

특수 고화제를 이용한 유해폐기물의 고형화에 관한 연구

최우진¹⁾ · 권남선²⁾

1. 서론

최근에는 산업활동의 결과로 대량의 산업폐기물이 발생되고 있으며, 이중 대부분이 재이용 되지 못하고 매립 또는 해양투기 등의 방법으로 최종처리 되고 있다. 따라서, 매립지 확보 문제 및 2차 오염으로 인한 환경파괴 등으로 심각한 문제를 야기하고 있다. 유기성폐기물의 경우 소각과 같은 방법으로 분자구조를 변화시켜 무해화 한 후 처리가 가능하나, 중금속을 함유한 무기성폐기물은 무해화 하기가 쉽지 않다. 따라서, 무기성 유해폐기물을 무해화, 안정화시키는 방법으로 고형화방법이 주로 이용되고 있다. 고형화(Solidification)란 고체를 포함한 충분한 양의 고화제를 유독물질에 첨가하여 고형물질을 형성시키는 공정을 말한다. 고형화처리는 폐기물의 취급성과 물리적 특성을 개선하고 오염물질의 용해도를 감소시켜 유해중금속의 용출을 억제, 지연시킬 수 있으며, 각종 토목재료 및 토양개량제 등으로 활용할 수 있다. 다양한 고형화방법 중에서 시멘트에 의한 고형화는 다른 고형화법에 비해 가장 경제적인 뿐만 아니라, 시멘트의 무기·화학적 특성으로 중금속 및 유독물질의 고형화에 적합하기 때문에 폭넓게 이용되고 있다.

본 고에서는 도시쓰레기 소각시설에서 배출되는 비산재를 비롯한 합금철분진, 제철분진 등의 유해폐기물에 대한 고형화연구를 수행하였으며, 고형화제에 대한 물리적특성 및 환경성을 검토하였다.

2. 실험방법

실험에 사용한 비산재 성분은(I소각장) Table 1과 같으며, 비산재의 경우 Cl^- 6.8%, SO_3 6.2%로 다소 높게 나타났으며, 주성분은 CaO , Na_2O , SiO_2 , K_2O , Al_2O_3 , MgO , P_2O_5 등이다. 그밖에 사용한 유해폐기물은 H철강의 제철분진과 D산업의 합금철분진에 대한 고형화 실험을 수행하였다.

Table 1. 비산재의 화학조성

Elements	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	비고
비산재	8.95	3.84	29.8	2.45	11.6	8.16	2.91	15.85	Cl^- 6.79% SO_3 6.22%

1) 수원대학교 환경공학과

2) (주)캠엔텍

Table 2는 원시료에 대한 주요 금속성분을 보여주고 있다. 원시료 분석결과 제철분진 및 합금철분진의 경우 Pb의 함량이 각각 3.5% 및 3.9% 수준으로 비교적 높게 나타났으며, 바닥재 및 비산재의 경우 Zn은 물론 Pb, Cd, Hg 등이 제철 및 합금철분진에 비해 매우 높게 나타났다. 겉보기 밀도 분석결과 합금철분진은 3,588kg/m³로 매우 높은 반면 소각장비산재는 441kg/m³로 비교적 낮게 조사되었다.

Table 2. 원시료에 대한 주요금속성분

단위 : ppm

시료	Al	Ca	Cr	Mn	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
제철분진	18,904	28,816	3,876	108,920	4,092	37,192	76.3	12.6	11.4	35,436
합금철분진	6,040	85,040	53,000	45,400	5,940	153	310	1.1	10.1	38.992
바닥재	93,080	1,263,200	1914.8	4,960	5,220	71,880	163	1,834	282.1	16,188
비산재	201,400	1,644,400	3,762	16,440	18,012	55,880	231.16	271.4	2,382.4	25,436

고형화실험은 폐기물에 시멘트와 캠포린이라는 특수고화제를 투입한 후 교반하여 고형화 시켰으며 폐기물의 종류에 따라 화력발전소 Flyash를 혼화재로 첨가하였다. 캠포린의 주성분은 펄프액에서 추출한 Lignin sulfonate로서 무독성 자연친화적 제품이며, 캠포린은 분산, 습윤 및 침투작용을 통하여 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 폐기물의 응결을 촉진시킴과 동시에 강도증진에 기여한다. 따라서, 폐기물 중의 유해금속이 시멘트수화반응에 의한 결정 화학적치환작용에 의해 효과적으로 고정되고, 별도로 캠포린성분과 고축합 반응을 일으켜 불용성의 안정된 화합물을 만든다. 고형화 실험시 폐기물 시료 1m³당 약 200kg의 시멘트와 캠포린 원액기준 0.3~0.5ℓ를 투입하였다. 고형화시편의 크기는 직경 15cm, 높이 30cm의 원통형으로 제작하였으며 대기중에서 상온 양생하였다. 양생된 시료는 분쇄후 폐기물공정시험법에 따라 중금속용출시험을 수행하였으며 중금속분석은 ICP-MS를 이용하였다.

3. 실험결과

고형화제품에 대한 압축강도실험결과는 Table 3과 같다. Table 3에서 알 수 있듯이 고형화 실험시 시멘트첨가량은 합금철의 경우를 제외하고 150~250kg 수준으로 기존의 고형화공정에 비해 20~30% 적은 양을 사용하였다. 강도시험결과 합금철분진을 고형화 시킨 제품의 경우 12일 강도가 219~366kg/cm² 수준으로 매우 높게 나타났으며, 비산재시료의 경우 발전소 Flyash를 첨가한 경우 강도가 크게 개선되었다. 일반적으로 시멘트의 양이 증가할수록, 양생기간이 증가할수록 강도는 증가하여 고화성능이 향상되는 것으로 나타났다.

Table 3. 고품화제품에 대한 강도시험결과

번호	재 생 골 재 명	첨 가 재 료	압축강도 (kg/cm ²)	비 고 (양생기간)
1	바닥재 단독	시멘트 200kg, 캄포린 0.3ℓ (원액기준)	137	20일 강도
2	비산재(20%)+바닥재(80%)	시멘트 200kg, 캄포린 0.5ℓ (원액기준)	154	27일 강도
3	제강분진(20%)+바닥재(80%)	시멘트 250kg, 캄포린 0.5ℓ	130	26일 강도
4	비산재(20%)+바닥재(60%)+Flyash(20%)	시멘트 200kg, 캄포린 1ℓ	309	19일 강도
5	비산재(50%)+Flyash(50%)	시멘트 150kg, 캄포린 1ℓ	139	14일 강도
6	함금철(60%)+비산재(20%)+Flyash(20%)	시멘트 300kg, 캄포린 1ℓ	310	12일 강도
7	함금철(80%)+Flyash(20%)	시멘트 400kg, 캄포린 1.4ℓ	366	12일 강도
8	함금철(20%)+바닥재(80%)	시멘트 200kg, 캄포린 1ℓ	219	12일 강도

Table 4. 원시료에 대한 중금속용출시험결과

단위 : ppm

번호	항 목 원시료	Cr	Cu	As	Cd	Hg	Pb	비 고
2	함금철 분진	0.0238	0.0607	0.0003	0.0001	0.0001	0.0019	D산업
3	바닥재	0.0427	0.7948	0.0068	0.0001	0.0008	1.443	I소각장
4	비산재	0.1008	0.9072	0.1422	0.0207	0.0167	90.660	I소각장

Table 5. 고품화 처리후 중금속 용출시험 결과

단위 : ppm

번호	재 생 골 재 명	폐기물 관리법상 용출 기준						비고
		6가 Cr	Cu	As	Cd	Hg	Pb	
		1.5미만	3미만	1.5미만	0.3미만	0.05미만	3미만	
1	바닥재	0.0201	0.2074	0.0017	0.0001	0.0001	0.1281	
2	비산재+바닥재	0.0120	0.0340	0.0082	0.0001	0.0001	0.1519	
3	제철분진+바닥재	0.0297	0.1792	0.0023	0.0001	0.0001	0.7781	
4	비산재+바닥재+Flyash	0.0077	0.0198	0.0057	0.0001	0.0001	0.1129	
5	비산재+Flyash	0.0183	0.0032	0.0129	0.0001	0.0000	0.0447	
6	함금철+비산재+Flyash	0.0084	0.0028	0.0026	0.0001	0.0002	0.0178	
7	함금철+Flyash	0.0220	0.0044	0.0010	0.0001	0.0000	0.024	
8	함금철+바닥재	0.0434	0.1213	0.0016	0.0001	0.0000	0.1301	

Table 4는 원시료에 대한 중금속용출시험 결과이다. 본 결과에 의하면 대부분의 시료는 중금속 용출 기준치 이하로 나타나고 있으나 제철분진의 경우 Cd가 0.3ppm을 초과하고 있으며 바닥재의 경우 Pb가 90ppm으로 매우 높게 나타났다. 고형화 처리후 분쇄한 시료에 대한 중금속용출시험 결과는 Table 5와 같다. 용출시험결과에 의하면 중금속용출이 기준치 이하로 현저하게 낮게 조사되었다. 바닥재 단독으로 고형화 처리한 경우 Pb는 10배 이상 감소하였으며 그 외의 중금속성분도 50%이상 감소한 것으로 나타나서 대부분의 중금속에 대한 용출억제 효과를 보이고 있다.

본 연구에서는 특수고화제인 피아그린의 환경성을 검토하기 위하여 소각재에 시멘트만을 첨가하여 제작한 골재와 추가로 피아그린을 첨가하여 제작한 골재를 2개의 수족관 내에 각각 투입하여 실험을 수행하였다. 실험결과에 의하면 소각재에 시멘트만을 첨가하여 제작한 골재를 투입한 수족관에서는 알카리성분 및 유해성분이 용출되어 골재에 이끼가 자라지 못하고 골재투입 5일 후 물고기가 폐사하였다. 반면에 소각재에 시멘트와 피아그린을 첨가하여 제작한 골재를 투입한 경우는 물고기, 수초 및 이끼 등이 정상적으로 성장하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 도시쓰레기 소각시설에서 배출되는 바닥재, 비산재를 비롯하여 합금철분진, 제철분진 등의 유해폐기물에 대한 고형화 실험을 수행하였다. 본 실험에서는 폐기물에 시멘트와 피아그린희석액(최고 300배까지 물로 희석하여 사용)을 투입한 후 충분히 교반하여 고형화 시켰으며 폐기물의 종류에 따라 발전소 Flyash 등의 혼화재를 첨가하였다. 본 연구에서 사용된 피아그린은 무독성의 자연친화적인 고화제로서 시멘트와의 수화반응을 통하여 응결을 촉진시킴과 동시에 강도증진에 기여하는 것으로 판단된다. 또한 폐기물에 함유된 중금속의 효과적인 안정화 및 고형화를 통하여 중금속의 용출억제 효과를 확인하였다. 향후 도시쓰레기소각재 등을 비롯한 다양한 폐기물을 이용한 재생골재 제조 및 재활용 가능성에 대한 보다 체계적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 소각재 안정화 및 재활용기술에 관한 연구, 환경관리공단, 2000년 9월
2. 김창은, 이승규, 시멘트를 이용한 폐기물의 고형화 처리기술, 요업재료의 과학과 기술, 9권 5호, pp. 517~528, 1994.
3. Grasso, D., Hazardous Waste Site Remediation: Source Control, Lewis Publishers, 1993.
4. Kim, C. E and Lee, S. K., The Effects of Heavy Metal Ions on the Hydration and Microstructure of the Cement Paste, J. of Korean Ceramic Society, Vol. 30, No. 11, pp. 967~973, 1993.