단열 암반에 대한 개념 모델 차이에 의한 지하수 유동 해석의 변화

고낙열, 지성훈
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
nyko@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성 폐기물의 심지층 처분을 위한 안전성 평가에서 지하수의 유동 환경을 분석하고 반영하는 작업이 매우 신중하게 수행된다. 지하수가 비교적 잘 흐를 수 있는 대규모 단열대에 관한 조사는 수리지질학적 특성을 정의하는데 매우 중요하기 때문에 상당히 심도 있게 이루어지지만, 단열이 거의 없는 암반에 대한 조사는 수행하기도 쉽지 않고 해석에 이용할 수 있는 자료도 충분치 않다. 누출된 방사성 핵종이 오랜 시간동안 머물 수 있는 장소이기 때문에, 암반에 대한 수리지질학적 특성은 안전성 평가 결과에 영향을 줄 수 있다.

이 연구에서는 단열 암반 중에서 암반 부분에 대한 수리지질학적 특성을 균질, 불균질의 두 가지로 나누어 모델을 보정하였다. 수위와 지하수 유동 자료를 이용하여 모델 보정 및 분석을 하였고, 그 영향이 안전성 평가에 끼칠 수 있는 영향을 살펴보았다.

2. 지하수 유동 모델 작성: 균질 및 불균질 암반 모형

2.1 결정론적인 주 단열망 작성

모의 현장에서 확인된 대규모 단열대를 이용하여 지하수 유동 모델에 주 단열망을 입력하였다. 주 단열망은 균질 및 불균질 암반 모형 모두에 변동 없이 입력되어 모의 영역 내의 주된 지하수 유동로의 구실을 할 것으로 예상되었다.

2.2 균질 및 불균질 암반 모형에 의한 지하수 유동 모델 작성

균질 암반 모형을 이용하는 경우, 주 단열대를 제외한 모의 영역의 암반 부분을 단일 수리전도도값을 갖는 균질 매질로 가정하였다. 불균질 모형을 이용할 때는 현장에서 확인된 배경 단열(background fracture)의 통계적 특성을 분석하고, 주 단열망과 연계된 확장 단열망을 구성하여 수리전도도 분포를 계산하고 모의에 이용하였다.

2.3 모의에 이용된 경계 조건

모의 영역의 측면과 하단부는 광역 지하수 유동 모의 결과를 이용하여 그 결과로 나온 수두 자료를 고정 경계로 주었고, 상부는 재충진(recharge) 경계를 설정하였다. 재충진량(recharge rate)은 모델 보정을 통해 관측값과의 평균 제곱근 오차(root mean square error)가 최소가 되도록 하였다.

3. 지하수 유동 모델 보정 및 분석

3.1 지하수위 비교를 통한 지하수 유동 모형 보정 결과

균질 모형에서는 하나의 값으로 가정된 암반의 수리전도도와 재충진량이 동시에 조정되어 보정되었다. 보정된 값은 암반의 수리전도도가 5.28×10^{-8} m/s, 재충진량은 10.65 mm/yr로 계산되었다. 불균질 모형에서는 암반의 수리전도도가 배경 단열의 분포에 의해 정해지기 때문에 재충진량만이 조정되어 모델을 보정하였다. 그리고 배경단열의 분포가 확률적으로 주어지기 때문에 충분한 숫자의 존재 가능한 배경단열 분포를 생성하여 각각의 모델을 보정하고, 그 결과의 통계량을 결과 분석에 이용하였다. 보정된 재충진량은 20.05 mm/yr 이었다.

3.2 관측정에서의 지하수 유동량 비교를 통한 지하수 유동 모형 평가

보정된 두 개의 지하수 유동 모델을 이용하여 현장의 관측정에서 측정된 지하수 유동량과 비교해 보았다. 균질 암반 모형에서 계산된 지하수 유동량이 실제 관측값에 비해 매우 크게 계산되었다. 불균질 모형은 유동 방향은 균질 모형과 비슷하게 나타났으나, 균질 모형에 비해 상대적으로 관측치와 더 비슷한 결과를 보여주었다.

4. 결론

단열 암반에서의 지하수 유동을 모델링할 때, 큰 규모의 단열대를 제외한 암반부의 수리지질학적

특성을 균질 및 불균질 암반 모형을 적용하여 지하수 모델을 작성하고, 모델들을 보정, 분석하였다. 지하수위 자료만으로 이루어진 모델 보정에서는 두 모형 모두 관측 자료와 잘 맞는 결과를 보여주었으나, 관측공에서 측정된 지하수 유량 자료와 비교해 보면 균질 모형이 지하수 유동량을 과다하게 계산하는 것으로 나타났다. 이로 인해 입자 추적 모의에서의 지하수 유동 시간이 너무 적게 평가되고, 국지적인 수리지질학적 특성의 변화도 반영하지 못할 것으로 예상되었다. 따라서 불균질 모형과 같이 국지적 특이성을 보여줄 수 있는 지하수 모델링 방안이 안전성 평가에서는 더 효과적일 것으로 생각되었다.

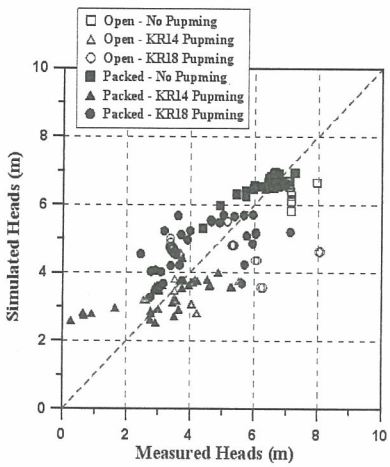

Fig. 1. Measured vs. simulated hydraulic heads in the case of the homogeneous bedrock.

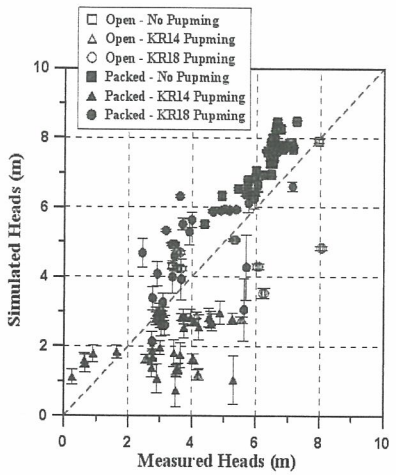

Fig. 2. Measured vs. simulated hydraulic heads in the case of the heterogeneous bedrock.

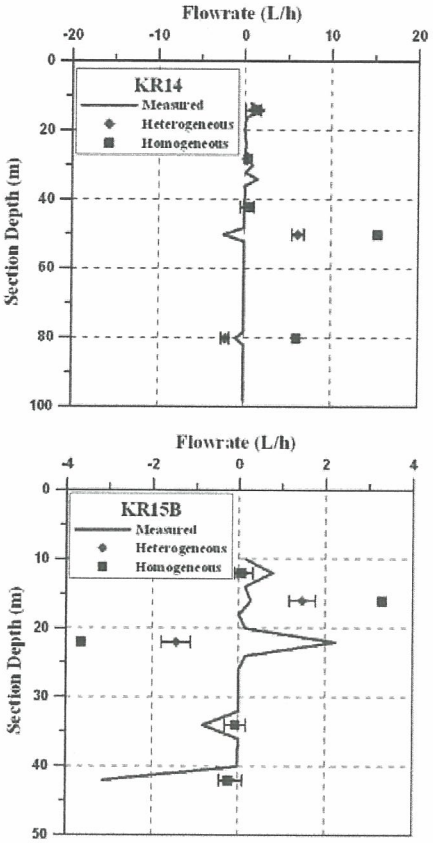

Fig. 3. Measured and simulated flow rates for the natural situation (positive and negative signs mean the in- and out-flux from the boreholes respectively

5. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부 원자력연구개발사업의 지원을 받았음을 밝히며 이에 감사드린다.

6. 참고문헌

[1] Diersch, H.-J.G., 2005. Discrete feature modeling of flow, mass and heat transport processes by using FEFLOW, in: WASY GmbH (Eds.), FEFLOW: Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System. White Papers Vol. 1. WASY GmbH, Berlin, Germany, 149-196.