

RQD의 3차원분포 도시화와 변화특성에 관한 연구 및 현장적용 검토

최시영¹⁾ · 박형동²⁾

A Study on Graphical Determination of RQD variation in 3-D Space and Its Application into Field Survey Data

Si-Young Choi and Hyeong-Dong Park

Abstract. RQD is used to evaluate the degree of fracture in the rock mass and is also used as input into rock mass classification scheme, such as RMR and Q-system. However there are some drawbacks of the RQD caused by anisotropy and calculation length. Thus it is important to understand the variation of RQD in 3-D space in order to evaluate the properties of rock mass. The main purpose of this study is to reveal the distribution of RQD in the equal-angle stereo net, to investigate the effects of scanline length and joint frequency and to inquire the effect on the selection of rock mass strength parameters in the numerical analysis. Analysis has been extended to field joint survey data using same method. The results can be applied to contribute for more accurate interpretation of the results of engineering geological survey for better design and construction work.

Keywords: RQD, variation in 3-D, rock mass classification

초 록. RQD는 암반의 파쇄정도를 평가하고 암반분류의 변수로서 중요하나 이방성 및 산정길이에 따른 오차를 내포하고 있다. 따라서 보다 정확하게 토목시공 대상암반의 RQD를 평가하기 위해서는 3차원공간에서의 RQD 변화특성을 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 등각평사투영망상에 RQD의 3차원적 분포를 도시하고 산정길이와 절리빈도에 따른 RQD의 오차 정도를 파악하고자 하였으며 이후 설계과정에서의 영향을 검토하고 또한 이를 국내현장에 적용하여 보았다. 이러한 시도는 지질조사 결과를 보다 정확하게 설계 및 시공에 반영하고 이후 시공과정에서의 지질조사에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어: RQD, 3차원 공간상 변화특성, 암반분류

1. 서 론

RQD는 처음 제안된 후 시추코아로부터 암반의 파쇄정도를 정량화할 수 있는 변수로 널리 사용되었다. 초기에는 RQD 자체로 암반의 강도나 변형계수 등을 추정하고 암반분류를 시도한 사례도 있었으나 현재에 이르러서는 RMR과 Q-system 등의 암반분류법에 투입되는 하나의 변수라는 의미가 더 크다. 그러나 여전히 RQD는 암반의 파쇄정도에 대한 정보를 제공하며 많은 현장자료가 축적되어 타 지역 자료와의 비교를 통해 조사설계 및 시공에 있어 경험적인 기준이 되기도 한다.

그러나 여러 장점에 불구하고 RQD는 선형의존성

(linear dependency), 파쇄정도에 둔감한 기준값(threshold, 10 cm) 등이 단점으로 지적되고 있다(Priest, 1993; Harrison, 1999). 또한 터널 및 사면의 안정성해석을 위한 수치해석시 2차원단면해석이 주로 이루어지는데 이는 선형의존성이 강한 1차원적인 RQD 정보를 2차원으로 확장하여 대상암반의 변형거동해석의 입력 변수설정에 이용하는 것이라 할 수 있다. 더구나 시공되는 토목구조물은 3차원형태로 존재하므로 조사자료와 해석결과 혹은 시공결과 간에는 큰 차이가 존재할 수 있다. 그러므로 시추조사나 지표지질조사를 통해 획득된 RQD의 터널단면상의 2차원적 분포 파악과 더 나아가 3차원공간에서의 RQD 값의 범위를 파악하는 것이 중요하다. 따라서 Hudson과 Priest(1983), Harrison(1999) 등은 조사선의 방향에 따른 절리빈도와 RQD의 분포를 파악하고 도시하는 연구를 수행한 바 있으나 국내에서는 이와 같은 RQD 이방성에 따른 변화가 고려

¹⁾학생회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

²⁾정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수

접수일 : 2001년 9월 17일

심사 완료일 : 2001년 11월 26일

Table 1. Orientations of joint sets(after Harrison, 1999).

Set	1	2	3	4
Orientation (dip/dip direction)	25/058	81/186	72/050	68/120
Frequency (m ⁻¹)	1.96	2.87	3.61	2.44

되지 않고 있다.

이를 위해 본 연구에서는 임의의 절리군과 절리빈도를 갖는 암반에 대해 임의의 조사선에서의 RQD 값을 기존의 식을 통해 추정하고 이를 등각평사투영망에 도시함으로써 대상암반 RQD의 3차원적인 변화를 파악하고자 한다. 또한 RQD 값에 미치는 여러 요인에 대해 검토하고 RQD 값의 차이가 암반분류값과 그로부터 추정되는 강도정수에 미치는 영향을 기존 추정식의 검토를 통해 살펴보기로 한다.

2. RQD 변화 분석

2.1 RQD 변화량의 등각평사투영망 도시

Table 1에 제시된 절리군 자료에 대하여 임의의 조사선 상에서의 절리빈도를 계산한 후 등각평사투영망(equal-angle stereographic projection net)에서 등빈도곡선을 작성하였다. 이때 조사선의 방향은 주향(trend)과 경사(plunge) 모두 5°씩 변화시켰다. 일반적으로 절리군의 파악에 이용되는 평사투영망은 등면적투영망(equal-area stereo net)이며 투영망 면적의 1%에 포함되는 절리의 극점수에 대한 등빈도곡선을 작성하여 절리군의 존재를 파악하게 되는데 투영망 외곽으로 갈수록 투영형태의 왜곡이 심화된다. 이에 비해 본 연구에서는 각 조사선에서 나타나는 RQD 값만으로 등빈도곡선을 작성하는 것이므로 투영형태의 왜곡이 없는 등각투영망을 이용하였다.

각 조사선에서의 절리빈도, λ_s 는 식 (1)로 구한다.

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i |\cos \delta_i| \tag{1}$$

λ_i 는 각 절리군의 법선방향의 절리빈도(이하 수직절리빈도), $\cos \delta_i$ 는 각 절리군의 수직성분과 조사선이 이루는 각의 코사인 값으로 식 (2)와 같이 구한다. α_m 와 α_s 는 각각 절리군 수직성분과 조사선의 주향, β_m 와 β_s 는 각각 절리군 수직성분과 조사선의 경사이다.

$$\cos \delta_i = \cos(\alpha_m - \alpha_s) \cos \beta_m \cos \beta_s + \sin \beta_m \sin \beta_s \tag{2}$$

식 (1)에서 구한 절리빈도로부터 Priest와 Hudson (1976)이 제시한 식 (3)을 이용하여 RQD 값을 추정하

였다.

$$RQD = 100(1 + 0.1\lambda)e^{-0.1\lambda} \tag{3}$$

λ : discontinuity frequency on the scanline

이와 같이 계산된 절리빈도와 RQD의 투영 결과는 Fig. 1과 같다.

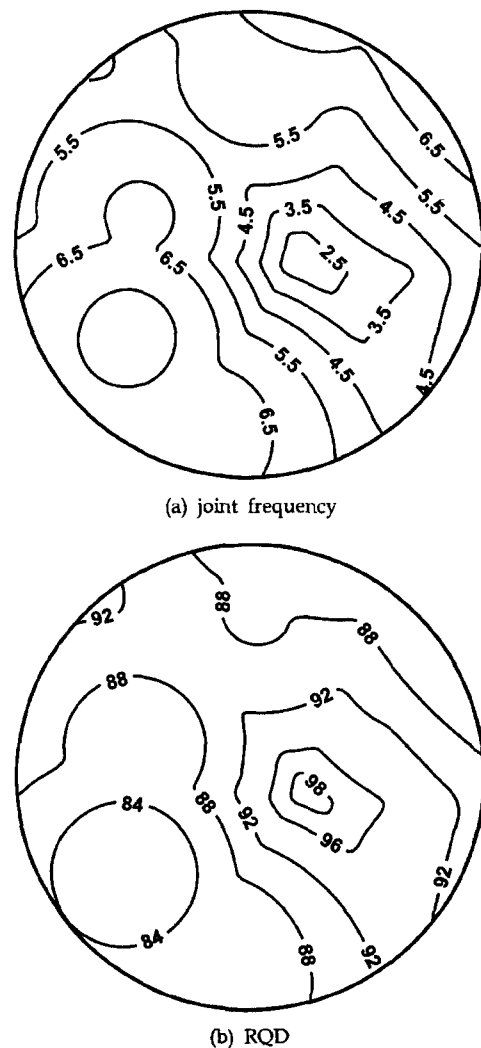


Fig. 1. 3-D distribution of joint frequency and RQD plotted on Wulff net.

Fig. 1로부터 절리빈도와 RQD는 조사선의 방향에 따라 값의 차이를 보이는 이방성이 존재함을 확인할 수 있다. 그러나 본 예에서 RQD 값은 82~98%의 값을 보여 큰 변화를 보이지는 않는다. 이는 절리빈도 자체의 이방성이 상대적으로 작은 점에도 기인하나, 보다 근본적인 이유는 Harrison(1999)이 지적하였듯이 RQD의 기준값 10 cm가 절리빈도의 이방성을 RQD에 잘 반영하지 못한다는 점에 있다고 할 수 있다. 이러한 점에 근거하여 Harrison(1999)은 대상암반의 RQD값의 분산범위를 최대화할 수 있는 최적기준값(optimal threshold)을 새로운 파쇄기준으로 제안하기도 하였다. 따라서 이와같은 RQD의 이방성을 고려할 때, 시추조사방향은 경사(plunge)가 90°인 조사선이라고 가정할 수 있으므로 암반의 파쇄정도를 대표하는 값으로 시추코어 RQD만을 사용하는 것은 재고되어야 하며 3차원적인 RQD의 변화를 파악할 필요가 있다고 판단된다.

2.2 조사선길이가 RQD 추정에 미치는 영향

국내에서는 일반적으로 대략 1회 시추길이인 1.5 m 내지 2 m 내외에 대해 하나의 RQD 값을 산출한 후 풍화암, 연암 및 경암구간의 대표값으로 산술평균값을 사용하고 있다. 그러나 전체 시추길이에 대해 산출된 RQD 값과 각 산정길이마다 산출된 RQD의 평균값은 서로 상이하며, 수십 cm에 국한된 파쇄대의 영향을 고려하지 못하는 경우가 발생한다.

국내에서 많이 인용되고 RQD 추정을 위해 사용되는 식 (3)은 원래 식 (4)와 같이 조사선의 길이(L)가 포함되나 조사선의 길이 L이 충분히 크다면 식 (4)의 두 번째 항은 매우 작으므로, 식 (3)으로 간단히 쓸 수 있다.

$$RQD = 100[e^{-0.1\lambda}(1 + 0.1\lambda) - e^{-\lambda L}(1 + \lambda L)] \quad (4)$$

따라서 RQD는 조사선길이가 절리빈도의 함수이며, 전술한 바와 같이 실제 시추조사시 RQD의 산정길이가 충분히 길다고 할 수 없는 경우가 많으므로 임의의 절리빈도에 대하여 산정길이에 따른 RQD 값의 변화를 식 (4)를 통해 살펴보았으며 그 결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2를 통해 절리빈도가 작을수록 RQD 추정값은 산정길이의 영향을 보다 많이 받으며, 산정길이가 짧은 경우에는 추정되는 RQD 값이 크게 변화함을 알 수 있다. 또한 산정길이가 짧은 경우 절리빈도가 낮을수록 추정 RQD 값이 오히려 더 낮게 나타났다. 이러한 사실은 산정길이가 짧을 경우 측정된 절리빈도로부터 식 (3)이나 식 (4)를 사용하여 RQD를 추정할 경우 상당한 자료

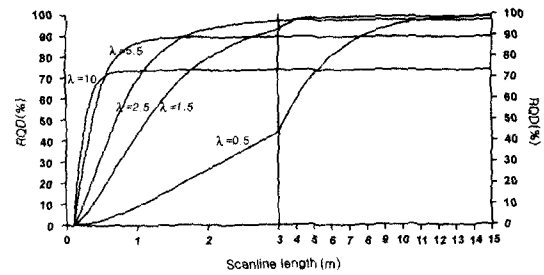


Fig. 2. Estimated RQD according to lag distance (based on Eqn. (4)).

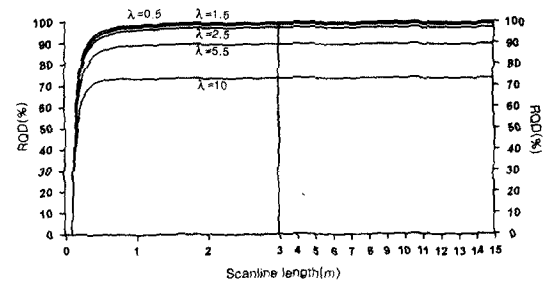


Fig. 3. Estimated RQD according to lag distance (based on Eqn. (5)).

의 왜곡이 발생함을 의미한다.

이에 대해 Sen과 Kazi(1984)는 조사선의 길이가 짧은 경우의 RQD 추정식을 식 (5)와 같이 유도, 제안하였다.

$$RQD = \frac{100}{1 - e^{-\lambda L} - \lambda L e^{-\lambda L}} [(1 + 0.1\lambda)e^{-0.1\lambda} - (1 + \lambda L)e^{-\lambda L}] \quad (5)$$

식 (4)로부터 RQD를 추정할 경우(Fig. 2), 대략 15 m 이상 산정길이가 충분히 길 경우에 RQD 값이 수렴하고 있으나, 약 3~5 m 이내의 짧은 길이에서는 낮은 절리빈도에서 오히려 낮은 RQD 값이 추정됨을 확인할 수 있다.

반면 식 (5)로부터 추정되는 RQD의 경우(Fig. 3) 1 m 이하의 짧은 산정길이에서도 높은 절리빈도에서 낮은 RQD 값이 추정되는 합리적인 결과를 보이고 있으며 모든 절리빈도에 대해 추정되는 RQD 값의 변화패턴이 유사한 형상을 띠고 있다. 또한 산정길이 1 m 이상에서는 절리빈도에 관계없이 각 절리빈도에 대하여 일정한 RQD 값을 추정하고 있다. 이로써 현장지표지질조사나 특히 노출면의 면적이 상대적으로 작은 터널내 지질조사에서 획득되는 절리간격 내지 절리빈도 자료로부터

RQD 추정을 위해서는 Sen과 Kazi(1984)가 제안한 식을 이용하는 것이 보다 타당할 것으로 판단된다.

2.3 절리빈도에 따른 RQD의 분산 특성

ISRM(1978)은 조사된 절리간격으로부터 기재되는 대표절리간격의 경우 평균값보다는 최빈값을 사용하기를 권고하였다. 절리간격은 일반적으로 음의 지수분포를 보이는 것으로 알려져 있다. 그러므로 시추코아로부터 산출된 RQD는 임의의 확률분포상에서의 한 값이라 할 수 있으며 또한 조사선기법을 통해 측정된 절리간격 혹은 절리빈도로부터 추정된 RQD 역시 확률변수이다. 따라서 대상암반의 절리분포양상으로부터 산출가능한 RQD 값의 분포가 어떠한가를 살펴볼 필요가 있다. 예를 들어 임의의 절리빈도에 대해 RQD가 지수분포나 로그분포를 보인다면 RQD의 평균이 대상암반의 RQD를 대표하는 것으로 판단하기에는 논란이 있을 수 있다.

이를 위해 절리빈도(λ)가 1.5, 3.5, 5.5, 7.5, 9.5, 11.5, 13.5, 15.5, 17.5 인 음지수분포를 보이는 난수를 발생시켜 각각의 값을 절리간격이라 가정하고 각 경우마다 500개의 난수를 발생시킴으로써 전체 조사길이를 충분히 크게 하여 RQD 산정길이의 영향을 배제하였다. 각 절리빈도마다 170번을 반복함으로써 충분히 큰 표본집단을 생성하여 각각의 RQD 분포를 발생시켰다. 그 결과 각 절리빈도에서의 RQD의 평균값과 표준편차를 Table 2에 요약하였다.

모든 절리빈도에 대해 RQD의 분포는 절리빈도 5.5 m^{-1} 인 경우와 마찬가지로 정규분포를 띠고 있으며 (Fig. 4) 평균값은 식 (3)으로 추정된 RQD 값과 동일한 값을 보이고 있다. 이는 추정식 자체가 음지수 분포를 보이는 절리간격의 확률분포로부터 RQD의 평균값(기대값)을 유도하는 식이기 때문이다. 다만 절리빈도가 클수록, 즉 암반의 파쇄정도가 심할수록 상대적으로 분산이 증가함을 확인할 수 있으나 암반분류에 있어 유의한 변화를 야기하지는 않을 것으로 판단된다. 그리고 RQD 산정길이가 충분히 길 경우 수직시추코아시료로부터 산출된 RQD는 모평균과 큰 차이를 보이지 않을 것으로 예상되며 평균값이 대표값으로서 의미를 띤다고 할 수 있다. 따라서 시추코아로부터 계산된 RQD의 산정길이

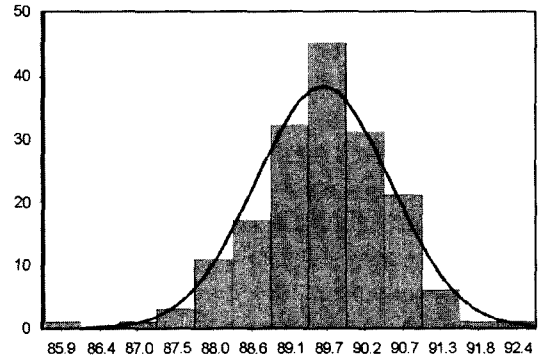


Fig. 4. RQD distribution at joint frequency 5.5 m^{-1} .

가 짧을 경우에는 이후 설계단계에 반영할 때 RQD의 이방성, 산정길이에 따른 변화와 분산특성 등이 고려되어야 할 것이다.

2.4 암반분류값의 변화에 미치는 영향

RQD는 암반의 파쇄정도를 평가할 수 있는 지수로서 RMR이나 Q와 같은 암반분류시스템 내 중요변수로서 사용되고 있다. 암반분류값은 터널설계시 수치해석과 더불어 중요한 설계방법 중 하나이며 현지암반의 파괴 조건계수, 압축강도, 변형계수 등 수치해석의 입력변수 산정에 널리 이용되고 있다. 수치해석을 통한 암반구조물 설계 및 안정성 해석에서 가장 중요한 부분은 보다 정확한 입력변수의 선정이며(장명환, 양형식, 1999) 대안 중 하나가 입력변수의 분포로부터 도출가능한 결과의 분포를 파악하는 것이다.

본 연구에서는 RQD의 이방성 내지 추정오차가 암반분류값의 차이에 미치는 영향과 그로 인해 기존에 제안된 강도정수 추정식을 통한 추정되는 강도정수의 변화도 예를 통해 간단히 살펴보았다. 물론 대체로 RQD가 낮은 암반의 경우 절리간격, 절리상태 등의 변수 또한 좋지 않은 점수를 보이게 되나 본 연구에서는 다른 암반분류변수는 동일하다고 가정하였다.

검토결과 RQD의 변화만으로도 RMR 값은 최대 17 점 차이가 났으며 그로 인해 강도의 경우 최대강도와 최소강도의 비가 최대 2.8배의 차이를 보이고 있으며 변

Table 2. Statistical results of RQD simulated from each joint frequency.

statistics	frequency	1.5	3.5	5.5	7.5	9.5	11.5	13.5	15.5	17.5
mean		98.97	95.11	89.60	82.52	75.44	67.95	61.01	54.1	47.8
standard deviation		0.18	0.51	0.96	1.67	2.13	2.28	2.73	3.16	3.15
estimated RQD by Eqn. (3)		98.98	95.13	89.43	82.66	75.41	68.08	60.92	54.12	47.79

Table 3. Effect of RQD variation on the estimated strength parameters for each case.

set	case 1	case 2	case 3	case 4
# Orientation(dip/dip dir.)	Frequency(m ⁻¹)	Frequency(m ⁻¹)	Frequency(m ⁻¹)	Frequency(m ⁻¹)
1 25/058	1.96	1.96	1.96	9.5
2 81/186	2.87	5.5	10.5	10.5
3 72/050	3.61	3.61	3.61	8.5
4 68/120	2.44	6.5	15.5	15.5
Max Δ RMR	3(20/17)	7(20/13)	12(20/8)	17(20/3)
(E _{max} - E _{min}) ¹⁾	6	7	24	28
E _{max} /E _{min} ²⁾	1.2	1.5	2.0	2.7
$\sigma_{n,max}/\sigma_{n,min}$ ³⁾	1.2	1.5	2.1	2.8

E_m = 2RMR - 100 (Bieniawski)¹⁾
 E_m = 10^{(RMR-10)/40} (Serafim and Pereira)²⁾
 $\sigma_{n,m}$ = 0.5exp (0.06RMR) (Trueman)³⁾

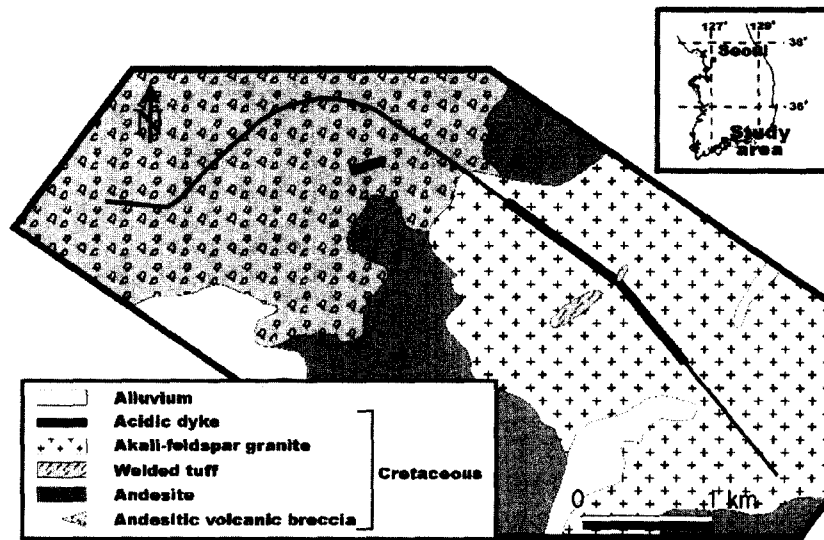


Fig. 5. Simple geologic map around tunnel area.

형계수의 경우 Bieniawski 식에 의해서는 최대와 최소의 차이가 28 GPa, Serafim과 Pereira 식에 의해서는 최대와 최소의 비가 최고 2.7배까지 차이를 보이고 있다 (Table 3). 그 외 암반강도와 변형계수를 RMR 값과 연관시킨 식들이 여러 연구자들에 의해 제안된 바 있는데, 장명환과 양형식(1999)은 이 식들이 모두 RMR 값에 대해 비선형적으로 강도와 변형계수를 추정하고 있으며 RMR 값의 범위에 따라 적용성이 서로 상이함을 지적하였다. 이는 실제 산정길이와 이방성에 따른 RQD의 변화가 RMR 값의 차이에 미치는 효과가 더욱 증가할 수 있음을 시사한다.

따라서 대상암반의 암반분류값 산정시 단순히 시추코아로부터 산출된 RQD 값의 분포가 아닌 이방성이 고

려된 3차원 내지 해석단면상에서의 RQD의 분포가 고려되어야 이후 암반구조물의 설계 및 시공에 보다 정확하게 조사결과를 반영할 수 있다고 판단된다.

3. 현장적용과 결과

지표지질조사를 통해 획득된 절리정보로부터 추정된 RQD와 시추코아로부터 산출된 RQD를 비교하였다.

3.1 대상지역과 지질조건

대상지역은 여수시 호랑산 일대로 17번 지방도 우회도로가 건설예정인 지역으로 지질은 중생대 백악기 유천층군인 화산암류와 이를 관입한 알칼리화강암으로 이

루어져 있으며 특히 비교구간인 터널구간의 기반암은 알칼리화강암류만으로 구성되어 있다.

3.2 대상지역의 3-D RQD 분포 파악

조사선에서의 절리빈도를 계산하기 위해서는 각 절리군의 수직절리빈도가 파악되어야 되나 조사과정에서는 파악할 수 없다. 이에 Karzulovic와 Goodman(1985)은 수직절리빈도를 계산하는 행렬식을 제안한 바 있다. 그러나 Priest(1993)는 Karzulovic와 Goodman(1985) 제안의 단점으로 행렬식의 연산을 위해선 절리군의 파악을 위한 정확한 지질조사가 선행되어야 하는 현실적인 문제를 지적하였다. 즉 지질조사 결과로부터 조사선 방향의 보정을 거친 후 구한 수직절리빈도의 평균이 더 나은 추정값이라 지적한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 조사된 절리방향자료로부터 절리군의 수와 대표방향을 파악하고 각 조사선에서 방향보정을 거친 절리군별 평균간격의 역수를 수직절리빈도로 간주하였다. 그리고 터널구간의 지질이 단일암종으로 단순하며 전체적으로 수직절리의 발달이 현저하여 대상암반 전체를 동일한 절리분포패턴을 보이는 영역으로 설정하였다. 연구지역의 절리군의 분포현황은 Table 4와 같다.

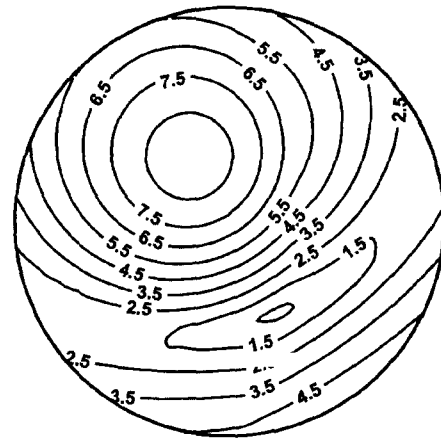
대상암반 RQD의 3-D 분포는 Fig. 6에 도시하였다. 절리빈도는 $0.34 \sim 9.05 \text{ m}^{-1}$, RQD는 77~100% 범위의 값을 보였으며 시추방향이라 할 수 있는 경사(plunge)가 90인 조사선의 절리빈도와 RQD는 각각 7.15 m^{-1} , 84%의 값을 나타내었다. Fig. 6과 같은 분포양상을 보이는 이유로는 절리군 1, 2, 3의 극점(pole)이 절리군 4에 비해 서로 근접하게 위치하고 있기 때문이며 이로 인해 최대절리빈도 및 최소 RQD는 약 50/330 방향의 조사선 위치에서 나타난다.

3.3 시추코아 RQD와 비교 및 터널방향과의 관계

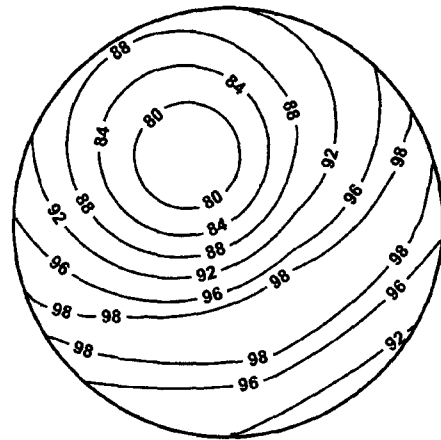
Fig. 7은 RQD의 3-D분포에 터널방향을 도시한 것이다. 대상터널은 크게 세 부분의 직선구간으로 구획할 수 있는데 모두 최대 및 최소 RQD 부근을 지나가고 있다. 터널방향과 동일방향인 수직단면 상에 나타나는 RQD는 77~100%, 77~100%, 79~100%이며, 수치해석 상

Table 4. Characteristics of each joint set in the tunnel area.

	Orientation	normal frequency
	dip/dip direction	
Joint set 1	87/328	1.30
Joint set 2	87/087	3.46
Joint set 3	85/219	1.18
Joint set 4	40/160	3.51



(a) frequency



(b) RQD

Fig. 6. 3-D distribution of joint frequency and RQD estimated from rock mass.

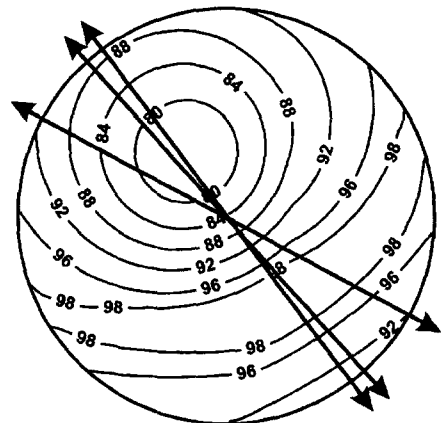


Fig. 7. Relationship between RQD distribution contour and tunnel direction(solid arrow).

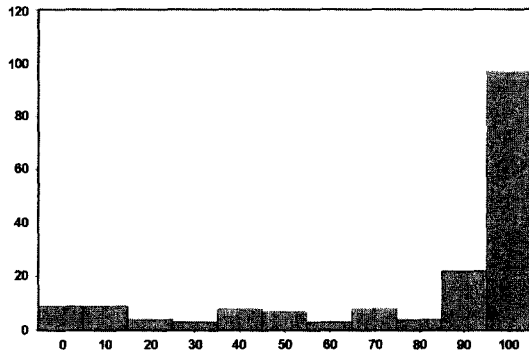


Fig. 8. Distribution of RQD evaluated from cores.

해석단면의 방향으로 이용되는 터널방향과 직교하는 수직단면상에서는 84~98%, 84~98%, 82~99%를 보이고 있다. 따라서 터널 측벽, 천단 등에서 조사선기법에 따라 지질조사를 수행하여 획득될 절리빈도나 RQD의 이방성이 크게 나타날 수 있음을 예상할 수 있으며, 이러한 방법을 통해 RQD의 이방성이 상대적으로 적게 나타나도록 터널노선 선정에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

시추코아 RQD의 평균산정길이는 3.69 m(표준편차 1.04 m)로 나타났으며 RQD 값의 분포는 전체 평균은 약 78%, 제로값을 제외한 평균은 약 82%, 2배 표준편차 이하의 값을 outlier로 간주하고 제거한 후의 평균은 약 86%로 나타나 추정된 RQD와 더불어 RMR 시스템상 모두 동일한 17점의 가중치를 갖는다. 그러나 시추코아 RQD의 분포를 살펴보면 대부분 100%의 값을 보이고 있다(Fig. 8).

원인을 파악하기 위해 절리빈도 7.15 m⁻¹를 가지며 산정길이가 3 m 내외가 되도록 무작위수를 발생시켜 RQD를 산출한 후 이의 분포를 살펴보았다(Fig 9a, b). 산정길이의 평균은 3.48 m로 시추코아 RQD 산정길이의 평균과 유사한 값을 보이며 대략 정규분포를 나타낸다. 또한 RQD는 평균 81%의 값을 보이며 Fig. 4의 정규분포와는 달리 어느 정도의 왜도(skewness)가 존재하는 분포를 보이는데 이는 산정길이의 차이에 의한 것으로 판단된다.

따라서 시추코아 RQD의 심한 왜도 현상은 대상암반에 발달한 대부분의 절리가 수직절리이므로 수직방향의 시추조사에서는 잘 나타나지 않기 때문으로 사료된다. Bieniawski(1974)는 RQD는 불연속면의 간격 뿐 아니라 어느 정도 풍화를 반영하는 지수라고 지적한 바 있어 왜도 현상은 지표에 노출된 암반과 지중암반과의 풍

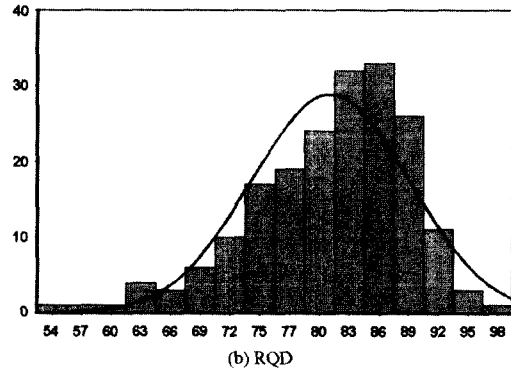
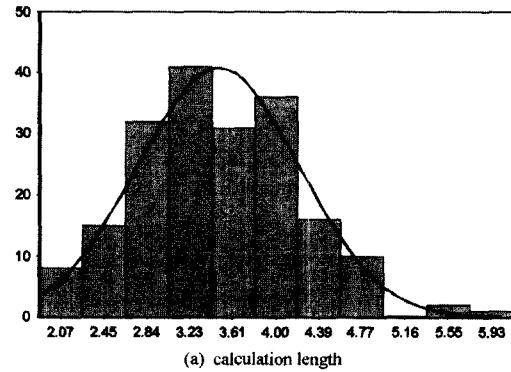


Fig. 9. Estimated RQD distribution of joint frequency 7.15 m⁻¹, in the case of short scanline.

화 정도의 차이에도 기인된다고 판단된다. 또한 시뮬레이션 결과를 참조하면(Fig. 9b) 산정길이가 짧은 점에 어느 정도 기인된다고 판단된다.

4. 결 론

지반조사에서 중요조사 항목인 RQD의 특성에 대해 검토하고 이를 현장자료에 적용하여 본 결과 다음의 본 연구 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, RQD의 3-D 분포를 도시함으로써 대상암반의 RQD 이방성의 정도를 파악할 수 있었으며, 조사선 기법을 통해 RQD를 추정할 때 노두가 작을 경우 국내에 널리 사용되는 Priest와 Hudson(1976)이 제안한 식보다 Sen과 Kazi(1984)가 제안한 식이 보다 합리적인 결과를 도출하고 있음을 알 수 있었다. 또한 음지수분포로부터 RQD 분포를 시뮬레이션 한 결과 조사선의 길이가 15 m 이상 충분히 길 경우 절리빈도에 관계없이 작은 표준편차를 갖는 정규분포를 보이고 있었다.

둘째, 이방성 등에 따른 RQD의 차이가 암반분류값으로부터 추정되는 수치해석 입력변수에 미치는 영향은

검토한 결과 암반의 절리분포에 따라 강도와 변형계수의 최대, 최소간에 상당한 차이를 보일 수 있음이 관찰되었다.

셋째, 터널건설을 위한 현장자료에 대해 적용하여 본 결과 시추코아 RQD와 지표지질조사 결과 추정된 RQD 간에는 평균값에서는 큰 차이가 존재하지 않았으나 RQD 분포에 있어서는 상당한 차이를 보이고 있다. 이는 대상암반에 수직절리가 현저히 우세하게 발달되어 있는 점과 RQD의 산정길이와 조사선의 길이가 짧은데 따른 오차로 판단된다. 또한 RQD 3-D 분포의 도시를 통해 터널단면 및 측벽 등에 관찰될 RQD의 범위가 예측가능하게 되면 보다 정량적인 터널노선의 선정과 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 서울대학교 공학연구소 지원 하에 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Priest, S.D., 1993, Discontinuity analysis for rock engineering, Chapman & Hall, 474p.
2. Harrison, J.P., 1999, Selection of the threshold value in RQD assessment, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 36, 673-685.
3. Hudson, J.A. and Priest, S.D., 1983, Discontinuity frequency in rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 20, 73-89.
4. Priest, S.D. and Hudson, J.A., 1976, Discontinuity spacing in rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 13, 135-148.
5. Sen, Z. and Kazi, A., 1984, Discontinuity spacing and RQD estimates from finite length scanlines, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 21.4, 203-212.
6. ISRM, 1978, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geo. Abstr. 15, 319-368
7. 장명환, 양형식, 1999, 암반구조물의 수치해석을 위한 입력자료의 비교분석, 터널과 지하공간, 9, 221-229
8. Bieniawski, Z.T., 1978, Determining rock mass deformability : Experience from case histories, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 15, 237-247
9. Serafim, J.L. and J.P., Pereira, 1983, Consideration of the geomechanics classification of Bieniawski, Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Constr. LNEC, Lisbon, 1, II.33-II.42
10. Trueman, R., 1988, An evaluation of strata support techniques in dual life gateroads, Ph.D. Thesis, University of Wales Cardiff.
11. Karzulovic, A. and Goodman, R.E., 1985, Determination of principal joint frequencies, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 22, 471-473.
12. Bieniawski, Z.T., 1974, Geomechanics classification of rock masses and its application in tunnelling, Advances in rock mechanics, Vol 2(A), 27-32



최시영

1996년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1998년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사

Tel : 02-880-7236
E-mail : syoungchoi@empal.com
현재 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정



박형동

1988년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1990년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
1994년 영국 런던 대학교 임페리얼 칼리지 박사

Tel : 02-880-8808
E-mail : hpark@gong.snu.ac.kr
현재 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수