

RMR 분류방법 및 수정 방법의 고찰

A Study on Rock Mass Rating system(RMR) and Modified Method

허종석¹⁾, Jong-Seok Heo

1) (주) 바우컨설팅 지반터널부 차장

요약 : Bieniawski에 의해 개발된 RMR은 암석강도 및 불연속면, 지하수 등의 6개 인자에 따라 분류되어, 이들을 합산하여 결정된다. RMR 분류법은 각 요소들에 대한 평가가 비교적 쉽고, 다양한 응용을 거쳐 여러 분야에 적용되어 국내에서도 가장 널리 사용하고 있는 암반분류 방법 중의 하나이다.

RMR 분류결과는 터널의 유지시간, 최대 무지보폭의 예측, 지보량 산정, 암반의 물리적 특성값 예측 등에 적용될 수 있다. 또한 RMR 분류법을 사면안정, 댐 기초, 심부 광산 등에 적용하거나, RMR 분류법의 미비한 부분을 보완하기 위한 여러 가지 수정방법이 제시되었다.

주요어(Key words) : 암반분류, RMR, 암석강도, 불연속면, 지보량

1. 서론

공학적인 목적의 암반 분류법에 대한 대부분의 작업은 터널굴착과 지하공동건설에 관련되어 수행되어 왔다. 공학자들은 특히 암반의 무지보유지시간과 필요한 지보 형태 및 양에 관련된 암질을 결정하는데 관심을 가져왔다. Wickham 등(1972), Bieniawski(1973) 그리고 Barton 등(1974)은 암석재료와 절리암반의 여러 인자에 가중치를 부여한 암반 분류법을 고안하여 설계에 사용할 수 있는 암반등급법을 얻고자 했다.

RMR 시스템은 1973년 Bieniawski에 의해 제안되었으며 Wickham 등(1972)의 Rock Structure Rating(RSR) 분류법을 기초로 개발되었다. RSR 분류법은 이전에 제시되었던 방법들과는 달리 정량적인 분류방법이며, 몇가지 지질학적인 인자들의 상대적인 중요성을 평가하고 이를 정량화하여 암반에 대한 등급시스템을 도입하였다. RSR은 암반 터널에서 철재지보를 대상으로 개발된 개념이기 때문에 철재지보를 선정하는데 매우 유용하지만, 록볼트와 슛크리트 지보의 상관 관계해석에는 충분치 못한 방법이다. 그리고 필요한 입력 자료의 대부분이 표준절리조사에 일반적으로 포함되는 것들이지만, 몇가지 평가변수들은 명확하게 정의되어 있지 않아 혼란을 초래할 수 있다.

RMR 분류법은 RQD, 단축압축강도, 절리간격, 방향, 상태, 지하수 상태 등 6개의 분류요소를 사용하였다. Bieniawski는 이와 같은 분류법을 현장 적용 시험과정을 거쳐서 체계를 보완하였다. 즉 풍화상태 항목은 단축압축강도에서 설명되므로 제외되었고 절리의 틈새나 간격, 연속성 및 절리상태를 포함시켰다.

2. RMR 분류 절차

앞절에서 언급한 바와 같이 RMR 시스템을 사용하여 암반을 분류하는데는 다음의 6가지 변수가 사용된다.

1. 암석재료의 단축압축강도.
2. 암질 지수 (RQD).
3. 불연속면의 간격.
4. 불연속면의 상태.
5. 지하수 상태.
6. 불연속면의 방향.

암석재료의 단축압축강도는 암반의 최대 강도와 일치한다. 실내암석시험에 의해 결정되지만, 암반 분류의 목적상 현장에서 시추코아의 간편시험으로 얻을 수 있는 점하중강도 지수가 이용되기도 한다. 무결암의 단축압축강도는 불연속면의 간격이 넓거나 암반이 약할 때 암반의 공학적인 거동과 중요한 관계가 있다. 만약 불연속면이 연속적이지 않을지라도 그것은 중요하다. 단축압축강도와 풍화정도는 서로 상호의존적인 변수이기 때문에 Bieniawski(1974)는 암석재료의 강도로 간주할 수 있다고 제안하였다.

RQD는 암반의 상태를 전부 나타내기에 불충분하지만, 터널 지보를 선정하는 지침으로서 매우 유용하다. RQD는 불연속면 틈새 및 방향, 연속성, 충전물의 영향을 반영하지 않는다.

불연속면의 간격은 불연속면에서 수직방향으로의 평균 거리를 말하며, 불연속면의 주향은 일반적으로 자북 기준으로 기록한다. 불연속면의 존재는 암반의 전체강도를 감소시키고 그것들의 간격과 방향은 그러한 감소량을 지배한다. 그래서 불연속면의 간격과 방향은 불연속면을 가진 암반구조의 안정성을 평가할 때 매우 중요하다.

불연속면의 상태는 표면의 거칠기, 틈새 이격거리, 연장성, 표면의 풍화정도, 충전물 등을 포함한다. 불연속면의 상태 또한 간격만큼이나 중요하다. 예를 들면 거친 표면을 가지고 충전물이 없이 딱 찬 불연속면은 높은 강도를 가진다. 반대로 연속적인 열려진 불연속면은 약한 면을 형성하고 더 나아가 계속적인 지하수 유입이 생긴다. 분명히 불연속면의 상태는 암석재료가 암반의 거동에 영향을 미치는 정도를 좌우한다.

지하수 상태는, 10m 굴착 중 분당 지하수 유입량이나, 완전건조, 습윤, 젖음, 물방울 떨어짐, 물이 흐름과 같은 일반적인 상태, 또는 최대주응력에 대한 불연속면 수압으로 표현될 수 있다.

표 1에는 RMR을 이용한 암반의 분류방법이 제시되어 있다. 표 1의 A 부분은 5개 값의 범위를 갖는 5개 변수가 분류되어 각 변수들의 점수들이 배당되어 있다. 값의 경계 범위에 해당하거나 범주사이에 일어나는 급격한 점수의 변화에 대한 인상을 제거하기 위하여 그림 1과 같은 그래프를 작성하였다. D 그래프는 만일 RQD나 불연속면 자료가 없는 경우 쓰인다. 그 그래프는 Priest와 Hudson (1976)의 상관관계 자료에 기초하여 없는 변수의 추정을 가능하게 해준다.

분류변수의 점수를 정한 후, 표 1의 A 부분에 열거된 5개의 변수에 대한 점수를 합산하여 기초적인 (불연속면 방향에 대한 보정을 하지 않은 RMR값을 산출한다. 표 1의 E에는 불연속면 상태를 세부항목으로 구분하여 점수를 배당하였다.

다음 단계는 6번째 변수를 평가하는 것이다. 즉 표 1의 B 부분에 따라 기초적 RMR 값을

보정하여 불연속면의 주향, 경사 방향의 영향을 평가한다. 불연속면의 방향의 영향은 터널, 광산, 사면, 기초와 같은 적용 사례에 따라 구분되어 있다. 터널에서 주향과 경사의 방향이 유리한지 그렇지 않은지를 결정하기위해 표 1의 F를 참조한다.

불연속면의 방향에 대한 보정을 한 후에 암반은 표 1의 C 부분에 따라 점수가 분류되며, RMR의 전체 범위는 0부터 100까지로, 암반분류 점수는 20점 간격의 등급으로 분류된다. 다음으로 표 1의 D 부분은 각각의 암반 등급에 대하여 터널 무지보폭 및 유지시간, 암반 강도 특성값을 제시하고 있다

표 1. RMR System(After Bieniawski 1989)

A. RMR 분류기준 및 점수

분류 기준			값의 범위						
1	무결암 강도	점하중 강도 지수 (MPa)	> 10	4-10	2-4	1-2	단축압축시험 적용		
		단축압축 강도 (MPa)	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	< 1
	점 수	15	12	7	4	2	1	0	
2	코어 암질 지수 RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
	점 수		20	17	13	8	3		
3	불연속면의 간격		> 2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	점 수		20	15	10	8	5		
4	불연속면의 상태		매우 거친 표면 불연속적 분리가 없음 신선한 모양	약간 거친 표면 이격<1mm 약간 풍화된 벽면	약간 거친 표면 이격<1mm 많이 풍화된 벽면	평활면 혹은 충전물<5mm 두께 혹은 이격 1-5mm 연속적	연한 충전물 >5mm두께 혹은 이격>5mm 연속적		
	점 수		30	25	20	10	0		
5	지 하 수	10 m 터널 길이 당 유입 (L/min)	없음	<10	10-25	25-125	>125		
		절리수압 최대주응력 비	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
	일반적 상태		완전 건조	축축함(damp)	젖음(wet)	물이 떨어짐	물이 흐름		
	점 수		15	10	7	4	0		

B. 불연속면 방향에 대한 점수 보정

주향과 경사		아주 유리함	유리함	양호함	불리함	아주 불리함
점 수	터널과 광산	0	-2	-5	-10	-12
	기초	0	-2	-7	-15	-25
	사면	0	-5	-25	-50	-60

C. 전체 점수로부터 결정된 암반 등급

점 수	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
등 급	I	II	III	IV	V
구 분	아주 우수	우수	양호	불량	아주 불량

D. 암반 등급의 의미

등 급	I	II	III	IV	V
평균 유지 시간	15m span으로 20년	10m span으로 1년	5m span으로 1주일	2.5m span으로 10시간	1m span으로 30분
암반의 점착력 (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
암반의 마찰각 (ϕ)	<45°	35-45°	25-35°	15-25°	<15°

E. 불연속면의 상태 분류 기준

변수	점수				
불연속 연장	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-200 m 1	>20 0
불연속 간극	없음 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
거칠기	아주 거침 6	거침 5	약간 거침 3	부드러움 1	평활면 0
충전물	없음 6	단단한 충전물		연한 충전물	
		< 5 mm 4	> 5 mm 2	< 5 mm 2	> 5 mm 0
풍화도	풍화 안됨 6	약간 풍화 5	풍화 3	심한 풍화 1	분해 0

참고 : 어떤 상태는 서로 배타적일 수 있다. 예로서 충전물이 있는 경우에는 거칠기가 문제되지 않는다. 이 경우에는 표 3.11을 바로 이용한다.

F. 불연속면의 방향성이 굴진에 미치는 영향

주향이 터널 방향과 수직				주향이 터널 방향과 평행		주향과 무관
경사 방향 굴진		역경사 방향 굴진				
경사 45-90°	경사 20-45°	경사 45-90°	경사 20-45°	경사 20-45°	경사 45-90°	경사 0-20°
매우 유리	유리	양호	불리	양호	매우 불리	양호

CHART A 무결합의 강도에 대한 평정

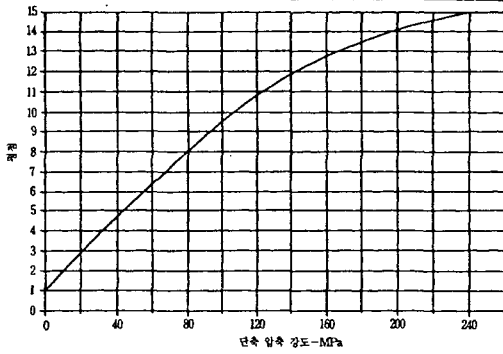


CHART B RQD에 대한 평정

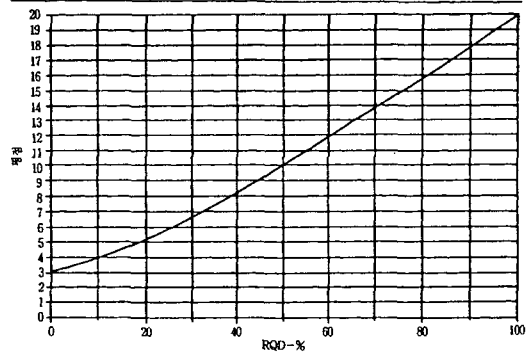


CHART C 불연속면 간격에 대한 평정

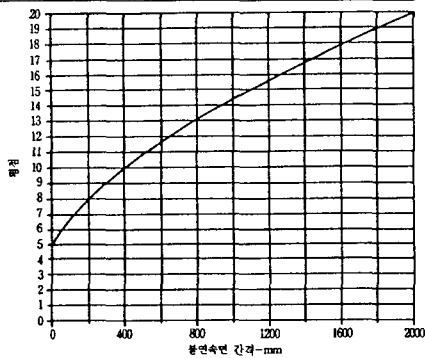


CHART D RQD와 불연속면 간격의 상관관계

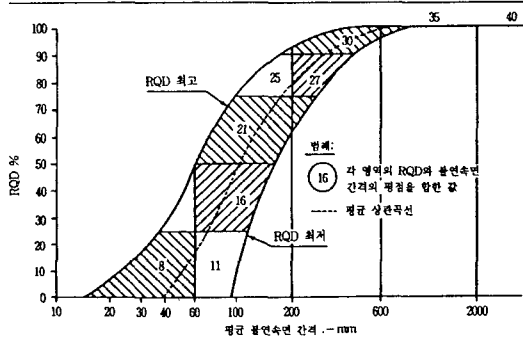


그림 1. RMR 분류변수에 대한 점수할당(Bieniawski, 1989)

표 2. RMR에 대한 지보량 결정(Bieniawski, 1989)

(터널형상: 마제형, 폭: 10m, 수직응력 25MPa 이하, 굴착방법: 천공발파)

암반 등급	굴착	지보		
		록 볼트 (직경 20mm, 전면 접착)	숏크리트	강지보재
I. 매우 우수	전단면 굴착 굴진 3m	일반적으로 무지보, 경우에 따라 산발적 록볼트		
II. 우수	전단면 굴착 굴진 1.0-1.5m 막장에서 20m까지 완전지보	철망. 길이 3m, 간격 2.5m의 국부 볼트	경우에 따라 천단부 50mm	없음
III. 양호	상하 단면 굴착 상단 굴진 1.5-3.0m 단계별 발파 후 지보 막장에서 10m까지 완전지보	철망. 길이 4m, 간격 1.5-2m의 체계적 볼트 (천단 및 벽면)	천단부 50-100mm 벽면 30mm	없음
IV. 불량	상하 단면 굴착 상단 굴진 1.0-1.5m 굴착 동시 지보 막장에서 10m까지 완전지보	철망. 길이 4-5m, 간격 1-1.5m의 체계적 볼트 (천단 및 벽면)	천단부 100-150mm 벽면 100mm	1.5m 간격 설치
V. 매우 불량	분할 굴착 상단 굴진 0.5-1.5m 굴착 동시 지보 발파후 조기에 숏크리트	철망. 길이 5-6m 간격 1-1.5m의 체계적 볼트 (천단 및 벽면)	천단부 150-200mm 벽면 150mm 막장면 50mm	0.5m 간격 forepoling 설치 인버트 폐합

3. RMR분류에 따른 설계 적용

RMR 분류로부터 조사 암반에 대한 암반의 등급뿐만 아니라 터널의 유지 시간, 반압, 터널 최대 폭, 암반의 변형계수, 암반의 점착력과 내부 마찰각 등 암반의 물리적 성질에 대한 값도 경험식에 의해 유도될 수 있으며 다른 암반 분류법과도 비교할 수 있다.

RMR 분류법은 표 2에 따라서 터널에서 암반 보강의 선택에 지침을 제공한다. 표 2는 발파에 의해 굴착되는 10 m 폭의 마제형 터널이 수직압 25 MPa 이하인 조건에서 굴착될 때의 암반등급별 지보지침 예를 보인 것이다. 표 2에 수록된 바와 같이 RMR 분류는 암반 등급별로 장기간의 안정성 확보를 위한 천반지보 선택에 대한 지침을 제공한다. 이 지침은 지하심도(현장응력), 터널 크기와 형태, 굴착방법과 같은 요인들에 따라 달라진다. 또한 표 2의 지보수단은 예비 지보가 아닌 영구 지보임에 유의해야 한다.

터널과 공동의 경우에 RMR 분류결과는 그림 2에 나타난 바와 같이 암반평점에 따른 터널과 공동의 무지보 유지시간과 최대안정폭을 추정할 수 있다. 최근에 Lauffer(1988)는 특히 터널 전단면 굴착기계(TBM)로 굴착하는 경우에 수정된 유지시간 도표를 그림 3과 같이 제시하였다. 따라서 RMR 적용은 기계로 굴착되는 암반에서도 가능하다.

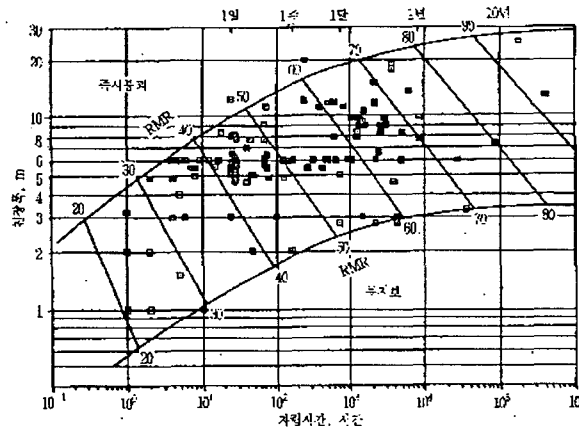


그림 2. RMR 분류에 따른 무지보 유지시간과 폭과의 관계(Bieniawski, 1976)

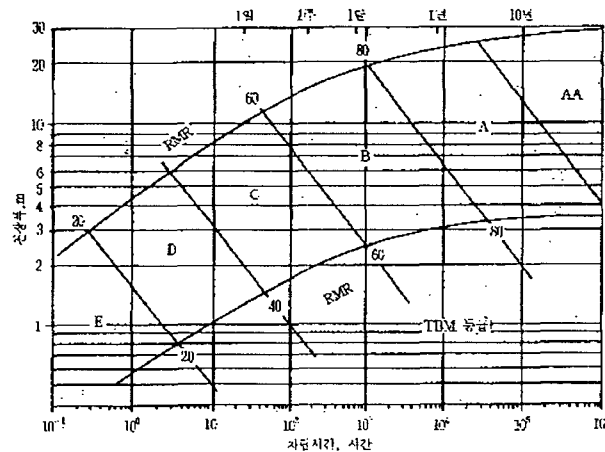


그림 3. TBM 굴착시 RMR 분류에 의한 터널 지보방법(Lauffer, 1988)

RMR 시스템으로부터 지보하중을 구할 수 있음이 Unal(1983)에 의해 제안되었다.

$$P = \frac{100 - R}{100} \gamma B \quad (1)$$

여기서 P=지보하중(kN), B=터널 폭(m), γ =암반밀도(kg/m³)

Unal은 석탄광에서 RMR을 천반 폭, 지보 압력, 시간, 변형과 통합시켜서 천반의 안정성을 평가하는 “통합적 접근법”을 그림 4와 같이 제안하였다.

또한 RMR 값으로부터 암반의 강도 특성값과 변형계수를 추정할 수 있다. Bieniawski는 RMR과 암반 변형계수 사이의 관계를 제시하였으며, Serafim과 Pereira(1983)는 RMR < 50 인 범위의 많은 결과들을 제공하고 새로운 상관관계를 제안하였다:

$$E_M = 2 RMR - 100 \quad (R > 50 \text{ 인 경우}) \quad (2)$$

$$E_M = 10 \frac{(RMR-10)}{40} \quad (R < 50 \text{ 인 경우})$$

여기서 E_M 은 GPa 단위의 현지변형계수이다.

Hoek와 Brown(1980)은 RMR 분류를 사용하여 암반의 강도를 추정하는 방법을 제안하였다. 암반강도의 기준은 다음과 같다:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_c} = \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + \sqrt{m \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s} \quad (3)$$

여기서 σ_1 = 파괴시의 최대 주응력

σ_3 = 가해진 최소 주응력

σ_c = 암석재료의 단축압축강도

m과 s = 암반의 특성에 의존하는 상수

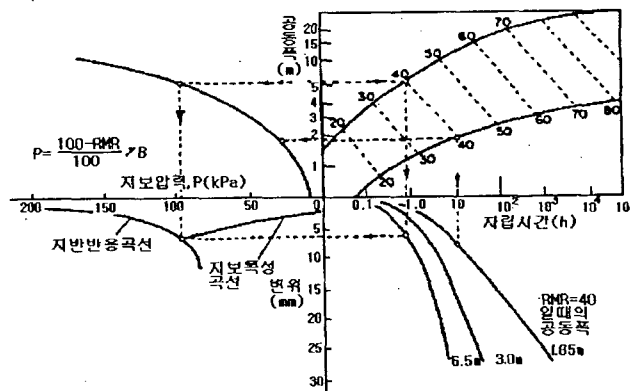


그림 4. 석탄광의 RMR에 따른 지보특성과 천반변형의 상관성

무결암에 대하여, $m = m_i$ 이며 위의 식을 실험실 시료의 삼축압축시험 결과로부터 결정되고, 암석재료의 경우 즉 신선암의 경우 $s=1$ 을 취한다. 암반의 경우에 상수 m 과 s 는 기초적(보정하지 않은) RMR과 다음의 관계를 가진다.(Hoek와 Brown,1980):

교란되지 않은 암반에 대하여 (조절발파나 기계 보어링에 의한 굴착) :

$$m = m_i \exp\left(\frac{RMR - 100}{28}\right) \quad (4)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR - 100}{9}\right) \quad (5)$$

교란된 암반의 경우에 (사면이나 발파로 손상을 입은 굴착) :

$$m = m_i \exp\left(\frac{RMR - 100}{14}\right) \quad (6)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR - 100}{6}\right) \quad (7)$$

4. RMR의 수정방법

RMR 시스템은 많은 사례 연구를 통해 수정되었고 국제적인 규격과 절차를 따라 변형되어 왔다. Laubscher (1977, 1984)는 광산에서의 적용성을 검토하고 RMR의 수정방법을 제시하였으며, Weaver (1975)는 릿퍼빌리티를 평가하였다. 그리고, Romana(1985)는 RMR을 사면 안정성 검토 및 설계에 적용하기 위해 SMR(Slope Mass Rating)을 제안하였다. Kendroski 등 (1983)은 경암의 광산에 적용할 수 있도록 발파시의 손상정도, 굴착심도 및 공동의 기하학적 특성에 관한 영향, 절리방향성에 대한 영향을 보정하는 방법을 제시하였다. 그리고 Gonzalez (1983, 2003)는 지표 노두조사 자료를 이용한 RMR 수정방법을 고안하였으며, RMR을 연속적인 값으로 표현하기 위해 여러 가지 변형방법이 제시되었다.

4.1 수정 RMR 분류법 (MRMR: Mining Rock Mass Rating)

Laubscher와 Taylor(1976)는 깊은 심도의 탄광에서 암반분류를 응용한 경험을 바탕으로 RMR 지반분류 및 지보지침을 수정하였다. Laubscher와 Taylor는 RMR 분류의 변수들에 대한 풍화, 응력변화 Ehmss 발파 영향을 고려하여 적절한 %로 다음과 같이 수정하였다.

1) 풍화의 영향에 대한 보정

무결암 강도 - 풍화가 암석내의 미세한 구조에 따라 진행되고 있을 경우 최대 96%까지 감소

RQD - 풍화에 의해 균열이 증가하고 있을 경우 최대 95%까지 감소

절리상태 - 풍화에 의해 절리면 또는 충전물이 열화되어 있을 경우 최대 82%까지 감소

2) 현지지압 및 유도응력의 영향에 대한 보정

절리상태 - 응력이 절리를 압축상태로 유지할 경우 최대 120%까지 증가, 전단활동 가능성의 증가가 우려될 경우 최대 90%까지 감소, 얇은 점토 충전물이 있는 개구 절리의 경우 최대 76%까지 감소

3) 응력변화의 영향에 대한 보정

절리상태 - 절리가 항상 압축을 받는 것과 같은 응력변화가 생길 경우 최대 120%까지 증가, 큰 전단 활동 또는 절리 개구를 발생시키는 응력변화가 생길 경우 최대 60%까지 감소

4) 주향과 경사의 영향에 대한 보정

절리간격 - 절리군수와 경사 굴착면의 수에 따라 최대 70%까지 감소

5) 발파 영향에 대한 보정

RQD와 절리상태 - 발파 조건에 따라 시공성이 불량한 일반적인 발파의 경우 최대 80%까지 감소

Laubscher와 Taylor는 처음 평가된 RMR 값과 위와 같이 수정된 RMR 값의 등급을 각각 10등급으로 세분한 후, 수정된 값뿐만 아니라 수정전 값을 함께 고려하여 지보선정기준을 표 3과 같이 제시하였다

표 3. Laubscher와 Taylor(1976)에 의해 수정된 지보선정기준

수정된 평점	초기의 평점									
	90-100	80-90	70-80	60-70	50-60	40-50	30-40	20-30	10-20	10-20
70-100										
50-60		a	a	a	a					
40-50			b	b	b	b				
30-40				c, d	c, d	c, d, e	d, e			
20-30					g	f, g	f, g, j	f, h, j		
10-20						i	i	h, i, j	h, j	
0-10							k	k	l	l

a = 일반적으로 지보필요 없음. 단 절 리가 교차되는 구간에만 볼팅 필요

b = 전면접착식 볼트로 간격 1m 체계적 볼팅

c = 전면접착식 볼트로 간격 0.75m 체계적 볼팅

d = 전면접착식 볼트로 간격 1m 체계적 볼팅 및 슛크리트 5cm

e = 지압변화가 심하지 않으면, 전면접착식 볼트로 간격 1m 체계적 볼팅 및 슛크리트 30cm

f = 전면접착식 볼트로 간격 0.75m 체계적 볼팅 및 슛크리트 10cm

g = 전면접착식 볼트로 간격 0.75m 체계적 볼팅 및 철망 슛크리트 10cm

h = 지압변화가 심하지 않으면, 전면접착식 볼트 간격 1m의 체계적 볼팅 및 콘크리트 45cm

i = 보강공이 필요할 경우, 전면접착식 볼트로 간격 1m의 체계적 볼팅 및 슛크리트 10cm, 응력변화가 심하면 가축성 강지보

j = 응력변화가 심하지 않으면, 원형지보 및 콘크리트 45cm

k = 천반 및 필요에 따라 막장 슛크리트 및 가축성 강지보

l = 이 지반내에서는 굴착을 피한다. 그렇지 않으면 j 또는 k 적용

4.2 지표 노두 조사시의 RMR 분류법(SRC: Surface Rock Classification)

Gonzalez de vallejo(1983)는 현지응력과 노두조사 자료 및 터널 굴착 조건을 고려하기 위해 RMR 분류법에 대한 수정방법으로 SRC 분류법을 제시하였다. SRC 분류법은 표 4에 나타난 바와 같이 RQD와 불연속면 간격 항목을 하나로 통합하고 응력상태 항목을 추가하였다. 지표 노두 조사 조건을 고려하기 위하여 압축 및 인장 균열, 풍화등급, 심도에 따라 RQD/불연속면 간격과 불연속면 상태, 지하수 상태에 대한 점수를 보정하였다. 이렇게 구해진 점수와 보정된 암반 등급은 굴착 이전의 기본 SRC 값을 나타낸다. 그리고 발파, 지보, 인접공동 등의 굴착 조건으로 인한 영향을 설명하기 위해, 기본 SRC 총합을 보정한다.

표 4. SRC 분류표

분류 기준			값의 범위							
1	무결암 강도	점하중 강도 지수 (MPa)	> 8	4-8	2-4	1-2	단축압축시험 적용			
		단축압축강도 (MPa)	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	< 1	
	점 수	20	15	7	4	2	1	0		
2	불연속면 간격(m)		> 2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.2	< 0.06			
	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25			
	점 수		25	20	15	8	3			
3	불연속면의 상태		매우 거친 표면 불연속적 분리가 없음 신선한 모양	약간 거친 표면 이격<1mm 약간 풍화된 벽면	약간 거친 표면 이격<1mm 많이 풍화된 벽면	평활면 혹은 충전물<5mm 두께 혹은 이격 1-5mm 연속적	연한 충전물 >5mm두께 혹은 이격>5mm 연속적			
	점 수		30	25	20	10	0			
4	지 하 수	10 m 터널 길이 당 유입 (L/min)	없음	<10	10-25	25-125	>125			
		절리수압 최대주응력 비	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5			
	일반적 상태		완전 건조	축축함(damp)	젖음(wet)	물이 떨어짐	물이 흐름			
	점 수		15	10	7	4	0			
2	원지반 강도비		< 10	5-10	3-5	< 3				
	점 수		10	5	-5	-10				
	구조 운동		광역적으로 중요한 트러스트/단층 인접지대				압축력	인장력		
	점 수		-5				-2	0		
	응력이완계수		>200	80-200	10-80	<10	사면 80-200 10-80 <10			
	점 수		0	-5	-8	-10	-10	-13	-15	
최근 구조활동		없거나 미상	추정	확인						
점 수		0	-5	-10						

4.3 비탈면에서의 암반분류법(SMR: Slope Mass Rating)

비탈면에서의 암반분류법으로 사용되는 SMR에 의한 암반분류법은 우선 일반 암반의 평가 방법인 Bieniawski의 RMR을 근거로 하여 비탈면에 대한 요소들을 보정하는 방법으로 Romana(1985, 1988)에 의해 제안되었다. RMR에 의한 암반분류는 주로 터널에서 지보의 적합성을 평가하는 분류법으로 발전되어 비탈면에 사용하기가 곤란한 점이 많으므로, 비탈면의 정량적 평가를 위한 SMR분류법이 제안된 것이며, 분류등급에 따라 예상되는 파괴형태와 지보 대책에 대한 방법도 제시되고 있다.

SMR 암반분류에서 고려되는 요소들은 암반의 일반적인 특성 외에 비탈면과 불연속면의 주향방향의 차이, 비탈면의 경사방향과 불연속면의 경사각 차이, 불연속면의 경사, 비탈면의 굴착방법 등이다. 불연속면 및 비탈면과 관련된 보정요소는 표 5와 같다. 이러한 보정요소들은 다음 계산식에 의해 SMR 값을 결정한다.

$$SMR = RMR_{basic} + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (8)$$

여기서 F_1 : 절리와 비탈면 주향 사이의 평행성

F_2 : 평면파괴형태에서 절리경사각

F_3 : 비탈면과 절리경사각 사이의 관계를 반영

F_4 : 발파 등의 굴착방법에 따른 경험적 계수(표 6 참조)

계산된 SMR 값에 따른 사면 암반의 등급과 안정성 그리고 예상되는 파괴형태는 표 7과 같으며, 표 8은 SMR 등급에 따른 보강방안을 보여준다.

표 5. SMR 보정요소에 대한 배정(F1·F2·F3)

구 분		절리, 경사 형태	매우 유리	유리	보통	불리	매우 불리
항목	파괴형태						
F1	평면파괴	$ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^\circ$	30~20°	20~10°	10~5°	$< 5^\circ$
	전도파괴	$ (\alpha_j - \alpha_s) - 180 $					
	F1 (평면파괴 / 전도파괴)		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
F2	평면파괴	$ \beta_s $	$< 20^\circ$	20~30°	30~35°	35~45°	$> 45^\circ$
	F2 (평면파괴)		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
	F2 (전도파괴)		1	1	1	1	1
F3	평면파괴	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	10~0°	0°	0~ -10°	$< -10^\circ$
	전도파괴	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	110~120°	$> 120^\circ$	-	-
	F3 (평면파괴 / 전도파괴)		0	-6	-25	-50	-60

주) α_j : 절리 경사방향, α_s : 사면 경사방향, β_j : 절리경사, β_s : 사면경사

표 6. 비탈면 굴착 공법에 따른 교란효과와 경험적인 조정요소(F4)의 비교

굴착 공법	N	교란 두께		F4
		범위(m)	평균(m)	
자연 비탈면	4	0	0	+15
Presplitting	3	0~0.6	0.5	+10
Smooth Blasting	2	2~4	3	+8
Bulk(Normal) Blasting 또는 리핑, 사전발파 후 리핑	3	3~6	4	0
Deficient Blasting	-	-	-	-8

표 7. SMR분류에 의한 비탈면의 안정성 평가 및 붕괴유형

분류	SMR	암반상태	안정성	붕괴	보강
I	81~100	매우 좋음	매우 안정	없음	필요 없음
II	61~80	좋음	안정	일부 블록	때때로 필요
III	41~60	보통	부분적 안정	일부 절리 혹은 많은 썩기파괴	체계적인 보강
IV	21~40	나쁨	불안정	평면 또는 대규모 썩기파괴	중요/보수차원
V	0~20	매우 나쁨	매우 불안정	대규모 평면파괴 또는 원호파괴	재굴착

표 8. SMR분류에 의한 비탈면의 안정성 평가 및 붕괴유형

분류	SMR	보강 공법
I a	91~100	필요없음
I b	81~90	필요없음, 부석제거
II a	71~80	(필요없음, 비탈면하단 도랑설치 또는 펜스) 부분적 볼트시공
II b	61~70	비탈면하단 도랑설치 또는 펜스, 네트설치 부분적 또는 패턴볼트시공
III a	51~60	비탈면하단 도랑설치 또는 펜스, 네트설치 부분적 또는 패턴볼트시공
III b	41~50	(비탈면하단 도랑설치 또는 펜스, 네트설치) 패턴볼트 또는 앵커 시공 전면 슛크리트 시공, 비탈면하단벽체 또는 보강 콘크리트
IV a	31~40	앵커, 전면 슛크리트, 비탈면하단벽체 또는 보강 콘크리트 (재굴착) 배수
IV b	21~30	전면보강스�크리트, 비탈면하단벽체 또는 보강 콘크리트 재굴착, 깊은 배수
V a	11~20	중력식 또는 앵커보강 벽체 재굴착

주) 1) 동일 비탈면에 대하여 다른 몇 가지 종류의 보강법이 종종 사용됨

2) ()는 잘 사용하지 않는 공법

5. 결 론

RMR 분류법은 원래 49개의 사례를 통해 제안되었으나 이후 많은 연구자들의 사례 연구를 통하여 검증되어왔다. RMR 분류법은 기존 많은 시공사례를 통해 경험적으로 획득 분석된 암반특성과 지보형식등의 관계를 토대로 암반을 정량화한 방법으로서 신뢰성이 크며, 조사항목이 비교적 간단하여 숙련도에 의한 오차가 적다. 그리고 RMR 분류 결과는 터널의 유지시간, 최대 무지보폭 등 뿐만아니라 암반의 물리적 특성값도 예측할 수 있게 하며, 절리의 방향성 및 절리와 관련된 평가항목들에 주안점을 두고 있어 합리적이다.

위와 같은 장점들과 함께 몇가지 한계도 존재한다. 즉 현장 원지반에 대한 응력이 고려되어 있지 않으며, 암반등급별 터널규모, 현장조건별을 감안한 보강형식이 제안되고 있지 않다. 그러나 RMR에 대한 연구는 현재까지도 계속되고 있으며 위의 한계들을 극복하기 위한 시도도 계속 진행되고 있다.

마지막으로 RMR 분류법의 한계를 극복하기 위한 연구가 진행되고 있지만, 실제 설계 적용에 있어서는 RMR 분류법 한가지만을 이용하기보다는 Q시스템 등 다른 암반분류법에 의한 암반분류를 병행하여 수행하고 이들을 서로 참조하여 암반분류 및 설계를 수행하는 것이 바람직할 것이다.

참고 문헌

- Barton, N., R. Lien, J. Lunde, 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6(4), pp. 189-236
- Bieniawski, Z. T., 1973, Engineering classification of jointed rock masses. *Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng.* 15 (12), pp.335-344
- Bieniawski, Z. T., 1984, *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, A. A. Balkema, Rotterdam
- Bieniawski, Z. T. 1989, *Engineering Rock Mass Classifications*, John Willy & Sons
- Gonzalez de Vallejo, L. I., 1983, A new rock classification system for underground assessment using surface data. *Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Constr.*, LNEC, Lisbon vol. 1 pp. 85-94
- Gonzalez de Vallejo, L. I., 2003, SRC rock mass classification of tunnels under high tectonic stress excavated in weak rock. *Eng. Geol.* 69 pp. 273-285
- Hoek, E., and E. T. Brown., 1980, *Underground Excavation in Rock*, IMM, London
- Kendorski, F., R. Cummings, Z. T. Bieniawski, and E. Skinner., 1983, Rock mass classification for block caving mine drift support. *Proc. 5th Int. Congr. Rock Mech.*, ISRM, Melbourne pp. B51-B63
- Laubscher, D. H., 1977, Geomechanics classification of jointed rock masses-mining applications. *Trans. Inst. Min. Metall.* 86pp. A1-A7
- Laubscher, D. H., 1984, Design aspects and effectiveness of support systems in different mining situations. *Trans. Inst. Min. Metall.* 93 pp. A70-A81
- Lauffer, H., 1988, Zur Gebirgsklassifizierung bei Fräsvortrieben. *Felsbau* 6(3) pp. 137-0149

- Priest, S. D., and J. A. Hudson., 1976, Discontinuity spacings in rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 13 pp. 135-148
- Romana, M., 1985, New adjustment ratings for application of bieniawski classification to slopes. *Proc. Int. Symp. Rock Mech. in Excav. Min. Civ. Works, ISRM, Mexico City* pp.59-68.
- Serafim, J. L., and J. P. Pereira, 1983, Considerations of the geomechanics classification of Bieniawski. *Proc. Int. Symp. emg. Geol. Underground Constr., LNEc, Lisbon vol 1*, pp. II.33-II.42.
- Unal, E., 1983, Design guidelines and roof control standards for coal mine roofs. Ph. D. thesis, Pennsylvania State University, University Park 355 pp.
- Weaver, J., 1975, Geological factors significant in the assessment of rippability. *Civ. Eng. S. Afr.* 17(12) pp. 313-316.
- Wickham, G. E., H. R. Tiedemann, and E. H. Skinner, 1972, Support determination based on geologic predictions. *Proc. Rapid Excav. Tunneling Conf., AIME, New York*, pp.43-64.