

## 시추공 물리탐사를 이용한 동탄성계수와 암상과의 상관성 분석

박총화<sup>1</sup> · 박종오<sup>1,\*</sup> · 송무영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>대전대학교 지구시스템공학과, 300-716 대전광역시 동구 용운동 96-3

<sup>2</sup>충남대학교 지질학과, 305-764 대전광역시 유성구 궁동 220

### Relationship between Dynamic Elastic Modulus and Lithology using Borehole Prospecting

Chung-Hwa Park<sup>1</sup> · Jong-Oh Park<sup>1,\*</sup> · Moo-Young Song<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth System Engineering, Daejeon University, Daejeon, 300-716, Korea

<sup>2</sup>Department of Geology, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

**Abstract :** To delineate the relationship between dynamic elastic modulus and lithologies, suspension PS logging was applied to Yuseong granite, Paldang banded gneiss, and Sabuk sedimentary rock. P and S wave velocities were also measured for these lithologies. In addition, uniaxial strength and Poisson's ratio were measured in a laboratory for Yuseong granite and Paldang banded gneiss. In laboratory measurements, P and S wave velocities in Paldang banded gneiss were higher than those in Yuseong granite whereas Poisson's ratio in Paldang banded gneiss was lower than that in Yuseong granite. This implies that P and S wave velocities correlate reversely with Poisson's ratio. The dynamic Young modulus obtained from suspension PS logging was high compared to the dynamic bulk modulus and the dynamic shear modulus.

**Keywords :** dynamic elastic modulus, P and S wave velocities, crack apertures, lithologies, suspension PS logging, Poisson's ratio.

**요약 :** 유성일대 화강암, 팔당일대 호상 편마암 및 사복일대 퇴적암 지역에서 동탄성계수와 탄성과 속도와의 관계를 밝히기 위하여 완전파형음파검층을 통해 이들 암상에서 탄성과 P파와 S파 속도를 측정하였다. 또한 유성일대 화강암과 팔당일대 편마암 지역에 대해서는 일축압축강도와 포아송비를 실내시험에서 측정하였다. 실내시험 자료에서는 팔당 호상편마암 지역의 탄성과 P파 및 S파 속도가 유성의 화강암 지역보다 높게 나타난 반면, 포아송비가 낮은 값을 보이므로 포아송비의 증가함에 따라 탄성과 P파 및 S파 속도가 감소하는 상관관계를 보였다. 완전파형음파검층을 통하여 얻어진 동탄성계수는 동체적탄성계수와 동전단탄성계수에 비하여 높은 값을 보인다.

**주요어 :** 동탄성계수, P파와 S파속도, 질리튬, 암상, 완전파형음파검층, 포아송비.

## 서론

동적 하중을 받는 토목구조물의 설계에서 지반의 구조물과의 상호작용에 대한 이해가 중요하며, 이를 위해서는 동적인 지반탄성계수의 측정이 필요하다. 동탄성계수는 지진과 같은 외부의 진동이 지반이나 구조물에 미치는 반응특성을 예측할 수 있는 표준 지표가 되기 때문에 원자력 발전소, 대형교량, 지하 유류 비축기지 및 터널과 같이 진동에 민감한 구조

물을 시공할 때 반드시 지반의 동탄성계수를 측정할 필요가 있다. 이와 같이 동적 분석에 있어서 가장 중요한 변수 가운데 하나인 동탄성계수는 현장에서 P 파, S파 속도를 측정함으로써 구할 수 있다(한국암반 공학회 외, 1999). 지반의 동탄성계수 측정에서 시추공 물리탐사를 이용하는 방법은 저 변형을 범위에서 지반의 동적 물성을 측정하는 방법이라 할 수 있다. 본 연구에서 탄성과 속도측정에 사용된 완전음파검층 장비인 일본 OYO사의 PS검층기는 구간별 P파와 S파의 속도 측정이 가능하여 현지 지반의 동적인 특성을 정량적으로 획득할 수 있는 장점이 있으며, 시

\*Corresponding author: jopark@dju.ac.kr

추공내에 발진원과 수신기를 동시에 설치하여 탄성과 속도를 측정하기 때문에 S파 측정에 효과적이다 (Kitsunezaki, 1980). 암상의 변화에 대한 탄성과 속도는 탄성과 속도에 대한 RQD 및 절리틈의 상관관계 (송무영 외, 2002), 굴절법이나 반사법을 이용하여 P파와 S파의 속도 비율로 암상구분, 절리 특징 및 구성물질의 상관관계(Hornby and Murphy, 1987; Hornby et al., 1992), 탄성과 속도에 대한 각 암상의 밀도, 함수비 및 일축압축강도 등에 높은 상관성을 보였으며(Yoshikazu et al., 1997), P파 속도에 대한 절리빈도수, RQD, 동탄성계수 및 포아송비의 상관관계(Sjogren et al., 1979)를 제시 하였다.

본 연구에서는 완전파형음파검층을 통하여 산출된 탄성과 속도 값으로 지반의 물성치를 파악할 수 있는 동탄성계수, 동전단탄성계수 및 동체적탄성계수를 산출하여 각 암상의 변화에 대한 상관성을 비교 분석하였다.

지반조사시에는 시추공을 이용한 탄성과 속도 및 밀도 측정이 항상 가능하지 않으므로 경험적 상관관계식을 통하여 암반에 따른 탄성계수의 추정이 가능하다. 경험식을 적용할 시에는 암상, 절리틈새의 변화, 공극, 고결화정도 및 온도 등 여러 요인에 따라서 경험식들이 달라지기 때문에 신중하게 고려하여 이용하여야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 강원도 정선군 사북일대 퇴적암, 경기도 남양주시 팔당일대 호상편마암, 대전 유성일대 화강암 지역에서 완전파형음파검층을 실시하여 절리틈과 각 암상들의 변화에 대한 탄성과 P파와 S파 속도를 측정하여 탄성과 속도에 대한 탄성계수의 경험적 상관식을 산출하였으므로, 향후 암반의 변화에 대한 탄성계수의 추정이 가능하므로 지질공학 적 측면에서 중요한 기준치를 제시하는데 있다.

## 연구지역

본 연구지역은 강원도 정선군 사북일대 퇴적암 지역에 5개의 시추공, 경기도 남양주시 조안면 팔당일대 호상편마암 지역에 5개의 시추공, 대전 유성북부 화강암 지역에 1개의 시추공 지역이다(Fig. 1). A 지역은 경기도 남양주시 조안면 팔당리부근으로 경기편마암복합체가 분포하는 지역으로서 선캄브리아기의 호상편마암이 대부분을 차지하며 일부에 규암 및 편암이 분포한다. B 지역은 강원도 정선군 사북읍 부

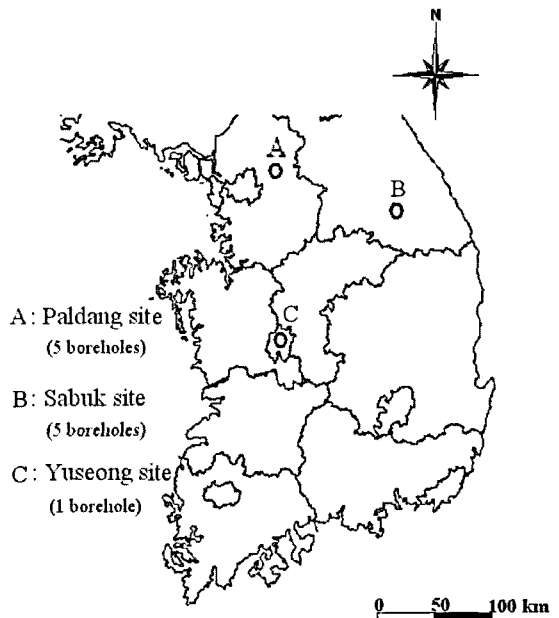


Fig. 1. Location map of study area.

근으로 폐름기의 장성층, 함백신층, 도사곡층, 고한층이 분포하는 지역으로 흑색 셰일, 중조립사암, 세립질 사암으로 수매의 석탄층이 협재되어 있다(대한지질학회, 1999). C 지역은 대전 유성구 덕진동 일대로 선캠브리아기의 변성암류와 옥천층군의 변성퇴적암류이며, 이를 관입한 시대 미상의 심성암류, 상부 중생대의 화강암류 및 맥암 등으로 구성되어 있으며(박희인 외, 1977), 시추공이 위치하는 지역은 중생대의 화강암류로 분포되어 있다.

연구 지역에서 얻어진 자료는 75.4mm의 NX크기의 시추공으로 사북 지역에서 심도103~300m 깊이의 5개 시추공, 팔당 지역에서 심도 26~67m 깊이의 5개 시추공, 유성 지역에서 심도 500m 깊이의 1개 시추공을 이용하였다(Table 1).

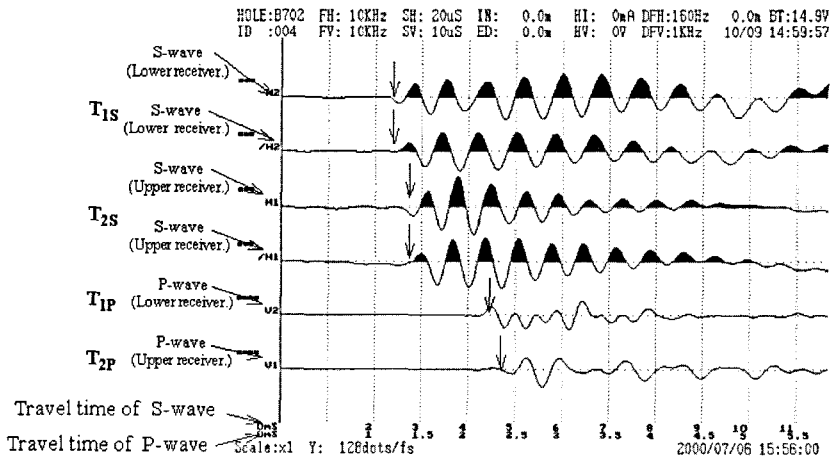
## 연구방법

### 완전파형음파검층

탄성과 속도로부터 얻어지는 동탄성 계수는 지진과 같은 외부의 진동이 지반이나 구조물에 미치는 반응 특성을 예측하여 원자력 발전소, 대형교량, 지하유류 비축기지 및 터널과 같이 진동에 민감한 구조물을 시공할 때 필요하다. 또한 동탄성계수는 지반의 동적 분석에 있어서 가장 중요한 변수 가운데 하나로 현

**Table 1.** Description of borehole in study area.

Site	Borehole No.	Hole diameter (mm)	Depth (m)	Range of prospecting (m)
Sabuk	BH-1	75.4(NX)	300	32.4~241.6
	BH-2	75.4(NX)	300	44.8~95.8
	BH-3	75.4(NX)	200	34.0~144.8
	BH-4	75.4(NX)	300	30.2~86.9
	BH-5	75.4(NX)	103	43.3~81.5
Paldang	TB-2	75.4(NX)	33	13.4~28.6
	TB-4	75.4(NX)	26	6.5~22.9
	TB-21	75.4(NX)	30	13.2~26.7
	TB-27	75.4(NX)	67	7.3~23.5
	TB-32	75.4(NX)	38	13.3~25.7
Yuseong	KB02-00	75.4(NX)	500	17.9~301.8



**Fig. 2.** An example of full waveform sonic logs and first arrival picking at Paldang site (TB-4).

장에서 P파, S파 속도를 측정함으로써 구할 수 있으며(한국암반공학회 외, 1999), 시추공에서 완전파형음파검층을 통해서 측정한 파형 기록으로부터 지반의 특성을 파악하며 다른 시추공탐사보다 높은 분해능으로 한다.

탄성과 속도 측정에 이용한 완전파형음파검층 장비인 일본 OYO사의 PS검층기는 음원과 수신기 사이의 거리가 1m이며, 축대칭(또는 단극음원)과 축비대칭(또는 쌍극자음원)의 음원을 이용하기 때문에 탄성과 P파는 물론 S파 속도의 측정이 가능하다(Ogura, 1988). 또한 음원과 수신기가 하나의 sonde에 있기 때문에 심도가 깊은 경우에도 측정이 가능한 장점이 있다. 단점으로는 수신기가 진동에 매우 민감하기 때문에 일반적인 음파검층과는 달리 정지 상태에서 측정하기 때문에 측정에 시간이 많이 소요되는 점과 음원과 수신기 사이의 거리가 기존의 음

파검층 검층보다 크기 때문에 수직 분해능이 상대적으로 작은 점이다.

구간별 탄성과 속도의 결정은 각 수신기에 측정된 파형 기록의 초동을 선택한 후, 각 수신기의 시간차와 거리를 이용하여 구간별 탄성과 속도를 결정하며, S파의 경우는 위상의 반전을 확인하면서 탄성과 속도를 결정한다. Fig. 2는 팔당 지역에 위치한 시추공 TB-4호공에서 일본 OYO사의 PS검층 장비를 이용하여 취득한 완전파형음파검층 자료의 초동을 나타낸 것이다.

## 연구결과 및 해석

탄성과 속도는 저 변형률 범위에 대한 지반의 동적인 성질을 파악하며 탄성과 속도의 변화로 지반의 물성간의 상관관계를 파악할 수 있다. 시추공 물리탐

사를 통하여 탄성과 속도 측정은 현지 지반내의 지질 조건과 절리 등을 포함한 역학적 성질을 동시에 파악할 수 있다. 탄성과 속도에 영향을 미치는 요소에는 암종, 조직, 밀도, 공극률, 수분함유량 및 온도 등으로 보며, 절리 빈도보다 절리틈이 더 큰 영향을 미치는 것으로 파악되었다(송무영 외, 2002).

**동탄성계수**

시추공 물리탐사를 통하여 지반의 물성치들을 파악할 수 있는 동탄성계수, 동전단탄성계수 및 포와송비는 지반의 특성에 따라 제시되는 P파 속도와 S파속도 및 밀도를 가지고 산출할 수 있다. P파 속도는 파의 진행방향과 입자의 변위 방향이 동일한 방향으로 파의 진행방향과 입자의 변위방향이 수직인 S파의 속도보다 빠르다. 즉, P파 속도는 포와송비 0.25로 하였을 때 S파 속도 보다 3배 빠르다. 완전파형음파 검층을 통하여 측정된 구간별 탄성과 속도와 시추코어로부터 측정된 밀도 값을 이용하여 얻어진 동탄성계수, 동전단탄성계수 및 동체적탄성계수는 다음과 같은 식으로부터 구해진다.

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

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

$$K_d = \rho \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right) = \frac{E}{3(1 - 2\nu_d)} \tag{3}$$

여기에서  $\rho$ 는 밀도( $t/m^3$ ),  $\nu_d$ 는 동포와송비,  $E_d$ 는 동탄성계수,  $G_d$ 는 동전단탄성계수,  $K_d$ 는 동체적탄성

계수이다.

본 연구 지역에서의 탄성과 속도는 사북일대의 흑색셰일 지역에서 P파 속도가 2,058~5,275m/sec, S파 속도가 946~3,305m/sec의 범위이며, 조립사암 지역에서 P파 속도가 2,330~5,166m/sec, S파 속도가 642~2,664m/sec 범위이다. 또한 팔당일대의 호상 편마암 지역에서 P파 속도가 2,780~5,882m/sec, S파 속도가 940~3,270m/sec 범위이며, 유성일대의 화강암 지역에서 P파 속도가 3,310~5,180m/sec, S파 속도가 1,480~2,800m/sec의 분포 값을 보인다. 이러한 넓은 폭의 탄성과 속도의 분포를 보이는 것은 각 암상의 변화와 심도별 절리틈새의 크기의 변화에 기인된 것으로 파악된다(송무영 외, 2002). 밀도값은 물리탐사 적용구간이 지하수위 하부에서 실행되었기 때문에 암석의 평균 밀도값 중 포화밀도 값을 적용하였다. 이러한 탄성과 속도와 밀도 값들은 연구 지역에 대한 암상 및 절리 틈새의 크기의 변화에 대한 지반 물성치의 변화를 파악할 수 있는 동탄성계수, 동전단탄성계수 및 동체적탄성계수를 산출할 수 있다.

**정탄성계수**

일축압축시험은 암석 시험편의 축방향으로 압축력을 가한 후 파괴될 때의 하중을 측정하여 일축압축강도를 구하며 또한 시험편의 변형률을 측정하여 응력-변형률 곡선을 얻어 영률과 포와송비를 구할 수 있다.

팔당일대 호상편마암 지역은 다섯 지역의 시추자료에서 TB-2와 TB-4의 두 지역의 시추자료(Table 2), 유성일대 화강암 지역은 KB02-00의 시추자료(Table

**Table 2.** Seismic velocity (VP, VS), elastic modulus obtained from core samples of Paldang banded gneiss in laboratory.

Borehole No.	Depth (m)	VP (m/sec)	VS (m/sec)	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\nu$
TB-2	15.3-15.5	4,075	2,707	1,330.0	0.18
	17.9-18.1	4,229	2,809	1,439.0	0.14
TB-4	13.3-13.5	4,437	2,953	1,096.0	0.13
	18.8-19.0	4,981	3,124	1,030.0	0.26

**Table 3.** Seismic velocity (VP, VS) and elastic modulus obtained from core samples of Yuseong granite in laboratory.

Borehole No.	Depth (m)	VP (m/sec)	VS (m/sec)	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\nu$
KB02-00	50.0	3,367	2,133	--	--
	100.0	4,527	2,360	1,336.0	0.30
	150.0	4,040	2,240	--	--
	200.0	3,547	2,223	1,856.0	0.29
	250.0	3,867	2,363	--	--
	300.0	3,903	2,310	843.0	0.23

3)를 이용하여 실내 암석실험을 통하여 탄성과 속도 측정 및 일축압축시험을 실시하였다.

현장에서 실시하여 측정되는 탄성과 속도는 현지 지반에 대한 특성들의 불균질한 매질에 대하여 측정하는 반면, 실내시험에서 시추코아로부터 얻어지는 탄성과 속도는 비교적 균질한 매질이기에 때문에 일반적으로 현장에서 측정되는 탄성과 속도 보다 높은 값을 나타낸다고 밝혔다(Dutta, 1984). 실내시험에서 팔당일대 호상편마암 지역의 시추공 TB-2와 TB-4는 탄성과 P파 속도가 4,075~4,981m/sec, S파 속도가 2,707~3,124m/sec, 포아송비가 0.13~0.26 범위이며, 유성일대 화강암 지역의 시추공 KB02-00은 탄성과 P파 속도가 3,367~4,527km/sec, S파 속도가 2,133~2,363km/sec, 포아송비가 0.23~0.30 범위로 나타났다. 전반적으로 보면, 팔당일대 호상편마암 지역의 탄성과 P파 및 S파 속도는 유성의 화강암 지역보다 높게 나타난 반면, 포아송비는 낮은 값을 보인다. 포아송비는 탄성과 P파 속도의 증가, 동탄성계수의 증가, 단위길이당 절리 크기의 감소 및 RQD 값의 증가에 대하여 반비례하는 관계를 나타낸다(Sjogren *et al.*, 1979). 본 연구 지역의 실내시험 자료에서는 포아송비가 증가함에 따라 탄성과 P파 및 S파 속도가 감소하는 상관성을 제시하였다.

**탄성과속도에 대한 동탄성계수의 상관관계**

완전파형음파검층에 의한 탄성과 속도는 현지지반의 상황을 포함하는 탄성과 속도로서 공내수가 존재하는 구간에서 탄파속도 측정이 가능하며, 수진기에 기록되는 파형은 시추공내수와 공벽에서 전파하는 파로서 공경의 변화에 영향을 받는다(Paillet *et al.*, 1992). 본 연구에서는 공내수가 존재하는 시추공에서 완전파형음파검층을 통하여 각 암상별로 탄성계수의 상관관계식을 회귀분석을 통하여 산출하였다. 3,000m/sec 이하의 P파 속도를 갖는 지역은 암석의 변질 및 풍화정도가 심하므로 측정자료로부터 구한 탄성계수 값에 대하여 신뢰도가 떨어지므로 제외시켰다.

유성일대 화강암 지역에서의 탄성과 속도에 대한 동탄성계수( $E_d$ ), 동체적탄성계수( $K_d$ ), 동전단탄성계수( $G_d$ )는 동탄성계수가 동체적탄성계수와 동전단탄성계수에 비하여 높은 값을 나타내며, P파 속도가 증가할수록 동탄성계수의 증가하는 상관성을 보인다(Fig. 3). 동탄성계수와 동체적탄성계수는 P파 속도가 낮은

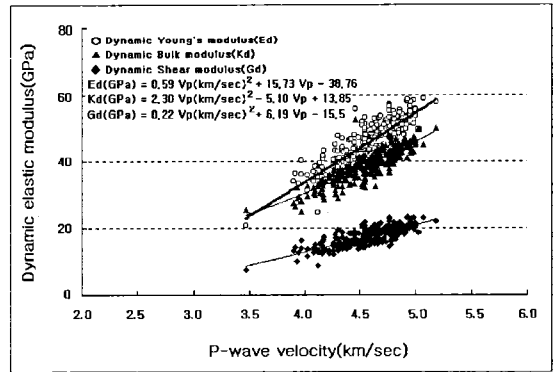


Fig. 3. Correlation between seismic P-wave velocity and dynamic elastic modulus  $E_d$ ,  $K_d$ ,  $G_d$  graph in Yuseong granite.

구간에서 동체적탄성계수가 다소 큰 값을 보이며 P파 속도가 3,700m/sec 구간에서 일치한다. 또한 P파 속도의 증가에 따른 동탄성계수의 증가가 동체적탄성계수 보다 증가하여 관계식이 벌어지는 곡선으로 나타난다. 이는 Sjogren *et al.*(1979)이 제시한 탄성과 P파 속도에 대한 탄성계수의 관계와 거의 일치하는 경향을 보인다. 실내시험에서 제시된 포아송비는 0.23~0.30정도의 값을 보이므로 동탄성계수와 동체적탄성계수가 거의 같은 값을 나타나는 것을 알 수 있다(Fig. 3). 또한 동전단탄성계수는 P파 속도가 증가함에 따라 완만한 기울기로 증가함을 보이는데, 이는 동탄성계수와 동전단탄성계수의 관계식에서 동탄성계수 값에 대한 포아송비의 변화량으로 나타난다. 즉, 포아송비가 0.3정도이면, 동탄성계수 값을 2.6으로 나눈 값이 전단탄성계수이다.

Fig. 4는 팔당일대 호상편마암 지역에서의 탄성과 속도와 각각의 탄성계수에 대한 상관관계식을 나타낸다. P파 속도에 대한 동탄성계수는 2차 함수의 포물선 형상으로 탄성과 속도가 증가함에 따라 증가하는 현상을 나타낸다. 동탄성계수와 동체적탄성계수에 대한 관계식은 포아송비가 1/3이면 동탄성계수와 동체적탄성계수 값이 같게 되나 포아송비가 1/3 이하이면 동탄성계수가 동체적탄성계수 보다 커지는 것을 알 수 있다. 즉, P파 속도가 낮은 구간은 포아송비가 전반적으로 크게 나타남으로 동체적탄성계수 값이 동탄성계수 값보다 크다. 본 실내시험에서 제시된 포아송비가 0.13~0.26으로 1/3이하의 값이므로 탄성과 P파 속도가 4,500m/sec 이상인 구간에서는 동탄성계수의 가파른 증가에 따라 동체적탄성계수의 값이 완만하게

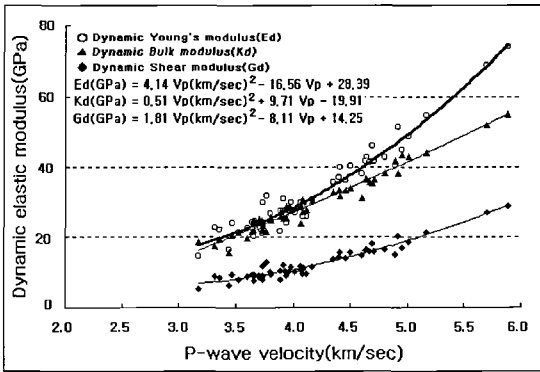


Fig. 4. Correlation between seismic P-wave velocity and dynamic elastic modulus  $E_d$ ,  $K_d$ ,  $G_d$  graph in Paldang banded gneiss.

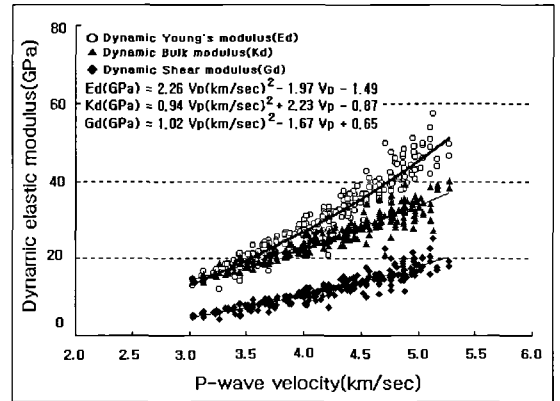


Fig. 6. Correlation between seismic P-wave velocity and dynamic elastic modulus  $E_d$ ,  $K_d$ ,  $G_d$  graph in Sabuk coarse grain sandstone.

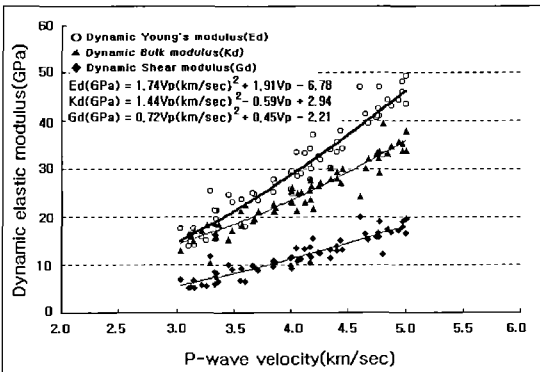


Fig. 5. Correlation between seismic P-wave velocity and dynamic elastic modulus  $E_d$ ,  $K_d$ ,  $G_d$  graph in Sabuk black shale.

증가하는 것을 알 수 있다.

사북일대 흑색셰일 지역에서의 탄성과 속도에 대한 탄성계수는 동탄성계수가 동체적탄성계수와 동전단탄성계수에 비하여 가장 높은 값을 보이며 P파 속도가 증가함에 따라 증가하는 양상을 나타낸다(Fig. 5). 탄성과 P파 속도에 대한 동탄성계수 값은 평균 곡선 주위에 많은 점들이 분산되어 보이는데, 이는 흑색셰일 구간에서 탄질셰일이 다른 암상에 비하여 현저하게 넓게 분포하므로 다른 지역보다 탄성과 속도의 상관성이 다소 떨어지는 것으로 보인다. 곡선 주위에 많은 점들의 분산은 포아송비와 연관성을 갖고 있으며 균질한 암석에서 포아송비의 분산이 작게 나타난다.

사북일대 조립사암 지역에서의 탄성과 속도에 대한 탄성계수는 P파 속도가 증가함에 따라 증가하는 양

상을 나타낸다(Fig. 6). 탄성과 P파 속도에 대한 동탄성계수와의 관계는 흑색셰일 지역보다 평균 곡선 주위에 분산이 다소 적게 나타나나, 유성일대 화강암과 팔당일대 호상편마암 지역 보다 크다. P파 속도가 3,200m/sec 지점에서는 동탄성계수와 동체적탄성계수의 평균 곡선이 교차하므로 포아송비가 1/3인 값을 갖는 지점임을 알 수 있다.

전체적으로 볼 때, 각 암상별 탄성과 속도에 대한 탄성계수 값은 RQD 값의 변화 범위가 작으며 단일 암상인 유성일대 화강암 지역과 팔당일대 호상편마암 지역에서 높은 값을 나타낸 반면, 조립사암과 흑색셰일로 구성된 사북일대는 상대적으로 낮은 값을 보였다. 이는 누적 절리틈 크기에 대한 탄성과 속도의 관계가 누적 절리틈 크기의 증가에 따라 속도 분포의 분산이 크게 나타나는 것으로 볼 수 있다(송무영 외, 2002).

## 결론

유성일대 화강암, 팔당일대 호상 편마암 및 사북일대 퇴적암 지역에서 동탄성계수와 탄성과 속도의 상관관계를 밝히기 위하여 완전파형음파검층을 통해 이들 암상에서 탄성과 P파와 S파 속도를 측정하였다. 또한 유성일대 화강암과 팔당일대 편마암 지역에 대해서는 일축압축강도와 포아송비를 실내시험에서 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 완전파형음파검층을 통하여 얻어진 탄성과 속도는 전반적으로 넓은 폭의 탄성과 속도 분포를 보이

는데, 이는 각 암상의 변화와 심도별 절리의 크기의 변화에 기인된 것으로 파악된다.

2. 실내시험에서의 탄성과 P파 속도는 팔당일대 호상편마암 지역이 유성일대 화강암 지역 보다 높게 나타난 반면, 포아송비는 팔당일대 호상편마암 지역 (0.13~0.26)이 유성일대 화강암 지역(0.23~0.30)보다 낮은 값을 보인다. 포아송비는 탄성과 P파 속도의 증가, 동탄성계수의 증가, 단위 길이당 절리 크기의 감소 및 RQD 값의 증가에 대하여 반비례하는 관계를 나타낸다.

3. 탄성과 P파 속도에 대한 탄성계수의 관계식을 비교하면 전반적으로 동탄성계수가 동체적탄성계수와 동전단탄성계수에 비하여 높은 값을 나타내며, P파 속도가 증가할수록 동탄성계수의 증가하는 상관성을 보인다. 사북일대 흑색세일 지역의 탄성과 P파 속도에 대한 동탄성계수 값은 평균 곡선 주위에 많은 점들이 분산되어 보이는데, 이는 흑색세일 구간에서 탄질세일이 다른 암상에 비하여 현저하게 넓게 분포하여 다른 지역보다 탄성과 속도의 상관성이 다소 떨어지는 것으로 나타난다. 이러한 암종에 따른 상관관계식은 탄성과 P파 속도 값에 대한 동탄성계수 값을 유추 할 수 있다.

### 참고문헌

대한지질학회, 1999, 한국의 지질, 시그마프레스, 890 p.  
 박희인, 이준동, 정지곤, 1977, 1:50,000 한국지질도 유성

도폭, 한국자원연구소.  
 송무영, 김환석, 박종오, 2002, 시추공물리탐사를 통한 지반 물성과 암상과의 상관성 분석, 대한지질공학회지, 12(2), 127-135.  
 한국암반공학회, 한국지구물리탐사학회, 한국자원연구소, 1999, 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술, 799 p.  
 Dutta, N.P., 1984, Seismic refraction method to study the foundation rock of a Dam, Geophysical prospecting, 32, 1103-1110.  
 Hornby, B.E., Luthi, S.M., and Plumb, R.A., 1992, Comparison of fracture apertures computed from electrical borehole scans and reflected Stoneley waves: an integrated interpretation, The Log Analyst, 33(1), 50-66.  
 Hornby, B.E. and Murphy III W. F., 1987,  $V_p/V_s$  in unconsolidated oil sands: Shear from Stoneley, Geophysics, 52, 502-513.  
 Kitsunozaki, C., 1980, A new method for shear-wave logging, Geophysics, 45, 1489-1506.  
 Ogura, K., 1988, Expansion of Applicability for Suspension P-S Logging, OYO Technical Report, No. 10, 69-98  
 Paillet, F.L., Cheng, C.H., and Pennington, W.D., 1992, Acoustic-waveform logging: Advances in theory and application, The Log Analyst, 33, 239-258.  
 Sjogren, B., Ofsthus A., and Sandberg, J., 1979, Seismic classification of rock mass qualities, Geophysical prospecting, 27, 409-442.  
 Yoshikazu K., Shigeru M., Tadao H., and Kiyoshi M., 1997, Correlation between the results of geophysical prospecting and geotechnical properties, Soils and Foundations, The Japanese Geotechnical Society, 45(9), Ser. No. 476, 11-14 (in Japanese).

2002년 7월 12일 원고 접수  
 2002년 7월 16일 수정원고 접수  
 2002년 7월 20일 원고 채택