

## 지하연구시설(KURT)에서 비수착성 추적자를 이용한 현장 용질이동 실험

이태엽, 이재광, 박정균, 백민훈

한국원자력연구원 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

tylee@kaeri.re.kr

### 1. 서론

현재 우리나라는 방사성폐기물을 내부식성 용기에 담아 심부 암반층에 처분하여 생태계로부터 안전하게 격리시키는 것을 처분방법으로 고려하고 있다. 심부 지하환경에 방사성폐기물을 처분할 경우 장시간 동안 지하수와 반응하여 방사성 핵종이 지하 환경으로 유출될 수 있다. 유출된 핵종은 암반 단열의 지하수 흐름을 따라 다양한 물리적 또는 화학적 자연과정에 영향을 받으며 생태계로 이동하게 된다. 심부 지하환경에서 핵종의 이동 및 지현현상을 규명하기 위하여 다양한 실험실 규모의 연구가 수행되어져 왔으나, 지하환경과 동일한 조건에 대한 이동 및 지현현상에 대한 정보를 얻기가 어려웠다[1]. 따라서, 본 연구에서는 복운모 화강암으로 이루어진 KURT(KAERI underground research tunnel)에 존재하는 단열을 대상으로 용질 이동의 특성을 규명하고자 하였다. 이를 위하여 화학적으로 암반 단열면과 반응성이 적은 비수착성 용질을 사용하여 현장 실험을 수행하였으며 용질이동 모델을 개발 및 적용하였다.

### 2. 본론

#### 2.1. 실험 방법

현장 용질이동 실험은 KURT 시추공 중 단열의 연결성이 확인된 YH 3-1과 YH 3-2 시험공에서 수행되었다. 지하수위 구배에 따라 YH 3-1을 주입공으로 하고 YH 3-2를 회수공으로 설정하였다. 비수착성 용질인 eosin B와 fluorescein sodium을 추적자로 사용하였으며 일정한 시간 간격으로 회수한 지하수 시료 중 용질농도를 UV-vis 분광광도계로 측정하였다. 지속적으로 지하수의 특성변화를 측정하기 위하여 pH, 산화환원전위, 용존산소, 전기전도도, 온도 그리고, 지하수 수위 등을 실시간으로 모니터링 하였다. 지하매질에서 수리적 흐름장의 생성과 이류, 분산, 확산 등 이동 메커니즘을 반영하여 지하수 유동 및 오염물질 이동을

계산할 수 있도록 자체개발한 SIMIGF 프로그램을 이용하여 현장 실험 결과를 모사하였다.

#### 2.2. 현장 용질 이동 실험

Eosin B를 추적자로 주입하였을 때, 초기농도에 대한 유출농도비인  $C/C_0$ 의 최고값은 추적자 주입 후 약 1.7 시간 뒤에  $4.6 \times 10^{-4}$ 로 나타났으며, 총 회수율은 약 10%로 확인되었다(Fig. 1). Fluorescein sodium을 추적자로 이용한 용질 이동 실험은 초기농도에 대한 유출농도비인  $C/C_0$ 의 최고값은 추적자 주입 후 약 1.8 시간 뒤에  $4.8 \times 10^{-4}$ 로 나타났으며, 회수율은 약 11%로 확인되었다(Fig. 2). Eosin B와 fluorescein sodium 등의 비수착성 용질은 암반 단열면과의 반응이 거의 없기 때문에 2시간 이내에 거의 비슷한 농도로 빠르게 유출되었으며 이때의 총 회수율도 유사하게 나타난 것을 알 수 있다.

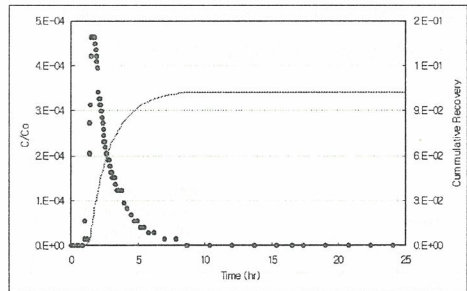


Fig. 1. Breakthrough and recovery curves of eosin B.

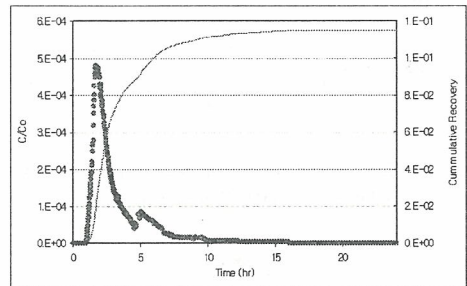


Fig. 2. Breakthrough and recovery curves of fluorescein sodium.

2.3. 용질 이동 모델

현장 용질이동 실험결과를 평가하기 위하여 SIMIGF 프로그램을 이용하여 KURT에서 비수착성 용질의 이동 실험결과를 모사하였다. Eosin B, fluorescein sodium 등의 비수착성 용질은 암반 단열면과 반응성이 매우 적기 때문에 이류작용만 있을 것이라 가정하였고, 이 때 유출곡선의 최고값은 약 1시간 정도 후에  $C/C_0=1.75 \times 10^{-3}$  정도로 나타났다. 3시간 이후에는 작지만 정점들이 나타나고 있다. 이는 핵종 이동이 단일 경로만으로 이동하지 않고 미세절리와 같은 다른 경로를 통해 천천히 이동하는 것으로 생각할 수 있다. 용질이 이동 중에 암반매질내로 매질확산이 이동할 경우를 가정하여 이동메커니즘에 확산계수를 각각  $D_c=3 \times 10^{-11} m^2/s$ ,  $D_c=3 \times 10^{-12} m^2/s$ 로 고려하여 계산하였을 때, 유출곡선의 최고값이 감소하였고, 분산효과도 커졌으며 다른 정점들은 나타나지 않았다(Fig. 3).

실험값으로부터 구한 비수착성 용질의 정점크기가 0.0017 이하 수준이고, 유출곡선의 꼬리가 길며 꼬리부분에 작은 정점들이 나타나는 경향을 보이는 것은 암반단열 흐름장에서 핵종들이 단일 경로를 따라 이동하지 않고, 일부는 먼 거리를 우회하여 천천히 유출 흐름영역에 진입하는 것으로 생각할 수 있다. 또한 일부 우회한 비수착성 용질이 유출흐름 영역에 들어오지 못하고 외부 흐름장 영역에 포섭된 가능성도 존재한다[2].

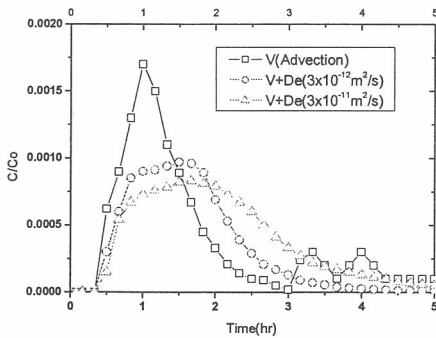


Fig. 3. Effect of diffusion on breakthrough curves simulated by SIMIGF program.

3. 결론

한국원자력연구원의 지하연구시설에서 비수착

성 용질을 추적자로 하여 암반단열을 통한 현장 용질이동 실험을 수행하였으며, 실험결과를 평가하기 위하여 용질이동 모델을 개발 및 적용하였다. 암반 단열과 반응성이 거의 없는 비수착성 용질인 eosin B와 fluorescein sodium은 용질주입 후 2시간 이내에 최고 농도 유출이 확인되었다. 현장 실험을 모사하기 위하여 자체개발한 SIMIGF 프로그램을 이용하여 실험결과를 모사한 결과 추적자들은 상당히 넓은 범위의 단열면에서 분산되어 이동하는 것으로 파악되며 일부는 먼 거리를 우회한 것으로 판단된다. 본 연구결과들은 향후 수착성 용질 및 콜로이드 이동 및 지연현상에 대한 현장실험의 기초자료로 활용될 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

5. 참고문헌

[1] C.K. Park, W.H.Cho, P.S. Hahn, Transport properties of sorbing contaminants in a fractured granite under oxidizing conditions, *Kor. J. of Chem. Eng.* 23, 741-746 (2006)  
 [2] J. Hadermann, The Grimsel migration experiment : integrating field experiments, laboratory investigations and modelling, *J. Cont. Hydrol.* 21, 87-100 (1996)