

수신함수를 이용한 관측소 하부의 지진파 속도구조
Crustal structure beneath broadband seismic station
using receiver function

박윤경* 전정수* 김성균**
Park, Yun Kyung Jeon, Jeong-Soo Kim, Sung Kyun

ABSTRACT

The velocity structure beneath the CHNB broadband station is determined by receiver function analysis using by from teleseismic P waveforms. The detailed broadband receiver functions are obtained by stacking method for source-equalized vertical, radial and tangential components of teleseismic P waveforms. A time domain inversion uses the stacked radial receiver function to determine vertical P wave velocity structure beneath the station. The crustal velocity structures beneath the stations are estimated using the receiver function inversion method in the case at the crustal model parameterized by many thin, flat-lying, homogeneous layers. The result of crust at model inversion shows the crustal velocity structure beneath the CHNB station varies smoothly with increasing depth, and there are six discontinuity around 2.5km, 6.25km, 12.5km, 22.5km and 27.5km depth, with Moho discontinuity at about 32.5km depth.

1. 서론

지구물리학적 연구에서 있어서 가장 중요한 목적 중의 하나는 지각과 상부 맨틀의 상세한 구조를 규명하는 것이다. 3성분의 지진기록을 이용하여 관측소 하부의 지각구조를 연구하는 몇 가지 방법들이 개발되었으며, 수신함수분석(receiver function analysis)이 가장 널리 사용되고 있다 (Phinney, 1964; Burdick and Langston, 1977; Owens and Crosson, 1988). 수신함수는 원거리 지진의 P파와 관측소 하부의 Moho면에서 전환된 P_S 전환파를 이용하여 관측소 하부의 지각구조를 계산하는 것이다.

수신 함수를 이용한 연구는 Phinney(1964)의 원거리 지진의 P파의 스펙트럼 진폭 비율을 이용한 P파 모델링과 Langston(1979), Langston and Isaacs(1981)에 의하여 진원과 파선경로에 의한 영향을 제거하는 진원 균일화 방법을 개발되었으며, P_S 전환파의 진폭과 주행시간을 이용하여 관측소

* 한국지질자원연구원 지진센터

** 전남대학교 지구환경과학과, 교수

하부의 지각구조를 규명하였다. 수신함수의 역산 방법으로는 Owen et al.(1984, 1987)에 의한 광대역 지진자료의 P파를 이용하여 시간영역의 지진파를 이용한 역산 방법과 Ammon et al.(1989, 1990)의 주파수영역에서 디콘블루션에 의한 역산, Paulssen et al.(1993)의 Nolet(1987)에서 제안된 실제자료의 계산 값과 이론적인 값 사이의 오차를 이용한 non-linear 역산 등이 있다. 본 연구에서는 원거리 지진의 수신함수 분석을 이용하여 한국지질자원연구원에서 설치, 운영중인 광대역 관측소 철원(CHNB)의 하부 지각 속도구조를 규명하고자 한다.

2. 지진 자료 및 계산 방법

원거리 지진의 수신함수를 분석하기 위하여 진앙위치, 심도 및 발생시각에 대한 정보가 비교적 정확한 USGS(U. S. Geological Survey)지진자료를 이용하였다. 진앙거리 30°이상, 규모 6.0이상이고, S/N비(signal-to-noise ratio)의 값을 향상시키기 위하여 후방위각이 거의 동일한 지진을 선정하였으며, 철원(CHNB)관측소 광대역 지진기록을 스택킹(stacking)하여 사용하였다(표1). 그림 1에는 계산에 사용된 진앙과 관측소의 위치가 나타나 있다.

표 1. 사용된 지진의 지진요소

Date (yy/mm/dd)	Origin Time	Lat. (N°)	Lon. (E°)	Dep. (km)	Mag.	Dist. (deg)	Baz. (deg)	Event ID
2001-02-24	7:23:49	1.27	126.25	35	7.1	36.83	181.46	5
2001-09-11	14:56:51	-0.58	133.13	33	6.5	39.05	170.44	1
2002-09-20	13:33:42	-1.74	134.01	10	6.0	40.32	169.33	2
2002-09-20	15:43:35	-1.68	134.23	10	6.4	40.38	168.89	3
2002-10-10	10:50:21	-1.76	134.30	10	7.7	40.38	168.89	4

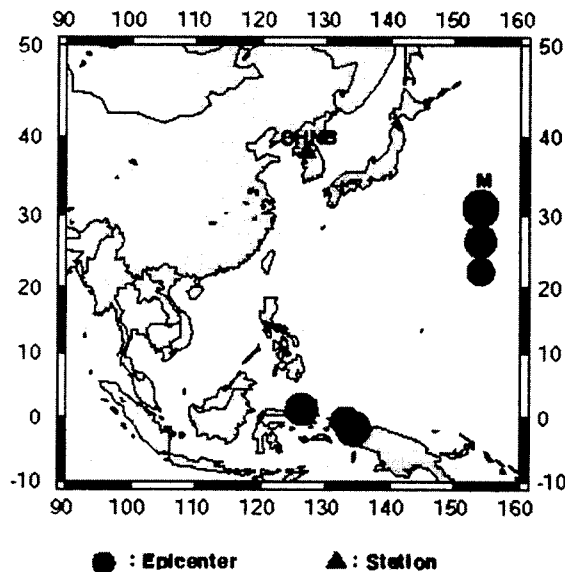


그림 1. 진앙 분포도와 관측소의 위치

그림 2에는 2001. 2. 24(Event 05)에 발생한 지진의 수직성분(U-D), 수평성분(E-W, N-S)의 지진기록과 radial, tangential 성분의 지진기록이 나타나 있다. 수직, radial, tangential 성분의 지진기록에 Langston (1979)에 의한 진원균일화 방법을 적용하여, 진원 함수, 파선 경로와 관측소 하부의 수신지각 응답효과를 제거하였다. 수신함수는 Ammon(1991)에 의하여 개발된 주파수 영역의 디콘볼루션 알고리즘을 이용하였다. Water-level, Gaussian Pulse의 폭은 각각 0.001과 2.5 Hz를 적용하여 radial, tangential 성분의 수신함수를 계산하였다. 그림 3은 각 event에 대한 radial 수신함수와 이를 스택한 수신함수를 나타낸 것이다. P파와 Moho P_S 파의 도달 시간차이는 Event 1의 경우에는 약 3.9 sec, Event 2 ~ Event 5의 경우는 약 3.0 ~ 3.2 sec이며, 스택한 수신함수의 경우는 약 3.3 sec이다. P파와 Moho P_S 파의 진폭비는 약 0.16 ~ 0.20이며, 평균 약0.18이다. 각 Radial 수신함수의 P파와 Moho P_S 파의 도달시간차이와 진폭비가 다르게 나타나는 것은 진앙거리에 따른 입사각의 차이, Moho 불연속면의 경사, 지각 내부에서의 산란, 잡음 등에 의한 영향이다(Langston, 1989; Ammon, 1991).

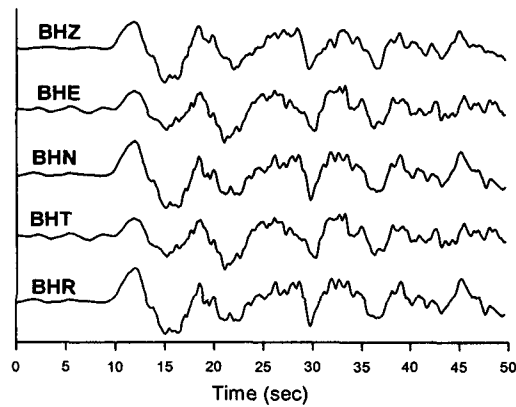


그림 2. 2001. 2. 4(Event 05)에 발생한 지진의 수직(U-D), 수평(E-W,N-S), tangential, radial 성분의 지진기록

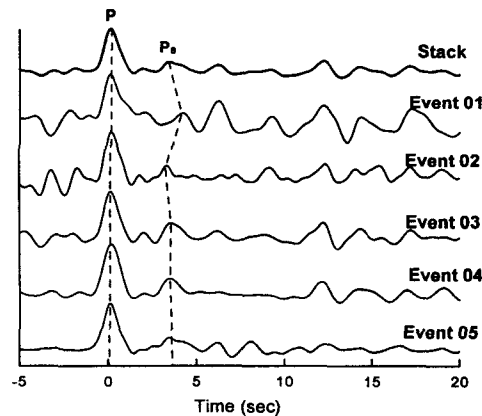


그림 3. 스택한 radial 수신함수와 각 지진에 대한 radial 수신함수의 파형

본 연구에서는 각 지층이 등방성이며, 균질한 수평층으로 되어있다는 가정 하에 Ammon et al.(1991)에 의하여 개발된 수신함수 역산 알고리즘을 이용하였다. 스테킹한 Radial 수신함수에 대한 역산의 초기 모델은 김성균외(1985)의 P파 속도구조를 0 ~ 6.25km까지는 1.5km 두께로, 6.25 ~ 50km까지 2.5km의 두께로 나누어 사용하였으며, 총 23개의 지층으로 구성되어있다. P파 속도는 $V_p = \sqrt{3} V_s$ 이며, 밀도는 $\rho = 0.32 V_p + 0.77$, Poisson's ratio는 0.25로 가정하였다(Berteussen, 1977). 5회의 반복역산을 수행하여 지진파 속도구조를 계산하였다(표 2). 그림 4에는 스테킹한 Radial 수신함수에 대한 역산에 의한 CHNB 관측소 하부의 지각 속도구조와 스테킹한 Radial 수신함수와 이론 수신함수의 파형이 나타나 있다. 역산에 의한 P파 속도구조는 30 km이내의 깊이에서 총 5개의 불연속면을 갖는다. 불연속면의 깊이와 P파 속도는 2.5 km (5.19 km/sec), 6.25 km (5.45 km/sec), 12.5 km(5.73 km/sec), 22.5 km(6.03 km/sec), 27.5km (6.49 km/sec)이다. 또한 32.5km (7.83 km/sec)에서 Moho 불연속면이 존재함을 알 수 있다.

표 2. 역산에 의한 P파 속도구조

Layer	P Velocity, km/s	Thickness, km
1	5.21	1.25
2	5.19	1.25
3	5.43	1.25
4	5.51	1.25
5	5.45	1.25
6	5.79	1.25
7	5.87	2.5
8	5.73	2.5
9	6.03	2.5
10	6.03	2.5
11	6.10	2.5
12	6.03	2.5
13	6.52	2.5
14	6.49	2.5
15	6.75	2.5
16	6.99	2.5
17	7.83	2.5
18	7.96	2.5
19	7.96	2.5
20	7.90	2.5
21	8.01	2.5
22	7.76	2.5
23	7.88	∞

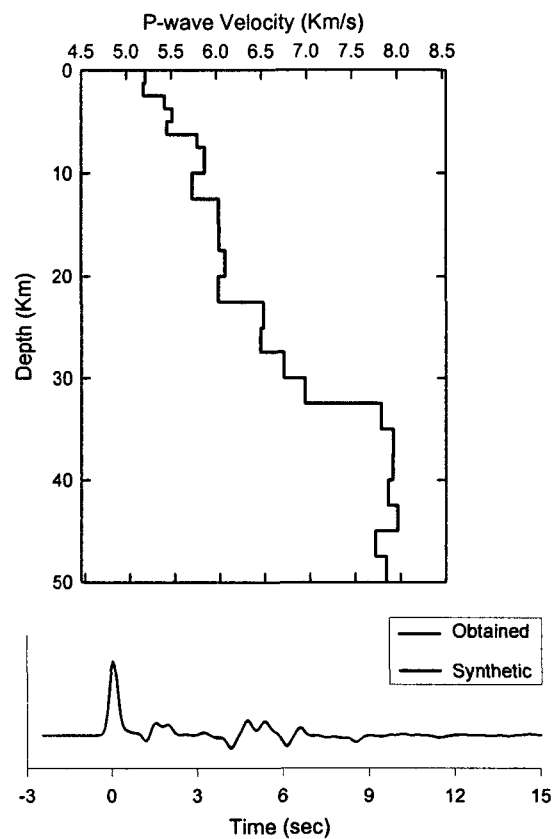


그림 4. 역산에 의한 P파 지각구조와 스테킹한 함수와 이론함수의 파형

3. 결 론

원거리 지진의 P파의 수신함수를 계산하고, 스테킹한 radial 수신함수 역산에 의한 철원 관측소 하부의 속도구조를 계산하였다. 역산 결과 깊이가 증가함에 따라 속도가 증가하는 경향이 있으며, 깊이 30 km 이내에 총 5개의 불연속면이 존재함을 알 수 있었으며, Moho 불연속면은 깊이 32.5 km에 존재함을 알 수 있었다. 추후 연구를 통해 한반도에 분포하는 광대역관측소의 지진자료를 이용하여 후방위각과 거리에 대한 수신함수의 특성을 규명하고, 각 관측소 하부의 지각속도구조를 규명하고자 한다.

참고문헌

1. 김성균, 정부홍 한국 남부지역의 지각구조. 광산지질, 18권, p.151-157, 1985
2. Ammon, C. J., Zucca, J. and Kasameyer, P., An S-to-P converted phase recorded near Long Valley/Moho Craters Region. California, J. Geophys. Res., 94, p.17721-17727, 1989
3. Ammon, C. J., Randall, G., and Zandt, G., On the nonuniqueness of receiver function inversions., J. Geophys. Res., 95, p.15303 - 15318, 1990
4. Berteussen, K. A., Moho depth determinations based on spectral ratio analysis of NORSAR long-period P waves, Phys. Earth Planet. Inter., 15, p.13-27, 1977
5. Burdick, L. J., C. A. Langston, Modeling crustal structure through the use of converted phases in teleseismic body-wave forms, Bull. Seismol. Soc. Am., 67, p.677-691, 1977
6. Langston, C. A., Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. J. Geophys. Res., 84, p.4749-4762, 1979
7. Langston, C. A., Scattering of teleseismic body waves under Pasadena, California., J. Geophys. Res., 94, p.1935-1951, 1989
8. Nolet, G., Waveform tomography, in seismic tomography, p.301-311, ed. Nolet, G., Reidel, Dordrecht., 1987
9. Owens, T. J., Zandt, G. and Taylor, S. R., Seismic evidence for an ancient rift beneath the Cumberland Plateau, Tennessee: A detailed analysis of broadband teleseismic P waveforms. J. Geophys. Res., 89, p.7783-7795, 1984
10. Owens, T. J., Taylor, S. R. and Zandt, G., Crustal structure at regional seismic test network stations determined from inversion of broadband teleseismic P waveforms. Bull. Seism. Soc. Am., 77, p.631-662, 1987
11. Owens, T. J. and Crosson, R. S., Shallow structure effects on broadband teleseismic P waveforms. Bull. Seism. Soc. Am., 78, p. 96-108, 1988
12. Paulssen, H., J. Visser, G. Nolet, The crustal structure from teleseismic P-wave coda -I. Method, Geophys. J. Int., 112, p.15-25, 1993
13. Phinney, R. A., Structure of the Earth's crust from spectral behavior of long period body waves, J. Geophys. Res., 69, p.2997-3107, 1964