

수신함수를 이용한 관측소 하부의 지진파 속도구조 (2) Crustal structure beneath broadband seismic station using receiver function (2)

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. Events divide into 4 groups. four azimuths corresponding to events in group a(southwest), b(south), c(southeast), d(northeast). The result of crust at model inversion shows the crustal velocity structure beneath the CHNB station varies smoothly with increasing depth. The conard discontinuity lies around 18 km and moho discontinuity lies range from 30 to 34 km.

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. 본 연구에서는 원거리 지진의 수신함수 분석을 이용하여 광대역 관측소 칠원(CHNB)의 하부 지각 속도구조를 규명하고자 한다.

* 전남대학교 지구환경과학과, 교수

** 한국지질자원연구원 지진센터

2. 연구방법

원거리 지진의 수신함수를 분석하기 위하여 진앙위치, 심도 및 발생시간에 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(stack)하여 사용하였다. 그림 1에는 철원관측소의 위치와 계산에 사용된 총 21개의 진앙 위치 나타나 있다(표 1).

지진기록의 수평성분(N-S, E-W)을 이용하여 radial, tangential 성분을 지진기록을 계산하였으며, 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.

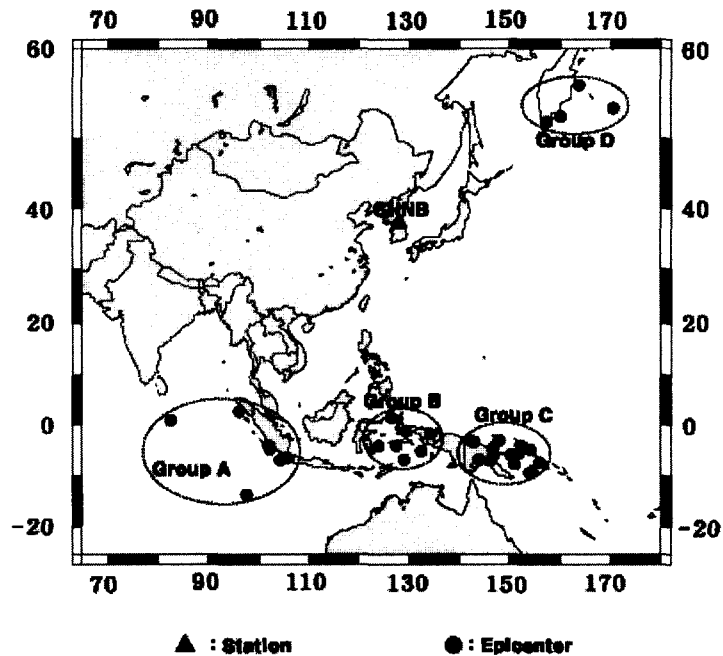


그림 1. 진앙 분포도와 관측소의 위치

표 1. 사용된 지진의 지진요소

Date (yy/mm/dd)	Origin Time	Lat. (N°)	Lon. (E°)	Mag.	Dist. (deg)	Baz. (deg)
2000-7-7	15:46:44.56	51.41	179.98	6.4	38.88	52.69
2001-1-16	13:25:9.83	-4.02	101.78	6.9	48.19	214.95
2001-2-24	16:33:44.68	1.55	126.43	6.2	36.55	181.16
2001-4-4	7:44:11.2	-5.18	132.37	6.4	43.50	172.40
2001-4-19	21:43:42.28	-7.41	155.87	6.7	52.74	143.18
2001-6-5	9:0:5.38	-6.88	146.39	6.4	48.37	154.00
2001-8-2	23:41:6.17	56.26	163.79	6.3	30.22	41.46
2001-9-2	2:25:54.09	0.89	82.50	6.1	55.27	238.72
2001-10-19	3:28:44.46	-4.10	123.91	7.5	42.26	184.77
2001-10-26	23:5:50.95	-18.49	168.11	6.1	68.32	137.95
2001-10-31	9:10:20	-5.91	150.20	7.0	48.91	48.24
2001-11-13	10:43:23.08	53.63	170.55	6	33.29	177.47
2001-11-20	21:8:18.43	-6.88	128.92	6.2	44.95	157.55
2002-1-10	11:14:56.93	-3.21	142.43	6.7	43.64	152.37
2002-6-21	0:5:44.85	-4.49	146.77	6.0	46.28	210.44
2002-6-27	5:50:35.11	-6.96	104.18	6.9	49.81	156.87
2002-9-8	18:44:23.71	-3.30	142.95	7.8	43.88	168.89
2002-10-10	10:50:20.57	-1.76	134.30	7.7	40.38	47.19
2002-11-2	1:26:10.7	2.82	96.08	7.6	45.27	226.47
2002-11-7	15:14:6.76	51.2	179.33	6.6	38.47	53.05
2002-12-20	14:14:42.05	-3.08	147.94	6.4	45.43	150.12

본 연구에서는 각 지층이 등방성이며, 균질한 수평층으로 되어있다는 가정 하에 Ammon et al.(1991)에 의하여 개발된 수신함수 역산 알고리즘을 이용하였다. 또한 후방위각에 대하여 그룹 A(210 - 238°), 그룹 B(168 - 184°), 그룹 C(143 - 157°), 그룹 D(41 - 53°)의 총 4개 그룹으로 나누어 역산을 수행하였다. 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). 스테킹한 Radial 수신함수에 대한 역산의 초기 모델은 김상조 외(1983), 김성균(1995), Kim(1999), Choi(2000), 전정수 외(2000)의 P파 속도구조를 0 ~ 6.25km까지는 1.5km의 두께로, 6.25 ~ 50km까지 2.5km의 두께로 나누어, 총 23개의 지층으로 구성되어있다. 5회의 반복역산을 수행하여 지진파 속도구조를 계산하였다. 그림 2에는 그룹 A, B, C, D에서 5개의 초기 모델에 의한 역산의 평균값을 나타낸 것이다. 역산에 의한 P파의 속도는 깊이가 증가함에 따라 증가하는 양상을 보이며, 진앙의 위치가 관측소에 대하여 남쪽에 있는 그룹 A, B, C의 경우는 깊이 1.5km 지점에서의 속도가 3.5 - 4.5 km/sec 정도이며, 북쪽에 위치하는 그룹 D의 경우에는 동일 깊이에서 5.5 km/sec의 속도를 갖는다. 불연속면은 깊이 35km에 존재하며, 속도는 7.65 - 7.73km/sec 이다.

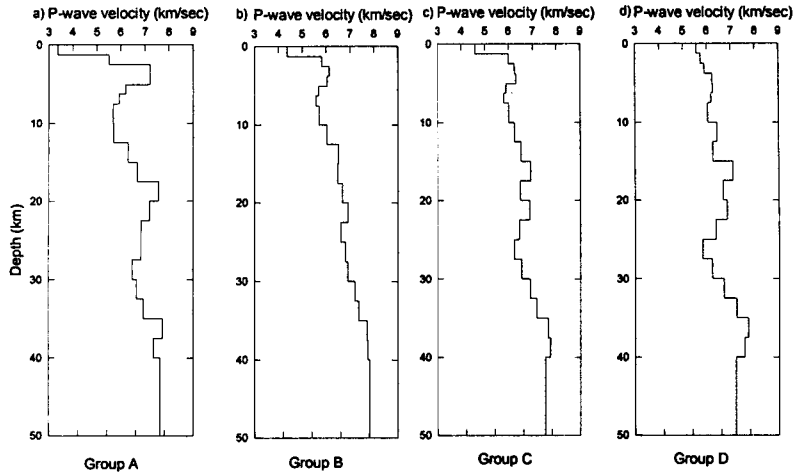


그림 2. 초기모델 김상조 외(1983), 김성균(1995), Kim(1999), Choi(2000), 전정수 외(2000)의 P파 속도구조에 대한 수신함수 역산의 P파 평균 속도

3. 결 론

원거리 지진의 P파의 수신함수를 계산하고, 후방위각에 대하여 4개의 그룹으로 나누어 스테킹한 radial 수신함수 역산에 의한 철원 관측소 하부의 속도구조를 계산하였다. 역산 결과 깊이가 증가함에 따라 속도가 증가하는 경향이 있으며, 후방위각에 따라 다소 다른 경향의 역산 결과를 얻을 수 있었으며, Conrad 불연속면의 깊이는 약 18 km에 존재하며, Moho 불연속면의 깊이는 약 30 - 34 km에 존재함을 알 수 있었다. 추후 연구를 통해 한반도에 분포하는 광대역관측소의 지진 자료를 이용하여 후방위각과 거리에 대한 수신함수의 특성을 규명하고, 각 관측소 하부의 지각속도구조를 규명하고자 한다.

참고문헌

1. 김성균, 한반도의 지각구조에 관한 연구. 지질학회지, 31권, p.393-403, 1995
2. 전정수, 전명수, Velest를 이용한 남한 지역의 P파 속도구조 분석, 한국지진공학회 2000년도 춘계학술대회 논문집, p.49-54, 2000
3. 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
4. Ammon, C. J., Randall, G., and Zandt, G., On the nonuniqueness of receiver function inversions., J. Geophys. Res., 95, p.15303 - 15318, 1990
5. 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
6. 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
7. Choi, H.S., Estimation of crustal velocity structure in southeastern Korea, M.S. thesis, Seoul National University.,2000
 8. Kim, W.H., P-wave velocity structure of upper crust in the vicinity of the Yangsan Fault region, *Geosciences Journal*, 3, p.17-22, 1999
 9. Langston, C. A., Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. *J. Geophys. Res.*, 84, p.4749-4762, 1979
 10. Langston, C. A., Scattering of teleseismic body waves under Pasadena, California., *J. Geophys. Res.*, 94, p.1935-1951, 1989
 11. Nolet, G., Waveform tomography, in seismic tomography, p.301-311, ed. Nolet, G., Reidel, Dordrecht., 1987
 12. 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
 13. 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
 14. Owens, T. J. and Crosson, R. S., Shallow structure effects on broadband teleseismic P waveforms. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 78, p. 96-108, 1988
 15. Paulssen, H., J. Visser, G. Nolet, The crustal structure from teleseismic P-wave coda -I. Method, *Geophys. J. Int.*, 112, p.15-25, 1993
 16. 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