

조사창 조사를 통한 절리길이 분포의 추정에 관한 연구

송재준¹⁾ · 이정인²⁾

1. 서론

통계적 절리모델링 기법은 절리의 상호 교차에 의한 연결성 및 조합특성에 크게 영향을 받는 수리전도도나 암반블록의 안정성 해석에서 많이 적용된다. 통계적 절리모델링 과정에서 가장 불확실성이 큰 것은 절리의 길이분포를 추정하는 것이다. 절리를 포아송 디스크 모델로 가정할 때 절리의 길이분포를 구하는 과정은 크게 무한평면상의 절리선(joint trace) 분포를 구하는 것과 이것으로부터 공간상의 절리직경분포를 구하는 과정으로 나누어 볼 수 있다.

이 연구에서는 포아송 디스크 절리모델에 대하여 보다 정밀도가 높은 절리선 분포 추정 방법을 찾기 위하여 지금까지 절리선의 평균길이나 평면밀도를 추정하는 데에 주로 사용되어 온 조사창 조사를 이용하였다. 직사각형 및 원형 조사창에 대하여 양쪽 끝이 조사창 내부에 존재하는 절리선인 양끝 내포선(contained joint trace)의 길이 분포와 한쪽 끝만이 존재하는 한끝 내포선(dissecting joint trace)의 길이 분포를 이용, 절리선 분포를 추정하는 4개의 관계식을 각각 유도하고 컴퓨터 모의실험을 통하여 각 추정식의 타당성을 검증하였다. 또한 절리선 분포로부터 절리직경분포를 계산하는 수치적 해를 유도하고 컴퓨터 모의실험을 통해 수치적 해의 타당성을 검증하였다.

2. 절리선 분포의 추정

2.1 직사각형 조사창

폭과 높이가 각각 W, H 인 직사각형 조사창이 있을 때 이 조사창의 평면에 평행하지 않으며 방향이 일정한 절리군이 조사창에 교차하는 경우를 가정한다. 절리선의 길이가 l 이고 절리선과 조사창의 수평경계선이 이루는 각도가 θ 일 때 양끝 내포선의 길이분포를 이용하여 절리선의 길이 분포 $f(l)$ 을 다음과 같이 유도하였다.

$$f(l) = \frac{N_{all}^c}{\rho_A (\sin \theta \cos \theta l^2 - (W \sin \theta + H \cos \theta)l + WH)} f^c(l) \quad (1)$$

여기서, $f^c(l)$ 은 양끝 내포선 분포의 확률밀도함수이며 ρ_A 는 평면밀도이고 N_{all}^c 은 조사창 내에 있는 양끝 내포선의 총 개수이다.

조사창 내 길이가 l 인 한끝 내포선의 길이분포를 이용할 경우 절리선의 누적확률분포 $F(l)$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

주요어: 조사창 조사, 절리선 분포, 절리직경 분포

- 1) 서울대학교 공과대학 자원공학과 박사후 연구과정
- 2) 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 교수

$$F(l) = 1 + \frac{N_{all}^d}{2\rho_A(2 \sin \theta \cos \theta l - (W \sin \theta + H \cos \theta))} f^d(l) \quad (2)$$

여기서, $f^d(l)$ 은 한끝 내포선 분포의 확률밀도함수이고 N_{all}^d 는 조사창에 나타나는 한끝 내포선의 총 개수이다.

2.2 원형 조사창

원형 조사창은 원형 또는 마제형 터널의 굴착 막장 등에서 적용성이 높은 방법이다. 조사창의 반경을 R 이라고 할 때 원형 조사창의 양끝 내포선 및 한끝 내포선의 길이분포를 통하여 무한 평면상의 절리선 분포를 구하면 각각 아래의 식(3) 및 (4)와 같다.

$$f(l) = \frac{N_{all}^c}{\rho_A \dot{A}_i^c} f^c(l) \quad (3)$$

$$F(l) = 1 - \frac{N_{all}^d f^d(l)}{4\rho_A \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}} \quad (4)$$

$$\text{여기서, } \dot{A}_i^c = -l \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} + 2R^2 \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}}{R} \right)$$

3. 절리직경분포의 계산

조사방법(조사창 또는 조사선 등)에 상관없이 일단 무한평면에서의 절리선 분포를 결정한 후에는 이 분포를 이용하여 직경분포를 환산할 수 있다. 이 연구에서는 다음과 같이 절리선 분포로부터 직경분포를 추정하는 수치식을 유도하였다.

$$c(N-i) = \left[\frac{\mu_s}{\Delta s} (1 - F(N-(i+1))) - \sum_{j=0}^{i-1} \sqrt{(S_x - j\Delta s)^2 - (S_x - (i+1)\Delta s)^2} \right] / \sqrt{(S_x - i\Delta s)^2 - (S_x - (i+1)\Delta s)^2} \quad (5)$$

여기서, $c(N-i)$ 는 $0 \sim S_x$ 의 범위를 갖는 직경분포함수를 Δs 단위로 나누어 히스토그램으로 표현할 때 히스토그램의 $N-i$ 번째 구간 크기이고 μ_s 는 평균직경이다.

4. 모의시험 결과 및 결론

절리선 분포를 추정하는 4개의 관계식 및 절리직경을 환산하는 수치식에 대하여 컴퓨터 모의실험을 이용, 타당성을 검증하였다.

각 추정방법에 대한 모의실험 결과 절리선 분포 추정시 직사각형 또는 원형 조사창에서 양끝 내포선 분포를 이용하는 효율적인 것으로 나타났다. 직사각형 조사창의 한끝 내포선 분포와 조사선의 절리선 반길이 분포는 절리선 분포 추정시 비슷한 추정성능을 가지는 것으로 평가되었고 절리선 전길이 분포와 직사각형 조사창의 양끝 내포선 및 한끝 내포선 분포를 비교한 결과 절리선 분포 추정 정밀도면에서 양끝 내포선 분포가 가장 우수하였고 그 다음이 절리선 전길이 분포, 그리고 한끝 내포선 분포 순으로 나타났다.