

점토계소지내에서 전기로 더스트 중금속의 소성 온도별 안정화거동

권용준[†] · 김유택 · 이기강 · 김영진 · 강승구 · 김정환

경기대학교 재료공학과

(2002년 4월 19일 접수; 2002년 8월 3일 승인)

Stabilization Behavior of Heavy Metals in the EAF Dust-clay Body Mixtures at Various Sintering Conditions

Yong-Joon Kwon[†], Yootaek Kim, Ki-Gang Lee, Young-Jin Kim, Seunggu Kang and Jung-Hwan Kim

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

(Received April 19, 2002; Accepted August 3, 2002)

초 록

전기로 더스트를 점토 또는 백토와 혼합하여 소성온도에 따른 전기로 더스트 내에 존재하는 Cr, Cd, Cu, Pb, Fe, Zn 중금속들의 거동을 조사하였다. 전기로 더스트를 점토와 백토에 각각 0~50 wt%씩 첨가하였고, 소성은 200°C 간격으로 200~1200°C 범위 내에서 수행하였다. 소성된 시편은 TCLP법에 의한 용출실험을 거친 후 ICP-AES로 분석하였다. 중금속 표준용액을 이용한 양이온 교환능 실험결과 점토와 백토가 기존의 중금속 흡착제인 제올라이트와 비슷한 중금속 양이온 교환능을 보였으며, Cr에 대해서는 더 우수한 교환능이 관찰되었다. TCLP법에 의한 용출실험 결과 Cr과 Fe는 모든 시편에서 거의 용출되지 않았으며, Cd와 Zn은 소성온도가 증가하고 전기로 더스트의 함량이 적을수록 용출량이 감소하였다. 점토 또는 백토와 전기로 더스트를 혼합 소성 시 일차적으로 양이온 교환능에 의해 중금속이 준안정화되고 이차적으로 공용반응에 의하여 중금속들이 완전하게 고정화되어 중금속 용출을 억제하는 것으로 추정된다. 본 연구에서 백토가 점토 보다는 전기로 더스트 중금속의 안정화에 더 효과적이었다.

ABSTRACT

Stabilization behavior of Cr, Cd, Cu, Pb, Fe and Zn heavy metals in the EAF dust was investigated by adding EAF dust to clay or white clay, respectively, up to 50 wt% with 10 wt% intervals and sintering at temperatures between 200 and 1200°C with 200°C intervals with an aid of ICP-AES followed by TCLP test to evaluate heavy metal cation exchange capacity of the clay or the white clay. The clay or the white clay had a better Cr ion exchange capacity than that of zeolite. The TCLP leaching test for the sintered specimens showed that Cr and Fe were rarely detected for all the specimens and the concentration of Cd and Zn decreased with increasing sintering temperature and decreasing EAF dust contents respectively. When the clay or the white clay were mixed with EAF dust, cation exchange may occur between the clay and the EAF dust so that the first stabilization of the mixtures containing semi-stabilized heavy metals may happen. Stabilization of heavy metals in the ceramic bodies was further completed probably due to the eutectic reaction caused by the sintering of semi-stabilized mixtures. It was conceivable that the white clay rather than the clay may be a better stabilizer for the EAF dust containing heavy metals.

Key words : EAF dust, Heavy metal, TCLP leaching, Stabilization, Cation exchange capacity

1. 서 론

산업이 다양화되고 현대화되면서 산업부산물이나 폐기물의 종류도 다양화되고 발생량 또한 급증하고 있는 추세이다.¹⁾ 폐기물들을 원료로 재활용하여 사용하면 환경 보전 뿐만 아니라 유용한 대체자원으로 활용된다는 장점 때문에 폐기물의 자원화 연구가 요구되고 있다.²⁾ 우리나라

라에서도 환경오염 문제에 대한 관심이 고조되면서 폐기물의 처리 및 처분 문제가 심각하게 대두되고 있다.^{3,4)} 산업폐기물 중 고철을 주 원료로 하여 강을 생산하는 전기로 제강법에서는 용융과정 중 장입 고철의 약 1~2 wt% 정도가 분진으로 발생한다. 다른 종류의 분진과 구별해서 전기로 제강분진(Electric Arc Furnace Dust : EAF dust)이라고 한다.⁵⁾ 최근까지 국내의 전기로 제강업체에서 발생하는 분진의 처리는 주로 매립에 의존하고 있으나 환경규제의 심화, 매립지의 부족, 유해금속성분의 함량 증가, 함유금속의 다중화에 따른 처리비용의 증대 및 주변 지역에 대한 2차 환경오염문제 등이 심각한 문제로 부각

[†]Corresponding author : Yong-Joon Kwon
E-mail : 54003@hitel.net
Tel : +82-31-249-9774 Fax : +82-31-249-9775

되고 있다.⁶⁾ 유해폐기물의 고형화 처리 방법에는 폐기물 표면을 시멘트 등으로 밀봉하는 방법, 폐기물을 시멘트 등과 균질 혼합하여 고화 시키는 방법, 소결하여 치밀한 고화체 구조를 만드는 방법, 폐기물을 용융 후 고화시키는 방법 등이 있다.⁷⁾ 하지만, 고형화 및 안정화시킨 폐기물은 반드시 중금속 용출시험을 거쳐야 한다. 폐기물에 함유되어 있는 유해물질이 인간의 건강에 영향을 미치는 것은 최종적으로 오염된 물 또는 식물을 통해 나타나므로 폐기물의 유해성 유무는 폐기물에서 용출되는 유해물질의 농도 여하에 따라 결정되어진다.⁸⁾ 폐기물의 용출시험법은 우리나라의 용출시험법(Korea Leaching Test : KLT), 미국의 용출시험법(Toxicity Characteristics Leaching Procedure : TCLP) 등이 있으나, KLT는 TCLP에 비하여 유해성 판단의 기준이 되는 용출기준 자체는 낮으나 용출능이 떨어지는 관계로 유해폐기물 판정율이 TCLP 보다 낮다.⁹⁾ 본 연구에서는 미국의 용출시험법(TCLP)을 이용하여 Cr, Cu, Cd, Pb, Fe, Zn의 중금속에 대하여 소성 온도에 따른 중금속 용출 특성을 조사하여 중금속의 안정화를 비교·분석하였다.

2. 실험방법

중금속 흡착 원료로는 점토(명신연와)와 백토(태화)를 사용하였으며, 중금속 원료는 EAF dust(이하 D dust, 동국제강)를 사용하였다. 이들 원료는 모두 전처리 과정 없이 사용하였다. Table 1에 제시한바와 같이 점토와 백토는 SiO₂와 Al₂O₃가 주성분 이었으며, D dust는 Fe₂O₃와 ZnO가 주성분이고 탄소 함량은 10.3 wt%이었다.

중금속 흡착실험은 점토와 백토 각각 100 g에 증류수 200 ml를 첨가하고 5, 10, 15, 20 ppm으로 희석한 Cr, Cd, Cu, Pb, Fe, Zn 중금속 표준용액을 첨가하였다. 상기 용액을 자석교반기를 이용하여 2시간 동안 교반 후 공극이 1 μm인 필터지를 사용하여 고체와 액체로 분리하였다. 분리된 액체 중 중금속 잔류량은 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 이용 각각 중금속에 대하여 ppm 단위로 분석하였다.

중금속 용출실험은 점토, 백토와 D dust는 고체/액체의 중량비를 1:1로 하여 습식 혼합하였다. 1시간동안 습식 혼합한 점토, 백토와 D dust를 425 μm 표준망체를 통과 시킨 후 현탁액을 1시간동안 교반하였다. 로터리 진공펌프와 공극이 25 μm인 필터지를 사용하여 혼합물의 함수

율이 20% 내외가 되게 여과시킨 후 직경이 10 mm인 구형 시편을 제작하였다.

구형 시편을 100°C의 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 전기로에서 소성하였다. 소성은 200, 400, 600, 800, 1000, 1200°C에서 직접 시편을 로내에 투입하여 10분 동안 소성 후 공냉하였다. 시편의 소성전과 소성후의 무게 변화를 이용하여 ignition loss 측정을 수행하였다.

소성된 시편은 TCLP법에 따라 용출시험을 한 후 ICP-AES를 이용하여 Cr, Cu, Cd, Pb, Fe, Zn의 농도를 ppm 단위로 측정하였다.¹⁰⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 원료분석

Fig. 1은 점토, 백토, D dust에 대한 X-선 회절분석을 나타내고 있다. 점토의 광물상은 quartz, albite, kaolinite이고 백토는 anorthite, quartz, halloysite이었다. X-선 회절 분석 결과, 백토는 점토와 달리 anorthite상이 많이 존재하므로 anorthite에 있는 다량의 알칼리 성분(Na, Ca)에 의한 양이온 교환능(Cation Exchange Capacity: CEC)이 커지므로 보다 많은 중금속 양이온의 흡착이 가능한 것으로 사료된다. 또한, 백토에 존재하는 kaolin 광물이 온도가 증가함에 따라 층간수가 증발되어 생성된 공간에 의한 중금속 흡착도 기대할 수 있다.¹¹⁾ D dust는 magnetite가 주 광물상이며 Pb(OH)Cl, KCl 등 휘발성이 강한 Pb와 K 화합물이 소량 존재하고 있는 것으로 추정된다.

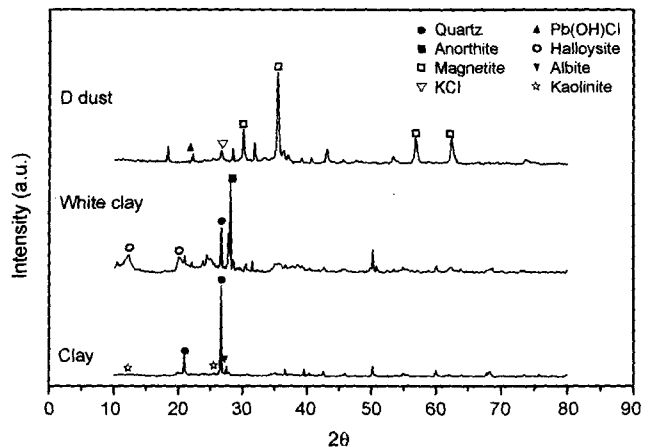


Fig. 1. XRD patterns of raw materials.

Table 1. Composition of the Raw Materials

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	ZnO	PbO	SO ₃
Clay	64.8	17.7	7.22	0.19	0.7	0.22	1.83	1.07	0.08	-	-	-	-	-
White Clay	51.4	30.5	1.79	4.76	0.85	2.39	1.03	0.15	-	-	-	-	-	-
D dust	5.45	2.67	42.74	4.21	0.95	3.28	2.31	0.71	0.23	0.37	2.25	9.95	1.16	1.07

(wt%)

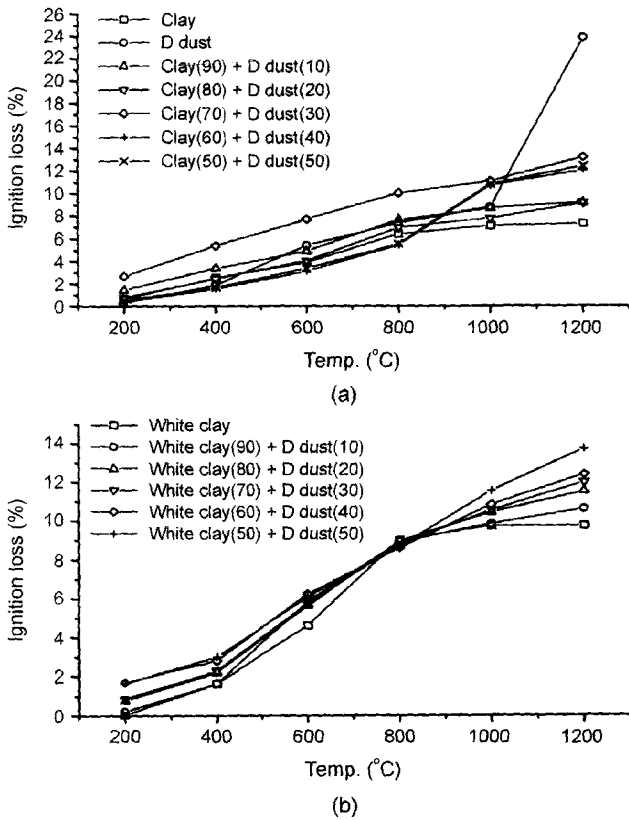


Fig. 2. Ignition losses of various samples at temperatures between 200 and 1200°C. (a) clay and D dust, (b) white clay and D dust.

3.2. 강열감량(Ignition Loss)

Fig. 2는 점토와 백토 그리고 점토와 백토에 D dust를 각각 10, 20, 30, 40, 50 wt% 첨가한 시료에 대한 강열감량을 나타내었다. D dust의 강열감량(Fig. 2(a))을 보면 400~600°C와 1000~1200°C에서 기울기가 변하는 것을 볼 수 있는데, 첫 번째 기울기 변화는 탄소 산화에 의한 무게감량에 의한 것이며, 두 번째 기울기 변화는 층간수, 유기물질의 연소 그리고 온도 증가에 따른 저융점 물질의 휘발로 인한 것으로 사료된다.¹²⁾

점토와 백토는 800°C까지 부착수와 층간수가 증발하고 그 이후의 온도에서는 아무런 무게변화도 일어나지 않는 것이 관찰되었다. 따라서, 점토와 백토는 800°C 이상의 온도에서 증발되는 물질 없이 소결이 진행된다는 것을 알 수 있다.

백토와 D dust의 혼합시료의 경우(Fig. 2(b)) 800°C까지는 백토와 비슷한 경향을 보였으나 800°C 이상의 온도에서 D dust의 함량이 증가할수록 강열감량도 증가하는 경향을 보였다. 반면에, D dust를 10 wt%와 20 wt% 치환한 시편에서는 Fig. 2에서 보는 것처럼 D dust를 넣지 않은 순수 점토와 백토 시편의 강열감량 곡선과 거의 일치하

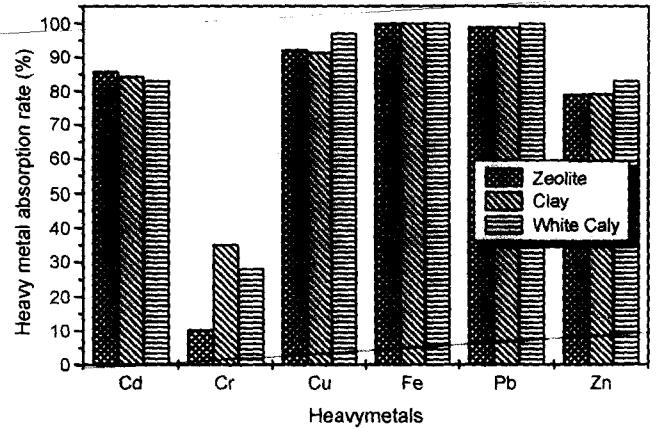


Fig. 3. Comparison of adsorption rates of heavy metals.

여 D dust를 20 wt%까지 치환한 시편에서는 추가적인 강열감량이 거의 일어나지 않았다.

3.3. 점토와 백토에 의한 중금속 흡착

점토광물은 일반적으로 이방성이 큰 박편상 입자로서 높은 비표면적과 우수한 양이온 교환능을 가지며 각종 유기물과 무기물의 흡착에 효과적으로 알려져 있다. 원재료로 사용한 점토나 백토의 양이온 교환능을 조사하기 위하여 다공성 물질로서 양이온 교환능이 우수한 것으로 알려진 제올라이트,¹³⁾ 점토 및 백토를 각종 중금속이 용해되어 있는 용액속에 분산시킨 후 약 2시간 동안 교반하였다. 교반 후 용액속의 중금속 농도를 ICP-AES로 측정하여 점토, 백토 그리고 제올라이트의 중금속의 흡착정도를 비교하였으며, Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 보듯이 Pb와 Fe는 모든 원료에서 100% 가깝게 흡착되었으며 Cd, Cu, Zn의 경우도 모든 원료에서 80% 이상 흡착된 것을 볼 수 있다. Cr의 경우 점토는 40%, 백토는 30%, 제올라이트는 10% 정도가 흡착되어 상대적으로 Cr의 흡착이 잘 안되는 것을 알 수 있다. Cr의 이온 교환능이 떨어지는 이유는 Cr⁶⁺의 경우 점토, 백토, 제올라이트 내에 6가 이온을 치환할만한 양이온이 존재하지 않으며 Pb, Fe, Zn 이온들과 경쟁적으로 치환되기 때문에 교환능이 저하되는 것으로 사료되었다. 본 실험에서 기존에 알려진 바와는¹²⁾ 달리 모든 중금속에 대해서 점토와 백토가 제올라이트에 비해서 우수한 흡착능을 가지는 실험 결과가 관찰되었다.

상기 결과는 이온교환능 실험이 pH 3의 산성분위기에서 진행되었기 때문에 중금속 이온과 수소이온과의 경쟁적인 흡착이 진행되어¹⁴⁾ 상반되는 결과를 얻은 것이라고 사료된다. 따라서, 점토, 백토와 중금속을 포함한 폐기물을 습식으로 혼합시 용액중에 용해된 각종 중금속 이온이 점토에 존재하는 양이온들과 교환/흡착됨으로써 1차적으로 중금속을 안정화 시켰다.

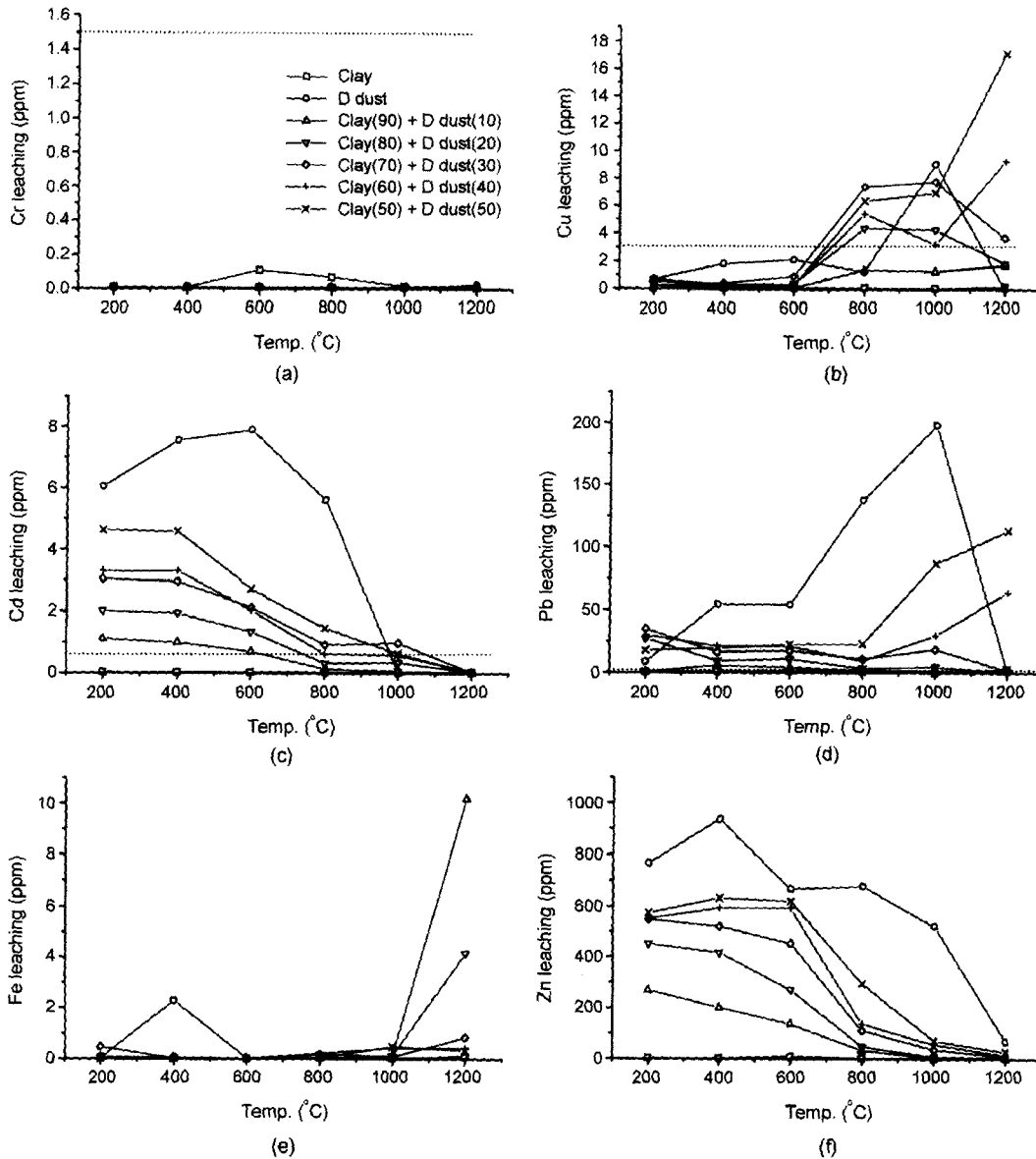


Fig. 4. Concentration variation of six major heavy metals in the EAF dust after TCLP leaching test for the pure clay, the EAF dust and the mixtures of clay and D dust at different sintering temperatures. The heavy metals are (a) Cr, (b) Cu, (c) Cd, (d) Pb, (e) Fe and (f) Zn, respectively.

3.4. 소성온도에 따른 점토와 백토의 중금속 안정화 특성

3.4.1. 점토의 중금속 안정화 특성

점토가 EAF dust 내에 존재하는 Cr, Cu, Cd, Pb, Fe, Zn의 안정화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 점토에 D dust를 10 wt%씩 증가시켜 200~1200°C 범위에서 200°C 간격으로 소성한 시편을 TCLP법에 의해 용출 실험하여 시편내의 중금속 안정화 여부를 조사하였다. Fig. 4는 각 중금속 조성에 대하여 소성온도별 용출량을 나타내었으며, 점선으로 표시된 용출량은 우리나라 용출기준을 표시한 것이다.¹⁵⁾ Cr은 모든 조성과 소성온도에서 기준치보다 훨씬 낮은 용출을 보였고, D dust 100%를 이용하여 소성

한 시편에서도 용출이 거의 되지 않아 환경적인 영향이 전혀 없는 것으로 관찰되었다. 양이온 교환능 실험시 흡착율이 매우 낮았던 Cr이 소성온도 전범위에서 허용 기준치 이하의 용출을 보였으며 이에대한 지속적인 연구가 차후 요구된다. D dust 100%로 제조한 시편의 경우, Cu는 1000°C에서 소성한 시편에서만 기준치 이상의 용출을 나타내었으며 다른 소성온도에서 소성된 시편에서는 기준치 이하로 검출되었다. 상기 현상은 800~1000°C 사이에 Cu의 증기압이 급격하게 증가하기 때문인 것으로 사료된다. 1200°C에서 Cu 용출량의 감소는 1000°C 부근에서 Cu의 휘발이 완료되어 1200°C 소결 시편에서 Cu의 용

출이 멈추어 발생한 것으로 추정된다.

점토에 D dust를 20 wt%까지 첨가한 시편에서는 소성 온도 구간에서 기준치 이하의 용출을 나타내었고, 30 wt% 이상 첨가한 시료는 800°C 이상에서 기준치 이상의 용출을 보였지만 1200°C에서 용출량이 감소하였다. 점토의 첨가에 의해 D dust 20 wt%까지는 중금속 Cu가 전 소성 온도 범위에서 안정화 되었으며 D dust가 30 wt% 이상 첨가시에는 점토의 양이온 교환능이 감소하고 점토와의 공유반응으로 생성된 유리상에 중금속 Cu가 안정화될 수 있는 한도를 초과한 것으로 추정된다. 소성 온도 범위에서 Cu의 용출이 없는 이유는 소성 온도가 낮은 경우에는 양이온 교환에 의해 안정화되고 소성 온도가 높은 경우에는

공유반응에 의한 화학적 안정화를 이루기 때문인 것으로 사료된다.

Cd의 경우(Fig. 4(c)), D dust 10 wt% 시편에서는 소성 온도 600°C를 기준으로 800°C까지 Cd 용출량이 감소하였고 점토와의 혼합 시편에서도 D dust 함량이 증가할수록 용출량이 증가하였다. D dust 20 wt% 첨가한 시편의 경우 800°C 이상에서는 기준치 이하의 Cd이 검출되었다. 소성 온도가 낮은 경우에는 불충분한 양이온 교환에 의해 Cd 이온이 소량 용출되나 소성 온도가 800°C 이상이 되면 공유반응에 의해 Cd의 안정화가 가속화 되었다.

D dust가 100% 함유된 시료의 경우(Fig. 4(d)) 거의 모든 소성 온도 범위에서 기준치를 훨씬 초과하는 많

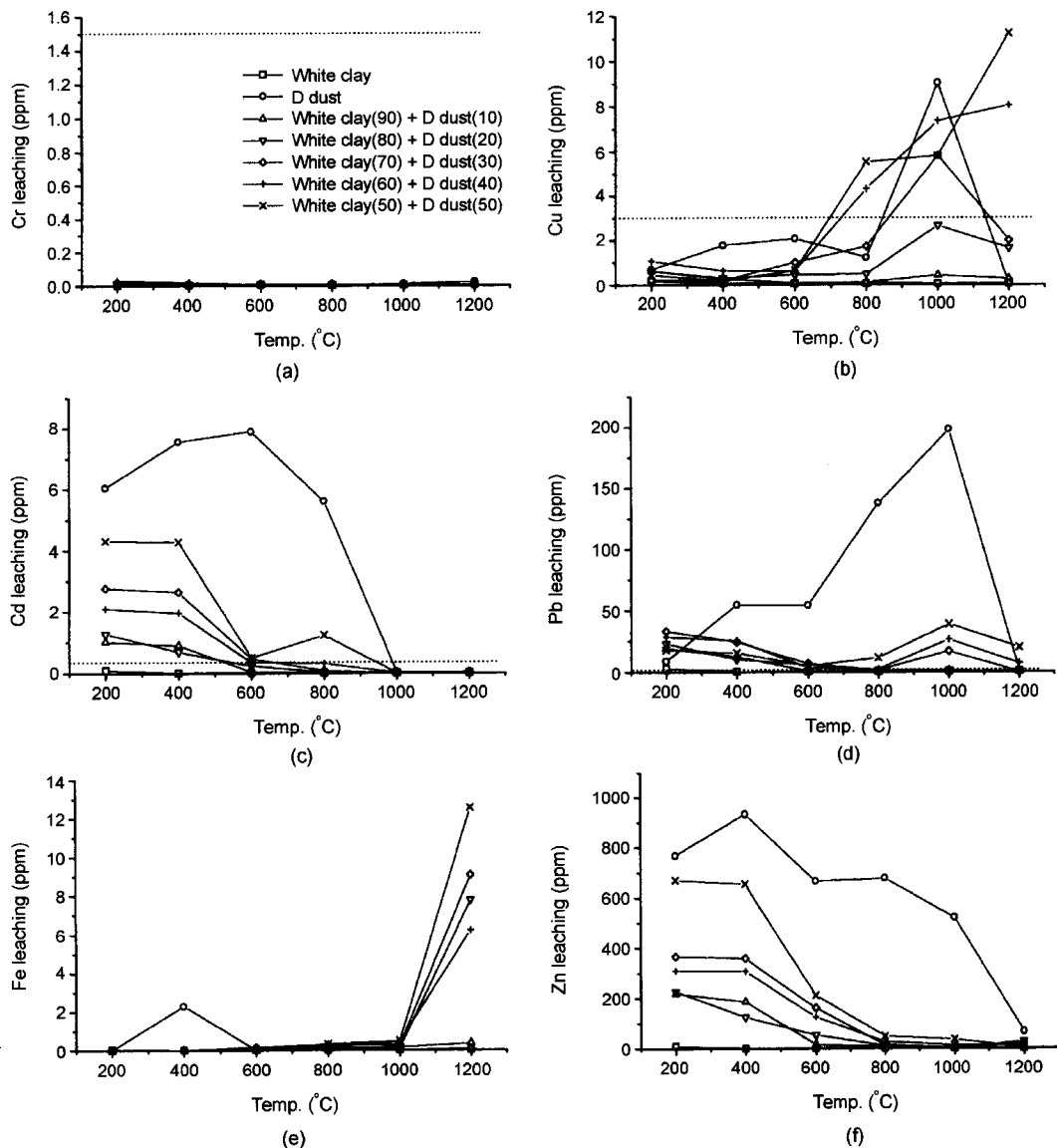


Fig. 5. Concentration various of six major heavy metals in the EAF dust after TCLP leaching test for the pure white clay, the pure EAF dust and various white clay and D dust mixtures at different sintering temperatures. The heavy metals are (a) Cr, (b) Cu, (c) Cd, (d) Pb, (e) Fe and (f) Zn, respectively.

은 양의 Pb가 용출 되었으나, 1200°C에서 용출이 급격히 줄어든 원인은 휘발성이 강한 Pb 또는 Pb 화합물의 증발에 의한 것으로 사료된다.¹⁶⁾ 점토에 D dust 10 wt% 및 20 wt% 첨가한 시편은 전 소성온도 범위에서 기준치 이하의 Pb 용출이 관찰되었으므로 점토에 이내로 D dust를 20 wt% 이내로 첨가한 경우 전 소성온도 범위에서 안정화되었다.

Fe는 Fig. 4(e)에서 보는 것처럼 모든 조성과 소성온도 범위에서 먹는물 수질기준(0.3 ppm 이하, 보건복지부령 제 95호) 이하로 용출 되었으며, Zn은 Cd과 매우 유사한 경향을 보이며 D dust 함량이 증가할수록 용출량이 많았고, 소성온도가 증가함에 따라 감소하였다.

3.4.2. 백토의 중금속 안정화 특성

백토가 EAF dust 내에 존재하는 Cr, Cu, Cd, Pb, Fe, Zn의 안정화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 백토에 D dust를 10 wt%씩 첨가하여 200~1200°C에서 소성 후 TCLP 법에 의해 중금속 용출 실험을 수행하였다. Fig. 5는 각각의 조성에 따른 소성온도별 용출량을 나타내었으며, Cr, Cu, Cd, Pb의 그래프의 점선은 우리나라 용출기준을 나타낸 것이다.

점토와 D dust 혼합체에서 Fig. 5(a)에서 보는 것처럼 거의 용출되지 않았다. Cu는 D dust 20 wt%까지 첨가한 경우 모든 소성온도 범위에서 중금속 용출이 기준치 이하로 점토의 경우와 비슷한 경향을 보였으며 전체적인 용출량이 감소하였다. 그러므로 백토가 점토보다 Cu의 안정화에 더 효과적이었다.

Cd의 경우에서도(Fig. 5(b)) 점토와 백토는 비슷한 경향을 보이고 있으나 600°C 이후 백토를 사용한 시편은 더 낮은 용출량을 보였다. Mikhail 등은 EAF dust와 EAF dust-점토의 혼합물에 대하여 TG/DTA 및 FT-IR을 이용하여 승온시 발생한 가스를 in-situ 분석을 하였는바, 200°C 이하에서 흡착수의 분해와 600°C 부근에서 층간수의 분해에 의한 무게감량이 있었으며, 600~1000°C 사이에서 CO₂의 분해가 일어났으나 다른 유해성분의 휘발은 발생하지 않았다고 보고하였다.¹³⁾ 600°C 이상의 온도에서 Cd 용출의 급격한 감소는 Cd 화합물의 증발에 의하여 용출량이 감소한 것으로 보였으나 600°C 부근에서 백토에 존재하는 광물과 반응에 의하여 산화물로 안정화 되었거나 공용반응에 의해 안정화 되어 용출량이 급격히 줄어든 것이라고 추정된다.

Fig. 5(c)의 Pb의 경우 점토와 백토는 매우 유사한 경향을 보였지만 백토가 전 소성온도 범위에서 Pb 안정화에 점토보다 효과적이었다.

Fe(Fig. 5(d))도 점토와 백토는 매우 유사한 경향을 보였다. 1200°C에서 D dust 첨가량 증가에 따른 급격한 용출량 증가가 발생되었는 바, 이러한 현상은 1000~1200°C 사이에서 발생한 Fe 산화물의 환원 현상으로 추정된다.

이미 발표한 바와 같이 EAF dust는 매우 효과적인 발포제로서 소량 첨가시 Fe 산화물을 고온에서 환원시켜 산소기포를 형성함으로써 다공성 세라믹을 제조 가능한 것으로 보고되었다.¹⁴⁾ 1000~1200°C 사이에서 Fe 산화물이 Fe로 환원되고 환원된 Fe가 1200°C 이상에서 소성된 시편으로부터 용출되어 나오는 것으로 사료된다.

3.4.3. 점토와 백토의 중금속 용출 특성 비교

Figs. 4, 5의 그래프를 비교하면 Cr의 경우 모든 소성온도 범위에서 용출되지 않아 모든 시편에서 안정화가 일어났으며, Cu, Cd, Pb는 백토에서 더 적은 용출량을 보였고, Fe와 Zn은 비슷하거나 용출량이 감소하는 경향을 보였다. 이는 백토에 존재하는 광물상의 알칼리 성분(Na, Ca)에 의한 양이온 교환능 향상 및 공용반응의 활성화에 기인한다고 사료된다. 따라서 D dust의 중금속 안정화에 점토보다 백토가 더 효과적이었다.

Figs. 4, 5에서 볼 수 있듯이 중금속 용출 특성이 두 재료에서 거의 비슷한 경향을 보였다. 그러므로, 같은 메커니즘에 의해 안정화가 이루어지는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

점토와 백토에 의한 전기로 더스트 중금속의 소성 온도별 안정화 거동에 관한 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전기로 더스트에 많이 존재하는 6종류의 중금속에 대해 흡착실험을 한 결과 Cr을 제외한 Cu, Cd, Pb, Fe, Zn에 대해서는 점토와 백토가 기존의 중금속 흡착제인 제올라이트와 비슷하거나 우수한 중금속 흡착능이 관찰되었으며, Cr에 대해서는 매우 우수한 중금속 흡착능을 나타내었다.
2. 점토나 백토에 전기로 더스트를 20 wt%까지 혼합하여 200~1200°C에서 소성하여 TCLP법으로 중금속 용출 실험을 한 결과, 모든 시편에서 기준치 이하의 중금속 용출량을 얻었다. 점토 또는 백토와의 혼합 시 발생하는 양이온 교환에 의해 일차적인 중금속 안정화가 일어나며, 연속되는 소성 공정 중의 공용반응에 의해 최종적인 중금속 안정화가 일어나기 때문인 것으로 사료되었다. 따라서 점토와 백토를 주 원료로 사용할 때 20 wt%까지 전기로 더스트를 첨가하는 것은 효과적이었다.
3. 백토와 점토를 비교할 때 백토가 점토보다 전기로 더스트내에 포함되어 있는 6종류의 중금속 안정화에 더 효과적이었다.

감사의 글

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

REFERENCES

1. C-K. Park, B-K. Kim and K-H. Cho, "Utilization of Industrial By-products and Wastes for Manufacturing Hauyne Clinker and Properties of its Cement," *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, **15** [3] 191-95 (1998).
2. J-O. Hong, S-G. Kang, K-K. Lee, Y-T. Kim, Y-J. Kim, J-H. Kim and M-S. Park, "Characteristics of Sintered Bodies Made from the System of Paper Sludge Ash-fly Ash-clay," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **38** [10] 908-13 (2001).
3. 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).
4. S-W. Bae, S-Y. Han, B-J. Lee and Y-B. Kwon, "Characteristics of Cement Based Solidification Process for Municipal Solid Waste Incineration Plant Fly Ash," *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, **16** [1] 67-72 (1999).
5. B-C. Ban, I-G. Chon and Y-S. Koo, "Melting Behavior of EAF-Dust in the Electric Arc Furnace," *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, **16** [3] 253-62 (1999).
6. B-J. Jung and S-M. Bae, "A Study on Behavior of Volatile Compounds by Carbon Materials in Initial Reduction Stage of EAF Dust," *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, **18** [2] 121-28 (2001).
7. B-J. Lee and Y-B. Kwon, "Characteristics of Cement Based Solidification of Hazardous Wastes," *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, **18** [6] 22-30 (2001).
8. J-K. Kim, E-H. Kim, S-H. Wang, N-C. S and S-S. Kim, "A Study on the Problem and Modification of Industrial Wastes Extraction Procedure," *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, **13** [6] 775-82 (1996).
9. J-O. Jung and J-H. Lee, "A Comparative Evaluation of Korean Leaching Test with TCLP," *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, **15** [7] 721-28 (1998).
10. B-C. Chiang, M-Y. Wey and S-M. Huang, "Heat Treatment of Incinerator Retired Sorbents Containing Heavy Metals," *The Sci. Tot. Env.*, **273** 83-92 (2001).
11. J-S. Yun, H-C. Yang, M-J. Kang, J-H. Kim and Y. Kang, "Study on High-temperature Capture of Vapor-phase Heavy Metal by Kaolin," *J. of the Kor. Instit. Chem. Eng.*, **39** [4] 470-76 (2001).
12. S. A. Mikhail, A. M. Turcotte and J. Aota, "Thermoanalytical Study of EAF Dust and its Vitrification Product," *Thermochimica Acta*, **287** 71-9 (1996).
13. M-S. Kim, W-T. Kwon and K-S. Jeon, "Cation Exchange Properties of Synthetic Zeolite a from Kaolin," *J. Kor. Instit. Chem. Eng.*, **25** [6] 570-77 (1987).
14. G. Y and Y-W. Kim, "Adsorption Effects of Zeolite for Treatment of Heavy Metals in Wastewater(I)," *J. KSWPRC Dec*, 15-22 (1989).
15. W. Namkoong, P. Hoc and C-S. Kim, "Leaching Characteristics of Industrial Wastes," *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, **13** [2] 186-92 (1996).
16. Z. Youcai, S. Lijie and L. Guajian, "Chemical Stabilization of MSW Incinerator Fly Ashs," *J. Hazardous Mat.*, **2815** 1-17 (2002).