화약·발파(대한화약발파공학회지)
제35권 제4호, 2017년 12월, pp. 27~35

EXPLOSIVES & BLASTING, Vol. 35, No. 4, 2017, pp. 27-35
Journal of Korean Society of Explosives & Blasting Engineering

석회석 광산의 암반 분류에 적용된 RMR, Q-system, GSI 간의 상관성 연구

윤용균[1)*], 이홍우[2)]

A Study of the Relationships among RMR, Q-system and GSI Applied to Classify Rock Mass of Limestone Mine

Yong-Kyun Yoon, Hong-Woo Lee

Abstract A total of 22 sites around openings of limestone mine are chosen to assess rock mass classification schemes such as RMR, Q-system, and GSI. RMR and Q are modified to estimate the relationship with GSI. Q' is the modified Q with SRF=1.0 and J_w=1.0. Rock mass is assumed to be completely dry and very favorable discontinuity orientations are assumed to estimate RMR_{89}'. Relationships of Q-Basic RMR, Q-Total RMR, GSI-RMR_{89}', and GSI-Q' are analyzed, in which a correlation of GSI-RMR_{89}' is found to be the highest. Failure strains are calculated using the modulus ratios and most measuring sites appear to be stable with low failure strain class.

Key words RMR, Q-system, GSI, Modulus ratio, Failure strain

초 록 석회석 광산 갱도 내 22 곳의 측정지점을 선정하여 RMR, Q-system, GSI와 같은 암반분류법을 적용하였다. SRF와 J_w를 1로 한 수정 Q(Q')와 지하수 조건을 '완전 건조'로 하고 불연속면의 방향 보정을 '0'으로 한 수정 RMR(RMR_{89}')도 계산하였다. Q-기본 RMR, Q-최종 RMR, GSI-RMR_{89}', GSI-Q' 간의 상관관계를 분석한 결과 GSI-RMR_{89}' 의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다. 계수비를 기초로 파괴 변형률을 구했으며, 대부분의 측정지점이 '낮은 파괴 변형률' 등급에 속하는 것으로 나타나 안정한 것으로 평가되었다.

핵심어 RMR, Q-system, GSI, 계수비, 파괴 변형률

1. 서 론

노천 부존량의 고갈, 지하에 부존된 고품질의 석회석 채굴, 주변의 민원과 환경문제 등으로 인해 국내 석회석 광산의 채광은 노천 채광에서 지하 채광으로 옮겨가고 있거나 전환된 상태이다. 지하 채광을 하는 석회석 광산의 채광법으로는 주방식 채광법이 주로 사용되고 있다(선우춘 등, 2005). 주방식 채광법을 적용하는 광산의 경우 운반갱도나 채광장이 대형화되어 있기 때문에 갱도와 채광장을 장기간에 걸쳐 안전하게 유지하기 위해서는 개발단계에서부터 공학적으로 갱도와 채광장을 설계하는 것이 필요하다.

RMR, Q-system, GSI 등과 같은 경험적 암반분류법은 암반의 암질 평가뿐만 아니라 지보 설계, 암반의 강도 및 변형계수 추정 등에 사용되고 있다. 경험적 암반분류법은 기 시공된 토목 터널을 분석하여 개발된 방법들이지만 광산에도 효과적으로 적용할 수 있는 것으로 알려져 있다(Hoek et al., 1995; Milne et al., 1998). 상기에 기술한 각 암반분류법을 구성하는

1) 세명대학교 교수
2) 세명대학교 석사
* 교신저자 : yoon63@semyung.ac.kr
접수일 : 2017년 12월 18일
심사 완료일 : 2017년 12월 21일
게재 승인일 : 2017년 12월 22일

변수들 간에는 중복되는 인자들이 여러 개 있기 때문에 암반분류법 상호간에 상관성이 존재한다. 국내에서도 암반 구조물 설계나 코아 및 시추공 조사 시에 이루어진 암반 평가에 대한 자료를 분석하여 암반분류법 간의 상관성에 대한 분석이 이루어졌다(선우춘 외, 2001; 신중호 외, 2008; 김홍표 외, 2010; 선우춘 외, 2011).

본 연구에서는 제천시에 소재하는 지하 채광 석회석광업소를 대상으로 22개의 측정지점을 선정한 후 RMR, Q-system, GSI법을 이용하여 암반을 평가하였다. 평가 결과를 토대로 하여 각 암반분류법 간의 상관성을 분석하였다. 또한 계수비(Modulus ratio)를 이용하여 구한 파괴 변형률을 기초로 하여 암반을 분류하였다.

2. 광산현황 및 조사지점의 특성

본 연구에서 분석대상으로 한 광산은 OO광업개발 OO석회석광업소로 2007년 현재 연 50만톤의 생산량을 나타낸다. 채광된 석회석은 주로 시멘트용, 제철·제강용, 탈황용, 생석회용 등으로 판로를 형성하고 있다. 당 광산의 광체의 폭은 30~80m 이고 주방식 채광법을 적용하여 채광을 하고 있다. 조사 당시 주운반 갱도인 410갱을 기준으로 상부 1중단, 상부 2중단, 하부 하1단, 하2단, 하3단 갱도에서 채광이 이루어지고 있었다(이홍우, 2007; 윤과 이, 2007).

지반조사를 실시하기 위해서 410갱 입구에서 N30E 방향으로 360m 이격되어 있는 운반갱도를 기점으로 해서 1중단, 2중단, 하1단, 하2단 갱도의 측벽을 조사대상으로 설정하였으며, 측정지점은 22 곳이다. Table 1에는 조사지점 갱도의 높이와 폭, 개설 후 갱도 유지

Table 1. Characteristics of measuring openings(이홍우, 2007; 윤과 이, 2007)

Measuring site		Height of opening (m)	Width of opening (m)	Elapsed time after mining
Upper 2nd sublevel	A1	6.90	10.90	6 years and 8 months
	A2	6.50	10.80	5 years and 4 months
	A3	5.50	9.80	5 years and 1 month
	A4	6.50	9.20	4 years and 6 months
	A5	7.20	9.70	4 years and 5 months
Upper 1st sublevel	B1	6.00	12.40	8 years and 10 months
	B2	7.30	15.40	8 years and 1 month
	B3	6.20	8.90	6 years and 11 months
	B4	6.60	19.80	5 years
	B5	6.20	13.80	7 years and 5 months
Haulage level	C1	6.50	17.40	9 years and 6 months
	C2	6.20	5.83	1 year and 4 months
	C3	5.40	8.70	7 years and 10 months
	C4	12.54	15.42	7 years and 2 months
Lower 1st level	D1	5.30	7.50	4 years and 11 months
	D2	6.10	13.20	4 years and 9 months
	D3	5.87	17.46	4 years and 2 months
	D4	5.98	9.50	3 years and 5 months
	D5	6.36	10.50	3 years and 3 months
Lower 2nd level	E1	6.88	11.28	3 years and 3 months
	E2	7.34	10.89	3 years and 2 months
	E3	6.62	8.89	1 year and 10 months

기간이 표시되어 있다. 갱도의 높이와 폭은 레이저 거리측정기를 사용하여 측정하였다. Table 1에서 보듯이 채광 후 갱도 유지기간이 1년 4개월~9년 6개월로 장기간에 걸쳐 갱도를 유지하고 있고, 부분적으로 불안정한 것으로 관측된 지점도 실제적으로는 소규모 용식동굴이 있거나 벽면에 소규모로 발달된 파쇄대에서 박리가 발생하는 정도이기 때문에 전체적인 갱도의 안정성에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 갱도 벽면은 대부분은 습하거나 젖어있는 것으로 관찰되었다.

스캔라인조사법을 적용하였으며, ISRM에서 제시한 불연속면의 조사방법에 따라서 불연속면의 방향, 연속성, 간격, 간극, 거칠기, 협재물질, 지하수 상태, 풍화정도 등을 측정하였다(ISRM, 1978). 암반분류법에 사용되는 무결암의 일축압축강도를 측정하기 위해서 갱도에서 채취한 암석 블록에서 시추한 NX 코어에 대해서 실내 실험을 실시하였다. 지반조사 결과 RQD는 35～ 85%의 값을 보였으며, 평균 67%인 것으로 나타났다. 절리 간격은 대체적으로 6～20cm 의 값을 나타냈다.

3. 암반분류법 간의 상관성

본 연구에서는 RMR, Q-system, GSI법을 적용하여 측정지점에서의 암반분류를 위한 평점을 평가하였다. RMR은 Bieniawski가 제안한 암반분류법으로써 Geomechanics Classification 또는 Rock Mass Rating (RMR) 법이라 불리운다. RMR을 적용하여 암반을 평가하기 위해서는 현지암반 및 무결암에 대한 6개 변수의 측정이 필요하다: ① 무결암의 일축압축강도(Uniaxial compressive strength of rock material), ② RQD, ③ 절리 간격(Spacing of discontinuities), ④ 불연속면 상태(Condition of discontinuities), ⑤ 지하수 조건(Groundwater conditions), ⑥ 불연속면의 방향(Orientation of discontinuities). ①~⑤번째 변수 값들을 합하면 기본 RMR(Basic RMR)이 되고, ⑥번째 변수인 불연속면의 방향을 이용하여 기본 RMR을 보정한 것이 최종 RMR(Total RMR)이 된다. 기본 RMR은 최대 100이 된다. 불연속면의 방향이 암반 구조물에 영향을 미치는 정도는 구조물의 종류에 따라 달라지기 때문에 터널 및 광산, 기초, 사면으로 구분하여 불연속면의 방향이 미치는 영향 정도의 보정을 다르게 하도록 되어 있다(Bieniawski, 1989).

Q-system은 Barton, Lien, Lunde가 제안한 암반분류법으로써 스칸디나비아지역에서 시공된 212개의 터널 굴착 사례를 분석하여 개발하였으며, 터널 지보의 설계를 용이하게 할 수 있다는 장점이 있다. 다음과 같이 6개의 변수를 활용하여 암반 암질을 평가한다.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \tag{1}$$

여기서 RQD : 암질지수(%), J_n : 절리군 계수(Joint set number), J_r: 절리의 거칠기 계수(Joint roughness number), J_a: 절리면 변질 계수(Joint alteration number), J_w: 지하수 보정 계수(Joint water reduction number), SRF :응력저감계수(Stress reduction factor) 이다. Q 값은 0.001～1000의 범위를 나타낸다(Barton et al., 1984). Bieniawski는 111개의 토목용 터널을 분석한 후 다음과 같은 Q와 RMR 간의 상관관계 식을 제시하였다(Bieniawski, 1989).

$$RMR = 9\ln Q + 44 \tag{2}$$

GSI(Geological Strength Index)는 지질조건이 다른 경우에 대한 절리암반의 암반강도 감소를 평가할 수 있는 지수 값을 제공한다. 즉 Hoek-Brown 파괴조건식의 변수인 m, s를 GSI의 함수로 표현함으로써 절리암반의 강도 및 변형특성을 평가하는 것이 가능하다. Table 2에는 절리에 의해 블록상의 구조를 나타내는 절리암반의 GSI를 평가할 수 있는 도표가 주어져 있다. GSI가 도입된 초기에는 RMR을 이용하여 GSI를 평가하도록 하였다. 1976년에 제안된 RMR법을 이용하여 GSI를 평가하는 경우 지하수 조건을 '건조'로 하여 10점을 부여하고, 불연속면의 방향 보정은 '매우 유리'로 하여 0점으로 하였다(RMR_{76}'). 1989년에 수정 발표된 RMR법을 사용하는 경우 1976년에 제안된 RMR법에 비해 지하수 조건이 10점에서 15점으로 상향되었기 때문에 지하수 조건을 '완전 건조'로 하여 15점, 불연속면의 방향 보정은 역시 0점으로 하였다(RMR_{89}'). 1976년에 제안된 RMR법과 1989년에 개정된 RMR법을 이용하여 GSI를 구하는 식은 다

음과 같다.

$$RMR_{76}' > 18 \text{ 인 경우 ; } GSI = RMR_{76}' \quad (3)$$

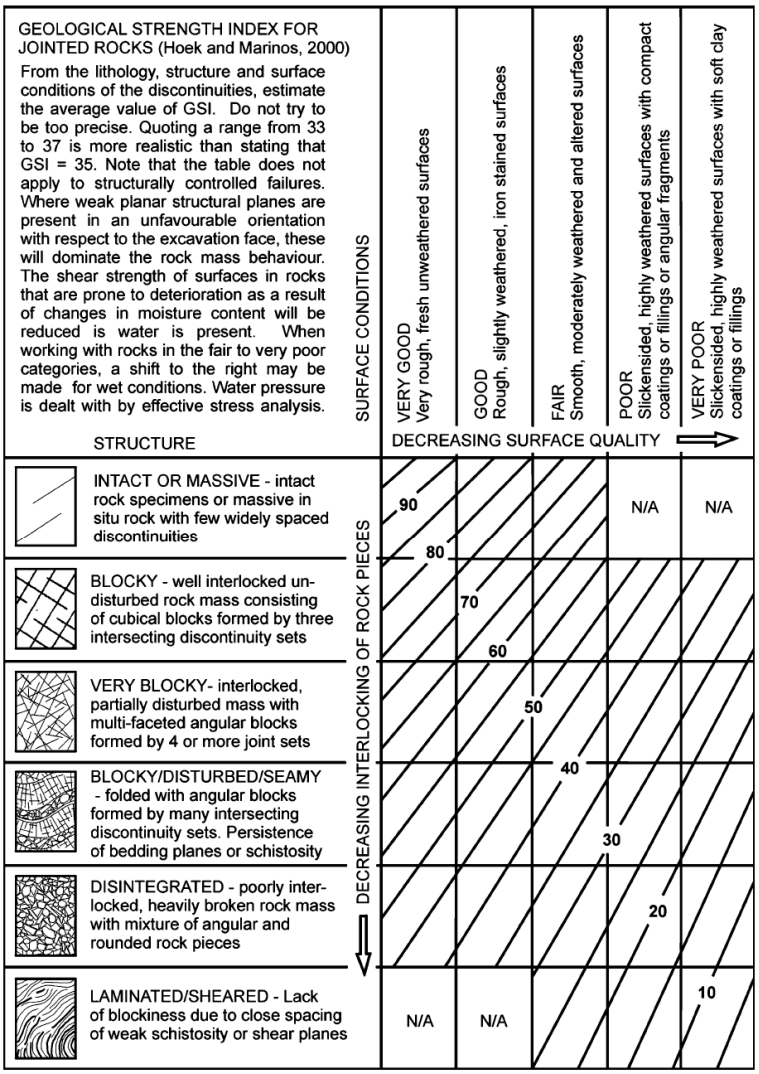
$$RMR_{89}' > 23 \text{ 인 경우 ; } GSI = RMR_{89}' - 5 \quad (4)$$

GSI와 RMR의 상관성이 떨어지고 식 (3), (4)에서도 보듯이 암질이 매우 불량한 암반의 경우에는 RMR을 구할 수 없기 때문에 RMR을 이용하여 GSI를 구하는 것보다는 Table 2의 표를 이용하여 직접적으로 GSI를 평가하는 것이 추천된다. Q-system을 이용하여 GSI를 구할 수도 있는데, 기존의 Q를 구하는 식에서 $J_w = 1.0$, SRF=1.0로 한 수정 $Q(Q')$를 적용하여 다음과 같이 구할 수도 있다.

$$GSI = 9 \ln Q' + 44 \quad (5)$$

$RMR_{76}' < 18$ 이거나 $RMR_{89}' < 23$ 인 경우의 암

Table 2. Geological strength index for jointed rock mass(After Marinos and Hoek, 2000)



반조건인 경우에는 Q'를 이용하여 GSI를 구한다 (Hoek et al., 1995; Marinos and Hoek, 2000).

Table 3에는 조사지점에서 평가한 기본 RMR, 최종 RMR, Q, GSI, RMR_{89}', Q'이 표시되어 있다. Q값 계산 시 SRF를 평가하기 위해서는 최대주응력과 무결암의 일축압축강도를 알아야 한다. NX 시험편에 대한 실내 실험 결과 당 광산 석회암의 단위중량은 $26.7kN/m^3$, 일축압축강도는 92MPa 로 나타났다(이홍우, 2007). 하1단 갱도 상부에서의 최고 해발고도는 677ML 이며, 하1단 갱도의 해발고도는 406ML 정도이기 때문에 하1단 갱도에서의 수직방향 초기응력은 약 7.2MPa 가 된다. 본 광산에 대한 수압파쇄시험을 이용한 초기응력 측정 결과 측압계수는 0.5 정도로 나타났기 때문에(선우춘 외, 2005) 수직방향 초기응력이 최대주응력(σ_1)이 된다. 갱도 주변에는 드물게 파쇄대가 나타나기는 하지만 소규모이고, 채광장의 대부분이 안정한 상태로 유지된다는 점을 고려하여 갱도 주변 암반을 견고한 암석(Competent rock)으로 가정하였다. 따라서 $\sigma_c/\sigma_1 = 92/7.2 = 12.8$(여기서 σ_c : 무결암의 일축압축강도) 이 되어 SRF를 1로 평가할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 결과를 토대로 모든 측정 지점의 SRF를 1로 하였다.

Fig. 1, 2, 3, 4에는 각기 Q-BRMR, Q-TRMR, RMR_{89}'-GSI, Q'-GSI 간의 관계를 회귀분석 한 결과가 나타나 있고, 각각에 대한 회귀식과 상관계수(R)는 다음 식과 같다. GSI는 중간값을 사용하였다.

$$BRMR = 6.9\ln Q + 45.1 \quad (R=0.74) \tag{6}$$

Table 3. Values of RMR, Q, GSI, RMR_{89}', and Q'estimated at the measuring sites(이홍우, 2007; 윤과 이, 2007)

Measuring site		Value					
		RMR		Q	GSI	RMR_{89}'	Q'
		Basic	Total				
Upper 2nd sublevel	A1	56.0	51.0	4.0	57±5	64.0	6.1
	A2	54.5	47.5	6.6	53±5	62.5	10.0
	A3	61.0	49.0	9.9	62±4	66.0	15.0
	A4	56.0	51.0	10.0	55±5	61.0	10.0
	A5	50.5	50.5	6.1	57±5	55.5	9.2
Upper 1st sublevel	B1	58.0	46.0	8.3	60±4	63.0	12.5
	B2	61.5	49.5	7.2	62±6	66.5	7.2
	B3	53.2	41.2	3.9	56±6	64.2	7.8
	B4	63.5	63.5	8.3	64±6	68.5	12.5
	B5	62.0	50.0	4.7	58±6	67.0	7.1
Haulage level	C1	43.0	38.0	1.3	46±4	51.0	2.0
	C2	60.2	48.2	6.6	62±6	65.2	10.0
	C3	50.5	45.5	3.0	54±6	58.5	4.6
	C4	58.8	46.8	10.0	60±5	66.8	10.0
Lower 1st level	D1	56.3	51.3	3.3	54±4	61.3	5.0
	D2	61.1	56.1	12.4	62±5	66.1	18.8
	D3	63.0	51.0	6.3	64±7	68.0	6.3
	D4	63.8	63.8	6.3	64±6	68.8	6.3
	D5	48.5	36.5	1.5	53±6	53.5	2.3
Lower 2nd level	E1	58.1	46.1	7.2	58±7	63.1	10.8
	E2	56.5	44.5	5.8	62±6	67.5	11.7
	E3	57.0	52.0	7.2	57±6	62.0	10.8

$$\mathrm{TRMR} = 6.7\ln Q + 37.5 \quad (R=0.59) \tag{7}$$

$$\mathrm{GSI} = 0.8\mathrm{RMR}_{89}' + 7.3 \quad (R=0.86) \tag{8}$$

$$\mathrm{GSI} = 5.4\ln Q' + 46.9 \quad (R=0.65) \tag{9}$$

식 (6), (7)을 비교해 보면 최종 RMR 보다는 기본 RMR과 Q 간의 상관성이 더 높다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 얻어진 최종 RMR과 Q 간의 회귀식은 Bieniawski가 제안하여 일반적으로 자주 사용되는 식 (2)과는 차이가 있다는 것을 알 수 있다. Zhang(2005)은 여러 연구자들이 제안한 RMR과 Q 간의 회귀식을 분석한 후 일반적으로 두 변수 간에는 $\mathrm{RMR} = A\ln Q + \mathrm{B}$의 관계가 성립하고, A는 5~15, B는 40~60의 값을 갖는다고 하였다. Milne 등(1998)은 광산 갱도의 경우 토목 터널과 다르게 갱도의 방향이 채굴에 따라 계속적으로 변하기 때문에 불연속면의 방향과 같은 환경적인 요인은 무시하고 암반과 관련된 변수들만 고려한 기본 RMR을 암반분류법으로 채용하는 것이 타당하다고 하였다. 기본 RMR을 최종 RMR으로 대체하는 경우 본 연구에서 얻어진 RMR과 Q 간의 회귀식인 식 (6)은 Zhang이 제안한 범주에 들어가기 때문에 타당성이 있다고 판단할 수 있다. 암반분류에 대한 현장 경험이 부족한 경우에는 직접적으로 GSI를 평가하는 것이 어렵기 때문에 RMR_{89}'과 Q'를 이용하여 GSI를 구할 수도 있다. 식 (8)과 (9)를 비교해 보면 RMR_{89}'와 GSI 간의 회귀식이 Q'와 GSI 간의 회귀식보다 상관계수가 큰 것으로 나타나기

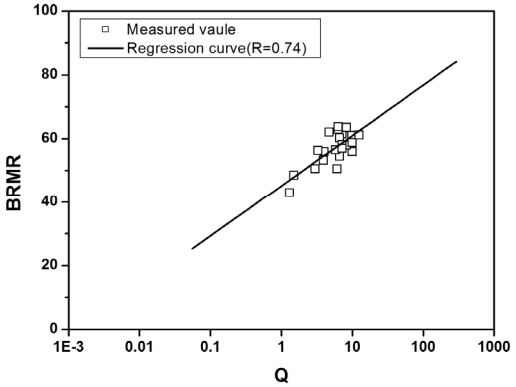


Fig. 1. Relationship between Q and basic RMR(BRMR).

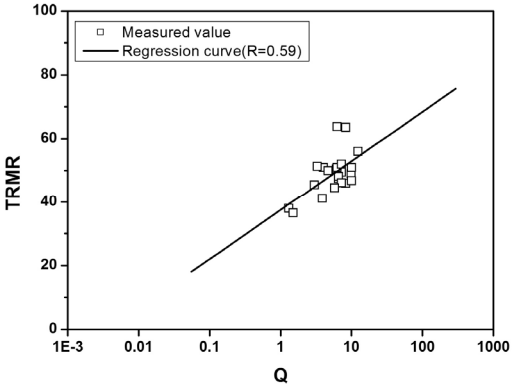


Fig. 2. Relationship between Q and total RMR(TRMR).

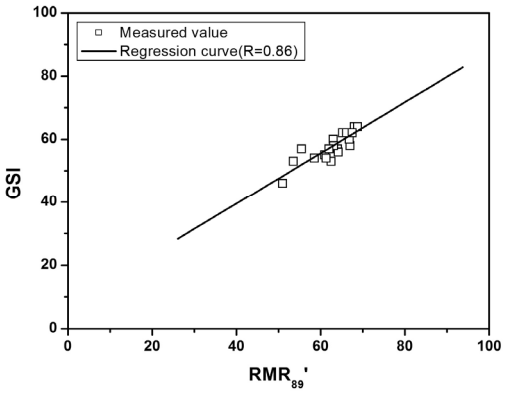


Fig. 3. Relationship between RMR_{89}' and GSI.

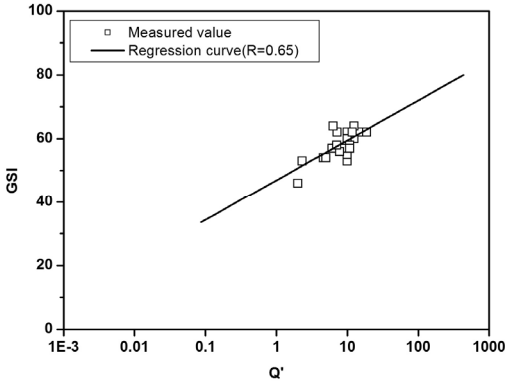


Fig. 4. Relationship between Q' and GSI.

때문에 식 (8)을 이용하는 것이 정확도가 더 높을 것으로 예상된다.

4. 토 론

암반의 일축압축강도와 변형계수를 안다면 계수비(Modulus ratio)를 이용하여 암반을 분류하는 것이 가능하다. 암반의 계수비는 암반의 일축압축강도에 대한 변형계수의 비로 표시된다.

$$M_{rj} = \frac{E_j}{\sigma_{cj}} = \frac{1}{\varepsilon_{fj}} \tag{10}$$

여기서 M_{rj} : 암반의 계수비, E_j : 암반의 변형계수, σ_{cj} : 암반의 일축압축강도, ε_{fj} : 암반의 파괴 변형률이다.

무결암뿐만 아니라 절리 암반을 포함하는 계수비 분류가 Table 4에 표시되어 있다. 계수비가 작아질수록 암반 암질이 불량해 진다는 것을 뜻하며, 계수비가 50보다 작은 경우는 흙을 나타낸다. 식 (10)을 사용하여 구한 파괴 변형률을 변수로 한 암반 분류가 Table 5에 나타나 있다.

Table 4. Modulus ratio classification of intact and jointed rocks(After Ramamurthy, 2004)

Class	Description	Modulus ratio of rock
A	Very high modulus ratio	> 500
B	High modulus ratio	200 ~ 500
C	Medium modulus ratio	100 ~ 200
D	Low modulus ratio	50 ~ 100
E	Very low modulus ratio	< 50

Table 5. Classification of rocks based on failure strain(After Ramamurthy, 2004)

Class	Description	Failure strain, ε_f(%)
A	Very high failure strain	> 2
B	High failure strain	1 ~ 2
C	Medium failure strain	0.5 ~ 1
D	Low failure strain	0.2 ~ 0.5
E	Very low failure strain	< 0.2

Ramamurthy(2001)는 암반과 암석 유사 물질에 대한 광범위한 일축압축실험과 변형계수 측정 시험 결과를 이용하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$\frac{\sigma_{cj}}{\sigma_{ci}} = \exp(-0.008J_f) \tag{11}$$

$$\frac{E_j}{E_i} = \exp(-0.0115J_f) \tag{12}$$

여기서 σ_{cj} : 암반의 일축압축강도, σ_{ci} : 무결암의 일축압축강도, E_j : 암반의 변형계수, E_i : 무결암의 탄성계수, J_f : 절리계수(joint factor)로써 절리빈도, 절리방향 및 절리 마찰계수에 의해 결정되는 계수이다. J_f와 RMR 간에는 다음의 관계가 성립한다(Ramamurthy, 2004).

$$\frac{J_f}{5} = 100 - RMR \tag{13}$$

식 (13)을 (11), (12)에 대입하면 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{\sigma_{cj}}{\sigma_{ci}} = \exp(0.04RMR - 4) = \exp\left(\frac{RMR - 100}{25}\right) \tag{14}$$

$$\frac{E_j}{E_i} = \exp(0.0575RMR - 5.75) = \exp\left(\frac{RMR - 100}{17.4}\right) \tag{15}$$

식 (10), (14), (15)을 결합하면 파괴 변형률을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\varepsilon_{fj} = \frac{\sigma_{cj}}{E_j} = \frac{\sigma_{ci} \cdot \exp\left(\frac{RMR - 100}{25}\right)}{E_i \cdot \exp\left(\frac{RMR - 100}{17.4}\right)} \tag{16}$$

측점지점에서의 파괴 변형률을 계산하기 위해서 무결암의 일축압축강도는 92MPa, 탄성계수는 45.3 GPa를 적용하였다. RMR은 기본 RMR을 사용하였다.

Table 6에는 각 측정지점에 대한 RMR, 암반의 일

Table 6. Failure strain and modulus ratio calculated at measuring sites

Measuring site		RMR	σ_{cj}(MPa)	E_j(GPa)	M_{rj}	ε_{fj}(%)
Upper 2nd sublevel	A1	56.0	15.8	3.6	228	0.44
	A2	54.5	14.9	3.3	222	0.45
	A3	61.0	19.3	4.8	249	0.40
	A4	56.0	15.8	3.6	228	0.44
	A5	50.5	12.7	2.6	207	0.48
Upper 1st sublevel	B1	58.0	17.1	4.1	236	0.42
	B2	61.5	19.7	5.0	251	0.40
	B3	53.2	14.2	3.1	217	0.46
	B4	63.5	21.4	5.6	260	0.38
	B5	62.0	20.1	5.1	254	0.39
Haulage level	C1	43.0	9.4	1.7	182	0.55
	C2	60.2	18.7	4.6	246	0.41
	C3	50.5	12.7	2.6	207	0.48
	C4	58.8	26.4	7.5	285	0.35
Lower 1st level	D1	56.3	16.0	3.7	229	0.44
	D2	61.1	19.4	4.8	250	0.40
	D3	63.0	20.9	5.4	258	0.39
	D4	63.8	21.6	5.7	262	0.38
	D5	48.5	11.7	2.3	200	0.50
Lower 2nd level	E1	58.1	17.2	4.1	237	0.42
	E2	56.5	16.1	3.7	230	0.43
	E3	57.0	16.5	3.8	232	0.43

축압축강도, 암반의 변형계수, 계수비, 파괴 변형률이 표시되어 있다. 계수비를 보면 C1 지점을 제외하고는 B 등급인 '높은 계수비'에 속하며, 파괴 변형률을 기준으로 하면 D등급인 '낮은 파괴 변형률'에 속한다. 계수비와 파괴 변형률을 보면 측정지점 갱도들은 대체적으로 안정하다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 주방식 채광법을 이용하여 채광을 하는 석회석 광산을 대상으로 암반분류법을 적용하였다. 22 곳의 측정지점을 선정한 후 RMR, Q, GSI를 평가하였다. GSI와의 상관성을 평가하기 위해서 SRF와 지하수 보정 계수(J_w)를 1로 한 수정 Q(Q′)와 지하수 조건을 '완전 건조'로 하고, 불연속면의 방향에 의한 영향을 보정하지 않은 수정 RMR(RMR_{89}')도 계산하였다.

평가 결과 기본 RMR은 43.0~63.8, 최종 RMR은 36.5~63.8, Q는 1.3~12.4, GSI는 46~64, RMR_{89}'는 51.0~68.8, Q′는 2.0~18.8로 나타났다.

Q-기본 RMR, Q-최종 RMR, GSI-RMR_{89}', and GSI-Q′ 간의 상관성을 분석한 결과 GSI-RMR_{89}' 간의 상관계수가 0.86으로 가장 높은 것으로 나타났고, Q-기본 RMR 의 상관계수도 0.74로 비교적 높은 것으로 나타났다. Q와 GSI 값을 정확하게 평가하기 위해서는 조사자의 암반분류 경험이 상당히 있어야 한다는 점을 고려하면 상대적으로 측정하기가 용이한 RMR법을 이용하여 Q, GSI 값을 추정하는 것도 타당하다고 판단된다.

계수비를 이용하여 파괴 변형률을 구한 결과 0.35~0.55%의 범위를 보였으며 '낮은 파괴 변형률' 등급에 속하는 것으로 나타났다. 계수비와 파괴 변형률을

고려하면 측정지점 갱도는 대체적으로 안정한 것으로 예측된다.

참고문헌

1. 김홍표, 장호민, 강추원, 고진석, 2010, 현장암반 평가에 관한 제안 및 암반분류법들간의 상관관계 고찰, 화약 · 발파(대한화약발파공학회지), Vol. 28, No. 2, pp. 133-147.
2. 선우춘, 황세호, 정소걸, 이상규, 한공창, 2001, 암반분류방법간의 상관관계에 대한 고찰, 한국지반공학회논문집, Vol. 17, No. 4, pp. 127-134.
3. 선우춘, 정소걸, 최성웅, 정용복, 전양수, 이상권, 2005, 석회석 광산 갱내 채광장 및 갱도의 안전유지 기술연구, 산업자원부, 150p.
4. 선우춘, 류동우, 김형목, 김기석, 2011, 국내 화강암의 지반공학적 특성 및 암반분류법과의 상관성에 관한 연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), Vol. 21, No. 3, pp. 205-215.
5. 신중호, 박철환, 선우춘, 2008, RMR 및 Q 암반분류법의 평가 요소간 친숙도 관계 분석, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), Vol. 18, No. 6, pp. 408-417.
6. 윤용균, 이홍우, 2007, 암반분류법을 이용한 석회석 광산 내 대규격 갱도의 안정성 평가, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), Vol. 17, No. 6, pp. 503-510.
7. 이홍우, 2007, 암반분류법과 수치해석을 이용한 대규격 갱도의 설계와 안정성 평가에 관한 연구, 석사학위논문, 세명대학교, 65p.
8. Barton, N., R. Lien and J. Lunde, 1984, Engineering classification for rock masses for the design of tunnel support, Rock Mech., Vol. 6, pp. 189-236.
9. Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering rock mass classification, John Wiley & Sons, pp. 51-90.
10. Hoek, E., P. K. Kaiser and W. F. Bawden, 1995, Support of underground excavations in hard rock, A.A.Balkema, pp. 27-98.
11. ISRM, 1978, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15, pp. 119-368.
12. Marinos, P. and E. Hoek, 2000, GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation, Pro. of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering, Melbourne, pp. 1422-1446.
13. Milne, D., J. Hadjigeorgiou and R. Pakalnis, 1998, Rock mass characterization for underground hard rock mines, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 13, No. 4, pp. 383-391.
14. Ramamurthy, T., 2001, Shear strength response of some geological materials in triaxial compression, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 38, pp. 683-697.
15. Ramamurthy, T., 2004, A geo-engineering classification for rocks and rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 41, pp. 89-101.
16. Zhang, L., 2005, Engineering properties of rocks, Elsevier, pp. 99-118.

윤 용 균

세명대학교 소방방재학과 교수

Tel: 043)649-1318
E-mail: yoon63@semyung.ac.kr

이 홍 우

세명대학교 환경안전시스템공학과 공학석사

E-mail: nawang0813@hanmail.net