

# 알루미나계시멘트 고화제를 사용한 방사성폐기물고형화 및 배합조건에 따른 방사성폐기물고화체 기초물성 평가연구

박정훈<sup>1\*</sup>, 기경국<sup>1</sup>, 김정명<sup>2</sup>, 주영종<sup>2</sup>, 조남찬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>케미콘 기술연구소, 충청북도 진천군 광혜원면 죽현길 31

<sup>2</sup>한전원자력연료, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 242

\*jhpark@chemicon.co.kr

## 1. 서론

국내 핵연료가공시설에서는 다양한 방사성폐기물이 발생되고 있으며, 석회침전물과 같은 방사성폐기물은 분산성폐기물로 분류되어 고화시켜 처분해야 한다. 상기 방사성폐기물을 효과적으로 처리하여 최종 폐기물의 양을 최소화하고, 폐기물을 안정적으로 처분하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 시멘트와 같은 무기계재료를 사용한 무기성 고형화공법이 유효한 것으로 조사되었다.

무기성 고형화공법은 방사성폐기물과 시멘트성 물질이 물과 혼합되어 수화반응을 통해 폐기물을 경화시키는 공법으로서, 시멘트 및 슬래그가 고화제의 주성분으로 사용된다. 특히 기존의 고화제에서 주로 사용하던 보통포틀랜드시멘트를 대신하여 알루미나계시멘트를 사용할 경우 최종 방사성폐기물 고화체의 부피증가율을 저감시키는 것이 가능한 것으로 조사되었으며, 이를 위해서는 유효한 목표물성을 만족하기 위한 고화제의 적정사용량을 설정하는 것이 중요하다.

이에 본 연구는 석회침전물 방사성폐기물을 대상으로 알루미나계시멘트 고화제의 사용특성을 분석하고 최적배합을 설정하기 위해 재료별 배합조건에 따른 물성검토실험을 실시하였다.

## 2. 본론

### 2.1 실험방법

본 실험의 방사성폐기물은 분산성폐기물로서 산업 공정 이후 소석회 물질에 흡착되어 십여년간 밀봉 및 저장되어 생성된 석회침전물이다. 본 연구에 앞서 기존 시멘트고화공법을 방사성폐기물에 적용하여 기본적인 물성을 검토하였으며, 그 결과 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 혼합하는 과정에서 유동성이 부족하여 시편제작이 어려웠으며 암모니아냄새를 비롯한 가스발생이 활성화되는 것으로 나타났다. 또한 방사성폐기물 고화체시편의 압축강도가 목표성능수치에 미치지 못하였고, 압축강도실험을 통해 파단된 시편의 내부에서는 유리수와 균질하지

못한 응집체가 발견되었으며 이는 정상적인 시멘트 수화반응이 이루어지지 못했으며 불균질한 혼합이 진행된 것으로 판단된다. 따라서 방사성폐기물 고화제 및 고형화공법에서 고려되어야 할 사항으로서 작업성, 물리적안정성, 화학적안정성을 아래와 같이 설정하였으며 방사성폐기물, 고화제, 수분의 배합조건에 따른 실험을 수행하였다.

Table 1. Design of experiment

	실험인자	수 준
폐기물	석회침전물 방사성폐기물	-
고화제	CAC 주성분 고화제 조성물 <sup>*1</sup>	-
유동화제	고성능 PC계 유동화제 <sup>*2</sup> (폐기물 × wt%)	2.5 %
재료별 배합비 (중량비)	고화제와 폐기물의 혼합비별 실험배합 (고화제 / 폐기물)	20/80, 30/70, 40/60, 50/50
	고화제 내 수분함량별 실험배합 (수분 <sup>*3</sup> / 고화제고형량 <sup>*4</sup> )	35/65, 40/60, 45/55, 50/50

<sup>\*1</sup>CAC 주성분 고화제 조성물

: CAC(Calcium Aluminate Cement)와 촉진제, 소포제, 유지제 등 화학첨가제로 구성된 무기성 고화제 조성물

<sup>\*2</sup>고성능 PC계 유동화제

: 콘크리트산업에서 주로 사용되는 폴리카르본산계 감수제

<sup>\*3</sup>수분

: 방사성폐기물의 수분의 중량과 고화체제조시 추가로 가수한 혼합수의 중량을 합친 값

<sup>\*4</sup>고화체고형량

: 방사성폐기물의 수분을 제외한 고체폐기물의 중량과 고화제의 중량을 합친 값



Sludge phase of radioactive waste      Mixed with solidification agent and radioactive waste      Hardened radioactive waste

Fig. 1. Solidification of radioactive waste.

고화체 제작은 자동식 몰탈 믹서 (5L)에 폐기물과 유동화제를 투입 교반하여 액상형태로 균질하게 분산시킨다. 그리고 수분, 고화제를 투입하여 3 분간

혼합을 하고 유동성, 응결시간을 측정하고 고화체 시편 제작용 형틀을 사용하여 28 일간 양생을 실시하여 고화체시편을 제작한다. 이를 통해 제작한 고화체시편은 기본 압축강도를 비롯하여 침지실험, 동결융해저항 평가를 실시한다.

Table 2. Experimental methods

실험 단계	실험방법 및 평가기준	
굳지않은 폐기물고화체	유동성 (slump flow)	KS F 2428
	응결시간 (초결시간)	
경화된 폐기물고화체	기본압축강도	KS F 2405
	침지 압축강도	NRC <sup>*1</sup>
	동결융해 압축강도	ASTM B553

\*NRC : Technical position on waste form, rev.1 실험규준

## 2.2 실험결과 및 분석

### 2.2.1 굳지않은 폐기물 고화체 특성

Table 3, 4는 고화제와 폐기물의 혼합시 중량비에 따른 실험배합과 고화체 내 수분함량에 따른 실험배합별 굳지않은 폐기물고화체의 물성결과를 나타낸다. 고화제의 사용량이 증가함에 따라 유동성과 응결시간이 단축되며 특히 40%이상 증가할 경우 저감특성이 크게 나타났다. 고화제를 50% 사용할 경우 유동성과 응결시간이 크게 단축되었으나 폐기물고화체를 제작하는데 큰 어려움은 없었으며, 균질한 폐기물고화체 시편제작이 가능하였다. 한편, 고화체의 수분함량이 증가함에 따라 플로우가 증가하였으나 40%에서는 점성저하, 50%에서는 재료분리가 나타났으며 균질한 폐기물고화체 시편제작이 불가능하였다. 한편, 수분이 증가하여도 응결시간은 크게 변하지 않는 것으로 나타났다.

Table 3. Slump flow & Setting time (I)

구 분	고화제와 폐기물의 혼합비별 실험배합			
	20:80	30:70	40:60	50:50
플로우 (mm)	225	220	195	155
초결 (시:분)	4:00	2:30	1:40	0:50

\*폐기물고화체의 수분은 35%로 설정하였음.

Table 4. Slump flow & Setting time (II)

구 분	고화체 내 수분함량별 실험배합			
	35%	40%	45%	50%
플로우 (mm)	220	230	235	250
초결 (시:분)	2:30	2:40	2:50	2:50

\*고화제와 폐기물의 혼합 중량비는 25:75로 설정하였음.

### 2.2.2 경화된 고화체 압축강도 특성

Table 5, 6은 앞서 수행된 고화제와 폐기물의 혼합시 중량비에 따른 실험배합과 고화체 내 수분함

량에 따른 실험배합의 경화된 폐기물고화체시편의 물성결과를 나타낸다. 전반적으로 고화제의 사용량이 증가할수록 일반, 동결융해 실험의 압축강도가 증가하였다. 침지실험에서는 고화제 사용량이 40% 이상 증가할 경우 균열이 발생되었다. 수분은 증가할수록 압축강도는 저가하였고, 침지실험에서 수분이 35%에서 균열이 나타났으나 40%이상에서 균열이 발생되지 않았다.

Table 5. Compressive strength (I)

구 분	고화제와 폐기물의 혼합비별 실험배합				
	20:80	30:70	40:60	50:50	
압축강도 (MPa)	일반	3.54	7.45	12.21	15.78
	동결융해	3.27	8.24	13.17	17.42
침지		3.68	8.38	12.62	14.94
				(균열발생)	(균열발생)

Table 6. Compressive strength (II)

구 분	고화체 내 수분함량별 실험배합				
	35%	40%	45%	50%	
압축강도 (MPa)	일반	5.58	5.43	4.29	3.48
	동결융해	5.86	6.13	4.48	3.22
침지		4.68	6.20	5.61	3.15
		(균열발생)			

## 3. 결론

본 연구를 통해 석회침전물 방사성폐기물을 대상으로 알루미늄계시멘트 고화제를 사용하여 고화제, 폐기물, 수분을 조절한 배합조건별 유동성, 응결시간, 압축강도를 평가하였다. 그 결과, 고화제사용이 증가할수록 압축강도가 증가하였으나 침지에서 안정성이 감소하였으며, 수분이 증가할수록 유동성이 증가하고 압축강도가 감소하였으나 침지에서 안정성이 증가하였다. 즉, 작업성, 강도 및 침지안정성을 고려한 최적배합은 고화제는 폐기물대비 25-30%, 수분은 40%가 유효할 것으로 판단된다.

## 4. 참고문헌

- [1] 성석현, 정의영, 김기홍, "국내 방사성폐기물 특성과 방사성폐기물 처분시설 폐기물인수기준", 한국방사성폐기물학회 6(4), 347-356, Dec. 2008.