

## 벤토나이트 완충재의 재포화 특성 분석

김진섭, 조원진, 최희주, 조계춘\*

한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 989번길 111

\*한국과학기술원, 대전 유성구 과학로 335

kverity@kaeri.re.kr

### 1. 서론

TOUGH2는 균열이 존재하는 다공성 매질(fractured porous media) 내 포화 및 불포화 지하수 유동과 핵종이동(radionuclide transport)을 해석할 수 있는 유한차분 해석코드의 일종이다. 이는 미국에서 초기에 지열발전(geothermal reservoir)이나 고준위 폐기물처분(high-level nuclear waste isolation)과 관련된 연구를 위해 개발되었다. 하지만 현재는 다공성 매질(porous media) 내 다상현상(multi-phase phenomena)의 복합거동(coupled reaction)과 관련된 열과, 수분 이동 그리고 건조현상 등을 모사·예측하기 위해 다양한 분야에 활용되고 있다.

본 연구는 TOUGH2 코드를 이용하여 SKB Task 8a를 중심으로 완충재와 현장암반의 수리학적 거동특성을 살펴보았다. 벤토나이트 완충재의 고유 특성인 높은 수분 흡수력(suction pressure)과 현장암반 내 존재하는 질리 영향을 TOUGH2 코드를 통해 구현을 하였다.

### 2. 실험재료 및 방법

해석의 초기조건과 관련하여 본 모델의 경우 터널 내벽에서 대기압 상태(0.1 MPa)를 유지하며, 좌측과 상하부 모델의 경계영역에서는 2 MPa를 각각 유지하는 것으로 해석하였다.

암반의 경우 초기 압력을 2 MPa 그리고 온도를 20°C 그리고 Two-phase ( $P_g$ ,  $S_g$ , T)에서 초기 gas saturation을 0.001로 각각 설정하였다. 한편 벤토나이트의 경우 초기 압력을 0.1 MPa 그리고 온도를 20°C 그리고 Two-phase ( $P_g$ ,  $S_g$ , 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.

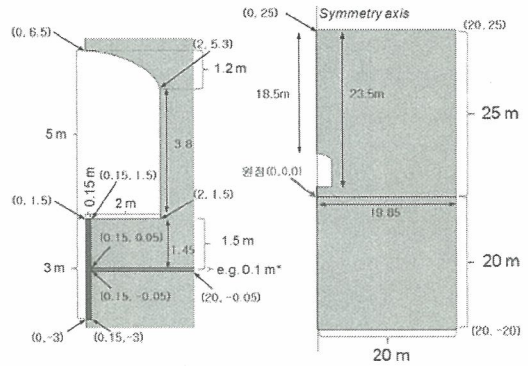


Fig. 1. Geometrical set-up.

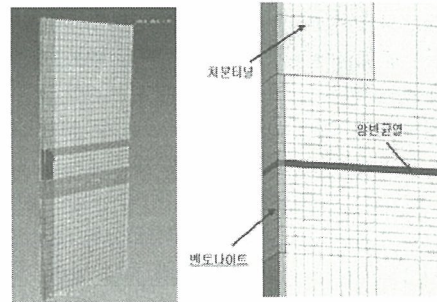


Fig. 2. Mesh generation in TOUGH2.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 완충재 주변 압력변화

질리암반 조건에서 터널 주변의 압력변화에 대해 분석하였으며, 그 결과 중 10일 경과 후의 처분공과 벤토나이트 완충재 주변의 압력변화를 다음의 Fig. 3에 나타내었다.

무결암 조건에서는 해석 초기(1d)부터 터널 및 처분공에서의 대기압 조건이 해석영역 경계까지 빠르게 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 하지만 시간 경과에 따른 처분공 주변으로 압력강가가 점차 완화되어 10년 경과시에는 완충재 내부에서부터 크게 압력이 상승하는 현상이 발견되었다.

이는 벤토나이트가 포화됨으로써 팽창압력이 내부에서부터 발생하기 때문인 것으로 판단된다.



Fig. 3. Variation in pressure around disposal tunnel (10d).

### 3.2 완충재 주변 포화도 변화

완충재 내부의 시간에 따른 포화도 변화를 아래의 Fig. 4에 나타내었다. 질리가 없는 무결암반의 경우 벤토나이트가 완전 포화(포화도 $\geq 0.95$ 로 가정)되는데 전체적으로 약 25년이 소요됐다. 한편 질리암반의 경우에는 벤토나이트가 완전 포화되는데 질리가 존재하는 위치에서는 약 2년, 그리고 그 상하부 완충재 위치에서는 약 10년 정도의 시간이 소요되는 것으로 분석되었다. 즉 현장암반 내 질리를 고려해 줌으로써 완충재의 포화시간이 약 최소 10배 이상의 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

무결암의 경우 벤토나이트 경계면에서 현장암반과의 상호작용으로 인해 포화도가 현저히 떨어지는 현상이 발생하다가 점차 증가하여, 경계면으로부터 약 1.5cm에서 최대 포화도를 보이고 점차 벤토나이트 중심축으로 진행하면서 포화도가 매우 완만하게 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 시간 경과에 따라 포화도 분포곡선이 점차 상승됨을 확인할 수 있었다.

질리암반 조건의 경우 벤토나이트 완충재를 처분공에 설치하였을 때, 경계면에서는 완충재 설치로 인해 현장암반의 포화도를 일정부분 감소시키는 현상이 발생한다. 이는 벤토나이트의 고유 특징인 강한 흡수력(suction pressure)이 존재하기 때문이다.

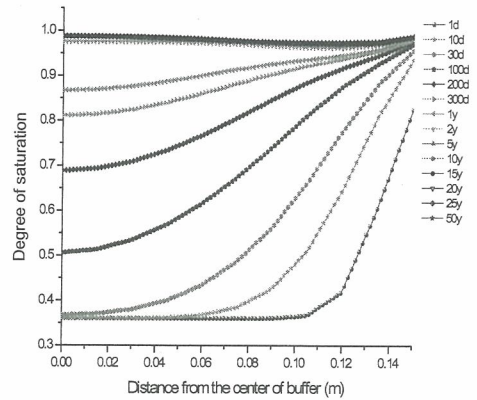


Fig. 4. Horizontal saturation profile in bentonite at 1.5m.

## 4. 결론

4.1 무결암반의 경우 벤토나이트가 완전 포화시까지 약 25년의 시간이 소요되었으며, 암반 내 질리가 존재할 경우에는 약 2년이 소요(약 12배 차이)

4.2 무결암반의 경우 벤토나이트의 높은 흡수력(suction pressure; 100 MPa)에 비해 주변 암반으로부터 지하수 유입이 적으므로 벤토나이트와 암반 사이의 경계면에서 포화도의 급격한 변화가 발생

## 5. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

## 6. 참고문헌

- [1] C. Doughty 2007. Modeling geologic storage of carbon dioxide: Comparison of non-hysteretic and hysteretic characteristic curves. Energy Convers. Manage. 48: 1768-1781.
- [2] S. Finsterle, Primary variables variable switching initial conditions boundary conditions, Earth Sciences Divison LBNL, Berkeley, California.