

## 방사성 소각재 폐기물의 고화체 제조 및 특성평가

이윤지, 황두성, 이기원, 문제권

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

yi1024@kaeri.re.kr

### 1. 서론

원자력시설에서 발생하는 방사성 고체 폐기물을 소각처리 할 경우, 감용율이 높고 물리·화학적 으로 안정한 형태로 전환시킬 수 있다. 그러나 소각과정에서 방사성 폐기물은 반응성이 작은 소각재(Ash)의 형태로 전환되며, 소각재는 크게 배기체 처리장치에 포집되는 비산재(fly ash)와 연소실 바닥재(bottom ash)로 구분된다. 이들 소각재는 분산성이 크고 취급이 불편하며 소각 특유의 고감용 효과로 인해 유해중금속이나 방사성 핵종이 농축되어 있으므로 처분에 적합한 고품·안정화 처리가 필연적으로 수반되어야 한다.[1] 이에 본 연구에서는 포틀랜드 시멘트를 적용하여 소각재, 물, 시멘트의 고품화를 위한 최적비율을 찾고 처분장 폐기물 인수기준에 준하기 위한 압축강도 시험으로 고화체의 적합성을 평가하고자 하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험방법

고화체의 제조에 사용된 소각재는 방사성 폐기물의 소각시설에서 배출되었으며, 포틀랜드 시멘트는 사용 제품을 사용하였다. 일반적으로 200  $\mu$ m미만[1] 크기의 비산재와 다르게 바닥재는 다양한 크기의 잔류물을 가지고 있으므로, 입도분포에서 약 80%를 구성하는 9.4 mm미만의 크기로 체 거름하였다. 실험은 바닥재만이 함유한 고화체, 바닥재와 비산재를 혼합한 고화체의 제조 및 특성파악의 순서로 진행하였고, 소각재, 물, 시멘트의 혼합비는 다양하게 조정하였다. 이때 KS L 5109에 의해 혼합은 5 L의 물탈혼합기를 이용하여  $140 \pm 5$  RPM으로 30초 동안 회전 혼합하고 15초간 정지한 후, 다시  $285 \pm 10$  RPM으로 60초간 회전 혼합시켰다. 이후 고화체의 성형작업성과 분리에 대한 저항성을 판단하기 위한 작업도(Workability)의 평가는 한국 공업규격 KS L 5111에 준하여 플로우테이블에 20초 간 25회 상하충격을 주어 퍼짐정도를 평가하였다. 고화체 성

형에는 플라스틱 몰드( $\phi 5$  cm \* H10 cm)를 사용하였고, 반죽을 채워 다짐봉( $\phi 3.5$  cm \* H3.5 cm \* L17 cm)으로 균일하게 다지는 작업을 충분히 시행하여 고화체 상부를 비닐로 밀봉하여 수밀성을 유지하였다. 28일 양생 후, 제조한 고화체가 압축강도 규정의 준수 여부를 판단하기 위해 KS F2405에 따라 자동식 콘크리트 압축강도 시험기에  $5 \pm 2\%/min$ 의 속도로 힘을 가하여 측정했다.

### 2.2 결과

#### 2.2.1 소각재 특성

MCA(Multi-Channel Analyzer)를 이용하여 방사선량을 산출한 결과, 비산재는 Co-60, Cs-137, U은 각각  $1.23E-002$ ,  $2.21E+000$ ,  $7.67E-001$  Bq/g로 나타났다. 바닥재의 경우, Co-60은  $2.85E-003$  Bq/g, Cs-137은  $9.77E-002$  Bq/g, U은  $2.14E+002$  Bq/g로 비산재에 비해 선량이 높다.

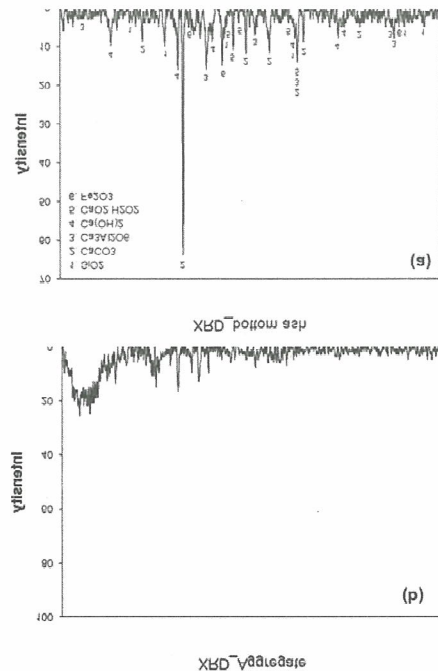


Fig. 1. XRD results of (a)bottom ash and (b)fly ash.

Fig. 1의 고분해능 X-선회절기(D5000, SIEMENS, Germany)분석결과, 비산재는 peak에 의한 특성파악을 할 수 없었고, 바닥재는 SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, CaO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 형태로 나타났다.

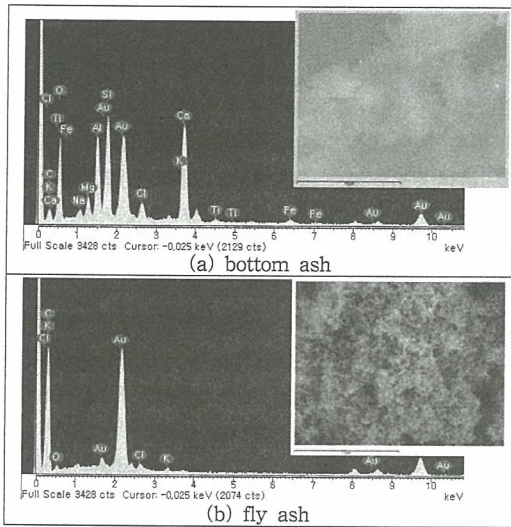


Fig. 2. SEM image and SEM-EDS results of ash.

바닥재는 O, Mg, Al, Si, Ca, C, Fe, 비산재는 O, Cl, Ca, C를 포함하고 있는 것을 Fig. 2의 SEM(JSM-6300, JEOL, Japan)사진과 EDS peak를 통해 확인하였고, 이를 바탕으로 조성을 임의 계산하였다. 바닥재는 SiO<sub>2</sub> 21wt%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11wt%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2wt%, CaO 8wt%, MgO 4wt%, CaCO<sub>3</sub> 41wt%, Na<sub>2</sub>O 3wt%, K<sub>2</sub>O 0.6wt%, TiO<sub>2</sub> 0.9wt%, CaCl<sub>2</sub> 9wt%로 구성되어 시멘트 수화에 주로 참여하는 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, CaCO<sub>3</sub>의 존재를 확인하였다. 그러나 비산재는 분석오차로 계산이 불가능하였고, 추가 분석이 요구된다.

### 2.2.2 작업도 및 고화체의 특성

고화체 제조는 바닥재를 함유한 것, 바닥재와 비산재를 혼합한 것으로 나누어 진행하였다. Table 1은 바닥재를 적용한 혼합비율에 따른 작업도, 압축강도 결과를 나타내었으며, 퍼짐 상태의 직경은 18 ~ 25 cm를 본 실험의 작업도 범위로 하였다. 그리고 경질 고화체는 압축강도 3.44 MPa (500psig)이상을 만족하여야 한다.[1]

바닥재를 많이 함유할수록 시멘트보다는 물이 더 많이 필요함을 작업도결과를 통해 알 수 있다. 현장에는 경제성을 고려하여 바닥재의 비율(60%)이 높고, 시멘트의 혼합량(W/C=300%)이 적은

것이 적합하다고 사료된다.

Table 1. Workability of mixture paste and compressive strength for waste forms.

바닥재 (BA)	혼합비 (wt %)			작업도 (cm)	강도 (MPa)
	물 (W)	시멘트 (C)	물/시멘트		
60	30	10	300	22	4.12
	25	15	166	↓	8.35
	20	20	100	↓	X
	15	25	60	↓	X
50	30	20	150	↑	6.18
	25	25	100	22	13.13
	20	30	66	↓	X
	15	35	42	↓	X
40	40	20	200	↑	X
	30	30	100	↑	4.71
	25	35	71	21	5.25
	20	40	50	↓	X
30	35	35	100	↑	X
	30	40	75	↑	19.13
	25	45	55	21.5	12.61
	20	50	40	↓	18.03
20	40	40	100	↑	X
	30	50	60	↑	8.82
	25	55	45	24	8.55

또한 비산재와 바닥재를 혼합한 고화체의 경우 팽창현상을 나타내었다. 이는 소각재 내 함유된 Na<sub>2</sub>O와 K<sub>2</sub>O가 물과 반응하면서 수소가스가 발생한 것으로 판단된다. 향후 특수시멘트 및 첨가제 등을 사용하여 비산재 시멘트고화체의 안정성을 평가할 것이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 방사성 폐기물의 소각시설에서 발생하는 소각재의 안정성을 확보하기 위해 바닥재와 비산재를 적용하여 시멘트 고화체를 제조하였다. 그 과정에서 성형작업성의 적합성을 판단하고, 방사성 폐기물 처분장의 인수기준에 준하는 압축강도 시험을 수행하였다. 이는 향후 가연성 폐기물 처리 후 발생하는 최종폐기물의 안정화 공정에 기초 자료로 활용 될 수 있으며, 추후 방사선 조사, 침출, 열순환 실험을 추가하여 최적의 고화조건을 찾을 계획이다.

### 4. 참고문헌

- [1] 고화처리한 유해 및 방사성폐기물 소각재의 물성 및 침출특성연구, 김인태, 2002.