

RMR 분류법의 국내 적용성 평가

An Evaluation of Rock Mass Rating System As Design Aids in Korea

구호본*(Ho-Bon Koo) 배규진*(Gyu-Jin Bae) 문홍득*(Hong-Deug Moon) 홍성완*(Sung-Wan Hong)

* : 한국건설기술연구원 지반연구실, Geotech. Div., KICT

SYNOPSIS : Rock mass classifications have played an indispensable role in underground construction for several decades. An important issue in rock mass classifications is the selection of the parameters of greatest significance. There appears to be no single parameter that can fully describe a jointed rock mass for underground construction design. In this paper, We find some problems when applied rock mass classification for underground construction in domestic, analyze the most significant parameters and parameters correlation influencing the behavior of a rock mass, and suggest the Simplified Rock Mass Rating system based on RMR method for effective underground supports.

1. 서론

국내에서 주로 적용하고 있는 암반등급 분류방법은 지하철이나 산악터널의 경우 RMR(Rock Mass Rating System) 분류법을, 지하연료 비축기지, 지하 발전소의 경우 Q(Q System) 분류법 등이다. 이밖에 공사품셈 결정이나 지반분류를 보다 간편하게 수행하기 위하여 정성적인 분류방법인 건설표준품셈과 지질품셈 등을 이용하고 있다.

외국의 경우, 설계용 암반등급 분류방법은 수년 또는 수십년 동안 자국의 지질조건, 현장조건, 시공조건 등을 고려한 수많은 현장 자료들의 축적과 이론해석의 발전에 따라 수치의 변형과정을 거쳐 완성되었으며, 또한 계속적으로 변천해 갈 것이다. 그리고 암반등급 분류방법에 대한 자료의 축적이나 기 수행 연구 실적이 저조한 나라의 경우 새로운 암반등급 분류방법의 개발보다는 기 개발된 분류법을 자국의 여건에 맞도록 변형하여 쓰고 있는 추세이다.

본 연구에서는 전 세계적으로 기 개발되어 사용되고 있는 암반 분류 방법들의 종류별 특성분석과 국내 터널현장에서 가장 많이 이용되고 있는 RMR 방법에 대해 국내 적용상의 문제점을 조사하여 향후 이의 개선을 유도하고자 한다. 특히 RMR 값을 결정짓는 여러 요소들의 상관성 분석연구를 수행, 보다 간편한 RMR 적용방법의 제시에 연구의 주안점을 두었다. 또한 기 개발된 정성적·정

량적인 암반분류 방법들의 종류별 특성 조사와 국내 15개소 시공 현장 방문 조사 및 암반분류 관련 자료 입수 및 분석, 그리고 국내 1개소 터널현장에 대한 암질측정을 자체 연구진이 수행하였다. 이들 조사 대상지역의 모양은 화성암(특히 화강암)과 변성암(특히 편마암) 지역을 대상으로 하였다.

2. 암반등급 분류법의 개발

암반등급 분류법은 오늘날 지하공간 개발 관련 설계 및 시공의 기초자료로 이용되고 있다. 이들의 시대별 발달과정을 살펴보면 초기암반 등급 분류(1945~1960년)단계, 중간 암반등급 분류(1960~1970년)단계, 현 암반등급 분류 단계(1970~현재)로 나눌수 있다.

2.1 초기단계

초기 암반등급 개발단계의 대표적 분류법은 Terzaghi의 암하중 분류법(Rock Load Classification Method)을 들 수 있다. Terzaghi(1946)는 터널의 강제 지보재 설계를 위하여 암반하중의 평가에 의한 암반등급 분류법을 개발하였다. 이것은 터널 기술 발달의 획기적인 전환점이며 터널의 강제 아아치 지보재에 작용하는 암반하중의 평가에 의해 지보재의 경제성과 안정성을 분석하는 반면, 슛크리트나 록볼트를 보강공법으로 사용하는 현대의 터널공법

에서는 적용할 수 없는 단점이 있다.

초기단계의 암반등급 분류는 암반의 특성을 정성적으로 분류하고 보강형식을 강제 지보재에 한정하고 있는 등의 기초단계라고 할 수 있다. 이러한 배경으로 중간단계 또는 현 단계의 암반등급 분류법이 발생하게 되었다고 할 수 있다.

2.2 중간단계

중간단계의 암반등급 분류는 Rabcewicz와 Pacher가 개발한 NATM 분류법을 들 수 있다. NATM 분류법은 암하중 분류법보다 많은 인자와 세분된 등급을 가지며, 지반조건, 굴착방법, 터널지보 요소의 상관성으로 구성되어 있으며, 특히 설계·시공 경험과 지반조사 결과가 등급 결정에 큰 영향을 미치고 있다. NATM의 암반등급 분류의 특성은 지반의 거동을 고려하며, 암반의 야외조사 결과를 근거로 현장에서 결정한다. 즉, 지반조건은 정성적으로 구분되며, 암반등급 분류의 세분정도는 현장조사 자료에 의존한다.

중간단계의 암반등급 분류법은 Terzaghi의 암반하중 분류법에 이론적 근거를 두고 있으나 암반등급 구성인자에 대한 가중치를 부여한 것이 주목할 만 하다.

2.3 현단계

현단계 암반등급 분류는 암반특성(지질)을 정량적으로 나타내며, 굴착방법, 막장면 크기, 굴착면 형태 개발용도 등을 반영하고 있다.

현재까지의 암반등급 분류법 중 가장 일반적이면서 주목을 끈 것은 6종류의 분류법이라고 할 수 있다. 즉, Terzaghi(1946)의 암하중 분류법, Pacher et al.(1964)의 NATM 분류법, Deere et al.(1967)의 RQD, Wickham et al.(1974)의 RSR 분류법, Bieniawski의 RMR 분류법(1972), Barton et al.(1974)의 Q 분류법이다.

이들 중 현단계에서 개발된 Deere et al., Wickham et al., Bieniawski, Barton et al.(1974) 방법이 1970년대 이후 만들어져서 오늘날까지 많이 이용되고 있다. Deere et al.(1967)은 암질계수 RQD(Rock Quality Designation)를 소개하였는데 시추공으로부터 암추의 질적인 현상을 설명하는 아주 단순하고 실질적인 방법이다. 지반보강 예측 모델인 RSR(Rock Structure Rating) 분류법은 Wickham et al.(1972, 1974)에 의해 미국에서 개발되었는데 암반특

성의 정량적 기술과 적절한 지보 선정기준을 제시하는 것으로 1946년 Terzaghi에 의해 소개된 이래로 최초의 정량적인 암반분류 체계방법이다.

2.3.1 RMR 분류법

RMR 분류법(Rock Mass Rating, RMR System)은 Bieniawski에 의해 개발되었으며, 다음과 같은 6개 인자들로 구성되어 있다.

암석의 일축압축강도

· 암질계수(RQD)

- 분리면 간격

- 분리면 상태

· 지하수 상태

분리면의 방향성

RMR 분류법의 기준은 상기 6개 인자들의 가중치를 5등급으로 구분하였다. RMR 분류법은 개발당시 완벽하게 만들어진 것이 아니고 Bieniawski와 세계 여러학자들의 연구에 의해 오늘날 사용하고 있는 분류법이 개발되었다고 할 수 있다. 즉, Bieniawski가 1972년 RMR 분류법을 개발하였고 이 당시 8개 인자로 구성된 것을 1973년 6개 인자로 조정하였다. 1975년 각 인자들의 점수조정과 지보 설치기준을 축소 조정하였고, 1976년에 등급간의 분류기준을 20점으로 수정하였다. 1979년에는 RMR 분류법을 보다 용이하게 사용하기 위하여 ISRM(1978)의 암반기술방법을 도입하였고 1976년에 제시한 암반등급 분류기준에 따른 지반의 내부마찰각과 점착력을 조정하였다. 즉, 내부 마찰각은 하향 조정하였고 점착력은 상향 조정하였다.

RMR 분류법은 RMR값에 따라 지보 선정기준을 제시하였다. 이들 선정기준은 지표면으로부터 깊이, 터널크기와 형태, 굴착방법 등과 같은 요인에 의하여 결정된다.

RMR로부터 결정되는 지지하중은 Unal(1983)에 의해 다음식과 같이 제안되었다.

$$P = \frac{100 - R}{100} \gamma B$$

여기서, P = 지지하중, (KN)

B = 터널폭, (m)

γ = 암석의 단위중량밀도, (kg/m³)

암반지보형태의 선정과 암반하중의 결정 또는 암반의 강도와

변위분석은 RMR값이 포함된 암반의 등급에 따라 산출되는 것이 아니라 실제 RMR값 자체를 이용한다. 왜냐하면 같은 등급내 "양호한 암반"에 속하는 RMR = 80과 RMR = 61 사이에는 상당한 차이를 보이기 때문이다.

또한 RMR 분류법은 암반의 현장변형율을 평가하는데 이용된다(Bieniawski, 1978).

$$E_M = 2RMR - 100 \quad (RMR > 50 \text{ 일경우 적용})$$

여기서, E_M 은 현장변형 계수(Gpa)이다. 최근에 Serafim과 Pereira(1983)는 RMR < 50 범위의 많은 사례결과로부터 다음과 같은 새로운 관계식을 도출하였다.

$$E_M = 10^{(RMR-10)/40} \quad (RMR < 50 \text{ 일경우 적용})$$

최근에 Hoek와 Brown(1980)은 RMR값과 Q값에 따른 암반의 특성값 m , s 를 결정하여 암반의 강도를 평가할 수 있는 다음식을 제안하였다.

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_c} = \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + \sqrt{m \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s}$$

여기에서 σ_1 = 파괴를 일으키는 최대 주응력(kg/m²)

σ_3 = 파괴를 일으키는 최소 주응력(kg/m²)

σ_c = 암석의 일축압축강도(kg/m²)

m, s = 암석의 특성과 σ_1 과 σ_3 에 따라 깨짐면의 확장특성에 의해 결정되는 상수(암질에 따라 결정되는 경험적 상수)

RMR 분류방법에서 도출된 결과는 보다 보수적이어서 지보설계에 과다설계를 유도하는 경향이 많다. 상기문제를 보완하는 차원에서 Kaiser et al.(1986)은 무지보 한계공식을 RMR 값에 맞게 다음과 같이 제안하였다.

$$RMR(NS) = 22 \ln ED + 25$$

여기서, ED는 동가면적(Equivalent dimension, m), NS는 무지보를 의미한다.

RMR과 타 분류법과의 상관성 분석은 Q 분류법(Bieniawski, 1976) 뿐 만아니라 RMR과 RSR 분류법간의 상관성(Rutledge와 Preston, 1978)도 함께 제시되었다. 암반등급분류 기준들간의 상관성은 111개 사례연구의 분석(62개 스칸디나비아 사례연구, 28개 남아프리카 공화국 사례연구, 미국, 캐나다, 호주, 유럽의 21개 사례연구)을 통하여 다음과 같은 상관성을 도출하였으며(Bieniawski, 1976) 그밖의 학자별, 나라별 이들의 상관식을 제시

하고 있다.

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

2. 3. 2 Q 분류법

Q 암반등급 분류법은 1974년 Barton, Lien, Lunde 그리고 NGI(Norwegian Geotechnical Institute)연구원에 의해 노르웨이에서 개발되었다. Q 분류법은 스칸디나비아의 212개 터널 사례연구를 근거로 제안되었다. 즉, 정량적인 분류체계 방법이며, 터널지보의 설계를 용이하게 해주는 공학적 분류체계이다.

Q System은 6개의 서로 다른 인자를 사용한 암질의 정량적 평가방법이다.

즉, R.Q.D.

- 절리군의 수(J_n)
- 가장 상태가 나쁜 절리나 불연속면의 조도(J_r)
- 취약 절리면을 따라 충전된 물질 또는 변질정도(J_a)
- 지하수 유입(J_w)
- 용력조건(SRF)

이러한 6개의 조건들은 다음과 같이 전체암반등급(Q)를 설정하기 위해 3개의 지수그룹으로 묶을 수 있다.

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

Q 분류법에서 RQD와 J_n 은 전체 암반의 구조와 암괴크기의 상대적 값을 의미하며, J_r 에 대한 J_a 인자의 몫은 절리의 전단강도를 의미하며, J_w 인자는 수압의 크기를 의미하며, SRF 인자는 ① 파쇄대와 점토함유 암석의 경우 용력이완, ② 치밀암에 있어서의 암석용력, ③ 소성암에 있어서의 압쇄 및 팽창용력 등을 나타낸다. J_w 에 대한 SRF 인자의 몫은 주동용력을 의미한다. Barton et al.(1974)은 절리의 방향성보다 J_r, J_a, J_n 등의 역할이 더욱 중요한 것으로 간주하였다. Q 값에서는 굴착의 동가면적(equivalent dimension)을 정의하여 터널지보의 필요성여부와 상관성을 분석 하였다. 굴착면크기와 개발용도의 함수인 동가면적은 굴착의 지간, 직경 혹은 높이 등을 굴착 지보비(ESR)라 불리는 값으로 나누어 산정한다.

즉, ESR은 굴착종류와 필요한 안전율에 대해 아래와 같은 식으로 표시한다.

$$\text{유효크기} = \frac{\text{지간 또는 높이}(m)}{\text{굴착지보비}(ESR)}$$

터널지보에 있어서 볼트길이 $L(m)$ 은 다음식으로부터 결정된다.

$$L = \frac{2 - 0.15B}{ESR}$$

여기서 $B(m)$ 는 굴착폭이다.

최대 무지보 지간은 다음 식에서 구할 수 있다.

$$\text{최대지간}(NS) = 2(ESR) \times Q^{0.4}$$

Q 값과 영구지보압(Proof)간의 관계는 다음식에서 결정된다.

$$\text{Proof} = \frac{2.0}{Jr} * Q^{1/3}$$

만일, 절리군의 수가 3개군 미만이라면 다음식을 적용한다.

$$\text{Proof} = \frac{2}{3} * Jn^{1/2} * Jr^{-1} * Q^{1/3}$$

3. 국내 암반등급 분류방법 및 문제점 조사

국내에서 적용하고 있는 건설표준품셈, 지질품셈, 한국기술용역협회 분류기준, 한국도로공사 분류기준, 서울지하철 분류기준, 고속전철 기획단 분류기준 등의 암반 분류방법들은 암석의 강도에 따른 품셈 적용의 기준으로 이용하고 있으며, 암반등급 분류특성에 따른 지보설계용 분류법은 RMR과 Q 분류법을 이용하고 있다.

국내의 암반분류 기준들의 문제점과 외국의 지보 설계용 분류법의 적용상의 문제점을 고찰하면 다음과 같다.

1) 국내 암반등급 분류법 고찰

국내에서 많이 이용되고 있는 암반 분류방법은 다음과 같은 문제점이 있다.

- 국내 암반등급 분류법에서는 특정 단일 인자를 기준으로(특히, 암석강도) 암반의 연경도를 산정하고 주로 정성적인 것에 비중을 많이 두고 있으며, 또한 암반등급 판정을 위한 현장 간이 실험에서도 곡괭이를 사용하는 등 전근대적인 요소가 가미되어 있다.

- 최근 선진 외국에서는 지반조사시 삼중튜브에 의한 풍화층을 시추하는 등 급격한 발전을 하고 있는데 반하여 국내에서는 메탈비트 사용을 암반등급 분류의 기준으로 사용하고 있다.

강도측정을 위한 암석시료의 경우 ISRM에서는 암심길이는 암심 직경(주로 N_x 크기 사용, 이 경우 10 cm 이상의 시험용 암심 길이가 필요)의 2배 이상이 바람직하다고 추천하고 있으나

시추길이에 대한 언급이 없거나 5 cm로 규정하고 있다.

- 국내의 경우 대부분의 암반등급 분류시 탄성과 속도를 이용하고 있으나 실제 풍화암에서는 시료채취의 어려움 등으로 실험의 효율성을 기대하기 어렵다.

암반등급 분류에서 암종에 따라 등급분류를 달리하고 있으며 암종을 너무 세분화시켜 구분하고 있다. 즉, 화성암, 변성암, 퇴적암의 대표암 수개를 제시하는 것이 보다 단순하고 적용하기가 용이하다.

2) 지보설계용 분류법의 적용성 고찰

국내 터널현장 수집개소를 현장방문하여 수집한 터널 시공계획서, 설계서 등을 분석한 결과 RMR과 Q 분류법을 가장 많이 이용하고 있으나 이들의 암반등급 분류법 적용시 다음과 같은 문제점이 있는 것으로 나타났다.

국내의 지질조건이나 지보 및 굴착방법에 부합하는 분류법이 강구되어 있지 않아 국외에서 기 제시된 분류방법들을 각 터널 현장에서 검증과정을 거치지 않고 이용하며, 경우에 따라서는 기준을 바꾸어 사용하거나 이들 분류법들을 혼용하는 실정이다.

- 터널현장의 경우 열악한 막장조건이나 공기지연에 의한 조사 시간 부재 등에 의해 각 인자들의 정밀측정에 의한 구성요소들의 배정결정보다는 개략적, 경험적 추정에 의해 값을 결정하는 사례가 많아 실측현장에서는 조사자에 따라 최대 50 %의 RMR 배점의 상대편차를 보였다.

- 각 분류법마다 가장 많이 이용되는 RQD의 경우, 시추장비(Metal bit, 시추장비) 및 방법상의 문제로 인해 실제 현장조건을 고려한 값의 결정이 이루어지지 않고 있다.

현장에서 RMR 방법으로 암반등급 분류를 실시한 후, 지보설계는 세부적인 항으로 구성되어 있는 Q 방법을 적용하는 사례가 많다.

지보설계의 경우 지반조건 이외에 지반굴착 방법을 고려하여 설계하는 것이 일반적인 국외의 추세이나 국내의 경우는 발파조건의 변화나 기계굴착(TBM)의 영향을 고려한 암반등급 분류 또는 지보설계가 이루어지지 않고 있다.

- 등급 분류방법을 적용할 때 전문가적인 지식을 가진 기술자에 의해 구성요소(joint 방향, 수 및 간격 등)에 대한 조사가 이루어져야 하나 국내 현장의 경우 상당수가 비 전문가에 의해 조사가 수행되고 있는 실정이다.

- 터널 계획설계 단계에서 암반 등급분류 및 표준지보 패턴설

계를 수행하기 위하여 이용하는 암반등급 방법, 특히 RMR 등급 방법에서는 시추조사 및 암석실험한 결과만으로 결정할 수 없는 절리간격 그리고 지하수량에 대한 정보가 요구되나 시추조사 및 암석강도실험 결과에만 의존하여 개괄적으로 RMR값을 결정하는 사례가 많다.

따라서, 향후 국내 지반조건에 적용할 수 있는 새로운 암반등급 분류를 제시하여 통일된 분류에 따라 설계 및 시공을 수행하여 문제점이 나타나면 이를 개정하고 보완하는 등의 과정을 거쳐 보다 완벽한 암반등급 분류 체계를 만드는 것이 중요하다.

새로운 암반등급 분류의 개발은 많은 인력과 시간을 필요로 하고 있어 정부 주도하에 이루어지는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 왜냐하면, 국내지반 여건에 적합한 암반등급 분류의 개발은 당면과제인 반면 이들 국내 설계나 품셈기준에 적용하지 않을 경우 사용에 한계가 있으며 또한 기존의 사용된 암반분류법에 익숙해진 현장 기술자들에게 혼란만 가중시킬 수 있기 때문이다.

4. 간편 RMR 분류법 제안

국내 지보설계를 위한 암반등급 분류방법으로는 터널의 경우 RMR을, 지하 유류 비축기지와 같은 대규모 지하공간은 Q 법을 활용하는 경향을 보이나 현장조사 결과, 전반적으로는 Q 분류법보다는 RMR 분류법을 많이 활용하고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 RMR 방법에 대해 중점연구를 수행하였다.

4.1 자료수집 및 실측

본 절에서는 RMR 분류법에 대한 국내 적용성을 조사함에 있어서 RMR 구성인자간의 상관성 분석과 아울러 RMR 구성인자 각각이 RMR 값의 결정에 미치는 영향정도를 분석하였다. 또한, 국내에서 RMR과 Q 분류법의 상관식은 대부분 Bieniawski(1976)의 $RMR = 91 - nQ + 44$ 식을 이용하는데 국내지반조건에 적합하지를 검토코자 하였다.

이를 위하여 4개소(무주양수 발전소 도수로 터널, 주암양수 발전소 도수로 터널, 서울 지하철 건설공구, 영천댐 도수로 터널) 400여개의 터널 막장 매핑자료와 RMR 분류자료를 수집하고 서울 북부도시화 고속도로 3공구에 대한 현장매핑 및 RMR 측정을 실시하였다.

자료수집은 자료의 산포도를 줄이기 위해 현장지반이 주로 화

성암 및 편마암으로 구성된 지역에 한정하였다.

4.2 자료분석 및 결과정리

4.2.1 RMR 시스템의 구성요소들간의 상관성

전술한 5개 터널현장에서 수집 및 실측한 400여개소의 터널막장 매핑자료를 근거로 RMR를 구성하는 6개 인자들간의 상호관계를 분석하였다. 즉, 암석강도와 RQD, 암석강도와 절리상태, 암석강도와 지하수 상태, RQD와 절리간격, RQD와 지하수 상태, 절리방향성과 지하수 상태에 대해서 분석하였다.

분석결과 이들의 상관성은 거의 찾아보기 어려운 것으로 나타났다(그림 1 참조) 이는 상관성 분석에 이용된 자료들이 각 인자들의 실제값이 아니라 RMR분류에 의한 배점상태에서 분석된 점, 특정구간에 측정된 RQD가 획일적으로 적용된 점, 그리고 개괄적인 값의 추정 등에 기인한 것으로 사료된다.

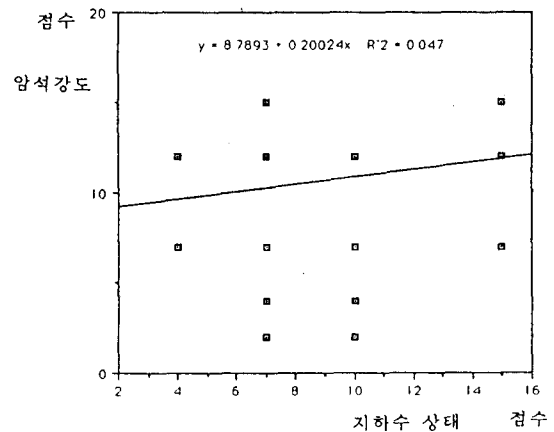


그림 1. 암석강도와 지하수 상태의 상관성

RMR을 구성하는 각 인자들간의 상관성 분석에 있어서 암석역학적 관점에서 절리간격과 RQD, 지하수 상태와 암석강도와는 밀접한 관계가 있다고 여러 학자들에 의해 언급되어 왔다. 지하수 상태와 암석강도와의 관계는 특히 기반암이 퇴적암으로 이루어진 현장에서 뚜렷한 경향을 나타내는 것으로 보고되고 있어 본 연구 관련 조사지역이 주로 화성암과 편마암으로 구성하고 있어 이들 상관성은 상당히 분산이 큰 것으로 나타났다. 그러나 절리간격과 RQD와의 관계는 Bieniawski가 RMR을 만들때 절리간격(Joint spacing)에 대한 정의를 명확히 제시하지 않아 사용자에 따라 그 값이 다양할 수 있다. 1977년 Laubscher는 이에 대한 불합리성을 지적하여 수정 RMR 방법을 제안하였는데 각 절리군 수와 절리간격의 평균값을 이용하

여 절리간격값을 찾을 수 있는 방안을 제시하였으며, 그 최대 값을 30점으로 한 후 RQD의 배점을 삭제하였고 대신 발파영향을 고려하도록 제안하고 있다.

Priest와 Hunson(1976)은 다음식과 같이 RQD와 불연속면의 빈도사이의 상관성을 제시하였다.

$$TRQD = 110.4 - 3.68 \gamma$$

(TRQD = 이론 RQD 값, γ : 절리빈도)

식상에서 절리빈도 γ 의 역수 $1/\gamma$ 은 평균 불연속면의 간격 즉, 절리간격이 된다.

따라서, 터널시공 현장에서 절리발달 상태에 대해 국내외 전문 기술진에 의해 정밀한 조사가 수행된 무주양수 발전소 도수로 터널현장의 자료와 본 연구진에 의해 실측이 이루어진 서울 북부도시 고속도로 터널 현장의 자료들을 근거로 절리간격과 현장 RQD 값과의 상관성을 재분석하였다.

그림 2는 절리간격과 현장 RQD 값과의 상관성을 도시한 것이다. 그림에서와 같이 자료들이 다소 산포되어 있기는 하나 R^2 가 0.8 정도로서, 현장 RQD와 평균 절리간격이 상호 연관성을 갖는 뚜렷한 특성을 보여주고 있다. 따라서 자료수집이 이루어진 화성암이나 편마암 지역에서는 RQD와 절리간격 중 어느 하나의 항목만 결정되면 다른 항목은 추정이 가능할 것으로 사료된다.

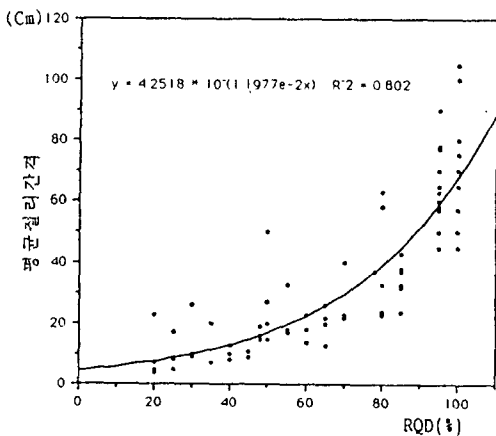


그림 2. 평균절리간격과 RQD값과 상관성

4. 2. 2 RMR과 구성요소들간의 상관성

RMR과 RMR을 구성하는 요소들간의 비교분석은 RMR값과 구성요소들간의 상관성을 파악하여 만일 조사단계에서

RMR 구성요소 모두를 조사하지 못할 경우와 터널 현장조건이 매우 열악하여 막장에서 매핑작업이 곤란한 경우 RMR 구성요소 중 한두개의 요소만으로 RMR값을 추정할 수 있는지를 검토하기 위해 이루어졌다. 상관성 분석에 의하면 다른 요소들이 매우 낮은 상관성을 보이는 반면, RMR값과 절리간격, RQD(그림 3), 절리상태(그림 4)와의 관계는 R^2 가 약 0.6이상으로 비교적 뚜렷한 상관관계를 보이고 있으며, 특히 RQD와 RMR과는 보다 더 뚜렷한 상관관계를 보이고 있다. Deere 등 (1969)이 RQD값을 지보설계시 주요 요소로 보고 이를 암반의 등급을 분류한 점도 함께 감안할 때, RMR의 가장 큰 지배인자가 RQD임을 알 수 있다.

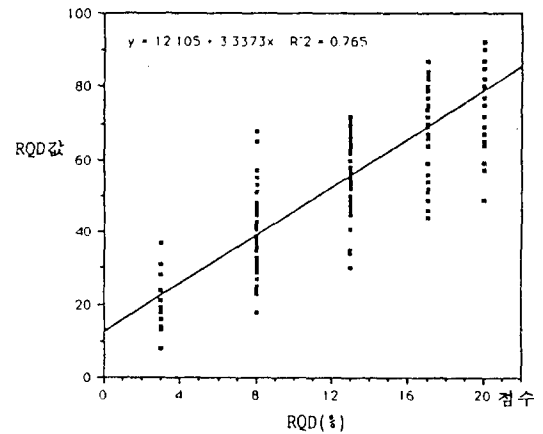


그림 3. RMR값과 RQD의 상관성

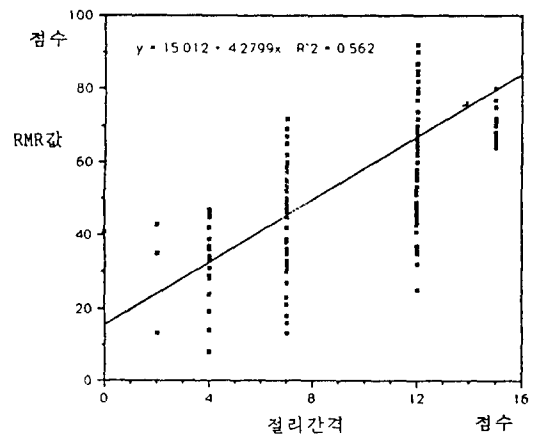


그림 4. RMR값과 절리간격의 상관성

4. 2. 3 RMR과 Q와의 상관성 분석

국내의 경우 일반적으로 $RMR = 9 \ln Q - 44$ 인 Bieniawski의 공식을 많이 인용하는 경향이 있다. 그러나 이 식은 스칸디

나비아 (62개소), 남아프리카 (28개소), 미국, 캐나다, 호주, 유럽 (21개소) 등의 111개소의 사례연구를 기초로 작성된 것이기 때문에 국내의 지반여건을 고려하지 못한다. 따라서 무주양수 발전소 도수로 터널 현장과 서울 북부도시 고속도로 3공구에서 실측한 RMR과 Q값의 상관성을 분석해보면 $RMR = 13 \ln Q + 60$ 으로 나타났다. 이들 상관성은 단지 두개의 현장과 기반암이 편마암과 화강암으로 한정하여 분석한 관계로 이들 자료에 전적으로 의존하여 RMR값을 Q값으로 전환하기에는 다소의 문제점이 따르는 것도 사실이다.

그러나, 국내 지반조건을 전혀 고려되지 않은 외국의 공식을 사용하기 보다는 상기공식을 사용하는 것이 오차를 줄일 수 있고 부가하여 이들에 자료의 축적에 의해 좀더 정확한 RMR과 Q의 상관관계를 도출할 수 있다고 사료된다.

5. 간편 RMR 분류법 제안

오늘날 세계 여러국가에서 널리 사용하고 있는 암반 등급분류의 종류는 10여개 정도 있으나 대부분 기존의 RMR과 Q분류법을 자국의 지질여건과 적용목적에 부합하도록 자국의 터널 사례연구 및 자료수집 분석을 통하여 경험적 방법에 의해 수정 변형시킨 형태로, 즉 RMR을 변형시킨 16개 분류법과 Q분류법을 변형시킨 3개의 분류법이 사용되고 있다. 이들 기 개발된 암반 등급분류법은 대부분 정량적, 정성적 방법에 의해 수년내지 수십년의 연구의 뒷바침에 의해 이루어졌다.

국내에서는 지하공간 개발과 관련 하여 많이 사용하고 현장기술자들에게 익숙해져 있는 RMR 분류법을 국내 지질조건과 기술수준에 적합하도록 검증과 수정을 거쳐 현장에서 간편하게 이용할 수 있는 방법의 개발이 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 상기 사항에 근거하여 국내 터널현장 5개소, 400여 암반매핑자료를 근거로 RMR분류법의 특성을 분석하였다. 분석결과 국내지질 여건상 RMR값과 RQD값의 상관성이 매우 높게 나타났다. 즉, RMR값과 RQD값의 상관성은 결정계수(R^2) - 0.765으로 RMR를 구성하는 6개 인자중 가장 높게 나타났으며, 분석한 RQD 자체 값이 아닌 RMR의 RQD 점수로 환산한 값이므로 실제 RQD값과의 상관성은 훨씬 높을 것으로 사료된다. 따라서 주변의 불리한 여건으로 인하여 RMR 등급분류의 6개 인자들에 대해 조사를 충분히 수행하지 못할 경우 RQD값을 이용하여 RMR값을 추

정할 수 있을 것이다.

실제 RQD를 이용한 암반등급분류는 Deere 등(1969)에 의해 제안되었고 RQD값에 따른 지보형식도 제시되었으나 RQD값이 지반의 상태를 대별할 수 없고 또한 Deere 등이 제시한 RQD값에 따른 슛크리트, 록볼트, 강재지보형식이 너무 단순하고 현장여건을 충분히 고려하지 못하여 터널 현장에서 이용되지 않고 있다. 그러나 현장조사에서 RQD의 조사는 거의 필수적으로 수행되고 있고 정량적으로 측정이 가능하며 보다 간편하고 측정자의 오차를 최대한 줄일 수 있는 장점이 있다. 따라서 국내지질 여건상 RMR값과 RQD의 상관성이 매우 높게 나타났고 현장에서 정량적 측정이 용이한 점 등을 고려해 볼 때 터널 현장여건상 조사의 한계가 있을 경우 본 연구에서 제시한 상관성을 이용하여 RMR값을 추정하여 RMR분류에 따른 지보형식을 선정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

국내 5개 터널현장조사 자료중 절리간격과 RQD의 상관성을 실측자료를 통해 분석한 결과 R^2 가 0.8 정도로 양호한 관계를 보여 주고 있다. 따라서 지하터널의 열악한 조건과 실제현장에서 RMR의 6개인자 값을 산정하는데 많은 시간이 소요되므로 RMR값을 보다 용이하게 산정할 수 있는 간편 RMR 분류법을 제시하고자 한다.

절리간격에 대한 배점을 RQD에 산정하는 방법은 먼저 그림 2의 각 RQD 값에 상응하는 절리간격 값을 얻고 이를 다시 절리간격에 대한 RMR 배점을 산정하였다(표 1). 표 1에서와 같이 RQD 75% 미만에 해당하는 절리 간격의 값은 RMR에서 제시한 절리간격의 배점과 일치하나, RQD 75% 이상의 값에서 이에 상응하는 절리간격의 값은 약 20% 하향된 것을 알 수 있다. 그러나, 그림 2의 경우 RQD 100%에서 곡선이 수렴하여야 하나 100% 선을 넘어가고 있어 이에 대한 오차와 조사대상 단면의 절리간격이 100mm 이상의 자료가 거의 없는 등의 문제를 안고 있다. 그러나, 실제 RQD 값이 100%에 가까운 값을 가지는 경우 RQD 75% 이상인 점에서도 RMR에서 제시한 점수에 수렴할 것으로 사료되어 수정된 RQD의 배점을 RMR에서 제시한 RQD 배점과 절리간격의 배점을 합산하여 산정하였다. 즉, 간편 RMR 분류법에 절리간격의 배점항목을 삭제하고 RQD의 배점율 표 1과 같이 산정한다.

표 1. 간편 RMR에서 RQD의 배점

등급 항목	I	II	III	IV	V
RQD(배점)	90~100% (20)	75~90% (17)	50~75% (13)	25~50% (8)	0~25% (3)
절리간격 (배점)	> 2m (20)	0.6~2m (15)	200~600mm (10)	60~200mm (8)	< 60 mm (5)
RQD의 값에 해당하는 절리간격	500~650mm (13)	350~500mm (11)	150~350mm (10)	100~150mm (8)	< 100 m (5)
수정된 대표 RQD(배점)	40	32	23	16	8

6. 결론

본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 국내 터널지보 설계방법으로 가장 많이 이용되고 있는 RMR 분류법의 경우, 터널현장 조사자의 주관에 따라서는 동일 현장조건하에서도 최대 50%의 배점 상대편차를 보이고 있으며, 그 주된 이유는 실험과 실측을 통한 RMR 구성요소의 결정보다는 경험적, 개괄적인 방법에 의한 값 결정에 기인한 것으로 조사되었다.
- 2) RMR의 구성요소인 RQD와 절리간격과는 매우 좋은 상관성을 보이고 있어 (R^2 가 0.8 이상임) RQD로부터 절리간격에 대한 배점의 추정이 가능할 것이므로 6개 인자로 구성된 RMR 분류법을 5개 인자만으로도 RMR 값을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) RMR값과 RMR 구성인자간의 상관성 분석에서 다른 요소에 비해 RQD가 RMR과의 상관성이($R^2 = 0.76$) 가장 좋게 나타나고 있어 현장에서 RMR 값을 개괄적으로 평가하는데 RQD가 이용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) RMR과 Q 분류법의 상관성($R^2 = 0.6$)은 자료수의 제약 및 비교적 양호한 암반층에 한정된 분석 등으로 인해 다소 낮게 나타나고 있으나 국외 기준을 활용하기 보다는 향후 자료 축적을 통한 본 제안식의 적정성 확인을 거쳐, 이를 활용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원, "지하생활공간 개발요소 기술연구(지반 굴착기술 분야 I)", 1993. 12, pp. 3 119~3 141.
2. Barton, N., Lien, R., Lunde, J., "Estimation of Support Requirements for Underground Excavations", proc. of the symp. on Design Methods in Rock Mechanics, ASCE, 1975, pp. 163~177.
3. Bienawski, Z. T., "Engineering Rock Mass Classification", A Wiley-Interscience Pub., 1989, pp. 29~90.
4. Mahtab, M. A., Grasso, P., Geomechanics Principles in the Design of Tunnels and Caverns in Rocks, Elsevier, 1992, pp. 31~51.
5. Priest, S. D., Discontinuity Analysis for Rock Engineering, Chapman & Hall Press, 1993, pp. 128~133.
6. Singh, Bhawani, Jethwa, J. L., Dube, A. K., Sing, B., "Correlation Between Observed Support pressure and Rock Mass Quality", Jour. of Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 7, No. 1, 1992, pp. 59~74.
7. Speers, C. R., "support for Tunnels Subjected to Changing Rock Loads: A Comparison of Design Methods", Jour. of Tunnelling and Underground space Technology, Vol 7, No. 1, 1992, pp. 25~32.