

## 단열 암반의 배경 단열을 고려한 지하수 유동 모의 및 평가

고낙열, 지성훈, 고용권

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

[nvko@kaeri.re.kr](mailto:nvko@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

단열 암반으로 이루어진 심부 지하 공간을 방사성 폐기물 등의 저장소로 이용하기 위해서는 여러 가지 사전 조사와 분석이 필요하며, 그 지역의 지하수 유동 양상도 매우 중요한 조사 항목이 된다. 지하수 유동 특성을 파악하기 위해 단열 암반에서 지하수의 주요 이동로가 되는 단열들이 조사되면, 해당 지역의 전체적인 지하수 유동계 분석을 위해 지하수 유동 모의가 이루어진다. 조사된 단열들의 정보를 이용해 수리전도도를 계산하여 입력하게 되는데, 비교적 대규모 단열의 정보만을 이용하게 될 경우, 전체적인 유동계는 현장과 유사하게 나타낼 수 있지만, 국지적인 지하수 유동을 표현하기에는 어려움이 있다.

이 연구에서는 비교적 작은 규모의 지하수계를 모의하는 경우에 대해서, 배경 단열의 영향을 고려한 단열 암반에서의 지하수 유동 모형을 작성하고 모의 결과를 분석하여 배경 단열을 통해 나타낼 수 있는 국지적인 지하수 흐름과 전체적인 지하수계 유동 모의에 영향을 주는 요소에 대한 분석을 시도하였다.

### 2. 배경 단열을 고려한 지하수 유동 모의 모형 구성

#### 2.1 지하수 유동 모의 현장

지하수계 모의 영역은 핀란드의 Olkiluoto 섬 중앙부로, 지하저장소 건설예정지를 포함한 500 × 500 × 500 m 규모이다. Olkiluoto 섬은 순상지로 선캠브리안대의 암석이 기반암으로 존재하고, 운모질 편마암이 주로 나타난다. 남동 방향의 층상(thrust) 단층과 북동 방향의 주향이동(strike-slip) 단층이 주 단열대를 형성하고 있다 (Vaattinen 등, 2003).

#### 2.2 배경 단열의 영향을 고려한 수리전도도 분포 입력

관측정의 심도별 위치와 방향을 고려하여 모의

에 필요한 격자망(mesh)을 구성하고, 관측정의 공내 연결성을 구현하기 위해 DFE(discrete fracture element) 기법을 적용하였다(Derchowitz 등, 2000). 관측공 조사와 물리 탐사 등을 통해 조사된 단열대 자료를 바탕으로 불연속(discrete) 단열망을 구성하고, 구성된 단열망을 이용해 불균질, 이방성을 갖는 수리전도도 분포를 만들어 3차원의 연속체 (continuum) 격자에 입력하는 혼합(hybrid) 모형을 적용하였다. 또한, 국지적 지하수 유동 특성 모의를 위해 배경 단열 자료를 분석하여 수리전도도 분포에 반영하였다. 배경 단열 자료의 특성으로 인해, 동일한 통계적 특성을 갖는 배경 단열을 다수 만들어 모의를 실행하고, 그 결과를 통계적으로 처리하여 분석하였다.

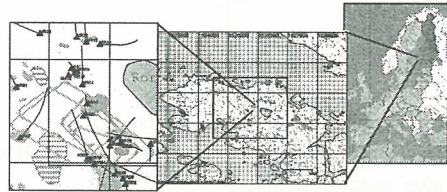


Fig. 1. Groundwater modeling site in Olkiluoto island

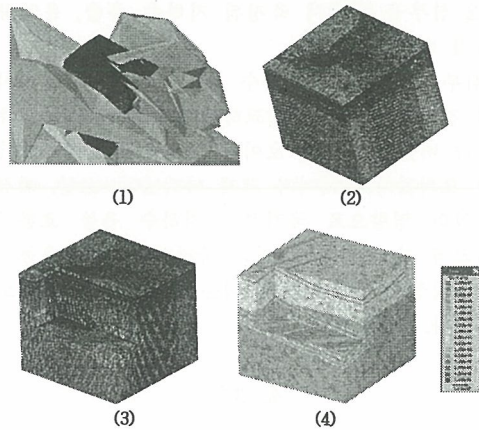


Fig. 2. (1) discrete fracture network, (2) 3-D continuum mesh, and hydraulic conductivity fields (3) without and (4) with background fracture

### 3. 지하수 유동 모의 결과

#### 3.1 현장에서 측정된 지하수 수위, 수두와 모의 결과 비교

양수 시험 전, 후의 지하수 유동 모의를 수행하고 지하수위를 측정값과 비교하였다. 양수시험 전의 지하수위는 측정된 수위보다 대체적으로 큰 값을 보였으며, 양수시험시의 수위는 대체로 측정값과 유사하게 나타났다.

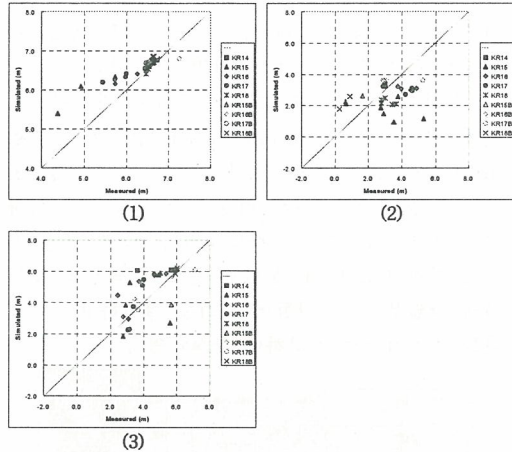


Fig. 3. Measurement vs. Simulation of hydraulic heads: (1) before pumping test, (2) after pumping at KR14, (3) after pumping at KR18

#### 3.2 심부공 내에서 측정된 지하수 유출, 유입량의 비교

심부 관정으로의 지하수 유입, 유출량을 양수시험 전, 후로 나누어 비교하였다. 대체적으로 관측값과 비슷한 양상을 보이나, 지하수위의 경우보다는 모의값과의 차이가 크게 나타났다. 또한, 배경 단열의 영향으로 국지적인 지하수 유동 흐름이 비교적 잘 나타났다. 이는 국지적 지하수 유동의 불확실성을 평가하는데 이용될 수 있을 것으로 보인다.

### 4. 결론

배경 단열 자료를 고려하여 국지적인 지하수 흐름을 고려해줄 수 있는 단열 암반에서의 지하수 유동 모형을 작성하고 모의 결과를 분석하였다. 대규모 단열만 고려할 때에 비해 국지적 흐름이 표현되었고, 실제 현장에서 측정되는 흐름을 보다

더 유사하게 나타낼 수 있는 것으로 나타났다. 지하 저장소의 안전성 평가를 위해서는 보다 작은 규모의 지질구조에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.

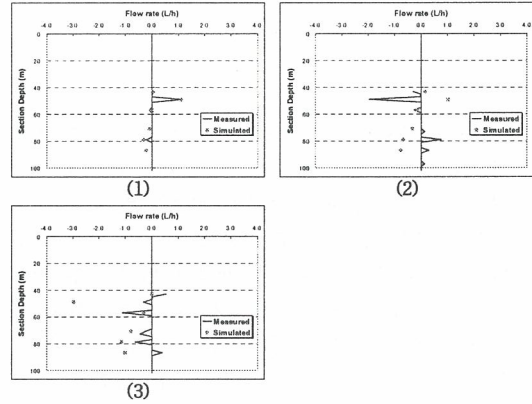


Fig. 4. Measurement vs. Simulation of flowrate in KR16: (1) before pumping test, (2) after pumping at KR14, (3) after pumping at KR18

### 5. 감사의 글

이 논문은 과학기술부 원자력연구개발 중장기계획사업과제의 지원을 받았음을 밝히며 이에 감사드립니다.

### 6. 참고문헌

- [1] W. Dershowitz, P. La Pointe, T. Eiben and L. Wei, "Integration of discrete feature network methods with conventional simulator approaches," SPE Reservoir Evaluation and Engineering, 3(2), pp. 405-408(2000)
- [2] T. Vaattinen, H. Ahokas, E. Heikkinen, P. Hellä, J. Nummela, P. Saksa, E. Tammisto, S. Paulamäki, K. Front and A. Kärki, Bedrock model of the Olkiluoto site (version 2003/1), Posiva Working report 2003-43(2003)