

시추공 환경변화에 따른 분산곡선 및 분산특성

Weijun Zhao · 김영화* · 김종만

강원대학교 지구물리학과

Dispersion Curves and Dispersion Characteristics Expected from Different Borehole Environments

Weijun Zhao, Yeonghwa Kim*, and Jongman Kim

Dept. of Geophysics, Kangwon Natonal Univ.

밀도, P파속도, S파속도, 공경 등 주요 시추공 환경 요소의 변화가 분산에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위하여 먼저 우리나라에 분포하는 주요 암석의 물성을 대표하는 7 가지의 모델에 대한 분산곡선을 구했다. 단극음원과 쌍극음원을 고려했으며 76 mm 시추공과 150 mm의 시추공 조건이 고려되었다. 음원과 시추공경 그리고 물성을 달리하는 여러 환경에서 유도된 분산곡선을 비교 분석함으로써 시추공 음파의 분산특성, 특히 소구경 시추공에서의 분산특성을 규명할 수 있었다.

주요어 : 분산곡선, 음파검층, 유사 레일리파, 만곡S파, 단극음원, 쌍극음원

For seven NX sized borehole models constructed from physical property data for representative geology in Korea, dispersion curves were derived and compared between models having different physical parameters. By comparing and analyzing the dispersion curves obtained from different sources (monopole and dipole) and different borehole sizes (76 mm and 150 mm), dispersion characteristics in sonic log could be understood better, particularly in the case of slim hole sonic log.

Key words : dispersion curve, pseudo-Rayleigh, flexural wave, monopole source, dipole source

서 론

음파검층은 시추공 내에서 음파 발생장치와 수신 장치를 이용하여 시추공 주변 구성 암반의 P파 및 S파 속도의 수직적인 분포를 파악하는 검층이다. 음파 발생 장치는 주로 단극(monopole)과 쌍극(dipole) 음원(source)을 사용한다. 단극음원은 한 점에서 방사상으로 음파 에너지를 방사하며 이로부터 P-선두파(P head), P-leaky, 유사 레일리파(pseudo-Rayleigh), S-선두파(S-head wave)와 스톤리파(Stoneley wave)가 관찰될 수 있다 (Crain, 2004). 단, 압축 에너지의 일부만이 모드 전환되어 지층을 전파한 S-선두파의 관측은 시추공벽의 S파 속도가 시추공 유체속도보다 큰 지층(fast formation; 이

하 빠른 속도층)에서만 가능하다. S파 속도가 시추공 유체속도 보다 작은 지층(slow formation; 이하 느린 속도층)에서는 시추공 방향으로의 음파에너지 굴절이 발생하지 않아 S파의 탐지가 원천적으로 불가능하며 이러한 문제를 해결하기 위해서 쌍극음원을 사용한다. 쌍극음원은 음파 에너지를 한 방향으로 휘게 하여 시추공벽을 따라 이동하는 일종의 강한 표면파인 만곡S파(flexural wave)를 발생시킴으로써 지층과 이수의 속도 조건에 상관없이 S파에 대한 정보를 얻을 수 있게 한다.

그러나 일반적으로 많은 모드의 파가 함께 중첩되어 나타나는 음파자료로부터 각 모드의 음파속도를 정확하게 얻는 일은 매우 어려운 과제이다. 특히 분산성 파의 경우에는 중첩의 정도가 심하고, 절단주파수(cut-off

*Corresponding author: yhkim@kangwon.ac.kr

frequency)의 존재가 크게 영향을 미치고 있어 자료 획득 과정에서부터 처리에 이르기까지 분산특성에 대한 이해가 매우 중요한 의미를 가진다. 시추공 모드의 분산특성과 연관된 시추공 모드의 전파특성은 소스의 띠폭(bandwidth) 선택을 효율적으로 하여, 결과적으로 음파 속도를 결정하는데 방해되는 모드의 파를 억제하는데 도움이 된다(Sinha and Asvadurov, 2004).

분산특성에 관한 연구는 지금까지 많은 연구자들에 의하여 수행되었으며 여러 경우의 분산곡선이 제시되었다(Biot, 1952; Cheng and Tokso'z, 1980; Paillet and Cheng, 1982; Paillet, and White, 1982). 그러나 시추공 환경별 분산곡선을 일괄적으로 도시하고 분석한 경우는 드물며 소구경시추공에서는 더욱 그 예를 찾기 힘들다. 이러한 관점에서 우리나라에서 주로 분포하는 대표적인 암석에 대한 물리변수인 P파속도, S파속도 및 밀도, 그리고 또 하나의 주요 변수인 공경을 중심으로 분산곡선을 구하였으며 이를 비교, 분석하여 분산특성을 살펴보았다.

이론적 배경

시추공에서의 파의 이동을 표현하기 위해 우선 균질 등방성의 암석 속에 있는 물로 채워진 시추공의 존재를 가정하며(Biot, 1952), 파의 이동을 식(1)과 같이 표현한다.

$$\frac{\partial^2 \phi_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi_r}{\partial z^2} = \frac{1}{V_p^2} \frac{\partial^2 \phi_r}{\partial t^2} \tag{1}$$

방정식(1)의 일반해는

$$\phi_r = [D_1 I_0(m_1 r) + D_2 K_0(m_1 r)] e^{i(kz - \omega t)} \tag{2}$$

로 나타나며, 유체 압력(P)과 변위(u_p)의 개념을 사용하면 식 (3)과 (4)로 표현된다.

$$P_r = \rho_r \omega^2 [D_1 I_0(m_1 r) + D_2 K_0(m_1 r)] e^{i(kz - \omega t)} \tag{3}$$

$$u_r = m_1 [D_1 I_1(m_1 r) - D_2 K_1(m_1 r)] e^{i(kz - \omega t)} \tag{4}$$

한편 암석 내에서의 탄성 고체의 파동 방정식은 P파속도(V_p)와 S파속도(V_s)를 이용하여 식 (5)와 (6)으로 표현된다.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{1}{V_p^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{1}{V_s^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \tag{6}$$

방정식 (5)와 (6)의 일반해는 각기 식 (7), (8)로 나타난다.

$$\phi = [A_1 K_0(m_2 r) + A_2 I_0(m_2 r)] e^{i(kz - \omega t)} \tag{7}$$

$$\psi = [B_1 K_1(m_3 r) + B_2 I_1(m_3 r)] e^{i(kz - \omega t)} \tag{8}$$

여기서 A₁, A₂, B₁, B₂ 는 값을 모르는 상수, k는 z 축방향 파수, K_i 및 I_i는 i번째 베셀함수(Bessel function)의 변수, m₂, m₃는 반지름 방향(radial direction)으로의 파수로서 각기

$$m_2^2 = k^2 - \frac{\omega^2}{V_p^2}, \quad m_3^2 = k^2 - \frac{\omega^2}{V_s^2} \text{로 표현될 수 있다.}$$

반지름방향 변위(radial displacement), 반지름방향 응력(radial stress)과 전단응력(tangential stress)은 다음의 두 식 (9, 10)으로 표현될 수 있다.

$$u_r = \frac{\partial \phi}{\partial r} - \frac{\partial \psi}{\partial z} \tag{9}$$

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\lambda}{V_p^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + 2\mu \left(\frac{\partial^2 \phi_r}{\partial r^2} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial z \partial r} \right), \\ \sigma_{rz} &= \rho \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} + 2\mu \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial z \partial r} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \tag{10}$$

실제 상황은 시추공 내에 공내측정기(tool)가 존재하지만 대부분의 일반적인 경우, 유체로 채워진 시추공에서 측정기가 없는 것으로 가정하고 해를 구하며, 다음의 2*2 매트릭스 경계조건 방정식(11)으로 표시될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} \\ \theta_{21} & \theta_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ D_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{11}$$

이 방정식을 풀기 위해서는 5개의 파라미터, 즉 유체 속도(V_p) 암석P파속도(V_p), 암석S파속도(V_s), 유체 밀도(ρ_p) 그리고 암석밀도(ρ_s)을 알아야 하며, A₁과 D₁의 해를 구하고 식(12)를 수행 한다.

$$f(\omega, k | v_p, v_s, v_f, \rho_f, \rho_s, a) = \theta_{11}\theta_{22} - \theta_{12}\theta_{21} = 0 \tag{12}$$

식 (12)는 주파수 ω와 축방향 파수 k의 함수이므로, ω값을 고정하고 k에 대한 함수로 만든 후 이 함수값이 0되는 k값을 구할 수 있다. 수치 계산에서는 ω값에 대

한 임의의 증분을 사용하는 되돌이 과정(loop procedure)에 의하여 주파수와 파수의 짝 값을 모두 구한 후, 식 (13)과 (14)에 의하여 위상 속도 V_{pha} 와 그룹 속도 V_{gro} 를 구한다.

$$V_{pha} = \omega/k \tag{13}$$

$$V_{gro} = d\omega/dk = (\partial f/\partial k)/(\partial f/\partial \omega) \tag{14}$$

모델 적용

분산곡선은 방정식 (1)에서의 8가지 변수들 즉, 시추공경(α), 지층의 P파속도(V_p), S파속도(V_s), 지층 밀도(ρ_s), 유체속도 (V_f), 유체밀도(ρ_f), 주파수(ω) 및 축방향 파수(k)에 좌우된다. 본 연구에서는 공경을 토목시추에서의 표준 공경인 NX 크기(76 mm)와 이 공경의 약 2배에 해당하는 공경 150 mm의 두 가지로 하고, 유체밀도와 유체 속도는 각기 1.0 g/cm³와 1500 m/s로 고정하였다. 분산곡선의 유도 과정에서 공내측정기의 존재 자체 영향은 무시하였다. 적용할 지층의 P파속도, S파속도, 지층 밀도 값을 결정하기 위해서는 기존의 한반도 내 물성자료(김득남, 2004; 한원준, 2004)에서의 평균값을 이용하였다. 단, 석회암의 경우에는 가장 큰 속도의 모델을 얻기 위해, 일반적인 물성범위(Carmichael, 1982)를 참고하여 속도 값을 상향 조정하였으며 일부 셰일(Shale2)의 경우는 느린 속도층 모델을 얻기 위해서 기존(shale 1)의 속도값을 임의로 하향 조정하였다. 결정된 모델의 밀도 및 속도 값 내역은 Table. 1에 제시된 바와 같다.

분산곡선

모델별 파라메타를 적용하여 얻어진 분산곡선은 Fig. 1에서 Fig. 6까지의 그래프로 제시하였다. Fig. 1에서 Fig. 3까지 NX공경, 즉 직경 76 mm 시추공에서의 결과

가 나타나 있으며 Fig. 4에서 Fig. 6까지 150 mm공경에서의 결과가 제시되어 있다. 위상속도(phase velocity)와 군속도(group velocity)가 함께 제시되어 있다.

Fig. 1과 Fig. 2에는 76 mm 시추공의 빠른 속도층에서 단극음원을 사용하는 경우 예상되는 결과로서 각기 대표적인 두 분산성파인 유사 레일리파(PR)와 스톤리파(ST)의 위상속도(ph)및 군속도(gr)에 대한 분산곡선이 주파수 40 kHz 범위까지 제시되어 있다. 가장 큰 속도의 석회암 모델(a)로부터 가장 낮은 속도의 셰일 모델(f)에 이르기까지 속도가 감소함에 따른 분산곡선의 변화 양상을 잘 보여주고 있다. 분산의 정도는 유사 레일리파에서 현저하게 나타나며 속도가 클수록 분산의 정도가 커짐을 보인다. 이에 비하여 스톤리파는 분산성이 상대적으로 약하며 그림(Fig. 2)에서도 확대된 스케일로 표시되었다. 실제파의 속도가 높은 경우에는 주파수가 커질수록 속도가 천천히 증가하면서 점차 유체 속도에 근접하는 특성을 보인다.

유사 레일리파의 위상속도는 절단주파수에서의 S파 속도값으로부터 주파수 증가에 따른 급격한 속도 감소를 보이면서 유체파의 속도에 접근한다. 군속도의 경우에는 분산이 더욱 심하며 매질의 S파속도에 근사하는 영역 없이 절단주파수 영역부터 바로 심한 속도감소를 보이면서 에어리 상(Airy phase)을 보여주고 있다. 1차 모드만이 관찰되며 주파수 40 kHz의 범위 내에서 2차 모드의 분산곡선은 관찰되지 않았다. 속도값이 가장 큰 석회암 모델에서 유사 레일리파 분산곡선은 주파수 17.3 kHz부터 나타나고 있다. 중간 속도대에 해당하는 사암, 편마암 및 화강암의 경우는 17-19 kHz의 주파수부터, 저속도대에 해당하는 편암(c) 및 셰일(d)에서는 각기 22.5 kHz 및 26.5 kHz부터 시작되어 속도가 감소할수록 분산곡선이 점차 높은 주파수 영역에서 나타나고 있음을 보인다.

Fig. 3은 공경 76 mm 시추공에서 쌍극음원으로 얻어진 분산곡선들이다. 만큼S파만으로 구성되며 단극음원에서의 절반 수준인 20 kHz의 주파수 범위 내에서도 2

Table 1. Physical properties of models constructed from representative rocks in Korean peninsula.

Formation Model	Density (g/cm ³)	P-wave velocity (m/s)	S-wave velocity (m/s)	Remarks
Limestone	2.75	5800	3100	
Sandstone	2.70	4611	2734	
Gneiss	2.69	4492	2572	fast formation
Granite	2.64	4212	2463	
Schist	2.64	3309	2018	
Shale(1)	2.65	2970	1827	
Shale(2)	2.45	2080	1270	slow formation

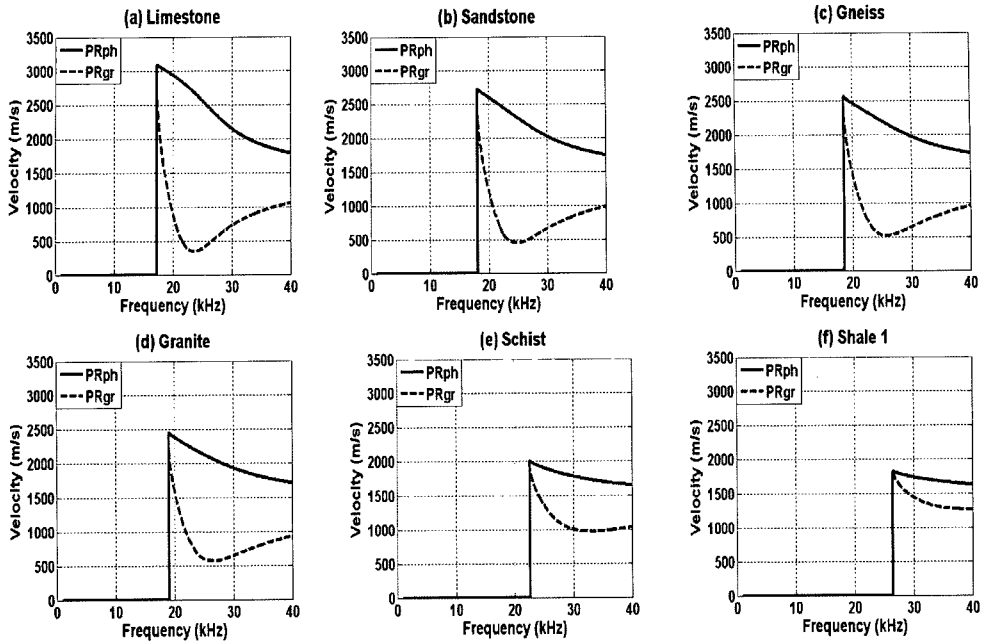


Fig. 1. Monopole dispersion curves for pseudo Rayleigh wave expected from $\Phi 76\text{mm}$ borehole of each formation model: (a)limestone, (b)sandstone, (c)gneiss, (d)granite, (e)schist, (f)shale1.

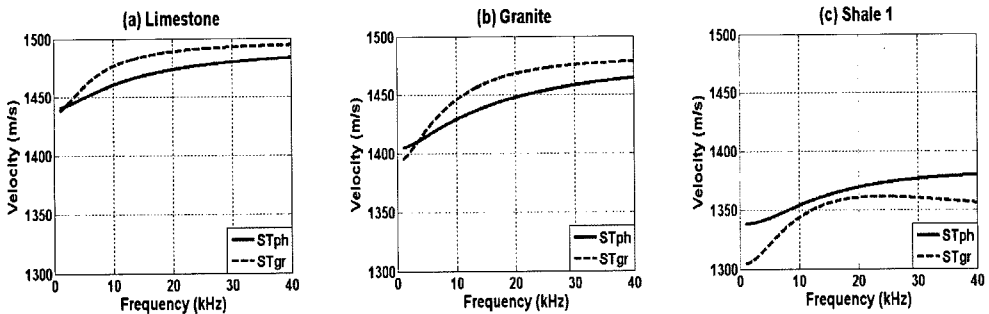


Fig. 2. Monopole dispersion curves for Stoneley wave expected from $\Phi 76\text{mm}$ borehole of each formation model: (a)limestone, (b)granite, (c)shale1.

차 모드의 분산곡선까지 나타나고 있다. 범례에서 FLph1은 만곡S파의 1차 모드 위상속도, FLph2는 만곡S파의 2차 모드 위상속도, FLgr1은 1차 모드의 군속도, 그리고 FLgr2는 2차 모드의 군속도를 나타낸 것이다. 단극음원과는 달리 속도가 빠를수록 만곡S파의 1차 모드가 낮은 주파수 영역에서 시작하고 있음을 보인다. 그러나 2차 모드의 절단주파수는 단극음원의 경우와 마찬가지로 속도가 낮을수록 주파수가 높아지는 경향을 보인다. 석회암(a), 사암(b) 및 화강암모델(c)까지는 20 kHz 이내에 나타났으며 가장 낮은 속도의 셰일2 모델에서는

40 kHz범위를 벗어났다. 결과적으로 속도가 빠를수록 1차 모드와 2차 모드의 분산곡선간의 간격이 좁게 나타나고 있다. Shale2는 느린 속도층을 대표하는 경우로서 분산 곡선이 매우 낮은 주파수인 약 2.6 kHz에서 시작되며 곡선의 형태 또한 매우 밋밋하게 나타난다.

Fig. 4와 Fig. 5는 공경 150 mm의 시추공에서 단극음원을 사용하는 경우 예상되는 분산곡선들이 제시되어 있다. 공경 76 mm의 경우와 마찬가지로 유사 레일리파 (Fig. 4)와 스톤리파(Fig. 5)의 위상속도와 군속도에 대한 분산곡선이 주파수 40 kHz 범위까지 제시되어 있다. 스

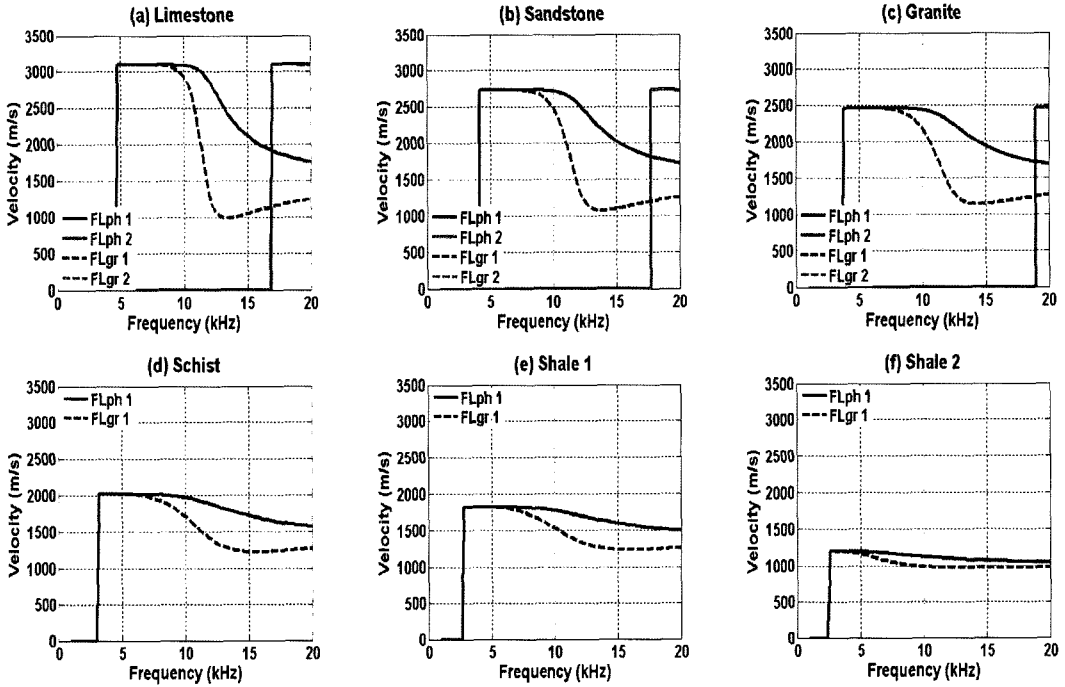


Fig. 3. Dipole dispersion curves expected from $\Phi 76$ mm borehole of each formation model: (a)limestone, (b)sandstone, (c)granite, (d)schist, (e)shale1, (f)shale2.

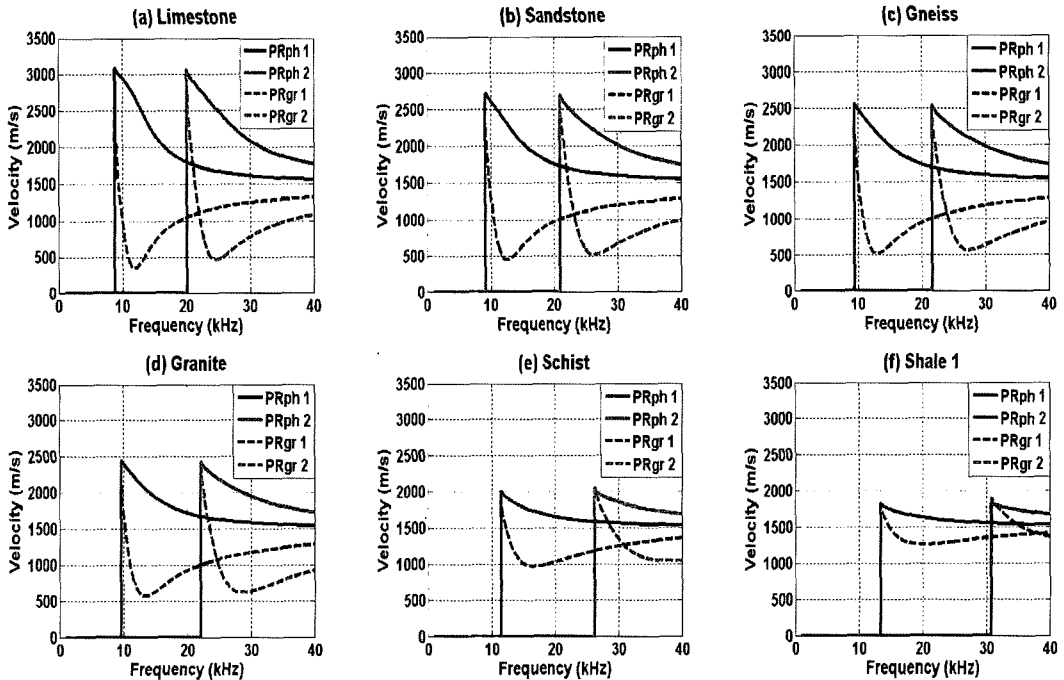


Fig. 4. Monopole dispersion curves for pseudo Rayleigh wave expected from $\Phi 150$ mm borehole of each formation model: (a)limestone, (b)sandstone, (c)gneiss, (d)granite, (e)schist, (f)shale1.

톤리파는 공경 76 mm 시추공의 경우(Fig. 2)에서 제시된 것과 거의 동일한 양상을 보인다. 반면에 만곡S파는 주파수 40 kHz범위 내에서 2차 모드까지 나타나면서 더 복잡한 양상을 보이고 있다. 그림에서 PRph1과 PRph2는 각기 유사 레일리파의 1차 모드와 2차 모드의 위상 속도를 나타내며, PRgr1과 PRgr2는 유사 레일리파의 1차 모드와 2차 모드의 군속도를 나타낸다. 가장 큰 속도값을 보이는 석회암에서의 유사레일리파 1차 모드의 절단주파수가 10 kHz 이하로 나타나고 있어 결과적으로 76 mm 시추공의 경우에 비하여 약 10 kHz 낮은 주파수

영역에서 1차 모드의 분산곡선이 시작되고 있다. 속도가 감소함에 따른 절단 주파수의 변화 양상은 76 mm 시추공에서와 거의 동일하며, 1차와 2차 모드의 유사레일리파 분산곡선이 모두 지층 S파 속도가 감소함에 따라 높은 주파수 영역으로 이동함을 보인다.

Fig. 6은 공경 150 mm의 시추공에서 쌍극음원으로 얻어진 분산곡선들이다. 1차 모드와 2차 모드 모두 전반적인 분산곡선의 형태가 76 mm 시추공의 경우와 동일하다. 그러나 76 mm 시추공의 경우에 비하여 절단주파수의 크기가 상대적으로 감소했으며 결과적으로 비교

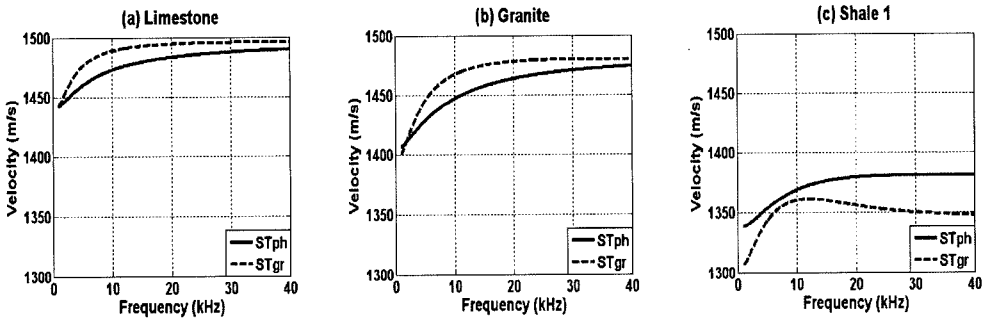


Fig. 5. Monopole dispersion curves for Stoneley wave expected from $\Phi 150$ mm borehole of each formation model : (a)limestone, (b)granite, (c)shale1.

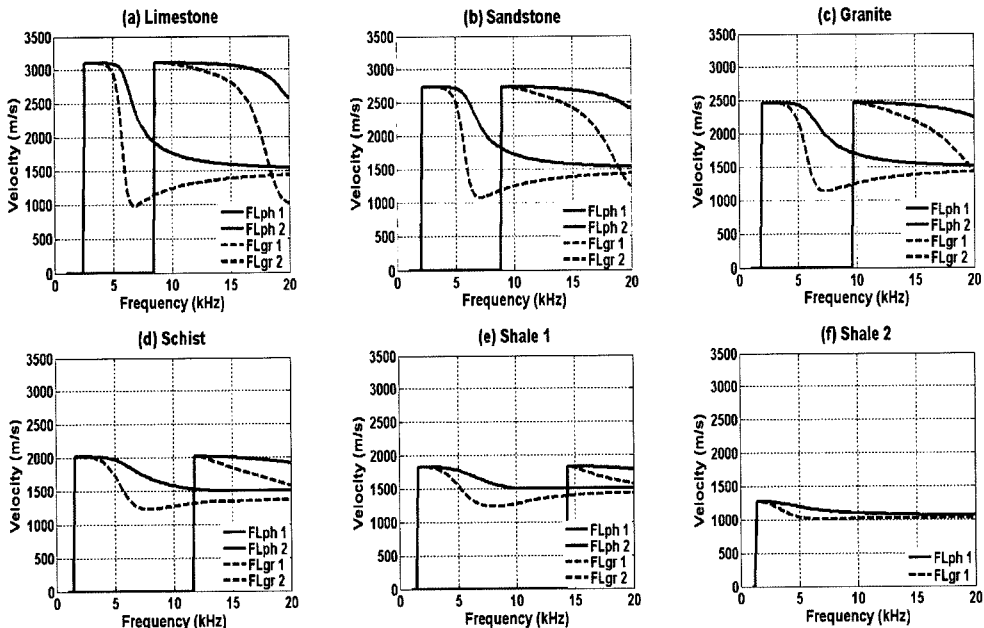


Fig. 6. Dipole dispersion curves expected from $\Phi 150$ mm borehole of each formation model: (a)limestone, (b)sandstone, (c)granite, (d)schist, (e)shale1, (f)shale2.

적 낮은 속도모델인 편암(d)과 셰일(e)에서도 20 kHz 주파수 범위 내에서 2차 모드의 만곡S파가 관찰되고 있다.

유사 레일리파와 만곡S파의 분산특성

주파수에 따라 속도가 달리 나타나는 분산의 특성은 공경과 지층 특성에 따라 달리 나타나며 위상속도와 군속도, 단극음원과 쌍극음원의 영향을 받는 매우 복잡한 양상을 보인다. 이 연구에서는 Fig. 1에서 Fig. 6까지의 상호비교에서 제시된 바와 같이, 단극음원에서의 40 kHz와 쌍극음원에서의 20 kHz의 주파수 범위를 사용함으로써 일반적인 음파검층에서의 대상주파수 영역에서 공경의 변화, 음원의 종류, 물성의 변화에 따른 유사 레일리파 및 만곡S파의 전반적 분산특성이 제시되었다.

먼저 절단주파수에서의 S파속도 값으로부터 주파수 증가에 따른 급격한 속도 감소를 거쳐 궁극적으로 유체 파 속도에 접근하는 비교적 단순한 위상속도의 분산곡선과, 보다 심한 속도 감소를 보이면서 에어리 상에서의 최저 속도값을 보인 후 다시 증가하는 군속도의 일반적인 경향(Cheng and Toksoz, 1980)을 상세하게 확인할 수 있었다. 쌍극음원에 의한 만곡S파의 분산곡선들은 (Fig. 3과 Fig. 6) 절단주파수로부터 약 5 kHz 내외의 주파수 구간에서 매질의 S파 속도에 근접한 속도값을 보이며 그 주파수 구간의 길이는 지층의 S파속도 값이 커질수록 증대되는 경향을 보였다. 위상속도와 군속도 모두에서 비슷하게 나타난 이러한 현상은 지층의 S파속도 결정에 만곡S파의 이용이 효과적임과 함께 속도가 높은 지층일수록 S파속도 값의 결정이 용이함을 설명할 수 있는 근거로 보인다. 만곡S파 분산곡선이 절단주파

수 일대에서 정확한 S파속도 값을 주는데 비하여 단극음원에 의한 유사 레일리파 분산곡선(Fig. 1과 Fig. 2)에서는 절단주파수에서부터 매질의 S파속도 보다 작은 속도 값으로 시작하며 주파수 증가에 따라 급격하게 속도가 감소하는 양상을 보인다. 이는 단극음원 환경에서의 S파 신호에 유사 레일리파가 어떠한 영향을 미칠 수 있는지를 짐작케 하며 동시에 S파속도 결정에 있어서 분산특성 이해의 중요성을 말해주고 있다. 아울러 S파속도와 에어리 상 주파수 사이에 나타나는 비교적 좋은 상관관계도 주목할 만 하다.

제시된 분산곡선들의 비교에서는 지층의 S파속도 값의 증가에 따라 분산특성을 나타내는 매우 효과적인 파라미터인 절단주파수가 일정한 방향성을 가지고 증가하거나 감소하는 특성을 보였으며 이러한 절단주파수의 분포특성은 Fig. 7에서 보다 효과적으로 제시되었다. Fig. 7(a)는 단극음원으로부터의 유사 레일리파가 시추공의 공경과 지층의 S파 속도에 따라 절단주파수가 어떻게 변화하는지를 도시한 것이다. 40 kHz 주파수 범위 내에서 나타난 76 mm 시추공에서의 1차 모드와 150 mm 시추공에서의 1, 2차 모드가 함께 도시되었는데 우선 S파속도의 증가에 따라 유사 레일리파의 절단주파수가 감소하는 공통적 특성이 관찰된다. 쌍극음원을 사용한 경우의 만곡S파 분산곡선(Fig. 7b)에서는 1차 모드의 절단주파수가 S파속도의 증가에 따라 오히려 증가하는 특성을 보이는 반면에 2차 모드의 절단주파수는 단극음원의 경우와 마찬가지로 속도증가에 따라 절단주파수가 감소하는 양상을 나타내고 있다.

한편 단극음원에서의 1차 모드 비교(Fig. 7a) 및 쌍극음원에서의 1, 2차 모드의 비교(Fig. 7b)로부터, S파속도

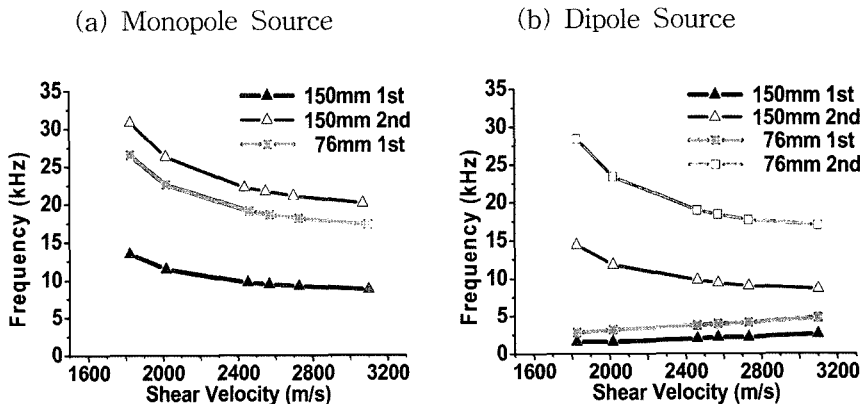


Fig. 7. Variation feature of cutoff frequency with change of formation shear velocity.

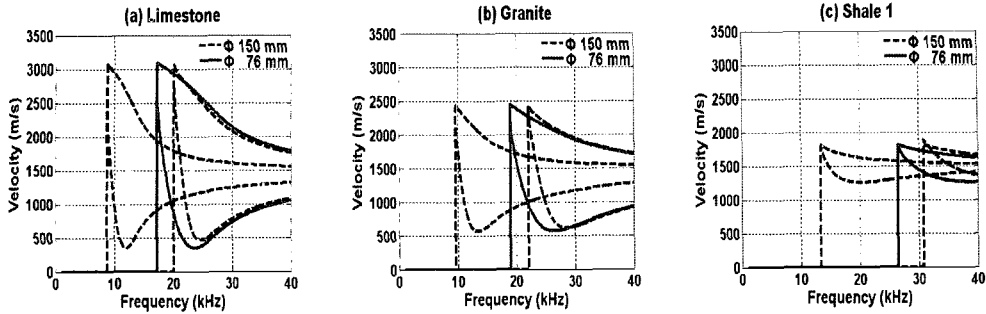


Fig. 8. Comparison of monopole dispersion curves between $\Phi 76$ mm and $\Phi 150$ mm boreholes: (a)limestone, (b)granite, (c)shale1.

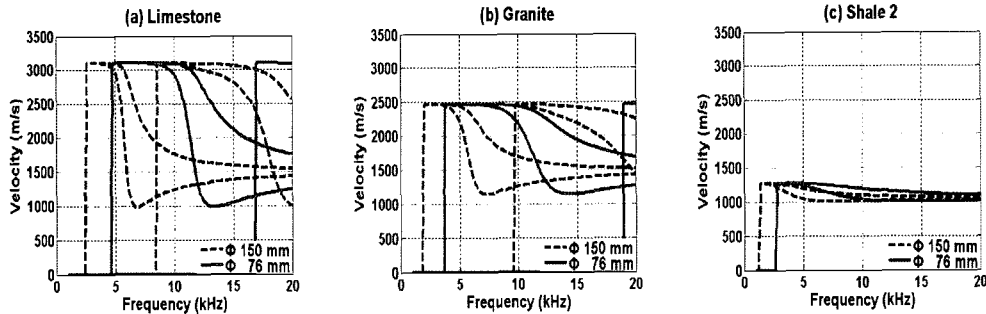


Fig. 9. Comparison of dipole dispersion curves between $\Phi 76$ mm and $\Phi 150$ mm boreholes: (a)limestone, (b)granite, (c)shale2.

와 절단주파수 간의 전반적인 관계는 공경의 크기에 관계없이 거의 일정한 경향을 보지만 절단주파수의 크기는 공경이 클수록 감소 한다는 사실을 알 수 있다. 즉, Fig. 7(a)에서 공경이 76 mm에서 150 mm로 커짐에 따라 절단주파수가 감소하고 그 결과, 150 mm 공경의 분산곡선에서는 2차 모드까지 나타났으며 쌍극음원(b)에서의 1차 모드 쌍과 2차 모드의 쌍이 모두 공경 증대에 따라 절단주파수 감소를 보였다. 공경 크기가 분산곡선에 미치는 영향은 Fig. 8과 Fig. 9에서 더 잘 알 수 있으며, 단극 및 쌍극 음원 모두에서 공경 크기의 변화가 분산곡선의 형태 변화로는 거의 연결되지 않는 대신 절단주파수의 감소로 연결됨을 잘 보여주고 있다.

결 론

밀도, P파속도, S파속도, 공경 등 주요 시추공 환경 요소의 변화가 분산에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위하여 먼저 우리나라에 분포하는 주요 암석의 물성을 대표하는 7 가지의 모델에 대한 분산곡선을 구했으며 그 결과를 비교, 분석하여 분산특성을 규명하였다.

분산곡선은 단극음원에서 40 kHz, 쌍극음원에서 20 kHz까지의 주파수 범위를 적용함으로써 일반적인 음파검층에서의 대상주파수 영역에서의 공경 변화, 음원의 종류, 물성의 변화에 따른 분산특성을 잘 제시할 수 있었다. 단극음원과 쌍극음원, 그리고 1차 모드와 2차 모드에 따라 S파속도와 절단주파수의 관계가 정과 역의 경향을 번갈아 보였으며 속도가 클수록 S파속도 결정이 유리함이 잘 나타났다. 시추공의 공경의 변화에 따른 절단주파수 변화 양상(Sinha and Asvadurov, 2004)도 확인되었다. 음원과 시추공경 그리고 물성을 달리하는 여러 환경에서 유도된 분산곡선을 자세하게 비교 분석함으로써 시추공 음파의 분산특성, 특히 소구경 시추공에서의 분산특성을 규명할 수 있었다.

참 고 문 헌

김득남, 2004, 퇴적암의 물리적·역학적 특성 연구, 교육학석사학위 청구논문, 강원대학교 p. 114.
 한원준, 2004, 한국 화성암 및 변성암의 물리적·역학적 특성에 관한 연구, 이학석사학위논문, 강원대학교, p.122.
 Biot, M.A., 1952, Propagation of elastic waves in a cylin-

drical bore in a fluid, Jour. Applied Physics, 23, 997-1009.

Carmichael, R. S., 1982, Handbook of physical properties of rocks II, CRC Press, p.331.

Cheng, C.H., and Tokso'z, M.N., 1980, Modeling of full wave acoustic logs, SPWLA Annual Logging Symposium, 21st, Laffayette, LA., Transactions, Paper J.

Crain, E. R., 2004, How many acoustic waves can dance on the head of a sonic log?, Crain's Petrophysical Handbook -3rd Millenium Edition.

Paillet, F.L., and Cheng, C. H., 1982, Acoustic waves in boreholes, CRC press, p.264.

Paillet, F.L., and White, J. E., 1982, Acoustic modes of propagation in the borehole and their relationship to rock properties, Geophysics, 47, 1215-1228.

Sinha, B. K., and Asvadurov, S., 2004, Dispersion and radial depth of investigation of borehole modes, Geophysical Prospecting, 52, 271-286.

Weijun Zhao

강원대학교 자연과학대학 지구물리학과
 200-701 강원도 춘천시 효자동 강원대길 1
 Tel: 033-243-5417
 Fax: 033-244-8580
 Email: weijun_zhao@hotmail.com

김영화

강원대학교 자연과학대학 지구물리학과
 200-701 강원도 춘천시 효자동 강원대길 1
 Tel: 033-250-8582
 Fax: 033-244-8580
 Email: yhkim@kangwon.ac.kr

김종만

강원대학교 자연과학대학 지구물리학과
 200-701 강원도 춘천시 효자동 강원대길 1
 Tel: 033-243-5417
 Fax: 033-244-8580
 Email: jm9899@kangwon.ac.kr

2007년 8월 10일 원고접수, 2007년 9월 12일 게재승인