

# 암반의 3차원 불연속면 연결망 내에서의 지하수 유동해석

방상현 · 전석원<sup>1)</sup>

## 1. 서론

불연속면 연결망 모델은 결정질 암반의 지하수 흐름에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 불연속면이라는 개념에 근거하여 먼저 불연속면의 방향, 간격, 길이, 간극을 표현할 수 있는 확률밀도함수를 설정하고 이를 통해 불연속면을 발생시키고 해석적인 방법이나 유한요소법, 경계요소법 등을 이용하여 지하수 유동해석을 실시하는 방법이다. 이 방법은 1980년대에 들어서서부터 활발하게 연구되기 시작하였으며 불연속면의 기하학적 특징은 통계적 함수로 잘 표현될 수 있다는 점과 실제 지하수 흐름과 가장 유사한 모델이라는 측면에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 그러나 이 모델은 수 km 이상의 광역 지하수 유동 해석의 경우에는 균열 수로 인한 컴퓨터 메모리의 한계가 있는 단점을 갖고 있다.

이 연구에서는 불연속면의 기하학적 특성을 특정 분포함수로 가정하여 3차원 불연속면 연결망 모델을 발생시키고 지하수 유동해석을 실시하여 불연속면의 길이 및 간극 변화, 방향 분포 변화, 단층면 형성 등에 따른 암반의 등가수리전도도의 변화에 대해 고찰하였다.

## 2. 3차원 불연속면 연결망 발생 및 지하수 유동해석

이 연구에서는 불연속면의 특성인 발생빈도, 추적길이, 방향, 간극의 크기 등의 분포함수를 가정하여(Table 1) 3차원 불연속면 모델을 통계적으로 발생하였다(Fig. 1). 그리고 암반 내의 불연속면이 지하수 유동에 미치는 영향을 규명하기 위해, 3차원 불연속면 모델에 대하여 연결도 해석을 실시한 후 3차원 불연속면 연결망을 형성하여 지하수 유동 해석을 실시하는 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램을 이용하여 암반의 대표요소체적을 추정하였으며, 발생영역 외부의 불연속면이 지하수 유동에 영향을 미치는 경계효과를 고려한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하였다. 또한, 지하수 유동에 영향을 미치지 않는 작은 간극을 갖는 불연속면을 제거하고, 불연속면의 길이 및 간극 변화, 방향 분포 변화, 단층면 형성 등에 따른 암반의 등가수리전도도의 변화에 대해 고찰하였다.

그 결과 컴퓨터 메모리의 한계로 인해 대상지역의 대표요소체적을 정확하게 결정할 수는 없었지만, 대략  $25 \times 25 \times 25$  m<sup>3</sup> 이상에서 결정될 것으로 추정할 수 있었다(Fig. 2). 지하수 유동해석에 영향을 미치는 간극의 범위를 계산한 결과, 불연속면 평균 간극의 30% 이하의 간극을 갖는 불연속면은 지하수 유동에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다(Fig. 3). 입력 자료 중에서 암반의 등가수리전도도에 영향을 미치는 요소는 불연속면의 길이, 간극, 방향의 순서로 나타났다(Fig. 4, 5). 또, 경계효과를 고려한 경우와 그렇지 않은 경우의 등가수리전도도의 차이는 거의 없었으며(Fig. 6) 이는 대상지역이 간극이 큰 일부의 불연속면 내에서의 유동이 전체적인 지하수 유동에 크게 영향을 주기 때문인 것으로 판단되었다. 대상 암반에 단층면이 존재할 경우, 등가수리전도도는 단층면에 평행한 방향의 요소는 증가하며 이에

---

주요어: 불연속면 연결망 모델, 등가수리전도도, 대표요소체적, 지하수유동해석

1) 서울대학교 지구환경시스템공학부(bsh2218@rockeng.snu.ac.kr)

수직인 방향의 요소는 약간 증가하다 수렴하는 경향을 보였다(Fig. 7).

### 3. 결 론

이 연구를 통해 얻어진 주요 결론은 다음과 같다.

(1) 암반 내 불연속면의 방향성, 중심, 길이분포, 간극분포 등을 입력자료로 하여 3차원 불연속면 연결망 모델을 발생시켜 연결망 내에서의 지하수 유동해석 프로그램을 개발하였다.

(2) 개발된 프로그램을 통해 대표요소체적(REV: Representative element volume)을 구하려고 시도하였으나, 컴퓨터의 용량한계로 인해  $25 \times 25 \times 25$  m<sup>3</sup> 이상에서 결정될 것으로 추정만 할 수 있었다.

(3) 수리 해석에 불필요한 간극을 갖는 불연속면을 제거한 결과, 대상지역의 평균 간극인 2.89 mm의 0.3 배에 해당하는 0.867 mm까지의 간극을 갖는 불연속면을 제거해도 등가수리전도도에는 거의 차이가 없는 것으로 확인되었다.

(4) 불연속면의 방향, 길이, 간극 중에서 길이가 등가수리전도도에 미치는 영향이 가장 크며, 그 다음으로는 간극, 방향의 순서인 것을 확인하였다.

(5) 불연속면에 비해 상대적으로 큰 간극을 갖는 단층면이 존재할 경우에는 단층면에 평행한 방향으로의 등가수리전도도는 매우 빠르게 증가하였으며 단층면과 수직하는 방향의 등가수리전도도 또한 증가하는 경향을 보였지만 그 크기는 평행한 방향의 두 값에 비해 매우 작았다.

### 4. 참고문헌

1. 고태영, 3차원 절리망에서의 지하수 유동에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
2. 박병윤, 화산암질 암반에서의 공동 굴착에 따른 지하수체계 변화에 대한 3차원 수치모델 해석, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 2000.
3. 장근무, 3차원 균열연결망 모델에서의 유효투수계수 평가 및 터널굴착 지하수 유동해석에 대한 수치실험, 터널과 지하공간, Vol. 8, pp. 275-286, 1998.
4. 장현익, 통계적 접근법에 의한 불연속 암반의 지하수 유동해석, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1996.
5. 최재영, 원판형 절리 모형에 의한 암반의 3차원 불연속 연결망 모사에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 2000.
6. Billaux, D., Chiles, J.P., Hestir, K. and Long, J.C.S., Three dimensional statistical modelling of a fractured rock mass - An example from the Fanay-Augeres Mine, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 26, pp. 281-299, 1989.
7. Kulatilake, P.H.S.W., Wathugala, D.N., Stephansson, O., Joint network modelling with a validation exercise in Stripa Mine, Sweden, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 30, No. 5, pp. 503-526, 1993.

Table 1. Input data of each discontinuity set.

Item	Set 1	Set 2	Set 3
Dip Direction(° )	158.6	251.4	67.8
Dip Angle(° )	89.3	87.2	15.6
Fisher Dispersion K	9.95	7.46	7.17
Mean Length (m) (Negative exponential distribution)	2.74	2.91	2.45
Fracture Density (EA/m <sup>3</sup> )	0.1260	0.0476	0.0226
Mean Aperture (mm) (Log-normal distribution)	2.7751	3.0066	3.9047

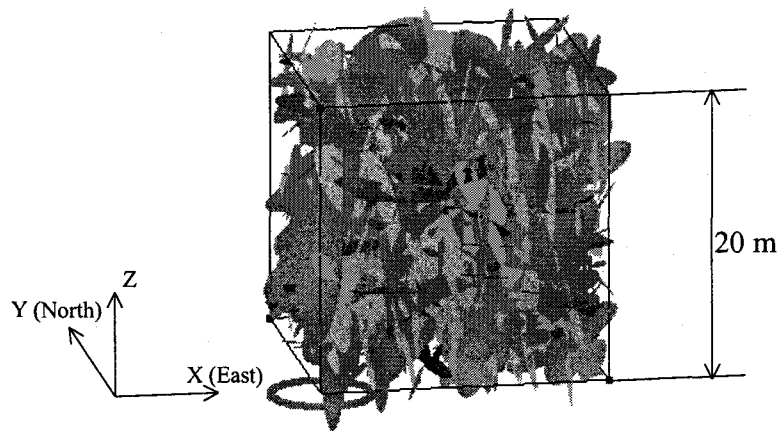


Fig. 1. Three dimensional discontinuity model generated by the program developed in this study.

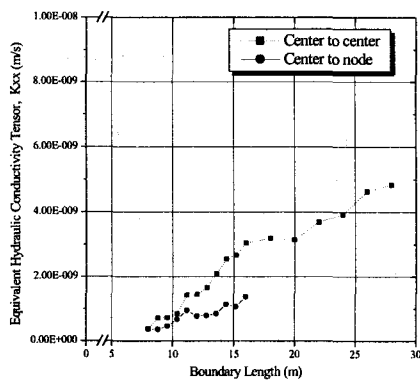


Fig. 2. Influence of volume on an equivalent hydraulic conductivity tensor,  $K_{xx}$ .

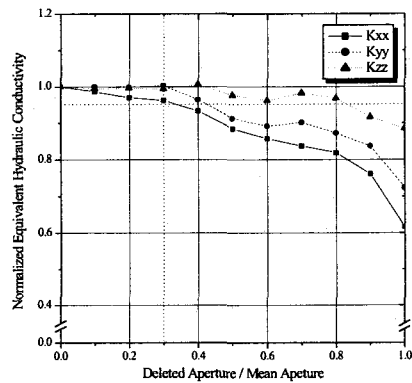


Fig. 3. Influence of eliminating discontinuities with small aperture on normalized equivalent hydraulic conductivity tensors,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$ .

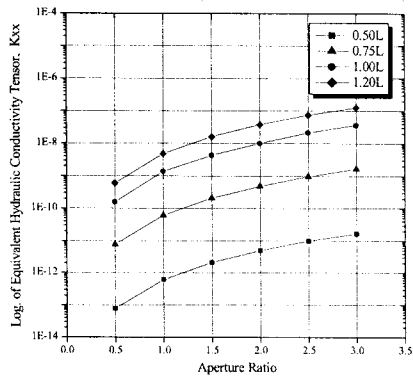


Fig. 4. Influence of length and aperture on an equivalent hydraulic conductivity tensor,  $K_{xx}$ .

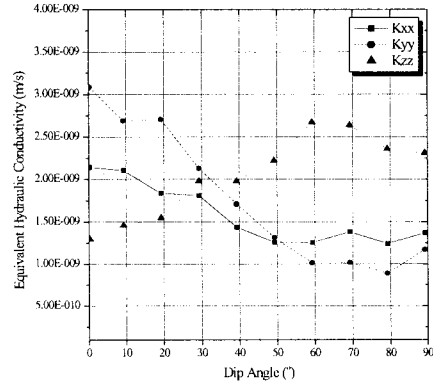


Fig. 5. Influence of dip angle on equivalent hydraulic conductivity tensors,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$ .

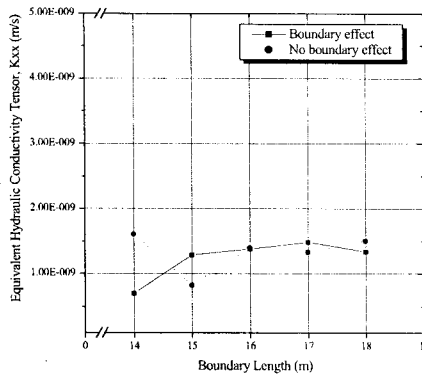


Fig. 6. Influence of boundary effect on an equivalent hydraulic conductivity tensor,  $K_{xx}$ .

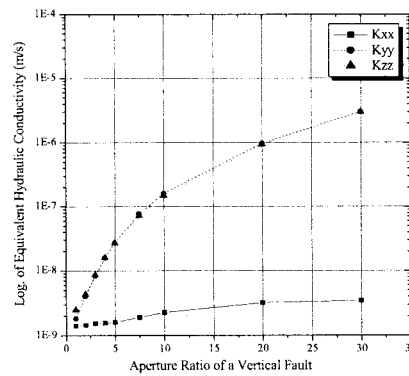


Fig. 7. Influence of a vertical fault on equivalent hydraulic conductivity tensors,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$ .