

심부 관측공의 영향을 고려한 단열 암반에서의 지하수 유동 모의

고낙열, 지성훈, 고용권

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

nyko@kaeri.re.kr

1. 서론

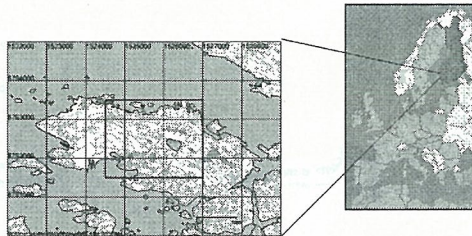
청정 수자원확보를 위해 심부 대수층에서 지하수를 개발하거나 심부 암반에 지하 저장소를 건설하기 위한 기초 조사를 위해 심도 300 m 이상의 심부 관측정이 많이 설치되고 있다. 심부 관측정에서 측정된 지하수위나 지점별 수두는 지하수 유동 모의에서 변수의 보정 작업에 이용된다. 하지만 단열 암반에서 관측정 자체가 많은 양의 지하수가 흐를 수 있는 경로의 역할을 할 수 있기 때문에, 심부 지하수 유동 환경 모의에서 심부 관측정이 모의 현장의 지하수 흐름에 끼치는 영향을 고려해 주어야 한다.

이 연구에서는 심부 관측정의 영향을 표현할 수 있는 지하수 유동 모형을 작성하고 현장의 관측정에서 측정된 지하수위, 구간별 지하수두를 이용해 모형에 이용되는 변수를 보정하였다. 일련의 모의 과정과 그 결과를 이용하여 심부 관측정이 지하수 유동 모의 결과에 끼치는 영향을 평가하고 단열대와 단열망의 불확실성에 대한 분석을 시도하였다.

2. 지하수 유동 모의 현장과 유동 모형 작성

2.1 유동 모의 현장

모의에 이용될 심부 지하수 유동 자료는 핀란드의 Olkiluoto 섬 중앙부에서 측정되었다. Olkiluoto 섬은 순상지로 선캠브리아대의 암석이 기반암으로 존재하고, 운모질 편마암이 주로 나타난다. 남동 방향의 충상(thrust) 단층과 북동 방향의 주향이동(strike-slip) 단층이 주 단열대를 형성한다. 이곳은 지하저장소 건설예정지로, 관측정을 통한 심부 지하수 환경의 조사가 오래전부터 꾸준히 이루어졌다.

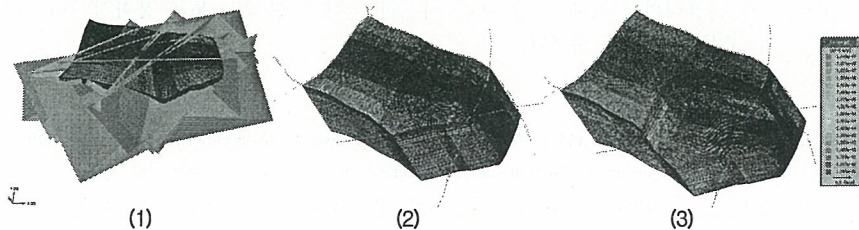


<그림 1> 지하수 유동 모의 현장 (Olkiluoto 섬)

2.2 격자망 구성과 수리전도도 분포 입력

관측정의 심도별 위치와 방향을 고려하여 모의에 필요한 격자망(mesh)을 구성하였다. 특히, 관측정의 연결성을 구현하기 위해 DFE(discrete fracture element) 기법을 이용하였다. 이 기법은 유한 요소(finite element) 격자망에서 서로 연결되지 않는 두 격자점(node)을 연결시켜 새로운 지하수 유동로가 생기는 효과를 나타낼 수 있다(Derchowitz 등, 2000).

관측공 및 물리 탐사 등을 통해 조사된 단열대 자료를 바탕으로 불연속(discrete) 단열망을 구성하였다. 그리고 구성된 단열망을 이용해 불균질, 이방성을 갖는 수리전도도 분포를 만들어 3차원의 연속체(continuum) 격자에 입력하는 혼합(hybrid) 모형을 적용하였다.

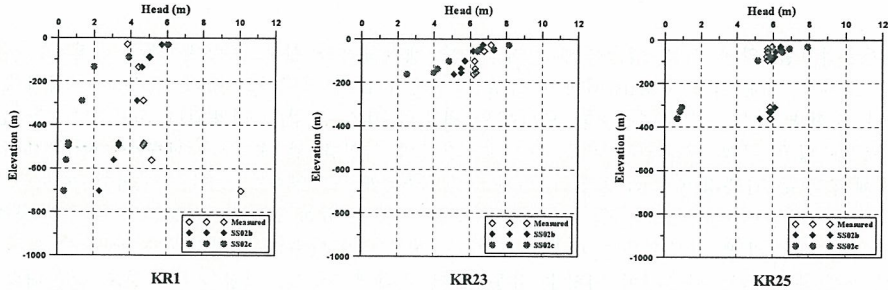


<그림 2> (1)불연속 단열망과 (2)3차원 연속체 격자망, (3)수리전도도 분포가 입력된 격자망

3. 지하수 유동 모의 결과

3.1 양수시험 전 지하수 유동 모의

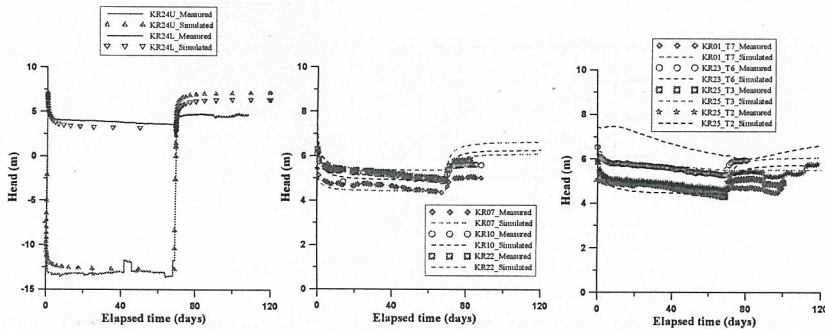
심부 관측정의 영향을 포함시킨 지하수 모의에서 심부 관측 상부와 하부의 지하수두 차이는 크게 나타나지 않았고, 관측정을 제거하면 심부의 지하수두가 관측정이 있을 때에 비해 크게 감소했다. 이는 수직 방향의 지하수 유동로가 되는 관측정이 사라지면서 지하수두가 그 지점을 지나는 단열대와 단열대가 연결된 측면 경계의 영향을 보다 크게 받게 되어 나타나는 현상으로 보인다.



<그림 3> 관측공을 고려한 경우(◇)와 그렇지 않은 경우(●)의 구간별 수두 자료 비교 (◇: 관측값)

3.2 양수시험 기간 중의 지하수 유동 모의

양수시험에 의해 나타나는 심부 관측정에서의 수리적 반응을 모의하고 지하수위, 구간별 지하수두, 유동 유량 측정치를 이용해 보정하였다. 천부 지점에서는 측정값과 모의값이 비교적 잘 일치했으나, 심도가 깊어질수록 그 차이가 커졌다. 대체적으로 단열대의 빈도나 그 연결성은 심도가 깊어질수록 떨어지는 것으로 나타나므로, 이런 불일치도 실제보다 더 많거나 큰 단열대를 가정했거나, 단열대의 연결성을 실제보다 크게 반영하여 생긴 결과로 생각된다.



<그림 4> 양수 시험 기간 중의 지하수 유동 모의 결과

4. 결론

심부 암반에서의 지하수 유동 모의 결과를 분석해보니, 단열 매질에서 매질의 수리적 특성을 파악하기 위해 설치하는 심부 관측정은 지하수 유동에 매우 큰 영향을 끼칠 수 있어 모의 과정에서 그 영향을 고려해야 할 요소로 평가되었다. 또한, 양수 시험에서의 수리적 반응의 불일치는 일부 과장된 단열대로 인한 것으로 생각되기에 단열대의 분포에 관한 보다 자세한 정보와 분석을 통해 불확실성이 현재 모형보다 더 적은 단열망을 구성하여야 할 것이다.

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. Vaittinen, 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).