

RMR을 이용한 암반의 주요 변형계수 추정식의 적용성 평가

The Evaluation for Estimation Method of Deformation Modulus of Rock Mass Using RMR System

천병식* · 이용재** · 정상훈***

Chun, Byung-Sik · Lee, Yong-Jae · Jung, Sang-Hoon

Abstract

The deformation modulus of rock masse is a very important design factor for the computation of stability of tunnels and their support systems. Several empirical formulas to estimate the deformation modulus using simple rock classification methods such as RQD or RMR are widely used because field tests to evaluate the deformation modulus are very expensive and time consuming work. However, these formulas can be depended on experiences from the characteristics of local sites in each country. Therefore, in this study, the applicability of empirical formulas was analyzed by comparing estimated value with the measured value from eight sites in South Korea.

The results show that the estimated value based on the empirical formulas partially have tendency to overestimate. Especially, in case of sedimentary rocks, it was too difficult to apply to the empirical formulas because there was no relationship between estimated value and measured value. For these reasons, additional data from many tests and accurate analyses are necessary to evaluate the estimation method for the deformation modulus considering the local characteristics of rock masse.

Keywords : Deformation Modulus, RQD, RMR

요 지

변형계수는 터널의 안정성 검토나 지보시스템 계산의 중요한 변수이다. 현장조건을 고려한 현장시험을 통한 변형계수 추정은 많은 비용과 시간이 소요됨으로 현장 암반의 절리 특성 등을 고려할 수 있는 RQD, RMR 등을 이용한 경험적인 제안식들이 주로 이용된다. 그러나 이들 제안식들은 대부분이 해외 사례연구를 통한 경험식으로서 이러한 식들로는 국내 암반의 강도 및 변형특성에 맞는 변형계수를 추정에는 제한이 있을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 국내 8개 현장에서 실시한 공내재하시험 결과를 이용한 측정값을 RMR 값을 이용한 기존 이론식으로부터 산정된 추정값과 비교하여 국내 현장에서의 적용성을 평가하였다.

분석결과, 암종별로 변형계수와 RMR 값의 상관관계가 뚜렷하게 나타나는 경우도 있는 반면에 자료의 분산이 매우 불규칙한 경우도 있어 기존 이론식의 적용에 있어 어려움이 있었다. 따라서 향후 국내 현장 조건에 맞는 적절한 추정식이 제안되어야 한다고 사료된다.

주요어 : 변형계수, RQD, RMR

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

*** 정회원 · (주)테조엔지니어링 기술연구소 사원

1. 서론

암반의 변형계수를 예측하는 방법으로 RMR 값을 이용한 경험식들이 실무에 많이 적용되고 있다. 그러나 이들 제안식들의 경우 대부분이 해외 사례 연구를 통해 얻어진 경험식으로서 국·내 암반의 강도 및 변형특성에 맞는 물성치들을 산정해내는 데에는 제안이 있을 것으로 판단되며, 국내의 경우 김교원(1993) 등이 수정된 RMR 값을 이용한 관계식을 제안한 바 있다.

본 연구에서는 RMR을 이용한 주요 변형계수 추정식들의 국내 암반에 대한 적용성을 평가하기 위해 국내 8개 현장의 공내재하시험 결과 측정된 변형계수 값을 바탕으로 시추 및 암반조사 결과에 의한 현장암반의 RMR 분류 결과와의 상관관계 조사를 통해 제안식별 국내 암반에의 적용성을 암종별로 비교 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 기존 이론식에 의한 변형계수 산정

2.1.1 Bieniawski(1978)의 제안식

Bieniawski(1978)는 사례분석을 통하여 모델링을 위한 변형계수를 산정하는 식 (1)을 제안하였다. 이 식은 RMR이 50보다 큰 경우 18.2%의 오차범위 내에서 허용되는 것으로 알려져 있으며, RMR이 50이하인 경우에는 달리 적용되어야 한다.

$$E_m = 2RMR - 100 \text{ (GPa)} \quad (1)$$

(단, RMR > 50)

2.1.2 Serafim & Pereira(1983)의 제안식

Serafim과 Pereira(1983)는 댐 기초에 관련된 여러 가지 사례분석을 바탕으로 변형률의 측정치를 통한 역해석으로부터 다음의 식 (2)를 제안하였고, 이 식은 RMR이 50 이하일 경우에 대하여 Bieniawski의 제안식을 보완하고 있다.

$$E_m = 10^{(RMR - 10)/40} \text{ (GPa)} \quad (2)$$

(단, RMR < 50)

2.1.3 김교원(1993)의 제안식

김교원(1993)은 기존의 RMR 분류식에서 총 RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외하여 변형계수를 구하는 식 (3)을 제안하였다. 이 식은 국내 암반을 대상으로 조사한 결과를 바탕으로 만들어졌기 때문에 다른 제안식에 비해 우리나라의 암반 특성을 잘 반영하고 있다.

$$E_m = 300 \times \text{Exp}(0.07RMR) \times 10^{-3} \text{ (GPa)} \quad (3)$$

(단, RMR은 총 RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외한 값)

2.1.4 Aydan(1997)의 제안식

Aydan은 1997년에 현장 데이터를 수집하여 RMR을 이용한 식 (4)를 발표하였다.

$$E_m = 0.0097 \times RMR^{3.54} \times 10^{-3} \text{ (GPa)} \quad (4)$$

2.1.5 Mohammad(1997)의 제안식

Mohammad는 약 40여편의 수치해석 결과들을 참고하여 각각의 논문들에서 수치해석용 입력변수가 어떻게 적용되는지 살펴보고, 변형계수와 RMR의 관계를 회귀분석을 이용하여 식 (5)를 제안하였다.

$$E_m = 0.562 \times RMR + 0.183 \text{ (GPa)} \quad (5)$$

본 연구에서는 RMR 지수를 이용하는 변형계수의 산정식들 중에서 최초의 제안식인 Bieniawski(1978)의 식과 Bieniawski의 식을 보완하여 RMR이 50 이하일 때 적용되는 Serafim & Pereira(1983)의 식, 그리고 국내 암반에 대하여 조사한 결과를 이용하여 제안한 김교원(1993)의 식, 그리고 가장 최근에 발표된 Aydan(1997)과 Mohammad(1997)의 식 등 다섯 가지의 식을 이용하여 이론값을 산정하고 그 결과를 현장에서 얻은 측정치와 비교·분석하였다.

3. 현장시험의 결과 분석

3.1 대상지역의 특성

본 연구의 대상지역은 8개 지역이며 중앙선 ○○~○○간 복선전철 건설공사 구간은 선캄브리아기의 변성암류인 호상편마암, 화강암, 흑운모 편마암, 석영편암 등으로 구성되어 있고, 전라선 ○○~○○간 철도개량건설공사 구간은 백악기 말에 형성된 경상분지에 해당하며 대부분이 안산암과 응회암으로 구성되어 있다. ○○~○○간 연륙교 가설공사 구간은 중생대 백악기의 경상계 하양층군과 퇴적암류와 유천층의 안산암질암, 응회질 퇴적암, 등으로 분포 되어 있다. ○○~○○간 도로확장공사 구간은 선캄브리아기의 화강편마암류와 백악기 화산암류 및 산성암맥으로 구성되어 있다. 고속국도 14호선 ○○~○○간 건설공사 제2공구 구간은 심성암인 주라기 반상화강암과 복운모 화강암이 분포한다. ○○도 연륙교 건설공사 구간은 기반암은 조립질의 백악기 화강암으로 구성되어 일부 지역에서는 호상편마암류와 편암이 분포한다. ○○대교 접속도로(○○○~○○구간, ○○~○○구간) 4차로 확장포장공사 구간은 안산암과 화강암 지역과 세일 및 사암의 퇴적암으로 이루어져 있다. 여덟 개의 대상지역은 퇴적암, 화산암, 변성암 등 다양한 지질 구조가 형성되어 있어, 암종별로 나타나는 변형계수의 경향을 다양하게 분석할 수 있었다.

3.2 측정값의 비교 및 분석

국내 8개 현장의 공내재하시험 결과 측정된 변형계수와 제안 식에 의해 산정된 추정값들을 비교하여 그 적용성을 판단하였다. 한편 Bieniawski의 제안식과 Serafim & Pereira의 제안식은 서로 RMR 값 50을 기준으로 나누어 적용되도록 제안되어 있으며, 특히, 측정결과 분석에 있어서도 RMR 값 50을 기준으로 각각 다른 경향을 보였으므로 이러한 특징을 더 정밀하게 파악하기 위해 RMR 50을 기준으로 구분하여 분석하였다.

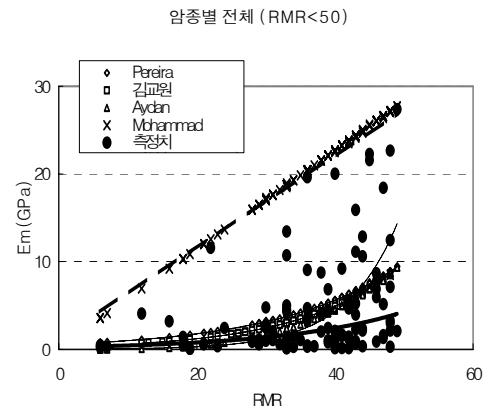
3.2.1 암종별 추정값과 측정값의 비교

본 연구에서 사용된 국내 8개 현장의 암반 분포

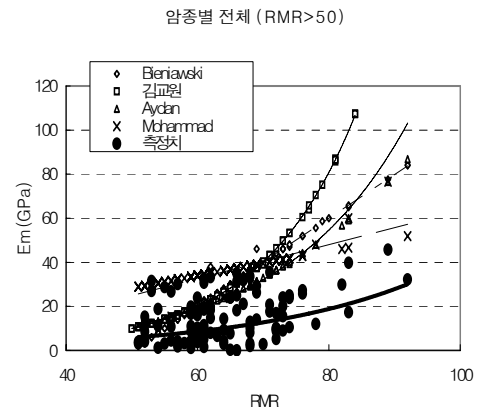
는 응회암, 세일, 사암 등의 퇴적암과 화강암, 안산암 등의 화성암, 그리고 편마암, 화강편마암 등의 변성암 등 그 분포가 다양하였다. 각 암석별로 생성 요인이 다르기 때문에 기존의 제안된 이론식이 암석의 종류에 따라 어떻게 적용되고 어떠한 경향을 나타내는지 알아보았다.

(1) 암석전체

그림 1은 암종별 전체의 변형계수 분포를 보여주고 있다. 대부분의 측정값이 RMR 값에 상관없이 추정값보다 낮게 측정되고 있음을 알 수 있다. RMR이 50이하인 경우, 김교원과 Aydan의 제안식이 비교적 측정값과 유사한 경향을 가지며 RMR이 50이상인 경우에는 RMR이 증가함에 따라 측정값도 증가하는 경향을 뚜렷이 볼 수 있다.



(a) RMR < 50인 경우

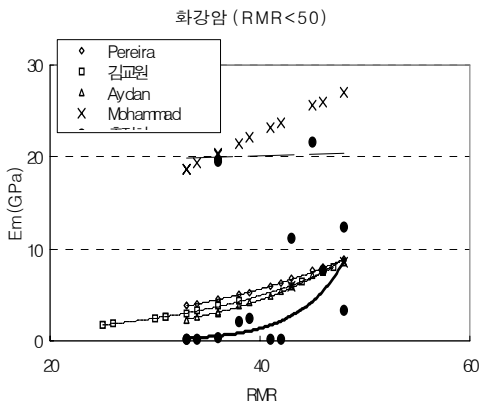


(b) RMR > 50인 경우

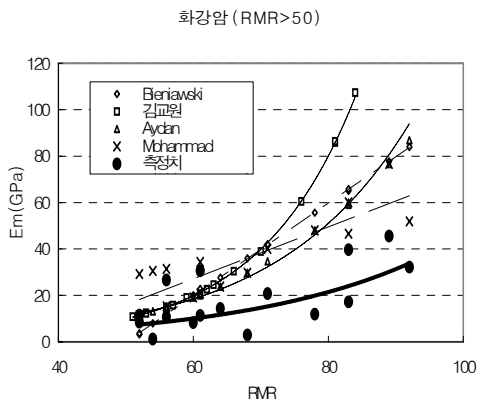
그림 1. 변형계수 추정값과 측정값의 비교 (암종별 전체)

(2) 화강암

화강암의 경우 측정값을 비교해본 결과, 기존의 제안식들과 유사한 증가경향을 보였지만 추정값에 비해 대체적으로 측정값이 낮은 경향을 보였다. 특히 RMR이 70 이상인 경우, Bieniawski와 김교원의 제안식에 의한 추정값과는 맞지 않았다. 이는 화강암에 발달한 엽리로 인해 불연속면이 형성되어 변형계수에 영향을 미친 것으로 판단된다.



(a) RMR < 50인 경우



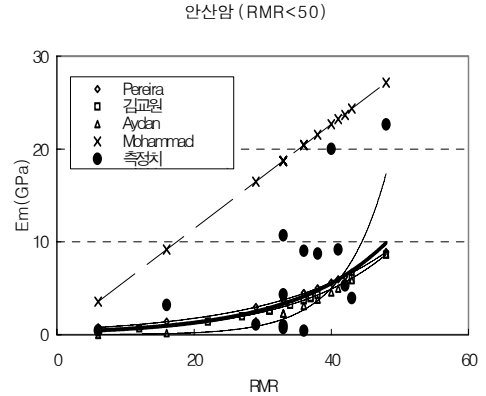
(b) RMR > 50인 경우

그림 2. 변형계수 추정값과 측정값의 비교 (화강암)

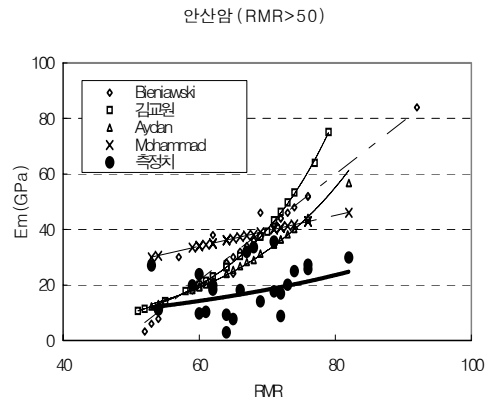
(3) 안산암

안산암의 경우 RMR 값이 50~70 정도의 범위에서 변형계수 측정값이 기존의 제안식과 일치하

는 경향을 보였으며 대체적으로 RMR 값이 증가함에 따라 변형계수도 증가하는 경향을 보이고 추정값과의 차이가 크지 않아 기존 제안식의 현장 적용성이 다른 암석에 비해 크다고 판단되었다.



(a) RMR < 50인 경우



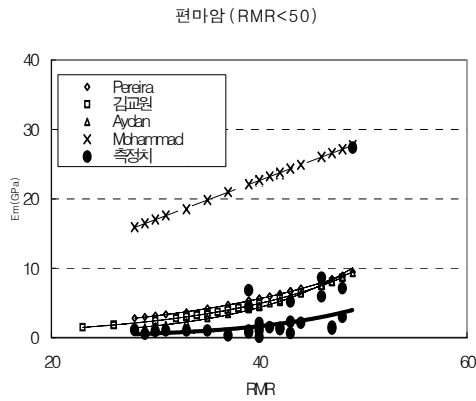
(b) RMR > 50인 경우

그림 3. 변형계수 추정값과 측정값의 비교 (안산암)

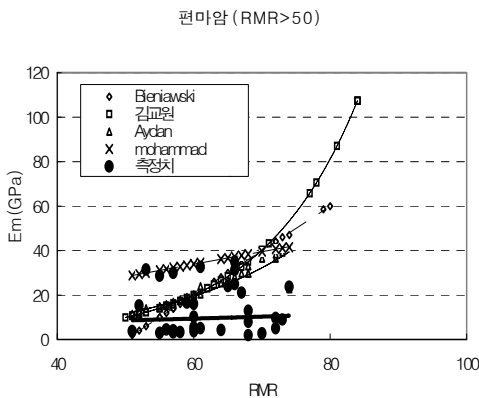
(4) 편마암

편마암의 경우 변성암의 특성상 절리의 영향으로 인해 변형계수가 추정값에 비해 다소 작게 측정되었으나, RMR 값이 증가함에 따라 기존의 제안식과 유사한 증가 경향을 보이고 있고, 특히 RMR 값이 30~50 사이일 때 기존의 제안식과 잘 일치하는 경향을 뚜렷하게 보였다. 하지만 다른 암석에서와 마찬가지로 RMR 값이 70 이상인 경우

에는 제안식에 의한 추정값과 매우 큰 차이를 보여 적용이 어렵다고 생각된다.



(a) RMR < 50인 경우



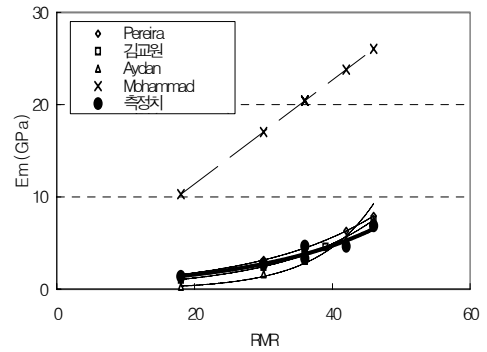
(b) RMR > 50인 경우

그림 4. 변형계수 추정값과 측정값의 비교 (편마암)

(5) 화강편마암

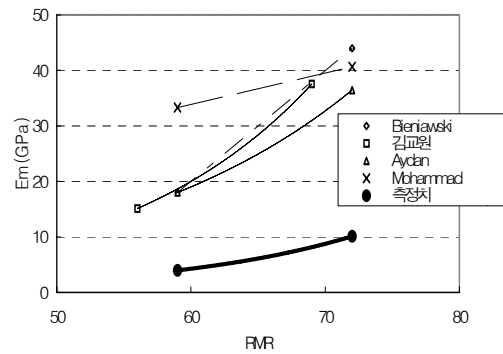
화강편마암의 경우 RMR이 50 이하일 때 제안식과 거의 일치하는 경향을 보였고, RMR이 50 이상일 때에는 측정값이 부족하였지만 RMR 값이 증가함에 따라 조금 증가하였다. 하지만 추정값에 비해 매우 작은 값이 측정되어 기존의 제안식을 적용하기에는 다소 무리가 있다고 판단된다.

화강편마암 (RMR<50)



(a) RMR < 50인 경우

화강편마암 (RMR>50)

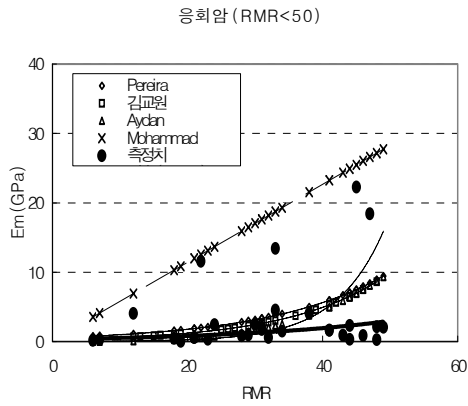


(b) RMR > 50인 경우

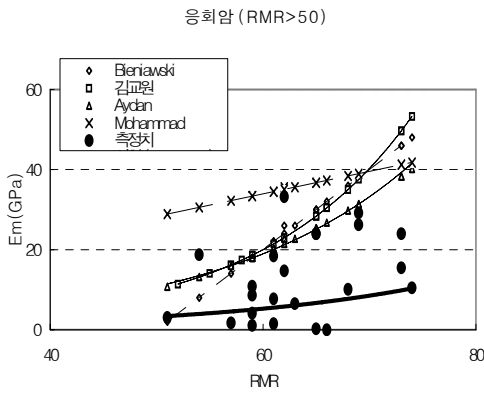
그림 5. 변형계수 추정값과 측정값의 비교 (화강편마암)

(6) 응회암

응회암은 셰일, 사암과 같이 쇠설성 퇴적암으로 분류되지만 셰일, 사암과는 다른 경향을 보였다. RMR이 20~40인 구간에서 Aydan 및 김교원의 제안식과 일치하며 60~70인 구간에서는 Aydan의 제안식과 유사한 경향을 보였다. 응회암이 셰일, 사암과 달리 퇴적암이지만 제안식과 유사한 경향을 보이는 것은 본 연구에서 분석된 응회암은 안산암질 및 유문암질 응회암으로서 셰일과 사암에 비해 층리구조가 매우 미세하여 RMR 값에 그다지 영향을 주지 못한 것으로 판단되며 화성암의 성질을 많이 띠고 있기 때문이라고 판단된다.



(a) RMR < 50인 경우



(b) RMR > 50인 경우

그림 6. 변형계수 추정값과 측정값의 비교 (응회암)

열 및 벽개, 또는 층리 등 변형계수에 영향을 줄 수 있는 요소를 많이 포함하고 있기 때문이라고 판단된다.

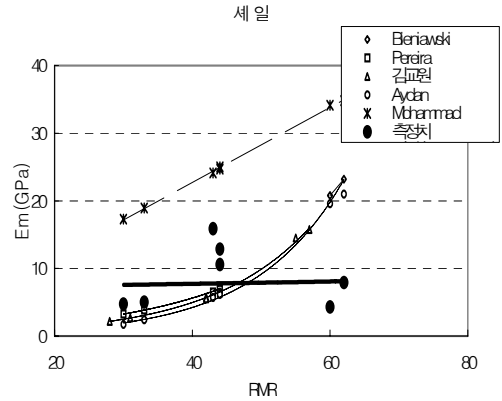


그림 7. 변형계수 추정값과 측정값의 비교 (세일)

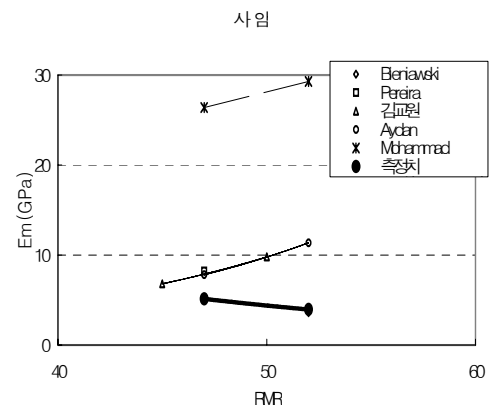


그림 8. 변형계수 추정값과 측정값의 비교 (사암)

(7) 세일

세일에 대한 그래프를 분석한 결과, RMR 값과 관계없이 일정한 경향을 보이지 않았다. 이는 퇴적암의 특성 중 하나인 층리의 발달로 인해 갈탄이나 몬모릴로나이트와 같은 연약한 물질이 층리면에서 쌓임으로서 변형계수에 영향을 미쳤을 것이라고 판단되며, 따라서 세일의 경우 기존의 제안식을 현장에 적용하기에는 무리가 있다고 판단된다.

(8) 사암

사암의 경우 실측 데이터가 부족하였지만, 세일과 마찬가지로 일정한 경향을 보이지 않았으며 퇴적암이 화성암이나 변성암에 비해 풍화에 약해 균

3.2.2 RMR과 변형계수의 상관관계

각 암종별로 측정값을 기준으로 RMR과 변형계수 관계를 단순 회귀분석한 결과는 그림 9 및 그림 10과 같다. 그림 9의 경우 기존 제안식과 측정 결과 추세선과의 비교결과를 보이고 있으며, 그림 10의 경우 전체 암종에 대한 추세선과 측정된 7개 암종 중 세일과 사암을 제외한 5개의 암종에 대한 RMR과 암반의 변형계수 관계를 비교하여 나타낸 것이다.

암종별 RMR과 변형계수의 상관관계 분석결과 안산암, 편마암, 화강편마암의 경우 상관관계 계수가 0.5이상으로 비교적 상관성이 큰 것으로 분석되

있고 응회암, 화강암 등 일부 암종은 상관성이 낮은 것으로 분석되었다. 그림 10에서와 같이 전체 암종에 대해서는 상관관계수가 0.36으로 나타나 변형계수의 예측을 위해서 RMR 값을 이용하는 방법은 적용성에 다소 문제가 있는 것으로 보인다. 또한, RMR과 변형계수의 관계는 지수함수로 표현이 가능한 것으로 분석되었으며, 이는 김교원(1993) 등의 연구 결과와 비슷한 경향이다.

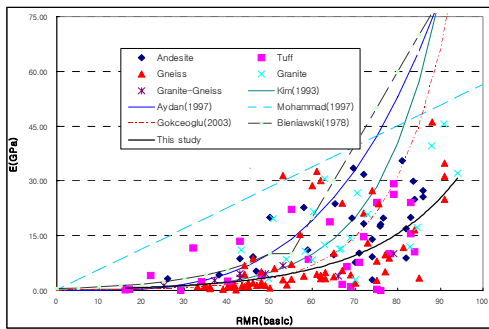


그림 9. 기존 제안식과의 비교

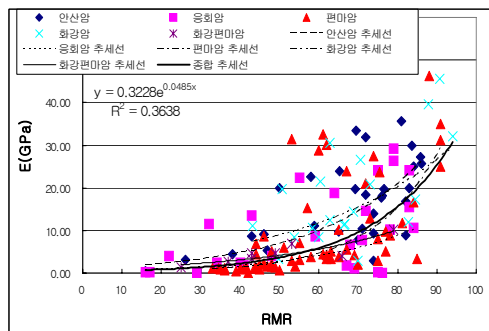


그림 10. 암종별 RMR 대비 변형계수 추세선

3.3 RMR을 이용한 변형계수 추정방법의 적용성 평가

분석결과, 현장별 및 암종별로 변형계수와 RMR 값의 상관관계가 뚜렷하게 나타나는 경우도 있는 반면에 데이터의 분산 정도가 심한 경우도 있어 제안식의 결정에 있어 어려움이 있었다. 국내 현장 8개 지역에서 공내재하시험을 통해 실측한 변형계수와 대표적인 제안식들을 이용한 변형계수 추정값과의 상관성 분석을 한 결과, 일부 제안식들의 경우 추정값이 측정값에 비해 과다하게 산정되는 경향을 보여 국내 현장에서의 적용성이 떨어진다고 판단되었다. 또한, 대부분의 변성암이나 화성암의 경우 추정값과 측정값이 차이가 있었지만 유사

한 증가경향을 보이는 반면, 퇴적암의 경우 추정값과 측정값이 서로 현격하게 맞지 않는데 이는 층리의 방향 및 균열의 영향 등 퇴적암의 특성을 고려하지 못하였기 때문이라고 판단된다. 이러한 이유로 암반의 특성을 고려한 변형계수 추정 방법을 도출하기 위해서는 향후 더 많은 자료의 축적과 분석이 필요하며 이를 바탕으로 기존의 추정식이 수정되어야 하겠으며 이는 국내 암반의 지역별, 암종별 자료분석을 통한 추가적이고 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다. 특히, 변형계수 이외에도 포아송비 및 암반의 강도정수 관련 추정방법에 대해서도 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 여덟 곳의 현장에서 공내재하시험에 의해 측정된 변형계수와 암반분류(RMR)의 관계를 분석하여 기존의 변형계수 산정식에 의한 추정값의 적용성을 비교·분석하였고, 암반의 변형계수에 영향을 줄 수 있는 인자에 대해 고찰해 보았는데, 그 결과를 간단히 요약하면 다음과 같다.

- (1) 화강편마암의 경우 측정값의 부족으로 암반의 변형계수의 경향을 명확히 단정할 수는 없었지만 RMR 값이 20~50인 범위에서는 기존의 제안식과 유사한 값을 나타내었다.
- (2) 편마암의 경우 측정된 변형계수가 기존의 제안식과 비교해서 RMR 값이 증가함에 따라 제안식에 의한 변형계수보다 작은 비율로 증가함을 보였으며, 경향성이나 변형계수에 있어서 상당한 유사성을 나타내었다.
- (3) 셰일 및 사암 등 일반퇴적암의 경우 데이터가 부족하였지만 실측된 변형계수가 기존의 제안식과 비교해서 RMR 값이 증가함과 상관없이 뚜렷한 경향성을 보이지 않고 매우 불규칙하여 기존의 제안식을 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다.
- (4) 화강암의 경우에도 편마암과 마찬가지로 RMR 값이 증가함에 따라 기존의 제안식과 유사하게 변형계수가 증가하는 경향을 보였으며

나, 대부분의 측정값은 제안식에 의한 추정값보다 작은 값을 가졌다.

(5) 응회암의 경우 퇴적암으로 분류됨에도 불구하고 셰일이나 사암과는 달리 RMR 값이 50 이하일 때 이론값과 유사한 증가 양상을 보였는데, 이는 대상 지역의 지질 조건이 안산암질 응회암으로서 화성암의 성질을 다수 띠고 있으므로 퇴적암에서 나타나는 절리나 엽리 등 불연속면이 RMR 값에 크게 영향을 미치지 않았기 때문으로 생각된다.

(6) 퇴적암의 경우 이론치와 실측치가 뚜렷한 상호 연관성을 나타내지 않고 매우 불규칙하여 퇴적암에 대해서는 기존의 이론식의 적용이 매우 어렵다는 것을 알았다.

(7) 기존의 제안식과 비교해 보았을 때, 대부분의

제안식이 측정된 변형계수와 비슷한 경향을 보였는데, 김교원의 제안식에 의해 산정된 변형계수가 측정값과 가장 잘 맞았고, Mohammad의 식은 측정값에 비해 너무 큰 이론값을 산정하는 경향이 많아 국내 현장에서는 적용이 어렵다고 판단되었다.

본 연구에서 RMR 지수와 암반의 변형계수와의 관계를 비교해본 결과, 제한된 측정값임을 감안하더라도 암종에 따라 RMR 지수와 변형계수의 관계는 서로 상이할 수 있으며 경우에 따라서 암반의 변형계수가 RMR 지수 이외의 다른 파라메타에 따라 좌우될 수도 있음을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 암반의 변형계수를 추정하는 방법에 대한 추가적인 연구가 수행되어 우리나라의 현장에 맞는 적절한 추정식이 제안되어야 할 것이다.

(접수일자 : 2006년 1월 13일)

참고문헌

1. 김교원(1993), 지공학적 암반분류의 재평가. 1993년도 한국지반공학회 봄학술발표대회논문집, 한국지반공학회, pp. 33~40.
2. 임수빈, 이선재, 윤지선, 김성환, 박영호(1998), 제천지역 석회암 암반의 변형계수. 1998년도 한국지반공학회 가을학술발표대회논문집, 한국지반공학회, pp. 49~56.
3. 이인모(2001), 암반역학의 원리. 도서출판 새론, pp. 21~40, 194~204.
4. 정형식(2004), 토목기술자를 위한 암반역학. 도서출판 새론, pp. 33~44, 201~209, 303~321.
5. 천병식(2000), 지반공학 -이론과 실제-. 구미서관, pp. 514~518, 791~792.
6. Barton, Nick, Stephansson(1990), International Symposium on Rock Joints. International Society for Rock Mechanics, Norwegian Geotechnical Institute, pp. 346~352.
7. J. L. Serafim and J. P. Pereira(1983), Consideration of the Geomechanical Classification of Bieniawski. Proceedings of International Symposium on Engineering Geology and Underground Construction, Vol. 1(II), pp. 33~44.
8. T. Ramamurthy(1993), Strength and Modulus Responses of Anisotropic Rocks. Comprehensive Rock Engineering, Principles, Practice & Projects, Pergamon Press, Vol. 1-I, pp. 315~330.
9. T. F. Onodera(1963), Dynamic Investigation of Foundation Rocks in-situ. Proceedings of 5th Symposium on Rock Mechanics, pp. 517~533.
10. Z. T. Bieniawski(1978), Determining Rock Mass Deformability - experience from case histories. International Journal of Rock Mechanics, Mining Science and Geomechanics, pp. 237~247.
11. Z. T. Bieniawski(1989), Engineering Rock Mass Classifications, pp. 51~64.