

TOUGH2-MP/FLAC3D 코드를 이용한 In-DEBS 복합거동 예비 평가

이재원*, 이창수, 김건영, 김경수

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*jwl@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위 방사성폐기물 처분장에서 공학적 방벽은 방사성폐기물을 물리적으로 보호하고 방사성폐기물에서 발생하는 열을 주변 암반에 잘 전달하며 암반 내부의 지하수가 방사성폐기물에 최대한 늦게 접촉하도록 지연시키는 역할을 담당한다. 따라서 처분 안전성에 대한 신뢰도를 확보하기 위해서는 공학적 방벽의 열-수리-역학적인 상호작용을 고려한 성능 평가가 필수적이다 [1].

고준위폐기물 공학적방벽 처분시스템 공학규모 성능 검증을 위해 한국원자력연구원에서는 공학규모 공학적방벽 열-수리-역학적 복합거동 현장시험인 In-DEBS (In-situ Demonstration of EBS performance at KURT)를 수행하였다. 본 연구에서는 국내산 벤토나이트 완충재의 열-수리-역학 (THM) 복합거동특성을 모사하기 위해 KURT의 수리특성자료를 반영한 In-DEBS THM 복합거동 예비 평가를 수행하였다.

2. 본론

2.1 사용 해석 코드

열-수리-역학적인 상호작용을 고려한 해석을 수행하기 위해 LBNL에서 개발된 TOUGH2-MP와 ITASCA™에서 개발된 FLAC3D를 이용하였다. TOUGH2-MP는 TOUGH2 Massively Parallel의 약자이며, TOUGH2의 병렬 해석용 버전 소프트웨어이다. TOUGH2는 다상·다중 유체 유동 해석 및 열 전달 해석에 강점이 있는데, TOUGH2-MP의 경우 병렬 해석을 가능하게 해 해석속도를 비약적으로 향상시켰다. FLAC3D는 토질이나 암반의 역학적 해석에 강점이 있는 코드이다.

TOUGH2-MP/FLAC3D 연동 해석 모듈의 알고리즘은 Fig. 1에 나타나 있다.

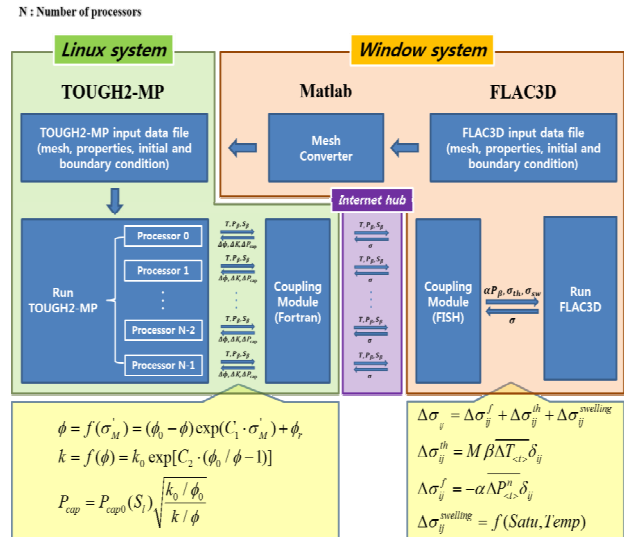


Fig. 1. TOUGH2-MP/FLAC3D coupling module algorithm.

2.2 해석 모델

KURT 수리특성 자료를 반영한 In-DEBS THM 복합 거동 예비 평가를 위해 90 X 50 X 60 m 크기의 해석 모델을 생성하였다 (Fig. 2). 총 메쉬 개수는 163,923 개이며, Stabilization, Excavation, In-DEBS installation & operation 의 세 단계로 나누어 해석을 진행하였다. Stabilization 단계에서는 FLAC3D 만을 이용해 암반의 THM 초기 안정화 해석을 수행하였으며, Excavation 단계에서는 TOUGH2-MP/FLAC3D를 이용하여 처분터널 및 처분공 굴착으로 인한 THM 거동 변화 해석을 수행하였다. 마지막으로 In-DEBS installation & Operation 단계에서는 TOUGH2-MP/FLAC3D를 이용하여 OBPA (One Body Pre-Assembly) 설치 3 개월 후, Heater 가동 (90°C) 하는 것으로 가정하고 THM 해석을 수행 하였다.

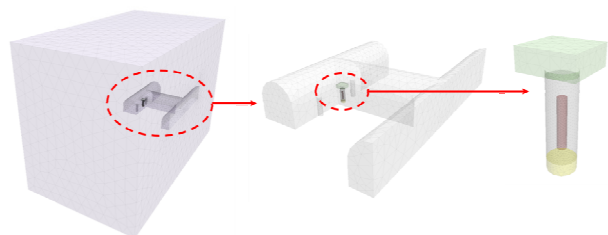


Fig. 2. Schematic view of numerical model.

Table 1. Properties

Parameters	Buffer	Rock	Sand	Plug	Heater
Dry density(kg/m ³)	1,600	2,650	1310	2367	7850
Porosity (-)	0.41	0.01	0.5	0.15	0.0001
Thermal conductivity (W/mK)	0.124~1.299	3.0~3.3	0.2 - 1.2	0.2 - 1.2	52.5
Thermal expansion coefficient(1/°C)	2.5X10 ⁻⁵	7.5X10 ⁻⁶	5.0X10 ⁻⁶	4.30X10 ⁻⁶	0.0X10 ⁻⁵
Permeability(m ²)	6.00E-20	1.00E-19	1E-16	1E-19	0
Young's modulus (GPa)	0.69	28.5	0.04	20	155
Poisson's ratio (-)	0.19	0.3	0.35	0.19	0.285

암반과 완충재는 Mohr-Coulomb 역학 모델을 사용하였으며, 모래, 플러그, 히터는 탄성 역학 모델을 사용하였다. 본 해석에 사용된 물성은 Table 1에 나타나 있다.

2.3 해석 결과

Fig. 3은 히터 중심에서 특정 간격으로 떨어진 계측 지점에서의 시간에 따른 온도 및 상대습도를 나타낸 그래프 이다. 히터의 온도는 90°C 이며, 벤토나이트 중심부의 온도는 약 50°C 이다. 상대습도의 경우 벤토나이트 중심부가 약 95% 인데, 이는 암반으로부터 지하수 유입이 크기 때문인 것으로 판단된다.

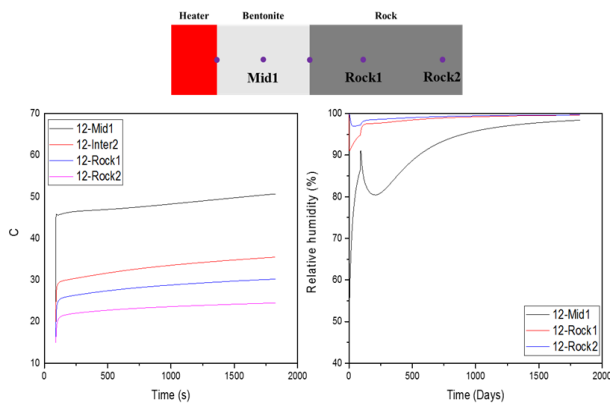


Fig. 3. Temperature and relative humidity evolution at selected points.

3. 결론

본 연구에서는 국내산 벤토나이트 완충재의 열-수리-역학(THM) 복합거동특성을 모사하기 위해 TOUGH2-MP/FLAC3D 코드를 이용하여 KURT의 수리특성자료를 반영한 In-DEBS THM 복합거동 예비 평가를 수행하였다. 온도의 경우 다른 현장시

험 결과와 유사한 경향을 보였으나, 상대습도의 경우 암반으로부터 물이 많이 들어오는 현상으로 인해 매우 높게 나타났다. 추후 In-DEBS 현장시험 결과가 얻어지게 되면 이를 바탕으로 모델 검증을 수행 할 계획이다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환인 공학적방벽 성능향상 기술 개발 과제(53344-16)로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] K.B. Min, J. Rutqvist, C.F. Tsang, and L. Jing, "Thermally-induced mechanical and permeability changes around a nuclear waste repository - a far-field study based on equivalent properties determined by a discrete approach", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42(5-6), 765-80 (2005).