

# 암반의 수리적 특성 차이에 의한 지하수 유동 및 용질 이동 변화 분석

고낙열, 지성훈

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

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

## 1. 서론

현장 측정 기술과 측정 계기의 발달, 지하수 유동 및 용질 이동을 모의하는데 이용되는 수학적 모델의 세분화와 컴퓨터 기술의 발달로 인해, 지하수와 관련된 모의에서는 지하 매질의 특성을 불균질하게 설정하여 이용하는 것이 최근의 경향이 되었다. 수리적 특성의 불균질성을 반영하는 것은 현장에서 획득된 자료를 거의 그대로 이용할 수 있다는 장점이 있지만, 측정 지점 이외의 구역에서는 보간법 등을 통해 추정된 값을 이용하게 되기 때문에 추정치에 대한 불확실성이 발생하게 된다. 상황에 따라서는 이렇게 발생된 불확실성이 지하 매질의 수리적 특성을 균질하게 가정하는 경우의 불확실성보다 커질 수 있는 가능성이 있어 그에 대한 평가가 필요할 것으로 생각된다. 또한 그렇게 가정된 수리지질학적 모델이 모의 현장에서 나타나는 현상을 사실적으로 나타내는데 대한 분석도 이루어져야 한다.

이 연구에서는 단열 암반 중에서 암반 부분에 대한 수리지질학적 특성을 균질, 불균질의 두 가지로 상이하게 가정했을 때, 부지 규모의 지하수 유동 모의를 실시하고 각 모델을 보정하면서 나타나는 수리적 특성의 차이를 살펴서 암반의 수리적 특성을 특성화 시키는 방안에 대해 고찰하였다.

## 2. 단열 암반에서 암반의 특성 차이를 고려한 수리지질학적 모델의 작성

### 2.1 대규모 단열대를 이용한 주 단열망 작성

모의 영역에서 지하수의 주요 유동로가 되는 대규모 단열대를 이용하여 주 단열망을 작성하였다. 모의 영역에서는 상부와 하부에 대규모 단열대들이 나타나 해당 단열대를 중심으로 주 단열망을 구성하였다.

### 2.2 균질한 수리지질학적 특성을 갖는 암반이 가정된 모의 영역

모의 영역 중에서 주 단열대를 제외한 암반 부분을 하나의 수리전도도값을 갖는 균질 매질로 가정하였다.

### 2.3 불균질한 수리지질학적 특성을 갖는 암반이 가정된 모의 영역

모의 현장의 공내 관측 자료를 통해 상당한 양의 배경 단열(background fracture)이 확인되었다. 확인된 국지적인 배경 단열의 자료를 통계적으로 분석하고 주 단열망과 연계하여 확장된 단열망을 구성하고 이를 모의 영역의 수리전도도 분포 작성에 이용하여 불균질한 모의 영역을 구하였다.

### 2.4 모의에 이용된 경계 조건

부지 규모 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. 모의 결과수리 시험 모의 결과

### 3.1 균질 모형 보정 결과

균질 모형에서는 하나의 값으로 가정된 암반의 수리전도도와 재충진량이 동시에 조정되어 보정되었다. 보정된 값은 암반의 수리전도도가  $5.28 \times 10^{-8}$  m/s, 재충진량은 10.65 mm/yr로 계산되었다.

### 3.2 불균질 모형 보정 결과

불균질 모형에서는 암반의 수리전도도가 배경 단열의 분포에 의해 정해지기 때문에 재충진량만이 조정되어 모델을 보정하였다. 그리고 배경 단열의 분포가 확률적으로 주어지기 때문에 충분한 숫자의 존재 가능한 배경 단열 분포를 생성하여 각각의 모델을 보정하고, 그 결과의 통계량을 결과 분석에 이용하였다. 보정된 재충진량은 20.05 mm/yr 이었다.

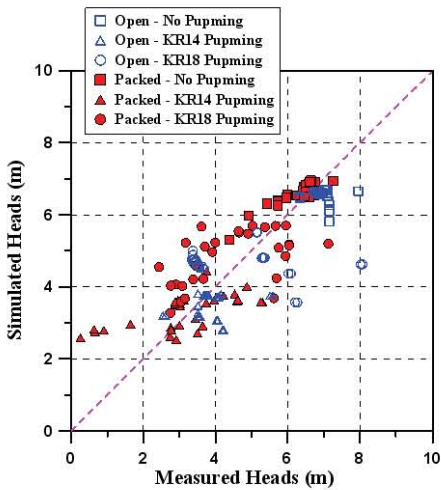


Fig. 1. Measured vs. simulated hydraulic heads in the case of the homogeneous bedrock.

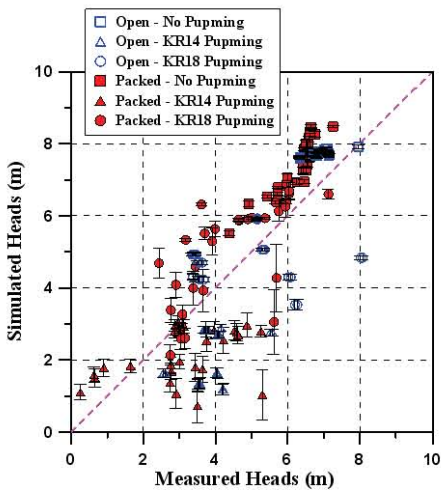


Fig. 2. Measured vs. simulated hydraulic heads in the case of the heterogeneous bedrock.

### 3.3 보정된 두 모형에서 입자 추적 모의를 실행한 결과

보정된 두 개의 지하수 유동 모형을 이용하여 심도별 입자 추적 모의를 실행하였다. 균질 모델에서는 심도가 깊어질수록 모의 영역 하단부의 고정 수두 경계 조건의 영향이 크게 나타났고, 지하수내 입자의 이동 속도도 상당히 빠르게 계산되었다. 이는 암반에 대한 균질 매질 가정에 의해 암반의 수리전도도가 매우 큰 값을 갖게 된 때때문으로 생각된다.

불균질 모델에서는 하단부 보다는 측면의 고정 수두 경계의 영향이 더 크게 나타났다. 배경 단일 분포에 의해 상부와 하부 모의 영역의 암반 영역

의 수리전도도 분포가 상이하게 나타나는데, 수리전도도가 상대적으로 큰 상부에서는 균질 매질의 경우와 비슷한 이동 시간을 보이나 하부에서는 모의 영역을 빠져나가는데 매우 긴 시간이 걸리는 것으로 계산되었다.

## 4. 결론

단일 암반에서의 지하수 유동 및 용질 이동을 모델링할 때 암반의 수리적 특성을 균질하게 가정하는 경우와 불균질하게 가정하는 경우로 나누어 모델을 작성, 보정하고 입자 추적 모의를 함께 실시하여 그 결과들을 분석하였다. 암반의 수리적 특성을 균질하게 가정하는 것이 현장에서 측정된 자료에 맞추는 것에는 더 유리해 보일 수도 있지만 실제 지하수 유동량에서는 차이가 생길 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 암반의 국지적 특성이 반영된 지하수 모델이 보다 확실한 현장 특성화를 위해 필요하다라는 사실을 확인하였고, 현장의 지하수위 자료 이외에 공내 유동량과 같은 부가적인 자료가 필요하다고 생각되었다.

## 5. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부 원자력연구개발사업의 지원을 받았음을 밝히며 이에 감사드립니다.

## 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.