

## 지반정수산정을 위한 경험적 암반평가기법과 상관성

### Empirical Equations for Rock Mass Classifications and Rock Property Evaluations

신중호<sup>1)</sup>, Joong-Ho Synn, 신희순<sup>1)</sup>, Hee-Soon Shin

<sup>1)</sup> 한국지질자원연구원 책임연구원, Principal Researcher, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM)

**SYNOPSIS :** Rock mass classifications form the back bone of the empirical design approach and are widely employed in rock engineering. In this paper the inter-relations were discussed among RMR, Q-system, RCR, N, M-RMR, R<sub>Mi</sub>, and L-RMR. Several relationships for the assessment of the modulus of deformation of rock mass, Poisson's ratio, uniaxial compressive strength, tensile strength, cohesion and internal friction angle were also analysed and suggested.

**Key words:** rock mass classification, RMR & Q, RCR & N, In-situ rock properties

## 1. 서론

암반은 여러 가지의 불연속면을 가지는 불연속성 물체이며, 이러한 불균질성, 불연속성 등이 암반의 강도나 변형성, 투수성 등의 물성을 좌우하고 있다. 암반을 분류하는 이유는 암반내 불연속면들의 존재가 장애요소가 되고, 암석 및 암반을 구성하는 물질에 대해서 여러 가지의 암석시험을 실시하여도 그 결과를 암반의 역학적 성질과 직접 연결시킬 수 없기 때문이다. 따라서 시험결과와 함께 암반의 성질을 관찰하고, 또 시추에 의한 샘플링이나 여러 원위치 시험을 실시함으로써 복잡한 암반을 비슷한 거동의 그룹으로 분류화하거나 평점화하여 암반의 특성을 이해할 수 있는 기준을 마련하는 것이다. 국내에서 적용되는 암반분류는 그 기준이 서로 상이하고 국내 암반에서의 기초자료에 의한 검증이 미흡한 실정이다. 또한 공사종류, 시공난이도, 지반의 자립성과의 관계도 정립되지 않은 상황으로서 발주처, 설계자, 시공자가 모두 함께 사용할 수 있는 분류기준이 현재 없다. 본 논문에서는 국내·외에서 널리 사용하고 있는 암반평가기법들인 ① RMR, ② Q-system, ③ RCR(Rock Condition Rating), ④ N(Rock Mass Number), ⑤ M-RMR(Modified Rock Mass Rating), ⑥ R<sub>Mi</sub>(Rock Mass index), ⑦ L-RMR(Laubscher's Classification) 등의 소개와 함께 이들 분류방법사이의 상호관계를 분석하고 관계식을 도출하였다. 사용된 국내 암반평가자료로서는 경춘선, 중앙선, 부산-울산, 전주-함양 간 터널관련 지반조사시 구하였던 자료들이다. 또한 국내에서 지반정수 산정요소로서 널리 사용하고 있는 현지암반의 변형계수, 포아송비, 압축강도, 인장강도, 점착력, 내부마찰각, 기타 현지암반 물성 추정식들을 분석하였고 이들 추정식들의 상관성을 다루었다.

## 2. 암반평가기법

### 2.1 RMR(Rock Mass Rating) 과 Q System

RMR의 특징은 각 요소들에 대한 평가가 비교적 용이하고 터널과 불연속면간의 상대적 방향성을 고

려하며 터널의 유지시간, 최대 가능 폭 및 최대 무지보 폭 등은 예측 가능하지만 암반등급 및 지보량 결정에서 각 요소의 영향 평가가 Q 처럼 세밀하지 않으며 RMR의 적용 결과는 다소 보수적이어서 지보 설계가 과다하게 되는 경향이 있다. 한편 Q의 특징으로는 현장 응력조건을 고려하고 절리의 방향성은 고려하지 않으며, 절리군의 수, 가장 상태가 나쁜 불연속면의 거칠기, 충전물, 변질상태가 터널과 절리의 상대적 방향성보다 영향이 크다고 보았고 암반분류가 세밀하고 구체적이며 체계적인 보강방안 제시하고 있으나 평가 요소들이 너무 정밀하고 복잡하여 조사하는 데 많은 지식과 경험이 필요하며 평가 요소들이 노출 암반이나 굴착중 막장관찰에서만 비교적 정확하게 조사될 수 있기 때문에 시추코어를 대상으로 6개 요소를 신뢰성있게 판단하는 데는 어려움이 있다. 두 기법의 평가요소 비교는 표 1과 같다.

표 1. RMR 과 Q의 분류등급

| Rating for RMR   |                   |                   | Rating for Q  |                                  |                               |
|--|-------------------|-------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|
| Parameter  | Bieniawski (1976) | Bieniawski (1989) | Parameter   | Barton(1974)                     | Barton(1993)                  |
| RQD  | 3~20              |                   | RQD   | 0~100                            |                               |
| JS   | 5~30              | 5~20              | Jn  | 0.5~20                           |                               |
| JC   | 0~25              | 0~30              | Jr  | 0.5~4                            |                               |
| GW   | 0~10              | 0~15              | Ja  | 0.75~20                          |                               |
| UCS  | 0~15              |                   | Jw  | 0.05~1                           |                               |
| JO   | -60~0             |                   | SRF   | 0.5~20<br>( $S_c/S_1, S_t/S_1$ ) | 0.5~400<br>( $S_\theta/S_c$ ) |
| $RMR = RQD + JS + JC + GW + UCS + JO$<br>$0 < RMR < 100$ |                   |                   | $Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$<br>$0.001 < Q < 1000$ |                                  |                               |

## 2.2 RCR(Rock Condition Rating) 과 N(Rock Mass Number)

Goel(1994)은 RMR, Q 등이 사용상의 편의성 및 안정성 평가에 대한 실용적 정보 제공 등의 장점을 가지나, 일부 요소의 정확한 평가에 어려움이 있고 RMR과 Q의 각 평가요소의 차이로 인해 상호 호환성 평가에 신뢰성이 떨어지는 단점을 보완하기 위해 RMR과 Q의 각 평가요소에서 공통적인 요소들만 고려하여 RCR, N 분류법을 제안하였다. RCR 분류법에서는 RMR의 6개 평가요소에서 때로 현장에서 직접 평가하기 어려운 압축강도요소 및 터널과 불연속면의 상호 방향성 보정 요소를 제외하였다. N분류법에서는 Q의 6개 평가요소에서 상대적으로 불확성을 가지는 SRF 요소 평가를 제외하였고 응력조건 영향은 터널심도(overburden)로써 간접적으로 고려하였다. 가장 일반적으로 이용되고 있는 RMR과 Q와 대비한 두 기법의 평가요소는 표 2와 같다.

표 2. RCR 과 N의 평가 요소

| RCR                        |                   | N   |                 |
|----------------------------|-------------------|---|-----------------|
| RMR parameters             | Selection for RCR | Q parameters  | Selection for N |
| RQD                        | ○                 | RQD   | ○               |
| JS                         | ○                 | Jn  | ○               |
| JC                         | ○                 | Jr  | ○               |
| GW                         | ○                 | Ja  | ○               |
| UCS                        | ×                 | Jw  | ○               |
| JO                         | ×                 | SRF   | ×               |
| $RCR = RQD + JS + JC + GW$ |                   | $N = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot J_w$ |                 |

## 2.3 M-RMR(Modified Rock Mass Rating)

수정 RMR 즉, M-RMR은 Unal 등(1990~)에 의해 제안되었는데 그 평가요소는 표 3과 같다. 이 M-RMR과 기존의 RMR 및 Q 사이의 관계는 다음과 같다.

$$0 < RMR < 100 \Rightarrow 0 < M-RMR < 110$$

$$RMR = 7.79 \cdot \ln Q + 36.70 \quad (r^2 = 0.81)$$

$$M-RMR = 9.66 \cdot \ln Q + 37.90 \quad (r^2 = 0.84)$$

표 3. M-RMR의 평가요소

| Modified Rock Mass Rating (M-RMR)   |   |
|---|---|
| RMR parameters  | New additional parameters                   |
| Uniaxial Comp. Strength ( $I_{UCS}$ )   | Point load streng index ( $I_{PL}$ )        |
| Rock Quality Designation ( $I_{RQD}$ )  | Intact Core Recovery ( $ICR$ )              |
| Joint Spacing ( $I_{JS}$ )  | Weathering coefficient ( $F_C$ )            |
| Joint Condition ( $I_{JC}$ )  | Effect of blasting damage ( $A_b$ )         |
| Ground Water condition ( $I_{GW}$ )   | Effect of major plane of weakness ( $A_w$ ) |
| Joint Orientation ( $I_{JO}$ )  |   |
| Basic-Modified RMR : $BM-RMR = F_C \cdot [I_{UCS} + I_{RQD} + I_{JC}] + I_{JS} + I_{GW} + I_{JO}$ |   |
| Adjusted-Modified RMR : $M-RMR = [BM-RMR] \cdot A_b \cdot A_w$                                    |   |

## 2.4 RMI(Rock Mass index) and L-RMR(Laubscher's Classification)

상기의 전반적인 암반평가기법 외에, 암반의 강도 추정과 관련한 평가기법으로 RMI 및 L-RMR이 있다. RMI는 Palmstrom(1996)에 의해 특히 절리 암반의 강도 평가를 위해 제안되었는데, RMI의 적용은 다른 암반평가기법, Hoek-Brown 파괴조건, 수치해석 등에 절리평가요소 및 암반강도 요소로서 활용될 수 있다. RMI의 평가요소는 표 4와 같다.

$$J_P \quad (0 < J_P < 1) \text{는 Hoek-Brown 파괴조건식의 상수 } s \text{에 대응} \rightarrow s = (J_P)^2 \text{ or } (J_P)^{1/n}$$

그리고, L-RMR은 Laubscher(1990)에 의해 제안되었으며 그 평가요소는 표 5와 같다. 이로부터 암반 강도(RMS)는 다음식으로 추정한다.

$$S_{cm} = \frac{[L-RMR] - UCS}{100} S_{ci}$$

표 4. RMI의 평가 요소

| Rock Mass index (RMI)  |                           |
|--|---------------------------|
| Parameters   | Rating                    |
| Joint length factor( $jL$ )  | 0.5~6                     |
| Joint roughness factor( $jR$ )   | 0.6~9                     |
| Joint alteration factor( $jA$ )  | 0.75~20                   |
| Block bolume( $V_b$ )  | Measured from field study |
| Uniaxial comp. strength( $S_c$ )   | Measured for intact rock  |
| $RMI = S_c \cdot J_P$ , $J_P = 0.2\sqrt{jC} \cdot V_b^D$ ,<br>$jC = jL \frac{jR}{jA}$ , $D = 0.37 \cdot jC^{-0.2}$ |                           |

표 5. L-RMR의 평가 요소

| Laubscher's Rock Mass Rating (L-RMR)   |                                  |          |
|--|----------------------------------|----------|
| Parameters   |                                  | Rating   |
| Uniaxial comp. strength (UCS)  |                                  | 1~20     |
| RQD  |                                  | 0~15     |
| Joint condition and ground water (JCW)   | (A) Large-scale joint expression | 0.6~1.0  |
|  | (B) Small-scale joint expression | 0.4~0.95 |
|  | (C) Joint wall alteration        | 0.6~0.75 |
|  | (D) Joint filling                | 0.1~0.9  |
| Joint spacing (JS)   |                                  |          |
| For 1 set : $JS = 6.6 \log x + 11.25$  |                                  |          |
| For 2 sets : $JS = (6.475 \log x_{min} + 9.5)(0.3 \log x_{max} + 0.28)$                            |                                  |          |
| For 3 sets : $JS = (6.475 \log x_{min} + 7.5)(0.296 \log x_{int} + 0.2)(0.333 \log x_{max} + 0.1)$ |                                  |          |
| $L-RMR = UCS + RQDI + JCW + JS$<br>$JCW = 40 \cdot (A \cdot B \cdot C \cdot D)$                    |                                  |          |

### 3. 암반평가기법간의 비교

#### 3.1 평가요소의 비교

이상에서 살펴본 암반평가기법간의 평가요소 비교는 표 6과 같다. 기본적 현지암반 특성인 절리 상태 및 지하수 상태가 중요한 평가 요소가 되며 암반구조물 굴착, 건설시 관계되는 지압조건, 굴착손상영향, 구조물 방향성 등은 암반평가기법에 따라서는 충분히 고려되지 않는 경우가 있다. 이러한 각 기법별 평가요소의 차이로, 최종 평가결과간의 상호관계적으로는 변환결과에 분산이 크고 및 신뢰성이 저하되므로 공통 요소간의 상호관계의 분석이 필요하다.

표 6. 암반평가기법별 평가 요소의 비교

| Parameter     | Method    |                         | RMR                 | Q | RCR | N | M-RMR | RMi | L-RMR |
|---------------|-----------|-------------------------|---------------------|---|-----|---|-------|-----|-------|
|               | Strength  | Uniaxial comp. strength | Point load strength | ○ | △   |   |       | ○   | ○     |
| Discontinuity | Number    | Set                     |                     | ○ |     | ○ |       |     |       |
|               |           | RQD                     | ○                   | ○ | ○   | ○ | ○     | ○   | ○     |
|               | Dimension | Spacing                 | ○                   | △ | ○   | △ | ○     | ○   | ○     |
|               |           | Length                  | ○                   |   | ○   |   | ○     | ○   | ○     |
|               |           | Volume                  |                     |   |     |   |       | ○   | ○     |
| Condition     | Aperture  | Roughness               | ○                   | ○ | ○   | ○ | ○     | ○   | ○     |
|               |           | Filling                 | ○                   | ○ | ○   | ○ | ○     | ○   | ○     |
|               |           | Weathering              | ○                   | ○ | ○   | ○ | ○     | ○   | ○     |
|               |           | Orientation             | Strike              | ○ |     |   |       | ○   |       |
|               | Dip       | ○                       |                     |   |     | ○ |       |     |       |
| Ground Water  |           |                         | ○                   | ○ | ○   | ○ |       | ○   |       |
| Stress        |           |                         |                     | ○ |     |   |       |     |       |
| Damage        |           |                         |                     |   |     | ○ |       |     |       |

#### 3.2 평가기법간의 상호 관계식

외국에서 발표된 자료 및 최근까지 국내에서 조사된 각 지역별 암반평가를 이용한 주요 평가기법간의 상관관계를 조사한 결과는 표 7~9와 같다.

표 7. RMR - Q의 관계

| 이용 자료                           | 상관관계식                          | 상관계수   |
|---------------------------------|--------------------------------|--------|
| Bieniawski(1976)                | $RMR = 9.0 \ln Q + 44$         | 0.77   |
| Rutledge & Preston(1978)        | $RMR = 5.9 \ln Q + 43$         | 0.85   |
| Moreno(1980)                    | $RMR = 5.4 \ln Q + 55.2$       | 0.55   |
| Cameron-Clarke & Budavari(1981) | $RMR = 5.0 \ln Q + 60.8$       | 분산심함   |
| Abad(1984)                      | $RMR = 10.5 \ln Q + 41.8$      | 0.66   |
| Unal(1990)                      | $RMR = 7.79 \ln Q + 36.7$      | 0.81   |
| 건기연(1993)                       | $RMR = 7.5 \ln Q + 47.7$       | ?      |
| 선우춘(2000)                       | $RMR_B = 5.97 \ln Q + 49.5$    | 0.79   |
| 경춘선                             | $RMR_B = 7.639 \ln Q + 57.205$ | 0.9489 |
|                                 | $RMR_T = 7.755 \ln Q + 45.899$ | 0.95   |
| 중앙선                             | $RMR_B = 7.161 \ln Q + 48.265$ | 0.8608 |
|                                 | $RMR_T = 7.161 \ln Q + 43.265$ | 0.8608 |
| 부산-울산                           | $RMR_B = 5.765 \ln Q + 46.19$  | 0.7876 |
| 전주-함양                           | $RMR_B = 5.950 \ln Q + 49.428$ | 0.7985 |

표 8. RCR - N의 관계

| 이용 자료 | 상관관계식                        | 상관계수   |
|-------|------------------------------|--------|
| Goel  | $RCR = 8 \ln N + 30$         | 0.92   |
| 경춘선   | $RCR = 7.612 \ln N + 41.287$ | 0.9195 |
| 중앙선   | $RCR = 8.247 \ln N + 33.84$  | 0.8456 |
| 부산-울산 | $RCR = 6.185 \ln N + 33.47$  | 0.6922 |
| 전주-함양 | $RCR = 6.490 \ln N + 35.084$ | 0.7724 |

표 9. M-RMR - RMR 과 M-RMR - Q의 관계

| 이용 자료 | 상관관계식                              | 상관계수 |
|-------|------------------------------------|------|
| Unal  | $0 < RMR < 100 \Rightarrow$        |      |
|       | $0 < M-RMR < 110$                  |      |
|       | $M-RMR = 9.66 \cdot \ln Q + 37.90$ | 0.84 |

그리고, 표 7 및 표 8의 자료로부터 RMR-Q 및 RCR-N의 상관관계를 그림으로 나타낸 것이 그림 1

및 그림 2이다. 이러한 상관 관계 비교에 있어서는 제안자별 이용 자료의 지역적 차이에 따라 각 제안 관계식에 차이가 있으며, 부분적으로는 비교 분석에서 사용된 기존 문헌상의 RMR-Q 자료에서 basic RMR인지 total RMR인지 불명확한 점도 있다. 두 분석 결과를 두고 보면, RCR-N 관계가 RMR-Q 관계보다 상관도가 높는데, 이는 기본적으로 각 평가기법간에 불일치하는 평가요소를 서로 제외한 바탕이 있기는 하지만, 이를 잘 검토 이용함으로써 평가기법간에 나타나는 조사 자료의 차이에서 발생하는 어려움을 극복할 가능성을 볼 수도 있다. 즉, 예를 들어 RMR과 Q의 상호 변환에 있어, 아래와 같이 일차적으로 공통 평가요소를 이용하여 RCR과 N을 도출하고 이 결과에 서로 다른 평가 요소를 추가 고려함으로써 다른 평가기법의 결과치를 추정 평가할 수 있을 것이다.

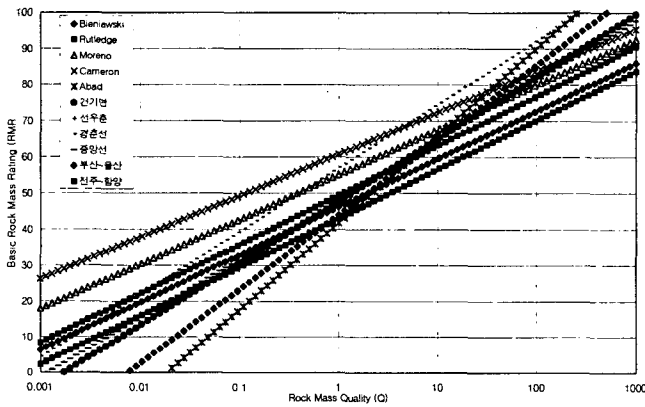
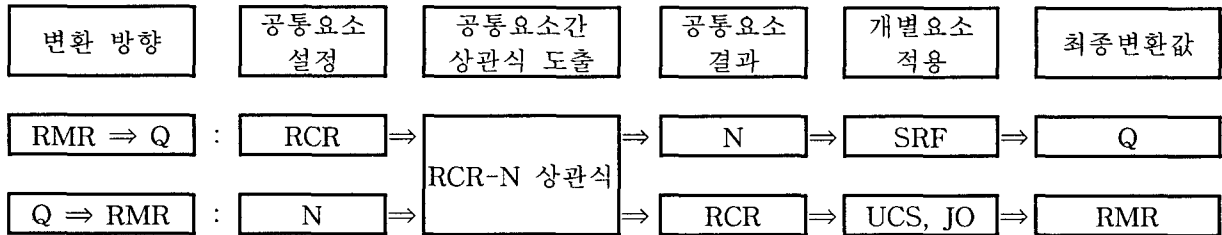


그림 1. RMR - Q의 상관성 분석

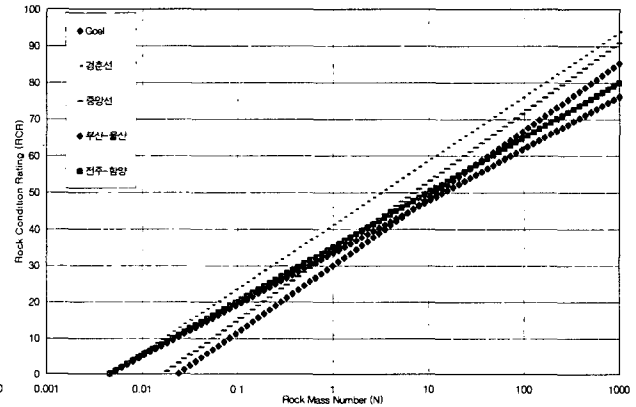


그림 2. RCR - N의 상관성 분석

## 4. 지반정수 산정기법

### 4.1 Intact 및 In-situ 암석 물성 관계

Mohammad(1997)는 수치해석에 적용된 intact 및 in-situ 암석 물성 비교하였다. 1980년 이후 발표된 약 40여편의 수치해석 자료 분석하였는데, 그 결과로부터 나타난 intact 및 in-situ 암석 물성간의 선형 및 비선형 상관관계는 표 10 및 표 11과 같다. 이에 따르면 연약 암석일수록 감쇠지수가 커지는 경향이 있었다.

표 10. 선형 상관관계식

| 물성     | 선형관계식  |
|--------|--|
| 영률     | $E_{Mod} = 0.4692 \cdot E_{Lab}, R^2 = 0.693$      |
| 포아송비   | $\nu_{Mod} = 1.0556 \cdot E_{Lab}, R^2 = 0.2642$   |
| 일축압축강도 | $S_{c-Mod} = 0.2837 \cdot S_{c-Lab}, R^2 = 0.2718$ |
| 인장강도   | $S_{t-Mod} = 0.4943 \cdot S_{t-Lab}, R^2 = 0.5843$ |

표 11. 비선형적 감쇠 경향

| 물성     | 비선형 감쇠지수 관계식  |
|--------|---|
| 영률     | $RF \text{ for } E_{Mod} = 5.1801 \cdot e^{-1E-05E_{Lab}}, R^2 = 0.0754$      |
| 일축압축강도 | $RF \text{ for } S_{c-Mod} = 5.3466 \cdot e^{-0.0134S_{c-Lab}}, R^2 = 0.3383$ |

#### 4.2 현지 암반의 변형계수 추정식

현지 암반의 변형계수를 추정하는 식들은 다음과 같다.

##### 1) RMR 이용

(1) Bieniawski(1978):  $E_m = 2RMR - 100$  (GPa), for  $RMR > 50$  and  $S_{ci} > 100$  MPa

(2) Singh(1979):  $E_m = E_i \cdot MRF$

(3) Serafim & Pereira(1983):  $E_m = 10^{\frac{RMR-10}{40}}$  (GPa)

(3) Aydan(1997):  $E_m = 0.0097 \cdot RMR^{3.54}$  (MPa)

(4) 김교원(1993):  $E_m = 300 \cdot e^{0.07RMR^*}$  (MPa)  $RMR^* = \text{총RMR} - (\text{지하수요소} + \text{절리방향보정요소})$

##### 2) RMR과 실내시험 영률 이용

(1) Nicholson(1990):  $E_m = E_i \cdot \frac{1}{100} [0.0028 RMR^2 + 0.9 \exp(\frac{RMR}{22.82})]$

(2) Mitri(1994):  $E_m = E_i \cdot 0.5 * [1 - \{ \cos(\pi * \frac{RMR}{100}) \}]$

3) RMR과 심도 이용: Verman(1993):  $E_m = 0.3 \cdot H^\alpha \cdot 10^{(RMR-20)/38}$  (GPa) for dry and weak rock,

$\alpha = 0.16 \sim 0.3$  (higher for poor rock),  $H \geq 50$  m

4) Q 이용: Barton(1985) :  $10 \log_{10} Q < E_m < 40 \log_{10} Q$  (GPa) for  $Q > 1$ ,  $E_{m,avg} = 25 \log_{10} Q$  (GPa)

5) Q와 실내시험 일축압축강도 이용: Barton(1995)  $E_m = 10 \cdot (Q_c)^{1/3}$  (GPa),

6) Q와 심도 이용: Singh(1997):  $E_m = H^{0.2} \cdot Q^{0.36}$  (GPa) for dry and weak rock,  $H \geq 50$  m

7) GSI 이용: Hoek & Brown(1997):  $E_m = \sqrt{\frac{S_{ci}}{100}} \cdot 10^{(GSI-10)/40}$  (GPa), for  $S_{ci} < 100$  MPa

8) RQD와 실내시험 영률 이용: Cording(1972)  $E_m = E_i \cdot F$

#### 4.3 현지 암반의 포아송비 추정식

현지 암반의 포아송비를 추정하는 식들은 다음과 같다.

1) RMR이용:  $\nu_m = -0.17 \ln(RMR^*) + 0.9$ ,  $RMR^* = \text{총RMR} - (\text{지하수요소} + \text{절리방향보정요소})$

2) 현지암반 영률이용:  $\nu_m = 0.3 - (Y - 1.28)/95$ ,  $Y = (\log(E_m) - 2.25)/0.35$ ,  $E_m: kg/cm^2$

상기 각 제안식별 상호 비교 및 국내 측정자료를 적용한 결과는 그림 3~6과 같다. 영률의 경우를 보면 Mitri 및 Bieniawski 제안식은 전체적인 경향에서 벗어나는 것으로 나타나고 있다. 국내 현장자료 적용 결과를 보면, 암반의 변형계수는 RMR 및 Q에 대해 지수함수적 증가 경향이 있으며, Mitri 및 Bieniawski 제안식을 제외한 다른 제안식들과 유사한 양상을 보이고 있다.

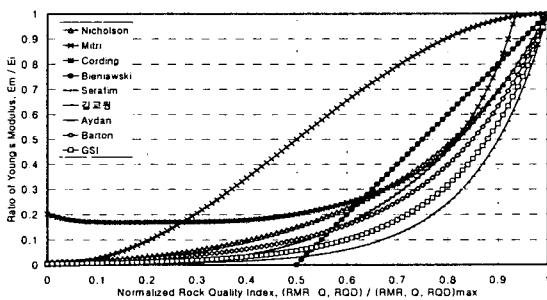


그림 3. 제안식별 암질지수와 Em/Ei

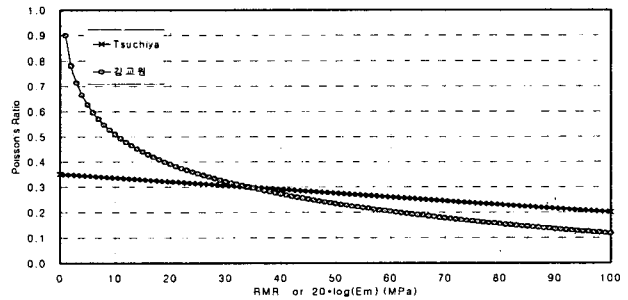


그림 4. 제안식별 RMR값과 포아송비

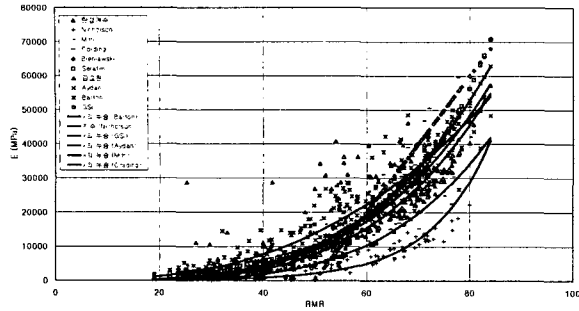


그림 5. 국내 현장자료를 이용한 RMR - E

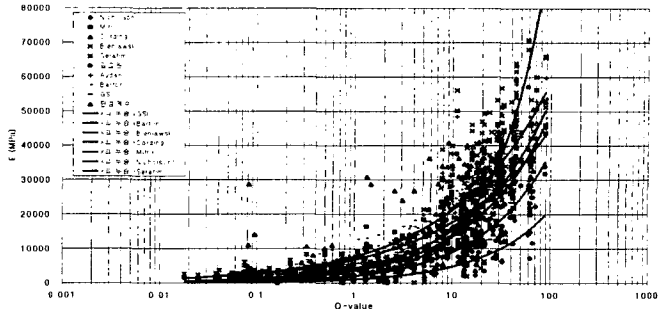


그림 6. 국내 현장자료를 이용한 Q - E

#### 4.4 현지 암반의 압축강도 추정식

현지 암반의 압축강도를 추정하는 식들은 다음과 같다.

- 1) RMR 이용: Trueman(1988)  $S_{cm} = 0.5 \exp(0.06 RMR)$  (MPa)
- 2) RMR과 실내시험 일축압축강도 이용: Mark  $S_{cm} = S_{ci} \cdot 0.5(RMR - 15) / 85$
- 3) GSI와 실내시험 일축압축강도 이용: Hoek(1999)  $S_{cm} = S_{ci} \cdot 0.022 \cdot e^{0.038 GSI}$
- 4) L-RMR과 실내시험 일축압축강도 이용: Laubscher(1990)  $S_{cm} = S_{ci} \cdot ([L - RMR] - UCS) / 100$
- 5) Hoek-Brown 상수와 실내시험 일축압축강도 이용: Hoek-Brown(1994, 1997)  $S_{cm} = S_{ci} \cdot s^n$
- 6) 실내/현장 영률 및 실내시험 일축압축강도 이용: Ramamurthy(1993)  $S_{cm} = S_{ci} \cdot [E_m / E_i]^{0.7}$
- 7) Q 이용: Singh(1997)  $S_{cm} = 7 \cdot \gamma \cdot Q^{1/3}$  (MPa) for  $Q < 10$ ,  $2 < S_{ci} < 100$  MPa,  $J_w = 1$ ,  $J_r / J_a < 0.5$
- 8) N, 암반밀도, 터널폭 이용: Singh(1997)  $S_{cm} = [5.5 \cdot \gamma \cdot N^{1/3}] / B^{0.1}$  (MPa), B = 터널폭(m)

#### 4.5 현지 암반의 인장강도 추정식

현지 암반의 인장강도를 추정하는 식들은 다음과 같다.

- 1) Q와 암반밀도 이용: Grimstad & Bhasin(1996)  $S_{tm} = 0.029 \cdot \gamma \cdot f_c \cdot Q^{1/3}$  (MPa),  
 $\gamma = \text{단위중량 (g/cm}^3\text{)}, f_c = S_{ci} / 100, f_c = 1 \text{ for } S_{ci} < 100 \text{ MPa}$
- 2) Hoek-Brown 상수와 실내시험 일축압축강도 이용:  
 Hoek-Brown  $S_{tm} = \frac{1}{2} S_{ci} [m - \sqrt{m^2 + 4s}]$ ,  $S_{tm} = S_{ci} \cdot (m/s)$  for  $GSI > 25$  and  $n = 0.5$

#### 4.6 현지 암반의 점착력 추정식

현지 암반의 점착력을 추정하는 식들은 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) RMR 이용: (1) Trueman(1988)  $C_m = 0.25 \exp(0.05 RMR)$  (MPa)  
 (2) 김교원(1993)  $E_m = 200 \cdot e^{0.08 RMR^*} / 10000$  (MPa),
- 2) 현지 암반 영률 이용: Tsuchiya(1984):  $C_m = -1.93 Y + 2.07 Y^2 + 0.035 Y^3$  ( $\text{kg/cm}^2$ ),  
 $Y = (\log(E_m) - 2.25) / 0.35$ ,  $E_m: \text{kg/cm}^2$

#### 4.7 현지 암반의 내부마찰각 추정식

현지 암반의 내부마찰각을 추정하는 식들은 다음과 같다.

- 1) RMR 이용: (1) Trueman(1988)  $\phi_m = 0.5 RMR + 5$  (degree)  
 (2) 김교원(1993)  $\phi_m = 0.25 RMR^* + 27.5$  (degree)
- 2) 현지 암반 영률 이용: Tsuchiya(1984):  $\phi_m = 23.6 + 2.347 Y$  (degree)

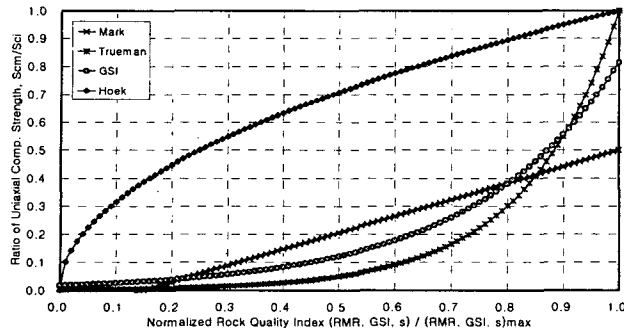


그림 7. 제안식별 암질지수와 Scm/Sci

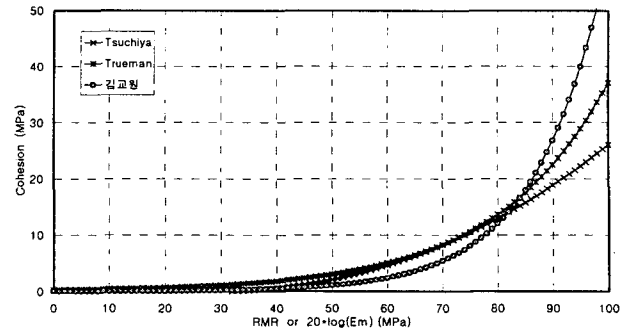


그림 8. 제안식별 RMR 값과 점착력

## 5. 결론

지금까지 널리 이용되고 있는 현지암반평가기법들의 평가요소를 비교 분석해 보면, 대부분의 평가기법 공통적으로 기본적인 암반특성인 절리 상태 및 지하수 상태가 중요한 평가 요소가 되고 있으며, 한편으로는 암반구조물 굴착, 건설시 관계되는 지압조건, 굴착손상영향, 구조물 방향성 등은 암반평가기법에 따라서는 충분히 고려되지 않는 경우가 있다. 이러한 각 기법별 평가요소의 차이로, 최종 평가결과간의 상호관계식으로는 변환결과에 분산이 크고 및 신뢰성이 저하되므로 공통 요소간 상호관계의 분석이 필요하다.

또한, 각종 암반평가결과를 이용한 지반정수 추정식의 경우는, 적용조건이나 적용범위 등이 제한되어 있는 경우가 많으므로 이러한 요소들을 잘 파악하여 적용하여야 할 것이다.

그리고 이러한 제안식들은 근본적으로 제안자 및 이용 자료의 지역적 차이에 의해서도 결과의 상이성을 보이는데, 특히 국내의 경우는 외국에서 개발된 기법이나 제안식들을 원용하고 있어서 근본적으로 국내 암반의 기초 자료에 의한 검증이 미흡한 실정이다. 따라서, 국내 현장자료의 축적과 이의 적용을 통해 국내 암반조건에 적합한 평가기법 및 제안식들을 정립해 나가야 할 것이다.

## 참고문헌

1. Bieniawski, Z.T.(1996), *Milestones in Rock Engineering*, A.A. Balkema, 438p.
2. Goel, R.K., J.L. Jethwa and A.G. Paithankar(1996), "Correlation between Barton's Q and Bieniawski's RMR - A new approach", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol.33, No.2, pp.179~181.
3. Hoek, E. and E.T. Brown(1997), "Practical Estimates of Rock Mass Strength", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol.34, No.8, pp.1165~1186.
4. Hudson, John A.(1993), *Comprehensive Rock Engineering*, Vol.I-V, Pergamon Press.
5. Marathe, S.V.(2000), "Limitations of RMR based Geomechanical Classification", *Proc. of ROCKSITE-99*, Bangalore, India, pp.81~88.
6. Mohammad, N., D.J. Reddish and L.R. Stace(1997), "The Relation between In situ and Laboratory Rock Properties used in Numerical Modelling", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol.34, No.2, pp.289~297.
7. Palmstrom, Arild(1996), "Characterizing Rock Masses by the R<sub>Mi</sub> for Use in Practical Rock Engineering - Part 1: The Development of the Rock Mass index(R<sub>Mi</sub>)", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol.11, No.2, pp.175~188.
8. Sheery, P.R.(1997), *Empirical Rock Failure Criteria*, A.A. Balkema, 176p.
9. Singh(1999), *Rock Mass Classification*, Elsevier, 267p.