

## 방사성폐기물 처분용 고건전성 개발용기 재질의 이온확산 평가

전중선, 박상규, 김연화, 박종익\*, 이재민  
 (주)에네시스, 대전 유성구 구암동 328 번지  
 \*(주)계림폴리콘, 충남 부여군 임천면 군사리 516  
 nunkijs@gmail.com

### 1. 서론

중·저준위 방사성폐기물 처분 시, 처분요건에 적합한 폐기물 처리를 위하여 고건전성 용기가 필요한 폐기물이 있다. 이러한 폐기물의 안정적이고 장기적인 처분하기 위하여 폴리머 콘크리트 고건전성 용기를 개발하였다. 폴리머 콘크리트는 일반적인 시멘트 콘크리트에서 수화시멘트 결합체를 고분자 결합체로 대체하여 제작하며 골재와의 우수한 결합력으로 기존 시멘트 콘크리트의 기존 물성보다 크게 향상시켜 같은 물성으로 제작시 기존 콘크리트 중량의 1/3 이하만 사용하여 제작이 가능하였다. 이러한 물리적 특성을 가지는 폴리머 콘크리트가 방사성폐기물 처분시 용기 내 방사성물질의 외부확산방지에 적합한지 확인하기 위하여 이온확산 시험을 수행하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 이온확산 특성 평가

방사성폐기물 처분시 폴리머 콘크리트 용기의 방사성물질 외부확산 정도를 평가하기 위하여 염소이온확산 시험을 수행하였다. 염소이온확산 시험은 균열 등으로 인한 구조적인 내구성 평가도 가능하다. 콘크리트의 내구성 저하에 미치는 인자로는 크게 화학적 영향인자와 물리적 영향인자로 분류되던, 화학적 영향인자에서는 이온교환반응, 가수분해, 팽창성 반응 등이 있으며, 물리적 영향인자에서는 표면손상과 균열 등이 있다.

화학적 영향인자와 물리적 영향인자에 의한 투수성 증가와 균열발생은 산소, 물, 염화물 등과 같은 공격적인 영향인자의 침투를 더욱 용이하게 함으로써 콘크리트의 내구성 저하를 촉진시킨다. 염화물은 다양한 화학적 영향 인자들 중에서 가장 복잡한 인자이며 콘크리트 속으로 침투하는 염화물의 이동은 물리적인 관점에서 침투작용, 모세관 흡입, 확산으로 나눌 수 있다.

#### 2.2 이온확산 시험

시멘트 콘크리트 및 폴리머 콘크리트 시편에 그림 1과 같이 시험장치를 설치하여 이온확산 시험을 수행하여 염소이온의 확산계수를 확인하였다. 폴리머 콘크리트 경우에는 이온확산시험 중에 전류의 흐름을 확인할 수 없었고 시험 종료 후 양극과 음극판의 표면은 깨끗하였다. 반면 시멘트 콘크리트 시험은 일정한 전류가 통과하였고 시험 종료 후 양극과 음극판의 표면에 많은 양의 금속 이온들이 흡착되었다.

콘크리트의 염소이온 침투에 대한 저항성을 빠른 시간에 알아내기 위한 목적으로 콘크리트의 전기 전도도를 결정하는 시험도 수행하였다. 그림 2와 같이 전기전도도 시험 방법에 의한 침투 저항성 평가 결과는 대부분 장기 침투에 의한 염소이온 침투 저항성 시험 결과와 상호 연관성을 확인하였다. 그러나 시험 결과 얻어지는 통과 전하량은 콘크리트의 염소이온 침투 저항성을 평가하는 참고 자료이다. 통과 전하량과 실제 콘크리트의 확산계수가 일부 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 그 상관 정도가 그다지 높지 않으며, 통과 전하량 측정의 오차가 상당히 크기 때문에 통과 전하량을 콘크리트의 품질평가나 적합성 판정에 적용할 수 없었다.

실제 콘크리트의 확산 평가를 위해서 염소이온 확산계수 시험 수행 후 시험시편을 할렬하여 할렬면에 0.1 N 질산은 용액과 페놀프탈레인 용액을 도포 후 색변화를 확인하였다. 할렬면의 중앙에서 하얗게 변한 부분의 평균깊이를 측정하였고 아래의 식을 사용하여 확산계수를 확인하였다.

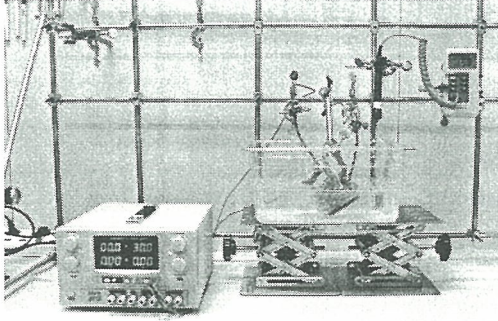


Fig. 1. Chloride ion diffusion experiment of polymer concrete by CTH law.

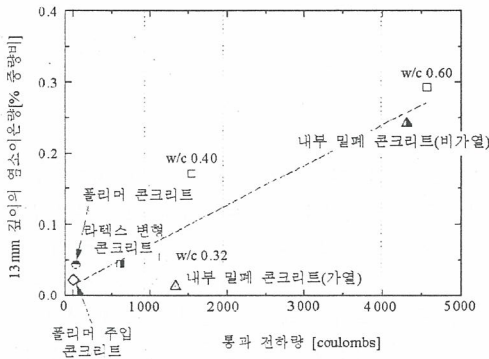


Fig. 2. Variation of coulombs and result of long term diffusion comparative experiment.

$$D = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - \alpha\sqrt{x_d}}{t} \quad (1)$$

$$\alpha = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \cdot \text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2C_d}{C_0}\right) \quad (2)$$

- D : 염화물 확산계수 (  $\times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$  )
- z : 이온의 원자가
- F : Faraday 상수 (  $= 9.648 \times 10^4 \text{ J}/(\text{V}\cdot\text{mol})$  )
- U : 양극과 음극 사이의 전압차 (V)
- R : 기체상수 (  $8.314 \text{ J}/\text{Kmol}$  )
- T : 용액의 온도 (K)
- L : 시편의 두께 (m)
- $x_d$  : 염소이온의 침투깊이 (m)
- t : 실험 지속시간(sec)
- erf : error fuction
- $C_d$  : 질산에 의해 변색된 부분의 염소이온 농도 (mole)
- $C_0$  : 음극셀의 염소이온 농도(mole)

### 2.3 결과

시멘트 콘크리트의 시험결과, 염소이온이 6.6 mm 침투하여 시편이 변색되었고 침투 깊이를 위의 확산 계수 식에 대입하여 확산계수를 확인하였다. 폴리머 시멘트의 경우, 1차 8시간 시험에도 색변화 등의 결과 확인이 불가하였다. 2 차 시험에서는 110 시간동안 시험을 수행하였다. 시편 할렬 후 1 차와 2 차의 시험 결과가 동일함을 확인하였다. 폴리머 콘크리트의 염소이온 침투 깊이 확인이 불가능하였다. 육안으로 식별이 가능한 0.1 mm를 침투 깊이로 가정하여 염소이온 확산 계수를 비교하였다.

### 3. 결론

시멘트 콘크리트의 염소이온 확산계수는  $9.18 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{sec}$  로 측정되었고 폴리머 콘크리트의 염소이온 확산계수는  $6.44 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{sec}$  로 이하로 예측되었다. 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 1000 배 이상 낮은 확산계수를 가지며 확산경향과 이온이동량이 1000 배 이상 낮음을 확인하였다. 시험결과 염소이온 침투 깊이로 확인한 시험결과는 1000 배 이상의 높은 이온 침투 저항성을 가지고 있음을 확인하였다. 일반적인 5 cm 두께의 시멘트 콘크리트에 염소이온 확산은 최소 10여년이상 소요된다. 같은 조건에서 확산계수를 고려하면 폴리머 콘크리트의 이온 확산이 시작되는 시간은 10,000년 이상 걸리는 것으로 예측되었다. 일반적인 상황에서 중·저준위 방사성폐기물 내의 이온침투에 의한 방사성 물질의 확산은 고려하지 않아도 될 정도로 처분용기 재질의 이온 확산저지 성능은 우수하였다.

### 4. 참고문헌

- [1] 윤만현, 부경대학교, 2005년 2월, 혼화재 혼입 장기재령 재생골재 콘크리트의 염소이온 침투저항성 변화 연구
- [2] 이성규, 서울대학교, 2003년 8월, 복합열화 환경하에서 콘크리트의 염소이온 확산특성
- [3] 한국표준협회, KS F2711, 2002년 5월, 전기 전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성
- [4] Cement and Concrete Research, Vol 25, No 5, pp 1133-1137, 1195