

## 암반의 풍화등급 및 RMR과 변형계수의 상관관계

장 보 안  
김 효 열

강원대학교 지구물리학과  
중앙개발 주식회사

### 1. 서론

암반의 변형계수는 터널과 같은 토목구조물의 설계에 매우 중요한 변수중의 하나로, 많은 지질조사에서 변형계수가 측정되고 있다. 그러나 현장 여건상 변형계수를 측정할 수 없거나, 충분한 량의 측정이 이루어지지 못한 경우에는 암반의 다른 변수를 사용하여 변형계수를 추정하여 설계에 자주 사용된다. RMR은 암반의 변형계수와 좋은 상관관계가 있음이 여러 연구에서 발표되었고, RMR을 이용하여 암반의 변형계수를 추정하는 식이 여러 연구자에 의하여 제안되었다(Bieniawski, 1975; Serafim and Pereira, 1983; Hoek and Brown, 1979; Barton et al., 1980).

Bieniawski(1975)는 남아프리카 공화국의 여러 조사현장에서 측정한 변형계수( $E_M$ )와 RMR을 비교하여 다음과 같은 식을 발표하였다.

$$E_M = 2 \times RMR - 100 \quad (1)$$

식 (1)은 RMR이 50 이상인 경우에만 적용이 될 수 있고 직선의 관계를 보인다. Serafim and Pereira(1983)는 자료를 보충하여 모든 값의 RMR에 적용될 수 있는 식 (2)를 제안하였고, Hoek and Brown(1979)은 일축압축강도와 RMR를 이용하여 변형계수를 추정하는 식 (3)을 제안하였다.

$$E_M = 10 \frac{RMR-10}{40} \quad (2)$$

$$E_M = \frac{\sqrt{q_c}}{10} 10 \frac{RMR-10}{40} \quad (3)$$

국내에서는 김 교원(1993)이 터널의 변위와 RMR을 고려하여 변형계수를 추정하는 식 (4)를 제안하였으나, 동일한 RMR 값에서 식 (2)에 비하여 매우 낮은 변형계수를 제시한다.

$$E_M = 0.03 \cdot \text{Exp}(0.07 \cdot RMR) \quad (4)$$

변형계수는 외국의 경우 주로 터널 내에서 평판재하시험을 통하여 측정하는 반면에, 국내에서는 거의 공내재하시험을 실시하여 측정한다. 공내재하시험은 평판재하시험에 비하여 하중이 작용한 부피가 매우 작기 때문에 공내재하시험에서 측정된 변형계수는 평판재하시험에서 측정된 변형계수에 비하여 큰 값을 가질 것이라는 것이 통상적인 개념이나, Rocha(1974)는 평판재하시험에서 측정된 변형계수가 공내재하시험에서 측정된 변형계수에 비하여 2-3 배 크다는 통상적인 개념과 반대되는 결과를 발표하기도 하였다.

이 논문에서는 지난 10년간 국내의 152개 현장에서 측정된 2354개의 변형계수를 암석의 풍화 등급과 RMR 값과 비교하여, 풍화 등급에 따른 변형계수의 분포와 RMR을 이용하여 변형계수를 추정하는 새로운 식을 제시하였다.

## 2. 암반의 풍화 등급과 변형계수의 관계

암반의 질을 나타내거나 시추 비의 산정을 위하여 암반을 풍화정도에 따라 경암, 보통암, 연암, 풍화암으로 분류한다(KSRM, 1999). 이러한 분류는 정성적이고, 주관적인 요소가 상당히 많이 포함되어 있기 때문에 논란의 대상이나, 풍화 등급에 따른 분류를 이용하여 암반의 변형계수를 추정하거나, 변형계수를 암반의 분류 기준으로 사용하기도 한다. 그림 1은 풍화 등급에 따른 2354개의 변형계수의 분포를 나타낸 것으로, 모든 풍화등급에서 변형계수는 정규분포를 보이고 있으며, 높은 풍화등급의 낮은 변형계수와 낮은 풍화등급의 높은 변형계수가 중복되기는 하나 각 풍화 등급의 경계는 잘 나타난다. 각 암종의 변형계수의 범위와 평균은 표 1과 같다.

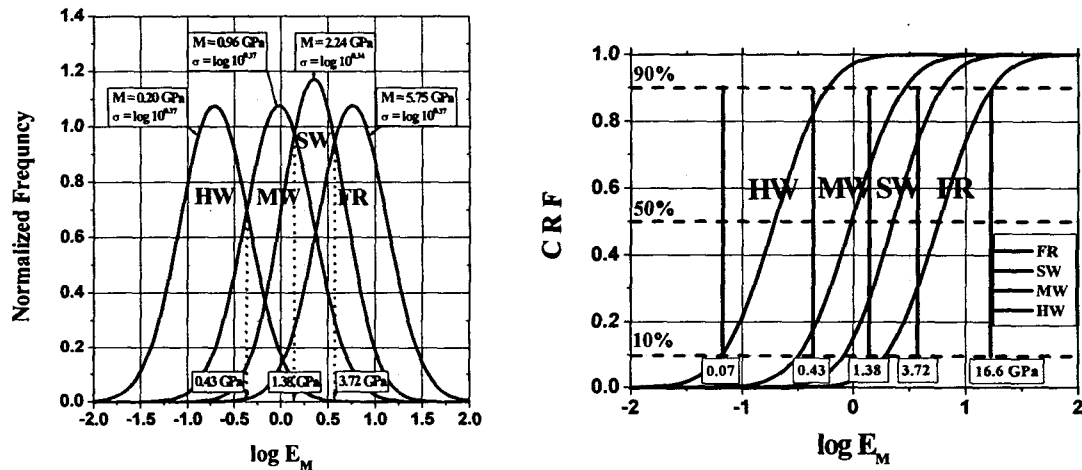


Fig. 1. Normalized frequencies(A) and cumulative normalized frequencies(B) against the logarithmic scale of in situ modulus of deformation.

Table. 1. The ranges and mean values of in situ modulus of deformation suggested by KHSRCA and this research. Values in the parenthesis are mean values.

	Range of in situ modulus of deformation(GPa)			
	Highly weathered rock	Moderately weathered rock	Slightly weathered rock	Fresh rock
KHSRCA	0.1 ~ 0.4	0.4 ~ 1.0	1.0 ~ 5.0	5.0 ~ 10.0
This research	0.07 ~ 0.43 (0.20)	0.43 ~ 1.38 (0.96)	1.38 ~ 3.72 (2.24)	3.72 ~ 16.6 (5.75)

\* KHSRCA : Korean High Speed Railway Construction Authority

### 3. RMR과 변형계수의 관계

수집된 자료 중에서 RMR과 변형계수가 동시에 측정된 875개의 자료를 이용하여 상관관계를 분석하였다. RMR의 범위는 0~98이며 평균값은 약 50이고 표준편차는 17.7이다. 그림 2는 변형계수와 RMR의 관계를 보여주고 있으며 회귀분석 결과 RMR과 변형계수의 관계는 식 (5)와 같으며, 상관계수는 0.64이다

$$E_M = 10^{-0.322 + 0.0185 \cdot RMR} \quad (5)$$

식 (5)의 계수를 반올림하여 간단히 하면 식(6)과 같다.

$$E_M = 10^{-0.32 + 0.02RMR} = 10^{\frac{RMR - 16}{50}} \quad (6)$$

이 연구에서 제시된 식에서 추정된 변형계수는 Serafim and Pereira(1983)가 제시한 식에 비하여 낮은 값을 가지나 김 교원(1993)이 제시한 식에 비하여 높은 값을 가진다. Rocha(1974)는 공내재하시험에서는 시추공에 인장응력이 작용하기 때문에 공내재하시험에 의하여 측정된 변형계수는 평판재하시험에서 측정된 변형계수의 1/3 ~ 1/2의 값을 보임을 보고하였다. 이 연구에서 제시된 식 (5)에 3을 곱하면 Serafim and Pereira(1983)가 제시한 식과 거의 유사하여 Rocha(1974)가 기술한 바와 상당히 유사하다.

국내에서는 거의 모든 변형계수를 공내재하시험을 통하여 측정하고 있으므로, 만약 측정된 변형계수와 RMR에서 추정된 변형계수를 혼용하여 쓸 경우에는 Serafim and Pereira(1983)가 제시한 식보다는 이 연구에서 제시한 식 (5)가 더욱 정확할 것으로 사료된다.

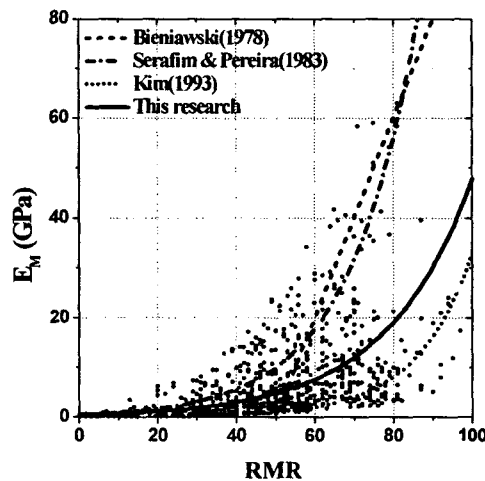


Fig. 2. The relationships between in situ modulus of deformation and RMR from this research and others

이 연구에서 사용된 변형계수는 6개의 암종에서 측정되었으므로 각 암종 별로 변형계수와

RMR의 관계를 연구하였다(그림 3). 각 암종에 따른 상관 관계는 식 (6)과는 약간 차이를 보이나 사암과 석회암을 제외한 모든 암종에서 식 (6)과 유사하다.

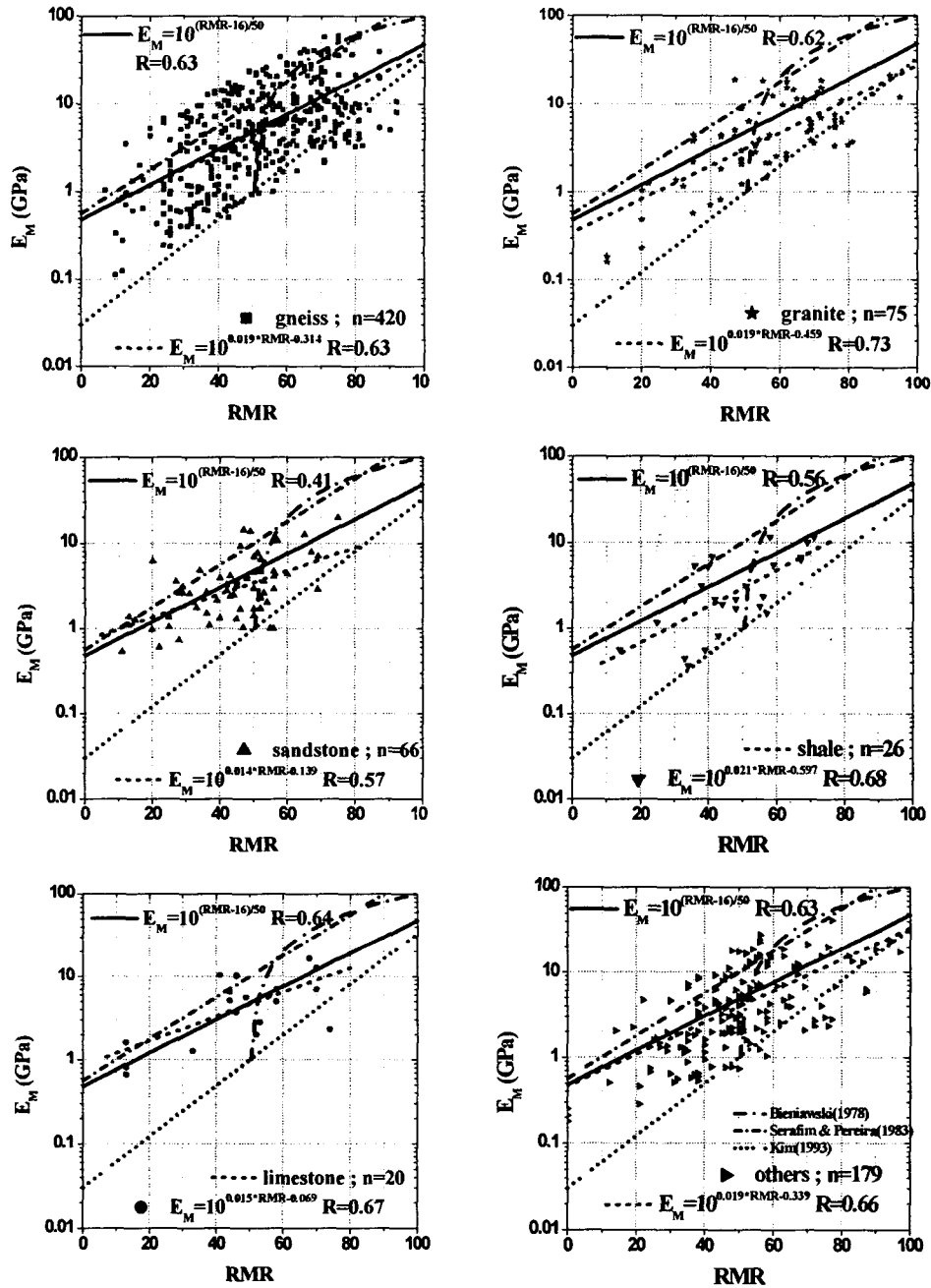


Fig. 3. The relationships between in situ modulus of deformation and RMR in each rock type.

이 연구에서 제시된 식을 검증하기 위하여 연암과 경암에서 측정된 변형계수를 이용하여 RMR 값을 역으로 추정하였다. 연암의 변형계수는 0.43 ~ 1.38GPa의 범위를, 경암은 3.72 ~ 16.6GPa 범위를 가지고(표 1), 각 연구자가 제시한 추정식에 위의 변형계수의 범위를 대입하여 계산된 RMR의 범위는 표 2와 같다. 이 연구 및 Serafim and Pereira(1983)가 제시

한 식에서 추정된 RMR의 값은 현실적으로 사료되나 Bieniawski(1975)의 경우 연암에서 매우 높은 RMR을, 김 교원(1993)의 경우 전체적으로 너무 높은 RMR 값을 보여 비현실적인 것으로 사료된다.

Table. 2. RMR values predicted by relationships suggested by this research and others.

	RMR			
	Bieniawski(1978)	Serafim & Pereira(1983)	Kim(1993)	This research
Moderately weathered Rock	50 ~ 51	0 ~ 17	45 ~ 56	0 ~ 25
Fresh Rock	52 ~ 58	33 ~ 59	69 ~ 90	45 ~ 77

#### 4. 결론

지난 10년간 국내의 조사 현장에서 측정된 변형계수, 암반의 풍화등급 및 RMR 값을 이용하여 상관 관계를 연구하였다. 변형계수는 각 암반의 풍화등급 내에서 정규분포를 보이며, 명확한 경계를 보여 각 풍화등급의 변형계수의 범위를 제시하였다. 이 연구 결과는 풍화등급을 이용하여 개략적인 변형계수를 추정하거나, 암반의 풍화 등급을 나누는 기준으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

RMR 값을 사용하여 변형계수를 추정하는 새로운 식을 제시하였으며, 관계식은  $E_M = 10^{\frac{RMR-16}{50}}$  으로 나타났다. 국내에서는 거의 모든 변형계수가 공내재하시험을 통하여 측정되는 현실을 감안할 때, 이 관계식은 공내재하시험에 의하여 측정된 변형계수를 가장 잘 추정할 수 있는 식으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

- Barton, N., Loset, F., Lien, R. and Lune, J., 1980, Application of Q-system in design decisions concerning dimensions and appropriate support for underground installations, *Subsurface Space*, Pergamon, 553-561.
- Bieniawski, Z. T., 1978, Determining rock mass deformability : Experience from case histories, *International Journal of Rock Mechanics and Mineral Science & Geomechanics Abstract*. 15:237-247.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1997, *Underground excavation in rocks*, Institution of Mining and Metallurgy, London, p.527.
- Kim, G., 1993, Revaluation of geomechanics classification of rock mass, *Geotechnical*

Engineering and Tunneling Technology, Korean Geotechnical Society Spring '93 National Conference Seoul, Korea, 33-40(in Korean).

KSRM, 1999, Techniques of site investigation and testing for civil engineers, Rock mechanics technical report, p. 799(in Korean).

Rocha, M., 1974, Present possibilities of studying foundations of concrete dams, Proceedings 3rd ISRM congress, 1A:879-896.

Serafim J. L. and Pereira J. P., 1983, Consideration on the geomechanics classification of Bieniawski, International Symposium on Engineering Geology and Underground Construction, LNEC, Lisbon, 1:II.33-II.42.