

토양에서 용출된 우라늄오염 금속산화물 고화체 실험

성현희*, 구대서, 김계남, 최종원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*shh414@kaeri.re.kr

1. 서론

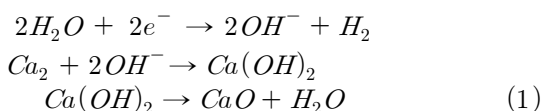
원자력시설 운영 및 발전소의 수명 종료 후 시설의 해체과정에서 방사성물질로 오염된 토양이 부지내 존재하게 된다. 이에 따라 발생한 방사성물질이 함유된 토양을 제염하여 복원하는 방법으로 동전기제염기술을 개발하여 실험 중에 있다. 즉 오염 토양을 세척하여 방사성물질을 약 50-60% 정도 제거하고 세척된 토양은 동전기장치에 투입시켜 방사성물질을 최대한 제거하여 오염된 토양을 복원시키는 기술이다. 이러한 공정과정에서 동전기 공정 장치의 음극 내에서 pH의 상승에 의해 미세입자로 구성되어있는 금속산화물이 발생한다. 방사성물질을 완벽하게 제염 하는 기술은 연구 진행 중 이기에 추후 방사성 폐기물 저장고로 운반하기 위해서 해당 방사성 물질을 분류하여 금속산화물로 고화하여 준비 하여야 한다.

고화방법으로는 시멘트, 세라믹, 유리, 아스팔트, 폴리머, 복합매질 등으로 다양하게 있다. 그중에서 시멘트고화는 원자력 관련시설 및 핵연료주기 시설에서 발생하는 중·저준위 방사성 폐기물을 고화하는 기술로서 오래되고 많은 경험이 축적된 기술이다. 시멘트고화는 재료 및 기술이 잘 알려져 있고, 다양한 폐기물에 적용이 가능하며, 가격이 저렴하면서도 기계적인 강도가 우수한 고화방법이다. 따라서 고화방법으로 시멘트고화를 선택하였으며, 다음과 같이 수행하였다.

2. 본론

2.1 금속산화물 고화체 실험

방사성에 오염된 토양을 세척-동전기제염장치로 제염 시 음극에서 전해질들이 발생한다. 전해질들은 오염된 토양에 포함된 중금속이온을 함유하고 있으며, 다음과 같은 식으로 금속산화물로 변한다.



토양에 포함된 Al, Fe, Ca, U, Si 또한 높은 pH로 인해 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , UO_2 , MgO , SiO_2 로 변한다. 발생한 금속산화물들은 미세입자로 구성되어 있기 때문에 방사성 폐기물 저장고로 보내기 위해 고화하는 실험을 진행했다. 고화체 실험에 앞서 방사성 폐기물 건전성 시험을 실시할 수 있는 시험규격을 만족하는(직경 50mm 높이 100mm) 물드를 제작하였다. 금속산화물은 동일한 practical 크기를 위해 분쇄기에 갈은 후 1.4mm 체에 걸러 사용하였다. 고화에 사용될 시멘트는 포틀랜드시멘트 1종을 사용하였다.

2.2 최적의 혼합비 선정

먼저 물, 금속산화물, 시멘트의 고화체 제작에 최적 혼합비를 실험을 통하여 찾고자 하였다. Table 1에서 금속산화물의 밀도는 1.2 g/cm^3 이었고, 시멘트의 밀도는 3.15 g/cm^3 이다. 최종부피 (V_f) / 시료의 부피 (V_i) * 100이 150%를 초과하지 않는 범위에서 압축강도가 가장 높은 값을 가지는 것을 목표로 한다. 실험결과, 시멘트의 비율이 높을수록 압축강도가 높게 측정되었으나, 부피비율 또한 증가하게 되므로 금속산화물, 시멘트 물의 적절한 혼합비를 찾는 것이 중요하다.

Table 1. The mixing ratio

Number	Metal oxide (g)	Water (g)	Cement (g)
C-1	0.8	0.45	1
	(131.4)	(73.9)	(164.3)
C-2	1.0	0.45	1
	(147.2)	(66.2)	(147.2)
C-3	1.5	0.45	1
	(175.2)	(52.6)	(116.8)
C-4	2.0	0.45	1
	(193.6)	(43.6)	(96.8)
C-5	2.5	0.45	1
	(206.63)	(37.2)	(82.7)



Fig. 1. The mixing process (metal oxides size : smaller than 1.4mm).

2.3 압축강도 시험

고화체가 처분장의 수직하중에 견딜 수 있는지를 평가하는 시험으로 압축강도 시험을 진행하였다. 금속산화물의 비율에 따른 시멘트 고화체의 강도 변화를 평가하기 위하여 압축강도 측정 절차서 (HCT-DC 50)에 따라 28 일 동안 경화된 고화체로 압축강도를 측정하였다. 압축강도시험기는 디지털로 하중 값이 표시되고, 전도유압식으로 구동되는 시험기를 사용하였다. 시험 조건들로는 시험의 단면적이 19.625 cm^2 , 길이가 10 cm, 그리고 압축강도 측정 시 영향을 주는 인자로서 재하속도를 초당 3 kgf/cm^2 로 설정하였다. 압축강도는 최대하중 값에 단면적을 나누어 구하였다. 실험 결과 값은 ASTM C39 원주형 콘크리트 시험의 압축강도 표준 시험기준에 따라 압축강도 34 kgf/cm^2 , 500 psi, 0.098 N/mm^2 이상의 범위를 만족하는 지를 확인하였다.

Table 2. Compression Test

Number	Force (kgf/cm^2)	$V_f/V_i \times 100$
C-1	210.78	193
C-2	182.33	172
C-3	165.51	165
C-4	131.43	154
C-5	112.86	142



Fig. 2. Compression strength measuring process.

3. 결론

압축강도 측정결과 Table 2.에서 보듯이 시멘트의 비율을 높일수록 최종부피(V_f) / 시료의 부피(V_i) * 100의 값이 증가하여 인수기준에 미치지 못하였다. 하지만 시멘트 첨가에 따라 그 강도는 증가하는 경향을 보이고, 중·저준위방사성폐기물 인수기준에서 요구하는 경질 고화체에 대한 34 kgf/cm^2 기준을 모두 만족하였다.

각각의 금속산화물, 물, 그리고 시멘트의 혼합비에 따른 압축강도 시험 결과는 금속산화물 양이 적을수록 그리고 이에 반하여 시멘트의 양이 많을수록 압축강도가 크게 나타남을 알 수 있었다.

0% 이하를 만족하는 값을 고려하여 처분장 인수기준에 적합한 비율은 금속산화물과 시멘트의 비 M/C가 2.0 ~ 2.5가 혼합비율로 적합함을 알 수 있었다. 압축강도 제한 값 34 kgf/cm^2 (500psi) 이상과 금속산화물의 초기 부피 대비 최종부피 비율 15

4. 참고문헌

- [1] Choi, Yoon Suk, Yang, Eun Ik, "Characteristics of Pore Structures and Compressive Strength in the Radioactive Waste Repository Concrete Specimen exposed to Ground Water", Korea Concrete Institute Fall Society (2011).
- [2] 김진만, 정지용, 최지호, 신상철, "중·저준위 방사성 폐기물 처리용 시멘트 고화체의 압축강도와 동탄성계수의 관계", 한국콘크리트학회 논문집 Vol. 25, No. 3, 321~329, June, 2013.
- [3] 이윤지, 황두성, 이기원, 정경환, 문제권, "해체 콘크리트 폐기물 최종처분을 위한 시멘트 고화체 특성 평가", 한국방사성폐기물 학회 Volume 11 Number 4 (2013. 12), 271~280.