

## 현장시험 및 DFN 모델을 이용한 굴착공동 주변 수리학적 EDZ 평가

김형목, 류동우, 신중호, 송원경

한국지질자원연구원, 대전광역시 유성구 과학로 92

[kimh@kigam.re.kr](mailto:kimh@kigam.re.kr)

### 1. 서론

공동 굴착에 따른 주변 암반의 변화양상은 굴착영향(혹은 손상)영역(Excavation Disturbed or Damaged Zone, 이하 EDZ)이라는 용어로 표현된다. 본 고에서는 굴착 공동 주변 수리학적 EDZ의 특성 평가를 목적으로 소형 다중패커 시스템(Modular Mini-Packer System, MMPS)을 이용한 국내 URL 시험갱도에서의 현장수리시험 결과와 EDZ 내 수리유동을 균열망(Discrete Fracture Network, DFN) 모델을 이용하여 모사한 수치해석 결과를 소개하였다.

### 2. 현장수리시험

수리학적 EDZ는 굴착공동 주변의 극히 제한된 좁은 영역에서 발생되기 때문에 일반적인 시추공 수리시험 장비로는 그 특성을 파악하기가 곤란하다. 특히, 굴착 공동 벽면으로부터의 거리 증가에 따른 투수계수의 연속적인 변화양상을 파악하기 위해서는 단구간의 시험구간을 이용한 일련의 수리시험이 요구된다.

EDZ 내 수리특성 파악을 목적으로 개발된 약 10 cm의 시험구간을 가지는 시추공 수리시험장비를 이용하여 국내 URL 시험갱도 주변영역의 갱도벽면으로부터의 거리에 따른 투수계수의 변화를 조사하였다 (그림 1). 갱도 위치에 따른 영향 정도 및 장비 적용성 검증을 목적으로 시험에 이용된 시추공 배치 및 사양은 그림 2 및 표 1과 같다. 시추공 수리시험으로는 순간충격주입시험(pulse injection test) 실시하고 투수성이 양호한 시험구간에 대해서는 정압주입시험(constant pressure injection test)을 추가적으로 실시하였다.

이들 시험으로부터 구한 투수계수의 변화양상은 그림 3과 같다. 그림에서 갱도 벽면에 가까울수록 굴착 손상의 영향으로 투수계수 값이 크고 멀어짐에 따라 작아지는 경향을 확인할 수 있다. 상대적으로 투수계수 값이 큰 갱도 벽면으로부터 1~2 m 영역까지 굴착에 의한 손상이 발생한 것으로 판단된다.

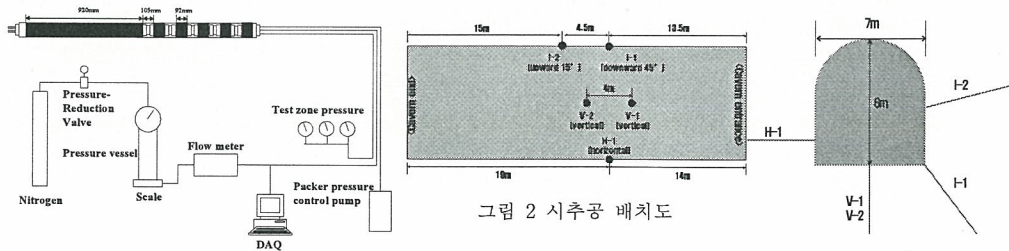


그림 1 EDZ 내 시추공 수리시험 장치

표 1 시추공 사양

Borehole	Drilling depth(m)	Borehole diameter(mm)	Remark
I-1	5.0	51.5	downward(45°) inclined
I-2	5.1		upward(15°) inclined
H-1	5.2		horizontal
V-1	6.6		vertical
V-2	7.3		

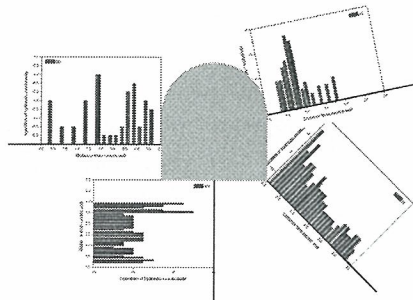


그림 3 갱도주변 투수계수 변화양상

### 3. DFN 해석

EDZ에서는 굴착에 의한 손상의 영향으로 기존 균열의 확장 및 신규 균열의 생성에 의한 투수성의 증가가 예상된다. EDZ 내에서는 균열을 통한 지하수 유동이 지배적일 것으로 예상되어 DFN 모델을 이용한 유동해석을 실시하고 EDZ 내 수리유동양상 파악 및 현장수리시험 해석에 필요한 유동모델 검증 실시하였다.

이를 위해 갱도 벽면에 조사창을 설치하고 균열 방향 및 크기에 대한 정보를 획득하였으며(그림 4) 균열 투수량계수는 현장수리시험 결과를 이용하였다. 시험 갱도 주변에는 3개의 균열군이 관측되었으며 현장조사 결과를 이용하여 생성된 균열망은 그림 5와 같다.

그림 6 및 7은 DFN 모델을 이용한 현장수리시험 해석결과로 얻어진 시추공 주변 압력분포양상과 diagnostic plot을 계측치 및 history matching 기법을 이용한 해석결과와 비교한 것이다. 균열이 잘 발달되어 균열 밀도가 상대적으로 증가하는 EDZ 내에서는 연결된 균열망을 통한 3차원적 수리유동을 예상할 수 있다. DFN 모델해석결과, 투수계수 추정시 일반적으로 가정되는 2차원 방사성 유동모델에 의한 결과와 유사한 결과를 볼 수 있다(그림 7). 이러한 비교·분석과정을 통해 투수계수 추정과정에서의 유동모델 및 유동차원과 관련한 불확실성을 저감하고 궁극적으로는 투수계수의 정밀도 향상을 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

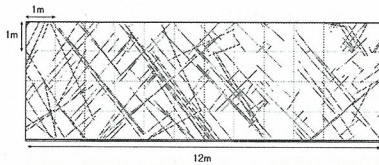


그림 4 갱도 벽면 조사창 관측 결과

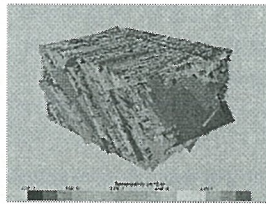


그림 5 시험갱도 주변 균열망

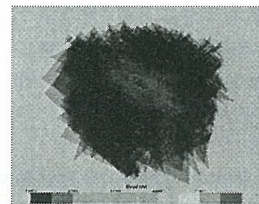
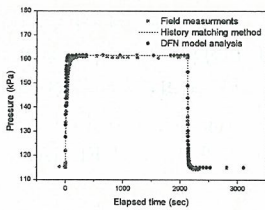
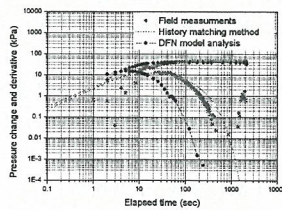


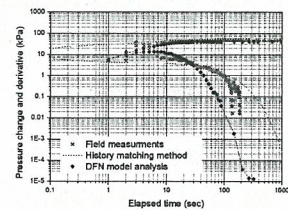
그림 6 시험구간 주변 압력분포 양상(주입개시 2160초 후)



a) Pressure history



b) Diagnostic plot during the constant flow rate injection test



c) Diagnostic plot during the recovery test after constant flow rate injection test

그림 7 DFN 모델을 이용한 수리시험 해석결과

### 4. 결론

본 고에서는 공동 굴착에 따른 주변 손상영역(EDZ) 암반의 투수 특성 변화를 평가할 목적으로 국내 지하연구소(URL)의 시험갱도를 이용한 현장시험 결과 및 DFN 해석모델을 이용한 EDZ 내 수리유동 해석 결과를 소개하였다. 굴착 공동 주변 수리학적 EDZ의 투수계수 추정의 정밀도 향상을 위해서는 적절히 설계된 시험장치를 이용한 현장시험결과와 함께 수치해석적 기법을 결합한 시험결과의 통합적 분석 및 해석이 요구될 것으로 판단된다.

### 사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 '지하 복공식 에너지저장시스템 개발'의 일환으로 수행되었습니다.