

생활폐기물 소각장 비산재와 바닥재의 저장기간에 따른 중금속의 용출특성

천가열 · 박진만 · 이수구

서울산업대학교 환경공학과

I. 서론

오늘날 산업화와 인구 증가로 인해 우리나라 폐기물 발생량은 급격히 증가하고 있다 이에 대한 정책으로 폐기물 발생량 자체를 줄일 수 있는 감량화가 우선이며 다음은 발생된 쓰레기를 최대한 재활용하는 것이고 최종적으로 소각 또는 매립하는 것이다. 현재 우리나라는 쓰레기 발생량의 대부분을 매립에 의존하고 있으나 국토가 좁은 우리나라에서 매립을 지속할 경우 매립지 부족과 매립지에서 발생하는 2차 오염물인 침출수 등의 처리 문제가 있어 앞으로는 쓰레기 처리를 폐기물의 부피를 현저하게 감소시킬 수 있는 소각에 의한 처리를 확대하고 있다. 이를 위하여 정부에서는 2001년까지 98년 말 9%인 소각 처리율을 20%까지 확대하는 정책 목표를 정하고 있다. 전국적으로 정상 운전되고 있는 소각시설은 16개소이며, 건설중인 16개소가 완공되면 총 10,150톤/일의 규모로 소각 처리하게 된다. 하지만 소각 중 발생하는 소각재는 다량의 중금속을 함유하고 있어 폐기물 공정 시험법의 용출 시험법에 따라 중금속의 용출 가능성을 예측하고 있으며 현행 폐기물 관리법 상의 용출 허용 기준 이상으로 중금속이 용출된 소각재는 지정 폐기물로 분류하여 관리하고 있어 이에 대한 대책이 시급히 요구되고 있다. '99년도 소각재 발생량은 총 177,870톤으로서 바닥재는 162,124톤이며, 비산재는 15,747톤으로서 감량화율은 92.95%를 보이고 있다. 비산재는 물론 바닥재에서도 납 등의 중금속 함량이 기준치를 초과하여 국내에서도 매립지에의 반입이 금지되어 소각장내에 쌓이고 사회적으로도 큰 문제를 야기시켰다.

소각재의 처리방법에는 시멘트 고화법, 열 용융법, 약제처리법 등 여러 가지 방법이 있으나, 바닥재의 경우 선진국에서와 같이 재활용에 중점을 두어 연구해야 할 필요성이 크다고 사료된다. 특히 독일을 비롯한 유럽선진국의 경우 바닥재는 물리적인 분리 조작후 자연상태에서 저장시켜 도로건설등의 재료로 재활용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 생활폐기물 소각시설에서 배출되고 있는 바닥재(Bottom ash)와 비산재(Fly ash)를 대상으로 저장 기간별 중금속의 용출 결과를 우리나라 폐기물 공정법 상의 용출 시험법 KSLT(Korea Standard Leaching Test)와 미국 EPA의 TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)에 의한 용출 특성을 비교 분석하여 바닥재와 비산재의 저장 기간에 따른 중금속 용출 특성을 검토하여 그 재활용 가능성을 실험 고찰하였다.

II. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 재료

본 실험에서 사용된 시료는 경기도에 소재한 I 소각장에서 발생하는 비산재와 바닥재로서 4회에 걸쳐 채취하여 실험에 사용하였다. 바닥재는 재 피트에서 폐기물 공정 시험법에 따라 채

[연락처] (우) 139-743 서울특별시 노원구 공릉2동 172번지 서울산업대학교 환경공학과 이수구
Tel : 02-970-6624, Fax : 02-971-5776, E-mail : Sookulee@duck.snut.ac.kr

취한 후 폴리에틸렌 상자에 담아 실험실로 운반하였고, 비산재 시료는 Bag filter에서 수거되어진 비산재를 채취한 후 폴리에틸렌 상자에 담아 실험실로 운반하였다. 비산재는 미세하여 그대로 사용하였으며, 바닥재에는 유리, 도자기류와 각종 불연물들이 덩어리 상태로 있어 이를 분리 제거하기 위하여 8 mesh체를 이용하여 분리하여 체를 통과한 시료를 실험에 사용하였다.

2.2 실험 장치 및 방법

소각재의 저장기간에 따른 용출 특성을 파악하기 위하여 소각재와 공기를 접촉시켜 Calcite 반응을 촉진하는 방법인 혼합하는 조건과 소각재를 쌓아놓은 상태를 가정하여 공기와의 접촉을 차단하는 방법으로 밀폐조건으로 하여 두가지 조건에서 비산재와 바닥재 각각의 경우에 대하여 실험하였다.

혼합조건에서는 소각재가 공기중의 CO₂ 등과 충분히 반응할 수 있도록 수시로(1일 1-2회) 혼합시켰는데, 바닥재와 비산재를 두께 5cm 정도로 바닥(3L 상자)에 얇게 깔고 실온에서 대기 중에 방치하였다. 밀폐조건에서는 공기와의 접촉을 막기 위해 별도의 실험장치를 제작하였는데, 이 장치는 직경 5cm, 길이 90cm의 2개의 Column으로서 바닥재와 비산재를 각각 채운 후 양쪽을 밀봉한 후 실험하였다. 시료 채취시에는 하부에서 채취하였으며, 초기 일부 소각재를 제외하고 채취하여 공기와의 접촉효과를 최소화하고자 하였다.

저장기간에 따른 중금속 용출 효과를 파악하기 위하여 시간변화에 따라 4 종류의 시료를 적당량을 채취하여 100mesh 체로 거른 후 각 측정항목을 분석하였다.

2.3 측정항목 및 분석방법

시료중의 중금속 측정항목은 Pb, Cu, Cd, Cr이며, 금속항목으로 다량 함유되어 있는 Ca을 대상으로 시험하였다.

용출시험방법에 있어서 소각재 중의 중금속 용출량을 비교하기 위하여, 우리나라 폐기물 규정시험법의 용출시험법(KSLT)과 미국 EPA의 TCLP법에 따라 용출조작 후, 용출액을 질산으로 전처리한 후 검액으로 사용하였다.

소각재중에 함유된 중금속의 총량을 분석하기 위해서는 질산 과염소산 용액으로 분해한 후 여과하여 분석용 시료로 하였다.

각 금속의 측정은 원자흡광광도법(Atomic Absorption Spectrophotometry)으로 분석하였다. 사용 기기의 모델명은 Varian- Spectra AA-220FS/GTA110/PS이다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1 소각재의 총량 실험 및 초기 용출 실험 결과

바닥재와 비산재의 중금속 함량을 총량시험과 KSLT법에 의한 용출 방법으로 측정한 결과를 Table 3-1에 나타내었다. 총량기준으로 비교하여 보면, 바닥재와 비산재의 경우 다같이 Pb와 Cu의 농도가 높았다. 지정폐기물 여부를 결정하는 용출방법에 의한 중금속 함량을 비교하여 보면, 바닥재의 경우 Cd와 Cr의 용출농도는 0.2mg/L로 낮았고, Pb와 Cu의 농도는 약간 높게 나타났는데, 이는 함량시험결과에 나타난 바와 같이 시료중에 다량 함유된 Pb와 Cu의 함량에 기인하는 것으로 사료된다. 전체적으로 바닥재는 용출기준내에 있어 지정폐기물에는 해당되지 않는 것으로 조사되었다.

그러나 비산재의 경우 Pb의 용출농도가 138.5mg/L로서 아주 높게 나타나고 있어 폐기물관리법상의 용출기준인 3mg/L를 훨씬 초과하고 있어 지정폐기물에 해당하고 있다. Pb를 제외한 Cd, Cr 및 Cu의 용출농도는 비교적 낮게 검출되었다. 따라서 비산재의 경우에는 별도로 특별 관리해야 할 것으로 사료된다.

Table 3-1 Concentrations of Heavy Metals in the Bottom Ash and Fly Ash from Incinerator of Municipal Solid Wastes on the Basis of Total and Elution Test
(Unit of Total : mg/kg, Unit of Elution : mg/L)

Ashes	Cd		Pb		Cr		Cu	
	Total	Leaching	Total	Leaching	Total	Leaching	Total	Leaching
Bottom ash	4.89	0.02	1112.37	1.77	259.24	0.2	2324.90	2.40
Fly ash	208.36	0.11	2673.79	138.53	122.26	0.78	616.54	0.743

3.2 저장기간에 따른 납(Pb)의 용출 실험 결과

비산재를 대상으로 하여 공기와의 접촉에 의한 반응을 유도한 혼합조건과 Column내에 고정된 밀폐조건에서의 저장기간에 따른 Pb의 용출 실험결과를 Fig. 3.1에 나타내었다. 혼합조건(MIX)과 밀폐 조건(FIX)인 시료 모두 저장 기간이 경과함에 따라 납의 용출농도가 감소하고 있음을 알 수 있다. 두 조건에서의 감소 추세를 비교하여 보면, 혼합조건에서의 농도감소가 밀폐조건에 비하여 훨씬 감소 속도가 빠르게 진행되고 있음을 보여주고 있다. 비산재의 경우 KSLT법에서는 초기 Pb의 농도는 138.53mg/L이고, TCLP법으로는 217.81mg/L로 검출되었다. 높은 초기 농도에도 불구하고 혼합 조건에서 저장기간 25일이 경과한 후부터는 용출 기준인 3mg/L내로 검출되고 있어 별도의 화학약품의 첨가없이도 용출농도를 크게 낮출 수 있었다. 이는 비산재속에 함유된 Ca등의 성분이 반응하여 Pb성분이 고화되어 용출이 억제되고 있는 것으로 사료된다. 그러나 공기과 혼합되지 않는 밀폐조건에서는 35일이 경과한 후에도 상당량 Pb이 검출되고 있어 혼합조건보다 반응이 안되고 있어 안정화되지 않음을 보여주고 있다.

바닥재의 경우 초기 Pb의 농도는 KSLT 1.77mg/L이고, TCLP에서는 2.14mg/L로 나타나 비록 용출기준에는 못미치나 상당량 검출되고 있으나, 저장기간에 따라 크게 감소되고 있음을 Fig. 3.2로부터 알 수 있다. 혼합조건에서 Pb의 농도는 20일을 경과하면서 0.5mg/L로 감소되고, 35일 정도에서 0.1mg/L로서 거의 검출되지 않아 안정화되고 있는 것으로 판단된다. 그러나 밀폐 상태에서는 감소속도가 저하되고 안정화하는 기간이 상당히 길어지고 있다. 7

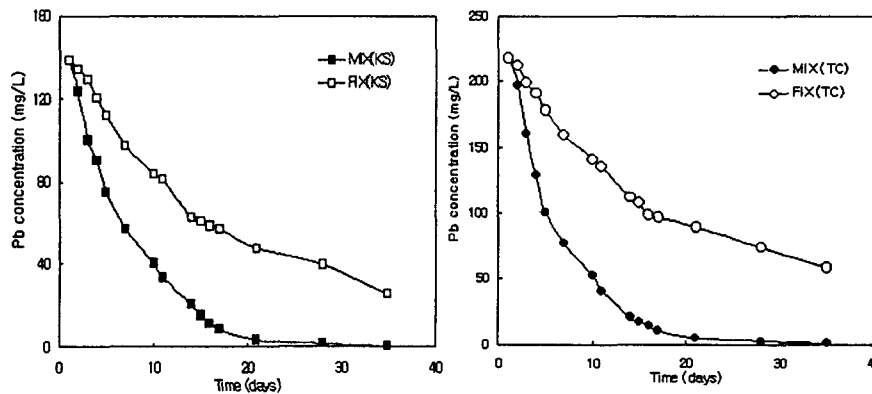


Fig. 3.1.Changes of Pb concentrations with aging time for the fly ashes

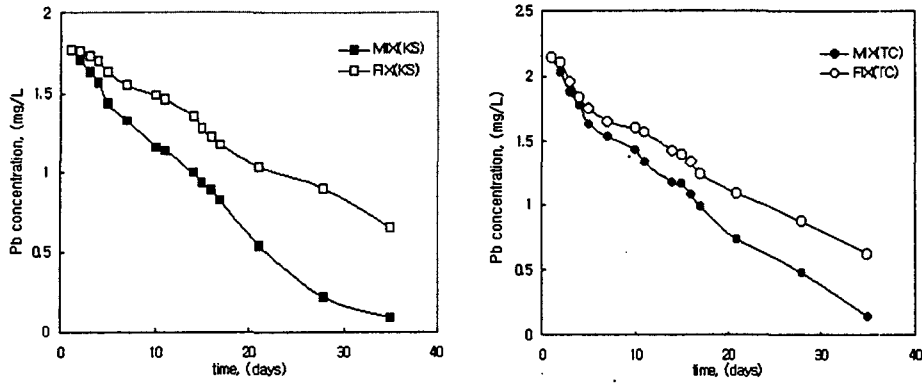


Fig 3. 2 Changes of Pb concentrations with aging time for the bottom ashes

3.3 구리(Cu), 카드뮴(Cd) 및 크롬(Cr)의 용출 실험 결과

공기와와의 접촉에 의한 반응을 유도한 혼합 조건과 Column내에 고정된 밀폐 조건에서의 저장 기간에 따른 Cu, Cd, Cr 및 Ca의 용출농도를 측정해 본 결과, Cu, Cd 및 Ca의 경우 Pb의 경우와 같이 시간이 지남에 따라 용출농도가 크게 감소하였다. 비산재중의 Cu 초기농도는 0.743mg/L이었으나, 혼합 조건에서 Cu의 용출농도는 20일을 경과하면서 0.05mg/L로 감소되고, 35일 정도에서 0.01mg/L로서 거의 검출되지 않아 안정화되고 있는 것으로 판단된다. Cd의 경우 혼합 조건의 경우 10일 이후에는 불검출되었으며, 밀폐 조건에서는 28일 경과 후에 아주 낮은 농도를 나타냈다. 바닥재의 경우 초기 Cd의 농도가 KSLT법에서는 0.02mg/L, TCLP법에서는 0.06mg/L가 검출되었으나 혼합 조건에서는 7일 이후 불검출되었고, 밀폐 조건에서는 10일 이후에 불검출되었다.

그러나 Cr의 경우 저장기간에 따른 용출농도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났는데, 이는 Cr이 소각재 내에서 비 결합 상태로 존재하기 때문으로 사료된다. Cr이 다른 중금속에 비하여 잘 안정화되지 않는 단점이 있으나, 소각재중에 함유된 Cr의 용출농도는 비산재에서 KSLT법으로는 0.78mg/L, 바닥재에서는 0.02mg/L으로 아주 낮게 검출되고 있어 초기농도가 기준치보다 훨씬 낮은 농도이므로 Cr에 의한 환경에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.

혼합조건에서 소각재중의 주요 중금속은 저장기간 30일정도에서 안정화되어 거의 용출되지 않는 것으로 나타나고 있어 경제적이며 효과적인 처리방법으로 판단된다.

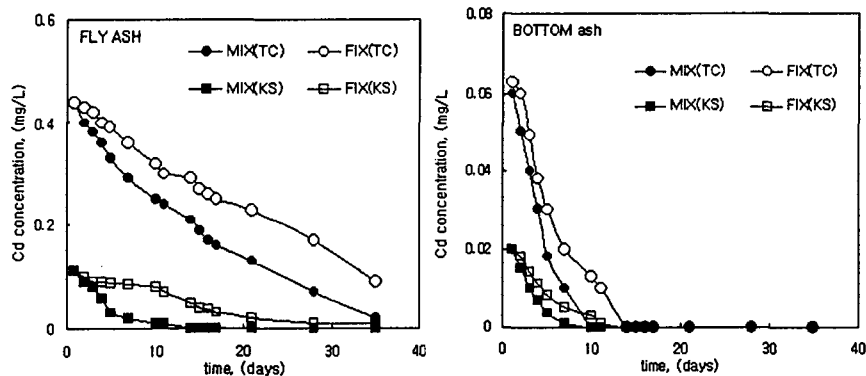


Fig 3.3. Changes of Cd concentrations with aging time for fly ash and bottom ashes.