

경기도 하남시 인근 호상편마암 지역에서 Suspension P-S 속도검층 자료분석

유영철* · 송무영 · 임국목
충남대학교 지질환경과학과

Data Analysis of Suspension P-S Velocity Logging in Banded Gneiss Area around Hanam, Gyeonggi Province

Young-Chul Yu*, Moo-Young Song, and Kook-Mook Leem

Dept. of Geology and Earth Environmental Sciences, Chungnam National University

경기도 하남시 풍산동 소재 시험시추공에서 획득된 SPS 속도검층자료를 이용하여 이 지역에 분포하는 호상편마암의 동적물성치를 추정하였다. 연구방법은 전처리과정과 속도분석, 감쇄지수와 관련된 Q factor를 도출하였고 단열정보와 탄성과 속도관계식을 산출하였다. 신선한 암반의 V_p 는 5,559 m/s, V_s 는 3,063 m/s로 나타났으며 포아슨비는 0.28로 해석되었다. 이를 이용하여 동적물성치를 구하였고 초음파 텔레뷰어로 산출한 단열정보를 이용하여 단열에 따른 초동지연, 진폭변화비, 속도와 상관성을 파악하였다. 측정된 검층공은 미세단열이 대부분이며 이러한 경암내 미세단열 지역에서는 단열틈 크기와 단열빈도가 탄성과 속도의 변수로 작용하는 것으로 나타난다.

주요어 : SPS, 속도검층, Q값, 동적물성치, 호상편마암

In this paper, dynamic elastic module of banded gneiss were calculated on the basis of SPS velocity logging data obtained from a geotechnical test-hole in Pungsan-dong, Hanam, Gyeonggi Province, Korea. This study mainly focuses on the velocity analysis, Q factor calculation relative to attenuation factor, and generation of crack information and its relation with seismic velocity. As a result, P-wave and S-wave velocity of fresh hard rock was 5,559 m/s and 3,063 m/s, respectively, with Poisson's ratio being 0.28. With these results, dynamic modules were prepared, and crack information analyzed by acoustic televiewer was incorporated to identify the correlation among and between delay of first arrival by crack, amplitude ratio, and velocity. The results of this study revealed that the analyzed logging hole mainly consisted of micro crack and a number of cracks and the size of crack aperture, functioned as a variable to seismic velocity in the micro crack area of this type of hard rock.

Key words : SPS, Velocity logging, Q factor, dynamic elastic module, banded gneiss

서 론

정확한 V_p , V_s 의 산출은 도로, 터널, 교각, 대형구조물 건설을 위한 내진설계 해석에서 중요한 과제로 대두되고 있으며 정밀한 횡파의 결정을 위한 다양한 방법들이 시도되고 있다. 이들 방법에는 SPS 속도검층, 다운출시험, 횡파굴절법, 표면파탐사, SCPT, 업홀등 다양한 시험방법들이 있으며 적용지역 및 시추공 여건에 의해 다양한 시험방법들이 적용되고 있다. 이중 SPS(Suspension

P-S Logging, OYO) 속도검층은 사용주파수에 근거한 고분해능 속도를 산출할 수 있으며, 공벽과의 밀착이 필요치 않는 부유식 이룬 특성에 기인해 사용자 편의의 도모와 빠른 검층속도, 수상에서 가능한 장점이 부각되어 현재 국내에서 유용하게 사용되고 있다.

본 논문에서 사용된 자료는 경기도 하남시 풍산동 353번지에 위치한 시험시추공에서 획득한 SPS 속도검층 자료이다. 본 시험시추공은 지반조사나 지구물리탐사, 검층목적으로 공개된 시험공으로 시험을 원하는 산학연

*Corresponding author: zerose@empal.com

관계자들에게 개방되어 있다. 이를 통하여 탐사, 검층, 실내시험, 기타 특수 시험들 간의 비교, 자료축적으로 인한 탐사장비의 성능비교, 부분교정, 신규장비의 시험을 주목적으로 설치되었다. 2공(BH-1, BH-2)이 각각 100 m 심도, 30 m offset거리를 두고 설치되었으며 검층기 측정센서와 하부손대 길이를 고려하여 2~3 m 추가굴진 되었다. 시추코어는 전용 코어박스를 제작해 시험공 위치에 보관하여 열람 가능하도록 하였다.

이중 금번 논문에서는 BH-1에서 획득한 속도검층자료를 대상으로 연구하였고 동일 시험시추공의 검층자료(유영철외, 2004)를 참조하여 해석하였다.

Suspension PS 검층 개요

본 논문에서 사용한 장비는 부유식 P-S검층장비 즉 약자로 표기하면 SPS (Suspension P-S Logger. Japan OYO社)를 사용하였다. 이는 White(1962;1965)에 의해 저주파 다이폴 개념을 적용한 장파장 근사와 원거리장 근사 개념을 통해 상반성 원리에 의거하여 고안된 shaker, Schlumberger의 DSI(dipole shear imager) source와 유사하다. 이를 OYO사(Japan)가 Kitsunozaki(1978; 1980)의 다이폴 소스를 상업화하여 고속도층 및 저속도 연약지반에서 종파와 횡파를 획득할 수 있는 장비로 상업화 하였다.

기존 진원과 다른 부분은 방사전력(Radiation power)을 증가시키기 위해 타격판의 면적을 넓게 하고 고주파수를 증가시키는 방식을 사용하였다. 진원의 타격에너지 증가시키기 위해 source의 크기를 증가시킬 필요가 없이 이 방사전력을 최대 5배까지 증가시킬 수 있으므로 제한된 시추공 직경에서 양질의 횡파를 얻을 수 있는 장점이 있고 횡파가 3km/s일 때까지도 유용하다고 보고되었다(Ogura, 1988). Fig.1에서 공내 횡파 진원의 개량에 따른 주파수 대역을 비교 하였으며 H-S Source에서 상대적으로 풍부한 고주파수를 나타낸다. 실제 많은 현장사례에서 이러한 장점에도 불구하고 센트럴라이징여부, 공벽과 케이싱의 이완문제 등에 따라 양질의 자료 취득에 어려움이 존재하며 이러한 문제해결을 위해 최근 다양한 논의(조철현외, 2006)가 진행되고 있다.

시추공 제한

SPS장비의 수신부는 물과 동일한 밀도($\pm 20\%$)를 유지시킴으로 공내수 속에 중립적으로 떠있게 하고 (suspension type) 시추공벽, 공내수, 수신부 등이 함께

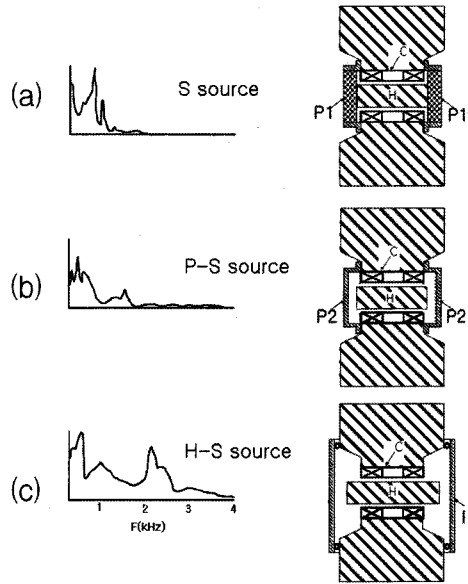


Fig. 1. Spectra of the Waves radiated and schematic diagram by S Source(A), P-S source(B), H-S Source(C), (modified after Ogura, 1988).

진동하는 조건으로 횡파를 감지할 수 있게 되었다. 이때 가장 중요한 조건은 파장이 시추공 직경의 10배 이상이어야 하는데 대규모 지하수 관정이나 원유 채취정 이외, 국내 지반조건 및 금번 시험시추공(NX규격)에서는 조건이 만족되므로 실제 이용하는 데는 별 문제가 없다(송무영, 2002).

2개의 시추공 중 검층에 사용된 BH-1호 공은 NX규격으로 약 102 m 까지 시추되었고 지하수위는 GL.(-) 1 m 이며 지층구성은 지표면으로부터 0~17 m 까지 풍화토, 17~19.5 m까지 풍화암, 19.5 m~21.0 m까지 연암, 그리고 21.0~24 m 까지 보통암, 이후 경암으로 구성되어 있다. 케이싱은 19.6 m 까지 철케이싱으로 삽입되어 있다.

측정 변수 및 자료처리

이번 측정에서는 18~98 m 까지 1 m 간격으로 자료를 취득하였으며 철케이싱 데이터 일부를 포함하여 해석하였다. 샘플링간격은 일반적인 V_p/V_s 비를 고려하여 종파의 경우 10 μ s, 횡파의 경우 20 μ s를 유지하였고 샘플수는 1024를 취하였다.

측정된 자료는 OYO사의 자체 포맷인 ORG형태의 바이너리화일로 심도별로 저장된다. 이러한 ORG형태의 파일은 OYO사에서 제공되는 소프트웨어로 단순 속도 산출은 가능하나 자료의 처리 및 분석을 위해 탄생파

공용 포맷인 seg-y형태로 변환한 후 편의상 1개의 파일로 합산하였다. seg-y의 헤더영역에 관련 값(fldr:depth, tracf:동일 심도의 트레이스번호)들을 입력한 후 SU(Seismic Unix, CWP)상에서 헤더에 따라 심도별, 파형별로 도시하고 중첩하였다.

P, S 속도 및 물성치 산출

일반적인 자료의 해석은 심도별로 측정된 6개의 검층 트레이스에서 초동을 발체한 후 상하 수신기거리 1m를 대입하여 속도를 구하는 방식이 주로 사용된다. Fig. 2는 BH-1호공에서 심도 49m에서 측정된 원시자료로 S 파 극성이 잘 나타나고 있으며 거리에 따른 진폭감소가 관찰된다. 진원으로 부터 Near-Far receiver에 도달하는 초동을 발체한 후 주시차를 이용하여 속도를 산출하게 된다.

대부분 국내지반에서 종파의 인지는 별다른 후처리 없이 발체가 용이하나 횡파의 경우 극성역전에 의한 확인, 파형간의 Correlation, trace subtraction을 통해 보다 정확한 초동발체가 가능하다. trace subtraction의 경우 역전된 파형간의 차이를 구함으로써 종파와 잡음을 제

거하고 횡파를 극대화 시키는 장점이 있다. 그러나 정확한 위상의 역전이 동일 시간에서 일어나지 않고 부분적으로 차이를 두고 발생하는 경우가 있으므로 주의를 요한다. 이러한 원인으로는 공내 중앙에 검층장비가 위치하지 않는 경우 시추공 편향 및 washout에 기인한다(Kitsunezaki, 1980). Valero et al.(2001)에 의해 모델링 수행 결과에 따르면 다이폴진원의 경우 케이싱과 공벽의 밀착 처리상태(bonding condition)와 손테가 공내 중심에 위치하는가에 따라 좌우된다고 보고된 바 있다.

Fig. 3은 검층자료를 심도별로 도시한 그림으로 18~98 m까지 연속적인 파형의 형태를 나타낸다. Fig. 3a, Fig. 3b의 경우 상하 수신기에 도달된 종파를 도시한 것으로 초동이 뒤에 도달되는 변환파들에 비해 약한 진폭을 갖는 것을 볼 수 있으며 Fig. 3c 및 Fig. 3d의 횡파는 전 심도에서 양호한 위상역전현상을 보인다. 이들 파형에서 심도별로 발체된 탄성과 속도를 이용하여 지층별 속도 및 동적계수들을 산출하였고(Table 1), 다시 심도별 결과그래프(Fig. 4)에서 나타난 속도이상대로 구분하여 각각의 평균치를 산출하였다(Table 2).

금번 연구에서는 호상편마암의 속도에 따른 대표치를 산출하는데 목적이 있으므로 이상대로 구분한 평균값을 사용하였다. Fig 3에서 나타난 횡파의 도달주시상 경암으로 분류된 55~98 m의 V_p , V_s 속도는 5,559 m/s, 3,063 m/s로 계산되었으며 포아송비는 0.28, V_s/V_p 비는 0.55로 산출되어 일반적으로 알려진 값(약 0.6)(송무영외, 2002; Yoo et al., 2006)에 유사하게 나타났다. 또한 BH-1호공은 주상도상의 경암내에 저속도 이상대(Fig. 2, 3;46~55 m)가 존재하는데 이는 단열의 밀집에 의한 파쇄대로 V_p 가 4,567 m/s로 나타나고 V_s 가 2,440 m/s로 나타났으며 이는 상대적으로 신선한 암반으로 해석된 55~98 m 구간의 속도보다 V_p 는 992 m/s, V_s 가 623 m/s 적게 나타난다. 이를 다시 신선한 암반속도 대비 저속도 구간의 속도비로 환산한 결과 V_p 가 0.82배, V_s 가 0.79배로 계산되어 횡파의 감소가 다소 더 나타난 것으로 볼 수 있으며, 이는 암반구간에서도 P파에 비해 속도에 의한 해석에 유리한 것으로 해석된다. 또한 산출된 평균 동적포아송비 중 풍화암으로 구분된 심도에서 0.46의 값이 도출되었다. 이는 속도검층시 흔히 나타나는데 일반적으로 알려진 값보다 커서 실제 내진설계에 적용하는데 무리가 있는 것으로 판단되며 V_p, V_s 관계로 구해진 동포아송비와 정포아송비 관계에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

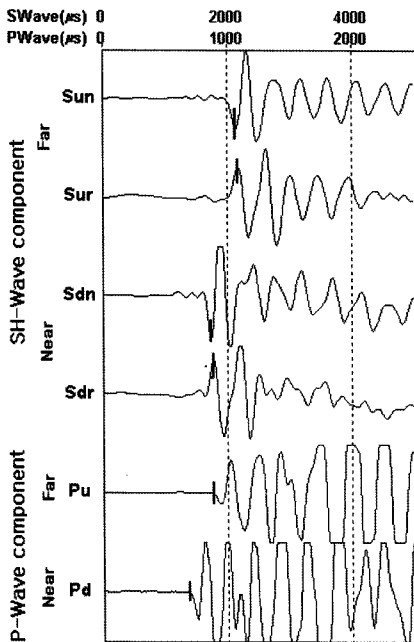


Fig. 2. Result of a full waveform sonic record on the borehole axis at a depth of 49 m.

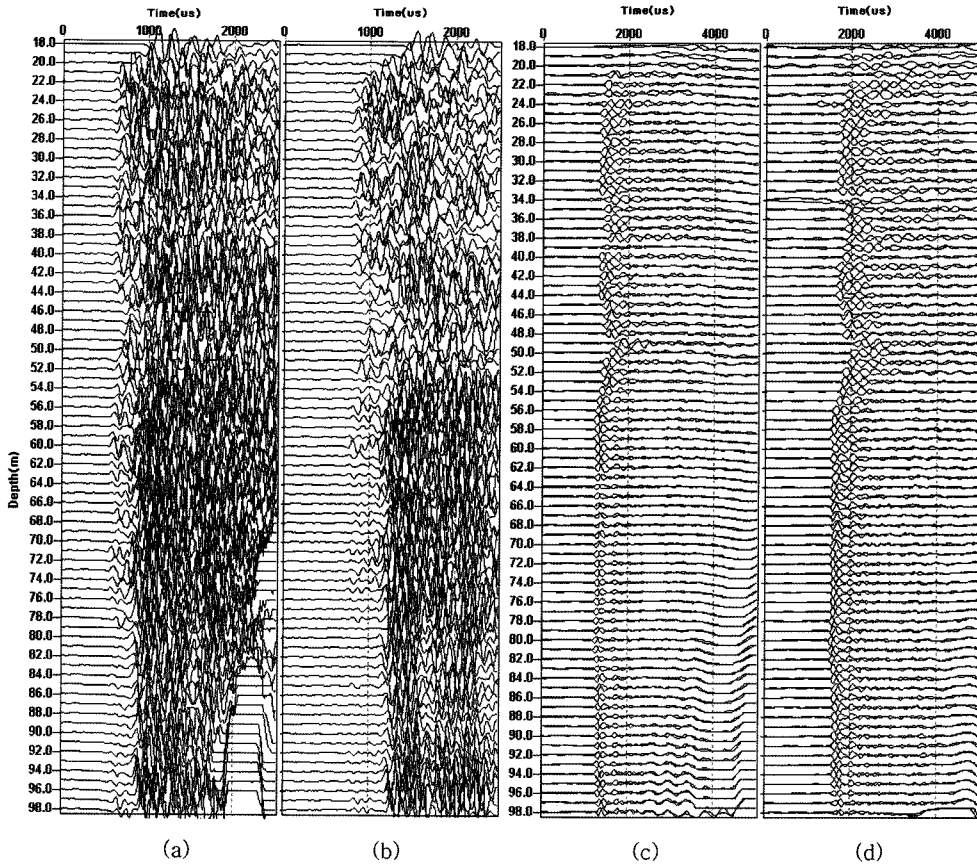


Fig. 3. Trace records; (a) P-wave trace (lower receiver), (b) P-wave trace (upper receiver), (c) S-wave Paring (lower receiver), (d) S-wave Paring (upper receiver).

Table 1. Logging Results according to rock type.

Depth (m)	Rock discr.	RQD Average	Vp (m/s)	Vs (m/s)	vd	Vp/Vs	Vs/Vp	Gd (kg/cm ²)	Ed (kg/cm ²)
18~19	WR	0	2,441	659	0.460	3.71	0.27	9745	28,457
19~20	SR	0	2,703	934	0.432	2.89	0.35	21,364	61,195
20~24	MR	17	4,445	1,838	0.395	2.43	0.41	92,868	258,638
24~98	HR	76	5,352	2,845	0.299	1.90	0.53	226,136	584,682

미세단열과 속도검층자료 분석

흔히 Q factor는 지반의 거동을 예측하고 다른 검층 결과와 함께 AVO해석, 저주파 필터로 거동하는 지반에 의해 감쇠된 고주파수성분을 복원시키는 지시자로 유용하게 사용될 수 있다(Sams and Goldberg, 1990; Ross and von Lunen, 1986; 김영환, 2004). 금번 연구에서는 이러한 목적외에 탄성과 속도검층자료에서 얻을 수 있는 정보 중 일반적인 자료해석상에서 간과되는 감쇄지수를 도출하고 이를 호상편마암지역의 경암내 단열과 연

관지어 해석하였다. 국내에서 유사한 연구로는 황세호 외(1999)는 속도검층자료를 통한 파쇄대 인지와 동적물 성치적용을 기술하였으며 이후 송무영 외(2002)에 의해 SPS검층을 이용하여 동일 암종내에서 속도의 다양한 변화는 암상의 변화와 심도별 절리특세의 크기 변화에 지배된다는 보고가 있으며, SPS를 이용하여 Q값을 도출한 사례로는 Tanaka and Ogura(1984)등에 의해 수행되었고 국내에서는 김영환(2004)에 의해 경암과 퇴적층의 Q값 도출이 시도된바 있다. Q값을 추정하는 방식으로는 Spectral ratio, Drift correction, Empirical equation,

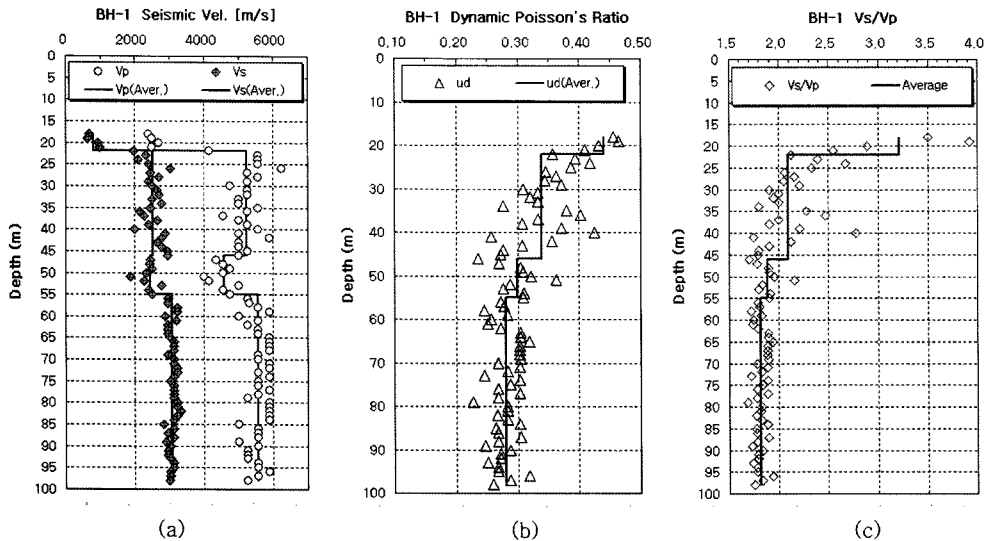


Fig. 4. Graphs of logging result; (a)P-S wave Velocity(m/s), (b)Poisson's ratio, (c)Vs/Vp ratio.

Table 2. Logging Results according to by Vp-Vs anomaly.

Depth (m)	RQD Average	Vp (m/s)	Vs (m/s)	vd	Vp/Vs	Vs/Vp	Gd (kg/cm ²)	Ed (kg/cm ²)	Etc.
18~22	4	2,521	808	0.44	3.22	0.32	16,351	46,823	WR?
22~46	41	5,231	2,528	0.34	2.09	0.49	177,364	471,940	SR?
46~55	76	4,567	2,440	0.30	1.88	0.53	166,091	429,517	Fracture zone
55~98	92	5,559	3,063	0.28	1.82	0.55	259,011	663,138	HR

Modelling method 등이 시도된바 있으며(Xu and Stewart, 2004) 본 논문은 Spectral ratio 방식에 의거 Q값을 도출하였다.

지반이 무한 등방성이라 가정하면 진원에서부터 거리 Z에 존재하는 탄성파는 다음과 같이 표현된다(Aki & Richard, 1980).

$$A(Z) = A_0 e^{\frac{\omega Z}{2QV}} G(Z) \quad (1)$$

이때, A(Z): 진원에서 거리 Z에서 진폭, A₀: 진원의 진폭, ω: angular fre., V: 탄성파 속도 G(Z): 거리계수 이고, 다시 Q factor를 이용한 지반의 감쇠계수, α는 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{\omega}{2QVs} \quad (2)$$

SPS의 경우 진원과 수신점은 항상 고정이고 수신기 사이의 거리는 1m이므로 진원에서 가까운 수신기까지의 거리를 Z₁, 진폭을 A(Z₁), 먼 쪽 수신기까지의 거리

를 Z₂, 진폭을 A(Z₂)라고 하면 Q factor는 다음과 같이 단순화 된다.

$$Q = \frac{\omega}{2V \left[\ln \frac{A(Z_2)}{A(Z_1)} - \ln \frac{G(Z_2)}{G(Z_1)} \right]} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 진원의 상하부에서 1m 간격으로 취득된 횡파(lower, upper)를 이용하여 25~97m까지 Q factor(shear wave)를 도출하였다(Fig. 6b). 자료의 범위는 1.4~3.1의 값을 갖으며, 대체적으로 암반의 횡파속도의 증가와 더불어 값이 커지는 경향이 있다. 일부 값들의 오차는 Spectral ratio과정 중 초동 이후 최대 진폭 시점의 발해오류나 주파수분석을 통한 기울기 산정시 착오, 발진원과 근거리-원거리 수신기간의 기하학적 배치에 기인한 것으로 사료된다. 또한 SPS의 경우 VSP등 따른 탐사법에 비해 짧은 도달거리로 인해 진폭감쇄가 미약하고 시추공 공저 근처로 진행할수록 공저에 부딪혀 되돌아오는 튜브파가 나타나게 된다(Fig. 3c; 66~98m 심도 4000us~5000us부근). 이는 파장과 진폭이 상대적

으로 크므로 이득조절과정에 초동근처 진폭의 변화를 가져와 일부자료의 경우 near receiver 보다 far receiver의 초동진폭이 커지는 오차를 수반하게 되므로 주의하여야 한다. 이런 경우 튜브파가 파형의 뒷부분에 위치하므로 탄성과 기록시점부터 초동이후 일정부분까지 튜브파가 없는 구간의 데이터를 추출한 후 이득조절을 하여 보정한다.

Q factor는 암상, 풍화정도, 단열, 충전물 등에 의해 달라질 수 있으며 이들은 탄성과 속도변화를 야기하게 된다. 이중 동일 암중에 지하수로 포화된 시추공에서 경암내 속도 변화를 야기하는 매개변수로는 주로 단열과 연관지어 생각할 수 있다. 이때 미세단열간의 간격, 틈크기, 방향정보등은 시추공 영상촬영이나 초음파텔레뷰어의 자료를 통하여 정량화 하여 인지할 수 있으며 BH-1 시추공에서 실시된 초음파텔레뷰어 화상을 근거로 이들의 상관성을 파악하였다. 추출된 단열틈 크기는 0~14.6 mm까지 분포하였으며 대부분 0~0.5 cm에 분포하여 본 지역의 단열은 미세단열이 우세한 것으로 나타난다. 1m당 빈도는 0~11개로 분포하였다.

Fig. 5는 초음파텔레뷰어 결과로 절리의 단열틈과 빈도가 가장 집중되어 있는 구간을 보여주며 이 구간에서 탄성과 속도역시 감소되는 경향을 보인다. Fig. 6(a)는 검층기에 장착된 3성분 센서 중 발진원에서 먼 거리(far receiver)에 위치한 횡파 성분들의 파형을 도시하였다. 심도에 따른 초동의 지연이 시각적으로 잘 나타나고 있으며 기타 자료와 같이 도시하였고 상, 하부에 위치한 횡

파성분을 사용하여 초동근처 1파장에 대한 최대진폭의 비율(far/near)을 Fig. 6(c)에 도시하였다. 55 m 상부로 진폭의 감쇠가 커서 진원에 가까운 횡파진폭에 비해 먼 거리에 위치하는 횡파진폭이 20~60%로 나타나고 이후

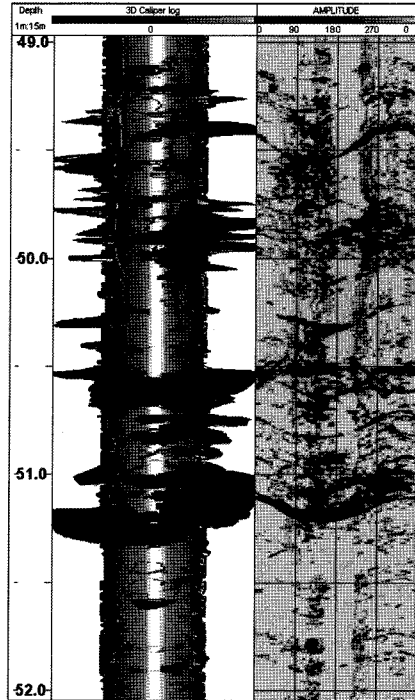


Fig. 5. Televiewer image log measured at the study site of Hanam-Si, Korea. Left: 3D-view, Right: amplitude image.

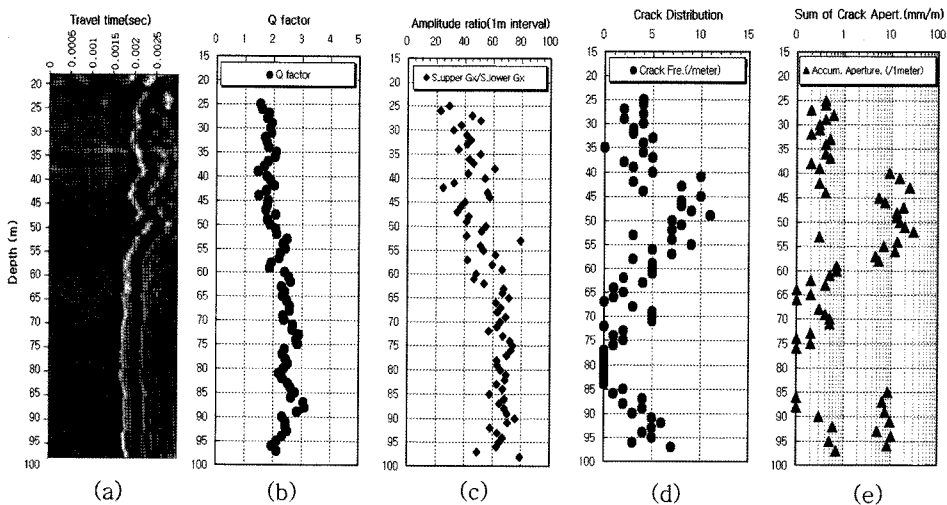


Fig. 6. Composite SPS logging results; S_upper waveform(a), corresponding Q factor(b) amplitude ratio(c), crack distribution(d), and crack aperture(e).

심부에서는 60~80%의 진폭비가 나타나 상대적으로 신선한 암반에 진폭의 감소가 적은 것으로 나타난다.

이들의 관계 중 앞서 제시한 암종별 관계, 단열내 지하수 여부는 포화된 동일 시추공임을 감안하여 제외하였고 진폭비(Fig. 6c), 1m당 단열빈도(Fig. 6d), 1m당 단열틈 합(Fig. 6e)과 탄성과 속도와의 상관관계를 도식화 하였다(Fig. 7). Fig. 7의 그래프에서 N을 1m당 단열빈도라고 하고 A를 1m당 단열틈 크기합이라고 하면 다음과 같은 수식을 만족한다.

- ① 단열빈도에 대한 진폭비:
 $Amplitude\ ratio(\%) = -2.595N + 70.5$ (4)
- ② 단열틈 크기 합에 대한 진폭비:
 $Amplitude\ ratio(\%) = -0.96A + 64.6$ (5)
- ③ 단열빈도 변수에 대한 P,S파 속도상관식:
 $V_p = -88.811N + 5783.7$ (6)
 $V_s = -61.654N + 3184.6$ (7)
- ④ 단열틈 크기합에 대한 P,S파 속도상관식:
 $V_p = -59.93A + 5781.7$ (8)

$$V_s = -41.11A + 3179.9 \quad (9)$$

Fig. 7a, b에서 진폭감쇠는 단열빈도와 단열틈 크기에 모두 영향을 받지만 5 mm/meter 이하의 단열틈 크기를 보이는 구간은 편차가 크게 나타난다. 단열빈도에 의한 속도변화는 종파보다 횡파에서 민감하게 나타나고(Fig. 7c) 단열틈 크기 상관성에서는 종파 및 횡파 모두 양호한 상관성을 나타낸다(Fig. 7d).

결론

경기도 하남시 풍산동에 위치한 시험시추공을 대상으로 Suspension PS 검층을 실시하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

(1) 화강암질 편마암으로 이루어진 시추공에서 신선한 암반으로 분류된 55~98 m 구간의 V_p , V_s 속도는 5,559 m/s 3,063 m/s로 계산되었으며 포아슨비는 0.28, V_s/V_p 비는 0.55로 산출었다. 경암내 단열의 밀집에 의한 파쇄 대는 V_p 가 4,567 m/s로 나타나고 V_s 가 2,440 m/s로 나

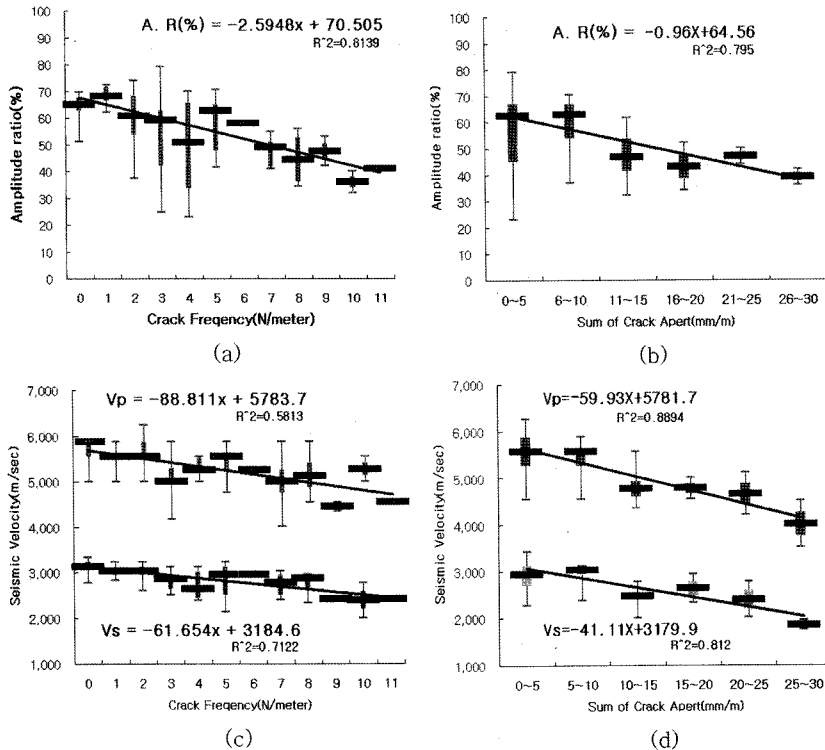


Fig. 7. Correlation graph: (a)Amplitude ratio versus crack frequency. (b)Amplitude ratio versus sum of crack aperture. (c)P, S velocity versus crack frequency. (d)P, S velocity versus sum of crack aperture.

타나 상대적으로 신선한 암반으로 해석된 55~98 m 구간의 속도보다 V_p 는 992 m/s, V_s 가 623 m/s가 적게 나타난다.

(2) 금번 연구에서 near-far receiver에서 취득된 횡파간의 진폭비는 절리가 다수 포함된 경암에서는 20~60%로 나타나고 신선한 심부암반에서는 60~80%의 진폭비가 나타나 상대적으로 신선한 암반에서 진폭의 감소가 적은 것으로 나타난다. 감쇄지수와 연관된 Quality factor는 1.4~3.1의 값을 보이며 속도에 따라 점진적으로 증가하는 경향을 보이나 절리의 분포에 따른 민감도는 다소 뚜렷이 나타나지 않았다. 상관식 도출결과 단열빈도와 단열틈 크기 모두 진폭변화와 속도변화를 야기시키는 변수로 해석되며 특히 절리빈도에 대한 속도는 종파보다 횡파가 보다 민감하게 나타난다.

(3) 동일 시추공에서 실시된 텔레뷰어 검층결과를 바탕으로 단열빈도와 단열틈 크기 변수에 대한 진폭비 상관식과 같은 변수에 대한 P, S파 속도상관식을 산출하였다. 이때 1m당 단열갯수가 증가할 때 마다 -88m/s배의 V_p 감소와 -61 m/s배의 V_s 감소를 야기하는 것으로 해석되었다.

금번 연구는 하남시 부근 호상편마암 지역에서 측정된 속도검층자료를 바탕으로 조사지역 호상편마암의 대표 탄성과 속도, 물성치를 제시하고 동일 암상의 경암지역에서 단열과 상관성 분석에 기초자료가 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 동일 시추공에서 추후 있을 타 물리탐사 자료와의 비교를 위해 활용될 수 있을 것이다.

사 사

이 연구는 (주)동아건설턴트의 시험용 시추공 및 자료 협조를 받아 수행된 연구 결과의 일부로, 지원을 해주신 관계자 여러분께 감사드리며 심사위원들께도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김영환, 2004, SPS검층을 이용한 지반특성 연구, 공학석사학위논문, 전남대학교.
- 송무영, 김환석, 박종오, 2002, 시추공 물리탐사를 통한 지반물성과 암상과의 상관성 분석, 대한지질공학회지, 12(2), 127-135.
- 조철현, 변중무, 황세호, 2006, 천부 지반 환경에서 속도 검층 난제들에 대한 고찰, 물리탐사 학회지, 9(3), 185-192.
- 유영철, 이상태, 송무영, 2004, 다목적 물리검층 및 시험용 공개 시추공 프로젝트 소개, 대한지질공학회 2004 춘계학술대회논문집, 33-38.
- 황세호, 이상규, 1999, 물리검층에 의한 파쇄대 인식과 동적 지반정수의 산출, 한국지구물리탐사학회 학술 발표 심포지움, 156-175.
- Kitsunezaki, C. 1978, Indirect excitation type source for shear wave logging, 物理探査, 31, 329-337.
- Kitsunezaki, 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, 10, 69-98.
- Sams, M. and Goldberg, D., 1990, The validity of Q estimates from borehole data using spectral ratios; shot note, Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 55, 97-101.
- Tanka, T and Ogura, K., 1984, Measurement of Q values in subsurface formations, using the suspension P-S logging system, 54th Ann. International Mtg; Soc. of Expl. Geophys., Session: S21.3.
- Valero, H., Skelton, O. and Cao, H., 2001, A practical sonic slowness evaluation behind casing, 71st Ann. International Mtg; Soc. of Expl. Geophys., 329-332.
- White, J. E., 1960, Use of reciprocity theorem for computation of low-frequency radiation patterns, Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 25, 613-624.
- White, J. E., 1962, Elastic waves along a cylindrical borehole, Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., 27, 327-333.
- Yoo, H. J., Lee, K., Herrmann, R. B., 2006, Moho Depth Variation and V_p/V_s ratios in the Southern Korean Peninsula from Teleseismic Receiver Functions, Journal of Korean Geophysical Society, 9(3), 241-248.

유영철

충남대학교 지질환경과학과 지구물리연구실
305-764 대전광역시 유성구 궁동 220
Tel: 011-9822-6962
Fax: 042-823-3722
E-mail: zerase@empal.com

임국목

충남대학교 지질환경과학과 지구물리연구실
305-764 대전광역시 유성구 궁동 220
Tel: 042-821-6423
Fax: 042-823-3722
E-mail: mranr96@cnu.ac.kr

송무영

충남대학교 지질환경과학과 지구물리연구실
305-764 대전광역시 유성구 궁동 220
Tel: 042-821-6423
Fax: 042-823-3722
E-mail: mysong@cnu.ac.kr