

고건전성용기 개발을 위한 폴리머콘크리트의 침출 시험

이재민, 전종선, 정기철, 박상규, 김태현
 (주)에네시스, 대전광역시 유성구 장대동 337-2
 jmlee@enesys.co.kr

방사성폐기물의 안정적인 처분을 위하여 방사성폐기물 및 인공방벽의 건전성 평가의 필요성이 요구된다. 처분장 내에서 방사성 핵종의 누출에 1차적인 방어 역할을 하는 중·저준위 방사성 폐기물용 고건전성용기(HIC) 재료로서의 적합성을 평가하기 위하여 폴리머콘크리트에 대한 침출시험을 수행하였다. 콘크리트 제작에 있어 폴리머는 1950년대 부터 사용되어왔으며 제작방법에 따라 Polymer Impregnated Concrete (PIC), Polymer Concrete (PC), Polymer-Modified Concrete (PMC) 등으로 분류되며 기존 콘크리트에 비해 물성이 우수하여 다양한 분야에 적용되고 있다. 현재 PIC의 경우 일본은 1개 회사에서만 상용화되고 있으며, PMC의 경우 유지, 보강제로만 주로 사용되고 있다. PC의 경우 유지, 보강재 및 구조물, 단일 제품으로도 상용화중이며 성능대비 경제성이 우수하다. PC는 일반적인 몰타르나 콘크리트에서 수화시멘트 결합체를 완전히 고분자 결합체로 대체, 골재와의 우수한 결합력으로 콘크리트의 기존 물성을 크게 향상시킴과 동시에 기존 콘크리트 중량의 1/3 이하까지 제작이 가능하다. 침출시험 방법으로는 IAEA 방법, 수정 IAEA 방법, ANS 16.1, ISO 6961, MCC-1의 방법들이 있다. 본 연구에서는 90일간의 단기 침출 평가를 위해 ANS 16.1 방법을 통하여 침출시험을 수행하였다. Co 원소와 Cs 원소의 침출 특성을 평가하였으며 침출 해석을 위해 반무한 매질의 확산 모델을 적용하였다. 본 연구에서는 잔골재 750g, 모래 300g, 충전제 300g, 폴리에스테르수지 120g, 저수축제 30g, 경화제 0.36g 비율로 폴리머콘크리트 시편을 제작하였으며 제작시 CsCl과 CoNO₃를 혼합하여 침출실험을 수행하였다. 침출수는 증류수, 모의지하수와 모의해수이고, 시험온도는 항온실험실 내 항온수조에서 22.5 ± 5 °C로 유지하였다. 침출수의 부피와 침출에 노출된 시편의 겉면적의 비는 10 ± 0.2 cm이고, 침출수 교환주기는 2h, 7h, 1d, 2d, 3d, 4d, 5d, 19d, 47d, 90d이다. 미국 NRC에서는 폐기물 내에 포함된 모든 방사성 핵종에 대하여 침출지수가 6보다 커야됨을 권고하고 있다. 침출수 교환주기에 따라 추출된 침출수는 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 이용하여 코발트와 세슘에 대한 농도를 분석하였다. ANS의 표준 침출 시험법은 침출시험 자료를 바탕으로 유효확산계수(Effective Diffusivity), D_e를 구하며, 다음 식(1)로 표현하고 있다. 그러나 누적침출분율이 20% 이상인 경우 다른 방법에 의해 구할 수 있으며 본 연구에서는 ANS 16.1의 Table A.1을 이용하여 구하였다.

$$D_e = \pi \left(\frac{a_n/A_o}{t_n - t_{n-1}} \right)^2 \left(\frac{V}{S} \right)^2 T \quad \text{----- (1)}$$

여기서 a_n = 침출간격 n동안 유출된 방사성핵종의 방사능

A_o = 침출시험 초기에 시편에 있는 방사성핵종의 총방사능

S = 시편의 노출 표면적, cm²

V = 시편의 부피, cm³

t_n = 침출수 교환 주기, d

T = $\left[\frac{(t_n^{1/2} + t_{n-1}^{1/2})}{2} \right]^2$, 침출간격의 평균시간, d

D_e = 유효확산계수, cm²/s.

각각의 시편으로부터 유효확산계수가 결정되면 다음과 같이 정의된 침출 지수(L_i) 식으로 침출 지수를 결정한다.

$$L_i = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} [\log(\beta / D_{ei})]_n \quad \text{----- (2)}$$

여기서, $\beta = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 정의된 상수

D_{ei} = 시험데이터로부터 계산된 방사성 핵종 i 의 유효확산계수이다.

실험결과를 그림 1, 그림 2, 그림 3에 나타내었다. 증류수, 모의지하수, 모의해수에서의 유효확산 계수는 Co의 경우 각각 $1.72 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{sec}$, $1.39 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{sec}$, $2.73 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{sec}$, Cs의 경우 각각 $2.83 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$, $2.76 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$, $3.12 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 이었으며 침출지수는 Co 핵종의 경우 각각 8.86, 9.01, 8.74, Cs 핵종의 경우 6.34, 6.67, 6.32 으로 나타났다. 이는 NRC 고화체 인수기준의 침출지수 6 이상을 만족하는 결과이다. Co 핵종과 같이 침출율이 작은 경우 시험 초기에 표면 효과에 의해 침출율이 큰 경향을 나타내는 데에 반하여 폴리머콘크리트의 경우 그림 4와 같이 이러한 경향이 나타나지 않았다. 이는 시멘트 콘크리트에 비해 표면이 매끄럽고 상대적으로 미세기공이 적어 초기 경계면의 면적이 작은 점에 기인하는 것으로 판단된다. 침출 특성의 경우 폴리머 콘크리트는 고건전성용기 재질로서 타당한 것으로 판단된다.

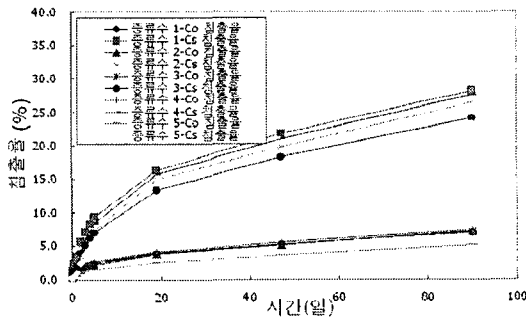


그림 1. 증류수에서의 누적침출율

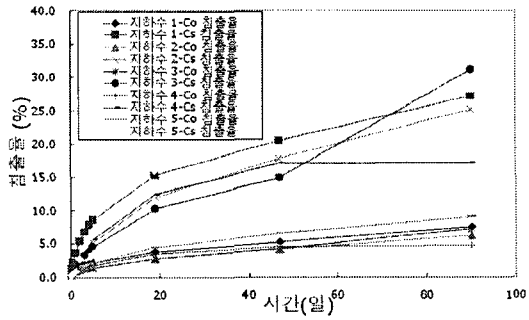


그림 2. 모의지하수에서의 누적침출율

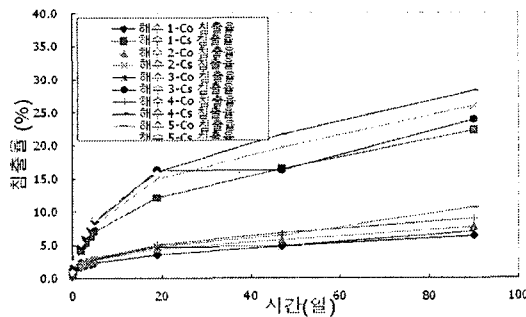


그림 3. 모의해수에서의 누적침출율

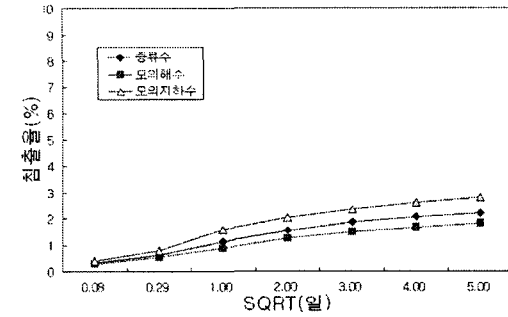


그림 4. Co 핵종의 시험 초기 침출율