

지하처분연구시설 부지 화강암의 열전도도 추정 모델

조원진, 권상기, 이재완

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

wicho@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위폐기물 처분장은 지하 수백 미터 깊이에 있는 심부 지층에 건설된 여러 개의 처분동굴들과 이를 연결하는 터널로 구성된다. 현재 제안되고 있는 고준위폐기물 처분장의 설계개념에 따르면, 처분동굴 바닥에 수직으로 처분공을 굴착하고, 그 속에 방사성폐기물을 밀봉한 처분용기를 넣은 후 처분용기와 처분공의 암반 벽 사이의 공간은 완충재(buffer material)로 충전시킨다. 처분동굴 내의 처분공들이 모두 폐기물로 채워지면, 처분동굴과 연결터널들은 뒷채움재(backfill material)로 채운 후 폐쇄한다. 고준위폐기물 처분장이 폐쇄된 후, 완충재 및 근계영역(near-field) 완충재의 팽윤과 이로 인한 응력변화가 동시에 일어난다. 이 열-수리-역학적 복합거동(coupled thermal, hydraulic and mechanical behavior)은 고준위폐기물처분장의 설계 및 장기 성능평가에 중요한 영향을 미치므로 이를 규명하기 위한 많은 연구가 수행되고 있다. 근계영역 암반의 열전도도는 열-수리-역학적 복합거동을 좌우하는 중요 인자로서, 고준위폐기물처분장의 설계 및 장기 성능 평가를 위해 암석의 열전도도에 대한 지식이 요구된다. 이 연구에서는 한국원자력연구원의 지하처분연구시설(KAERI Underground Research Tunnel, KURT)의 부지에서 채취된 화강암의 열전도도를 측정하고, 화강암의 열전도도에 미치는 중요인자들의 상관관계를 분석할 수 있는 열전도도 추정모델을 제시하고자 하였다.

지하처분연구시설 부지의 암종은 우리나라에서 고준위폐기물처분장 대상 암종으로 고려되고 있는 화강암이다. 모암은 복운모 화강암으로서 국지적으로 흑운모가 우세한 흑운모 화강암의 양상을 보이며, 시설의 일부 구간에서는 편리가 발달한 편상 흑운모 화강암의 양상을 보이기도 한다. 시추 코어에서 관찰되는 일부 구간에서는 세립의 황철석의 산출과 함께 열수변질양상이 관찰되며 일부 단열대에서는 산화철 광물이 세맥상으로 산출된다. [김건영 등, 2007]. 화강암의 열전도도 측정을 위한 시료는 경사시추공에서 얻은 암석 코어로부터 채취하였다. 경사 시추공을 따른 암반의 분류는 RMR이 41보다 큰 영역은 전체 범위의 85%이었으며, RMR이 81보다 큰 영역은 전체 범위의 약 24%였다 (Kwon et al., 2006).

2. 실험 및 결과

경사 시추공으로부터 얻은 여러 지표면으로부터의 심도의 화강암 암석 코어 14개로부터 각 1개의 시료를 채취하여, 총 14개의 시료에 대해 유효공극률(effective porosity)과 밀도를 ASTM C 97-02 방법으로 측정하였다. 열전도도를 측정하기 위해, 경사 시추에서 얻은 원통형 암석 코어 시료를 150×40×20 mm 크기의 직육면체형 시편으로 가공하였다. 화강암의 열전도도는 건조 조건과 포화 조건에서 측정하였다. 건조조건에서 측정하기 위해 화강암 블록을 대류오븐 내에서 110°C로 48 시간 동안 건조시킨 다음, 테시케이터에서 측정온도까지 냉각시켜 사용하였다. 포화 조건에서의 열전도도 측정을 위해 화강암 블록을 증류수에 48시간 담근 후, 꺼내어 표면을 종이 타월로 닦아 물기를 제거한 직후 측정하였다. 부분 포화 조건에서의 열전도도 측정은 포화된 시편을 대기 중에서 건조시키면서 수분함량 변화에 따른 열전도도를 측정하였다. 모든 측정은 25 °C에서 행하여졌다. 화강암의 열전도도 측정에는 순간열전도 측정계(Kyoto Electronics, QTM-500)가 사용되었다.

시편의 공극률과 포화도(degree of saturation)의 함수로서 화강암의 열전도도를 그림 1에 나타내었다. 여기서 포화도는 포화 수분함량(wate content)와 측정조건에서의 수분함량 사이의 비로 정의된다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 포화도가 일정할 때 화강암의 열전도도는 건조시료인 경우를 제외하고는 공극률이 감소함에 따라 증가한다. 화강암의 공극률이 감소함에 따라 암체 내의 빈 공간이 줄어들다. 암석을 구성하는 주요 광물의 열전도도는 실온에서 1 W/mK에서 7 W/mK 사이의 값을 나타내며 (Horai,

1971), 이 값들은 물과 공기의 열전도도인 0.6 W/mK와 0.03 W/mK에 비해 훨씬 크다. 따라서 화강암의 공극률이 감소하면, 열전도도가 증가하게 되는 것이다. 습윤 화강암의 열전도도는 예상과 같이, 건조 화강암의 열전도도보다 크다. 이것은 암석의 공극 내에 존재하는 물과 공기의 열전도도의 차이가 상당히 큰 데서 기인하는 것으로 추정된다. 암석의 공극률과 포화도와 같은 단순 특성을 이용하여 화강암의 열전도도를 정량적으로 예측할 수 있는 실험적 모델이 제시되었다. 모델에 의해 예측된 화강암의 열전도도 값과 실험에 의한 값의 비교를 그림 2에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 열전도도의 측정치와 예측치는 몇몇 데이터를 제외하고는 10% 이내의 오차범위에서 잘 일치하고 있다.

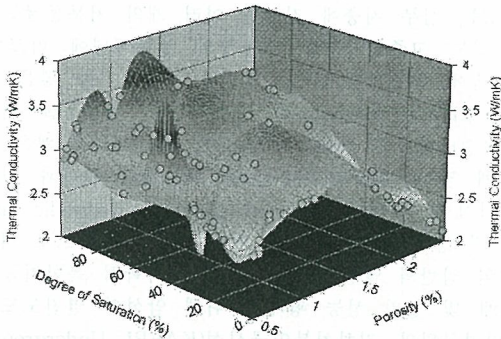


그림 1. 공극률과 포화도의 변화에 따른 화강암의 열전도도 변화

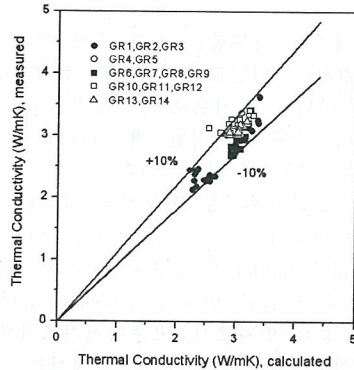


그림 2. 화강암 열전도도의 측정치와 예측치의 비교

3. 결론

일정 포화도 조건에서, 화강암의 열전도도는 공극률의 감소에 따라 증가하였으며, 공극률이 일정한 경우에는 수분함량의 증가에 따라 증가하였다. 화강암의 열전도도를 추정할 수 있는 간단한 실험적 상관관계식이 제안되었으며, 이 상관관계식은 10% 오차 범위에서 화강암의 열전도도를 예측할 수 있다.

참고문헌

- 김건영, 고용권, 최종원, 최병열, 신선호, 2007. 한국원자력연구원 지하처분연구시설의 암석, 광물, 지하수, 지화학 특성. 2007 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회 논문요약집, 196-197.
- Horai, K., 1971. Thermal conductivity of rock-forming minerals, J. Geophys. Research, 76, 1278-1308.
- Kwon, S., Cho, W.J. and Hahn, P.S., 2006. Concept development of an underground research tunnel for validating the Korean reference HLW disposal system. Tunnel. and Underground Space Tech., 21, 203-217.