

## 生活廢棄物 燒却 바닥재의 磁力選別에 따른 ferrous material의 分離 特性†

嚴男一 · 韓基天 · 柳光錫 · 趙熙燦\* · †安芝煥

韓國地質資源研究院, \*서울大學校

### Separation of Ferrous Materials from Municipal Solid waste Incineration Bottom Ash†

Nam-Il Um, Gi-Chun Han, Kwang-Suk You, Hee-Chan Cho\* and †Ji-Whan Ahn

*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*

*\*Seoul National University*

#### 요 약

도심지에서 발생하는 생활폐기물들은 재활용 가능한 목재나 iron 등을 분리시킨 후 소각장으로 보내지기 때문에 자기류나 유리류 그리고 가장 많은 양을 차지하고 있는 가연성 물질로 존재하게 된다. 하지만 소각 전 분리 공정에도 불구하고 생활폐기물에서 iron의 함유량은 약 3~11%에 달하고 있다. 이러한 iron은 소각로에서 소각 처리될 경우 약 1000°C의 온도(로의 내부 온도)에서 산화반응에 의해 표면에 산화물 층을 형성하게 된다. 소각된 바닥재는 water-cooling 냉각 처리를 통해 냉각되며 물과 접촉한 iron 표면의 산화물 층은 심한 붕괴가 일어나 부식작용이 더욱 활발히 일어나며 많은 양의 ferrous material( $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeS_2$ )을 생성하게 된다. 이러한 iron과 ferrous material은 산화·환원 작용에 의해 부피변화를 일으키기 때문에 시멘트 골재 등으로의 재활용 시 많은 문제점을 일으킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 소각 바닥재를 이용하여 각 입도별 자력선별에 따른 ferrous material의 분리 특성에 대해 연구하였다. 그 결과 전체 바닥재의 약 18.7%(ferrous product;  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeS_2$ , iron)가 자력선별(자력세기 :3800gauss)에 의해 분리 되었으며 1.18 mm이상의 입도에서 전체 ferrous product의 87.7%가 분포하였다. iron의 경우 전체 바닥재의 약 3.8%의 함유량을 보였으며 1.18 mm이상의 입도에서 전체 iron의 99%이상이 존재하였다.

주제어 : 바닥재, 자력선별, 철금속, 철산화물

#### Abstract

The bottom ash of municipal solid waste incineration generated during incineration of municipal solid waste in metropolitan area consists of ceramics, glasses, ferrous materials, combustible materials and food waste and so on. Although the ferrous material was separated by the magnetic separation before the incineration process, of which content accounts for about 3~11% in bottom ash. The formation of a  $Fe_3O_4$ - $Fe_2O_3$  double layer (similar to pure Fe) on the iron surface was found during air-annealing in the incinerator at 1000°C. A strong thermal shock, such as that takes place during water-cooling of bottom ash, leads to the breakdown of this oxidation layer, facilitating the degradation of ferrous metals and the formation of corrosion products and it existed as  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$  and  $FeS_2$ . So, many problems could occur in the use of bottom ash as an aggregate substitutes in construction field. Therefore, in this study, the separation of ferrous materials from municipal solid waste incineration bottom ash was investigated. In the result, the ferrous product(such as  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $FeS_2$  and iron) by magnetic separator at 3800 gauss per total bottom ash (w/w.%) accounted for about 18.7%, and 87.7% of the ferrous product was in the size over 1.18 mm. Also the iron per total bottom ash accounted for about 3.8% and the majority of it was in the size over 1.18 mm.

**Key words** : bottom ash, magnetic separation, iron, Fe-oxide

† 2006년 12월 30일 접수, 2007년 5월 8일 수리

\*E-mail: ahn1305@paran.com

## 1. 서 론

최근 산업의 발달과 풍족한 생활의 개선에도 불구하고 많은 양의 생활폐기물이 발생되고 있다. 초기에 이러한 대책의 일환으로 매립에 의존하게 되었지만 국토의 효율적 이용 뿐 아니라 국민의 쾌적한 생활환경 조성, 발생되는 폐기물의 재자원화를 위해 매립의 의존성을 낮추어야만 했다; 미국과 유럽의 경우 생활 폐기물들을 소각에 의한 처리가 진행되고 있으며 이를 통하여 폐기물 60-90%가량의 부피를 감소시키는 효과를 얻고 있다. 따라서 국가적으로 소각 처리 비율을 높이는데 노력하고 있다. 한 예로 1995년에 생활폐기물의 소각 비율이 4%인데 반해 2004년에는 소각 비율이 14.5%로 약 3배 이상 높아졌으며 앞으로도 소각 비율은 계속 증가될 것으로 보여 진다. 소각재의 발생량은 연간 50만 톤으로 바닥재가 차지하는 양이 약 45만톤이나 되지만 대부분의 소각재를 매립(약 93.7%) 처리하고 있기 때문에<sup>1)</sup> 소각재의 처리방안이 매우 시급하다. 이에 반해 외국의 경우 국내에 비해 매우 높은 재활용률을 보이고 있으며, 특히 네덜란드의 경우는 약 90%이상의 재활용률을 나타내고 있어 그 차이가 매우 크다. 재활용 용도를 살펴보면 대부분 골재 대체재로 사용되고 있으며 도로 보조 기층재, 제방, 충전재, 아스팔트 콘크리트, 콘크리트 블록 등 다양한 종류의 제품으로 재활용되고 있다<sup>2)</sup>. 위와 같은 바닥재의 재활용을 위해선 다음과 같은 전처리를 해야 한다. 파/분쇄 및 screening를 통한 입도 선별, 자력 선별을 통한 철 금속의 제거, 용출 테스트를 통한 환경적 안정성 확인 등의 공정이 그것이다. 하지만 국내뿐만 아니라 국외에서도 아직까지 대부분 생활폐기물 소각 바닥재에 대한 연구의 포커스를 주성분인  $\text{SiO}_2$ 나

$\text{CaCO}_3$ 을 중심으로 진행되어 왔기 때문에 바닥재의 안정화에 대한 근본적인 해결을 얻지 못하고 있는 실정이다. 따라서 바닥재에 포함된 모든 성분들에 대한 충분한 연구가 진행되어야 할 것이다. 그 중 하나가 바로 바닥재에 포함된 ferrous material에 대한 이해이다<sup>3)</sup>. iron의 선별 처리에 대한 체계적인 연구는 아직까지 제대로 이루어지지 않고 있으며 실제로 바닥재의 재활용 시 ferrous material에 따른 문제점을 발생시키고 있기 때문에 자력선별 처리 공정에 대한 올바른 연구가 필요하다. 따라서 바닥재의 입도에 따른 ferrous material의 분포 특성<sup>4)</sup>, ferrous material의 화학적 분석, 자력선별에 따른 영향성<sup>5)</sup> 등에 관한 연구를 할 필요가 있다.

## 2. 생활폐기물 소각 바닥재의 ferrous material 특성

많은 양의 iron을 함유하고 있는 바닥재는 소각된 후 water-cooling 처리 시설로부터 냉각된다. 하지만 로에서 달구어진 iron은 산화반응에 의해 표면에 산화물 층을 형성하고 있으며 급격한 냉각에 따라 표면에 매우 강력한 충격을 받기 때문에 산화물 층의 붕괴를 야기시켜 부식작용을 더욱 활발히 일으키는 원동력이 된다. Fig. 1<sup>6)</sup>은 water-cooling 처리 후의 철 표면의 부식상태를 나타내고 있다.

바닥재에 함유되어 있는 iron과 위의 반응에 의해 형성된 ferrous material은 산화·환원 반응에 의해 부피 변화를 일으키며, iron은 금속은 (1)에서와 같이 수분과 산소와의 산화작용에 의해  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 와  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 가 형성되어 부피팽창을 일으킨다. 또한 산화작용에 의해 생성된  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 등의 Fe-oxides는 (2)에서와 같이 시간에

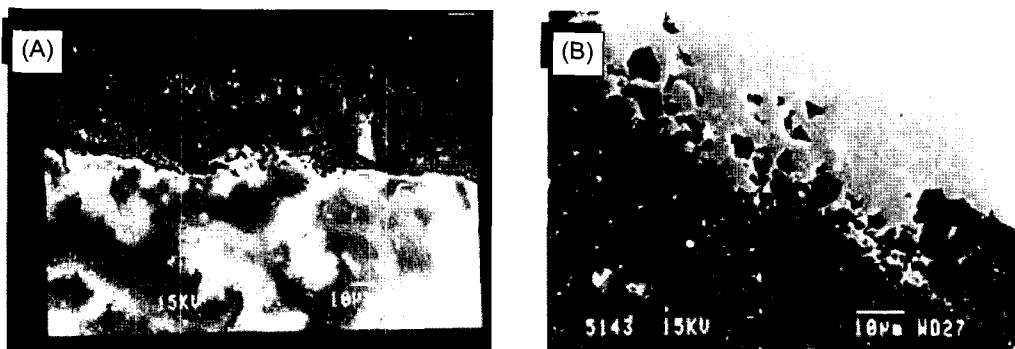


Fig. 1. SEM images of scrap, illustrating : (A) breakdown of the oxidation layer ( $\times 700$ ) and (B) attack of the steel surface from the heat oxidation layer breakdown zone ( $\times 1200$ ). (date taken from A.L. Delgado *et al.*)<sup>6)</sup>

따라 지속적으로 환원반응이 일어나 부피감소가 일어난다. 이러한 산화·환원 작용에 따른 부피변화는 바닥재를 시멘트의 골재 등으로 재활용 하였을 경우 crack을 일으켜 결합력 감소에 따른 분열을 발생시킬 수 있다. Fig. 2<sup>7)</sup>은 바닥재를 사용하여 만든 시멘트 골재 표면의 crack 형상을 나타낸 것이다.

Fe의 산화 반응:

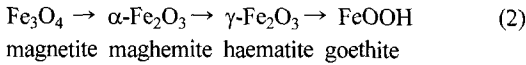
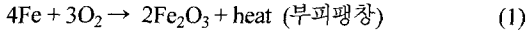


Table 1은 물질에 대한 자성의 세기를 비교하여 나타낸 것이다. iron의 100을 기준으로 비교하였을 때 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 40.18으로 Fe-oxides중에 가장 높은 자성을 나타냈지만 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 1.32로 약자성 물질을 보였고 FeS<sub>2</sub>는 비 자성 물질을 보였다. 이를 통해 바닥재에 함유되어 있는 자성 물질, 특히 앞에서 언급한 강자성 물질인 iron과 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 자력선별만으로도 충분히 선별이 가능

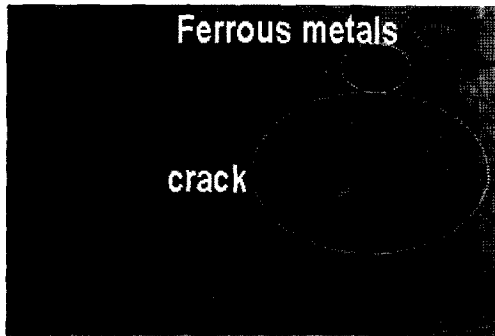


Fig. 2. Crack formation of oxidation of ferrous metals. (date taken from G. Pecqueur *et al.*)<sup>7)</sup>

하다. 따라서 본 연구에서는 생활폐기물 소각 바닥재의 자력선별에 따른 ferrous material의 분리 특성에 의해 연구하였다.

### 3. 실험재료 및 방법

#### 3.1. 시료

본 실험에서 사용된 생활폐기물 소각 바닥재는 대한민국의 광명시에 위치한 생활폐기물 소각장에서 발생하는 바닥재를 대상으로 하였다. 소각로에서 1000°C로 소각된 후 water-cooling 처리 공정을 통해 냉각 처리된 바닥재를 취하였다. 함수율은 약 20-30%였으며 전처리(파쇄, 입도분리, 자력선별)가 되지 않은 것이다.

#### 3.2. 실험방법

##### 3.2.1. 입도 분리

생활 폐기물 소각 바닥재를 오븐기에 넣고 100°C의 온도로 가열하여 함수율의 감소량이 0.1%미만이 될 때까지 건조(약 1일)하였다. 건조된 바닥재는 표준체를 사용하여 over 4.75 mm, 2.36-4.75 mm, 1.18-2.36 mm, 0.6-1.18 mm, 0.3-0.6 mm, 0.15-0.3 mm, under 0.15 mm의 입도로 분리하였다.

##### 3.2.2. 자력 선별

자력선별 방법은 3800gauss 자력의 세기로 하여 바닥재에 함유되어 있는 ferrous material을 선별하였으며 이를 ferrous product로 규정하였다. ferrous product를 파쇄한 후 표준체를 이용하여 iron을 선별하였다. ferrous product는 자력 선별을 통하여 분리되었으며 분리된 ferrous product를 strong magnetic product로 규정하였고, 남아있는 ferrous product를 weak magnetic

Table 1. Magnetic force of mineral in MSWI bottom ash

grade	molecular formula	force	grade	molecular formula	force
strong magnetic material	Fe(iron)	100.0	weak magnetic material	2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	0.84
	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	40.18		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.83
	(Zn, Fe, Mn) <sub>2</sub> O·(Fe, Mn) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.38		MnO <sub>3</sub>	0.71
	FeTiO <sub>3</sub>	24.70		Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	0.52
	Fe <sub>N</sub> S <sub>N+1</sub> (n=5-16)	6.69		2ZnO·SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	0.40
weak magnetic material	FeCO <sub>3</sub>	1.82	non magnetic material	FeS <sub>2</sub>	0.23
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.32		FeAsS	0.15
	ZrSiO <sub>4</sub>	1.01		CuFeS	0.14

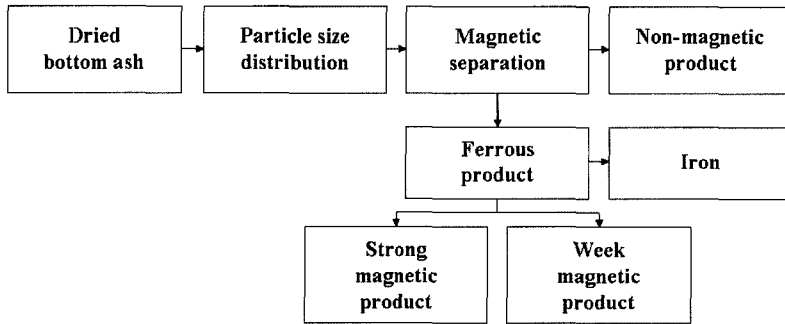


Fig. 3. The work flow of magnetic separation.

Table 2. Physics composition of bottom ash

composition	aggregate	ferrous metals	non ferrous metals	unburned material
w/w(%)	88.1	3.8	0.7	7.4

Table 3. Chemical composition of bottom ash (aggregate)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Igloss
w/w(%)	29.72	4.24	3.95	17.29	2.87	2.14	3.33	1.4	0.32	4.05	0.43

Table 4. The separation ratio of MSWI bottom ash separated via a magnetic separator based on particle size

	total (%)	particle size (mm)						
		+4.75	2.36-4.75	1.18-2.36	0.6-1.18	0.3-0.6	0.15-0.3	-0.15
bottom ash	100	47.1	21.8	14.0	11.4	2.0	2.2	1.5
ferrous product (iron)	18.7 (3.8)	11.1 (3.5)	2.8 (0.2)	2.5 (0.1)	1.6	0.2	0.2	0.3
non-magnetic product	78.8	36.0	19.0	11.5	9.8	1.8	2.0	1.2

product로 규정하였다. 전체 공정도를 Fig. 3에 나타냈다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1. 생활폐기물 소각 바닥재의 조성

Table 2는 소각 바닥재의 물리적 조성을 나타낸 것이다. aggregate는 전체 바닥재의 88.1%로 매우 높게 나타났다. metals의 경우 약 4.5%의 함유율을 보였으며, iron과 non-ferrous metals은 각각 3.8%와 0.7%의 함유율을 나타냈다. unburned material은 약 7.4%나 함유되었다.

Table 3과 Fig. 4는 aggregate의 화학조성과 광물학적 조성을 나타낸 것이다. 대부분 Si와 Ca의 화합물로 이루어진 유리, 도자기 및 페 시멘트의 성분으로 구성되었으며 ferrous materials의 존재 또한 확인할 수 있었다.

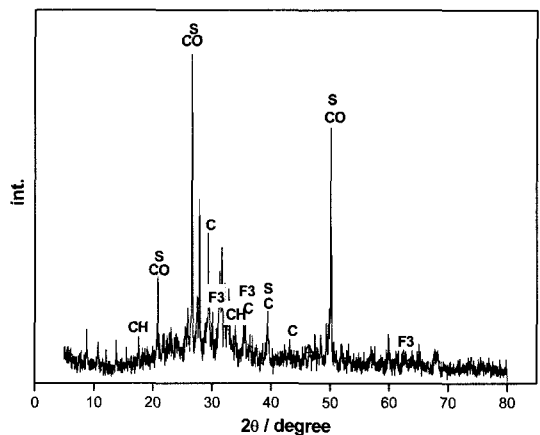


Fig. 4. XRD pattern of bottom ash (aggregate). (C: CaCO<sub>3</sub>, CH: Ca(OH)<sub>2</sub>, CO: CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, S: SiO<sub>2</sub>, F3: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>).

4.2. 생활폐기물 소각 바닥재의 ferrous material 분리 특성

각 입도별 바닥재의 분포율과 자력 선별된 ferrous product의 분포율을 그리고 iron의 분포율을 Table 4와 Fig. 5에 나타냈다.

4.2.1. 1.18 mm이상의 입도에서의 ferrous product 분리 특성

전체 바닥재의 약 82.9%를 차지하는 1.18 mm이상의 입도에서 많은 양의 ferrous product와 iron을 함유하고 있다. Fig. 6은 1.18 mm이상의 입도에서 자력 선별된 ferrous product와 iron의 형상을 나타낸 것이다. 또한, ferrous product의 광물학적 특성을 파악하기 위해 250gauss의 자성 세기를 이용하여 선별된 strong

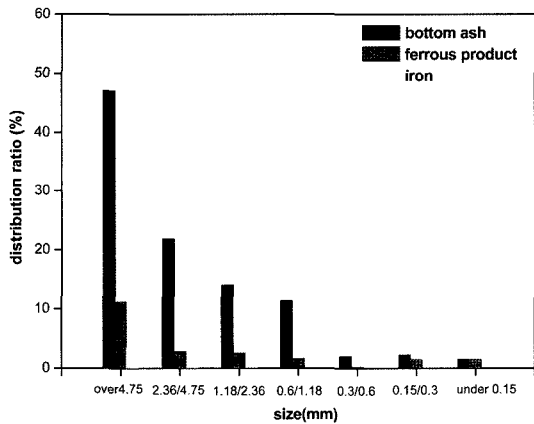


Fig. 5. The distribution ratio of bottom ash separated via a magnetic separator based on particle size.



a) ferrous product



b) iron

Fig. 6. Picture of magnetic separated ferrous product and iron in fraction over 1.18 mm.

magnetic product와 weak magnetic product를 XRD 분석하여 Fig. 7에 나타냈다. strong magnetic product는 대부분이 ferrous material( $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeS_2$ )로 이루어져 있었으며, 이에 반해 weak magnetic product에서는 ferrous material의 peak가 매우 낮았으며, non-magnetic product에서는 나타나지 않았다. Magnetic product의 XRD 그래프에서 나타난  $Fe_2O_3$ 와  $FeS_2$ 의 경우 약자성과 비자성임에도 불구하고 자력 선별기에 의해 선별되었다. 이는 소각 시 iron의 표면에서 산화반응 뿐만 아니라 sulfur-gas와의 화학반응에 의해 생성된  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeS_2$ 가 서로 응집되어 형성되기 때문에 이러한 영향으로 선별되는 것이라 판단된다.

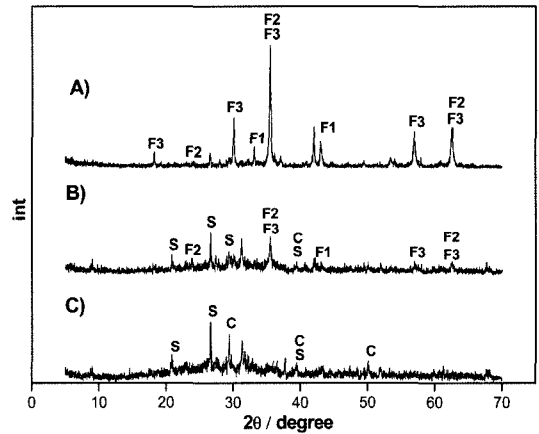


Fig. 7. XRD pattern of ferrous materials in fraction over 1.18mm. (A: strong magnetic product, B: weak magnetic product, C: non-magnetic product; F1:  $FeS_2$ , F2:  $Fe_2O_3$ , F3:  $Fe_3O_4$ , S:  $SiO_2$ , C:  $CaCO_3$ )

**Table 5.** Chemical composition of bottom ash separated as a magnetic force (over 1.18 mm)

element		over 1.18 mm (wt.%)											
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	total
ferrous product	strong magnetic product	7.99	2.54	0.55	75.00	0.52	5.71	0.94	0.19	0.52	0.73	0.26	94.69
	weak magnetic product	33.19	9.48	1.15	24.71	1.78	14.86	3.05	1.20	0.26	1.82	2.66	91.5
non-magnetic product		47.30	11.77	0.89	4.24	1.96	15.90	4.74	1.76	0.08	3.01	5.27	91.65

Table 5는 각 product 대한 화학조성을 나타낸 것이다. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 함유율이 strong magnetic product와 weak magnetic product에서 각각 75.0%와 24.71%를 보였으며, non-magnetic product는 4.24%로 매우 낮은 값을 보였다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 1.18 mm이상의 바닥재에서 대부분의 iron과 ferrous material을 함유하였으며 자력선별을 통해 쉽게 분리시킬 수 있었다.

4.2.2. 0.3-1.18 mm 입도에서의 ferrous product 분리 특성

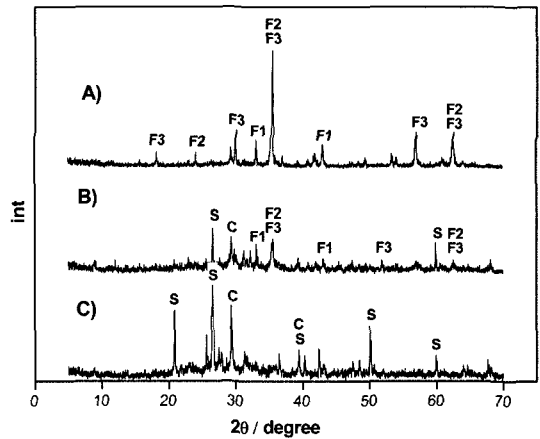
전체 바닥재의 약 13.4%를 차지하고 있는 0.3~1.18 mm의 입도에서 ferrous product와 iron의 함유율은 매우 낮았으며, ferrous product를 측정하여 Fig. 8과 Table 6에 나타냈다. Fig. 8에서의 XRD 분석결과, 1.18 mm이상의 입도에서의 결과와 마찬가지로 strong magnetic product에서는 대부분이 ferrous material(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeS)로 이루어져 있었고 weak magnetic product에서는 ferrous material의 peak가 비교적 낮았으며, non-magnetic product에서는 나타나지 않았다. Table 6은 화학조성을 나타낸 것이다. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 함유율은 strong magnetic product와 weak magnetic product에서 각각 82.98%와 26.20%를 보였으며, non-magnetic product는 4.27%로 매우 낮은 값을 보였다.

결과에서 나타나듯 0.3~1.18 mm에서의 광물상과 화

학조성이 1.18 mm이상의 것과 동일하다는 것을 확인할 수 있었다. 0.3~1.18 mm 입도에서 존재하는 대부분의 ferrous material은 1.18 mm이상의 입도에서 존재하는 iron 표면 혹은 덩어리 형태의 ferrous material에서 떨어져 나와 형성된 것이라고 판단된다.

4.2.3. 0.3 mm이하의 입도에서의 ferrous materials 분리 특성

전체 바닥재의 3.7%를 차지하고 있는 0.3 mm이하의



**Fig. 8.** XRD pattern of ferrous materials in fractions 0.3~1.18 mm. (A: strong magnetic product, B: weak magnetic product, C: non-magnetic product; F1: FeS<sub>2</sub>, F2: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F3: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, S: SiO<sub>2</sub>, C: CaCO<sub>3</sub>)

**Table 6.** Chemical composition of bottom ash separated as a magnetic force (0.3~1.18 mm)

element		0.3 ~ 1.18 mm (wt.%)											
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	total
ferrous product	strongly magnetic product	5.66	1.95	0.49	82.98	1.04	5.29	0.00	0.14	0.26	0.46	-0.79	97.48
	weakly magnetic product	25.32	10.13	1.05	26.20	1.54	13.91	1.76	1.25	0.24	1.56	6.43	89.24
non-magnetic product		43.79	13.49	0.92	2.88	1.71	17.84	2.71	1.92	0.12	2.40	9.01	96.80

Table 7. Chemical composition of bottom ash separated as a magnetic force (under 0.3 mm)

element		under 0.3 mm (wt.%)											
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	total
ferrous product	strong magnetic product	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	weak magnetic product	19.89	1.20	0.86	2.89	1.79	28.92	1.35	0.69	0.22	2.90	22.47	83.18
non-magnetic product		20.10	7.67	0.80	2.01	1.73	28.53	1.49	0.88	0.17	3.06	24.45	90.88

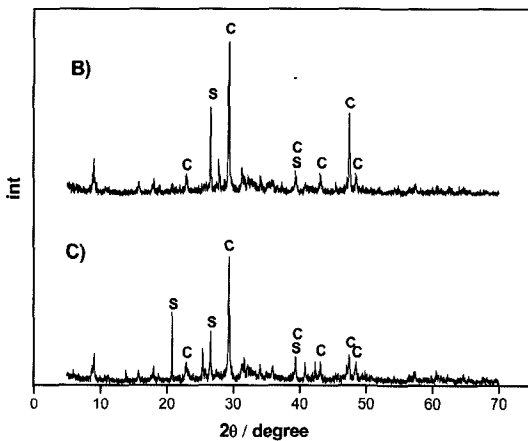


Fig. 9. XRD pattern of ferrous materials in fraction under 0.3 mm. (B: weak magnetic product, C: non-magnetic product; S: SiO<sub>2</sub>, C: CaCO<sub>3</sub>)

입도에서는 미량의 ferrous product(strong magnetic product는 선별되지 않았음.)만이 존재할 뿐 iron은 존재하지 않았다. 위의 입도와 같은 방법으로 ferrous product를 측정하여 Fig. 9와 Table 7에 나타냈다. Fig. 9에서의 XRD 분석결과, 대부분 CaCO<sub>3</sub>와 SiO<sub>2</sub>로 이루어졌으며 ferrous material의 peak는 뚜렷이 나타나지 않았다. 화학조성 분석 결과(Table 7) Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 함유율이 weak ferrous product와 non-magnetic product에서 각각 2.89%와 2.01%로 매우 낮게 나타났다.

0.3mm이하의 입도에서 weak ferrous product의 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 함유량(2.89%)이 다른 입도의 것(1.18 mm; 33.19%, 0.3-1.18 mm: 25.32%)에 비해 매우 낮게 나타나는 이유는 ferrous material 뿐만 아니라 강자성 물질인 미립분의 Ni와 Cr 화합물을 함유하고 있기 때문이며 또한 자력을 주었을 때 강자성 입자들 사이에 자기장이 형성되어 불순물(비 자성 물질)과 함께 응집효과(미립분일수록 크게 나타남)가 일어나기 때문이다. 따라서 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 함유량이 낮음에도 불구하고 weak ferrous product로 선별되는 이유이다.

### 5. 결 론

자력 선별기(3800gauss의 자력세기)를 이용하여 생활 폐기물 소각 바닥재의 ferrous material을 선별하였다. 그 결과 약 18.7%의 ferrous product를 선별할 수 있었으며 그 중에 약 3.8%는 iron으로 존재하였다. 대부분의 ferrous product와 iron은 1.18mm이상의 입도에서 분포하였으며 입도가 작을 수록 각각의 분포율은 급격하게 감소하였다. 하지만 iron의 경우 0.3 mm이하의 입도에서는 존재하지 않았다.

자력 선별된 ferrous product(iron 제외)는 많은 양의 ferrous material(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeS<sub>2</sub> 등)을 함유하고 있다. 그 이유는 소각로(약 1000°C)에서 담구어진 철 금속은 산화반응에 의해 표면에 산화물 층을 형성하게 되며, water-cooling 냉각 처리(국내의 대부분 소각장에서 사용하고 있음.)를 통해 철 금속 표면의 산화물 층을 붕괴시켜 부식작용을 더욱 활발히 일으키기 때문에 철 금속 표면은 많은 양의 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 및 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 생성시킨다.

바닥재를 도로포장재, 시멘트 골재 등으로 재활용 하였을 경우 iron과 ferrous material의 산화·환원 반응을 통한 부피변화로 인해 안전상의 문제점을 일으킬 수 있다. 하지만 위의 결과에서도 알 수 있듯이 입도분리와 자력의 세기에 따른 자력선별을 통해 iron과 ferrous material의 선택적인 분리가 가능하며 이러한 문제점을 해결 할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. Ministry of Environment in Korea, 2005 : The national waste generation and the present state of treatment 2004, Korea.
2. Kist Europe, 2002 : State of the art of ash and construction waste recycling in Europe and plan for cooperation, Europe.
3. J. Svoboda, J. and Fujita, T., 2003 : Recent development in magnetic methods of material separation, Minerals

- Engineering, 16, pp.785-792.
4. Chimenos, J.M. *et al.*, 1999 : Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator, *Journal of Hazardous Materials*, 64, pp.211-222.
  5. Svoboda, J. and Fujita, T., 2003 : Recent developments in magnetic methods of material separation, *Minerals Engineering*, 1, pp.785-792.
  6. Delgado, A. L. *et al.*, 2003 : Quality of ferrous scrap from MSW incinerators: a case study of Spain, *resources, Conservation and recycling*, 40, pp.39-51.
  7. Pecqueur, G, Crignon, C. and Quenee, B., 2001 : Behaviour of cement-treated MSWI bottom ash, *Waste Management*, 21, pp.229-233.
  8. Boom R., Steffen R., 2001 : Recycling of scrap for high quality steel products, *Steel research*, 72, pp.91-6.

### 嚴 男 一

- 2003년 인하대학교 자원공학과 공학사
- 2005년 인하대학교 자원공학과 공학석사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 자원처리연구실 연구원

### 韓 基 天

- 1998년 인하대학교 자원공학과 공학사
- 2000년 인하대학교 자원공학과 공학석사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 자원처리연구실 연구원

### 柳 光 錫

- 1996년 명지대학교 무기재료공학과 공학사
- 1998년 명지대학교 무기재료공학과 공학석사
- 2002년 야마구찌 국립대학교 공학박사

### 趙 熙 燦

- 현재 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수
- 당 학회지 제 10권 3호 참조

### 安 芝 煥

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
- 당 학회지 제 10권 4호 참조