

횡파단면 작성을 위한 굴절된 횡파와 표면파 자료 역산 결과 비교

이창민¹⁾, 김기영¹⁾

¹⁾강원대학교 지구물리학과, min78072@kangwon.ac.kr

Comparison of shear-wave sections from inverting refracted shear waves and surface wave dispersions

Chang Min Lee¹⁾, Ki Young Kim¹⁾

¹⁾Department of Geophysics, Kangwon National University

요약 : P파 및 SH파 굴절법 토모그래피와 표면파 분산자료 역산을 통하여 2차원 P파와 S파 속도단면을 얻었다. 두 방법으로 구한 S파 속도단면을 비교한 결과, 두 단면의 전체적인 양상은 서로 비슷하지만, 표면파 역산으로 구한 S파 속도단면이 전반적으로 작은 값을 갖는다. SH파는 잡음에 매우 취약하고, P파와 PS 전환파의 도달 이후에 기록되어 초동선택이 어려운 문제가 있으며, 표면파의 분산곡선 역산은 균질한 수평지구모델을 가정하므로, 수평적 변화 심한 곳에서는 정확한 지하구조를 밝히는데 한계가 있음을 확인할 수 있었다.

주요어 : 굴절법 토모그래피, 초동주시, SH파, 표면파 분산

Abstract : Two-dimensional velocity tomograms of P- and S-waves were obtained by inverting traveltimes of first arrivals. The two sections of shear-wave velocity show similar features as a whole, with smaller values on the section from surface wave dispersions. Difficulties in picking SH-wave phases due to noise and later arrivals than P waves and PS converted waves are experienced. In addition, a flat layer model based on the surface wave inversion prohibits applications of the method where shear wave velocities vary strongly in the lateral direction.

Keyword : refraction tomography, traveltimes of first arrivals, SH-waves, dispersion of surface waves

1. 서론

동탄성계수는 시공이나 설계의 안정성을 측정하는데 직접적인 판단 요소로 작용하며, 이러한 중요성 때문에 동탄성계수를 구하기 위한 많은 연구가 수행되어왔다. 굴절법 P파와 더불어 SH파 조사를 실시함으로써 포아송비와 강성률을 구하는 것이 가장 대표적인 방법이며, 이 중 S파 속도구조의 획득방법으로 굴절파주시 토모그래피(traveltime tomography of refractions)와 표면파 분산자료 역산 방법이 많이 사용되고 있다. 표면파 분산곡선으로부터 S파 속도를 구하는 방법은 전통적으로 두 개의 수신채널을 이용한

SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) 방법이 사용되어 왔으며, 다중채널 방법인 MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) 방식(Park et al., 1999) 이 소개된 이후 이 방법이 널리 사용되고 있다. 최근 이 MASW 방법에 공중점 상호상관 원리를 추가한 CMPCC (Common Midpoint Cross-Correlation) 방법(Hayashi, 2004) 은 표면파 방법이 가지고 있던 위치의 정확성 및 해상도 문제를 많이 해결하였다.

굴절과 주시 토모그래피는 1917년 Radon에 의해 발표된 주시 토모그래피 개념을 굴절과 자료해석에 도입한 방법으로, 기존의 고전적 굴절법의 전제조건인 층 구조를 가정하지 않으므로 지형과 지질구조가 좀 더 복잡한 환경에서도 적용할 수 있다는 장점을 가진다(김기영 외, 2002). 표면파 분산자료 역산 방법은 주파수에 따라 위상속도가 달라지는 분산특성을 이용하는 방법으로, 대부분의 탄성과 파워발생 장치로 비교적 손쉽게 표면파를 발생시킬 수 있는 장점이 있어 최근 많이 사용되고 있다.

이 논문에서는 S파 속도가 조사방법에 따라 나타나는 차이를 알아보기 위해 SH 굴절법 토모그래피와 CMPCC 방법을 이용하여 속도단면을 구하여 비교하였다.

2. 자료획득 및 처리

길이 117.5 m인 동일한 측선을 따라 굴절법 토모그래피와 CMPCC 방법을 이용한 표면파 조사를 수행하였다. P파와 표면파 탐사시 수신기는 지표면에 수직 진동을 감지할 수 있는 100 Hz와 4.5 Hz의 모서리주파수를 갖는 수직 지오폰을 각각 사용하였으며, SH파는 8 Hz 수평 지오폰을 측선에 수직이며 지표면에 수평하게 설치하여 수신하였다. P파와 표면파는 5 kg의 해머를 알루미늄판에 수직으로 타격하여 발생시켰으며, SH파는 50 kg의 직육면체 원목의 좌우 측면을 타격하는 방식으로 발생시켰다(Fig. 1). SH파 탐사에서는 좌측타격기록에서 우측타격기록을 빼줌으로써 SH파 신호를 강화시키고 P파를 감쇠시켰다. 표면파 조사는 24개의 지오폰을 2번 전개하여 얻은 굴절법 조사와 달리 반사법 조사방법으로 흔히 사용되는 끝점발파(end-on) 방식을 이용하여 총 50개의 발파자료를 기록하였다(Table 1).

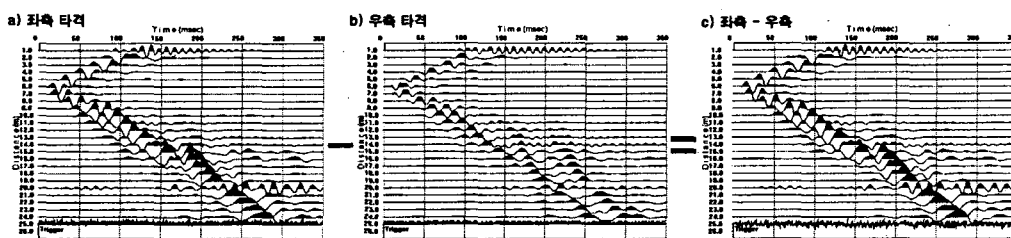


Fig. 1. Field data for shear waves. Shear-wave signals were enhanced after subtraction of data set (a) hit on the left side from data set (b) hit on the right side to get shear-wave output data (c).

Table 1. Acquisition parameters.

	P wave	SH wave	Surface wave
Source	5 kg hammer	5 kg hammer	5 kg hammer
Vertical Stack	500 %	300 %	300 %
Receiver Type	100 Hz geophone	8 Hz geophone	4.5 Hz geophone
Receiver Spacing	2.5 m	2.5 m	2.5 m
Record Length	512 ms	512 ms	1024 ms
Sampling Interval	0.5 ms	0.5 ms	1 ms

굴절법 토모그래피 자료처리는 획득한 원시자료를 포맷변환, 송·수신기 배치정보 입력, 초동선택, 속도 분석, 고도자료입력 토모그래피 역산 등의 순으로 처리하였다(Fig. 2a). 기록계에 수치 형태로 저장된 원시자료를 자료처리용 소프트웨어의 내부포맷으로 변환하였으며, 수신기 및 타격점의 위치를 입력하고, 초동을 선택한 후, 주시곡선을 작성하였다. 지형보정을 위한 상대고도를 입력한 후, P파는 300~1700 m/s, SH파는 100~900 m/s의 속도범위를 갖는 15개 층의 초기모형을 작성하고, 10회 반복계산 과정을 거쳐 역산을 수행하였다. 표면파 분산곡선 역산을 위한 CMPCC 방법의 자료처리는 포맷변환, 송·수신기 배치정보 입력, 공중점 모음, 분산곡선에서 초동선택, 위상 속도 분석, 역산 등의 순으로 적용하였다(Fig. 2b). 먼저 기록된 자료를 자료처리용 소프트웨어 내부포맷으로 변환시키고, 파원 및 수신기의 위치 정보를 입력하였다. 공중점 상호상관 분석법을 사용하기 위해 전체 자료를 5 m 간격의 공중점 모음자료로 만들고, 주파수 대역의 분석이 가능한 5~55 Hz에서 분산곡선을 산출하였다. 초기모형은 100~900 m/s 속도범위를 가지며 하부로 갈수록 속도가 증가하는 15개 층으로 구성된 초기모형을 사용하여, 비선형 최소자승법 역산을 반복 수행하여 횡파속도단면을 얻었다(Xia et al., 1999).

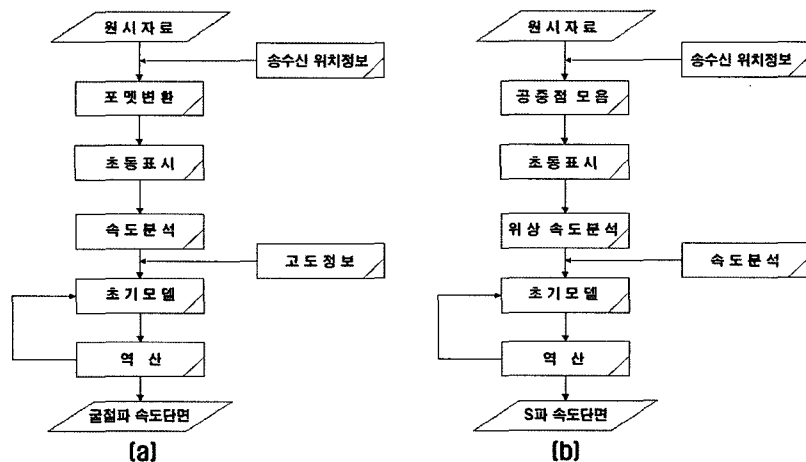


Fig. 2. Sequences for the data processing for (a) the traveltime tomography of refracted waves and (b) the CMPCC method, respectively.

3. 분석 및 토의

P파, SH파 토모그래피 속도단면(Fig. 3)과 CMPCC 방법을 이용한 S파 속도단면(Fig. 4)은 모두 축선을 따라 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 속도가 증가하는 양상을 보인다. 구조의 특징을 자세히 살펴보면 P파와 CMPCC 방법을 이용한 속도단면에서는 거리 60 m 부근에서, S파 토모그래피 단면에서는 거리 70 m 부근에서 수평적인 속도의 변화가 인지된다. 이와 같이 SH파 속도단면에서 수평적 위치에 대한 신뢰도가 떨어지는 것은 SH 굴절파 기록이 표면파에 비해 신호/잡음 비가 낮고, SH파 이전에 P파와 PS전환파가 도달하여 초동선택에 있어서 어려웠던 점 등의 요인 때문인 것으로 판단된다.

또한 속도주시를 이용한 토모그래피와 CMPCC 방법을 이용한 속도구조는 축선의 양 끝단에서 큰 차이를 나타내며, 15 m 하부에서는 해상도가 현저히 낮아지는 모습을 보인다. 이러한 현상은 CMPCC 역산 수행시 필요한 공중점 모음자료가 부족하여 양단의 결과를 신뢰할 수 없고, 표면파 분산시 깊이가 깊은 지역을 나타내는 저주파대역 해상도가 낮아지는 특성에 기인한 것으로 생각된다. 표면파 탐사는 균질한 수평지구모형을 가정하

므로, 복잡한 층에서는 실제모델과 약간의 차이를 보일 수 있으며, 저주파 대역은 정확한 분산곡선을 산출할 수 없기 때문에 깊은 심도를 영상화 하는데 일반적으로 부적합하다. 또한 CMPCC 조사는 반사법과 동일한 자료획득 방법을 적용하므로, 획득시간이 굴절법에 비해 더 많이 걸리는 단점이 있다. 그러나 자료 수가 많기 때문에 수평 해상도가 높으며, 수동으로 초동을 선택하여 주시곡선을 작성하는 굴절법과는 달리 자동으로 분산곡선이 작성되므로 자료처리에 있어서 객관성을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장단점을 알고 조사한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 생각된다.

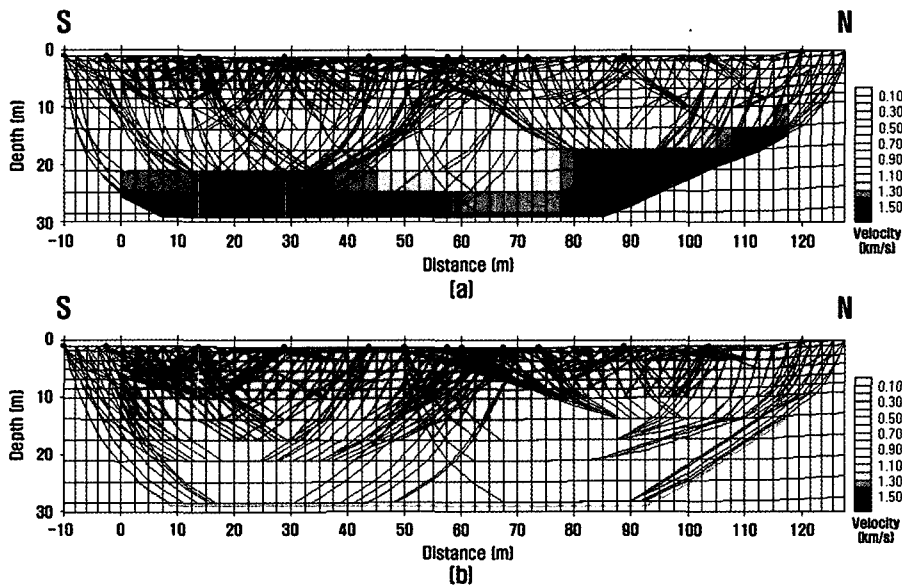


Fig. 3. (a) P- and (b) S-waves tomograms. Raypaths and cell boundaries are superimposed on the tomograms.

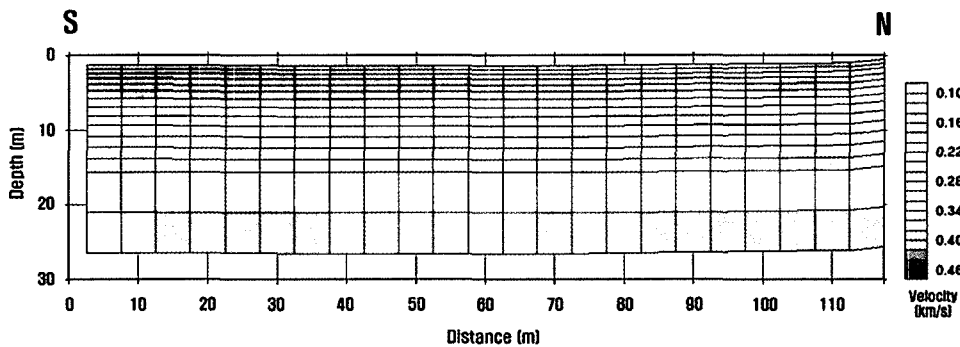


Fig. 4. S-wave tomogram obtained using the CMPCC method. Cell boundaries are superimposed on the tomogram.

참고문헌

- 김기영, 김동훈, 2002, 대규모 발파 후보지의 지하구조 확인을 위한 탄성과 굴절법 조사, *지구물리*, 5, 153-161.
- Hayashi, K., Suzuki, H., 2004, CMP cross-correlation analysis of multi-channel surface-wave data, *Exploration Geophysics*, 35, 13-19.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, *Geophysics*, 64, 800-808.

횡파단면 작성을 위한 굴절된 횡파와 표면파 자료 역산 결과 비교

- Radon, J., 1917, Über die Bestimmung von Functionen durch ihre integralwerte langs gewisser Mannigfaltigkeiten, *Bu. Succhass. Akad. Leipzig: Math. K.*, 69, 262.
- Xia, J., Miller, R.D., and Park, C.B., 1999, Configuration of near surface shear wave velocity by inverting surface wave, Proceedings of the symposium on the application of geophysics to engineering and environmental problems' 99, 95-104.