

알루미나계시멘트를 활용한 방사성폐기물 고화 특성 평가

김정명^{1*}, 조남찬¹, 주영종¹, 기경국², 박정훈²

¹한전원자력연료(주), 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 242

²(주)케미콘, 충북 진천군 광혜원면 죽현리 172-1

*jmk@knfc.co.kr

1. 서론

핵연료가공시설에서 발생하는 우라늄 함유 방사성액체폐기물의 방출을 위해 허용농도 이하가 되도록 석회침전방식으로 처리하였으며 그의 부산물로 방사성고체폐기물인 석회침전물이 발생하였다. 이러한 석회침전물은 자체처분 및 부피감용 등의 처리가 힘들며, 분산성폐기물로 분류되어 고화시켜 처분해야 한다.

방사성폐기물의 고화 방법에는 시멘트, 아스팔트, 폴리머 등을 활용한 고화 방법이 있으며 특히, 시멘트 고화는 다양한 형태의 폐기물에 적용이 가능하며, 재료 및 설비 비용이 경제적이고, 최종폐기물의 구조적 강도 및 차폐 효과가 뛰어난 장점이 있다. 그러나, 기존 시멘트 고화연구는 보통포틀랜드시멘트(OPC)만을 대상으로 연구가 수행되었다. 이는 화학물질에 대한 저항이 취약하고 일정수준의 물리적 특성을 발현하기 위해 많은 시간이 소요된다. 그리고 다량의 재료 사용에 따른 부피증가의 문제로 고비용의 방사성폐기물 처분비용을 부담해야 하는 사업자의 입장에서 시멘트 고화 방법을 적용하기 어려운 실정이다.

이에 본 연구는 최소량의 재료를 사용하여 부피증가를 최소화하고 고화 기준을 만족시키기 위해 보통포틀랜드시멘트(OPC)에 내화학적 및 초기 강도 발현에 유리한 알루미나계시멘트(CAC)를 활용하여 기본적인 물리적 특성(압축강도, 동결융해저항, 내수저항)을 배합 비율별로 비교하여 방사성폐기물 고화 재료로 알루미나계시멘트의 활용방안에 대해 제안하고자 한다.

2. 본론

2.1 실험방법

본 실험의 고화 재료는 국내 A사에서 생산된 보통포틀랜드시멘트(OPC)와 국외 K사에서 생산된 알루미나계시멘트(CAC) 2종류를 사용하였다. 첨가제는 유동화제, 소포제, 응결시간 조절제를 사용하였

다. 고화 대상 폐기물은 약 35%의 수분을 함유하고 비중이 약 1.6정도 되는 슬러지형태의 석회침전물 폐기물을 사용하였다.

실험방법은 KS규준 시멘트 몰탈 혼합 방법에 준하여 실험을 진행하였다. 본 실험에 앞서 시멘트를 사용한 폐기물 고화체의 기본적인 물성을 검토하기 위하여 유동화제 및 배합수를 0~50%까지 10%단위별 유동성을 분석하였으며, 이때 각각의 압축강도를 측정하여 비교하였다. 그 결과, 본 폐기물에는 추가적으로 가수가 필요하지 않고 유동화제를 폐기물 증량 대비 2%를 투입할 경우 작업성, 강도 발현측면에서 유리한 것으로 나타났다.

고화체 제작은 자동식 몰탈 믹서(5 L)에 폐기물 및 유동화제 투입 후 1차 혼합하여 액상 형태로 폐기물을 분산시켜 균질하게 만든다. 그리고 각각의 배합에 따른 고화제를 투입(폐기물:고화제=3:1)하여 2차 혼합을 하고 몰탈 몰드(지름:5 cm, 높이:10 cm 원기둥형)에 혼합물을 붓는다. 몰드 상부에는 파라필름으로 캡핑 후 28 일 동안 밀봉 양생하여 수분 증발을 방지한다. 이렇게 28 일 양생이 끝난 고화체는 압축강도 시험을 통해 기준 강도 3.44 MPa (500 psig) 만족 여부를 평가한다. 그리고 압축강도 시험을 통과한 고화체에 대해 동결융해저항, 내수저항 평가를 실시하였다.

동결융해저항 평가는 60 ~ -40°C까지 온도 변화를 주며 총 30주기로 실험을 진행한 후 압축강도를 측정하였고 내수저항 평가는 고화체 시편을 10 일간 침수한 후 압축강도를 측정하였다.

2.2 실험결과 및 분석

2.2.1 굳지 않은 폐기물 고화체 특성

본 실험에서는 보통포틀랜드시멘트(OPC)에 알루미나계시멘트(CAC)를 치환한 고화제를 배합하여 고화체를 제조하였고 굳지 않은 고화체 반죽상태의 특성을 Table 1에 나타내었다. 보통포틀랜드시멘트(OPC)에 알루미나계시멘트(CAC)를 치환할수록 슬럼프플로우가 감소하고 응결시간이 단축되었으며,

이는 알루미나계시멘트의 수화반응에 따른 초기 급결현상으로 판단된다. 알루미나계시멘트를 30%만큼 치환할 경우 혼합작업 및 반죽상태가 불량하였으며, 30%이상 치환할 경우 작업성 및 응결시간 개선을 위해 추가적인 첨가제가 필요할 것으로 판단된다.

Table 1. Slump flow & Setting time

구 분	OPC : CAC (중량비)					
	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50
슬럼프						
플로우 (mm)	170	170	155	145	120	110
응결시간						
종결 (시:분)	2:00	1:20	0:50	0:20	0:10	0:08

2.2.2 고화체 압축강도 특성

Table 2는 고화체를 7 일, 28 일만큼 밀봉양생하여 제조한 고화체의 압축강도 실험결과를 나타낸다. 알루미나계시멘트(CAC)를 20%까지 치환할 경우 압축강도가 증가하였으나 30%이상일 경우 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 알루미나계시멘트의 초기 급결현상으로 작업성이 불량하여 고화체의 품질이 저하된 것에 기인한 것으로 판단된다.

Table 2. Compressive strength (Sealed curing)

구 분	OPC : CAC (중량비)					
	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50
압축 강도						
7day	3.6	5.5	9.7	7.2	6.1	5.8
28day (MPa)	8.8	9.6	12.3	10.5	8.1	6.5

2.2.3 고화체 동결융해저항 특성

Table 3은 동결융해저항 실험 및 압축강도 측정 결과를 나타낸다. 그 결과, 전반적으로 기존의 밀봉양생하여 제조한 고화체보다 압축강도가 약 1~2 MPa 만큼 증진되어 나타났으며, 이는 고화체 내부의 미 경화된 수분 및 시멘트 입자들이 온도가 높아지는 과정에서 충분히 수화하여 강도증진에 기여한 것으로 판단된다.

Table 3. Compressive strength (Thermal cycling)

구 분	OPC : CAC (중량비)					
	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50
동결융해 (30cycles)						
압축강도 (MPa)	9.1	10.4	13.5	12.7	7.8	6.4

2.2.4 고화체 내수저항 특성

고화체 내수저항 실험을 위해 28 일 양생 후 10 일동안 초순수에 침수하였으며, 해당과정에서 고화체의 길이변화율을 조사하였고, 침수실험 종료 후 1 일간 상온에서 건조시킨 후 압축강도를 측정된 결과를 Table 4에 나타내었다. 그 결과 알루미나계시멘트(CAC)를 첨가할수록 길이변화율은 다소 상승하는 것으로 나타났으며, 전반적으로 기존의 밀봉양생하여 제조한 고화체보다 압축강도가 약 1~2 MPa 만큼 증진되는 것으로 나타났다.

Table 4. Size variation & Compressive strength (Immersion)

구 분	OPC : CAC (중량비)					
	100:0	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50
부피변화율 (%)	0.044	0.046	0.050	0.055	0.062	0.069
압축강도 (MPa)	9.4	10.5	13.7	13.1	9.5	7.1

3. 결론

본 연구를 통해 방사성폐기물에 적용하기 위한 고화체의 주요 기능으로서 작업성, 응결시간, 압축강도를 주요인자로 설정하여 알루미나계시멘트(CAC)를 활용한 고화체 조성물을 제안하였고, 이를 폐기물에 적용하여 압축강도, 동결융해저항, 내수저항 평가를 수행하였다. 그 결과, 보통포틀랜드시멘트(OPC)에 알루미나계시멘트(CAC)를 치환할 경우 압축강도가 증진되었으며, 동결융해저항, 내수저항 실험에서도 압축강도가 증진되는 것으로 나타났다. 이는 알루미나계시멘트(CAC)를 사용할 경우 보다 적은 양의 고화제를 사용해도 일정수준의 압축강도를 발현할 수 있으며, 이를 통해 방사성폐기물 고화에 필요한 고화제 사용량을 최소화 할 수 있으며 방사성폐기물 고화체 부피증가 또한 최소화가 가능하고 원자력관련시설에서 발생하는 분산성폐기물에 대해서도 기초 배합실험 후 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] 양호연, 김주열, "폐액증발기 농축폐액 폴리머고화 타당성 연구", J. of the Korean Radioactive Waste Society Vol.5(4), P.297-308 (2007).