

고준위폐기물처분장 공학적방벽 성능 현장실험

조원진, 김진섭, 이창수, 최희주

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

wicho@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위폐기물 심지층처분장은 지하 500 m - 1000 m 깊이에 위치한 안정된 지층 내에 건설된 터널 형태의 구조물이다. 심지층처분장에서는 처분동굴 바닥에 수직으로 또는 동굴 벽에 수평으로 원통형 처분공을 굴착하고, 처분공 내에 고준위폐기물을 밀봉한 처분용기를 정치시킨다.

처분공 및 처분동굴 주변의 암반을 근계암반(near-field rock)이라고 하며, 이 근계암반은 처분된 고준위폐기물로부터 발생하는 붕괴열을 처분장 주위의 암반으로 발산시켜 처분장 내부의 온도 상승을 방지하는 기능을 한다. 고준위폐기물 심지층처분장의 설계 시에 고려되는 주요 요구사항 중의 하나가 처분장 내에서의 첨두온도(peak temperature) 제한이다. 만일 근계암반이 효율적으로 붕괴열을 외부로 발산시키면 처분장 내의 온도가 낮아져, 동일 처분장에 처분할 수 있는 고준위폐기물의 양이 증가하여, 고준위폐기물 처분장 건설에 소요되는 부지의 면적을 감소시키며, 처분 경제성을 향상시킬 수 있다. 따라서 근계암반의 열전달 특성을 규명하는 것은 처분장의 설계 최적화에 매우 중요하다. 또한 처분장 건설 중의 발파 충격 또는 응력 재분포 현상으로 인해 처분동굴 주변의 암반에는 미세 균열을 가진 손상대가 형성된다. 이 손상대는 처분동굴의 구조적 안정성을 저하시킬 수 있을 뿐만 아니라, 지하수의 이동을 촉진시켜 처분된 폐기물로부터 방사성핵종이 생태계로 유출되는 이동 경로가 될 수도 있다.

그러므로 심지층처분장이 위치한 심부지질 환경과 유사한 환경에서 근계영역 암반의 열적특성 및 손상대 특성을 실증하는 것은 처분장 설계의 신뢰성을 제고하고, 처분장의 장기성능을 보장하는 측면에서 매우 중요하다. 이 논문에서는 국내 유일한 고준위폐기물처분연구용 지하연구시설인 지하처분연구시설(KURT)에서 2007년에서 2012년까지 수행된 공학적방벽성능 현장실험 결과를 요약하였다.

2. 지하처분연구시설

지하처분연구시설(KURT)은 2006년 11월에 준공된 국내 유일의 고준위폐기물 처분연구를 위한 지하연구시설로서 한국원자력연구원 내에 위치하고 있다. 이 시설은 T 자형의 지하터널 구조물로서 진입터널은 하향경사 10%, 길이 180 m이며, 진입터널의 막장 부근에 좌우로 연구모듈이 배치되어 있다. 연구모듈은 우측 모듈의 길이가 45m, 좌측모듈의 길이가 30m로 총 75 m이다. 진입터널과 연구모듈은 모두 폭과 높이가 각각 6m인 말굽형 단면을 가지고 있다. 지하처분연구시설은 결정질 화강암반에 위치하고 있으며 연구모듈은 암반이 노출되어 있어, 각종 현장실험을 수행할 수 있다. 공학적방벽 성능 현장실험은 주로 우측 연구모듈에서 수행되었으며, 일부는 진입터널 구간에서도 수행되었다.

3. 현장실험

3.1 시추공 히터시험

처분공 주위 암반의 열적특성을 규명하기 위한 시추공 히터시험을 우측 연구모듈 막장부분에서 수행하였다(그림 1). 시추공 히터시험에서는 터널 벽에 직경 11 cm의 히터공을 굴착하고, 열출력 5 kW, 길이 2 m인 원통형 히터를 설치하였다. 히터의 온도는 2008년 6월에 90 °C에 도달하였다. 그 후 계속 90 °C를 유지하다가, 비정상 상태에서의 암반의 열적거동을 조사하기 위해 2010년 9월에 120°C로 상승시켰으며, 냉각단계의 거동을 조사하기 위해 2011년 8월에 전원을 차단하고 하였다 [1]. 히터시험에서 얻어진 측정결과는 FLAC 전산코드를 이용하여 해석되었다.

3.2 손상대 특성 시험

손상대의 크기와 특성규명을 위한 현장실험이 우측 연구모듈과 진입터널의 회차구간에서 수행되었다(그림 2). 실험과 이론적 관계식으로부터 추정된 손상대의 깊이는 0.6 - 2.3 m이었다 [2].

암체에서의 균열의 생성 및 전파 감시를 위한 음향방출 (Acoustic emission) 시험이 수행되었으며, 현장충격실험으로부터 시간-투수계수 관계 및 감쇄계수 데이터를 측정하였다 (그림 2).

손상대에서 미세 균열의 존재에 따른 투수계수 변화를 규명하기 8개의 시추공이 굴착되었으며, 터널 벽으로부터 거리에 따른 투수계수의 변화를 조사하였다. 그 결과 일반적으로, 터널 벽으로부터 암반 내로의 깊이가 증가할수록 투수계수는 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결론

한국원자력연구원에 위치한 국내 유일의 고준위폐기물처분연구를 위한 지하연구시설인 지하처분연구시설 (KURT)에서 공학적방벽 성능 실증을 위한 현장실증실험이 수행되었다. 시추공 히터시험에서는 터널 벽으로부터의 거리가 증가함에 따라 암반의 온도가 상승하였으며, 손상대의 크기는 0.6 m에서 1.8 m 사이의 범위에 있었다. 음향방출법에 의한 음향 발생원 위치 추정 최대 오차는 0.6 - 1.0 m 이었으며, 손상대에서의 투수계수는 무결합에서의 값에 비해 두 승수까지 높게 나타났다.

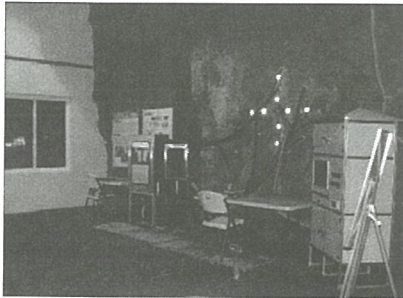
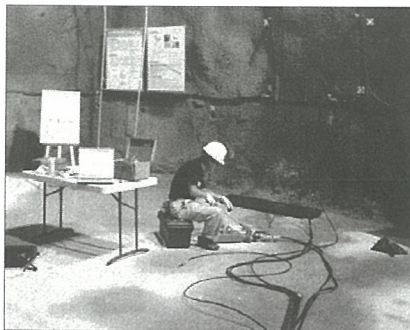
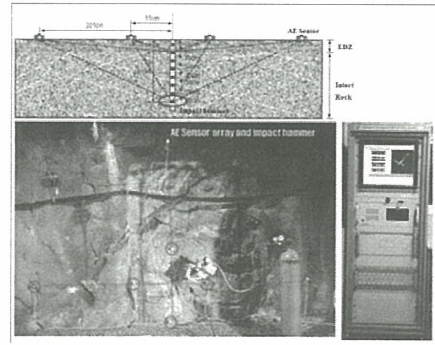


Fig. 1. 시추공히터시험 전경.



(a)



(b)

Fig. 2. (a) Goodman Jack 시험 및 (b) 음향방출 시험.

5. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원 받았습니다.

6. 참고문헌

- [1] Choi, J.W., Cho, W.J., Kwon, S., Lee, J.O., Park, J.H., Kang, C.H., Kim, J.S., Choi, Y.C., Ji, S.H., Chung, J.T., Lee, C.S., "Validation of the Performance of Engineered Barriers," KAERI/RR-3419/2011, Korea Atomic Energy Research Institute, 2012.
- [2] Kwon, S., Lee, C.S., Cho, S.J., Jeon, S.W., Cho, W.J., Kim, J., "An investigation of excavation damaged zone at the KAERI underground research tunnel," Tunnelling and Underground Space Technology, 24, 1-13 (2009).