

열플라즈마를 이용한 고형폐기물의 무해화

김학인, 박동화
인하대학교 화학공학과

Detoxification of Solid Waste using Thermal Plasma

Hak-In Kim and Dong-Wha Park

Department of Chemical Engineering, In-ha University, Inchon 402-752, Korea

1. 서론

인구의 증가, 생활수준의 향상, 경제활동의 다양화 등으로 인하여 각종 폐기물의 발생량은 지속적으로 증가하는 추세에 있고, 이런 폐기물의 처리는 각 개인의 차원에서뿐만 아니라 지방자치단체 및 국가의 차원에서 처리비용의 문제, 환경오염의 문제 및 사회적 갈등의 문제 등 여러 가지 문제를 유발하고 있다. 이런 폐기물을 처리하는 방법으로는 폐기물을 매립하는 방법이 있다. 그러나 매립에 있어 점차 매립지의 부재와 매립지 주변의 환경문제를 야기하여 기술적 대응이 심각하다. 다른 방법으로 소각 처리하는 방법이 있다. 우리나라의 폐기물 정책은 발생량 감소와 재활용을 촉진하면서 위생적인 처리·처분을 하기 위하여 국가폐기물처리 계획을 수립하여 소각 처리율을 2005년까지 40%로 높이려는 소각시설 확충을 추진하고 있다[1]. 그러나 소각시 부산물로 나오는 소각 비산재는 Pb, Cr, Zn 등의 각종 유해한 중금속을 포함하고 있으며, 이런 소각 비산재를 그대로 매립 처리하는 경우에는 우수나 지하수 등에 의해 소각 비산재로부터 중금속이 용출되어 토양과 물을 오염시킬 뿐만 아니라 식물에 의해 흡수됨으로써 먹이사슬을 따라 인간을 포함한 고등생물에 농축되는 심각한 환경오염을 나타내게 된다[2]. 그러므로 소각재의 매립시 적절한 처리를 한 후 매립해야 할 필요가 있다[3]. 그리고 폐수의 처리 후 나오는 슬러지는 현재 대부분 매립 또는 해양 투기로 처리되고 있으나, 향후 직매립이 금지됨에 따라 부분 소각 처리 후 소각재를 매립하는 처리 방법으로 전환될 것으로 전망되고 있다. 그러나, 소각 처리는 잔류하는 소각재를 재매립하게 됨으로써 중금속 등에 의한 환경오염을 유발할 소지가 남게 된다. 이러한 이유로 소각재와 슬러지의 무해화에 적합한 기술이 요구되고 있다.

플라즈마는 전자의 온도와 이온의 온도가 거의 같은 고온을 유지하므로 화석연료에서 얻을 수 있는 최대온도에 관계없이 초고온까지 얻을 수 있다. 이러한 열플라즈마 고온을 이용하여 고형폐기물을 슬래그화하여 부피를 현격히 감소시킬 뿐만 아니라 슬래그에서 중금속의 용출에 대한 문제도 적어 재활용에 용이하게 사용될 수 있도록 도와 준다[4]. 본 연구에서는 소각장에서 나온 소각재와 하수처리장에서 나온 슬러지를 열플라즈마 용융장치를 이용하여 안정한 슬래그로의 전환 및 용출실험을 통해 슬래그의 안정성을 확인하였다.

2. 실험

실험장치의 개략도는 Fig.1과 같다. 장치는 플라즈마 토치부, 반응부, 배기부로 구성된다. 토치부는 직경 6mm의 텅스텐의 텅스텐 음극봉과 노즐출구가 8mm인 양극의 동 노즐을 사용하였다. 플라즈마 토치는 회전식으로, 소각재를 골고루 용융시킬 수 있게 제작되었으며 열로부터 보호하기 위해 양쪽의 전극을 수냉 시키도록 제작되었다. 반응부는 view port가 부착된 스텐레스 이중관으로 제작되었으며, 시료가 비산되지 않도록 55mm의 pellet 형태로 만들어 실험하였다. 배기부로 배출되는 배출가스는 scrubber와 duct를 통해 처리하였다. 용융 처리 후 생성된 슬래그는 공냉 후 폐기물 검정 시행법[5]에 의한 용출실험을

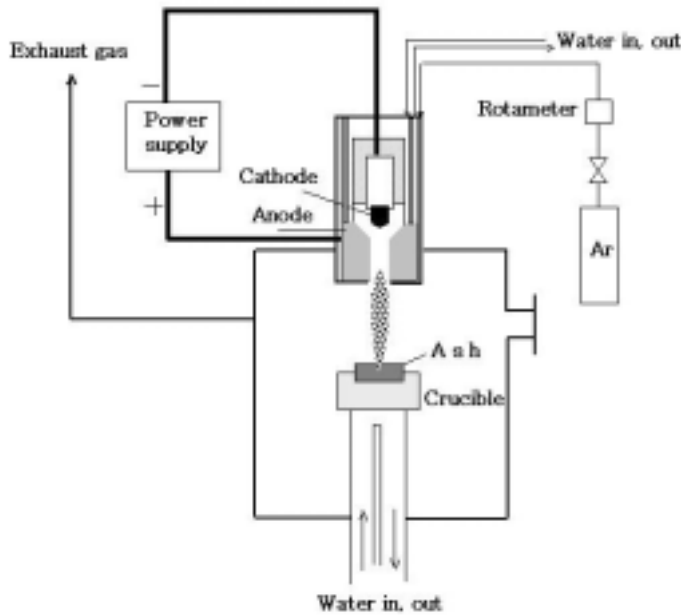


fig. 1. Experimental Setup

하였다. 그에 대한 분석은 ICP-MS와 AAS로 분석하였다. 실험의 세부 조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Experimental Condition

Plasma power	7 kW
Gas flow rate	15 l/min
Distance	30 mm
Operating time	15 min

3. 결과 및 고찰

각각의 비산재와 슬러지를 용융 처리하기 전과 후에 폐기물 검정 시험법[5]에 근거하여 용출실험을 하였다. 또 슬러지 내의 무기재료의 양을 늘리기 위해 비산재와 섞어서 실험하였다. 현재 우리나라에서는 pH 5.8 ~ 6.3의 염산 수용액을 사용한다. 본 실험에서는 pH 6의 염산수용액을 사용하였고, 용융 처리 전과 후의 용액에 대한 ICP-MS 분석결과를 Table 2와 3에 나타내었다. Zn와 Se은 표준 용출실험 상의 분석항목은 아니지만 본 연구에서는 참고로 포함시켰다. 여기에서 Mixed는 비산재와 슬러지를 1:1로 혼합한 것을 말한

Table 2. Leaching test result of fly ash and sludge [ppm]

	규제 농도	비산재	Mixed	슬러지
Cd	0.3	142.8	62.39	0.004
Cu	3	3640.5	843.6	0.123
Zn	-	2869.3	1228.5	0.125
As	1.5	0.344	0.206	0.017
Se	-	1.330	0.619	0.006
Pb	3	11.19	0.490	0.001
Cr	1.5	0.070	0.106	0.016

Table 3. Leaching test result of its slag [ppm]

	규제 농도	비산재	Mixed	슬러지
Cd	0.3	0.021	0.081	0.144
Cu	3	0.332	0.379	12.47
Zn	-	0.431	0.234	2.955
As	1.5	0.032	0.415	0.044
Se	-	0.222	0.617	0.022
Pb	3	1.198	0.152	1.904
Cr	1.5	0.004	0.014	0.182

다. 슬러지의 경우 처리 전 보다 처리 후가 중금속의 용출량이 증가함을 알 수 있다. 이것은 슬러지 내에 유리화를 이룰 수 있는 무기재료의 양이 적어서 임을 알 수 있다. 이것을 보완하기 위해 비산재와 슬러지를 섞은 mixed에서는 중금속의 용출량이 처리 후에 기준치 이하를 만족하는 것을 보여준다. 용출 용매의 pH 농도가 산성 쪽에서 중금속 용출량이 커진다는 보고에 의하여 보다 엄격한 조건인 pH 2, 4에서도 실험을 하였다[6]. 이에 대한 분석 결과는 Table 4, 5에 나타내었다.

Table 4. pH dependency of fly ash slag [ppm]

	규제 농도	pH 4	pH 2
Cd	0.3	0.145	0.213
Cu	3	1.836	20.449
Zn	-	1.096	3.337
As	1.5	0.005	0.060
Se	-	0.007	0.010
Pb	3	0.093	0.083
Cr	1.5	0.0004	0.0002

Table 5. pH dependency of mixed slag [ppm]

	규제 농도	pH 4	pH 2
Cd	0.3	0.014	0.107
Cu	3	0.153	0.461
Zn	-	0.075	1.597
As	1.5	0.079	0.415
Se	-	0.095	0.185
Pb	3	0.021	0.010
Cr	1.5	0.001	0.0005

실험결과 각각의 슬래그는 pH 4에서도 안정함을 나타내었고 산성이 짙어질수록 중금속의 용출량이 증가하는 경향을 나타내었다.

Table 6에는 용액의 오염정도를 나타내는 전기전도도 값을 나타내었다.

Table 6. Electric conductivity of Ash, Sludge and its slag [$\mu\text{s}/\text{cm}$]

	비산재	슬러지	Mixed	표준시료(1ppm)
처리 전	137000	1890	56000	31400
처리 후	3680	3700	3080	

표준 시료는 용출실험 항목 각각의 중금속 농도가 1ppm인 용액을 의미한다. 비산재의

경우 1/40 정도로 감소하였고, 표준시료에 비해서 10배 가량 더 적음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 플라즈마 용융 장치를 이용하여 비산재, 슬러지와 mixed를 처리하였으며 용출실험을 통해 슬래그의 무해성을 확인하였다. 용출실험 결과 비산재에서 처리 전 중금속의 농도는 기준치를 상회하였지만 처리 후에는 기준치 이하의 결과가 나타났다. 그러나 슬러지는 처리 후에 더 농도가 증가하였다. 이는 슬러지 내에 유리화를 이루기 위한 무기재료의 양이 적음을 나타낸다. 이를 보완하기 위해 비산재와 슬러지를 혼합한 시료는 처리 후에 기준치 이하의 결과를 나타내었다.

pH의 변화에 따른 용출실험에서는 산성쪽으로 갈수록 중금속의 용출량이 커진다는 것을 확인하였고 pH 4에서도 슬래그의 안정성을 알 수 있었다.

용액의 오염도를 알려주는 전기전도도에서 슬러지를 제외한 비산재와 mixed는 처리 후에 전기 전도도가 40배, 20배 가량 감소하였고, 표준시료에 비해서 10배 가량 적음을 확인하였다.

참고 문헌

1. 신현국 : 폐기물 소각현황과 정책, 한국 대기 보건학회지, 11(2), pp. 101-106 (1995)
2. Korzun, E.A., Heck, H.H : Sources and Fates of Lead and Cadmium in Municipal Solid Wastes, Journal of Air & Wastes Management Association, Vol. 40, No. 9, pp. 1220-1226 (1990)
3. 이우근, 김진범, 김은미 : 비산재 중에 함유된 중금속의 용출특성에 관한 연구, 한국 폐기물 학회지, 14(3), pp. 257-260 (1997)
4. T. Inaba, M. Nagano, m. Endo : Investigation of plasma treatment for hazardous wastes such as fly ash and asbestos, Electrical Engineering in Japan, Vol. 126, No. 3, pp. 73-82, Scripta Technica (1999)
5. 폐기물 관리법 제11조 (폐기물 공정 시험방법) 개정 97.12.13 법률 제 5454.
6. N. Furuta, T. Hosoi, M. Ohata and T, Inaba : Physical property and pH Dependency of Solubility Test about Plasma Molten Slag from Fly ash, Int. Workshop on Use of Incinerator Ash, pp. 67-75 (2000)