

공학적 규모의 완충재 THMC거동 실증실험: 음이온 이동

이재완, 조원진, 임진규, 권상기

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

iolee@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위폐기물처분장에서 공학적방벽은 처분용기, 완충재, 뒷채움재를 포함하는 핵심 구성요소로서, 구성시스템이 복잡하고, 열-수리-역학적-화학적 현상이 복합적으로 일어나기 때문에, 성능 예측 및 시스템의 설계가 어려운 부분이다. 한국원자력연구원에서는 KRS (Korea Reference disposal System) 공학적방벽시스템의 성능 실증기술 확보의 일환으로, 공학적 규모의 KENTEX-C 실증장치를 제작·설치하고, 열-수리-역학적 복합조건에서의 완충재를 통한 용질이동 실증실험을 수행 중에 있다. 이와 관련하여, 본 연구에서는 음이온인 요오드이온을 선정하여 벤토나이트에 의한 음이온의 흡착 및 확산특성을 규명하고, 또한 공학적규모의 KENTEX-C 실험을 통하여 열-수리-역학적 복합조건에서의 음이온의 이동특성을 실증하였다.

2. 본론

2.1 실험

본 실험에 사용된 벤토나이트는 경주시 양남면 벤토나이트광산에서 채취한 것을 사용하였다. 광물분석 결과, 이 벤토나이트는 몬토릴로나이트 (montmorillonite, 70%)와 장석(feldspars, 29%)을 주성분으로 하고, 소량의 석영(quartz, ~1%)을 포함하였다. 화학조성은 SiO₂ 56.8%, Al₂O₃ 20.0%, Fe₂O₃ 6.0% 및 기타 미량 성분으로 되어 있다. 양이온교환능은 57.6 meq/100g 이다.

흡착실험은 회분식 방법으로 수행되었으며, 확산실험은 내부확산(In-diffusion) 방법에 따라 수행되었다. 흡착실험과 확산실험의 결과는 각각 KENTEX-C 실증실험에서 요오드이온의 지연특성 이해와 THMC 모델링에서 요오드이온의 확산계수를 제공하는데 사용되었다.

KENTEX-C 실험장치는 KRS 공학적방벽시스템(그림 1)의 1/3 크기 실증장치로서, 기존의 KENTEX 장치에 음.양이온 용액 순환공급시스템을 추가 제작·설치하여 만들었다. 이 실험장치는 압력실린더, 가열시스템, 벤토나이트블록, 용액순환공급시스템, 센서/기기, 히터제어시스템/데이터수집시스템, 프레임구조물

등의 하드웨어와 실험장치를 모니터링 및 제어하고 또한 센서로부터 나오는 신호를 계속하고 수집·분석하는 운영프로그램으로 구성된다. 본 실증실험은 히터-벤토나이트 경계면에서의 온도를 90 °C까지 올리면서, 동시에 용액순환공급시스템으로부터는 일정 농도의 실험용액이 공급될 수 있도록 하였다. 10⁻² M CsI 실험용액은 용액순환공급시스템을 이용하여 벤토나이트블록 둘레면(hydration surface)으로 5기압으로 공급하였으며, 농도를 일정하게 유지하기 위해서 수시로 저장탱크 내 용액 농도를 체크하고 초기농도보다 부족하면 그 만큼의 시약을 더 넣어 농도를 일정하게 유지하였다. 본 실험이 진행되는 동안, 벤토나이트블록의 열-수리-역학적 실험조건은 PRODASH-EN 3.0 운영프로그램에 의해 모니터링 되고, 데이터는 일정한 시간간격으로 수집되었다. 그리고 벤토나이트블록을 통한 요오드이온의 이동 데이터는 core-drilling 방법으로 채취한 코어시료를 일정한격의 박편으로 절단한 뒤, 1 M의 염산용액으로 용출하고, 원심분리와 여과를 거쳐 나온 용액을 분석하여 얻었다.

2.2 실험 결과

벤토나이트에 의한 요오드이온의 흡착 평형분배계수(Kd)는 매우 낮은 값을 보였다. 벤토나이트에 의한 요오드이온의 흡착등온선은 Freundlich isotherm을 따랐으며 다음과 같은 식으로 표시되었다.

$$q = K_F C^{1/n}$$

이 때 K_F 는 0.537. n 는 1.607이었다. 요오드이온의 평형분배계수는 용액의 농도가 증가할수록 평형분배계수가 감소하였다.

확산실험결과, 압축벤토나이트의 확산계수는 주어진 건조밀도 범위에서 $1.4 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ - $3.0 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 사이의 값을 보였다. 이 확산계수는 건조밀도가 증가할수록 감소하였으며, 높은 건조밀도로 갈수록 그 변화가 적었다.

KENTEX-C 실증실험에서, 온도 및 압력센서는 운전기간 동안 정상적으로 작동되었으나, 습도센서는 H-D-R2-T1 만이 정상작동이 되었다. 습도센서의 고장으로 인한 부족한 실험데이터는 코어-드릴링 샘플링방법을 통해 더 확보되었다. 그 밖에, 히터 컨

트를, 용액순환펌프 제어, 용액저장 레벨 감지 및 THM 데이터 수집, 분석 등은 PRODASH-EN 3.0에 의해 성공적으로 수행되었다. KENTEX-C 실증실험 결과, 온도는 25 °C에서 90 °C로 올려 정상상태에 도달하는데 수일 밖에 걸리지 않았으며 (그림 2), 벤토나이트블록 내 수분함량분포와 전압력분포는 운전 이전과 마찬가지로 정상상태에 있음을 확인할 수 있었다. KENTEX-C의 열-수리-역학적 복합조건에서 요오드이온은 확산에 의해 꽤 빠르게 진행됨을 알 수 있었다 (그림 3). 이것은 요오드음이온이 주어진 열-수리-역학적 조건에서도 음전하를 갖는 벤토나이트 입자표면에 거의 흡착이 되지 않고 이동하기 때문으로 보인다. 또, 이 실험결과로 통해 벤토나이트 블록 내 요오드이온의 농도는 수개월 내에 포화상태에 도달될 것으로 예상된다.

3. 결론

본 연구에서는 공학적방벽시스템의 THMC 거동 실증의 일환으로, 벤토나이트에 의한 요오드이온의 흡착 및 확산특성을 규명하고, 공학적규모의 KENTEX-C 실험장치를 이용하여 열-수리-역학적 복합조건에서의 벤토나이트블록을 통한 요오드이온의 이동특성을 성공적으로 실증할 수 있었다.

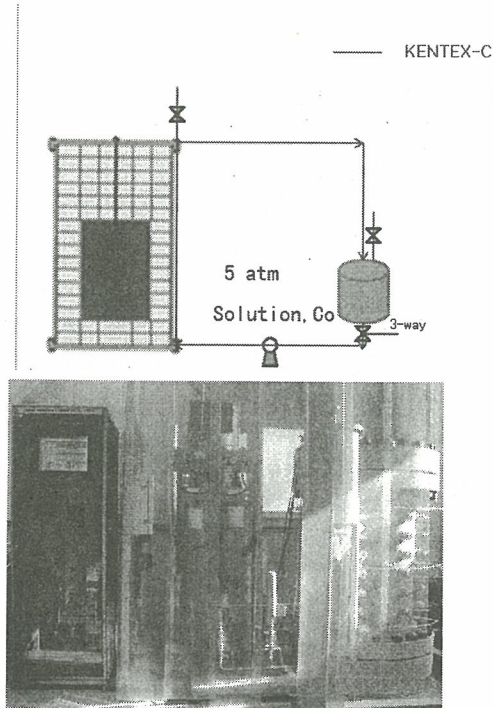


Fig. 1. KENTEX-C 실증실험장치

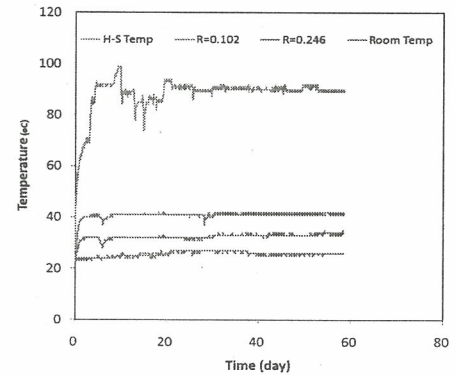
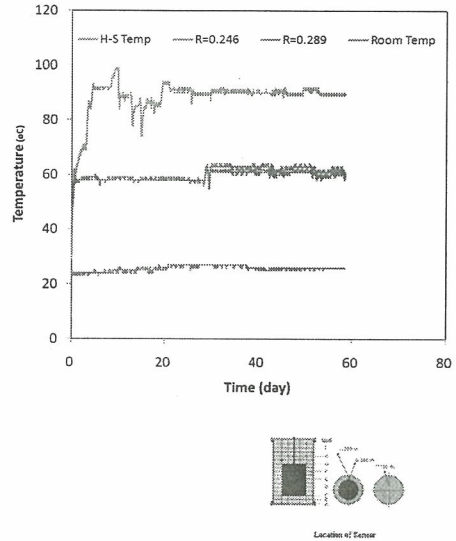


Fig. 2. 열-수리-역학적 복합조건: 온도분포

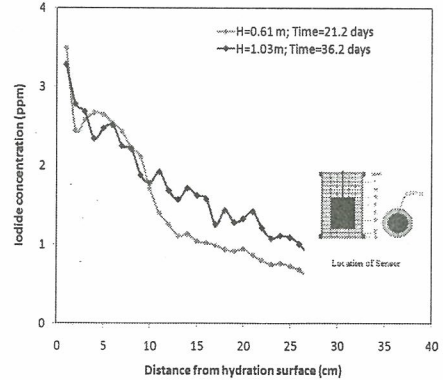


Fig. 3. 열-수리-역학적 복합조건에서의 요오드이온 이동특성