

시추공 영상자료를 이용한 절리 방향성의 수직적 변화양상에 관한 정량적 평가: 제천 인근 화강암의 예

김기석((주)희송지오택)

박연준(수원대학교)

박영도, 장한기((주)희송지오택)

1. 서론

같은 지역에서 산출하는 동일 암석의 암반의 역학적 거동에 영향을 미치는 중요한 요소 중의 하나가 암반에 발달되어 있는 절리의 상태이다 (Hoek and Brown, 1980). 예를 들면, Hoek-Brown 경험식의 인자 중 하나인 GSI 인자는 절리의 발달 상태를 나타내며, Hoek-Brown 경험식에서 암반의 강도를 결정짓는 중요요소이다.

일반적으로 지표상 암반에서 관찰되는 절리의 발달상태가 지하심부의 발달상태와는 많은 차이가 있을 것으로 여겨지는데 이는 지표 근처에서 관찰되는 절리가 풍화에 의한 응력조건의 변화등에 의해 지질학적으로 비교적 최근에 짧은 시간내에 형성되기 때문이다. 이러한 관찰을, 캘리포니아 주립대학 토목공학과 Goodman 교수는 다음과 같이 기술하고 있다 (Goodman, 1993; 심성암의 공학적 특성을 다루는 장, page 239). “심성암 암반에서, 지하공간 굴착 작업 중 풍화, 수평관상 절리와 관련된 공학적 문제들은 대개 지표에서 지표 60m의 심도 구간에서 일어난다.”

우리는 이 연구를 통해 암반 내 절리의 변화양상을 정량적으로 평가하여 설계 및 시공에 활용될 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위하여 (1)시추공에서 촬영된 영상을 이용한 절리 분석작업과 (2)심도구간별로 얻어진 절리자료의 동질성에 대한 통계적 검증작업이 행하여진다(그림 1). 각 구간별 동질성 판단 결과는 심도별 절리의 변화양상에 대한 정량적 자료이므로 지공학적 단면에 활용될 수 있다.

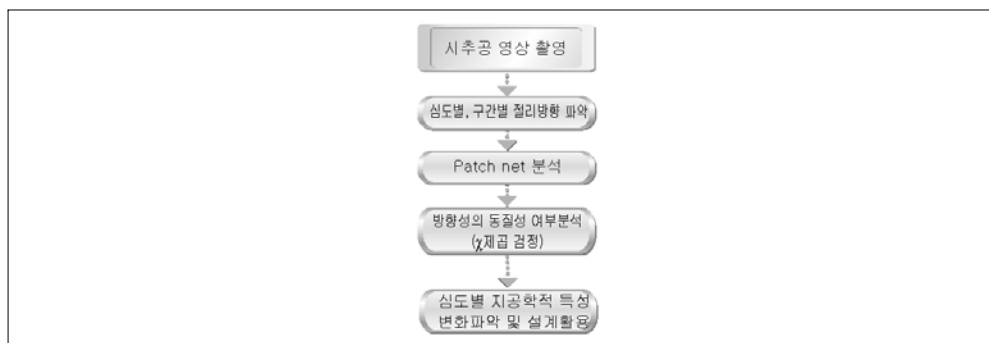


그림 1. 개념도

2. 이론적 배경

선형탄성(linear elasticity)모델을 이용하면 지하 심부에 위치하는 암반이 지표의 풍화작용으로 인한 지표근처로의 위치 변화에 따른 응력조건의 변화를 계산할 수 있다 (Turcotte and Schubert, 2002). 지표에서 h m의 하중이 풍화작용으로 인하여 없어지는 경우를 가정하면,

$$\overline{\sigma_2(=\sigma_3)} = \sigma_2 + \Delta\sigma_2 = \rho gh + \frac{v}{1-v} \Delta\sigma_1 = \rho gh - \frac{v}{1-v} \rho gh \text{ 가 된다. 식 (1)}$$

위의 식에서 $\overline{\sigma_2}$ 와 $\overline{\sigma_3}$ 는 풍화 후의 수평응력, $\Delta\sigma_1$ 와 $\Delta\sigma_2$ 는 풍화에 의한 응력의 변화량, ρ, g, v 는 각각 밀도, 중력가속도, 포아송비를 나타낸다. 위의 식에 실제 수치를 적용하면 ($h = 1\text{km}$, $v = 0.25$, $\rho = 2,500\text{kg/m}^3$ 일 때), $\overline{\sigma_2} = \overline{\sigma_3} = 16.7\text{MPa}$ 가 된다. 즉, 지중에서 존재하지 않던 축차응력(differential stress)이 지표근처에서 형성되게 되며, 암반의 강도가 풍화작용에 의해 상대적으로 낮아지면서 파괴에 의해 절리가 지표부근에서 만들어진다. 이와 같은, 이유로 지표에서 관찰되는 암반내 절리의 양상이 지중과는 다르게 나타나게 된다.

3. 통계적 검증 방법을 이용한 심도구간별 절리군 변화양상의 정량적 분석

심도 구간별 절리의 방향자료는 시추공영상 분석을 통해서 획득된다. 이러한 자료를 구간별로 나눈 후(예, 50m 구간 간격), 각 구간의 절리 방향성의 상호 동질성이 χ^2 검증을 통하여 이루어지게 된다(Miller, 1983; 엄정기, 2007).

χ^2 검증을 위하여 절리방향 자료를 등면적 입체투영도에 투영한 후 (그림 2), 입체투영도를 조각으로 만든 영역망(patch net)의 각 영역에 포함되는 절리의 개수를 세어서 이 자료로 χ^2 검증을 수행한다. 이때 하나의 구간의 절리 방향성 자료는 두개의 patch 영역의 경계에 해당되는 절리의 경우 영역분석 시 문제가 발생할 수 있기 때문에 각 patch를 10도 간격으로 회전하여 총 18가지 경우를 분석하게 된다.

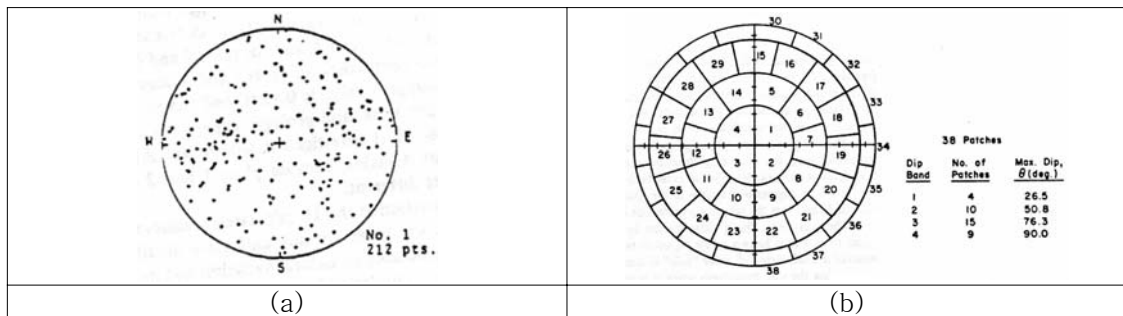


그림 2. 일정 심도구간에서의 절리면 구조(a)와 등면적 투영도를 일정한 조각으로 나눈 영역망(b)

“두 절리자료는 서로 균질하다, 혹은 동일하다”라는 귀무가설(null hypothesis)을 테스트하기 위하여 이 연구에서는 χ^2 검증을 이용하였다. 제천 인근의 화강암을 대상으로 한 시추공 영상 자료를 분석한 결과는 그림 3과 4에 나타나 있다.

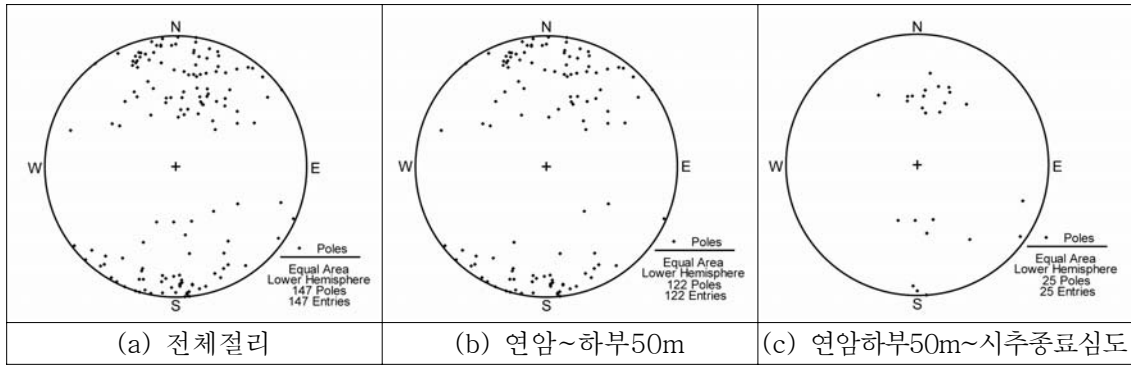


그림 3. 제천 인근 화강암 시추공 전체의 절리와 심도별 절리 입체투영 결과

Rotation(10도)	rot= 0	rot= 1	rot= 2	rot= 3	rot= 4	rot= 5	rot= 6	rot= 7	rot= 8	rot= 9	rot=10	rot=11	rot=12	rot=13	rot=14	rot=15	rot=16	rot=17
자유도	34	31	33	31	34	32	33	33	32	32	33	33	33	32	33	31	33	32
Chi-Square	69.1	71.3	76.6	69.8	68.5	74.4	74.5	75.6	74.7	79.8	77.5	68.1	74.6	73.6	74.2	69.1	77.3	72.6
임계치	48.6	45.0	47.4	45.0	48.6	46.2	47.4	47.4	46.2	46.2	46.2	47.4	47.4	46.2	47.4	45.0	47.4	46.2
동질여부	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질	비동질
CHI-Square TEST Result TB-14(Tae-A) VS TB-14(Tae-B)																		
자유도			Chi-Square 통계량			임계치			동질여부									
Max	Ave.	Min	Max	Ave.	Min	Max	Ave.	Min	Max	Ave.	Min							
34.0	32.4	31.0	79.8	73.4	68.1	48.6	46.7	45.0	비동질	비동질	비동질							

그림 4. 영역망을 이용한 검증작업을 위해 작성된 프로그램의 출력물의 예

상기 결과는 시추공영상자료의 방향성 분석결과를 χ^2 검증을 통해 심도별 방향성 동질여부를 정량적으로 분석한 결과로 불연속면의 방향성이 심도에 따라 비동질한 것으로 나타나 일정 구간을 기준으로 상부와 하부의 불연속면들은 서로 상이한 방향성의 불연속면들이므로 파악되었다.

4. 결론

이 연구에서 기술된 방법대로 시추공영상자료에서 획득된 자료를 분석하여 심도별 방향성을 정량적으로 분석한 결과, 심도별 방향성은 비동질한 것으로 나타났다. 이는 지표에서 조사된 불연속면들을 터널구간까지 적용하기에는 불합리한 것으로 판단할 수 있으며, 아울러 터널구간에 대한 조사 및 설계시 시행되는 균질절리영역 분석의 경우에도 심도별로 절리의 방향성이 다르므로 많은 주의가 요구된다. 따라서 터널구간의 경우 심도에 따라 적절한 원위치 불연속면의 조사방법이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Goodman, R.E., 1993, Engineering geology: rock in engineering construction, John Wiley & Sons, Inc., 412p.
2. Hoek, E. and Brown, E.T., 1980, Empirical strength criterion for rock masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106(GT9), 1013-1035.

3. Miller, S. M., 1983, A statistical method to evaluate homogeneity of structural populations, *Mathematical Geology* V. 15
4. Turcotte, D.L. & Schubert, G., 2002, *Geodynamics* - 2nd ed, Cambridge University Press, 456p.
5. 엄정기, 2007, 철리암반내 동질구조구 구분을 위한 정량적 기준에 대한 연구, 2007 한국암반공학회 춘계학술발표회 논문집, II-1-14