

## 도시폐기물 소각시설에서의 금속의 용출 특성연구

○김기헌, 김삼권, 송금주, 유종익\*, 서용철\*

국립환경연구원, \*연세대학교 환경공학과

### 1. 서론

오늘날 산업화와 도시화에 따른 도시폐기물 발생량이 급증하고 있는 추세이며, 양적인 증가뿐만 아니라 질적으로도 매우 복잡하여 이들의 적정 처리방법에 관심이 집중되고 있다.

한국은 현재까지 도시폐기물은 약 60%정도가 매립에 의해 처분되었으나 넓은 부지를 필요로 하기 때문에 국토의 효율적 이용면에서 한계가 있는 것으로 보인다.

소각시설에서의 금속의 거동은 크게 세 가지의 경우로 나눌 수 있다.<sup>1,2,3)</sup> 첫 번째는 폐기물 에 미량의 광물질 형태로 포함되어 있던 금속물질이 소각로에서 연소되어 바닥재로 배출되는 경우이다. 대부분의 금속이 이에 속한다. 두 번째는 폐기물에 포함되어 있던 휘발성이 강한 금속의 일부가 소각로의 고온의 영역에서 증발하여 연소가스과 함께 배출되는 경우이다. 세 번째는 금속들이 폐기물내에 공존하는 염소나 황과 같은 원자들과 반응하여 염화물이나 황화물을 형성하는 경우와 소각시 주입하는 산소나 폐기물 자체에 포함되어 있는 산소와 반응하여 산화물을 형성하는 경우이다. 고온의 연소조건에서 휘발되었다가 냉각시설을 통과하면서 응축되거나 흡착되어 비산재로 배출된다.<sup>4)</sup>

한국의 1999년도 경우 소각한 생활폐기물량의 17.05%가 소각재로 발생하였다. 이중 바닥재는 15.54%(발생소각재의 91.1%), 비산재는 1.51%를 점유하고 있다. 물론 이 퍼센트는 시설마다 폐기물성상, 소각효율 등에 따라 다를 것이다.<sup>5)</sup>

본 연구에서는 도시쓰레기 소각시설에서 발생하는 소각재의 용출특성 및 함량특성 등의 분석을 통하여 소각재에 대한 특성자료를 제시하여 적정처리 방안을 개발하는데 기초자료로서 제공하고자 한다.

### 2. 연구 내용 및 방법

#### (1). 시험대상

소각시설은 1일 소각능력이 100톤 규모인 전진식 화격자가 수평구조(경사도 0°)를 이루고 있는 소각로와 대기오염방지시설로 SDA/BF 및 SCR(Selective Catalytic Reactor)를 갖춘 대형 소각시설을 대상으로 하였다. 소각로의 화격자연소율은 최대 185kg/m<sup>2</sup>·hr, 연소실 열부하율은 양질기준 121,600kcal/m<sup>3</sup>·hr, 연소가스 로내체류시간은 설계치 2.0초 및 쓰레기 로내 체류시간 40분으로 설계된 소각시설이다. 냉각설비는 수분사장치 및 공기 예열기(Air Preheater)를 사용하고 있고, 연소가스의 수분사장치 출구온도가 345 - 415℃로 높게 설계되어 있으며 연소가스의 수분사장치 체류시간은 약 3.34초로 평가되고 있다.

#### (2). 시료채취

소각시설에서 발생하는 바닥재 및 비산재에 대한 유해물질 특성을 분석하기 위하여 피트 등으로 배출되는시점에서 다음과 같이 시료를 채취하였다.

[연락처] (우) 222-701 강원도 원주군 흥업면 매지리, 연세대학교 환경공학과, 서용철

Tel ; 033-760-2438, Fax ; 033-763-5224, E-mail ; seoyc@dragon.yonsei.ac.kr

(3). 시료 전처리 및 분석

1) 중금속 용출 특성

폐기물공정시험방법 제2장 제1항 시료의 채취방법에 따라 시료를 채취한 후, 제2항 시료의 조제방법에 따라 시료중의 작은 돌맹이, 유리조각 등을 제거하고 입경이 5mm 이하인 것은 그대로, 입경 5mm 이상인 것은 분쇄하여 체로 걸러서 0.5~5mm로 하여 용출특성 분석용 시료로 사용하였다.

분석용 시료를 폐기물공정시험방법 제2장 제5항에 따라 바닥재 및 비산재 시료 100g이상을 정확히 달아 정제수에 염산을 가하여 pH 5.8~6.3인 용매(ml)를 1:10(W:V)의 비율로 2ℓ 삼각플라스크에 넣어 상온, 상압하에서 진탕회수가 매분당 200회, 진폭이 4~5cm인 진탕기를 사용하여 6시간 연속 진탕한 다음 1.0 $\mu$ m의 유리섬유여지로 여과한 여과액을 검액하여 ICP/MS로 분석하였다.

2) 중금속 함량특성 분석용

폐기물공정시험방법 제2장 제1항 시료의 채취방법에 따라 시료를 채취한 후, 시료중의 작은 돌맹이, 유리조각 등을 제거하여 풍건하고 300 $\mu$ m 이하로 분쇄하여 함량특성 분석용 시료로 사용하였다. 조제된 시료를 EPA Method 3050B에 따라 전처리 ICP/MS로 분석 하였다. Hg는 함량특성 분석용으로 조제한 시료 일정량을 금아말 감법을 이용한 원자흡광광도법의 자동수은분석기(NIC사, Model SP-3D)로 253.7nm에서 분석하였다.

3. 결과

측정시 연구대상 시설의 폐기물 투입량의 16%가 바닥재, 1.2%의 비산재를 배출한다. 바닥재에 잔류하는 금속성분의 입경별 특성 및 비산재의 분배특성을 파악하기 위해 실험하였다.

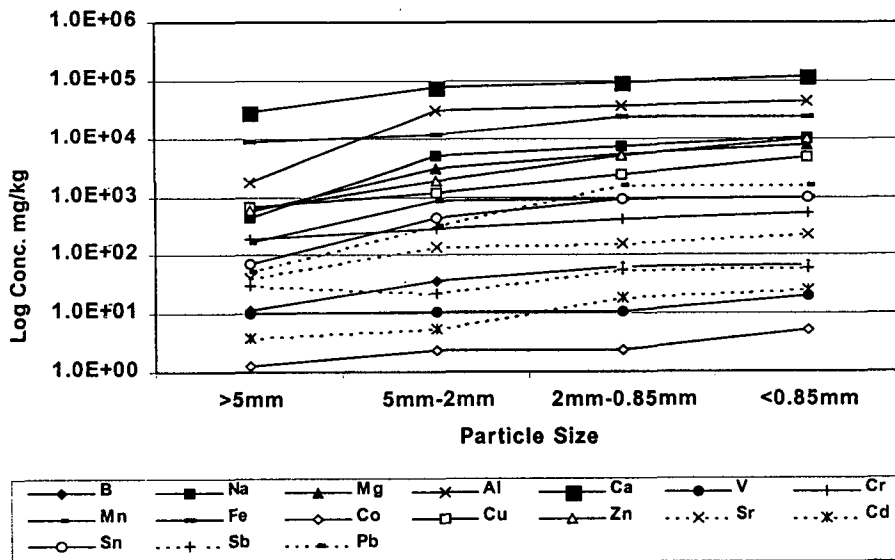


Fig1. Elemental concentration in bottom ash Fraction-size from MSW

Fig1에서 보는 것과 같이 박 등<sup>7)</sup>의 실험 결과 유사하게, 바닥재의 입자의 크기가 작을수록 다소 높아지는 경향을 보이고 있는데 이는 입자가 클수록 고온연소실내의 체류시간이 길어 금속의 열적 휘발이 많이 일어나는 반면에 미세한 바닥재는 Grate의 사이로 떨어져 열적 휘발을 적게 일어나기 때문으로 생각된다.

비산재의 경우 Table 1에서 같이 대부분의 금속농도가 바닥재의 금속의 농도보다 비산재의 농도가 높은 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 바닥재 중의 중금속은 고온분위기에서 휘발하지 않은 양이 존재하지만 비산재의 경우는 냉각시설에서 냉각과정에서 금속들이 비산재 표면에 응축, 응집되기 때문이라 판단된다. 또한 비표면적이 큰 미세 먼지를 포집하는 백필터에서 가장 높은 농도를 나타냈다.

Table 1. Comparison between total concentration and leachate concentration by KSLT

		Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Hg	Fe	Mn	
BF ash	Total Conc.	2053.589	190.162	183.303	601.880	12813.437	0.021	3762	315.437	
	Leachate Conc.	94.230	0.263	1.603	0.394	9.661	0.000	0.822	0.379	
	raito	45.89	1.38	8.75	0.65	0.75	-	0.22	1.20	
SDA ash	Total Conc.	254.000	15.690	169.070	406.700	9036.000	11.443	2006	580.300	
	Leachate Conc.	3.862	0.286	2.094	0.253	7.229	0.003	0.429	0.596	
	raito	15.20	18.23	12.39	0.62	0.80	0.26	0.21	1.03	
WST ash	Total Conc.	227.900	14.190	115.100	70.570	4516.000	48.445	3427	803.100	
	Leachate Conc.	1.235	0.233	0.601	0.021	3.218	0.078	0.492	0.801	
	raito	5.42	16.42	5.22	0.30	0.71	1.61	0.14	1.00	
Bottom ash	>5mm	Total Conc.	53.808	3.875	184.766	682.391	578.900	0.001	8906	166.633
		Leachate Conc.	0.098	0.036	0.167	0.281	0.214	0.000	0.329	0.010
		raito	1.82	9.29	0.90	0.41	0.37	-	0.04	0.06
	5mm~2mm	Total Conc.	325.8	5.341	294.796	1196.320	1935.000	0.034	12048	875.900
		Leachate Conc.	0.126	0.044	0.212	0.438	0.5418	0.001	0.062	0.019
		raito	0.39	8.24	0.72	0.37	0.28	29.41	0.01	0.02
	2mm~0.85m	Total Conc.	1542.991	19.069	408.078	2367.197	4918.016	0.005	25050	889.000
		Leachate Conc.	0.21	0.047	0.284	0.526	1.436	0.000	0.801	0.018
		raito	0.14	2.46	0.67	0.22	0.29	-	0.03	0.02
	<0.85mm	Total Conc.	1596.840	25.346	536.186	4597.282	9879.000	0.047	23860	978.902
		Leachate Conc.	0.310	0.057	0.295	0.908	2.976	0.001	0.598	0.019
		raito	0.19	2.25	0.55	0.20	0.30	21.28	0.03	0.02

\* Total Conc. : mg/Kg

\*\* Leachat Conc. : mg/L

\*\*\* raito : % = 100 x leachate conc. x leachate vol. x sample weight / total conc

바닥재의 경우 용출액 pH의 평균값은 11.9으로 높게 나타났는데, 이는 피트로 배출되는 시점에서 시료를 채취 하였기 때문에 탄산화반응 등이 일어나지 않은 때문으로 사료된다<sup>7)</sup>. 비산재의 경우 용출액 pH의 평균값은 9.8로 나타났다. 입자의 크기에 따른 용출율은 입자의 크기가 큰 것이 높게 나타났다. 이는 결합력의 차이에서 기인하지 않으나 판단한다.

모든 금속이 비산재가 바닥재에 비해 용출율이 높은 것으로 나타났다. 이는 pH에 기인한 것으로 판단된다. 비산재에서 용출율이 비산재별 차이를 찾을 수 없으나, 수은의 경우 수분사재에서 월등이 높게 나타났다. 이는 수용성인 수은이 포집되었던 것이 용출되는 것으로 판단된다. 함유량에 비해 용출되는 양이 수십에서 수만배 차이를 보여주고 있다. 매립시 환경적 영향을 적정하게 판단하기 위해서는 용출시험법의 검토가 필요하다고 판단된다.

#### 4. 결 론

도시쓰레기 소각시설에서의 중금속의 거동을 조사하기 위하여 100톤/일을 도시쓰레기 소각시설인 YI를 대상으로 소각로 배출 및 배가스 처리시설별 배출가스중 중금속 농도 및 소각재(바닥재 및 비산재)중의 중금속류의 용출 및 함량특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 바닥재의 금속의 함량은 입자의 크기가 작을수록 다소 높은 농도를 나타냈다. 이는 입자가 클수록 고온연소실내의 체류시간이 길어 금속의 열적휘발이 많이 일어나는 반면에 미세한 바닥재는 Grate의 사이로 떨어져 열적휘발을 적게 일어나기 때문으로 생각된다.
2. 바닥재의 경우 용출액 pH의 평균값은 11.9으로 높게 나타났고, 비산재의 경우 pH의 평균값은 9.8로 나타났다. 입자의 크기에 따른 용출율은 입자의 크기가 큰 것이 높게 나타났다. 이는 결합력의 차이에서 기인하지 않았다 판단한다. 대부분 금속의 용출율은 비산재가 바닥재에 비해 용출율이 높은 것으로 나타났다.  
일반적인 소각조건에서 비산재나 바닥재 중에 포함되고 있는 금속은 소각되는 쓰레기 중에 포함되는 것이며 그 원인이 되는 폐기물의 종류를 파악하여 삭감하고, 금속의 거동을 파악하여 적절한 처리방안을 찾을 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. Barton, R. G., Maly, P. M., Clark, W. D. and Seeker, W. R., "Prediction of the Fate of Toxic Metals in Waste Incinerators" 1988 National ASME Waste Processing Conference, pp. 379~386(1988).
2. Barton, R. G., Clark, W. D. and Seeker, W. R., "Fate of Metals in Waste Combustion Systems" *Combustion Science and Technology*, Vol. 74, pp. 327~342 (1990).
3. Quann, R. J. and Sarofim, A. F., "Vaporization of Refractory Oxides during Pulverized Coal Combustion" 19th Symposium on Combustion, The Combustion Institute, pp. 1429~1440 (1982).
4. Tillman, D. A., "Trace metals in combustion system" Academic press, Inc., pp. 276. (1994).
5. Ki-Heon kim, *Handook of Environmental Science*, NIER of Korea, 921-933 (1999).
6. Yong-Yi Park, Chul-Goo Hu, A Study on Behavior of Heavy Metals During Waste Incineration, *Journal of Korean Environmental Science Society* Vol. 5, No. 6, pp. 785-799 (1996).
7. Jeannet A. Meima, Rob N. J. Comans, *Geochemical Modeling of Weathering Reactions in Municipal Solid Waste Incinerator Bottom Ash*, *Environ. Sci. Technol.* Vol 31, p1269~1276,(1997).