우라늄 오염 토양의 제염 후 2차 폐기물에 대한 시멘트 고화 침출 시험

성현희*, 구대서, 김계남, 김승수, 최종원
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*shh414@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성에 오염된 토양을 세척-동전기제염장치로 제염 시 pH 상승에 의해 음극에서 전해질들이 발생한다. 전해질들은 오염된 토양에 포함된 중금속 이온을 함유하고 있으며, 금속수산화물로 변한다. 토양 복원 시험 설비 과정 중 발생한 우라늄으로 오염된 금속수산화물은 미세입자 이므로 고화체로 만들어 한국원자력환경공단(KORAD)에 인수하여야 한다. 세라믹, 유리, 아스팔트 등 다양한 고화방법 중에서도 재료 및 기술이 잘 알려져 있고, 가격이 저렴하면서도 기계적인 강도가 우수한 시멘트 고화 방법으로 고화체를 만들었다.

금속수산화물 고화체를 KORAD에 인수하기 위해서는 압축강도, 침출시험, 침수시험, 방사선조사, 열순환시험, 유리수시험을 통과하여야 한다. 6가지 건전성 시험을 연구 진행 중에 있으며, 그 중 압축강도 시험을 통과한 고화체를 가지고 침출시험을 수행하고 KORAD의 인수기준에 따라 그 결과를 분석하였다.

2. 본론

2.1 금속수산화물 고화체 실험

고화체 실험에 앞서 방사성 폐기물 건전성 시험을 실시할 수 있는 시험규격을 만족하는(직경 50 mm 높이 100 mm)몰드를 스테인레스 스틸로 제작하였다. 최종부피(V_f) / 시료의 부피(V_i) * 100이 150%를 초과하지 않는 범위에서 압축강도가 가장 높은 값을 가지는 것을 목표로 고화체를 제작하였다.

Table 1. The mixing ratio

Number	Metal oxide (g)	Water (g)	Cement (g)
C-3	1.5 (175.2)	1.2 (140.2)	1 (116.8)
C-4	2.0 (193.6)	1.65 (159.7)	1 (96.8)

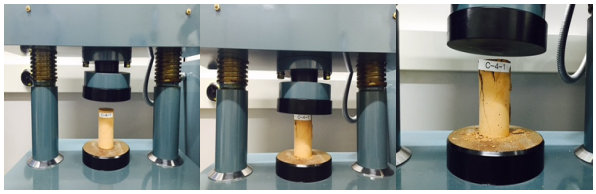

Fig. 1. Compression strength measuring process.

압축강도 실험 결과 C-3 : 165.51 kgf/cm^2, C-4 : 131.43 kgf/cm^2으로 중·저준위방사성폐기물 인수기준에서 요구하는 경질 고화체에 대한 34 kgf/cm^2 기준을 각각 3.9, 4.9배 만족하였다. 압축강도 시험을 통과한 동일한 혼합비를 가지고 침출 시험을 진행해 보았다.

2.2 침출 시험 인수 기준

침출 시험은 저준위 방사성 폐기물 고화체의 방사성핵종 보존능력을 평가하는 시험 방법이다. Demi-Water에 90 일 동안 고화체를 노출시켜 침출지수를 산출하며, 인수기준은 침출지수가 6이상 만족해야 한다. 침출액 교환주기는 2hr, 7hr, 1day, 2day, 3day, 4day, 5day, 19day, 47day, 90day이다.

$$T = [\frac{1}{2}(\sqrt{t_n} + \sqrt{t_{n-1}})]^2 \quad (1)$$

$$D = \pi[\frac{a_n/A_0}{(\triangle t)_n}]^2[\frac{V}{S}]^2 T \quad (2)$$

$$L = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}[\log(1/D)]_n \quad (3)$$

D : 유효확산계수 (㎠/s)

a_n: 침출액 교체기간(n)동안에 침출된 방사능 (Bq or μCi)

A_0: 시편의 초기 방사선량 (Bq or μCi)

S : 시편의 노출면적 (㎠)

V : 시편의 부피 (㎤)

t_n : 침출제 교체기간 (sec) / △t 차이만큼

T : n번째 침출구간의 평균 침출시간

L : 침출지수

2.3 침출 시험 결과

C-3 시편의 초기 방사선량은 68.225 Bq/g이고, C-4는 72.6 Bq/g이다. V/S 값은 0.83 cm이다. 화학분석을 통해 침출액 교체기간(n)동안에 침출된 방사능 값은 0.00125 Bq/g 이하로 측정되었다.
Table 2과 3는 침출시험 결과 값을 통해 시멘트 1.0에 대하여 시료 1.5과 2.0 배합비의 유효확산계수를 구하였다. 유효확산계수를 통하여 침출지수를 구한 결과 C-3의 침출지수 14.135, C-4는 14.138로 인수기준 6 보다 2.3배 만족하였다.

Table 2. C-3 The effective diffusion coefficient

Time	D	log(l/D)
2h	1.01E-13	12.996
7h	3.33E-14	13.478
1d	9.94E-15	14.003
2d	1.23E-14	13.912
3d	2.08E-14	13.682
4d	3.77E-14	13.533
5d	4.66E-16	13.423
19d	3.37E-16	15.331
47d	3.37E-16	15.472
90d	3.04E-16	15.518

Table 3. C-4 The effective diffusion coefficient

Time	D	log(l/D)
2h	8.911E-14	13.050
7h	2.938E-14	13.532
1d	8.776E-15	14.057
2d	1.082E-14	13.966
3d	1.838E-14	13.736
4d	2.586E-14	13.587
5d	3.331E-14	13.477
19d	1.335E-15	14.875
47d	2.978E-16	15.523
90d	2.682E-16	15.572

3. 결론

침출 시험 결과 혼합비에 따른 침출 지수의 값의 차이는 거의 미미하였다. 따라서 금속수산화물을 시멘트로 고화했을 때, 수중에서의 방사능 유출가능성은 낮다고 판단된다. 그렇기 때문에 압축강도 인수기준만 통과한다면, 침출 시험 인수기준을 만족할 것으로 예측된다. 금속수산화물, 시멘트, 그리고 물의 혼합비에 따라 금속수산화물 양이 적을수록 시멘트의 양이 많을수록 압축강도는 크게 나타나지만, 최종부피가 증가하므로 적절한 혼합비를 찾는 것이 중요하다. 최종적으로 부피증가비가 적으면서도 모든 인수기준을 만족하는 고화체를 만드는 것이 목표이다. 남은 4가지 건전성 시험 또한 연구 진행 중에 있으며, 인수기준에 부합할 것으로 기대하고 있다.

4. 참고문헌

[1] Choi, Yoon Suk, Yang, Eun Ik, “Characteristics of Pore Structures and Compressive Strength in the Radioactive Waste Repository Conrete 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, pp. 321~329, June, 2013.

[3] 이윤지, 황두성, 이기원, 정경환, 문제권, “해체콘크리트 폐기물 최종처분을 위한 시멘트 고화체 특성 평가”, 한국방사성폐기물 학회 Volume 11 Number 4 (2013. 12), pp. 271~280.

[4] 김계남외, “동전기적 토양제염에 미치는 pH의 영향”, 한국폐기물학회지, V.17(6), pp. 781-788 (2000).