

지하처분연구시설을 이용한 현장 용질이동 실험 사례분석

이계광, 백민훈, 오종민

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

iklee1@kaeri.re.kr

1. 서 론

방사성폐기물을 심부 지하환경에 처분할 경우, 폐기물에 포함되어 있는 핵종들은 장시간에 걸친 주변 여건 변화에 의하여 자연환경으로 유출될 수 있다. 지하 환경으로 유출된 핵종들은 처분장의 인공방벽을 거쳐 심부 압반 균열의 지하수 흐름을 따라 이동한다. 이 때 핵종들은 이류/분산 및 확산 등을 포함하는 이동과정과 수착, 침전, 압반 확산 등의 화학적 또는 물리적 지연과정에 영향을 받으며 지하환경에서 복잡하게 거동한다. 그동안 국·내외에서는 핵종의 이동 및 지연현상을 규명하기 위하여 심부 지하환경을 모사한 실험실 규모의 다양한 연구가 수행되어져 왔으나, 장기적이고 실제 환경과 동일한 조건에 대한 종합적인 정보를 얻기 어려운 단점이 있었다. 이러한 이유로 선진국들은 지하 처분연구시설을 갖추고 현장 규모로 핵종의 이동 및 지연현상에 대한 연구를 수행해 오고 있다. 우리나라도 이러한 국제적 연구환경에 맞추어 2006년 한국원자력연구원 부지 내에 소규모의 지하처분연구시설(KURT, KAERI Underground Research Tunnel)을 건설하였으며, 현장 용질이동 실험을 수행하고 있다. 본 연구에서는 국내외 국가 및 기관들에서 수행하고 있는 지하처분연구시설을 이용한 핵종이동 시험에 대한 사례를 분석하였고, 향후 나아갈 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 외국의 지하처분 연구시설을 이용한 핵종이동 시험

세계적으로 여러 기관들에서 현장 용질이동 실험이 수행되어져 왔으며, 실험 규모는 작게는 수 미터 이내에서 길게는 수백 미터의 범위까지 다양한 목적을 가지고 연구가 수행되어져 왔다. 현재까지 수행하였거나 수행되어지고 있는 현장용질이동 실험에 대한 사례를 Table 1에 정리하여 나타내었다.

Table 1. 해외 실험시설의 현장 용질이동 시험

Site	Transport Scale	Aim	Activities
Finnsjön (Sweden)	150-200m	characterize the flow and transport properties of the zone and to localize potential	- geological, geophysical, geomechanical, geochemical and hydrological investigations
El Berrocal (Spain)	15-25m	pathways for groundwater flow and transport of solutes	- geological, structural, mineralogical, geochemical and hydrogeochemical studies
Kamaishi (Japan)	<10m	comprehensive study on fluid flow and mass transport properties of fractured granite	- characterisation of the geometry and geology of the fracture system - hydraulic characterisation of the fracture system - tracer tests
Stripa Mine (Sweden)	10-60m	testing ground for development of techniques and methodologies for site characterisation for a geological repository	- 3D tracer migration - SCV tracer migration
Whiteshell (Canada)	10-50m	mass transport through fractured crystalline rock	- characterization and development of a conceptual flow model - tracer exp. at 10-50m scale

전 세계적으로 다양한 현장 용질이동 관련 연구가 수행되어져 왔으나, 그 중에서도 현재 가장 활발하게 진행되고 있는 연구는 스웨덴의 Äspö HRL (Hard Rock Laboratory)와 스위스의 GTS(Grimsel Test Site)에서 수행하고 있는 용질이동 실험이다.

스웨덴은 SKB(Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.)에서 주관하여 TRUE (Tracer Retention Understand Experiments)라는 프로젝트의 용질이동 실험을 수행하고 있다. 실험환경은 500m 심도의 실험시설 내에서 서로 연결된 10~100m 범위의 추적자 이동경로를 설정하여 한 시추공에서 추적자를 주입하고, 여러 시추공에서 그 흐름을 관찰하는 방법으로 수행되고 있다. TRUE 실험은 2002년도에 1단계 연구가 종료되었고, 현재 2단계연구를 진행중이다. 핀란드의 Posiva, 프랑스의 Andra, 일본의 JNC, 스웨덴의 SKB 등이 참여하여 현장 용질이동 시험을 수행하고 있으며 주된 시험목적은 다음과 같다. [1]

- Fracture network에서 핵종의 이동/지연현상에 대한 이해 및 예측
- Fracture network에서 확산, 수착 등의 지연현상 평가
- 핵종 이동 및 지연에 관한 다양한 모델의 유용성 검증
- 핵종 이동 및 지연에 대한 현장 데이터 축적

최근 스위스 GTS에서 수행하고 있는 용질이동 시험은 Nagra(National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste) 주도하에 수행하고 있는 CFM(Colloid Formation and Migration) 프로젝트이며, 스위스의 Nagra와 한국의 한국원자력연구원을 포함하여 7개국이 참여하고 있다. CFM 프로젝트는 벤토 나이트를 주로 사용하는 공학적 방벽으로부터 콜로이드의 생성 및 생성된 콜로이드의 암반 균열에서 이동하는 핵종에 미치는 영향에 대한 연구를 주로 수행할 예정이며, 주 실험목적은 다음과 같다.[2]

- 현장조건의 공학적방벽에서 콜로이드 생성속도 및 생성 메카니즘 시험
- 공학적방벽으로부터 형성된 콜로이드의 암반 단열면을 통한 장거리 이동 현상 평가
- 공학적방벽-모암 경계조건에서 방사성핵종의 장기 거동 연구
- 콜로이드-핵종 반응에 대한 가역성 규명
- 처분장 주변에서 콜로이드-핵종 반응에 대한 장기 모니터링
- 처분장 안전성 평가 신뢰도 향상 및 공학적방벽 설계 최적화 등

3. 결론

우리나라도 방사성폐기물 처분에 대한 현장 실증을 위하여 KURT에서 비방사성물질을 이용한 현장 용질이동 실험을 수행 중이다. 그러나, 현장 실험에 방사성 핵종을 사용할 수 없는 제약점 및 현장 실험 경험 및 기술부족 등은 방사성폐기물 처분 관련 연구측면에서 반드시 풀어야 할 사안이다. 이를 극복하기 위하여 2008년 부터 해외 지하연구시설에서의 국제공동연구에 적극적으로 참여하여 국제협력을 통한 국내 연구기반을 구축해 나가고 있다. 국제협력을 통하여 해외 기술 정보 등을 습득하고 해외 지하시험시설 및 국내 시험시설의 실험자료 및 관련 모델을 비교하고 검증해 나갈 예정이다. 아울러 현장 용질이동 실험 등의 방사성폐기물 처분에 대한 현장 실증실험은 방사성폐기물 처분 안전성 평가에 대한 신뢰도를 향상시키는 데 기여할 것으로 기대한다.

사사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] P. Andersson et al., Technical Report, TR-02-14, SKB, Stockholm, Sweden (2002)
- [2] A. Móri et al., Technical Report 03-01, Nagra, Wettingen, Switzerland (2004)