

## 암반분류방법간의 상관관계에 대한 고찰

### Correlation Between the Rock Mass Classification Methods

선 우 춘*	Sunwoo, Choon	황 세 호*	Hwang, Se-Ho
정 소 걸*	Chung, So-Keul	이 상 규*	Lee, Sang-Kyu
한 공 창*	Han, Kong-Chang		

#### Abstract

The purpose of this study was to determine the reliability of classifying rock masses for engineering purposes from bore core data. Rock mass classification parameters were obtained from several regions in widely differing geological environments. Both Rock Mass Rating(RMR) of Bieniawski(1973) and the rock mass quality Q of Barton et al.(1974) were employed in determining the quality of rock masses. From the comparison of classification results, conclusions were drawn. The linear regression analysis was undertaken in order to assess a possible correlation between each classification systems with different rock types and the results of the analyses showed a good correlation. The relationships between Rock Quality Designation(RQD) value and other classification systems were also calculated. A relationship between the P-wave velocity by sonic logging and rock mass classification such as RMR was considered. It is concluded that the applicability of P-wave velocity to rock mass classification is possible, and it is necessary to derive a more reliable relationship between the P-wave velocity and rock mass classification through a more collaborated works with geophysicists and rock mechanics engineers.

#### 요 지

본 논문에서는 국내 여러 지역에서 수행된 도로, 철도 및 기타 토목공사를 위한 설계과정에서 조사가 이루어진 현지조사와 시추코아 및 시추공을 대상으로 암반평가가 이루어진 자료들을 대상으로 암반분류방법간의 상관관계에 대해 조사하였다. 상관관계에 대한 해석은 암반분류에서 많이 사용되고 있는 RMR과 Q분류법간의 상관관계 그리고 RQD와 두 암반평가방법간의 관계에 대하여 암석성인별 분류 즉 화성암, 퇴적암 및 변성암별로 검토를 실시하였다. 전체적으로 분류방법의 상관관계는 좋게 나타나고 있다. 그리고 음파검층에 의한 탄성과 P파 속도와 RMR의 상관관계를 고찰하였는데, 이 두 요소간의 상관성은 비교적 양호하였으며 보다 신뢰성 있는 관계식을 유도하기 위한 노력이 필요하다.

**Keywords :** Correlation, P-wave velocity, Q-system, RQD, RMR, Rock mass classification

#### 1. 서 론

암반을 대상으로 하는 공사는 터널, 댐, 사면, 광산, 장대교의 기초, 지하공동 등 여러 분야에서 이루어지고

있으며, 이러한 암반에 대한 공학적 평가는 조사, 시공 경험 및 암반역학적인 판단을 기초로 하여 암반조건을 수치로 표시함으로써 경제적이고 능률적인 굴착과 지보설계에 필요로 하는 자료를 제공하는 주요한 작업이

\* 1 정희원, 한국지질자원연구원, 탐사개발연구부, 책임연구원

\* 2 정희원, 한국지질자원연구원, 탐사개발연구부, 선임연구원

다. 암반내 여러 형태의 불연속면들이 암반의 물성을 좌우하고 있기 때문에 암석 및 암반에 대해서 여러 시험을 실시하여도 그 결과를 암반이라는 물체의 역학적 성질과 직접 연결시킬 수 없기 때문에 암반분류를 실시한다. 복잡한 암반을 비슷한 거동의 그룹으로 그룹화하거나 또는 평점화 하여 암반의 특성과 그 특성을 이해할 수 있는 기준을 마련하고, 그 결과를 기본으로 하여 구조물의 해석, 설계 그리고 시공의 효율성을 높여 주며, 공사와 관련된 기술자들이 대상 암반에 대한 이해를 높여주는 수단으로도 사용된다.

본 논문은 국내 여러 지역에서 수행된 도로, 철도 및 기타 토목공사를 위한 설계과정에서 조사가 이루어진 여러 현장(동해-주문진 고속도로구간, 영동선 도계-동백구간, 중앙고속도로 영주-제천, 내륙고속도로 문경-점촌, 대구-포항고속도로, 부산 영도하수처리장, 부산-울산고속도로, 중앙선 덕소-양수, 호남고속도로 광주지역, 전주-함양간 고속도로 등)의 현지조사와 시추코아 및 시추공을 대상으로 암반평가가 이루어진 자료들을 대상으로 암반분류방법간의 상관관계에 대해 조사하였다. 상관관계에 대한 해석은 암반분류에서 많이 사용되고 있는 Bieniawski의 RMR(1973)과 Barton외(1974)의 Q시스템간의 상관관계 그리고 RQD와 두 암반평가방법간의 관계에 대하여 암석성인별 분류 즉 화성암, 퇴적암 및 변성암별로 검토를 실시하였다. 또한 탄성과 속도는 현지 지반의 상태를 잘 반영하는 원위치 탄성과 속도로 암반평가와 동탄성 계수를 계산하는데 주로 이용되며, 시추공내에서 심도에 따라서 연속적으로 탄성과 속도를 측정하기 때문에 코아의 실내시험이나 시추공내에서 수행되는 각종 시험과 대비가 용이한 장점을 가진다(황세호 외, 1999). 터널 시공의 실시설계단계에서 수행된 5개 지역의 9개 시추공에서 음파검층에 의한 탄성과 P파 속도와 RMR과의 상관관계에 대해서도 검토하였다.

## 2. 암반분류방법의 개요

### 2.1 암질지수(RQD)에 의한 분류

Deere(1967)에 의해 제안된 RQD(Rock Quality Designation)는 시추코아 회수율(TCR, Total Core Recovery)을 발전시킨 것으로 총 시추길이에 대한 채취된 코아 중 길이가 10cm이상인 코아들의 길이의 합의 백분율로 정의된다. 암질이 양호할수록 RQD값은 커지며, 심하게

풍화된 암석의 경우는 0의 값을 갖는다. 현재 RQD는 시추코아 logging에서 표준요소로, 또한 널리 사용되고 있는 암반분류법인 RMR과 Q분류법의 기본요소로서 사용되고 있다. RQD는 단지 시추공내 절리간격 요소 하나만으로 즉 암괴의 크기만을 나타내는 지수이므로 지반을 적절히 묘사하지 못하는 단점이 있지만, 이 항목 하나만으로도 경암터널의 지보의 설계에 이용될 만큼 적용성이 뛰어나다.

### 2.2 RMR(Rock Mass Rating) 분류법

RMR분류법은 Bieniawski(1973)에 의해 제안되었으며 Lauffer(1958)의 분류법이나 Wickham 등(1972)의 RSR분류법을 기초로 개발되었다. RMR분류법은 초기에는 터널과 광산용으로 개발되었지만 다양한 응용을 거쳐 사면의 안정성(Romana, 1985), 댐의 기초(Serafim과 Pereira, 1983), 굴착난이도(Weaver, 1975)등에 까지 적용범위가 넓어 졌다. RMR분류법의 장점은 각 요소들에 대한 평가가 비교적 쉬우며, 터널의 유지시간, 최대 무지보구간 등의 예측이 가능하고, 현지암반의 물리적 성질의 예측이나, 터널과 불연속면의 방향성을 고려할 수 있고 여러 분야에서 적용된 사례들에 의해(Bieniawski, 1989) 검증이 가능하다는 것이다. 반면에 단점은 지보량의 결정에 있어서 Q 분류법처럼 세밀하지 못하고, 불연속면의 군이 3개 이하인 경우는 보수적인 평가가 된다는 것과, RMR 분류에서 5개의 암반등급으로 분류하고 있지만 실제로는 영역간에 뚜렷한 경계가 없고, 터널의 폭에 대한 연구가 충분하지 못하며, 지보량을 결정하는데 있어 적용범위가 국한된다는 점이다.

RMR분류법은 암석의 일축 압축강도(15점), RQD(20점), 불연속면의 간격(20점), 불연속면의 상태(30점), 지하수의 상태(15점) 등 5개의 요소로 구성되며, 5개 구성요소 각각에 대해 다시 5 등급으로 분류되어 각 요소들은 값을 가지게 된다. 5개 요소들의 중요성은 동일하지 않으므로 각 요소의 중요도에 따라 가중치가 주어지며, 이 요소들의 합산한 값이 기본 RMR값이 되고 0~100까지 범위의 값을 갖는다. 그리고 불연속면의 방향성이 시공대상인 터널, 사면, 댐 기초, 광산개발 등과 같은 공학적 구조물에 따라 달라지기 때문에 불연속면의 방향성과 구조물의 방향에 따른 값을 보정하여 최종 RMR값을 구한다.

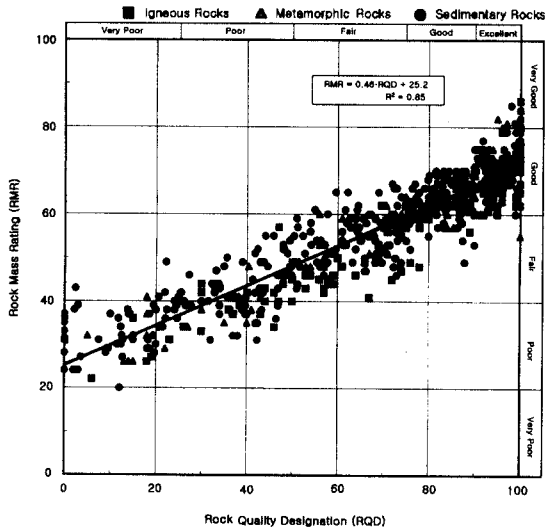


그림 1. RQD와 RMR값과의 관계

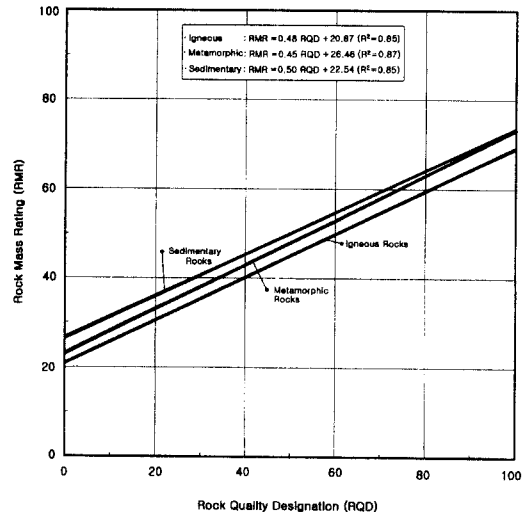


그림 2. 암종별 RQD와 RMR의 회귀직선

### 2.3 Q 분류법

Q 분류법은 노르웨이 NGI(Norwegian Geotechnical Institute)의 Barton 외(1974)에 의해 개발되었으며, 스칸디나비아의 212개 터널 사례연구를 근거로 제안된 정량적인 분류법으로 터널지보의 설계를 용이하게 해주는 공학적인 분류체계이다. Q 분류법은 암반을 정량적으로 평가하기 위해 6개의 요소를 사용하며 그 요소들은 RQD, 절리군의 수( $J_n$ ), 가장 상태가 나쁜 절리나 불연속면의 거칠기( $J_r$ , 절리의 거칠기 계수), 취약 절리면의 충전물 또는 변질정도( $J_a$ , 절리의 풍화·변질 계수), 지하수의 유입 상태( $J_w$ , 지하수에 의한 저감 계수), 그리고 응력조건(SRF, 응력 저감 계수)이다. 이 요소들을 3개의 향으로 나누어 곱으로 표현한 것이 암반등급 Q 값이며 다음의 식과 같이 표현된다.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

암질은 Q 분류법의 각 요소의 최소 및 최대 값을 조합했을 때  $10^{-3} \sim 10^3 (0.001 \sim 1,000)$  사이의 값으로 표시되며, 이 값은 9개 등급으로 분류되어 터널폭과 Q 값에 따라 지보방법이 제시되고 있다. Q 값이 이용가치가 높은 것은 등가굴착크기를 이용하여 암반을 38범주로 구분하여 각각에 대한 구체적인 지보형식 등을 제시하고 있기 때문이다.

### 3. 상관성

#### 3.1 RMR, Q 분류법 및 RQD의 상관성

RMR과 Q 분류법의 상관관계와 이 두 분류법과 RQD에 대한 상관관계에 대하여 검토하였다. 외국에서의 RMR과 Q 분류법간의 상관관계에 대한 연구가 Bieniawski (1976), Abad 등(1983), Moreno(1982), Rutledge와 Prestone (1978), Cameron-Clarke와 Budavari(1981) 등에 의해 수행되었다.

먼저 국내의 암반에 대한 RQD와 RMR의 상관관계를 살펴보면, 전체적으로 RQD 값은 0에서 100까지 값을 나타내고 있지만, RMR 값은 20에 85정도까지 값을 나타내며 그 이상의 값을 가지는 암반은 거의 없고, 또한 매우 불량한 암반도 없다(그림 1). 그림 1은 화성암, 퇴적암 및 변성암을 성인별로 분류된 RMR과 RQD값과의 관계를 전체적으로 나타낸 것이고, 그림 2는 각 암석별로 상관관계를 표시한 것으로 그 회귀식은 아래의 식들과 같다(식 (2)~(5)).

$$\text{전체} : RMR = 0.46 \cdot RQD + 25.2 \quad (R^2 = 0.85) \quad (2)$$

$$\text{화성암} : RMR = 0.48 \cdot RQD + 20.9 \quad (R^2 = 0.85) \quad (3)$$

$$\text{변성암} : RMR = 0.45 \cdot RQD + 26.5 \quad (R^2 = 0.87) \quad (4)$$

$$\text{퇴적암} : RMR = 0.50 \cdot RQD + 22.5 \quad (R^2 = 0.85) \quad (5)$$

전체적으로 RQD와 RMR의 상관관계는 좋게 나타나고 있다. 그것은 RQD 값이 불연속면의 간격과 암괴의 크기를 의미하는 것으로 RMR 분류법에서 RQD와 불연속면의 간격이 차지하는 비중은 40%이며 지하수를 제외하면 약 47%의 비중을 차지하기 때문으로 생각된다(표 1). 암종별로 상호관계를 살펴보면 같은 RQD 값에서 퇴적암이 가장 높은 RMR 값을 보이고, 화성암에서 가장 낮은 값을 보이고 있다. 이것은 층리 등의 영향으로 퇴적암이 화성암보다 RQD에서 불리할 수 있기 때문으로 생각된다.

암반의 등급관계에서는 낮은 값의 RQD에서는 RMR의 암반평가 등급이 RQD의 매우 불량이나 불량에 비해 불량과 보통으로 RQD에 의한 평가등급보다 높다. 반면에 높은 값의 RQD에서는 RMR의 암반평가 등급이 RQD의 양호나 매우 양호에 비해 주로 양호로서 낮게 평가되고 있음을 볼 수 있다(그림 2).

RQD와 Q의 상관관계에서는 전체적으로 Q값은 0.003의 예외적인 불량(exceptionally poor)에서 200정도의 극히 양호(extremely good)까지의 값을 나타내고 있다. 그림 3은 조사 암석 전체에 대한 Q 값과 RQD 값과의 관계를 나타낸 것이고, 그림 4는 암석별로 상관관계를 표시한 것으로 그 회귀식은 아래의 식(6)~(9)와 같다.

$$\text{전 체 : } RQD = 11.98 \cdot \ln Q + 54.2 \quad (R^2 = 0.77) \quad (6)$$

$$\text{화성암 : } RQD = 10.97 \cdot \ln Q + 55.2 \quad (R^2 = 0.75) \quad (7)$$

$$\text{변성암 : } RQD = 11.03 \cdot \ln Q + 56.8 \quad (R^2 = 0.83) \quad (8)$$

$$\text{퇴적암 : } RQD = 12.24 \cdot \ln Q + 54.1 \quad (R^2 = 0.78) \quad (9)$$

암종별로 상호관계를 살펴보면 70%이상의 RQD값에서는 화성암의 Q값이 높고 퇴적암이 가장 낮게 나타나

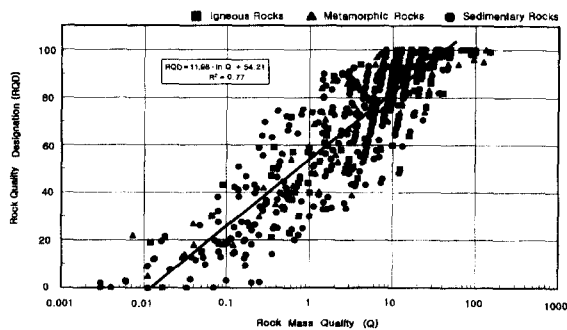


그림 3. Q와 RQD 값과의 관계

표 1. RMR과 Q분류법에서 사용된 요소들과 평점의 비교

RMR 분류법		Q 분류법	
요 소	평 점	요 소	평 점
불연속면의 상태	0 ~ 30	RQD	0~100
RQD	3 ~ 20	절리군의 수	0.5~20
불연속면의 간격	5 ~ 20	절리의 풍화변질정도	0.75~20
암석의 강도	0 ~ 15	응력 저감요소	0.5~20
지하수 상태	0 ~ 15	절리의 거칠기	0.5~4
		지하수의 저감요소	0.05~1

는 반면에, 70%이하의 RQD값에서는 퇴적암의 Q값이 가장 높은 값을 보이고 있다. RQD와 Q의 상관관계는 RMR의 상관관계보다는 상관성이 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 Q 분류법에서 RQD의 중요도는 RMR 분류법 못지 않게 중요하지만(표 1) RMR의 값의 범위보다도 Q 값의 범위가 더 넓은 범주를 가지기 때문으로 생각된다.

그림 5는 조사 암석 전체에 대한 Q 값과 RMR 값과의 관계를 나타낸 것이고, 그림 6은 암석별로 두 암반분류법의 상관관계를 표시한 것으로 그 회귀식은 아래 식(식(10)~(13))들과 같으며, 상관성도 양호하다.

$$\text{전 체 : } RMR = 5.97 \cdot \ln Q + 49.5 \quad (R^2 = 0.79) \quad (10)$$

$$\text{화성암 : } RMR = 5.69 \cdot \ln Q + 47.0 \quad (R^2 = 0.72) \quad (11)$$

$$\text{변성암 : } RMR = 6.04 \cdot \ln Q + 49.6 \quad (R^2 = 0.84) \quad (12)$$

$$\text{퇴적암 : } RMR = 6.07 \cdot \ln Q + 50.1 \quad (R^2 = 0.81) \quad (13)$$

같은 Q값에서 퇴적암이 가장 높은 RMR 값을 나타내고, 화성암이 가장 낮은 RMR 값을 나타낸다. 또한 암반이 좋은 쪽에서는 RMR의 암반평가 등급 양호가 Q에 의한 평가등급에서는 보통에서 극히 양호로 Q보다 낮

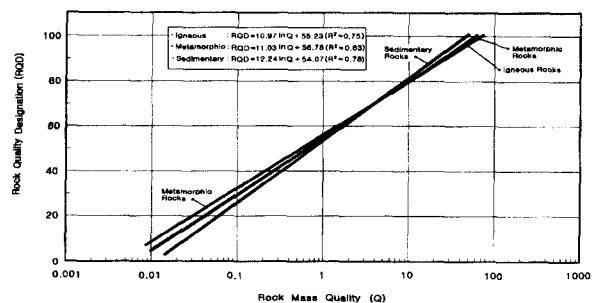


그림 4. 암종별 Q와 RQD의 회귀직선

은 등급으로 평가된다. 반면에 암반이 나쁜 쪽에서는 RMR의 암반평가등급 불량에 의한 평가등급에서는 매우 불량에서 예외적인 불량으로 Q보다는 높게 평가되고 있다(그림 5).

위에서 언급된 두 요소간들의 회귀분석에 대한 회귀 분석 통계량은 표 2와 같다. 전체적으로 Q와 RQD 요소간의 결정계수값이 낮고, 표준오차값이 가장 크게 나타남으로써 상관관계에서 좋지 않게 나타나고 있다. 그림 2, 4와 6에서 회귀직선간의 평행성 문제를 살펴보면 RQD와 RMR의 기울기 표준오차가 0.5이하로 평행성이 양호한 반면에(그림 2참조), Q와 RQD는 기울기 표준오차가 10이상으로 평행성이 상당히 불량하여 직선간에서 교차되는 것을 볼 수 있다(그림 4참조).

### 3.2 RMR과 탄성파속도의 상관관계

지반조사에서 탄성파 속도는 밀도와 함께 지반의 동적인 특성을 규명하는 가장 중요한 요소중의 하나이다. 탄성파 속도는 지표 또는 시추공에서 획득할 수 있는데 각각 장단점을 가지고 있다. 즉, 지표탐사는 탐사반경이 크지만 분해능이 작으며 시추공을 이용하는 탐사는 탐사반경이 작지만 높은 분해능을 갖는다. 시추공내에서 탄성파 속도를 측정하는 음파검층은 탐사반경이 수십cm이지만 10~20cm 정도의 조밀한 간격으로 속도 측정이 가능한 장점을 가진다. 따라서, 시추코어를 이용한 실내시험결과나 시추공내에서 실시하는 각종 시험과의 대비가 용이하며 무엇보다도 모든 측정값이 현지 지반의 특성을 가장 잘 반영하는 원위치 측정값이라는 장점을 갖는다. 원래 음파검층은 주로 석유탐사 분야에서 주로 이용된 것으로 작은 구경의 시추공에 적합한 상업적인 검출기(sonde)가 개발된 이후로는 많은 분야

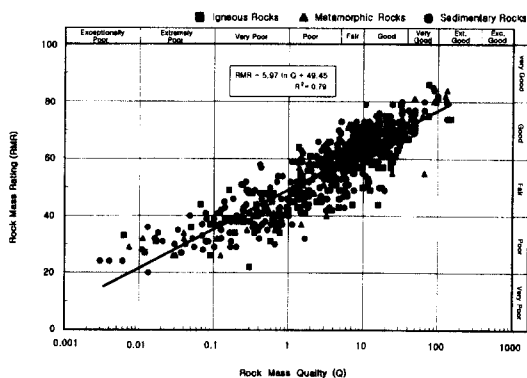


그림 5. Q와 RMR값과의 관계

표 2. 회귀분석 통계량

		관측수	결정계수	표준오차	기울기 표준오차
전체	RQD-RMR (그림1)	650	0.854	5.316	0.459
	Q-RQD (그림3)		0.771	13.911	11.731
	Q-RMR (그림5)		0.791	6.382	5.966
화성암	RQD-RMR (그림2)	117	0.849	5.107	0.483
	Q-RQD (그림4)		0.752	14.752	10.315
	Q-RMR (그림6)		0.723	6.920	5.686
변성암	RQD-RMR (그림2)	106	0.866	5.349	0.487
	Q-RQD (그림4)		0.830	12.238	11.303
	Q-RMR (그림6)		0.843	5.785	6.040
퇴적암	RQD-RMR (그림2)	427	0.851	5.125	0.452
	Q-RQD (그림4)		0.783	14.004	12.176
	Q-RMR (그림6)		0.806	6.160	6.074

에서 활용되고 있다. 음파검층에 대한 전반적인 내용은 White(1983)과 Paillet와 Cheng(1991)에 잘 기술되어 있으며, 국내 지반조사에서의 적용사례는 황세호 외(1999)가 있다.

탄성파 속도는 암석의 종류, 구성물질 및 고결도, 밀도, 공극율, 이방성, 봉압, 함수율, 온도, 풍화정도, 절리군의 수 등 많은 인자에 따라서 변한다(Tatham과 McCormack, 1991). 위와 같이 탄성파 속도는 많은 인자에 영향을 받기 때문에 Sjogren 외(1979)가 탄성파 P파 속도와 RQD, 단위길이 당 절리의 수와의 관련성을 유도할 때에도 변질대나 풍화대에 대한 자료를 제외하였다. 위에서 언급한 탄성파 속도에 영향을 주는 인자는 현지 지반의 특성을 반영하는 것으로 생각할 수 있으며 앞에서 언급된 RMR분류법의 요소들도 탄성파 속도에 영향을 주는 요소들과 많은 유사성을 갖는다. 본 논문에서는 탄성파 속도에 영향을 주는 인자와 RMR분류법의 요소들과의 상호 관련성보다는 현지에서 측정된 탄성파 속도와 RMR값과의 관련성에 대해 검토하였다.

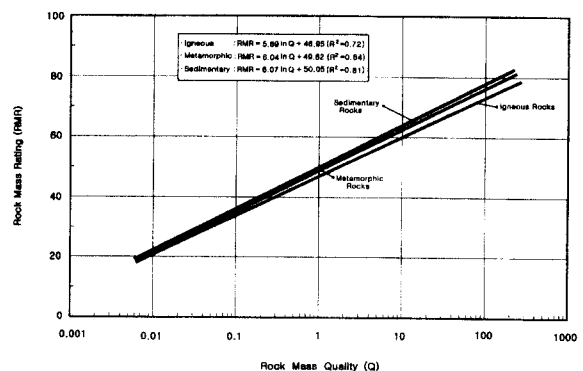


그림 6. 암종별 Q와 RMR의 회귀직선

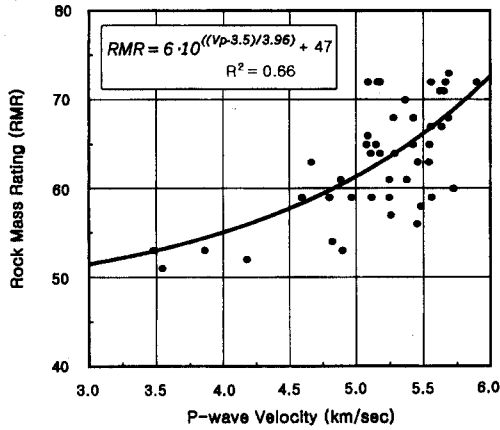


그림 7. P파 속도와 RMR값과의 상관관계

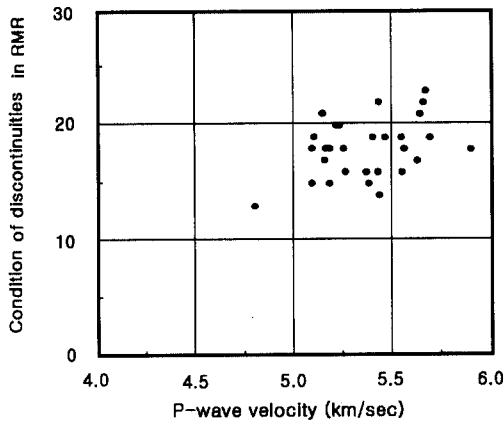


그림 8. RMR 분류법의 불연속면상태를 나타내는 요소와 P파 속도의 관계

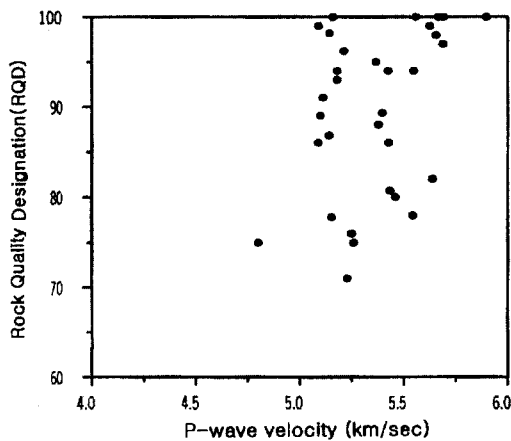


그림 9. P파 속도와 RQD와의 관계

그림 7은 5개 지역의 9개 시추공에서 측정된 탄성파 속도와 RMR값과의 관계를 나타낸 것이며, 이들 측정지역의 암종은 퇴적암, 화성암과 변성암을 모두 포함하며 변질대나 풍화구간도 모두 포함된다. 그리고, 탄성파 속도 중 일부는 암종에 따라서 분류한 것이 아니라 터널과

의 위치에 따라 분류된 값으로서 터널 높이와의 상대적인 구간에 대한 평균속도를 나타낸다. 그림 7의 P파 속도 ( $V_p$ , km/sec)와 RMR값과의 상관관계식은 다음과 같다.

$$RMR = 6 \cdot 10^{\left(\frac{V_p - 3.5}{3.96}\right)} + 47 \quad (R^2 = 0.66) \quad (14)$$

위 식에서 RMR값은 기본 RMR값이며 탄성파 속도를 측정된 구간과 동일한 구간에 대한 RMR값을 이용한 것이다. 그림 7에서 식(14)의 곡선과 분산을 보이는 자료들은 암종을 구분하지 않고 특정구간에 대한 평균 탄성파 속도를 이용한 것이 주요 원인으로 판단된다. 식(14)에서 측정된 탄성파속도 범위내에서의 RMR값의 상한은 80이하이며, 탄성파 속도가 3.5km/sec인 경우 RMR값은 53에 해당한다. 최근까지의 자료가 구간별로 매우 세분화된 탄성파 속도나 RMR값의 자료가 부족하여 비교 검토에만 국한됐지만 암종별, 심도별이나 탄성파 S파 속도 등을 함께 고려하면 상당히 신뢰성 있는 관계식이 도출될 것으로 기대된다.

그림 8과 9는 P파 속도와 RMR 분류법의 요소 중에서 불연속면의 상태와 RQD와의 관계를 나타낸 것이다. 불연속면의 상태와 P파 속도는 어떤 상관관계를 보이는 데 반하여 RQD와의 관계는 분산이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 탄성파 속도가 측정되는 현 지반에서는 절리가 존재하더라도 압력이나 지하수 등의 영향으로 속도의 변화 폭이 작기 때문인 것으로 판단된다. 그림 9에서 많은 자료가 탄성파 속도와 RQD와의 관계를 보여주는 문헌(Sjogren 등, 1979; 신희순 외, 2000)들에 비하여 RQD가 다소 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다.

식(14)와 Barton(1991)의 탄성계수( $E_s$ )와 P파 속도의 경험식(식(15))과 Bieniawski(1989)의 탄성계수와 RMR값과의 경험식(식(16))을 이용하여 P파 속도에 의해 RMR값을 추정할 수 있는 관계식(식(17))을 유도할 수 있다. 그림 10은 이 관계식들을 표시한 것이다.

$$E_s = 10 \times 10^{\frac{V_p - 3.5}{3}} \quad (15)$$

$$E_s = 2 \times RMR - 100, \quad (RMR > 50) \quad (16)$$

$$RMR = 5 \times 10^{\frac{V_p - 3.5}{3}} + 50, \quad (RMR > 50) \quad (17)$$

식(17)의 유도를 위해 Bieniawski(1989)의 관계식을 이용한 이유는 식(14)에서 탄성파 속도의 최저 값인

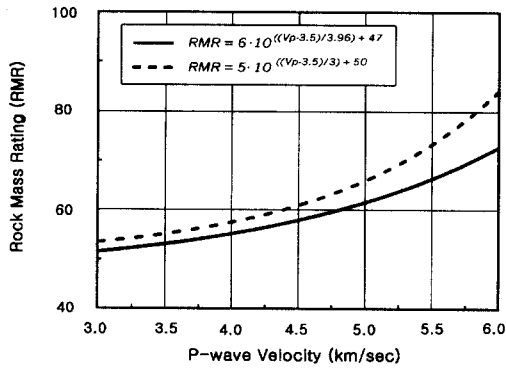


그림 10. 유도된 경험식(식(14), 실선)과 국내 경험식(식(17), 점선)의 비교

3.5km/sec에서 RMR값이 50 이상이기 때문이다.

그림 10에서 두 관계식 사이에 차이가 있는 것을 볼 수 있으며, 식(14)를 이용할 경우 동일한 P파 속도에서 RMR값이 낮게 평가되는 경향을 보인다. 그러나 Q값과 P파 속도와의 관계식을 국내의 현장에 적용한 결과, 동일한 탄성과 속도에 비하여 Q 값이 매우 높게 산출되는 경향을 보인다. 이와 같은 결과는 국내의 실정에 적합한 관계식의 도출이 필요함을 의미하며 식(17)은 앞으로 국내의 토목현장에 적용될 수 있는 RMR 값과 탄성과 속도와의 관계식을 규명하는 첫 걸음이라 할 수 있다.

### 3.3 문제점

일부 암평가에서 RQD나 TCR로서 암반의 등급을 판정하는 경우가 있는데, 시추기계의 성능이 좋아짐에 따라 예전보다 높은 RQD 및 TCR값을 나타내는 경우가 많으며, 그림 11.a와 같이 화강암의 경우 암석의 강도나 상태를 보면 매우 나쁜 암반등급을 나타내지만 예외적으로 RQD나 TCR 값이 매우 높게 나타나는 경우가 있

다. 시추후 시간이 경과하여 건조되면 그림 11.b와 같이 자연적으로 풍화 분해되는 것들도 관찰할 수 있다. 이러한 암반은 높은 값의 RQD와 높은 등급의 간격 등으로 실제 암반등급보다 높게 평가되어 혼돈을 초래할 수 있다. 또한 이러한 암반들은 P파 속도도 낮은 값을 보이며, RMR이나 Q 값도 상당히 낮게 나타나므로 RQD나 TCR로서만 암반의 등급을 판정하는 경우는 조심해야 한다.

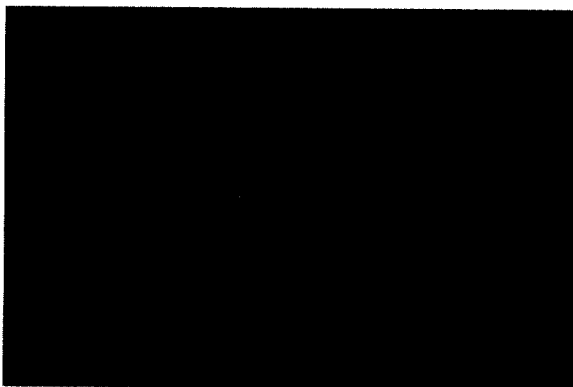
## 4. 결론

전체적으로 RQD와 RMR, Q 분류법간의 상관관계는 좋게 나타나고 있다. 이와 같은 상관관계를 이용하여 RQD나 P파 속도의 값을 알고 있거나 또는 하나의 암반 분류법을 이용하여 다른 분류법의 값이나 등급을 유추할 수 있다. 국내에서 측정된 암반에서의 분류법간의 상관관계는 식(2), (6) 및 (10)과 같다.

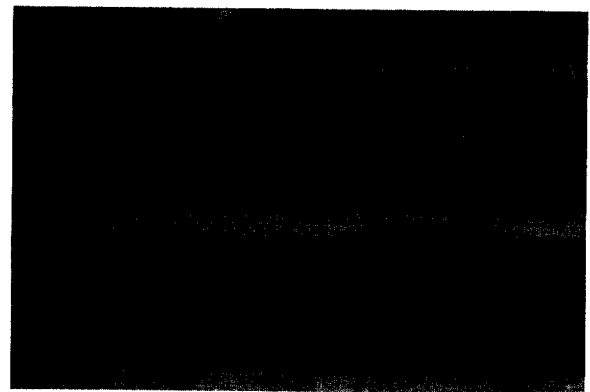
RQD와 RMR의 상호관계에서 암종별로는 같은 RQD 값에서 퇴적암이 가장 높은 RMR 값을 보이고, 화성암에서 가장 낮은 값을 보이며, 낮은 값의 RQD에서는 RMR의 암반평가 등급이 RQD에 의한 평가등급보다 높게 평가되며, 반면에 높은 값의 RQD에서는 RMR의 암반평가 등급이 RQD에 의한 평가등급보다 낮게 평가되고 있다.

RQD와 Q의 상관관계는 RMR의 상관관계보다는 상관성이 다소 떨어진다. RQD와 Q값과의 상호관계에서는 암종별로 70%이상의 RQD값에서는 화성암의 Q값이 높고 퇴적암이 가장 낮게 나타나는 반면에, 70%이하의 RQD값에서는 퇴적암의 Q값이 가장 높은 값을 보이고 있다.

RMR과 Q분류법간의 상관관계에서는 같은 Q값에서



(a) 시추 직후



(b) 건조후 풍화된 상태

그림 11. 시추직후와 풍화된 상태의 화강암 시추코어

퇴적암이 가장 높은 RMR값을 나타내고, 화성암이 가장 낮은 RMR값을 나타낸다. 또한 암반이 좋은 쪽에서는 RMR의 암반평가 등급이 Q에 의한 평가등급보다 낮게 평가되며, 반면에 암반이 나쁜 쪽에서는 RMR의 암반평가 등급이 Q에 의한 평가등급보다 높게 평가되고 있다.

탄성과 속도와 RMR값은 서로 양호한 상관관계는 보이며 그 상관관계식은 식(14)와 같다. 이 식은 Barton 및 Bieniawski의 경험식을 이용하여 유도한 P파 속도와 RMR값의 관계식과의 차이는 동일한 P파 속도에서 RMR값이 낮게 평가되는 경향을 보인다.

토목현장에 적용될 수 있도록 앞으로도 보다 많은 자료들의 누적으로 분류방법간의 상관관계성을 높이고, RMR 및 Q값과 탄성과 속도와의 관계식 규명을 위한 보다 많은 노력이 필요할 것이다.

### 감사의 글

논문과 관련된 사업수행을 할 수 있도록 많은 도움을 주신 (주)희송지오택의 김기석 사장님과 직원 여러분에게 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 신희순, 선우춘, 이두화(2000), 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, 5장, 구미서관, pp.201-262.
2. 황세호, 이상규(1999), "물리검층에 의한 파쇄대 인식과 동적 지반정수의 산출", 건설현장에 필요한 물리탐사 기술 심포지움, 1999년도 제2회 학술발표회, 한국지구물리탐사학회, pp.156-175.
3. Abad, J., B. Celada, E. Chacon, V. Gutierrez & E. Hidalgo(1983), "Application of geomechanical classification to predict the convergence of coal mine galleries and to design their supports", *Proc. 5th Int. Congr. Rock Mech.*, ISRM, Melbourne, vol.2, pp.E15-E19.
4. Barton, N., R. Lien & J. Lunde(1974), "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support", *Rock Mech.*, vol.6, pp.183-236.
5. Barton, N.(1991), "Geotechnical Design: WT Focus", *World Tunneling*, Nov.

6. Bieniawski, Z.T.(1973), "Engineering classification of jointed rock mass", *Trans. South Afr. Ins. of Civ. Eng.*, vol.15, No.12, pp.335-344.
7. Bieniawski, Z.T.(1976), "Rock mass classification in rock engineering applications", *Proc. Symp. on Exploration for rock eng.*, Balkema, Rotterdam, vol.12, pp.97-106.
8. Bieniawski, Z.T.(1989), *Engineering Rock Mass Classifications*, John Willy & Sons, 251p.
9. Cameron-Clarke, I.S. and S. Budavari(1980), "Correlation of rock mass classification parameters obtained from borehole and in situ observations", *Eng. Geol.*, vol.17, pp.16-53.
10. Deere, D.U., A.J. Hendron, F.D. Patton & E.J. Cording(1967), "Design of surface and near surface construction in rock, Proc". *8th U.S. Symp. Rock Mech.*, AIME, New York, pp.237-302.
11. Lauffer, H.(1958), "Gerbirgsklassifizierung für den Stollenbau", *Geologie und Bauwesen*, Vol.24, No.1, pp.46-51.
12. Moreno Tallon, E.(1982), "Comparison and application of the geomechanics classification schemes in tunnel construction", *Proc. tunneling '82*, The Institution of mining and metallurgy, London, pp.241-246.
13. Paillet, F.L. and Cheng, C.H.(1991), *Acoustic waves in boreholes - the theory and application of acoustic full-waveform logs: CRC Press*, Boca Raton, Florida, 264p.
14. Romana R.M.(1985), "New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes", *Proc. Int. Symp. on the role of rock mechanics*, Zactecas, pp.49-53.
15. Rutledge, J.C. and R.L. Preston(1978), "Experience with engineering classifications of rock", *Proc. Int. Tunnelling Symp.*, Tokyo, pp. A3.1-A.3.7.
16. Serafim, J.L. & Pereira, J.P.(1983), "Considerations on geomechanics classification of Bieniawski", *Proc. Int. Symp. on Eng. Geol. and Underg. Constr. LNFC. Lisboa*. vol.1, pp.II 31-II 42.
17. Sjogren, B., Ofsthus, A., and Sandberg, J.(1979), "Seismic classification of rock mass qualities", *Geophysical Prospecting*, 27, pp. 409-442.
18. Tatham, R.H. & McCormack, M.D.(1991), "Multicomponent seismology in petroleum exploration", *SEG investigation in Geophysical series Volume 6*.
19. Weaver, J.M.(1975), "Geological factors significant in the assessment of rippability", *Civ. Eng. S. Afr.* 17, pp.313-316.
20. White, J.E.(1983), *Underground Sound Application of Seismic Waves*, New York, Elsevier, 249p.
21. Wickham, G.E., H.R. Tiedemann and E.H. Skinner(1972), "Support determination based on geologic prediction", *Proc. Rapid Excav. Tunneling Conf.*, AIME, New York, pp.312-320.

(접수일자 2001. 1. 12)