

TOUGH2 코드를 이용한 처분공 내 지하수 유입유량 및 완충재 재포화 특성분석

김진섭*, 이재원, 이창수, 김건영

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*kjs@kaeri.re.kr

1. 서론

국제공동연구 SKB Task 8는 처분장 주변지형 및 암반단열 등의 지질정보를 기반으로 하여 처분공 내로의 지하수 유입수량을 산정하고, 이로 인한 벤토나이트의 재포화 특성을 신뢰성 있게 예측하는 것이 주요 관심사이다. 이는 한국원자력연구원 지하처분연구시설(KURT)에서 수행하고 있는 현장실증연구(In-DEBS)와 매우 밀접한 연관이 있는 주제이다.

본 연구에서는 Task 8의 subtask의 하나인 Task 8C~8D를 중심으로 수행 연구결과를 제시하고자 한다. 이는 Äspö BRIE 현장실험에 대한 모델링으로써, 특정 단열망 정보 및 교차절리 조건하에서 30cm 직경의 시험처분공에 지하수 유입유량을 예측하고 벤토나이트 완충재의 재포화 특성을 분석하는 것이 주요 목표이다.

2. 모델형상 및 경계조건

수리해석을 위해서는 FLAC3D ver. 5.0을 이용하여 경계조건 및 초기조건 해석을 수행하였다. 본 해석에 사용된 모델형상 및 해석영역 내 경계조건에 대한 정보를 다음에 나타내었다.

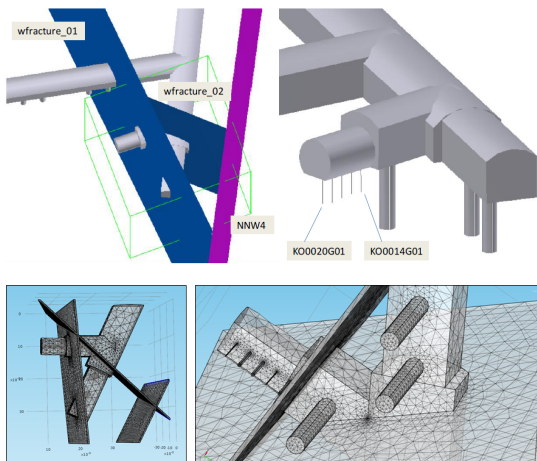


Fig. 1. Model geometry of SKB Task 8C.

해석의 초기조건과 관련하여 본 모델의 경우 터널내부에서는 대기압 상태(0.1 MPa)를 유지시켰으며, 모델 경계영역에서의 압력값(Fig. 2)을 이용하여 FLAC3D를 통해 초기 압력분포를 얻기 위한 정상상태 해석을 선행하였다.

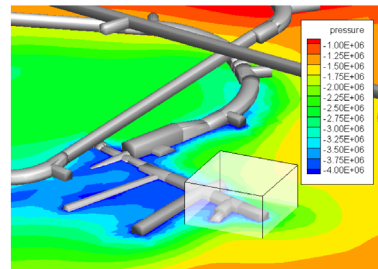


Fig. 2. Illustration of the pressure field (Pa).

이때 암반의 경우 Two-phase (Pg, Sg, T)에서 초기 gas saturation을 0.001로 설정하였다. 한편 벤토나이트의 경우 초기 압력을 0.1 MPa 그리고 온도를 20°C 그리고 Two-phase (Pg, Sg, T)에서 초기 gas saturation을 0.64로 각각 설정하였다. 또한 터널 내부 air의 경우 벤토나이트와 동일하게 초기설정을 하였으나, 다만 Single-phase (P, X, T)에서 air mass fraction만 0.999로 다르게 설정하였다.

3. 해석부지 내 단열망 정보

도출된 초기조건 결과를 바탕으로 TOUGH2 코드를 이용하여 처분공 내 지하수 유입유량을 분석하였다. 현장암반의 절리와 관련하여 3개의 결정론적 암반단열은 모델에 직접 구현하였으며, 해석영역 내 배경암반의 단열정보는 등가투수계수(equivalent permeability) 개념을 적용하여 수리해석을 수행하였다. TOUGH2 코드를 이용한 해석에 사용된 총 요소수는 67,002개 이었다.

우선 배경암반 단열에 대한 등가투수계수를 산정하기 위하여 FracMan으로 단열망을 형성하고 Mafic 프로그램을 통해 지하수 흐름을 모사하였다.

단열망 생성을 위해 지질학적 자료를 기반으로 단열의 방향성과 길이 그리고 크기 등의 데이터를 적용하였다. 해석영역을 40 m × 40 m × 40 m으로 설정하고, 해석영역 내 4 m × 1 m × 20 m의 가상의 터널을 형성하여 각 면과 터널로의 주어진 압력수두 값을 경계조건으로 부여하였다. 이를 통해 도출된 배경암반 단열의 등가투수계수는 1.143E-15m²이었다.

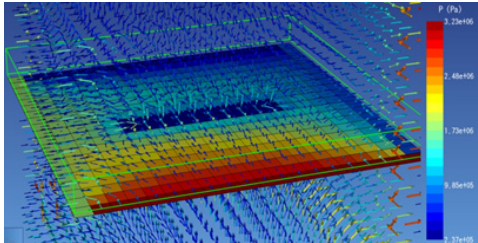


Fig. 4. Pressure distribution and groundwater inflow for equivalent permeability estimation.

4. 조사공 내 유입유량 및 완충재 재포화

앞서 측정된 등가투수계수를 바탕으로 조사공 내 지하수 유입유량을 예측하였다. 유입유량 비교를 위해서 (1) 무결암 조건, (2) 무결암 + 결정론적 암반절리, (3) 등가투수계수(배경단열) + 결정론적 암반절리와 같이 3가지의 조건에 대해 모델링을 수행하였다(Table 1). 또한 현장시험공으로 선택되어 76mm에서 30cm로 확공된 K018과 K017의 시험공에 대해 유입유량을 분석하였다. 다음의 Fig. 5와 Fig. 6에는 수치해석을 통한 포화도 및 압력분포 결과를 나타내었으며, Fig. 7에는 시험공 주변으로 시간에 따른 수평방향의 포화도 변화를 나타내었다.

Table 1. Inflow into boreholes

Normal boring (ml/min)	K020	K018	K017	K015	K014
Intact rock	9.72E-05	7.48E-05	6.42E-05	5.55E-05	5.55E-05
Intact rock+Deterministic fractures	8.52E-04	1.12E-03	1.12E-03	7.48E-04	1.09E-03
Equivalent permeability+Deterministic fractures	8.58E+00	6.39E+00	5.39E+00	4.75E+00	5.07E+00
Over-coring (ml/min)	over K020	over K018	over K017	K015	over K014
Intact rock	8.84E-05	1.50E-04	7.85E-05	4.52E-05	9.28E-05
Intact rock+Deterministic fractures	7.5E-04	2.38E-03	1.87E-03	6.64E-04	2.09E-03
Equivalent permeability+Deterministic fractures	7.99E+00	1.32E+01	6.85E+00	4.00E+00	9.11E+00

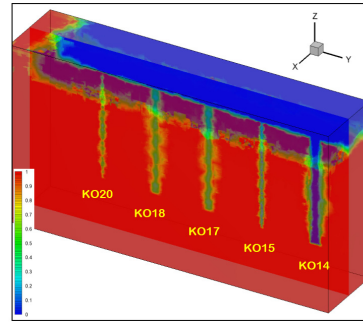


Fig. 5. Saturation distribution around the boreholes.

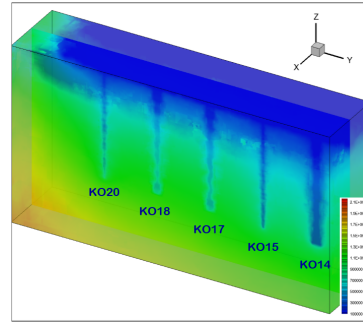


Fig. 6. Pressure distribution around the boreholes.

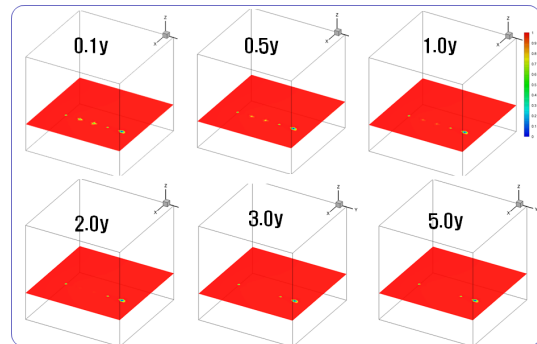


Fig. 7. Variation in saturation of bentonite with time.

5. 결론

배경암반의 단열정보를 TOUGH2 코드 내에서 등가투수계수의 개념의 적용을 통해 수치해석을 수행하였다. DFN 모델링을 통해 상대적으로 높은 등가투수계수가 산정되어, TOUGH2 코드를 통한 조사공 내 유입유량 또한 실측값에 비해 상대적으로 높게 예측되었다.

조사공 내 지하수의 유입유량은 암반의 투수계수에 직접적인 비례관계에 있었으며, 30cm로 확공된 시험공에서의 완충재는 완전포화에 이르기 까지 약 3년의 시간이 소요되는 것으로 평가되었다.