

암석의 물성변화를 이용한 KAERI Underground Research Tunnel의 굴착손상영역 평가

이창수, 전석원 (서울대학교)
권상기 (인하대학교)
최종원 (한국원자력연구원)

1. 서론

일반적으로 굴착손상영역(Excavation Damaged Zone, EDZ)은 굴착으로 인해 터널 주변암반이 원래의 암반과 다른 열, 수리, 역학적인 특성을 나타내는 영역을 의미한다(Sato et al., 2000). 이러한 굴착손상영역은 지하 약 500 m에 건설되는 고준위 방사성 폐기물 처분장과 같은 구조물에서의 구조적인 안정성에 크게 영향을 미치게 된다. Tsang et al(2005)은 손상영역의 발생으로 암반의 투수계수가 수 백 ~ 수 천배 증가하는 것으로 보고 하였으며, 이러한 투수계수의 변화는 고준위 방사성 폐기물 처분장 주변의 지하수 유동에 영향을 미치게 되어 인공방벽(Engineered barrier system) 및 자연방벽(natural barrier system)에 잠재적인 위험요소를 가질 수 있다.

이러한 이유로 미국, 일본, 스웨덴, 캐나다, 프랑스, 스위스와 같은 여러 선진 국가에서 지하처분 연구시설을 건설하고, 현장 및 실험실 시험을 통해 굴착손상영역에 대한 수많은 연구를 수행하였다. 하지만 수행된 기존의 연구들에서는 실험실 시험 및 현장시험을 통해 굴착손상영역이 암석 및 암반의 수리, 역학적인 물성에 미치는 영향에 대해 주로 연구를 하였다. 이에 본 연구에서는 KAERI Underground Research Tunnel (KURT)의 건설과정에서 발생된 굴착손상영역(EDZ)을 암석의 공극률 변화와 열전도도의 변화로 평가하고자 하였다.

2. 굴착손상영역 연구대상 지역

굴착손상영역에 관한 연구는 터널입구로부터 약 60 m 떨어진 회차구간에서 수행되었다. 연구대상 지역 암석의 역학적인 특성을 알아보기 위하여 연구대상지역에서 회수한 암석 코어 중, 17개의 암석시편에 대해 국제암반공학회 표준시험규정(Testing Standards of ISRM, International Society for Rock Mechanics)에 따라 일축압축시험과 탄성파속도 측정을 수행하였으며, 그 결과를 표 2.1에 정리하였다.

표 2.1 암석의 역학적 특성

암석물성	평균값	암석물성	평균값
탄성계수 (GPa)	59.68	P파 속도 (m/s)	4771
일축압축강도 (MPa)	109.28	S파 속도 (m/s)	2489
포아송 비 (-)	0.20	비중 (-)	2.65

3. 굴착으로 인한 암석의 공극률 변화

그림 3.1은 암석의 공극률을 Kwon et al (2009)의 결과와 함께 벽면거리에 따라 도시한 것이다. 굴착 전의 평균 공극률은 0.99%(0.65 ~ 1.41%)로 나타난 반면, 굴착 후의 평균 공극률은 2.59%(1.05 ~ 5.85%)로 나타났다. 굴착 전과 굴착 후의 암석의 공극률을 살펴본 결과, 평균값을 기준으로 공극률이 약 160% 정도 증가한 것을 알 수 있었다. 또한 그 영향을 받은 범위는 그림 3.1에서 알 수 있듯이, 벽면거리가 약 2.4 m 지점까지인 것으로 판단된다.

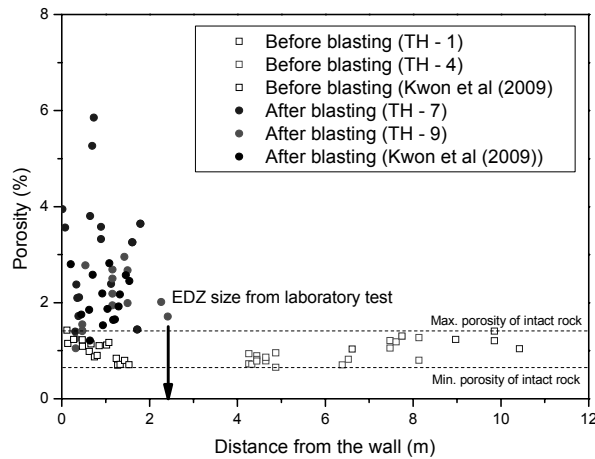


그림 3.1 벽면거리에 따른 암석의 공극률 변화

4. 굴착으로 인한 암석의 열전도도 변화

4.1 암석의 열전도도 시험

본 연구에서는 한국지질자원연구원에서 고안하여 만든 Divided-bar 시험장비를 이용하여 암석의 열전도도를 측정하였다. 시험장치의 맨 위와 아래면의 온도를 각각 40도와 20도로 설정하였으며, 실내 온도는 25도를 유지하며 열전도도 시험을 수행하였다(그림 4.1). 본 연구에서는 암석 sample과 시험 장비간의 접촉에서 발생하는 접촉저항을 고려하여 Beardsmore와 Cull (2001)에 제시된 식 (1)을 이용하여 암석의 열전도도를 구하였다.

$$\lambda_{s(\text{corrected})} = \frac{\Delta x_s}{(\Delta T_1 + \Delta T_2)} \times \frac{1}{C} - R \quad (1)$$

Δx_s : 시편의 높이, λ_s : 시편의 열전도도

ΔT_s , $T_B - T_C$, ΔT_1 : $T_A - T_B$, ΔT_2 : $T_C - T_D$

T_A , T_B , T_C , T_D : 온도측정지점 A, B, C, D에서의 온도

식 (1)은 1차함수로서, 다양한 길이의 표준시편에 대한 열전도도 시험으로부터 상수 C^{-1} 와 R 을

구할 수 있다. 본 연구에서는 5개의 서로 다른 폴리카보네이트를 이용하여 C^{-1} 와 R 을 각각 8.9451과 0.5975로 구하였다.

4.2 열전도도시험 결과

그림 4.2는 터널 벽면거리에 따른 굴착 전, 후의 열전도도 변화를 나타낸 것이다. 굴착 전의 열전도도 평균값은 3.03 W/mK(2.73 ~ 3.32 W/mK)로 나타난 반면, 굴착 후의 열전도도 평균값은 2.43 W/mK(1.73 ~ 2.99 W/mK)로 나타났다. 굴착 전, 후의 열전도도를 살펴본 결과, 평균값을 기준으로 열전도도가 약 20 % 정도 감소한 것을 알 수 있었다.

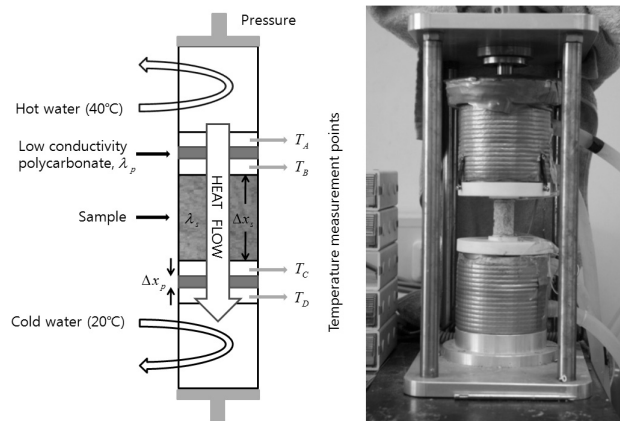


그림 4.1 Divided-bar 시험장비

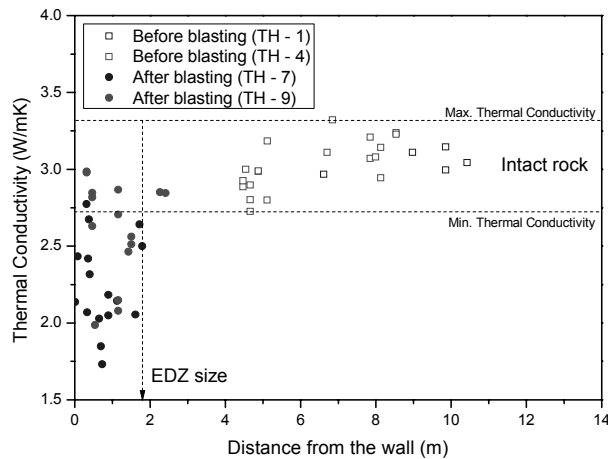


그림 4.2 벽면거리에 따른 암석의 열전도도 변화

일반적으로 암석의 열전도도는 암석의 공극률이 증가할수록 감소하는 것으로 보고된다. 이는 상온에서의 0.03 W/mK인 공기의 열전도도에 비해, 화강암의 주요 광물의 열전도도는 상온에서 약 1.6 W/mK ~ 7.7 W/mK 로 훨씬 더 크기 때문에 공극률의 증가는 암석의 열전도도의 감소로 나타나게 된다(Horai, 1971). 그림 4.3은 암석의 공극률과 열전도도의 상관관계를 Cho et al (2009)

의 결과와 함께 도시한 것이다. 그림 4.3에 잘 나타나 있듯이, 그러한 경향은 본 연구에서도 확연히 드러났다.

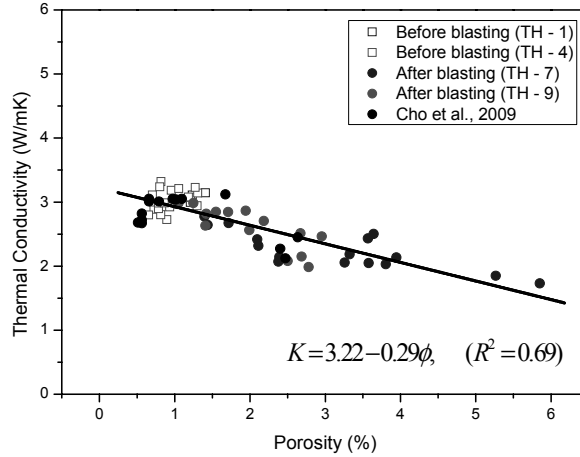


그림 4.3 암석의 공극률과 열전도도와의 상관관계

5. 결론

KURT의 굴착손상영역(EDZ)을 공극률과 열전도도의 변화로 평가하고자 하였다. 공극률의 경우 굴착손상영역에서 무결암에 비해 약 160% 정도 증가하는 것으로 나타났고, 그 범위는 약 2.4 m 정도로 조사되었다. 또한 암석의 열전도도의 경우, 무결암에 비해 약 20% 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 그 범위는 대략 1.8 m 인 것으로 판단되었다. 굴착손상영역에서의 열전도도 감소는 발파 충격과 응력의 재분배로 인한 미세균열의 발생과 기존 균열의 확장으로 증가된 공극률로부터 야기된 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Beardsmore, G.R., Cull, J.P., 2001, Crustal Heat Flow. Cambridge University Press.
2. Cho, W.J., Kwon, S., Choi, J.W., 2009. The thermal conductivity for granite with various water contents. Eng. Geol. 107, 167-171.
3. Horai, K., 1971, Thermal conductivity of rock-forming minerals. J. Geophys. Res., Vol. 76, p. 1278-1308.
4. Kwon, S., Lee, C.S., Cho, S.J., Jeon, S.W., Cho, W.J., 2009. An investigation of the excavation damaged zone at the KAERI underground research tunnel. Tunnelling and Underground Space Technology. 24, 1-13.
5. Sato, T., Kikuchi, T., Sugihara, K., 2000, In-situ experiments on an excavation disturbed zone

induced by mechanical excavation in Neogene sedimentary rock at Tono mine, Central Japan. *Eng. Geol.*, Vol. 56, p. 97-108.

6. Tsang, C.-F., Bernier, F., Davies, C., 2005, Geohydromechanical processes in the excavation damaged zone in crystalline rock, rock salt, and indurated and plastic clays-in the context of radioactive waste disposal. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, Vol. 42, No. 1, p. 109-125.