

탄산화 반응에 의한 생활폐기물 소각 바닥재의 중금속 안정화

한기천, 엄남일, 유광석, 안지환
한국지질자원연구원

Stabilization of heavy metals of Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash by Carbonation

Gi-Chun Han, Nam-Il Um, Gwang-Suk You, Ji-Whan Ahn
Korea Institute of Geoscience and Mineral and Resources

요 약

생활폐기물을 소각한 후 발생하는 바닥재는 토목, 건설 분야에서 골재로서 활용 가치가 높으나, Cu, Pb 등 일부 중금속의 용출량이 환경기준치를 초과하여 바닥재의 재활용을 저해시키는 주요 요인으로 작용하고 있다. 본 연구에서는 바닥재의 중금속 용출을 저감시키기 위한 방법으로서 인위적인 탄산화에 의한 생활폐기물 소각 바닥재의 중금속 안정화 특성을 조사하였다. 4mesh를 기준으로 각 입단에 대해 고액비, 온도, CO₂(g) 주입량에 따라 중금속 용출농도를 조사하였다. 중금속용출시험 결과 Pb, Cr, Cd, As는 미량 또는 불검출되었으며, Cu는 4mesh 이상에서 2.21mg/L, 4mesh이하에서 5.12mg/L로 4mesh이하에서 환경기준치를 초과하였다. 4mesh이하에 대해 탄산화 반응을 수행한 결과 CO₂(g) 주입됨에 따라 pH는 초기 12.5에서 8까지 감소하였으며, Cu의 용출 농도는 pH 10에서 1.34mg/L까지 감소되었으며, pH 9-8에서는 불검출되어 탄산화 반응에 의해 바닥재의 환경적 안정성을 증진시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

주제어 : 생활폐기물 소각 바닥재, 탄산화, 재활용, 중금속, 용출

1. 서론

국내 14개 생활폐기물 소각장에서 발생된 소각재는 2003년 현재 약 44만톤으로 이 중 바닥재가 약 40만톤, 비산재가 약 4만톤 발생되었다. 생활폐기물의 처분 방법은 '95년에는 매립 72%, 재활용 24%, 소각 4% 비율로 처리하였으나, '96년 '국가 폐기물관리 종합계획'의 재활용을 확대하고, 매립을 줄이는 정책 방향에 따라 재활용이 안되는 최종 폐기물은 매립보다는 소각처리에 중점을 두어 '99년에는 매립 51.6%, 재활용 38.1%, 소각 10.3%로 매립 비율은 감소하고 재활용과 소각 비율이 높아져 소각에 의해 발생하는 소각재는 계속 늘어날 전망이다.

국내의 생활폐기물 소각장에서 발생하는 바닥재(Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash, MSWI bottom ash)는 주로 철, 유리, 도자기 등으로 구성되어 있어 재활용이 가능하지만 일반폐기물로 분류되어 매립되고 있다. 주로 매립에 의존하는 국내의 바닥재 처분 방식과는 달리, 유럽의 독일, 덴마크, 네덜란드 등은 바닥재를 도로건설의 경량 골재로서 이용하거나 아스팔트 또는 콘크리트에 사용하는 등 발생된 바닥재의 60~90%를 재이용하고 있다. 그러나 바닥재는 구리, 납 등의 중금속의 잠재적인 용출 가능성을 가지고 있기 때문에 재활용을 포함한 매립 등에 있어 바닥재의 최종 처분은 그 용도에 맞는 환경적 요구조건을 충족시켜야 한다. 따라서, 프랑스, 독일 등에서는 재활용에 앞서 중금속 용출량 등 환경기준

을 정하고 있으며, 환경적 안정성을 높이기 위해 고형화, 세척, 숙성 등의 처리가 사용되고 있다. 이 중 3-6개월간 대기중에 바닥재를 저장하는 방법인 숙성은 다른 방법에 비해 상대적으로 낮은 투자비와 운영비 때문에 주로 사용되는 방법으로 숙성 기간동안 중산화, 용해, 침전, 탄산화 등 여러 반응이 진행되게 되며, 공기중의 CO₂와의 반응에 의한 탄산화가 중금속의 용출 저감에 중요한 역할을 하고 있다. 그러나, 바닥재의 숙성은 그 기간이 3개월 이상의 장기간이 소요되고 이로 인해 넓은 부지가 필요하기 때문에 기간을 단축시키기 위한 연구가 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 바닥재로부터의 중금속 용출 저감 등 환경적 안정성을 증진시키기 위한 방법으로서 바닥재의 세정시 인위적으로 CO₂(g)를 주입하였으며, 고액비, 온도, CO₂(g)의 주입량 등에 따른 중금속 용출 변화를 조사하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1 시료

대전지역의 생활폐기물 소각장으로부터 발생된 바닥재 500kg을 재병커로부터 채취하여 실험의 시료로 사용하였다. 본 소각장에 유입된 생활폐기물은 850℃이상으로 소각된 후 물에 급냉되어 재병커에서 약 1일간 저장된 후 매립지로 이송된다. 채취된 시료는 실험실로 가져온 후 50℃에서 1일간 건조하여 각 실험의 시료로 사용하였다.

2.2 실험방법

바닥재를 4mesh 표준체로 사분하여 철판, 비철금속류 등을 제거한 후 각 입단에 대한 주성분분석은 XRF(XRF-1700, Shmadzu Corporation)로, 중금속함유량 및 용출량은 AAS(AA-scan 6800, Shmadzu Corporation)로 분석하였다.

중금속 용출시험은 폐기물 용출시험법에 준하여 실시하였으며, 탄산화 반응은 온도조절이 가능한 반응기에 고액비(Liquid/Solid ratio, v/w)를 2-10으로 변화시켜 pH 변화에 따라 시료를 채취하여 용액중의 중금속 농도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생활폐기물 소각 바닥재의 특성

Table 1과 Table 2는 바닥재의 화학조성을 나타낸 것이다. 바닥재의 주성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO 등이며 4mesh이상에서 SiO₂가 많이 함유되어 있으며 이것은 유리류에 의한 것으로 판단되며 4mesh이하는 4mesh이상에 비해 Al₂O₃와 CaO 성분이 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 또한 염소성분은 4mesh이상은 1.01%인데 반하여 4mesh이하에서는 2.20%로 2배이상 함유되어 있는 것으로 나타났다. 중금속은 4mesh이하가 4mesh이상보다 약 2배이상 중금속의 농도가 높은 것으로 나타났다.

Table 1. Chemical composition of MSWI bottom ash

Particle size of bottom ash	Component(wt.%)											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	ZnO	Cl
+4mesh	50.49	5.70	0.11	5.20	1.18	10.50	4.85	1.07	0.06	1.20	0.22	1.01
-4mesh	23.55	10.20	1.05	9.75	2.01	24.29	2.99	1.60	0.18	5.60	1.15	2.20

Table 2. Amount of heavy metals of MSWI bottom ash

Particle size of bottom ash	Amount of heavy metals(mg/kg)				
	Cu	Cd	As	Cr	Pb
+4mesh	1250.45	8.75	12.44	125.20	560.75
-4mesh	2501.40	12.34	45.75	380.25	1250.75

2) 탄산화 처리에 따른 중금속 용출 변화

표 3은 바닥재의 중금속 용출시험결과로서 4mesh이상 및 이하에서 Cr, Cd, As 등의 중금속은 불검출 또는 극소량 용출되었으며, Cu는 4mesh이상에서 2.21mg/L, 4mesh이하에서 5.12mg/L가 용출되어 4mesh이하에서는 환경기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 표 2에 보여진 바와 같이 4mesh이하의 중금속 함유량이 4mesh이상에 비해 2배 정도 높은 점을 고려해보면 바닥재로부터의 중금속 용출은 그 함유량과 큰 연관성은 없는 것으로 사료된다.

표 4는 4mesh이하의 바닥재에 대해 고액비(L/S ratio)를 10으로 20℃에서 CO₂(g)를 주입하면서 pH를 8-10으로 변화시켰을 때의 중금속 용출 농도를 나타낸 것으로 pH가 10일 때, 1.34mg/L로 Cu 용출 농도가 저감되었으며, pH 8-9사이에서는 Cu는 불검출로 나타나 CO₂(g)를 주입하여 pH를 10으로 조절함으로써 바닥재의 안정화를 증진시키는 효과를 나타내는 것이 확인되었다.

Table 3. Leached concentration of heavy metals from MSWI bottom ash

Particle size of bottom ash	Concentration of heavy metals(mg/L)				
	Cu	Cr	Pb	Cd	As
+4mesh	2.21	0.24	0.66	ND	ND
-4mesh	5.12	ND	0.91	ND	ND

(ND : Not Detected)

Table. 13 Leached concentration from MSWI bottom ash below 4mesh with CO₂ gas injection [1:10(w/v) of pulp density, 20℃, CO₂(g) flow rate : 100 ml/min]

Sample	pH of solution	Concentration (mg/L)				
		Cu	Cr	Pb	Cd	As
Bottom ash	10.0	1.34	ND	ND	ND	ND
	9.0	ND	0.06	0.1	0.075	ND
	8.0	ND	0.06	0.1	0.48	ND

(ND : Not Detected)

4. 결론

생활폐기물 소각 바닥재에 대해 중금속의 안정화를 위해 세정시 CO₂(g) 주입 처리를 수행한 결과는 아래와 같다.

1) 바닥재의 주성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO 등이며 4mesh이상에서 SiO₂가 많이 함유되

어 있으며 4mesh이하는 4mesh이상에 비해 Al_2O_3 와 CaO 성분이 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 중금속 함유량은 4mesh이하가 4mesh이상보다 약 2배이상 중금속의 농도가 높은 것으로 나타났다.

2) 폐기물 용출시험 결과 Cu는 4mesh이상에서 2.21mg/L, 4mesh이하에서 5.12mg/L가 용출되어 4mesh이하에서는 환경기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 또한, Pb, Cr, Cd, As 등은 극미량 또는 불검출되었다. 4mesh이하의 바닥재에 대해 고액비(L/S ratio)를 10으로 20°C에서 $CO_2(g)$ 를 주입하면서 pH를 8-10으로 변화시켰을 때의 초기 pH 12.5에서 pH 10으로 낮아졌을 때, Cu의 용출농도는 1.34mg/L로, pH 8-9사이에서는 Cu는 불검출로 나타나 바닥재 세정시 $CO_2(g)$ 를 주입하여 처리함으로써 바닥재의 중금속 안정화를 증진시킬 수 있음을 확인하였다.

References

1. Ministry of Environment Republic of Korea : "Generation and treatment situation in 1993", (2004).
2. C. Wiles and P. Shepherd : "Beneficial use and recycling of municipal waste combustion residues-a comprehensive resource document", Nation Renewable Energy Laboratory(NREL), 3, 6-11 (1999).
3. J.W ahn : "Removal of Chlorine from Fly Ash in Municipal Solid Waste Incineration Ash by Water Washing", Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, Vol. 10, No. 5, pp.36-43 (2001).
4. Jesse R. Conner : "Chapter 3, Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes", Van Nostrand Reinold, 26-40 (1990).
6. J.W ahn : "Characteristics of the Bottom Ash in Municipal Solid Waste Incineration Ash", Journal of the Korean Institute of Resources Recycling Vol. 10, No. 4, pp.48-57 (2001).