

처분터널 내 벤토나이트 완충재 포화예측

Saturation Prediction of Bentonite Buffer in a Waste Disposal Repository

김진섭* · 이창수* · 조원진* · 최영철* · 최희주*

Jin-Seop Kim, Chang-Soo Lee, Young-Chul Choi, and Heui-Joo Choi

Key Words : 벤토나이트, 완충재, TOUGH2, 모세관 압력, 처분터널

ABSTRACT

본 연구의 목적은 벤토나이트 완충재를 처분공에 설치하였을 때 벤토나이트와 암반의 상호작용을 중심으로 이의 포화과정을 제대로 모사할 수 있는지와, 현장암반의 절리가 수치해석 결과에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하는 것이다. 유한차분 해석코드인 TOUGH2 코드를 이용하여 벤토나이트의 수리거동을 분석하였다. 해석결과 암반의 절리가 존재할 경우 완충재의 포화도는 상대적으로 매우 빠르게 진행되었으며, 벤토나이트의 높은 모세관 압력으로 인해 시간경과에 따라 주변암반의 포화도가 점진적으로 감소됨을 확인하였다.

파악하는 것이 주요 목표이다.

1. 서 론

고준위폐기물의 심지층 처분환경은 핵연료로부터의 고열(T)과, 심부환경에 따른 높은 지중압력과 완충재 팽창압(M) 그리고 지하수 유입(H)으로 인해 포화상태가 복합적으로 유지되는 특징이 있다. 따라서 장기간에 걸친 처분시스템의 안전성을 확보하기 위해서는 이들의 열적(Thermal)-수리적(Hydro)-역학적(Mechanical) 복합거동에 대한 신뢰성 있는 해석 기법의 개발이 중요한 연구주제 중의 하나이다.

하지만 아직까지 완전연동해석(fully coupled analysis) 기법이 개발되지 않은 실정이며, 이에 대한 주요 원인 중의 하나는 현장암반 조건에서 벤토나이트 완충재의 포화과정을 제대로 수치해석적으로 구현하지 못하는 점을 들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 벤토나이트 완충재를 처분공에 설치하였을 때, 벤토나이트와 암반의 상호작용을 중심으로 이의 포화과정을 모사할 수 있는가와, 현장암반의 절리가 수치해석적 결과에 어떠한 영향을 미치는가를 파

2. 모델입력 자료

유한차분 해석코드인 TOUGH2(Transport Of Unsaturated Groundwater and Heat)를 이용하여 완충재와 현장암반의 수리학적 거동특성을 분석하였다. 해석 대상은 스웨덴의 Äspö HRL 지하연구시설 내 BRIE (Bentonite Rock Interaction Experiment) 프로젝트이다. 관련 터널의 형상 및 암반단열에 대한 정보는 아래의 Fig. 1에 나타내었으며, TOUGH2 해석에 사용된 입력 자료들을 Table 1~3에 기술하였고, Eq. (1)과 Eq. (2)의 관계식을 사용하였다.

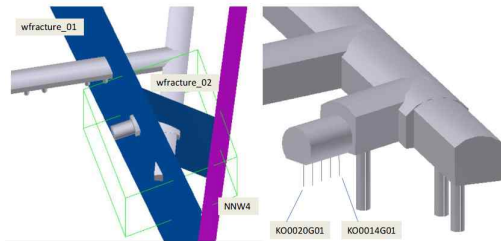


Fig. 1. TASEO Tunnel geometry and deterministic fracture information

† 교신저자; 한국원자력연구원
E-mail : kjs@kaeri.re.kr, Tel : 042-868-2874
* 한국원자력연구원

Table 1. Material specifications (SKB, 2012)

| Material | Input parameter | value |
|--------------|------------------------|---------------------------------------|
| Intact rock | hydraulic conductivity | 1×10^{-12} m/s |
| | porosity | 1×10^{-5} |
| | specific storage | 1×10^{-11} m ⁻¹ |
| Jointed rock | transmissivity | 5×10^{-10} m ² /s |
| | porosity | 1×10^{-3} |
| Bentonite | hydraulic conductivity | 6.4×10^{-14} m/s |
| | porosity | 0.44 |

상대투수계수(relative permeability)의 산정은 다음의 관계식을 이용하였다.

$$k_r = \begin{cases} S^3 & (\text{bentonite}) \\ \sqrt{S} \left(1 - (1 - S^{1/\lambda})^2 \right)^2 & (\text{rock / matrix}) \end{cases} \quad (1)$$

여기서 S는 포화도를 의미한다. 또한 수분보유곡선(water retention curve)의 경우 다음의 관계식을 이용하였다.

$$S = \left[1 + \left(\frac{P_g - P_l}{P_0} \right)^{\frac{1}{1-\lambda}} \right]^{-\lambda} \quad (2)$$

여기서 P_g는 가스상태의 압력, P_l는 수압, 그리고 P₀과 λ는 경험상수를 의미하며 다음의 값을 사용하였다.

Table 2. Empirical constants for relative permeability and capillary pressure

| Material | P ₀ (MPa) | λ(-) |
|-------------|----------------------|------|
| Bentonite | 0.23 | 0.3 |
| Rock/matrix | 1.74 | 0.6 |

Table 3. Fracture statistics to be used for the TASO tunnel

| Set | Orientation | | | Size | | Spatial Distribution | Intensity P ₃₂ (r ₀ , ∞) |
|------|-------------|--------|--------------|----------------|----------------|----------------------|--|
| | trend | plunge | Fisher konc. | r ₀ | k _r | | |
| set1 | 280 | 20 | 10 | 0.25 | 2.6 | Poissonian | 1.1 |
| set2 | 20 | 10 | 15 | 0.25 | 2.6 | Poissonian | 2 |
| set3 | 120 | 50 | 10 | 0.25 | 2.6 | Poissonian | 0.75 |

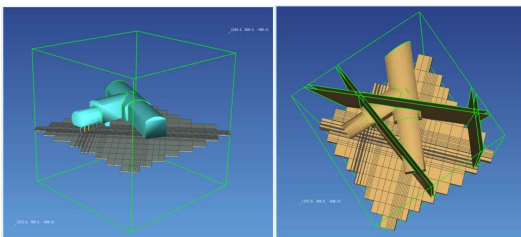
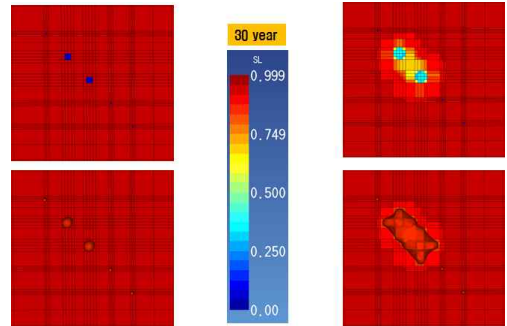


Fig. 2. Model geometry and mesh used in TOUGH2 code

3. 완충재 내 수리거동 변화

5개의 NX 사이즈 조사공 중 직경 30 cm로 확공된 2개의 조사공을 중심으로 시간 경과에 따른 수리거동 특성(포화도, 압력변화, 지하수 유입유량 등)을 분석하였다. 아래의 Fig. 3은 조사공 내에 벤토나이트가 설치되지 않은 경우(a)와 벤토나이트가 설치된 각각의 경우(b)의 시간 경과에 따른 완충재와 주변암반에서의 포화도 변화를 나타낸 그림이다.



(a) without bentonite (b) with bentonite

Fig. 3. Degree of saturation around the disposition borehole (after 30 years).

3. 결 론

처분시스템 내 복합거동에 대한 해석의 신뢰도는 특히 벤토나이트의 높은 모세관 압력(100MPa)과 현장암반 내 절리로 인한 비균질적인 포화도를 제대로 모사할 수 있느냐에 달려있다. 본 연구를 통하여 벤토나이트의 모세관 압력과, 현장암반의 배경단열 및 결정론적인 암반절리를 해석에 성공적으로 구현하였다. 해석결과 암반의 절리가 존재할 경우 완충재의 포화도는 상대적으로 매우 빠르게 진행되었으며, 벤토나이트의 높은 모세관 압력으로 인해 시간경과에 따라 주변암반의 포화도가 점진적으로 감소됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) SKB, 2012, Task 8-Modelling the interaction between engineered and natural barriers: An assessment of a fractured bedrock description in the wetting process of bentonite at disposition tunnel scale, SKB, Stockholm, pp. 1-74.