

하향식 탄성파를 통한 경기 편마암의 동탄성 특성연구

이벽규^{1*} · 이수곤²

¹(주)새터기술, ²서울시립대학교 공과대학 토목공학과

A Study on the Characteristics of Dynamic Elastic Modulus in GyeongGi Gneiss Complex by Down Hole Test

Byok-Kyu Lee^{1*} and Su-Gon Lee²

¹Sater Tech. Co. Ltd

²Dept. of Civil Engineering, The University of Seoul

본 연구에서는 경기도 일대의 편마암지역 11곳에서 다운홀(down-hole) 탄성파탐사를 이용하여 획득한 탄성파속도를 이용, 편마암지역에서의 탄성파 속도와 동탄성계수와의 상관성을 조사하였다. 연구결과 편마암에서의 탄성파속도의 특성은 $V_s = 0.5589 \times V_p$ 상관관계를 보여준다. 탄성파 속도와 동탄성계수와의 상관관계는 두 개의 군으로 분리된다. 풍화가 진행된 행림에 따라 첫 번째 군은 암석의 비중에 큰 영향을 받지만 두 번째 군에서는 절리면의 간격에 영향을 받는다. 풍화가 진행됨에 따라 첫 번째 군은 감소하는 경향을 보인다. 경암반에서의 압축파속도(V_p)와 동탄성계수(E_d , G_d , K_d)의 상관관계는 선형으로 분석되었지만, 보통암반에서의 압축파속도(V_p)와 동탄성계수(E_d , G_d , K_d)의 상관관계는 2차 함수 포물선 곡선의 형태를 띠는 것으로 분석되었다. 전단파속도(V_s)와 동탄성계수(E_d , G_d , K_d)의 상관관계 또한 압축파속도(V_p)와 유사한 결과를 보이는 것으로 분석되었다.

주요어 : 동탄성계수, 동진단계수, 동체적계수, 압축파속도, 전단파속도

In this study, seismic elastic wave and dynamic elastic modulus properties are investigated by down-hole seismic tests that were applied to the 11 gneiss area. The research results show that the relationship between the two properties are $V_s = 0.5589 \times V_p$ in gneiss. The relationship between the two properties are separated into two groups. Group 1 is influenced mainly by the specific gravity of rock, but group 2 is influenced mainly by the joint aperture. As weathering progresses, group 1 clearly shows a decreasing tendency. In fresh and slightly weathered rock-mass, correlations between V_p and dynamic elastic modulus is expressed in linear line but in moderately-highly weathered rock-mass, correlations between V_p and dynamic elastic modulus is expressed curve as a quadratic function. Correlations between V_s and dynamic elastic modulus are analyzed similar with a V_p case.

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)

서 론

최근 건설공사에서 내진설계에 대한 중요성이 점점 대두되고 있는 실정이며, 특히 원자력발전소, 방사성폐기물 처리장, 대형교량, 지하 유틸비축기지 등과 같은 지진 및 외부에서 발생한 진동에 민감한 구조물의 경우 지반의 동적특성을 파악하는 일은 매우 중요하다. 암반의

동탄성계수는 지반의 동적특성을 파악할 수 있는 표준 지표가 되기 때문에 진동에 민감한 구조물을 시공할 때 반드시 측정되어야 할 중요한 변수로서 현장에서 탄성파탐사를 통해 압축파속도(V_p)와 전단파속도(V_s)를 구함으로써 간접적으로 구할 수 있으며(한국암반공학회 외, 1999; 손호웅 외, 2000), 그 값은 암반이 신선하고 단단할 경우 정탄성계수와 비슷한 값을 가지나 풍화나 변질이 진

*Corresponding author: saeter20@kornet.net

행될수록 탄성파가 지속되는 시간이 아주 짧으며 응력의 크기가 미약하기 때문에 일반적으로는 정탄성계수보다 높게 측정되는 경향이 있다.

탄성파속도는 암반의 밀도(ρ), 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).

우리나라에서의 동탄성계수의 측정은 우리나라가 지진에 안전하다는 인식 때문에 원자력 관련 시설물을 제외하고는 최근까지 많이 수행하지 않아 자료의 축적이 미약하여, 암반분류에 따른 탄성파속도 및 동탄성계수의 상관관계를 일본 물리탐사학회 등 외국문헌에서 인용하거나 참고하고 있어 실제 측정된 자료와 비교하는 것이 일반적이다. 그러나 일본의 지질특성상 화성암에서도 분출암의 예를 든 것이 대부분이므로 우리나라의 지질특성과는 상당한 차이를 보이고 있다.

따라서 본 논문을 통해서 우리나라 편마암지대의 암질별 탄성파속도의 범위 및 압축파속도(V_p)와 전단파속도(V_s)의 상관관계를 파악하고, 동탄성계수(E_d), 동전단계수(G_d), 동체적계수(K_d)의 범위와 압축파속도 및 전단파속도의 상관관계를 규명함으로써 우리나라 지질특성에 적합한 동탄성계수의 특성을 제시하고자 한다. 또한 암반의 강도에 따라서 탄성파속도와 동탄성계수 범위가 차이를 보이는 원인을 밝힘으로써 편마암 이외의 다른 암종에서도 동탄성계수의 범위 및 상관관계를 규명하는데 도움이 되고자 하였다.

연구방법

자료취득

편마암의 탄성파속도를 측정하기 위하여 1986년부터 2006년까지 경기도 일대 11개 지역에서 82개 공의 시추공을 이용하여 획득한 667개의 하향식 탄성파 탐사와 밀도검층 결과를 기본 자료로 하였다. 연구지역은 Fig. 1과 같다.

본 연구에서 사용한 장비는 일본 OYO McSeis 170f seismograph, OYO Model 3310 Borehole pick 탄성파탐사기를 원위치밀도 검층은 영국 RG pro-LOGGER와 small-source density probe를 주로 사용하였다.

자료취득 방법

하향식 탄성파탐사

1개의 시추공을 이용하는 하향식 탄성파 탐사의 경우

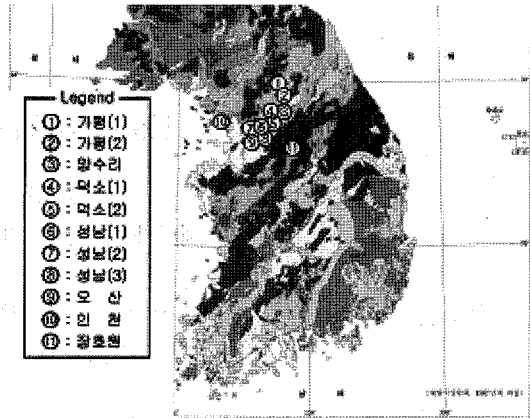


Fig. 1. Location map of downhole seismic test.

지표에서 탄성파를 발생시키고, 시추공 내에 삽입된 3성분 수신기를 통하여 심도별로 탄성파 도달시간을 기록분석하여 원지반의 구간별 탄성파속도를 측정하는 방법이다.

지표에서의 탄성파 발생은 슬러지 햄머(sludge hammer)를 이용하여 지표에 고정된 평판을 수직 혹은 수평방향으로 가격함으로써 이루어지며, 수직방향으로 가격할 때 입자의 운동이 파의 진행방향과 동일한 압축파가 주로 발생되며 수직성분에 주로 기록되고, 수평방향으로 가격할 때 입자의 운동이 파의 진행방향에 수직인 전단파가 주로 발생되며 3성분 수신기의 수평성분에 주로 기록된다. 각 심도에서 측정된 수신 성분별 3성분 파형에서 P파의 초동과 위상이 역전된 S파의 초동으로부터 탄성파의 구간별 속도를 산출하며 장비조합 및 발생 원리는 Fig. 2와 같다.

밀도검층

밀도검층($\gamma\text{-}\gamma$ logging)은 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 산란(compton scattering)을 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 검층기의 센서에 도달하는 감마선의 수는 줄어든다. 이와 같은 원리를 이용하는 밀도검층의 모식도는 Fig. 3과 같다.

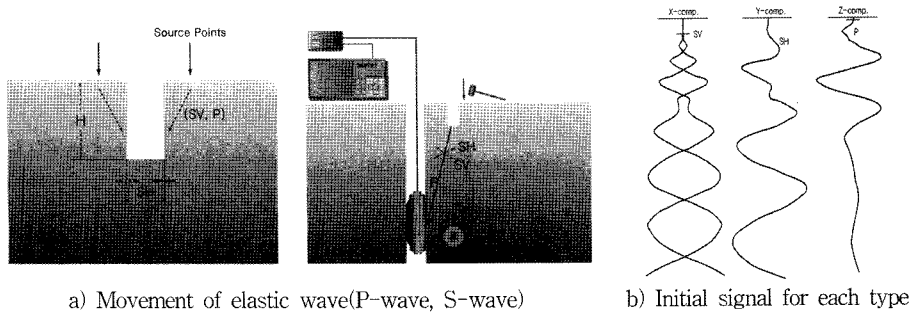


Fig. 2. Diagram of downhole seismic test.

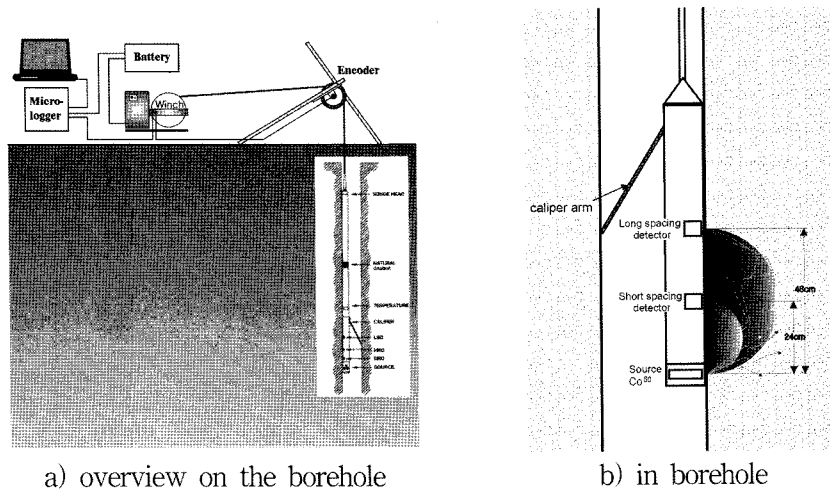


Fig. 3. Diagram of γ - γ logging.

자료분석

암반의 구분

Fig. 1에서 나타낸 지역에서 획득한 667개의 압축파속도와 전단파속도 및 원위치 밀도를 이용하여 구해진 동탄성계수 값과 암반과의 상관관계를 분석하기 위하여 Bieniawski(1989)가 제안한 공학적 암반분류법과 국제암반역학회의 암반분류 기준(ISRM, 1981)을 근거로 시추주상도를 작성하였으며, 분류 기준은 Table 1~2에 근거하여, S-1의 강도를 갖고, D-1의 풍화 정도에 RQD 75% 이상인 암반을 경암반(Good rock mass)으로, 강도 등급 S-2에 풍화정도가 D-2이며 RQD 75% 이하 50% 이상인 암반을 보통암반(Fair rock mass)으로, 암반강도 S-3~S-4이고 풍화정도가 D-3~D-4이며, RQD 50% 이하의 암반을 연암반(Poor rock mass)으로 분류하여 각 암반별로 탄성파속도와 암반의 동적 특성과의 상관관계를 분석하였다.

자료의 분석방법

현장 원위치에서 실험한 자료 및 주상도 등, 수집한 모든 자료는 Excel S/W에서 데이터베이스를 구축하고, 이렇게 구축한 D/B로 각종 그래프 작성 및 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석은 통계프로그램인 SPSS 12.0 K for Windows와 Microsoft Excel 2003을 이용하였으며 암반별 V_p/V_s , V_p/E_{cb} , V_s/E_{cb} , V_p/G_{cb} , V_s/G_{cb} , V_p/K_d 및 V_s/K_d 의 상관관계식을 규명하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 또한, 시추 주상도상의 기재 사항을 보완하기 위한 방법으로 원위치에서 절리의 주향, 경사, 절리 틈의 상태 등을 정확히 조사 가능한 시추공 영상 촬영 자료를 적극 이용하였다. V_p 및 V_s 의 도달시간을 정확히 판독하기 위한 해석 프로그램은 SeisImage 2D, Pick-win 95를 이용하였다.

상관계수는 두 변수 사이의 일차적인 관계가 얼마나 강한가를 측정해주는 지수이다. 이것은 두 변수 사이의

Table 1. Classification of rock mass.

Index	Type of rock mass			
Strength	S-1	S-2	S-3	S-4
Weathering grade	D-1	D-2	D-3	D-4
RQD(%)	RQD(%) > 75	75 > RQD(%) > 50	50 > RQD(%) > 25	RQD(%) < 25
Division	Good rock mass	Fair rock mass	Poor rock mass	

Table 2. Joint aperture (after Brown, 1995).

Aperture	Description	Remarks
< 0.1 mm	Very tight	
0.1 -0.25 mm	Tight	Closed
0.25-0.5 mm	Partly open	
0.5 -2.5 mm	Open	
2.5-10 mm	Moderately wide	Gaped
> 10 mm	Wide	
1-10 cm 이상	Open	
10-100 cm	Extremely wide	Open
> 1 m	Cavernous	

일차관계적인 방향과 관련정도를 나타낸다. 상관성분석(Correlation analysis)은 이 계수를 구하여 해석하는 다음의 단계를 거친다. 첫째, 산포도를 그려봄으로써 두 변수 사이의 개략적인 감각을 가진다. 둘째, 공식을 이용하여 상관계수를 구하고 해석을 내린다.

본 논문의 상관성분석에 사용된 상관계수는 피어슨(Pearson) 상관계수이며 유의수준(Significance level) 0.05를 적용하였다. 상관성분석에 사용된 프로그램은 SPSS이며, 상관성분석 결과 상관계수(R)가 0.4 이상이며, 전체 암반에서 상관성이 뚜렷한 항목들만을 대상으로 Excel 프로그램에서 XY그래프를 이용하여 산포도를 작성하였다. 작성된 산포도에서 회귀분석을 실시하여 사용된 각각의 인자들 간의 상관계수(Correlation coefficient, R)와 결정계수(Coefficient of determination, R²)를 구하였다.

암반별 탄성파속도와 동탄성계수의 범위

암반별 탄성파속도와 동탄성계수의 범위는 Fig. 4~6과 같다.

동적 특성 분석

V_p와 V_s의 상관관계

기존 연구자들의 실험 결과에 의하면 V_s는 V_p에 비해 암반 내에 발달되어 있는 파쇄대나 불연속면에서 감쇄가 심한 것으로 알려져 있다. 따라서 어떤 특정한 층서 단위 내에서 V_p, V_s의 수평적 변화를 검토하면 고결

정도, 파쇄의 정도 및 절리의 발달 상태를 추정하는데 신뢰할만한 결과를 얻을 수 있다(민경덕, 1987). 한국지반공학회(2000)의 지반공학 시리즈 ‘토목기술자를 위한 암반공학’에 따르면,

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

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

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

로 나타나는 것으로 알려져 있으며, 또한, 이론식에 의하면

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

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

식 (4)과 (5)를 이용하면, V_s ≃ 1/√3 × V_p의 관계를 가지는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 편마암에 대한 회귀분석 결과는 다음과 같다.

$$V_s = 0.5589 \times V_p (R^2 = 0.9376) : \text{편마암 전체의 경우} \quad (6)$$

$$V_s = 0.5891 \times V_p (R^2 = 0.8809) : \text{경암반인 경우} \quad (7)$$

$$V_s = 0.5647 \times V_p (R^2 = 0.8354) : \text{보통암반인 경우} \quad (8)$$

$$V_s = 0.5008 \times V_p (R^2 = 0.8666) : \text{연암반인 경우} \quad (9)$$

Fig. 7과 식 (6)~(9)에서의 같이 편마암 전체의 회귀분석에 의한 V_p와 V_s의 상관관계는 결정계수(R²)가 0.9376으로 높은 적합성을 보이고, 암질에 관계없이 선형적인 관계를 보이고 있으며, 암질분류에 의한 R²는 0.8354~0.8809로 매우 높은 적합성을 보이는 것으로 분석되었다. 경암반과 보통암반의 경우 V_p와 V_s 관계는 풍화가 진행될수록 기울기가 낮아지는 것으로 나타났으며, 특히 보통암반과 연암반 사이에서 급격한 감소를 보이고 있다. 이는 편마암의 경우 보통암반에서 연암반으로

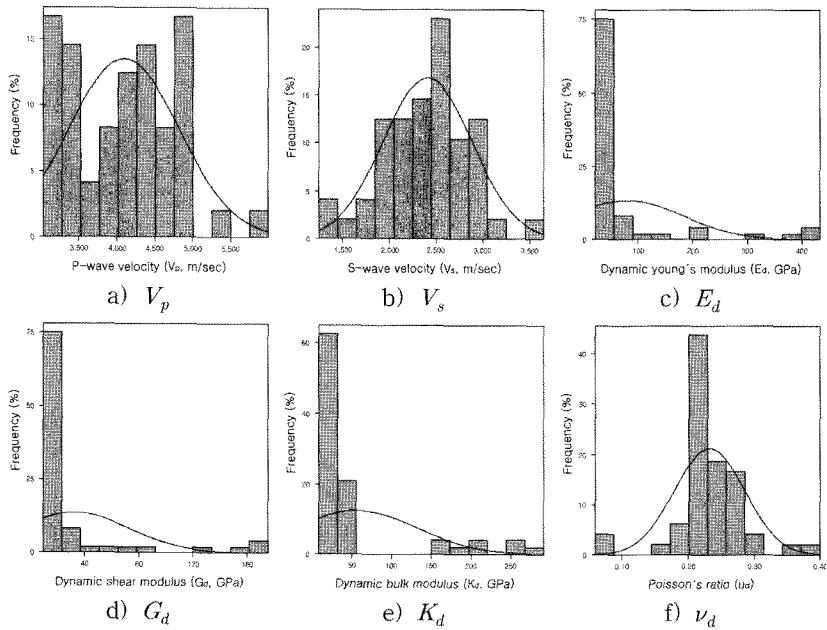


Fig. 4. Range of V_p , V_s , E_d , G_d , K_d and ν_d in good rock mass.

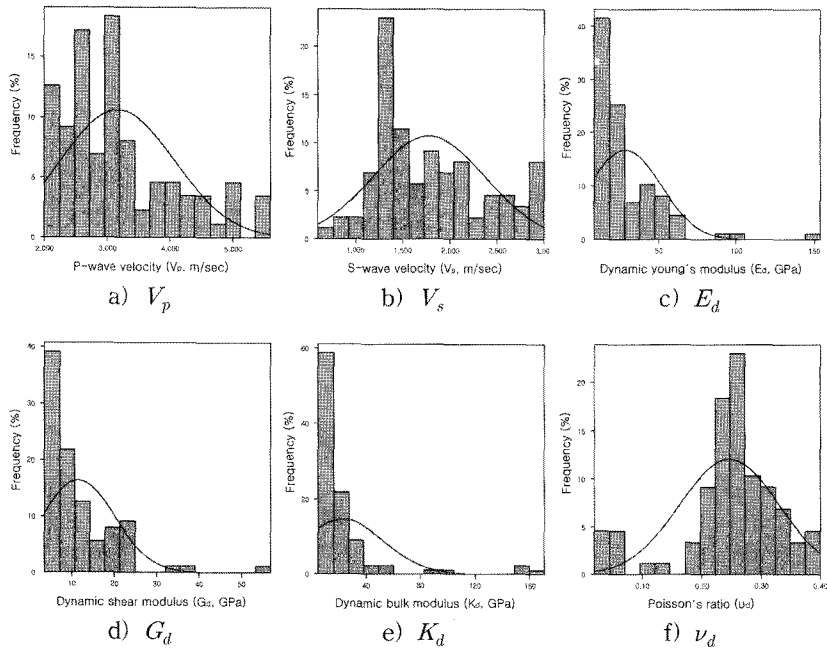


Fig. 5. Range of V_p , V_s , E_d , G_d , K_d and ν_d in fair rock mass.

풍화가 진행되는 과정의 기간 동안에 편리면의 이완이 급격하게 진행되고 풍화산물에 의해서 편리면과 같은 불연속면의 틈새가 충전되기 때문인 것으로 분석되었다.

V_p 와 동탄성계수와의 상관관계

V_p 와 동탄성계수의 상관관계는 경암반, 보통암반 및 연암반 등 암질에 따라서 매우 다른 양상을 보여주며, V_p

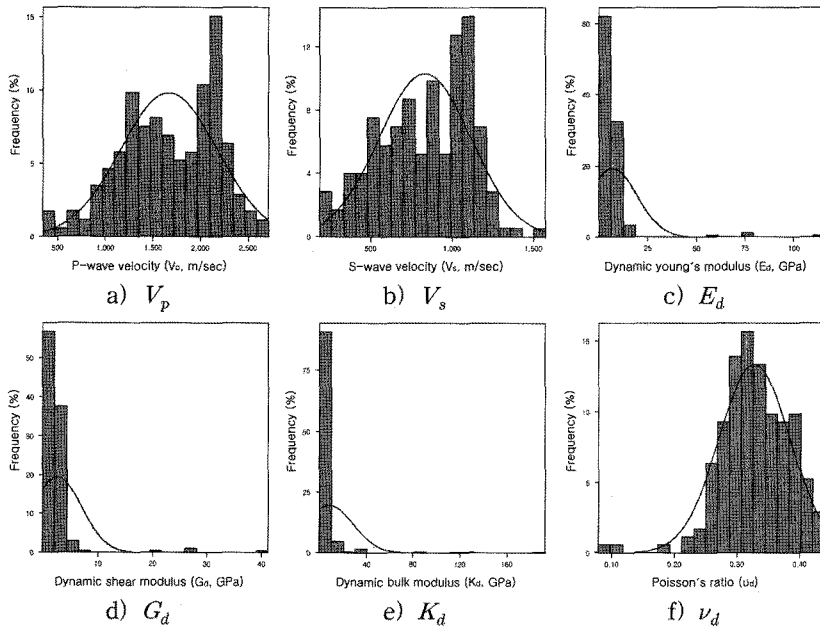


Fig. 6. Range of V_p , V_s , E_d , G_d , K_d and ν_d in poor rock mass.

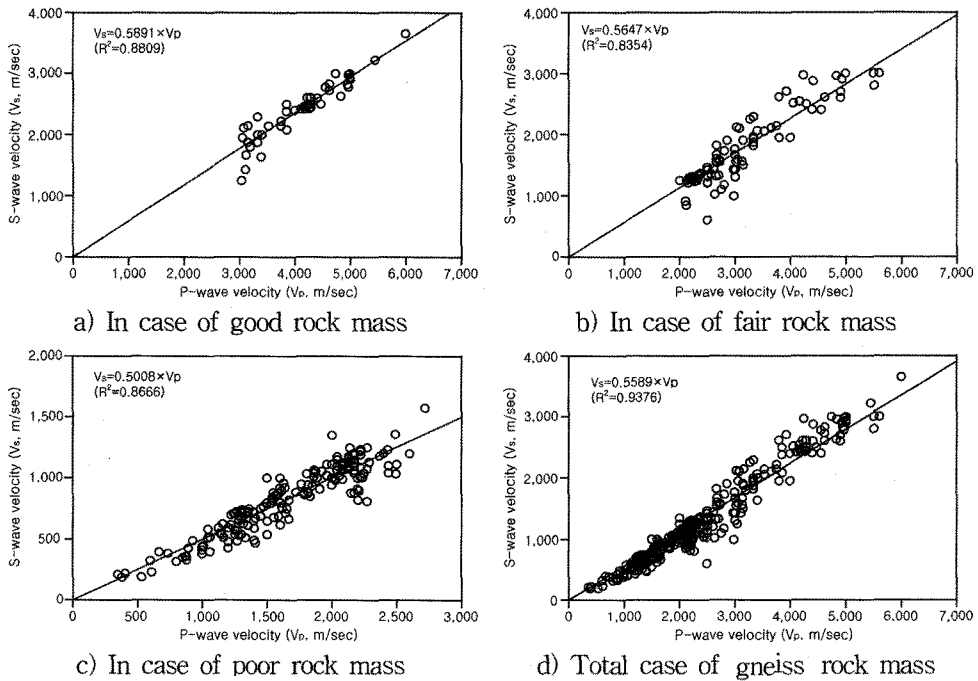


Fig. 7. Correlation diagram of V_p and V_s for weathering grade in gneiss.

와 동탄성계수의 상관성은 두개의 그룹으로 뚜렷하게 나뉘는데, (1)그룹은 대체로 절리 틈이 닫혀있고, 파쇄가

없는 구간에서 나타나고 (2)그룹은 절리 틈이 닫혀있지 않고, 파쇄가 있는 구간에서 나타나는 특징을 보인다.

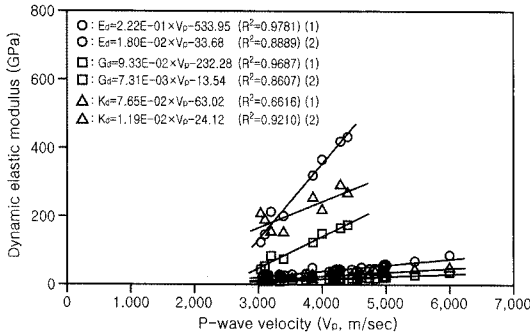


Fig. 8. Correlation diagram of V_p and E_d, G_d, K_d in good rock mass.

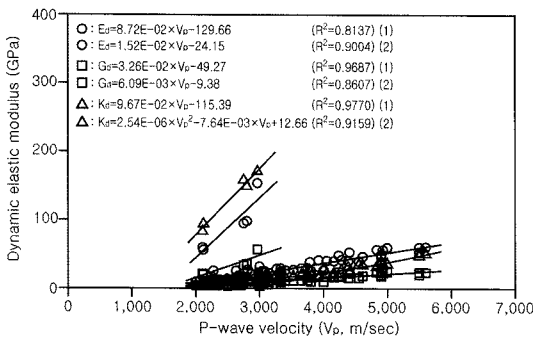


Fig. 9. Correlation diagram of V_p and E_d, G_d, K_d in fair rock mass.

V_p 와 동탄성계수에 대한 경암반의 회귀분석 결과는 Fig. 8에서와 같이 (1)그룹은 RQD > 80%, (2)그룹은 RQD < 80%로 분류되며, V_p 와 E_d, G_d, K_d 와 관계가 (1), (2)그룹 모두 선형으로 나타났고, R^2 가 0.6616~0.9781으로 비교적 높은 적합성을 보이고 있다. 특히, (1)그룹의 V_p 와 K_d 관계를 제외하면 0.8607~0.9781로 매우 높은 적합성을 보이고 있고, (1)그룹의 V_p 와 K_d 관계의 R^2 가 0.6616으로 낮은 것은 취득된 자료의 양이 비교적 적고, 편마암의 이방성에 기인하는 것으로 판단된다.

V_p 와 동탄성계수에 대한 보통암반의 회귀분석 결과는 Fig. 9와 같으며, (1)그룹은 RQD > 65%, (2)그룹은 RQD < 65%로 분류되며, V_p 와 E_d, G_d, K_d 와의 관계가 (2)그룹의 V_p 와 K_d 관계(2차함수 포물선 곡선)를 제외하면, (1), (2)그룹 모두 선형관계로 나타났고 R^2 는 0.8137~0.9770으로 매우 높은 적합성을 보이고 있다.

V_p 와 동탄성계수에 대한 연암반 이하의 회귀분석 결과는 Fig. 10과 같으며, (1)그룹은 비교적 RQD가 높고, 절리 틈이 닫혀있는 경우, (2)그룹은 비교적 RQD가 낮고, 절리 틈이 닫혀있지 않는 경우로 분류되며, (1), (2)

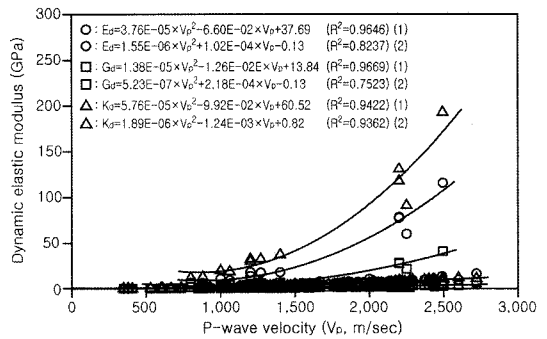


Fig. 10. Correlation diagram of V_p and E_d, G_d, K_d in poor rock mass.

그룹 모두 박층화 외(2002)처럼 2차 함수 포물선 형태로 나타났고 R^2 는 0.7523~0.9669로 매우 높은 적합성을 보이고 있다.

일반적으로 풍화가 진행되면서 V_p 와 동탄성계수는 선형관계에서 비선형관계로 변화하고, 연암반 이하는 경암반 및 보통암반과 달리, 암반의 밀도보다는 절리 틈의 이완에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

편마암 이외의 다른 암종의 결과는 이번 연구와는 차이를 나타낼 수 있으며, 암종마다 불연속면의 발달상태(편마암은 불규칙, 화강암은 규칙적) 및 풍화 진행양상(편마암은 구성광물의 직접적인 풍화, 화강암은 입자간 경계부의 풍화가 우선 진행됨)의 차이인 것으로 판단된다.

V_s 와 동탄성계수와의 상관관계

V_s 와 동탄성계수의 상관관계도 경암반, 보통암반, 연암반 이하의 암질에 따라서 매우 다른 양상을 보여준다. V_s 와 동탄성계수의 상관성도 두가지 그룹으로 뚜렷하게 나뉘는데, 이는 V_p 와 동탄성계수의 특징과 동일하다.

V_s 와 동탄성계수에 대한 경암반의 회귀분석 결과는 Fig. 11에서와 같이 (1)그룹의 와 관계(2차함수 포물선 곡선)를 제외하면 (1), (2)그룹 모두 선형관계를 보이며, R^2 가 0.6280~0.9880으로 비교적 높은 적합성을 보이고 있다.

특히, (1)그룹의 V_p 와 K_d 관계를 제외하면 R^2 는 0.8030~0.9880 매우 높은 적합성을 보이고 있고, (1)그룹의 V_p 와 K_d 관계의 R^2 가 0.6280으로 낮은 것은 V_p 와 K_d 관계에서 동일한 (1)그룹에서 나타난 것처럼 취득된 자료의 양이 비교적 적고, 편마암의 이방성에 기인하는 것으로 판단된다.

V_s 와 동탄성계수에 대한 보통암반의 회귀분석 결과는 Fig. 12와 같으며, V_s 와 E_d, G_d, K_d 와의 관계는 (1)그룹

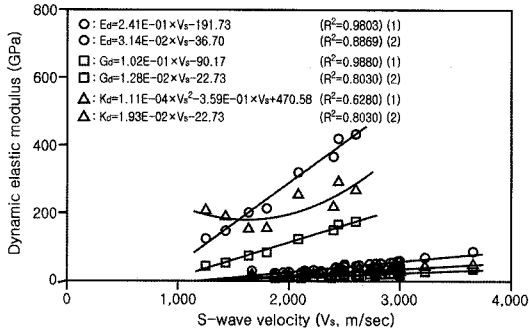


Fig. 11. Correlation diagram of V_p and E_d, G_d, K_d in good rock mass.

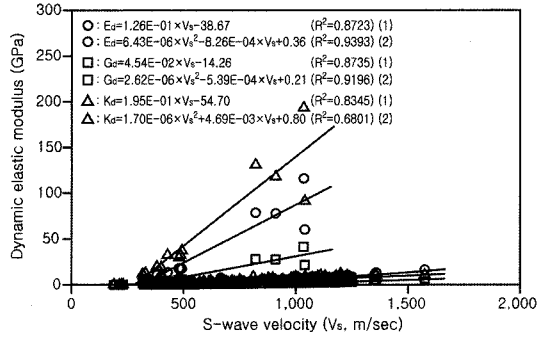


Fig. 13. Correlation diagram of V_p and E_d, G_d, K_d in poor rock mass.

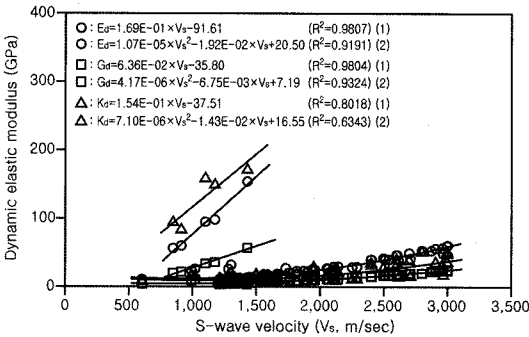


Fig. 12. Correlation diagram of V_p and E_d, G_d, K_d in fair rock mass.

결론

본 연구는 국내 편마암 지역에서 탄성파속도와 동탄성계수와의 상관관계를 규명하기 위하여 11개지역, 82개의 시추공에서 667개의 하향식 탄성파탐사 및 밀도검층 자료를 통해 얻은 V_p, V_s 및 암반의 밀도(ρ)를 측정하여, 각 인자간의 상관관계를 SPSS S/W를 이용하여 회귀분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 하향식 탄성파탐사를 통해 우리나라 편마암 지대에서 얻어진 탄성파속도와 동탄성계수는 암질에 따라서 다양하고 넓은 분포를 보이는데, 이는 암석의 풍화상태, 불연속면의 이완정도, RQD의 변화 등에 기인한 것으로 파악된다.

2) V_p, V_s 와 v_d 를 제외한 동탄성계수는 풍화진행에 따라 작아지는 경향을 보이고 있으나, 암질에 의한 분류만으로는 그 상관관계가 부적합하여, RQD 및 절리 틈의 이완상태로 그룹별 분류를 실시한 결과, 경암반에서는 RQD > 80%에서 (1)그룹, RQD < 80%에서 (2)그룹을 형성하며, 보통암반은 RQD > 65%에서 (1)그룹, RQD < 65%에서 (2)그룹을 형성하고, 연암반 이하에서는 비교적 RQD가 높고, 절리 틈이 단혀있는 경우에 (1)그룹, 비교적 RQD가 높지 않고, 절리 틈이 단혀있지 않은 경우에 (2)그룹을 형성하는 뚜렷한 특징을 보이고 있다.

3) 편마암반의 V_p 와 V_s 의 상관관계식은 $V_s = 0.5589 \times V_p$ 이고 R^2 는 0.9376으로 높은 적합성을 보이고, 암질에 상관없이 선형적인 관계를 보이며, 풍화가 진행되면서 기울기가 낮아지는 경향을 보이는데 암질에 따라 $V_s = 0.5008 \sim 0.5891 \times V_p$ 의 범위를 보이고 있다.

4) V_p 와 E_d, G_d, K_d 의 상관관계는 암질에 상관없이 비례적인 관계를 보이고 있으며, R^2 는 0.6616~0.9781으로 비교적 높은 적합성을 보이고 있다. 일반적으로 풍화

에서는 선형관계를 (2)그룹에서는 비선형(2차함수 포물선 곡선)관계를 보이는 특징을 보이며, R^2 는 0.6343~0.9807으로 비교적 높은 적합성을 보이고 있다.

V_s 와 동탄성계수에 대한 연암반 이하의 회귀분석 결과는 Fig. 13과 같으며, (1)그룹은 RQD가 비교적 높고, 절리 틈이 단혀있는 경우, (2)그룹은 RQD가 비교적 낮고, 절리 틈이 단혀있지 않은 경우로 분류되며, V_s 와 E_d, G_d, K_d 와의 관계는 (1)그룹에서는 선형관계를 (2)그룹에서는 비선형(2차함수 포물선 곡선)관계를 보이는 특징을 보이며, 결정계수(R^2)는 0.6801~0.9393으로 비교적 높은 적합성을 보이고 있다.

일반적으로 V_s 와 동탄성계수와의 관계는 V_p 의 관계처럼 풍화가 진행되면서 선형관계에서 비선형관계로 변화되지 않지만, 보통암반과 연암반 이하에서는 (1)그룹은 선형관계를 보이고, (2)그룹은 2차함수 포물선 곡선을 보이는 특징을 보이고 있다. 이는 V_p 보다 V_s 가 절리 틈의 이완에 더욱 민감한 것으로 판단된다.

그리고 V_s 와 K_d 의 관계는 R^2 가 0.6280~0.6801로 상대적으로 낮은 적합성을 보인다.

가 진행되면서 V_p 와 동탄성계수는 선형관계에서 비선형 관계로 변화하며, V_s 와 E_b , G_b , K_d 의 상관관계는 V_p 와 동탄성계수와의 관계처럼 풍화가 진행되면서 선형관계에서 비선형관계로 변화되지 않지만, 보통암반과 연암반 (1)그룹은 선형관계를 보이고, (2)그룹은 2차함수 포물선 곡선을 보이는 특징을 보이고 있다. 이는 (1)그룹에 비해 상대적으로 절리가 이완되어 있는 (2)그룹이 V_p 보다 V_p 가 절리 틈의 이완에 더욱 민감한 것으로 연구되었다.

사 사

본 연구의 일부는 서울시립대학교 2004년도 연구년 교수 연구비 지원에 의한 연구이고, 일부는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(사면 붕괴 예측 및 대응 기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

박충화 외, 2002, 시추공 물리탐사를 이용한 동탄성계수와 암상과의 상관성 분석, 한국지구과학회지, 23(6), 507-513.
 손호웅 외, 2000, 지반환경물리탐사, 시그마프레스, 716.
 송무영 외, 2002, 시추공 물리탐사를 통한 지반물성과 암상과의 상관성 분석, 대학지질공학회지, 12(2), 127-135.
 민경덕 외, 1987, 응용지구물리학, 우성문화사, 772.
 이벽규, 2004, 암반분류별 동탄성계수 특성 연구, 공학석사학위논문, 서울시립대학교.
 한국암반공학회 외, 1999, 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술, 799.

한국지반공학회, 2000, 토목기술자를 위한 암반공학, 구미서관, 678.
 Bieniawski and Z. T., 1989, Engineering rock mass classification, John Wiley, Rotterdam, 272.
 International Society for Rock Mechanics (ISRM), 1981. Basic geotechnical description of rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 18(1), 85-110.
 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.

2008년 6월 16일 원고접수, 2008년 11월 29일 게재승인

이벽규

(주)새터기술

135-090 서울시 강남구 삼성동 162-25 동영빌딩 3층 301호

Tel: 02-3452-4568

Fax: 02-3452-4252

E-mail: sacter20@kornet.net

이수곤

서울시립대학교 토목공학과

130-020 서울시 동대문구 전농동 90번지

Tel: 02-2210-2407

Fax: 02-2243-2407

E-mail: sglee@uos.ac.kr