

국내의 지하연구시설을 이용한 용질 및 콜로이드 이동 실험

이재광, 이태엽, 오종민, 백민훈

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

iklee1@kaeri.re.kr

1. 서 론

현재까지 우리나라는 고준위 방사성폐기물을 심부 암반층에 처분하는 것을 주된 처분개념으로 고려하고 있다. 심부 지하암반층에 방사성폐기물을 처분할 경우 수천년 또는 수만년 이상의 오랜 시간이 경과하면, 폐기물에 포함되어 있는 핵종이 지하환경으로 유출될 것이다. 심부 지하환경에서 유출된 핵종은 암반 단열의 지하수 흐름을 따라 이동하면서 이류, 분산, 확산 등의 이동과정과 수착, 침전, 암반확산 등의 지연과정 및 콜로이드 형성 등의 다양한 기작에 영향을 받으며 복잡하게 거동한다.[1] 따라서, 암반 단열에서 핵종의 이동 및 지연 현상에 대한 이해는 고준위 방사성폐기물 처분의 장기 안전성 확보 측면에서 중요하게 다루어져야 할 과제이다.[3]

그동안 국내에서 핵종이동 및 지연현상을 규명하기 위하여 실험실 규모의 다양한 연구가 수행되어져 왔다. 그러나, 현장규모의 실제 환경과 동일한 조건에 대한 정보를 얻기 어려웠다.[2] 우리나라는 현장규모의 실험을 위하여 지난 2006년도에 한국원자력연구원 부지 내 지하연구시설 (KURT, KAERI Underground Research Tunnel)을 건설하여, 현재 다양한 방사성폐기물 처분 관련 현장연구가 진행 중이다. 국내에서는 방사성물질을 사용할 수 없는 제약점이 있으며, 이를 극복하기 위하여 해외 지하연구시설을 활용한 연구를 수행 중이다. 본 연구에서는 국내의 지하연구시설에서 용질 및 콜로이드 이동 실험의 추진 현황을 소개하고자 한다.

2. 국내 지하연구시설을 이용한 연구추진 현황

시험용 시험공 확보 및 지층현황 파악을 위하여 유압형 회전수세식 시추기를 이용하여 직경 76mm의 시험공을 시추하였다. 우측연구모듈에 2개의 시험공을, 그리고, 막장부에 3개의 시험공을 시추하였으며 시추과정에서 수압시험을 병행하여 지하수 유동 가능성을 평가하였으며 깊이에 따른 단열면의 압력변화 및 유량측정을 수행하였다. 수압시험은 이중패커 수압시험 장비를 이용하였다. 시험공 시추는 1차 시추에 2개(YH1, YH2)의 시험공을 그리고, 2차에 3개(YH3, YH3-1, YH3-2)의 시험공을 시추하였다. 1차 시추과정에서 병행한 수압시험 결과 암반단열 유동 지하수가 관찰되지 않았으나, 2차 시추에서 지하수 유동 가능성을 확인하였다. 시험공 시추과정에서 수행한 수리시험결과를 토대로 지하수 유동이 확인된 시험공 즉, YH3, YH3-1, 그리고, YH3-2 시험공을 대상으로 BIPS(Borehole Image Processing System(BIPS)을 이용하여 기반암 및 단열 특성을 파악하였다. YH3-1과 YH3-2는 YH3에 비하여 단열이 비교적 잘 발달되었으며, 특히, YH3-1 시험공의 깊이 7~9.5 m 구간과 YH3-2 시험공의 깊이 8.5~10.5 m 구간에서 간극 2~4 mm의 잘 발달된 파쇄 단열이 확인되었다. BIPS 결과 분석을 통하여 YH3-1과 YH3-2의 단열면이 상호 연관성이 있음을 확인하였고 이 두 시험공을 대상으로 현장용질이동 실험을 위하여 대상 단열과 시험구간을 선정하기 위하여 이중패커 시스템을 이용한 순간 수위변화시험을 수행하였다. 순간수위 변화시험 결과 YH3-1 시험공의 깊이 9.32 m의 단열과 YH3-2 시험공의 깊이 9.86, 10.08 m의 단열이 상호 연결된 것으로 확인되었다. YH3-1과 YH3-2 시험공 단열면에 대한 수리시험 결과를 Fig. 1에 나타내었고, 수리특성을 Table 1에 요약하여 나타내었다.

3. 해외 지하연구시설을 이용한 연구추진 현황

2008년부터 한국원자력연구원은 현장 실험기술 및 관련자료 습득을 위하여 스위스의 화장암반 지하연구시설인 Grimsel Test Site(GTS)의 Colloid Formation and Migration(CFM) 프로젝트에 참여 중이다. KURT에서의 용질이동 실험이 암반단열에서 핵종의 이동현상에 대한 규명을 주목적으로 하고 있는 반면, CFM은 현장에서 콜로이드의 형성 및 핵종이동에 대한 영향 등을 규명하는 것을 주요 목적으로 하고 있다. CFM I 단계 프로젝트는 2004년부터 2007년까지 수행되었으며, 주로 현장실험 대상 부지 선정, 이동 모델링 및 관련 실험실 규모 실험, 그리고, 해당 부지 특성 조사 등으로 이루어졌다. 한편, 2008년부터 시작된 CFM II 단계는 이동모델의 검증, 추적자 주입 및 모니터링, 그리고, 콜로이드 이동 실험 중

료 후, 현장 시료 채취와 이를 분석하기 위한 실험실 규모의 실험으로 구성되어 있으며, 현재 추적자 주입을 위한 터널패커 설치를 비롯하여 핵종주입 및 회수 장비 설치 등의 사전 준비작업을 수행중이다. CFM 프로젝트의 일환으로 한국원자력연구원은 벤토나이트 콜로이드의 발생과 이동, 핵종 수확 특성에 대한 실험실 규모의 자체 실험을 수행중에 있다.

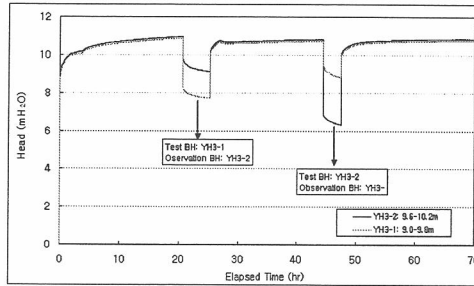


Fig. 1. Results of hydraulic test for YH3-1 and YH3-2

Table 1. Hydraulic Properties of YH3-1 and YH3-2

Borehole	Test Section (m)	Depth (m)	Transmissivity (m ² /sec)	Hydraulic Conductivity (m/sec)
YH3-1	9.0~9.6	9.32	1.46×10^{-5}	1.17×10^{-5}
YH3-2	9.6~10.2	9.86, 10.08	4.9×10^{-6}	2.7×10^{-6}

4. 결론

KURT에서 수행예정인 방사성폐기물 처분안전성에 대한 현장 규모의 실험인 현장 용질이동 실험을 위하여 시험공을 시추하였으며, 시추공의 수리특성 및 단열 특성 평가 등을 수행하였다. 총 5개의 시험공을 시추하였고, 시추과정에 지하수 유동을 확인하기 위하여 수압시험을 병행하였다. 한편 지하수 유동이 확인된 시험공에 대하여 BIPS 분석을 수행하여 단열 특성을 확인하였다. 또한, 용질이동 실험 대상 단열면을 선정하고 대상 단열의 기초 수리 특성자료를 구축하기 위하여 수리시험을 수행하였다. 또한 해외지하시험시설인 GTS에서 CFM 국제공동연구에 참여하여 현장 실험기술 및 관련 자료를 습득하였으며, 국내에서 사용할 수 없는 방사성물질을 이용한 현장규모의 이동 실험에 참여하고 있다.

본 연구를 통하여 방사성폐기물 처분 안전성에 필요한 용질의 이동 및 지연 특성과 이에 관련한 정량적 분석자료를 확보할 수 있을 것으로 기대되며, 국제공동연구의 결과와의 비교를 통한 용질 및 콜로이드의 이동과 지연현상에 대한 메커니즘을 규명할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 중장기 연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] R.A. Freeze, J.A. Cherry, "Groundwater", Prentice-Hall, Inc., (1979)
- [2] 조원진 외, "처분시스템거동실증연구", KAERI/RR-2781/2006한국원자력연구원 (2007)
- [3] A. Móri et al., "The CRR final project report series I", NTB 03-01, Nagra, Switzerland (2004)