

## 화강암 암반의 암질에 따른 동탄성 특성치에 관한 연구 (경기, 경남지역 중심으로)

이벽규<sup>1)\*</sup>, 이수곤<sup>2)</sup>, 임백만<sup>3)</sup>

### A Study on the Characteristics of Dynamic Elastic Modulus in Granite

Byok-Kyu Lee, Su-Gon Lee, Bak-Man Lim

**Abstract** Recently, an earthquake-resistant has become essential to the large-scale structures at Gyeonggi and Gyeongsangnam province in Korea, but it is generally compared the measured data with foreign references because of the lack of the research data. It will be presented the characteristics of suitable dynamic elastic modulus in Korean geology, which characteristics are characterized the seismic wave velocities ( $V_p$ ,  $V_s$ ) and correlation with dynamic elastic modulus ( $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ ) by each rock type of Korean granite, because it is very different between the values of foreign references and Korean geological characteristics.

**Key words** Dynamic young's modulus ( $E_d$ ), Dynamic shear modulus ( $G_d$ ), Dynamic bulk modulus ( $K_d$ ), Compressional wave velocity ( $V_p$ ), Shear wave velocity ( $V_s$ )

**초 록** 최근 국내에서도 일정 규모이상의 구조물과 건축물에 대한 내진설계가 필수적으로 되어 가고 있지만, 연구자료의 부족으로 외국문헌에서 인용 또는 참고하고 있어 실제 측정된 자료와 비교하는 것이 일반적이다. 그러나 외국문헌의 값은 우리나라의 지질특성과는 상당한 차이를 보이기 때문에 우리나라 화강암지대의 암질별 탄성파속도( $V_p$ ,  $V_s$ )의 특성 및 동적특성치( $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ )와의 상관관계를 규명하여 국내 지질특성에 적합한 동적 특성치의 특성을 제시하고자 한다.

**핵심어** 동탄성계수( $E_d$ ), 동전단계수( $G_d$ ), 동체적계수( $K_d$ ), 압축파속도( $V_p$ ), 전단파속도( $V_s$ )

## 1. 서 론

일정 규모이상의 구조물과 건축물에 대해서 내진설계가 필수적인 사항이 되어 가고 있다. 특히 원자력발전소, 방사성폐기물 처리장, 대형교량, 지하 유류비축기지 등과 같은 지진 및 외부에서 발생된 진동에 민감한 구조물의 경우 지반의 동적특성을 파악하는 일은 매우 중요하다. 암반의 동탄성계수는 지반의 동적특성을 파악할 수 있는 표준지표가 되기 때문에 진동에 민감한 구조물을 시공할 때 반드시 측정되어야 할 중요한 변수로서 현장에서 탄성파탐사를 통해 압축파속도( $V_p$ )와 전단

파속도( $V_s$ )를 구함으로써 간접적으로 구할 수 있다(한국암반공학회 외, 1999; 손호웅 외, 2000). 그 값은 암반이 신선하고 단단할 경우 정탄성계수와 비슷한 값을 가지나 풍화나 변질이 진행될수록 탄성파가 지속되는 시간이 아주 짧으며 응력의 크기가 미약하기 때문에 일반적으로는 정탄성계수보다 높게 측정되는 경향이 있다.

동탄성계수를 산정하기 위하여 필요한  $V_p$ ,  $V_s$ 는 암반의 밀도( $\rho$ ), 함수비 및 일축압축강도와 높은 상관성을 가지는 것으로 나타났으며(Yoshikazu et al., 1997), 우리나라에서 기존에 실험한 결과는 암상과 RQD 및 절리 틈에 크게 영향을 받는 것으로 밝혀졌다(송무영 외, 2002; 이벽규, 2004).

우리나라가 지진에 안전하다는 인식 때문에 우리나라에서의 동탄성계수의 측정은 원자력 관련 시설물을 제외하고는 최근까지 많이 수행하지 않아 자료의 축적이 미약하여, 암반분류에 따른 탄성파속도 및 동탄성계수의 상관관계에 대하여는 연구가 미비한 실정이다. 이에

<sup>1)</sup> (주)새터기술 대표이사

<sup>2)</sup> 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 부교수

<sup>3)</sup> (주)새터기술 이사

\* 교신저자 : saeter20@kornet.net

접수일 : 2008년 10월 13일

심사 완료일 : 2008년 10월 24일

게재 확정일 : 2008년 10월 27일

기존 외국문헌에서 인용하거나 참고하고 있어 실제 측정된 자료와 비교하는 것이 일반적이다. 이 중 일본의 경우는 지질특성상 화성암 중에서도 분출암의 예를 든 것이 대부분이므로 우리나라의 지질특성과는 상당한 차이를 보이고 있다.

따라서 본 논문을 통해서 우리나라 화강암지대의 암질별  $V_p$ ,  $V_s$ 의 범위 및  $V_p$ 와  $V_s$ 의 상관관계를 파악하고, 동탄성계수( $E_d$ ), 동전단계수( $G_d$ ), 동체적계수( $K_d$ )의 범위와  $V_p$  및  $V_s$ 의 상관관계를 규명함으로써 우리나라 지질특성에 적합한 동적특성치의 특성을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 자료취득

화강암의  $V_p$ ,  $V_s$ 를 측정하기 위하여 1986년부터 2006년까지 경기, 경남 지역을 중심으로 획득한 465개의 하향식 탄성파 탐사 결과와 밀도검층 결과를 기본자료로 하였다(Fig. 1).

본 연구에서의 사용장비는 OYO McSeis 170f Seismograph와 OYO Model 3310 Borehole pick 및 RG PROLOGGER의 small-source density probe를 사용하였다.

### 2.2 자료획득

#### 2.2.1 하향식 탄성파탐사 (Downhole seismic test)

1개의 시추공을 이용하는 하향식 탄성파 탐사의 경우 지표에서 탄성파를 발생시키고, 시추공 내에 삽입된 3성분 수진기(triaxial geophone)를 통하여 심도별로 탄성파 도달시간을 기록·분석하여 원지반의 지층별 탄성파속도를 측정하는 방법이다. 탄성파속도( $V_p$ ,  $V_s$ )에 의한 암반구분과 이에 기초한 지층별 각종 동탄성계수의 산출이 목적으로 심도에 따라 직접 전달되는 압축파 및 전단파 초동의 도달시간이 주된 측정 대상이다.

지표에서의 탄성파 발생은 슬러지 해머를 이용하여 지표에 고정된 평판을 수직 혹은 수평방향으로 가격함으로써 이루어지며, 수직 방향으로 가격 시 입자의 운동이 파의 진행방향과 동일한 압축파가 주로 발생되며 수직성분에 주로 기록되고, 수평 방향으로 가격 시 입자의 운동이 파의 진행방향에 수직인 전단파가 주로 발생되며 3성분 수진기의 수평성분에 주로 기록된다.

각 심도에서 측정된 수진 성분별 3성분 파형에서 압축파의 초동과 위상이 역전된 전단파의 초동으로부터 탄성파의 구간별  $V_p$ ,  $V_s$ 를 산출하였다.

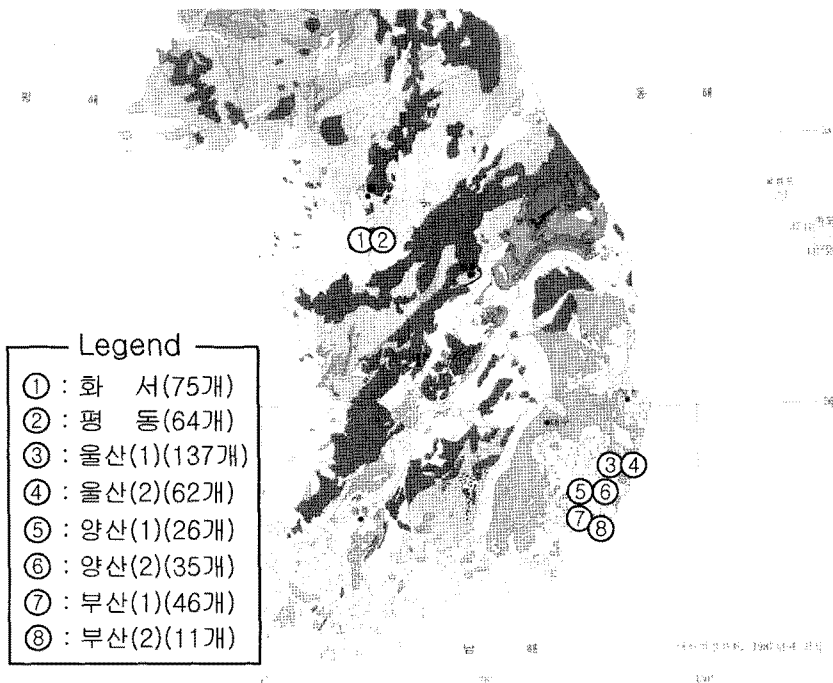


Fig. 1. Location Map

2.2.2 밀도검층 ( $\gamma-\gamma$  logging)

밀도검층은 원위치 시추공에서 지층에 대한 원지반 상태의 체적밀도를 측정하여, 지층별 기본 물성치인 밀도를 획득하는데 목적이 있다.

밀도검층 원리는 일반적으로 방사선원으로 Co60 또는 Cs137을 사용하여, 감마선의 콤프턴 산란을 이용하여 지반의 체적밀도를 측정한다.

방사선원에서 방출된 감마선은 시추공 주변 지반을 구성하는 물질의 전자와 충돌하여 콤프턴 산란을 일으키면서 감마선의 에너지가 감소한다. 경암반과 같이 지반을 구성하는 물질의 전자의 수가 많은 경우, 콤프턴 산란에 의한 에너지의 손실은 커지고, 따라서 검출기의 센서에 도달하는 감마선의 수는 줄어든다. 이와 같은 원리를 이용하는 밀도검층의 모식도는 Fig. 2와 같다.

2.3 자료분석

범용 통계프로그램인 SPSS 12.0K for Windows를 사용하여 자료분석 및 회귀분석을 수행하였으며 탄성과 속도들을 구하기 위하여 일본 OYO사에서 개발한 Pickwin95와 PlotRefa를 사용하였다.

본 연구에서는  $V_p$ ,  $V_s$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 와의 상관성을 암반에 따른 관계식을 구하고자 암반을 경암반(Good rock mass, GM) 보통암반(Fair rock masses, FM) 연약암반 이하(Poor rock masses, PM)로 구분하였다(Table 1). 암반의 구분은 암질에 의한 분류만으로는 그 상관관계가 부적합하여 시추주상도에 기재된 강도, 풍화, RQD

등과 비교하였다.

3. 동적 특성 분석

3.1 화강암 암반에서의  $V_p$ 와  $V_s$ 의 상관관계

기존 연구자들의 실험 결과에 의하면  $V_s$ 는  $V_p$ 에 비해 암반 내에 발달되어 있는 파쇄대나 불연속면에서 감쇄가 심한 것으로 알려져 있다. 따라서 어떤 특정한 층서단위 내에서  $V_p$ ,  $V_s$ 의 수평적 변화를 검토하면 고결화(cementation), 파쇄의 정도, 또는 절리의 발달상태를 추정하는데 신뢰할만한 결과를 얻을 수 있다(민경덕, 1987). 한국지반공학회(2000)의 지반공학 시리즈 ‘토목기술자를 위한 암반공학’에 따르면,

$$V_s = 0.6 \times V_p \quad \text{: 결정질 암석의 경우} \quad (1)$$

$$V_s = 0.5 \times V_p \quad \text{: 퇴적암의 경우} \quad (2)$$

$$V_s = 0.4 \times V_p \quad \text{: 토양 및 미고결 매질의 경우} \quad (3)$$

로 나타나는 것으로 알려져 있으며, 또한, 이론식에 의하면,

$$V_p = \left( \frac{K+4G/3}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$V_s = \left( \frac{G}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

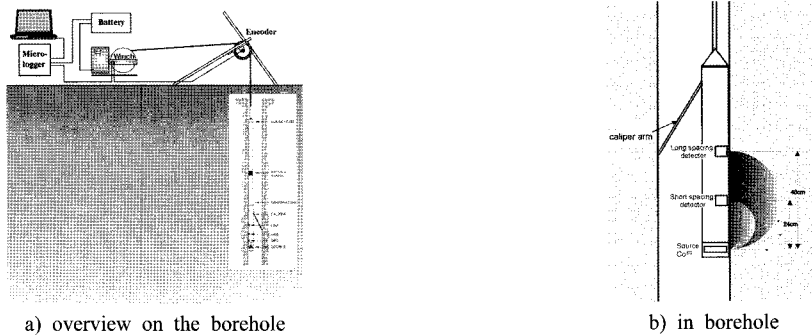


Fig. 2. Diagram of  $\gamma-\gamma$  logging

Table 1. Classification of rock masses

Classification	Good rock masses(GM)(1)	Good rock masses(GM)(2)	Fair rock masses(FM)	Poor rock masses(PM)
Strength	S-1	S-1	S-2	S-3~4
Weathering grade	D-1	D-1	D-2	D-3~4
RQD(%)	RQD(>)>85	85>RQD(>)>75	75>RQD(>)>50	50>RQD(>)

식 (4)과 (5)를 이용하면,  $V_s = \frac{1}{\sqrt{3}} \times V_p$ 의 관계를 가 지나, 본 연구에서 화강암에 대한 회귀분석 결과는 다 음과 같다.

$V_s = 0.5138 \times V_p$  ( $R^2 = 0.9662$ ): 화강암 전체의 경우(6)

$V_s = 0.5161 \times V_p$  ( $R^2 = 0.8537$ ): 경암반인 경우 (7)

$V_s = 0.5072 \times V_p$  ( $R^2 = 0.9091$ ): 보통암반인 경우 (8)

$V_s = 0.4826 \times V_p$  ( $R^2 = 0.8353$ ): 연약암반 이하인 경우(9)

Fig. 3과 식 (6)~(9)에서와 같이 화강암 전체의 회귀 분석에 의한  $V_p$ 와  $V_s$ 의 관계는 결정계수( $R^2$ )가 0.9662 로 매우 높은 적합성을 보이고, 암질에 관계없이 선형 적인 관계를 보이고 있으며, 암질분류에 의한 결정계수 ( $R^2$ )도 0.8353~0.9091로 매우 높은 적합성을 보이는 것으로 분석되었다.

$V_p$ 와  $V_s$ 는 풍화가 진행될수록 기울기가 낮아지는 것 으로 나타났으며, 특히 보통암반과 연약암반 이하 사이 에서 급격한 감소를 보이고 있다. 이는 화강암의 경우 보통암반에서 연약암반 이하로 풍화가 진행되는 과정 의 기간 동안에 절리면의 이완이 진행되고, 저밀도의 풍화산물로 절리면과 같은 불연속면의 틈새가 충전되 기 때문인 것으로 판단된다.

3.2  $V_p$ ,  $V_s$ 와 동탄성계수의 상관관계

동탄성계수는  $V_p$ ,  $V_s$ 를 활용하여 아래 식 (10)~(12) 으로 구할 수 있다.

$$E_d = \rho V_s^2 \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} = 2G_d(1 + \nu_d) \tag{10}$$

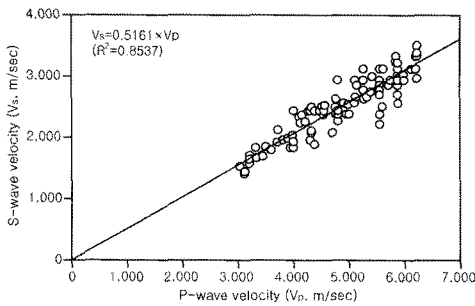
$$G_d = \rho V_s^2 = \frac{E_d}{2(1 + \nu_d)} \tag{11}$$

$$K_d = \rho(V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2) \tag{12}$$

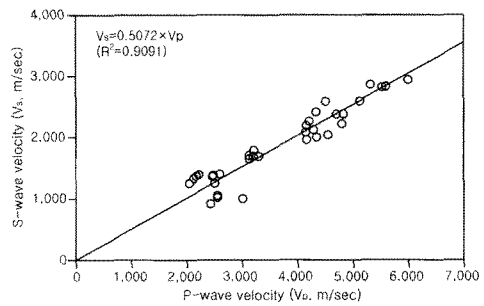
여기서,  $E_d$ : 동탄성계수(Dynamic Young's Modulus),  
 $G_d$ : 동전단계수(Dynamic Shear Modulus),  
 $K_d$ : 동체적계수(Dynamic Bulk Modulus)  
 $\rho$ : 원위치 암반 밀도

3.2.1  $V_p$ 와 동탄성계수의 상관관계

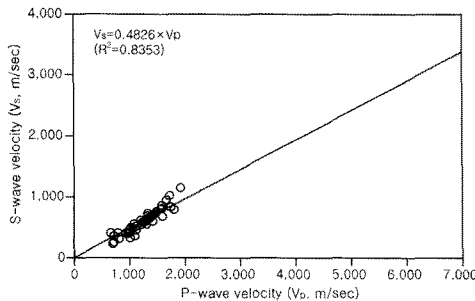
회귀분석에 의한  $V_p$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 상관관계는 대 상지역에 따른 차이는 보이지 않지만 경암반, 보통암반, 연약암반 이하의 암질에 따라 차이를 보이며, 경암반에 서는  $V_p$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 상관관계가 2개 그룹으로 뚜 렷하게 나뉘는데, (1)그룹은 RQD>85%(절리 틈이 단



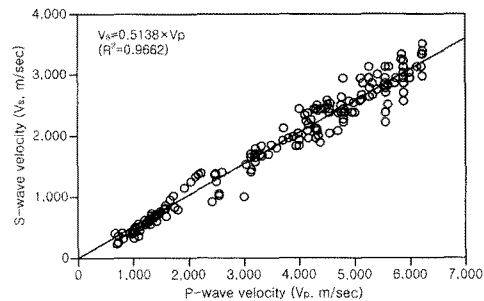
(a) In case of GM



(b) In case of FM



(c) In case of PM



(d) Total case of Granite rock mass

Fig. 3. Relationship between  $V_p$  and  $V_s$  in weathering grade of Granite

혀있는 경우 구간에서 나타나고, (2)그룹은 75% < RQD < 85%(절리 틈이 단허있지 않은 경우) 구간에서 나타나는 특징을 보인다.

경암반에 대한  $V_p$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 회귀분석 결과는 Fig. 4와 같이 (1), (2)그룹 모두 선형관계로 나타났고, 결정계수가 0.7482~0.9569로 높은 적합성을 보이고 있다.

보통암반의  $V_p$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 회귀분석 결과는 Fig. 5와 같이 경암반과 같이 그룹을 구분하는 경향은 없으며, 선형관계를 보이고 결정계수는 0.9229~0.9509로 매우 높은 적합성을 보이고 있다.

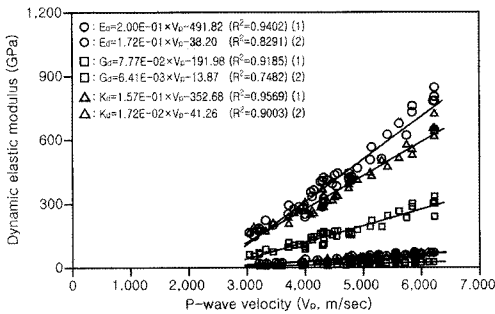


Fig. 4. Relationship between  $V_p$  and  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$  in GM

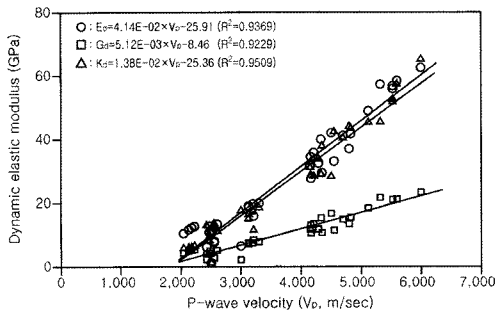


Fig. 5. Relationship between  $V_p$  and  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$  in FM

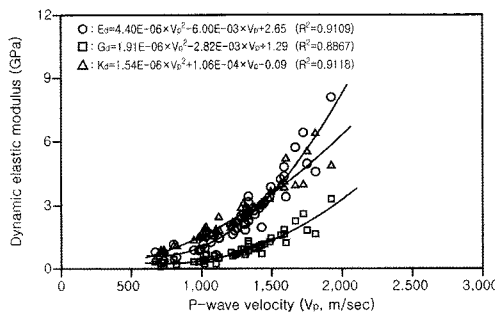


Fig. 6. Relationship between  $V_p$  and  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$  in PM

연약암반 이하의  $V_p$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 회귀분석 결과는 Fig. 6과 같고, 경암반과 같이 그룹을 형성하는 경향은 없으며, 박창화 외(2002)처럼 2차 함수 포물선 형태를 보이는데 결정계수는 0.8867~0.9118로 매우 높은 적합성을 보이고 있다.

풍화가 진행되면서  $V_p$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 는 선형관계에서 비선형관계로 변화하고, 연약암반 이하는 경암반 및 보통암반과 달리, 암반의 밀도보다는 절리 틈의 이완에 더 큰 영향을 받아 비선형관계를 보이는 것으로 판단된다.

### 3.2.2 $V_s$ 와 동탄성계수의 상관관계

회귀분석에 의한  $V_s$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 상관관계도 대 상지역에 따른 특징은 보이지 않지만 경암반, 보통암반, 연약암반 이하의 암질에 따라 차이를 보인다. 경암반에서의  $V_s$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 회귀분석 결과는 Fig. 7과 같이 (1)그룹의  $V_s$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 는 비선형(2차함수 포물선 곡선의 형태)관계를 보이고 결정계수는 0.8062~0.9982의 매우 높은 적합성을 보인다. (2)그룹은 선형관계를 보이고, 결정계수가 0.4899~0.9920의 적합성을 보이고 있다. 특히, (2)그룹은  $V_s$ 와  $K_d$ 관계의 결정계수 ( $R^2 = 0.4899$ )를 제외하면, 결정계수가 0.9750~0.9920으로 매우 높은 적합성을 보이고 있다.

보통암반의  $V_s$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 에 대한 회귀분석 결과는 Fig. 8과 같으며,  $V_p$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 관계와는 다르게 비선형관계를 보이고, 결정계수는 0.8342~0.9957로 매우 높은 적합성을 보이고 있다.

연약암반 이하의  $V_s$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 에 대한 회귀분석 결과는 Fig. 9와 같으며, 보통암반과 같이 비선형(2차함수 포물선 곡선)관계를 보이며, 결정계수는 0.6954~0.9883으로 비교적 높은 적합성을 보이고 있다. 그러나  $V_s$ 와  $K_d$ 의 적합성이 떨어지는 것으로 나타났다.

일반적으로  $V_s$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 관계는  $V_p$ 에서처럼 풍화가 진행되면서 선형관계에서 비선형(2차함수 포물

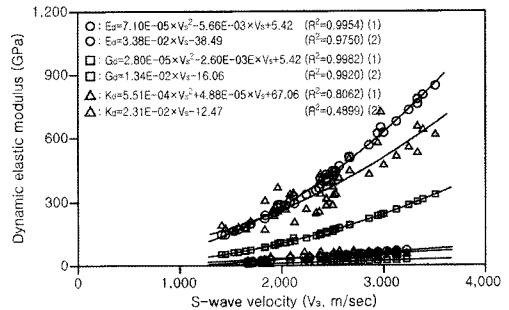


Fig. 7. Relationship between  $V_s$  and  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$  in GM

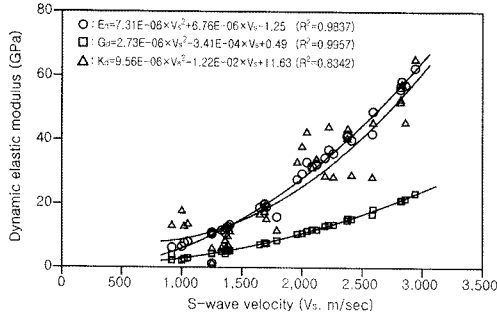


Fig. 8. Relationship between  $V_s$  and  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$  in FM

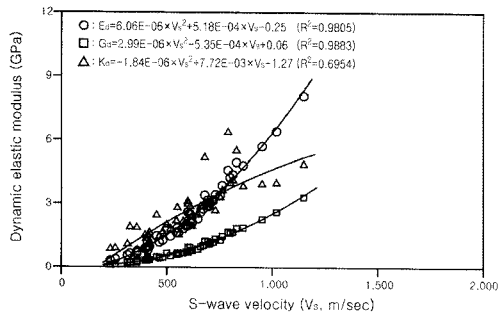


Fig. 9. Relationship between  $V_s$  and  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$  in PM

선 형태)관계로 변화되지 않지만, 경암반의 (2)그룹에서 선형관계를 보이고, 경암반의 (1)그룹 및 나머지 암질에서는 비선형(2차함수 포물선 형태)관계를 보인다. 이는 수직절리가 발달한 화강암에서 시추조사공 주변에 발달된 수직절리로 인하여 부분적으로 RQD가 암반 전체를 대표하지 못하는 것과  $V_s$ 는  $V_p$ 보다 수직절리 및 절리 틈의 이완에 더욱 민감하여 간섭효과가 크기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서 국내 경기, 경남지역의 화강암 암반에서  $V_p$ ,  $V_s$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 와의 상관관계는 Table 2와 같으며 회귀 분석한 결과,

1.  $V_s = 0.5138 \times V_p$  ( $R^2=0.9662$ )의 상관 관계식이 토출되었고 암질에 상관없이 선형적인 관계를 보이며 풍화가 진행되면서 기울기가 낮아진다.
2.  $V_p$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 의 결정계수( $R^2$ )는 0.7482~0.9569의 높은 적합성을 보이고 있다. 일반적으로 풍화가 진행되면서 선형관계에서 비선형관계로 변화하는 경향을 보인다.

Table 2. Summary of relationships between  $V_p$ ,  $V_s$  and  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$

Classification	Dynamic young's modulus( $E_d$ )	Dynamic shear modulus( $G_d$ )	Dynamic bulk modulus( $K_d$ )
Good rock masses(GM)	$E_d = 2.00 \times 10^{-1} \times V_p - 491.82$ (RQD(%) > 85) ( $R^2 = 0.9402$ ) $E_d = 1.72 \times 10^{-1} \times V_p - 38.20$ (RQD(%) < 85) ( $R^2 = 0.8291$ )	$G_d = 7.77 \times 10^{-2} \times V_p - 191.98$ (RQD(%) > 85) ( $R^2 = 0.9185$ ) $G_d = 6.41 \times 10^{-3} \times V_p - 13.87$ (RQD(%) < 85) ( $R^2 = 0.7482$ )	$K_d = 1.57 \times 10^{-1} \times V_p - 352.68$ (RQD(%) > 85) ( $R^2 = 0.9569$ ) $K_d = 1.72 \times 10^{-2} \times V_p - 41.26$ (RQD(%) < 85) ( $R^2 = 0.9003$ )
	$E_d = 7.10 \times 10^{-5} \times V_s^2 - 5.66 \times 10^{-3} \times V_s + 5.42$ (RQD(%) > 85) ( $R^2 = 0.9954$ ) $E_d = 3.38 \times 10^{-2} \times V_s - 38.49$ (RQD(%) < 85) ( $R^2 = 0.9750$ )	$G_d = 2.80 \times 10^{-5} \times V_s^2 - 2.60 \times 10^{-3} \times V_s - 0.73$ (RQD(%) > 85) ( $R^2 = 0.9982$ ) $G_d = 1.34 \times 10^{-3} \times V_s - 16.06$ (RQD(%) < 85) ( $R^2 = 0.9920$ )	$K_d = 5.51 \times 10^{-4} \times V_s^2 + 4.88 \times 10^{-5} \times V_s + 67.06$ (RQD(%) > 85) ( $R^2 = 0.8062$ ) $K_d = 2.31 \times 10^{-2} \times V_s - 12.47$ (RQD(%) < 85) ( $R^2 = 0.4899$ )
Fair rock masses(FM)	$E_d = 4.14 \times 10^{-2} \times V_p - 25.91$ ( $R^2 = 0.9369$ )	$G_d = 5.12 \times 10^{-3} \times V_p - 8.46$ ( $R^2 = 0.9229$ )	$K_d = 1.38 \times 10^{-2} \times V_p - 25.36$ ( $R^2 = 0.9509$ )
	$E_d = 7.31 \times 10^{-6} \times V_s^2 + 6.76 \times 10^{-6} \times V_s - 1.25$ ( $R^2 = 0.9837$ )	$G_d = 2.73 \times 10^{-6} \times V_s^2 - 3.41 \times 10^{-4} \times V_s + 0.49$ ( $R^2 = 0.9957$ )	$K_d = 9.56 \times 10^{-6} \times V_s^2 - 1.22 \times 10^{-2} \times V_s + 11.63$ ( $R^2 = 0.8342$ )
Poor rock masses(PM)	$E_d = 4.40 \times 10^{-6} \times V_p^2 - 6.00 \times 10^{-3} \times V_p + 2.65$ ( $R^2 = 0.9109$ )	$G_d = 1.91 \times 10^{-6} \times V_p^2 - 2.82 \times 10^{-3} \times V_p + 1.29$ ( $R^2 = 0.8867$ )	$K_d = 1.54 \times 10^{-6} \times V_p^2 + 1.06 \times 10^{-4} \times V_p - 0.09$ ( $R^2 = 0.9118$ )
	$E_d = 6.06 \times 10^{-6} \times V_s^2 - 5.18 \times 10^{-4} \times V_s - 0.25$ ( $R^2 = 0.9805$ )	$G_d = 2.99 \times 10^{-6} \times V_s^2 - 5.35 \times 10^{-4} \times V_s + 0.06$ ( $R^2 = 0.9883$ )	$K_d = -1.84 \times 10^{-6} \times V_s^2 - 7.72 \times 10^{-3} \times V_s - 1.27$ ( $R^2 = 0.6954$ )

3.  $V_s$ 와  $E_d$ ,  $G_d$ ,  $K_d$ 는 선형관계에서 비선형관계로 변화되지 않지만, 경암반의 (2)그룹에서만 선형관계를 보이고, 나머지는 비선형관계를 보인다.

## 사사

본 연구의 일부는 서울시립대학교 2004년도 연구년 교수 연구비 지원과, 일부는 소방방재청 자연재해저감 기술개발사업(사면 붕괴 예측 및 대응 기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 박충화 외, 2002, 시추공 물리탐사를 이용한 동탄성계수와 암상과의 상관성 분석, 한국지구과학회지, 507-513.
2. 손호용 외, 2000, 지반환경물리탐사, 시그마프레스, 22-29.
3. 송무영 외, 2002, 시추공 물리탐사를 통한 지반물성과 암상과의 상관성 분석, 대학지질공학회지, 12(2), 127-135.
4. 민경덕 외, 1987, 응용지구물리학, 우성문화사, 660-665.
5. 이벽규, 2004, 암반분류별 동탄성계수 특성 연구, 공학석사 학위논문, 서울시립대학교.
6. 한국암반공학회 외, 1999, 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술, 799
7. 한국지반공학회, 2000, 토목기술자를 위한 암반공학, 구미서관, 216-270.
8. Yoshikazu, K. et al., 1997, Correlation between the results of geophysical prospecting and geotechnical properties, Soil and Foundations, The Japanese Geotechnical Society, 45(9), Ser. No. 476, 11-14.

### 이 벽 규



1977년 고려대학교 이공대학 지질학과 이학사  
2004년 서울시립대학교 대학원 토목공학과 공학석사  
2007년 서울시립대학교 대학원 토목공학과 공학박사  
Tel: 02-3452-4568  
E-mail: sacter20@kornet.net  
현재 (주)새터기술 대표이사

### 이 수 곤



1980년 고려대학교 지질학과 이학사  
1982년 영국 University of Leeds 토목지질학 이학석사  
1987년 영국 University of London 토목지질학 이학박사  
Tel: 02-2210-2407  
E-mail: sglee@uos.ac.kr  
현재 서울시립대학교 토목공학과 부교수

### 임 백 만



1992년 강원대학교 이공대학 지질학과 이학사  
Tel: 02-3452-4568  
E-mail: sacter20@kornet.net  
현재 (주)새터기술 이사