**Fig. 6.** SEM micrographs of fractured surfaces for the Clay-Dust body containing  $Al_2O_3$  of (a) 0 wt% and (b) 15 wt%. Sintering temperature is  $1275^\circ C$ . The arrows shown in (a) indicate open pores.



**Fig. 7.** SEM micrographs of fractured surface for 90Clay-10Dust specimen showing rib mark and hackles which is typical evidences for the fracture morphology of glassy phase. Sintering temperature is  $1275^\circ C$ .

Clay-Dust- $Al_2O_3$ 계 시편에 대하여 소결온도에 따른 미세구조 변화를 SEM으로 관찰하여 Fig. 8에 나타내었다. 시편내  $Al_2O_3$ 의 함량은 15 wt%이며 침상모양의 결정은



**Fig. 8.** Microstructures of 75Clay-10Dust-15 $Al_2O_3$  (wt%) system body sintered at (a)  $1100^\circ C$  and (b)  $1275^\circ C$ . The needle-like crystals are mullite.

mullite상이다.  $1100^\circ C$  소결시편에서 mullite의 점유율이 크지 않으나  $1275^\circ C$ 에서는 mullite가 주된 상으로 존재하는 것을 볼 수 있다. 이러한 사실은 X-ray 상분석 결과(Fig. 3)와도 잘 일치한다. 즉  $1100^\circ C$ 에서는 quartz와 corundum이 모두 존재하고 있으나  $1275^\circ C$ 에서는 그 두가지 상이 모두 소멸하고 mullite상이 생성되었다.

#### 4. 결 론

EAF 더스트와 점토의 혼합체에서  $Al_2O_3$ 의 첨가가 소결체의 물성 및 상형성에 미치는 영향을 분석한 결과  $Al_2O_3$ 는 Dust-clay계의 소결범위를 넓혀줄 수 있음을 확인하였다. 즉,  $Al_2O_3$ 가 첨가된 Clay-dust계 소결체는  $1200\sim 1250^\circ C$  구간에서 소결온도에 따른 밀도 변화율이 크게 감소되었고  $1250^\circ C$  이상에서는 개기공(open pore) 형성이 억제됨으로서 흡수율 변화가 둔화되었다. 이러한 결과는 상분석과 연관되어 해석이 가능하였다.  $Al_2O_3$ 가 첨가되지 않은 시편은  $1100^\circ C$  이하에서는 주된 상이 quartz였으나,  $1100\sim 1200^\circ C$ 에서 quartz상 대부분이 cristobalite로 전이되며 부차적으로 mullite( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ )가 합성되었다. 반면  $Al_2O_3$ 가 15 wt% 첨가된 시편은 quartz상이 대부분 mullite로 전

이되며 부차적으로 hercynite( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ )가 생성되었다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가되지 않은 시편에서는  $1275^\circ\text{C}$  이상에서도  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematite)가 존재하지만  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가된 시편에서는 hematite는 소멸하고 hercynite( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ )상이 생성되었다. 이와 같이  $\text{Al}_2\text{O}_3$  첨가는 고온 액상성분인  $\text{SiO}_2$ 와 반응하여 mullite상을 생성시키고 또한 flux 성분인  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 를 소비함으로써 액상량을 감소시키고 동시에 망목구조를 결합시켜 액상의 점도를 높이기 때문에 시편의 소결범위를 넓히는 효과가 나타났다고 판단된다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  첨가유무는 Clay-dust계 시편의 미세구조 역시 크게 변화시켰다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가되지 않은 시편은 생성된 액상이 기공 발포를 유도하여 기공크기를 증가시키고 미세구조의 불균일을 초래하였다. 반면  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가된 시편은 생성된 액상의 량과 점도가 감소하여 발포된 기공크기가 크지 않고 미세구조가 비교적 균일하였다.

### 감사의 글

본 연구는 산업폐기물 재활용 기술개발 사업단의 연구비(D-A-1) 지원으로 수행되었기에, 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

1. B. K. Park, K. H. Lee, Y. H. Kim, and H. K. Shin, "The Reduction Rate of Metal Oxide Contained in Electric Arc Furnace Dust by Solid Carbon depending on Basicity," *J. Kor. Inst. Met. and Mater.*, **36** [3] 430-38 (1998).
2. Y. H. Lee and J. H. Lee, "The Behaviors of Zinc, Lead and Chlorine in the Pyrometallurgical Process for Electric Arc Furnace Steel Dust," *J. Kor. Inst. Met. and Mater.*, **35** [9] 1190-94 (1997).
3. S. K. Kang, W. K. Bang, S. H. Lee, and C. E. Kim, "A Study on the Stabilization/Solidification Process Using Blast Furnace Slag," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **36** [7] 725-33 (1999).
4. Y. J. Kwon, Y. T. Kim, K. G. Lee, Y. J. Kim, S. G. Kang, and J. H. Kim, "Stabilization Behavior of Heavy Metals in the EAF Dust-clay Body Mixtures at Various Sintering Conditions," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **39** [8] 728-34 (2002).
5. T. H. Um, Y. T. Kim, K. G. Lee, Y. J. Kim, S. G. Kang, and J. H. Kim, "Properties of Heavy Metal Adsorption of Clay Minerals," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **39** [7] 663-68 (2002).
6. Y. J. Kwon, Y. T. Kim, K. G. Lee, Y. J. Kim, S. G. Kang, J. H. Kim, and M. S. Park, "Lightweight Aggregate Bloating Mechanism of Clay/Incinerated Ash/Additive System," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **38** [9] 811-16 (2001).
7. B. I. Kim, B. S. Hyun, and W. H. Kang, "A Study on the Recycling of EAF Dust using Glassification in the System of  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-ZnO-SiO}_2$ ," *J. Kor. Solid Waste Eng. Soc.*, **16** [2] 99-105 (1999).
8. K. S. Eom, T. K. Kim, K. H. Kim, M. R. Kim, J. G. Jang, and J. K. Lee, "Vitrification Characteristics of the Residues from Incineration of Hazardous Industrial Wastes with Fluxing Agents," *J. Kor. Solid Waste Eng. Soc.*, **13** [5] 662-70 (1996).
9. H. S. Park, H. S. Chung, and B. K. Choi, "Physio-chemical Characteristics of Wastes for Melting Incineration," *J. Kor. Solid Waste Eng. Soc.*, **14** [2] 195-205 (1997).