

암석의 표면 평균기울기를 통한 3D JRC 정량화에 관한 연구

김형준, 이덕환, 이승중, 최성웅 (강원대학교)

1. 서론

암석절리면의 거칠기를 나타내는 파라미터로 가장 널리 사용되고 있는 Barton & Choubey(1977)의 절리면 거칠기 계수(JRC)는 정량적인 파라미터가 아니며 2차원적인 평가로 국한되기 때문에 객관적이지 못하고 측정자의 주관적인 오차를 포함한다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 통계적 파라미터를 이용하는 방법, 프랙탈 차원을 이용하는 방법 그리고 스펙트럼 분석을 이용하는 방법 등이 시도되어 왔으나(박병윤과 권상기, 2000), 2차원적인 해석에서 벗어나고 있지 못하는 실정이다.

절리면은 3차원적인 표면이기 때문에 실제 절리면의 특성을 전체적으로 포함하는 3차원 프로파일을 이용하여 절리면의 거칠기를 정량화할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 표면 평균기울기를 적용한 3차원적인 평가 방법으로부터 절리면 거칠기 정량화시키고자 하였다.

2. 이론적 배경

본 연구에서는 3차원 절리면 프로파일의 정량화를 위해 2차원 거칠기 파라미터로 미소평균 거칠각(A_i)을, 3차원 거칠기 파라미터로 표면평균기울기(θ_s)를 각각 이용하여 해석을 실시하였다.

2.1 미소 평균 거칠각(A_i)

A_i 는 측정간격이 일정할 때 각 측정간의 미소 기울기의 평균을 낸 거칠기 계수로서 Z2방법과 더불어 가장 많이 사용되며, 통계적 파라미터 방법 중 상관도가 가장 높은 것으로 보고되고 있다(천병식과 김대형, 2001).

$$A_i = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \tan^{-1} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta x} \right) \quad (1)$$

여기서, n 은 측정 개수, y 는 높이 좌표, Δx 는 측정간격이다.

2.2 표면평균기울기(Surface Angularity)

하나의 미소평면에 대하여 평면에 수직인 법선벡터를 생성하고, 이 법선벡터와 기준 축(Z축)간의 사잇각을 α_k 라 하며, 이를 미소평면의 기울기를 대표하는 값으로 나타낼 수 있다(Belem *et al.*, 2000). 3차원 표면상의 모든 미소평면에 대하여 구해진 α_k 의 평균을 표면평균 기울기(θ_s)라 하며, 이는 $0^\circ \leq \theta_s \leq 90^\circ$ 의 범위를 갖는다.

$$\theta_s = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\alpha_k)_i \quad (2)$$

여기서, θ_s 는 표면평균 기울기, m 은 미소 평면의 개수, α_k 는 미소평면의 경사각이다.

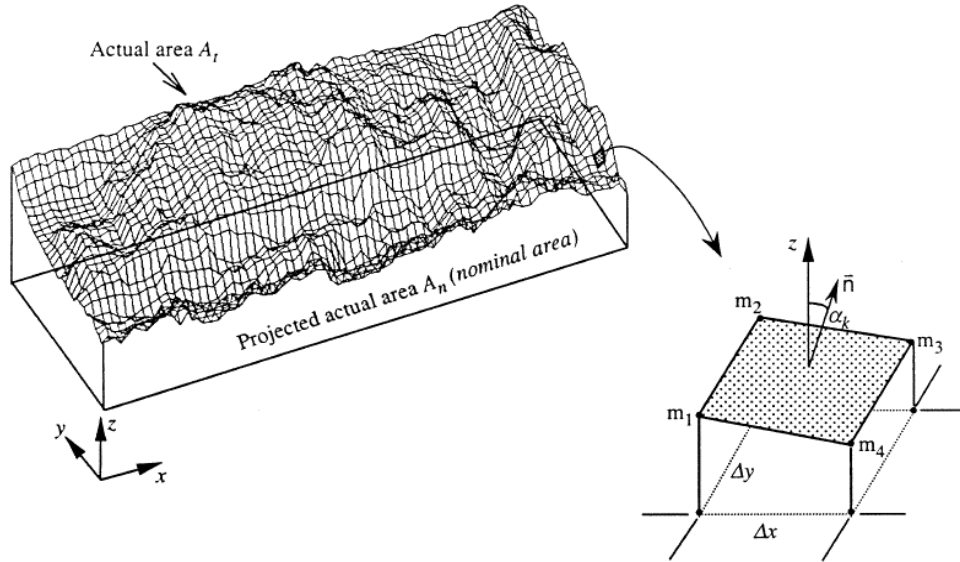


그림 1. 미소평면에서의 경사각(Belem *et al.*, 2000)

2.3 몬테카를로 기법(Monte-Carlo Method)

몬테카를로 기법은 구하고자 하는 수치의 확률적 분포를 반복 가능한 실험의 통계로부터 구하는 방법이며 확률변수에 근거한다. 반복된 실험으로부터 얻어진 결과값을 바탕으로 통계 자료를 취득하고, 역산을 통해 특정한 수치나 확률분포를 구하는 방법이기 때문에 자료가 많을수록, 입력값의 분포가 균일할수록 결과의 신뢰도가 보장된다. 본 연구에서는 몬테카를로 기법 중 확률분포 함수와 표준편차를 이용하여 난수를 발생시키는 방법을 적용하였다(Palispade Corp., 2010).

3. 연구방법

본 연구에서는 Barton이 제시한 표준 JRC 프로파일을 수치화하기 위해 각 JRC 등급에 해당하는 표준 프로파일모델을 해상도 1200 dpi급 스캐너를 이용하여 스캔한 후, CorelDRAW 이미지 프로그램을 이용하여 프로파일을 100 mm길이로 재조정 하였다. 재조정된 표준프로파일을 수치화하기 위해 x축을 10,000 픽셀로 확대하고, C++를 이용하여 프로파일의 픽셀 좌표를 취득하였다. 이를 축척에 맞추어 공학적 수치로 변형한 후, 측정간격 0.1 mm일 때의 x, y좌표를 획득하였다. 획득한 좌표를 이용하여 0.2 mm, 0.3 mm, 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm, 5.0 mm의 간격으로 프로파일을 생성하였으며, 각 측정간격에 대한 RMS, A_i 를 분석하였다.

동일한 JRC값을 갖는 3차원 절리면을 생성하기 위하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 적용된 몬테카를로 기법은 높이의 표준편차와 평균값을 갖는 난수를 측정의 개수만큼 발생시켜 가상의 프로파일을 생성하는 방식이다. 높이의 분포특성은 2차원 프로파일의 일반적인 분포특성인 정규분포를 적용하였으며, 평균값은 0으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 높이의 표준편차인 RMS는 실제 JRC와 비교하였을 때, 낮은 상관도를 보이기 때문에 몬테카를로 기법에 적용할 표준편차를 새로 산출하는 것이 필요하다. 따라서 표준 프로파일에서 측정한 A_i 와 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 생성된 가상프로파일의 A_i 를 비교하고, 이를 회귀분석 하여 새로운 표준편차를 산출하였으며, 산출된 값을 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 의 3차원 프로파일을 생성에 이용하였다(그림 2).

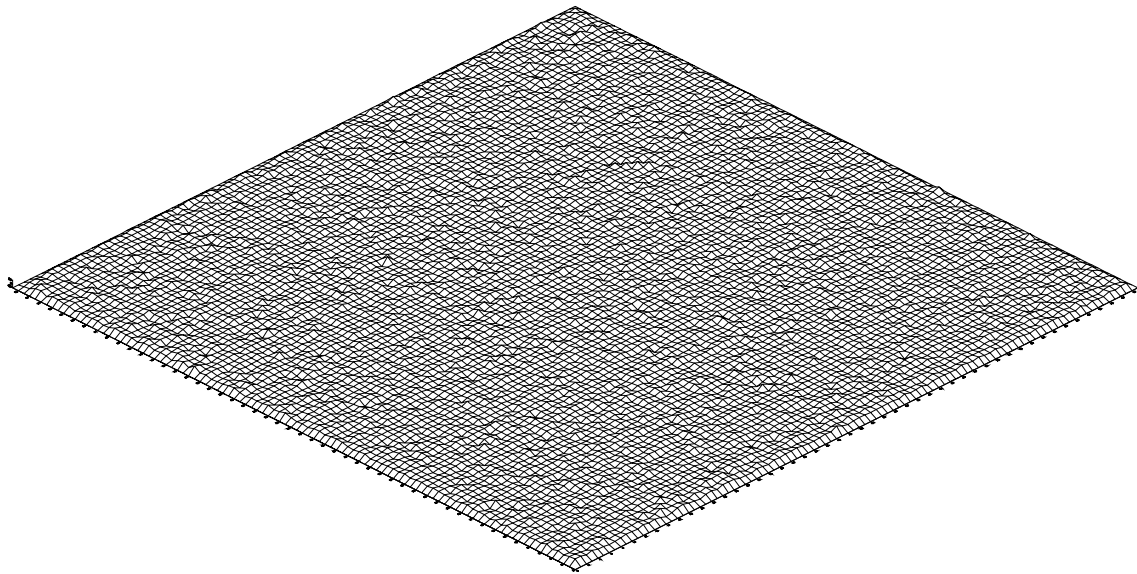


그림 2. 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 생성된 가상의 3차원 절리면

몬테카를로 시뮬레이션을 통해 측정간격과 JRC에 따른 총 60여개의 3차원 프로파일을 생성하였고, 생성된 가상 3차원 프로파일에서 3차원 파라미터인 θ_s 와 2차원 파라미터인 $A_{i_{avg}}$ 를 구하였다.

4. 연구결과

본 연구에서는 0.2 mm, 0.3 mm, 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm, 5.0 mm의 총 6개 측정간격에 대하여 표면평균기울기를 측정 및 비교 분석해 보았다.

그림 3에 보여지는 바와 같이 측정간격이 작을수록 더 큰 표면평균기울기 값을 나타낸다. 이는 A_i 방법과 Z2방법의 적용결과와 유사한 양상이라고 볼 수 있으며, 측정간격이 작을수록 거칠기 측정이 세밀하게 이루어지기 때문이다.

$A_{i_{avg}}$ 와 표면평균 기울기 간의 관계는 전체적으로 선형적인 관계를 나타낸다(그림 4). 이는 3차원 가상프로파일을 생성함에 있어서 2차원 프로파일인 A_i 를 보정용 파라미터로 사용했기 때문에

나타난 결과이며 실제 암반 절리면에 있어서는 다른 양상을 보일 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 측정간격이 넓을수록 낮은 상관값을 갖게 되는데, 이는 측정간격이 커짐에 따라 몬테카를로 시뮬레이션에서 발생하는 난수의 수가 적어지기 때문에 발생하는 오차로 판단된다.

절리면 거칠기 계수와 표면평균기울기는 그림 5와 같이 전체적으로 선형적인 관계를 나타내며, 측정간격이 좁을수록 더 큰 표면평균기울기를 갖게 된다. 상관값에 있어서도 측정간격이 0.2 mm 일 때 가장 높은 0.998, 5.0 mm 일 때 0.993으로 최저값을 나타냈다. 또한, 전체적인 추세선의 기울기에서도 측정간격이 넓을수록 낮은 기울기를 보이고 있다.

결과적으로 본 연구에서 수행된 표면 평균기울기를 이용한 정량화 방법은 가상 프로파일에서의 JRC와 밀접한 상관관계에 있음을 분석할 수 있었다.

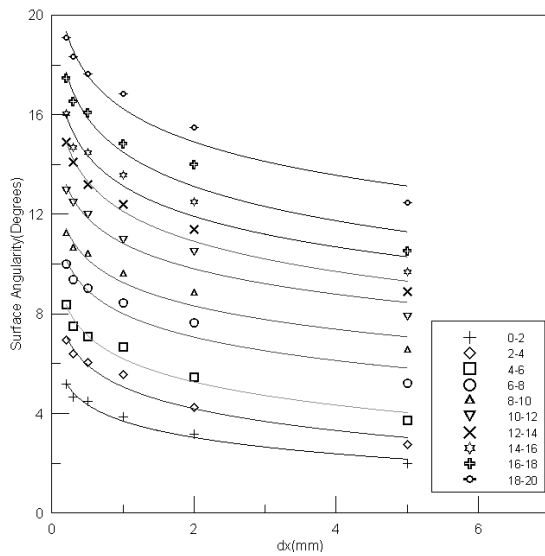


그림 3. θ_s 와 측정간격 간의 관계

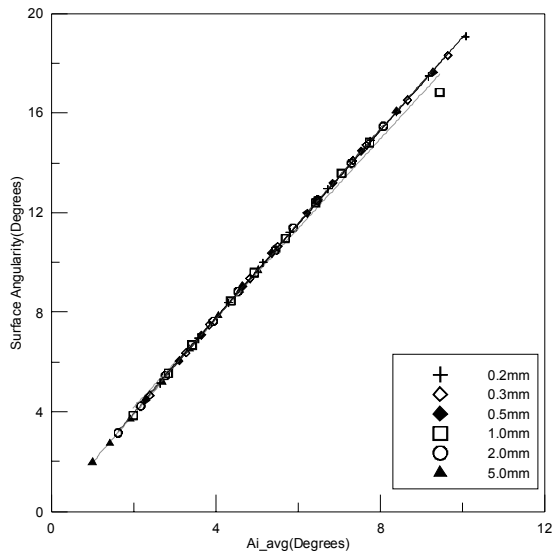


그림 4. A_i 와 표면평균기울기 간의 관계

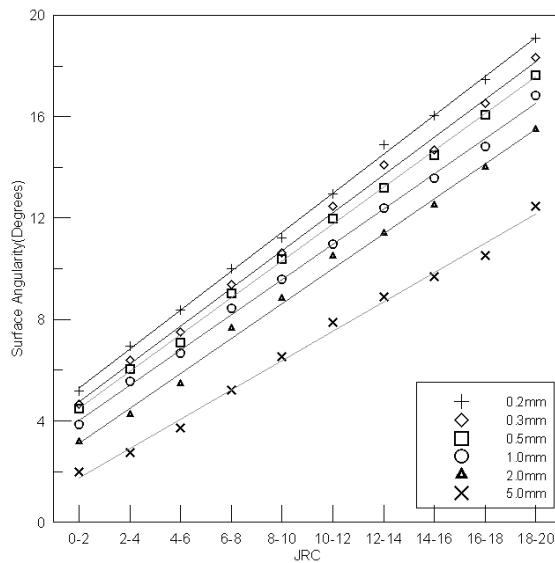


그림 5. JRC와 표면평균기울기 간의 관계

5. 결 론

본 연구에서는 Barton & Choubey가 제시한 표준 JRC프로파일을 각 등급별 0.1 mm 간격으로 수치화하였다. 이를 기준으로 몬테카를로 기법을 통해 3차원 가상 절리면을 생성하였으며, 생성된 프로파일을 3차원 파라미터인 표면평균기울기를 이용하여 절리면의 거칠기를 평가하였다. 이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 표면평균기울기인 θ_s 는 3차원 가상 절리면의 거칠기를 정량적으로 표현할 수 있었으며, Barton이 제시한 JRC 프로파일을 3차원으로 확장시킨 가상절리면의 표면평균기울기 값의 범위는 $2.0^\circ \sim 19.1^\circ$ 로 분석되었다.
- (2) 측정간격의 변화에 따른 표면평균기울기는 간격이 넓을수록 낮은 값을 보였으며, 전체적으로 로그함수적인 감쇠양상을 나타냈다.
- (3) Ai방법과 표면평균기울기에 의한 결과는 상관값이 1에 가까운 선형관계를 보였다. 이러한 결과는 Barton의 2차원 절리 등급을 3차원 가상절리면으로 생성하기 위해 변환시키는 방법이 있어서 Ai 방법을 기초자료로 활용하였기 때문에 상관관계가 높게 나타난 것으로 판단된다.

본 연구에서는 가상 절리면에 대해 표면평균기울기 방법을 도입하여 평가해 보았다. 평가 결과 표면평균기울기는 JRC 정량화에 적합한 것으로 나타났지만, 가상의 3차원 프로파일을 생성하여 평가한 결과이기 때문에, 향후 실제 암석절리면에 적용하여 적합성을 검토하는 것이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 박병윤, 권상기, 2000, 암반 절리 거칠기의 정량화에 대한 연구현황 분석, 터널과 지하공간, Vol. 10, No. 4, pp. 566-579.
2. 천병식, 김대영, 2001, 암석 절리면 거칠기의 정량화에 대한 수치적 연구, 한국지반공학회는 문집, Vol. 17, No. 1, pp.85-97.
3. Barton, N. and Choubey, V., 1977, The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice, Rock Mechanics, Vol. 10, pp. 1-54.
4. Belem, T., Homand-Etienne, F., and Souley, M., 2000, Quantitative Parameters for Rock Joint Surface Roughness, Rock Mechanics & Rock Engineering, Vol. 33, No. 4, pp. 217-242.
5. Palisade Corp., 2010, @RISK Guide to Using, pp. 139-169.