

## 방사성 소각재 폐기물의 고화체 제조

이윤지, 김완석, 황두성, 이기원, 문제권

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

vi1024@kaeri.re.kr

### 1. 서론

점차 증가하는 폐기물의 용적을 축소화하며, 물리·화학적으로 안정한 형태로 전환시키기 위해 소각처리는 여러 분야에 활용되고 있다. 그중 원자력시설에서 발생하는 방사성 고체 폐기물을 소각처리 할 경우, 감용비는 약 40~100%정도이다. 그러나 이러한 소각과정에서 방사성 폐기물은 반응성이 작은 소각재(Ash)의 형태로 전환되며, [1] 이 소각재는 분산성이 크고 취급이 불편하며 소각 특유의 고감용 효과로 인해 유해중금속이나 방사성 핵종이 농축되어 있으므로 처분에 적합한 고형·안정화 처리가 필연적으로 수반되어야 한다. [2] 이에 본 연구에서는 포틀랜드 시멘트를 적용하여 물, 소각재와 시멘트의 고형화를 위한 최적 비율을 찾고 처분장 폐기물 인수기준(Site Specific Waste Acceptance Criteria)에 준하기 위한 압축강도 시험을 통해 고화체의 적합성을 평가하고자 하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 소각재 고화체 제조 및 실험방법

고화체의 제조에 사용된 소각재는 방사성 폐기물의 소각시설에서 배출되는 바닥재(bottom Ash)이며, 포틀랜드 시멘트는 A사의 제품을 사용하였다. Table 1에 ICP-AES(단, Cs의 경우 AAS로 측정)로 측정된 소각재와 시멘트의 중금속 함량을 나타내었다. 소각재와 시멘트의 균일한 혼합과 성형작업에 용이한 반죽이 될 수 있도록 물의 양은 20 %로 고정하였다. 그리고 많은 양의 소각재가 함유되면  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  등의 산화물의 수화반응시 발생하는 가스로 인해 팽창현상을 일으키는 것을 고려하여 소각재 5, 10, 15 %와 시멘트 65, 70, 75 %로 혼합비를 조정하였다. 이때 한국 공업규격 KS L 5109에 의해 물, 소각재, 시멘트의 혼합은 5 L의 몰탈혼합기(S1-530, 에스원산업, Korea)를 이용하여  $140 \pm 5$  RPM으로 30초 동안 회전 혼합하고 15초간 정치한 후, 다시  $285 \pm 10$  RPM으로

60초간 회전 혼합시켰다. 이후 고화체의 성형작업성의 적합성을 판단하고, 분리에 대한 저항성을 알아보기 위한 작업도(Workability)의 평가는 한국 공업규격 KS L 5111에 준하여 플로우테이블에 20초 간 25회 상하충격을 주어 퍼짐 정도를 평가하였다. 고화체 성형에는 황동 재질의 3연형 원형몰드( $\phi 5$  cm \* H10 cm, S1-590, 에스원산업, Korea)를 사용하였고, 먼저 반죽을 몰드에 약 1/3을 채워 다짐봉( $\phi 3.5$  cm \* H3.5 cm \* L17 cm, S1-582, 에스원산업, Korea)으로 균일하게 다지고 다시 나머지 공간에 반죽을 채웠다. 이때 소각재와 시멘트의 팽창현상을 대비하여 몰드의 끝까지 시멘트를 채우지 말고 다지는 작업을 충분히 시행하여 고화체 상부를 비닐로 밀봉하여 수밀성을 유지하였다. 양생기간은 28일로 정하였다. 양생기간 이후, 제조한 소각재 고화체가 처분장 폐기물 인수기준 중 압축강도 규정의 준수 여부를 판단하기 위해 KS F2405에 따라 측정을 수행하였다.  $\phi 5$  cm \* H10 cm의 크기로 제조한 시편을 자동식 콘크리트 압축강도 시험기(FS-1050A, 제일산업기기, Korea)에  $5 \pm 2\%$ /min의 속도로 힘을 가하여 측정하였다.

Table 1. Heavy metal contents of bottom Ash from radioactive waste incinerator and cement.

Ash(wt.%)		Cement(wt.%)	
Cr	1.2	Al	2.4
Fe	6.7	Fe	2.3
Ni	0.63	Ca	41.6
Zn	0.77	Mg	1.6
Co	0.01	Na	0.09
U	0.03	K	0.78
Cs	0.04	Si	8.17

#### 2.2 결과

2.1에서 언급한 순서에 따라 고화체 제조과정은 물, 소각재, 시멘트를 혼합하여 작업에 적합한 반죽을 만드는 것과 시편을 만드는 것으로 크게 나눌 수 있다. 또한 작업도 시험을 통해 반죽의 적

합성을 평가하고, 압축강도 시험을 통해 시편의 적합성을 평가할 수 있다. Fig. 1과 Table 2에 작업도 결과를 나타내었으며, 피짐 상태의 직경이 18 ~ 25 cm를 만족하는 혼합조성비를 본 실험의 작업도 범위로 하였다. 소각재의 혼합비율을 기준으로 5, 10, 15 %의 반죽이 모두 18 cm 이상으로 KS L 5111에 준하는 결과를 보였다.

Table 2. Workability of mixture paste for cement/bottom Ash waste form.

	a	b	c
Water(%)	20	20	20
Ash(%)	5	10	15
Cement(%)	75	70	65
Workability(cm)	19.8	20.2	18.3

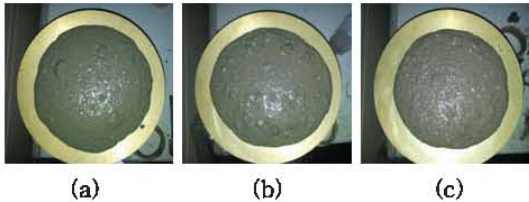


Fig. 1. Photograph for evaluation of workability of mixture paste for cement/bottom Ash waste form.

압축강도 측정을 통해 고화체를 평가하였고 Fig. 2에서 본 연구에서 수행한 강도 실험의 실제 모습을 나타내었다. 5 ± 2%/min의 일정한 속도로 힘을 가하여 측정하였을 때, 경질 고화체는 압축강도 3.44 MPa (500psig)이상을 만족하여야한다.[3] 본 실험에서 제조한 소각재 함량을 기준으로 5, 10, 15%을 포함한 소각재 고화체의 경우, 각각 약 17, 15, 17 MPa의 결과를 보였고, 이는 처분장 폐기물 인수기준에 준하는 것이다.



Fig. 2. Photograph for evaluation of compressive strength of cement/bottom Ash waste form.

### 3. 결론

본 연구에서는 방사성 폐기물의 소각시설 가동 시 발생하는 소각재 폐기물의 안정성을 확보하고, 2008년부터 포화가 예상되는 방사성 폐기물 처분장 수용부담을 줄일 수 있는 폐기물 감용을 위해 포틀랜드 시멘트를 적용하여 안정화된 소각재 고화체를 제조하였다. 그 과정에서 고화체의 성형 작업성의 적합성을 판단하는 작업도와 방사성 폐기물 처분장의 인수기준에 준하는 압축강도 시험치는 모두 기준에 준하는 결과를 나타내었고, 이는 향후 가연성 폐기물 처리 후 발생하는 최종폐기물의 안정화 처리공정에 기초 자료로 활용 될 수 있을 것이다. 또한 기초 자료를 바탕으로 추후 소각재의 함량을 늘려서 처리 효율을 더 늘릴 것이며, 침수/압축강도, 방사성조사/압축강도, 침출/압축강도, 열순환/압축강도의 실험을 추가하여 처분장 폐기물 인수기준을 만족하는 최적의 합성조건을 찾을 계획이다.

### 4. 참고문헌

- [1] 방사성 고체폐기물 감용처리기술, 한국원자력연구원보고서, 2002.
- [2] 고화처리한 유해 및 방사성폐기물 소각재의 물성 및 침출특성연구, 김인태, 학위논문, 2002.
- [3] 중·저준위 방사성폐기물 인수기준 개발 최종 보고서, 한국수력원자력 방폐물 기술처, 2007.