

첨가제에 따른 비산재 유리의 안정화 특성 연구

박영준

포항공과대학교 환경공학부

I. 서론

문화수준의 향상과 공업화로 고형 폐기물의 발생량이 급격히 증가하고, 고형 폐기물의 처리는 과거의 매립에서 소각으로 전환되고 있다. 소각은 많은 장점을 가지고 있지만, 과량의 중금속을 함유하는 소각재를 다량 발생시켜 이의 안정적 처리가 매우 중요하다^{1,2)}. 본 연구는 실험실 규모의 전기로에서 비산재를 유리화시켜 여러 특성을 파악하였으며, 특히 용출 특성을 분석하여, 비산재 안정화를 위한 유리화 기법의 적용 가능성을 파악하였다.

II. 실험 재료 및 방법

비산재는 대형 도시 고형 폐기물 소각장 비산재를 사용하였다. 비산재의 특성을 우선적으로 분석하고, 유리화 가능성을 파악하였다. 비산재는 유리 형성을 위한 유리 형성제(glass former)가 부족한 경향이 있고, 작업성을 개선하기 위해 소량의 첨가제가 필요하다. 본 실험에서는 유리 형성제로 SiO₂를 사용하였고 작업성 개선을 위한 첨가제로 MgO와 CaO를 선택하였다. 유리 제조는 1500℃, 알루미늄 도가니를 사용하여 air 분위기에서 제조하였으며, 700℃에서 annealing하였다. 또한 제조된 유리의 안정성 평가를 위해 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)에 따라 용출 실험을 수행하였다. 용출실험시 비산재의 경우 그대로 사용하였고, 제조된 유리의 경우 비산재와 조건을 같게 하기 위해 분쇄 후 No. 325로 체가름하여 사용하였다. 중금속의 농도는 ICP-AES를 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 비산재의 특성

1) 구성 성분

도시 고형 폐기물 소각장으로부터 배출되는 소각재의 구성 성분은 폐기물의 성상에 따라 많은 차이를 보인다. 그러나 일정한 지역으로부터 배출되는 폐기물은 비교적 균일하며, 특히 비산재의 경우 바닥재보다 성상에 있어서 원폐기물의 영향을 적게 받는다. 우리나라 비산재의 경우 염소의 함량이 매우 높고, 상대적으로 SiO₂와 CaO의 함량이 낮아 용융시 휘발 감량이 매우 높은 특징이 있다. Table 1은 실험에 사용한 비산재의 성분 분석 결과이다. 주요 구성 물질의 분석에는 XRF를 사용하였고, 중금속은 ICP를 이용하여 분석하였다.

Table. 1 Composition of fly ash

원소	주요 성분(wt%)							중금속 성분(ppm)					
	O	Na	Si	S	Cl	K	Ca	Cd	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
합량	14.45	19.81	0.63	5.18	38.89	15.18	2.21	628.6	331.6	1652.5	680.4	757.5	20027.4

2) 비산재의 물리적/ 열적 특성

비산재는 비중이 0.2 정도이며 입자가 매우 작아 처리시 많은 문제점을 유발한다. SEM 사진을 통해 입경이 수~수십 μm 정도임을 확인할 수 있었다. Fig. 1는 비산재의 열적 특성을 나타낸 것으로, 중량 감소는 약 800 $^{\circ}\text{C}$ 정도부터 발생하기 시작하여 1100 $^{\circ}\text{C}$ 정도까지 비교적 일정한 속도로 감소하고, 1250 $^{\circ}\text{C}$ 이후에는 거의 일어나지 않았다. 잔류물의 성분 분석을 통해 휘발 성분을 조사해 본 결과 휘발성분은 대부분 Cl과 알칼리 성분이며, 중금속이나 Si, Ca 등은 소각재 내에 잔류함을 알 수 있었다. 또한 DSC 결과로부터 용융은 1000도~ 1100도 사이에서 발생함을 발견하였다.

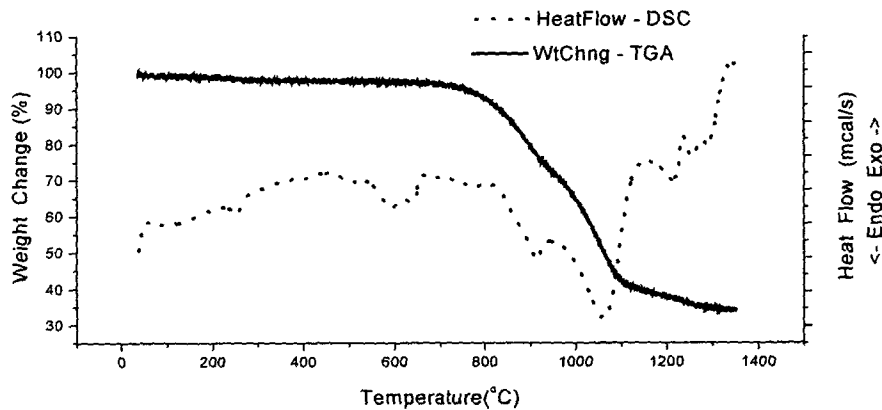


Fig. 1 Thermal analysis of fly ash (TGA/DSC)

2. 비산재 유리의 특성

1) 비산재의 유리 형성 영역

비산재는 자체로는 유리 형성 능력이 없으나 SiO_2 나 CaO 을 소량 첨가하면, 유리 형성이 가능하다. SiO_2 의 경우 5wt% 이상 첨가하면 유리 형성이 가능하며 SiO_2 의 함량이 30 wt% 까지 증가하면 갈색에서 녹색으로 변한다. CaO 의 경우 5~15 wt% 정도의 범위에서 검은 색 유리를 형성한다. 따라서 유리 형성을 위해서는 유리 형성제인 SiO_2 를 첨가하여야 하며, SiO_2 의 첨가로 인해 색깔 뿐 아니라 다른 유리의 특성들도 변화한다. 또한 융점의 저하나 유리의 특성 개질을 위해 알칼리 성분들의 첨가도 가능하다.

2) 비산재 유리의 특성

XRF를 이용한 성분 분석의 결과 첨가제에 따라 유리 조성 및 휘방되는 성분 및 물리적 특성이 변화하였다. 색깔의 경우 알칼리의 첨가량에는 영향이 없지만 SiO₂가 10wt%에서 30wt%로 변함에 따라 갈색에서 녹색으로 큰 변화를 보였다. 또한 비중이나 강도에 있어서도 CaO와 MgO 첨가는 비중 및 강도를 증가시켰으나, SiO₂는 감소 경향을 나타내었다.

3. 비산재 유리의 용출 특성

비산재는 많은 유해 물질을 함유하는데, 대표적으로 다이옥신과 같은 독성 유기 오염 물질과 중금속 등을 들 수 있다. 다이옥신 등 난분해성 유기 오염물질의 경우 용출법을 적용할 경우 1200도 이상의 고온이므로 크게 문제되지 않지만, 중금속은 분해되지 않고 잔류한다. 따라서 유리화하여 중금속들을 안정화시키고 이들의 안정성을 확인할 필요가 있다.

Table. 2의 결과를 보면, SiO₂를 첨가하면 용출이 감소하나 CaO와 MgO의 경우는 용출이 증가하였다. 이는 알칼리의 첨가로 유리의 망목구조가 끊어져, 중금속의 용출을 용이하게 하였기 때문이다³⁾. 이러한 결과들로부터 SiO₂와 소량의 알칼리를 혼합하면 유리의 제조가 가능하고, 용출 특성도 비교적 우수함을 확인할 수 있었다.

Table. 2 Leaching characteristics of glasses made by fly ash with additives (ppm)

Elements	Cd	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
SiO ₂ 첨가량						
비산재	25.490	0.030	24.020	1.630	9.740	362.100
Ash+Silica						
10%	0.004	0.015	0.026	0.161	0.168	3.548
20%	0.004	0.008	0.027	0.116	0.076	2.528
30%	N.D.	0.008	0.032	0.089	0.598	1.594
Ash+CaO10%+Silica						
10%	0.008	0.019	0.079	0.371	0.067	10.330
20%	0.012	0.012	0.047	0.134	1.082	3.919
30%	0.007	0.010	0.035	0.071	0.355	2.258
Ash+MgO10%+Silica						
10%	0.069	N.D.	0.066	1.450	N.D.	29.330
20%	0.009	0.003	0.032	0.179	1.316	4.040
30%	0.004	0.008	0.033	0.074	0.204	1.684

참고문헌

- 1) Esaki, M., Kawakami, I. and Sumitomo, M. : Immobilization of fly ash with cement solidification and chemical treatment. *Proc. of 6th Annu. Conf. of Japan Soc. of Waste Management Experts*, pp.32-434(1995).
- 2) Kirby, C. S. and Rimstidt, J. D. : Mineralogy and surface properties of municipal solid

- waste ash. , *Envir. Sci. Technol.*, Vol.27, pp.652-660(1993).
- 3) Lewis, M. H. : *Glasses and glass-ceramics*. Chapman and Hall, New York (1988)