

인공지진결면파해석에 기초한 경사지층구조추정모의

차신혁, 문성철

인공지진결면파를 리용한 지층구조탐측방법은 얇은 지층의 가로파속도구조를 밝히는 데서 효과적인 방법으로 리용되고있다. 이 방법은 크게 3단계 즉 결면파의 수감부배렬관측단계, 배렬관측자료로부터 위상속도분산곡선의 추출단계, 위상속도분산곡선의 역해석에 의한 적합한 지층구조모형추정단계로 구성된다.[5] 이와 관련한 선행연구[1, 2, 4]들에서는 지층구조모형추정의 정밀도를 높이기 위하여 결면파다통로기록자료로부터 높은 분해능을 가진 위상속도분산곡선을 추출할수 있는 성김신호재구성방법과 같은 효과적인 방법들이 제기되었다.

결면파방법들에서는 이러한 분산곡선의 역해석에 의한 지층구조모형추정단계에서 대부분 지층구조를 수평층상구조로 보고 역해석을 진행하고있다.[3, 6] 그러나 실지 지층들은 일반적으로 평행층상구조가설을 만족하지 않으며 경사경계를 비롯한 보다 복잡한 구조를 가진다. 그러므로 역풀이단계에서 실제적인 조건에 적용할수 있는 분해능이 보다 높은 역풀이수법을 적용하여야 한다.

론문에서는 인공지진결면파의 배렬관측해석에 기초하여 경사경계면을 가진 지층구조를 추정모의하였다.

1. 결면파배렬관측자료의 모의 및 분산영상의 생성

각이한 경사각을 가진 경사지층구조에서 결면파기록자료를 얻기 위하여 다중물리마당해석프로그램인 Comsol Multiphysics를 리용하였다.

모의에서 리용한 지층구조모형과 원천신호의 진폭스펙트르는 그림 1과 같다. 그림 1의 ㄱ)에서 α, β, ρ 는 매층에서의 가로파속도, 세로파속도, 밀도이며 1, 2, 3은 층번호이다.

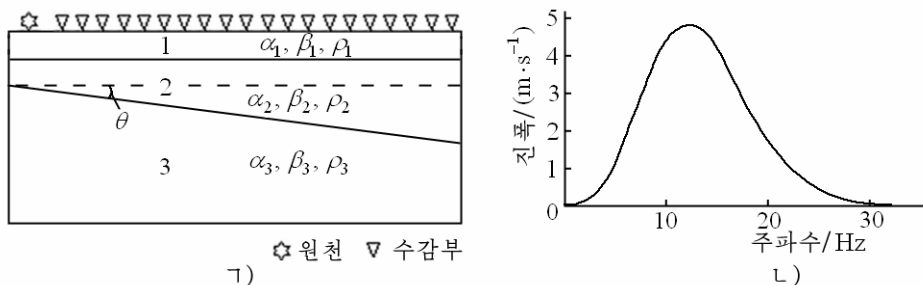


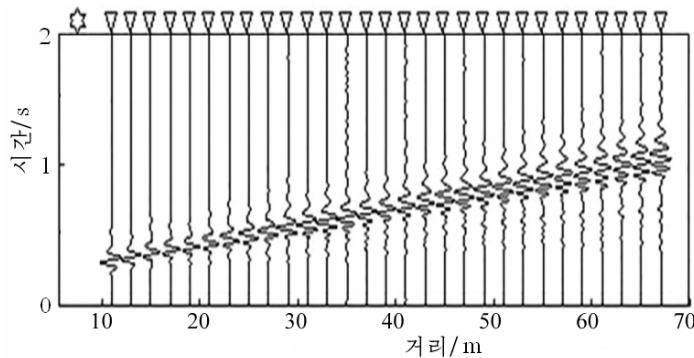
그림 1. 지층구조모형(ㄱ)과 원천신호의 진폭스펙트르(ㄴ)

모의에서 리용한 지층매질은 선형탄성매질이며 층별매질의 특성과라메터는 표와 같다. 모의에서 제일 윗경계면에는 자유경계조건을 주고 3층은 반무한층으로 하였다. 원천신호로는 그림 1의 ㄴ)에서 보여준것과 같은 스펙트르를 가지는 웨블레트를 리용하였으며 원천으로부터 제일 가까운 수감부까지의 거리는 6m, 수감부사이의 간격은 우와 같은 지층모형에서 전파되는 결면파최소파장의 절반정도로써 2m로 하였다.

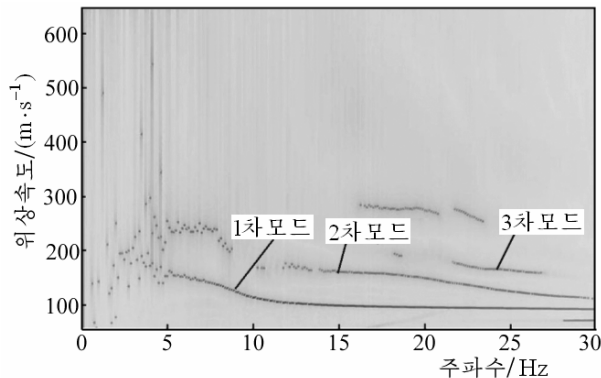
표. 층별매질의 특성파라미터

가로파속도/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	세로파속도/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	밀도/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
100	200	1 600
200	300	1 800
300	600	2 000

지층구조의 제일 옷층의 두께는 5m이며 두번째 층 아래경계면의 경사각 θ 를 변화시키면서 ($10, 15, 20^\circ$) 29개의 수감부들에서 기록자료를 모의하였다. 자료는 0.005s간격으로 8s 동안 기록하였다. 경사각 $\theta=10^\circ$ 일 때 2s동안의 모의기록자료는 그림 2와 같다.

그림 2. 경사각 $\theta=10^\circ$ 일 때 2s동안의 모의기록자료

이러한 경사지층에 대하여 얻어진 결면파모의기록자료로부터 성검신호재구성수법[1]을 적용하여 고분해능위상속도분산영상을 얻었다. 경사각 $\theta=15^\circ$ 일 때의 위상속도분산영상은 그림 3과 같다.

그림 3. 경사각 $\theta=15^\circ$ 일 때의 위상속도분산영상

경사각이 10° 와 20° 인 경우에도 얻어진 위상속도분산특성들은 그림 3과 크게 차이하지 않는다.

2. 경사경계면을 가진 지층구조의 역해석

인공지진결면파방법에서 관측으로부터 얻어진 위상속도분산특성으로부터 그러한 결면파분산의 원인으로 되는 지층구조를 정확히 역풀이하는것은 실천적으로 매우 중요한 의미를 가진다. 이로부터 경사지층구조와 같은 일반적인 경우에 지층자름면모형을 보다

정확히 역해석할수 있는 한가지 새로운 수법을 적용하였다.

일반적으로 경사지층우에서 인공지진결면파 배열관측을 진행할 때 배열크기가 큰 경우에는 그 공간범위에 대하여 평행성을 론의할수 없다. 그러나 이때 배열에서 수감부들사이의 간격은 지표면으로 전파되는 결면파최소파장의 반파장보다 작게 설정하므로 서로 이웃한 두 수감부아래에 놓여있는 지층구조는 근사적으로 수평층상구조로 볼수 있다.

이러한 가정밑에서 관측배열의 린접한 두 수감부들에서 기록한 결면파기록들로부터 결면파스펙트르분석법(SASW법)을 리용하여 위상속도분산곡선을 얻고 하스켈(Haskel)의 전달행렬방법과 같은 수평층상구조에서의 정문제풀이법들을 적용하여 지층구조에 대한 역해석을 진행한다. 이런식으로 전체 수감부배열의 서로 이웃한 수감부기록들로부터 위상속도분산곡선을 얻고 역해석을 진행하면 경사경계면뿐만아니라 임의의 불균일한 경계면을 가진 지층구조도 추정할수 있다.

경사지층구조의 역해석과정은 다음과 같은 단계들로 갈라볼수 있다.

① 배열관측으로부터 얻어진 분산영상에서 해당한 결면파모드를 선택하고 단모드기록자료를 재구성한다. 이 과정에 역해석에 미치는 결면파의 부차적인 모드들의 간섭영향을 약화시킬수 있다.

역해석과정에 고차모드들의 영향을 제거하고 역해석의 정확성을 높이기 위하여 1차 모드만을 선택하고 그에 해당한 기록자료를 재구성한다. 그것은 그림 3에서 볼수 있는것처럼 결면파의 에네르기가 대부분 1차모드에 집중되어있기때문이다.

경사각 $\theta=10^\circ$ 일 때 그림 3과 같은 분산영상으로부터 분리한 1차모드분산곡선과 그로부터 재구성한 결면파기록자료는 그림 4와 같다. 이 단모드기록을 다음단계에서의 관측기록으로 한다.

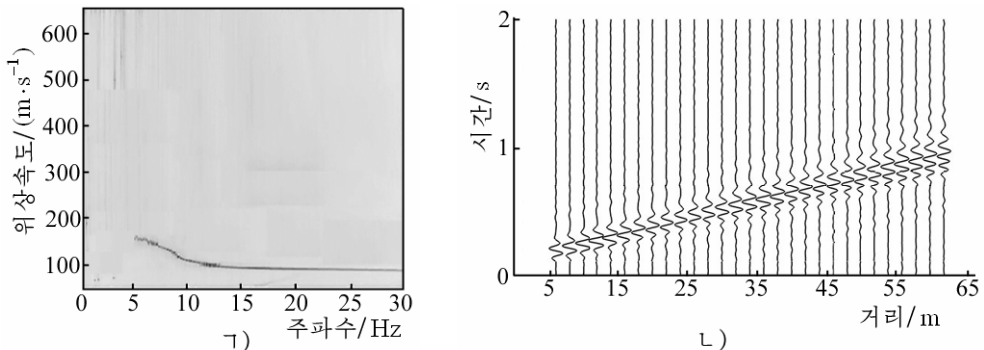


그림 4. 경사각이 $\theta=10^\circ$ 일 때 1차모드분산곡선(a)과 그로부터 재구성한 결면파기록자료(b)

② 재구성한 단모드기록자료로부터 서로 이웃한 2개의 수감부쌍들에 대하여 SASW법을 리용하여 분산곡선을 얻는다. 이때 위상속도분산곡선은 다음의 식을 리용하여 구할수 있다.

$$V(f) = \frac{x}{\Delta t} = \frac{2\pi f x}{\Delta \theta} \quad (1)$$

여기서 x 는 이웃한 수감부사이의 간격, $\Delta \theta$ 는 두 기록에서의 위상차이다.

매 린접한 기록쌍들에 대하여 얻어진 분산곡선들을 차례로 역해석하여 배열이 설치된 범위의 전체적인 지층구조모형을 얻는다.

원천에서 제일 가까운 2개의 수감부쌍에 대하여 얻은 위상속도분산곡선을 역해석하고 얻어진 지층구조를 다음번 기록쌍에 대한 초기지층모형으로 리용하여 지층구조탐색의 속도와 정확성을 높인다.

탐색알고리즘으로 비선형최소두제곱법을 리용하였다. 경사각 $\theta=10^\circ$ 인 경우에 대하여 추정한 지층구조를 실지모형(실선으로 표시)과 비교하였다.(그림 5)

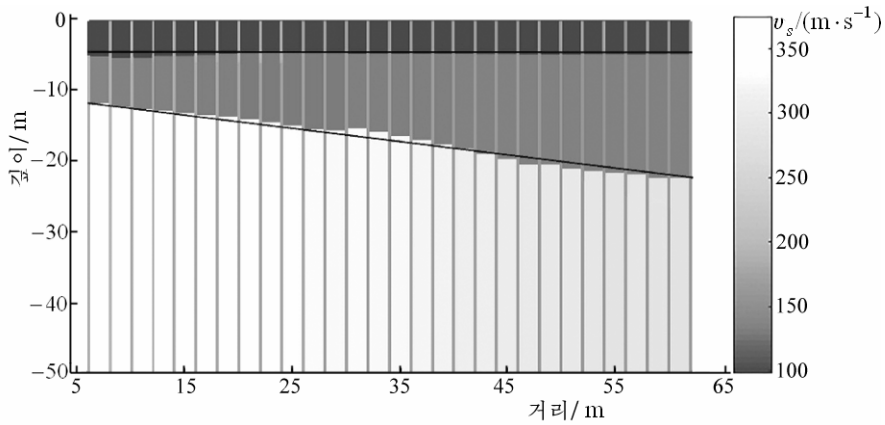


그림 5. $\theta=10^\circ$ 일 때의 역해석결과

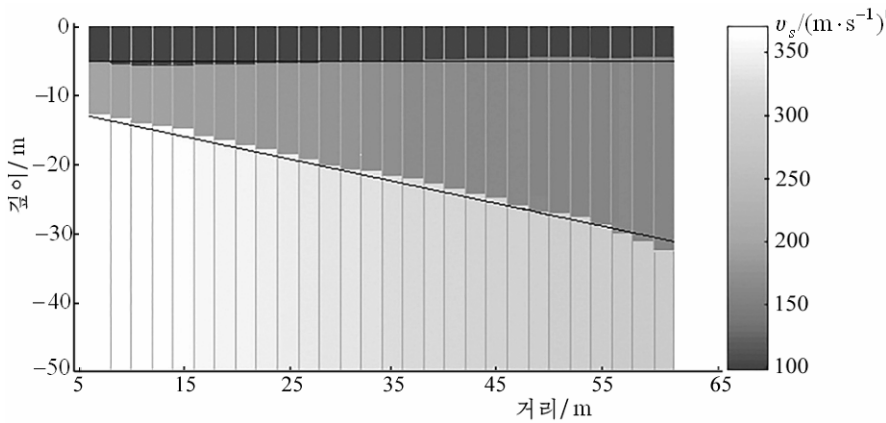


그림 6. $\theta=15^\circ$ 일 때의 역해석결과

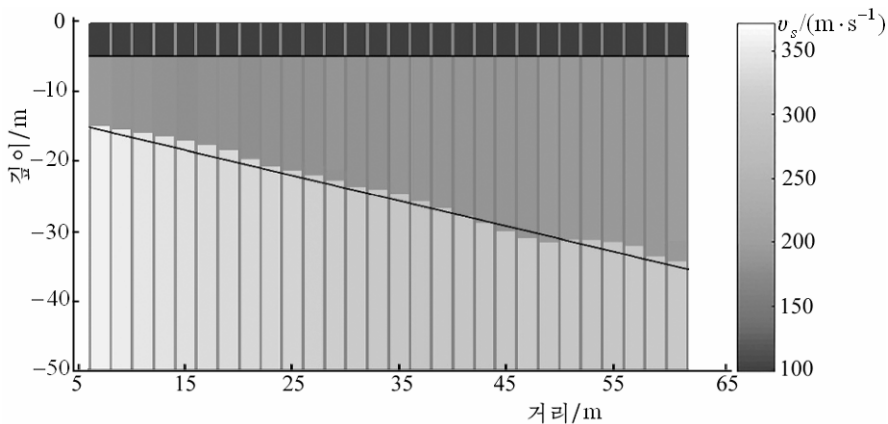


그림 7. $\theta=20^\circ$ 일 때의 역해석결과

그림 5와 층경사가 더 큰 경우들에 대하여 얻어진 모의결과(그림 6, 7)들은 경사경계면을 가진 지층구조자름면과 가로파속도구조추정에서 제안된 수법의 효과성을 보여준다.

맺 는 말

론문에서는 인공지진결면파마당의 모의를 실현하고 그에 기초하여 경사지층의 자름면을 정확히 추정할수 있는 역풀이수법을 검증하였다. 이 경사지층구조추정수법의 적용은 인공결면파를 리용한 고분해능지층구조탐측을 실현하는데서 중요한 의의를 가진다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 물리학, 64, 1, 56, 주체107(2018).
- [2] S. Mun et al.; Geophys. J. Int., 203, 2, 818, 2015.
- [3] D. Boiero et al.; Geophysics, 76, 6, 85, 2011.
- [4] Y. Luo et al.; Geophys. J. Int., 179, 254, 2009.
- [5] L. V. Socco et al.; Geophysics, 75, 5, 83, 2010.
- [6] A. Mordret et al.; Geophys. J. Int., 198, 1514, 2014.

주체107(2018)년 9월 5일 원고접수

Simulation Study on the Estimation of Sub-Soil Structure with a Slope Interface by Analysis of Synthetic Seismic Surface-Wave

Cha Sin Hyok, Mun Song Chol

We presents a simulation study to estimate the sub-soil structure with a slope interface by analysis of synthetic seismic surface-wave.

Key words: inversion, slope interface, phase-velocity dispersion, seismic surface-wave