

## 복소트레이스 분극필터를 이용한 다성분 탄성파자료 신호분리

김기영<sup>1)</sup>, 이소영<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>강원대학교 지구물리학과, [kykim@kangwon.ac.kr](mailto:kykim@kangwon.ac.kr)

### Separation of Seismic Signals using a Polarization Filter based on the Complex Trace Analysis Method

Ki Young Kim<sup>1)</sup>, So Young Lee<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Geophysics, Kangwon National University

**요약** : 천부 탄성파 탐사 기록에서 신호부를 약화시키는 레일리파를 제거하고, 초동 인지가 어려운 S파 신호를 강화하는 방법을 제시하고자 다성분 복소트레이스 분석법에 기초한 분극 필터를 작성하였다. 이 분극필터의 효율성을 시험하기 위해서 단순한 수평 2층 모델 자료를 유한차분법으로 합성하였다. 그 결과 타원운동을 하는 레일리파가 비교적 잘 제거되고 선형 운동의 P파와 S파도 효과적으로 분리됨을 볼 수 있었다.

**주요어** : 다성분 복소트레이스 방법, 분극필터, 레일리파, P파, S파

**Abstract** : Polarization filtering based on the multicomponent complex trace analysis method is performed to reject Rayleigh waves and to enhance S waves. To test the polarization filter, synthetic seismic data were constructed for a simple two-layer model based on the finite difference method. Rayleigh waves with elliptic motion are eliminated effectively and P and S waves with linear motions are well separated each other.

**Keywords** : Multicomponent complex trace method, polarization filter, Rayleigh waves, P waves, S waves

#### 1. 서론

탄성파 자료에서의 신호대 잡음비는 자료처리 결과의 질을 가늠하는 중요한 요소로 작용한다. 잡음은 신호에 포함되어 있는 원하는 정보를 제외한 나머지 모든 에너지를 가리키며 무작위 잡음과 일관성 잡음으로 구분된다. 일관성 잡음에 해당하며, 저주파, 저속도 특성의 레일리파가 많이 발생하는 지역에서의 기록은 하부시간대의 반사파 신호를 인지하기 어려우므로, 자료획득 및 자료처리 과정에서 이를 약화시키거나 제거하여 분석 및 해석과정에서 더 정확한 결과를 얻으려는 노력이 수반된다.

이러한 노력의 일환으로 분극필터가 사용되며 지구물리학의 다양한 분야에서 응용되고 있다. 지진학에서 원거리 이벤트(teleseismic event)를 구분하기 위하여 공분산행렬을 이용한 필터를 고안하여 적용한 바 있으며(Archambeau et al., 1966; Flinn, 1965; Archambeau and Flinn, 1965; Montalbetti and Kanasewich, 1970), Mercado (1968)는 P파와 레일

리파를 분리하기 위해 자유면에서의 수직, 수평성분 운동의 위상관계에 기초한 선형필터를 유도하여 3성분 탄성과 자료에 적용시켰다. Goebel (1984)은 실수부와 허수부가 각각 수직, 수평성분의 입자운동으로 표현된 복소 트레이스를 Fourier 변환한 후 원형운동과 선형운동의 스펙트럼 차이를 사용하는 분극필터를 제안했다. Kim (1987)은 René et al. (1986)의 다성분 복소트레이스 분석법을 이용하여 분극특성을 구하고 수평운동이 기록된 자료로부터 수직운동을 예측하여 수직자료로부터 빼는 형식으로 레일리파를 분리해 내는 데 성공한 바 있다.

이 연구에서는 Kim (1987)의 방법을 수정하여 레일리파의 제거뿐 아니라 P파와 S파를 분리하여 굴절된 S파 자료처리에 도움이 되는 방법을 개발하고 이를 합성자료에 적용시켜 효율성을 검증하였다.

## 2. 배경 이론

René et al. (1986)의 복소 트레이스 분석법(multicomponent complex trace method)을 사용하여 매질의 입자운동 특성, 즉 분극특성에 대한 정보를 얻을 수 있다. 복소 트레이스 분석법은 실제로 기록된 동상 트레이스  $\vec{r}(t)$ 와 이 동상 트레이스를 힐버트변환(Hilbert transform)하여 얻은 이상 트레이스  $\vec{q}(t)$ 의 합으로 정의된다. 분극특성으로는 순간진폭  $A(t)$ 와 순간위상  $\theta(t)$ , 순간위상차  $\phi(t)$ , 순간접근각  $\tau(t)$ , 순간역타원을  $\rho(t)$  등이 제안되었으며, 이러한 특성을 이용하여 입자운동의 성격, 종류 등을 비교적 쉽게 인지할 수 있다.

이 중 순간위상차  $\phi(t)$ 는 매질의 입자운동이 선형인 P파와 S파의 경우 0과  $\pm\pi$  radian 값을 나타내며, 타원형인 레일리파에서는  $\pm\pi/2$  radian 값을 갖는다. 이러한 이유로 레일리파의 경우 수평성분의 입자운동에서 수직성분의 값을, 역으로 수직성분에서 수평성분의 입자운동을 예측할 수 있다(Kim, 1987).

예측된 타원형 입자운동의 수직성분  $r_v'$ 와 수평성분  $r_h'$ 의 기록은 실제 기록의 수평성분  $r_v$ 와 수평성분  $r_h$  포함된 다음의 식으로 표현된다.

$$r_v' = A_v / A_h \{r_h \cos\phi + q_h \sin\phi\} \quad (1)$$

$$r_h' = A_h / A_v \{r_v \cos\phi - q_v \sin\phi\} \quad (2)$$

예측된 타원체 운동( $r_v', r_h'$ )을 실제 기록( $r_v, r_h$ )에서 다음과 같이 빼 줌으로 레일리파를 제거한다.

$$r_{mv} = r_v - r_v' \sin|\phi| = r_v - A_v / A_h \{r_h \cos|\phi| + q_h \sin|\phi|\} \sin|\phi| \quad (3)$$

$$r_{mh} = r_h - r_h' \sin|\phi| = r_h - A_h / A_v \{r_v \cos|\phi| - q_v \sin|\phi|\} \sin|\phi| \quad (4)$$

P파와 S파는 다음과 같이 순간접근각  $\tau$ 와 순간접근각  $\phi$ 의 함수로 표현되는 다음의 식을 통해 각각의 성분으로 분리된다.

$$r_p = \cos\left(\frac{|\phi|}{2}\right) \cdot (r_{mv} \cos|\tau| + r_{mh} \sin|\tau|) \quad (5)$$

$$r_s = \sin\left(\frac{|\phi|}{2}\right) \cdot (r_{mv} \cos|\tau| - r_{mh} \sin|\tau|) \quad (6)$$

### 3. 합성 자료

분극필터의 효율성 검증을 위해 이차원 유한차분법 (finite difference method) 을 이용한 모델링을 실시하여 발파점 모음자료를 합성하였다. Table 1에 기술한 속도구조를 갖는 2층의 매우 간단한 모델을 사용하였으며, 0.2 m의 정사각형 모양의 격자를 가정하였다. 또한 신호의 우세주파수는 100 Hz, 샘플률은 0.02 ms로, 총 300 ms의 기록길이를 갖도록 설정하였다. 파원과 가장 가까운 수신점은 5 m이며, 수신점 간격은 5 m로 한 발파점 당 48개의 수신점을 갖는다(Fig. 1).

Table 1. Velocities, densities, and thickness for the 2-layer model.

	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Thickness (m)
Layer 1	500	300	1.3	20
Layer 2	1800	1200	1.9	

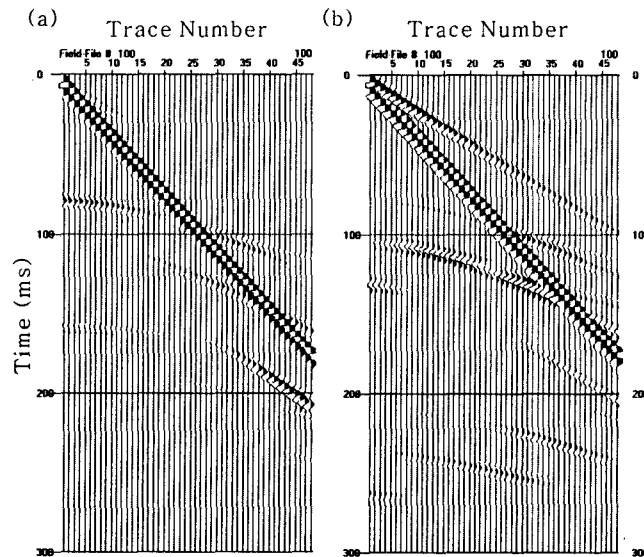


Fig. 1. Multicomponent synthetic seismic data: (a) vertical component and (b) in-line horizontal component.

### 4. 결과

분극필터를 시험하기 위한 수직성분 자료와 축선에 평행한 수평성분 자료를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1a에서 첫번째 트레이스의 80 ms 부근에 나타나는 쌍곡선은 P파 반사파 이벤트가 기록된 것이고, Fig 1b의 마지막 트레이스에서 약 100 ms에 기록된 직선의 신호는 직접 도달된 P파가 기록된 것이다. Fig. 1b에서 10번 트레이스의 110 ms에 기록된 쌍곡선은 반사된 PS 변환파를, 첫번째 트레이스 130 ms부근에 나타난 쌍곡선은 S파 반사파 이벤트를 나타낸다. Fig 1a와 1b 모두에서 가장 뚜렷하게 보이는 직선의 이벤트(마지막 트레이스의 약 170 ms)는 레일리파가 기록된 것이다.

앞에서 서술한 분극필터를 적용시킨 후 그 결과를 Fig. 2에 도시하였다. Fig. 2a는 레일리파가 제거되고 Fig 1a보다 P파 성분의 진폭이 커진 양상을 보여주며, Fig. 2b는 마찬가지로 레일리파가 제거되어 S파 성분이 상대적으로 강화된 모습을 보여준다.

## 5. 결론 및 토론

본 연구는 천부 굴절법 탐사 또는 반사법 탐사 자료 기록에서 신호부를 약화시키는 레일리파를 제거하고, 굴절법 탐사시 P파보다 초동 인지.(identification)가 어려운 S파 신호를 강화하는 방법을 제시하고자 실시되었다. 이를 위해 다성분 복소트레이스 분석법에 기초한 분극필터 작성한 후 합성자료를 대상으로 효율성을 시험하였다. 그 결과 레일리파가 비교적 잘 제거되었으며, 선형운동의 P파와 S파도 잘 분리됨을 볼 수 있었다.

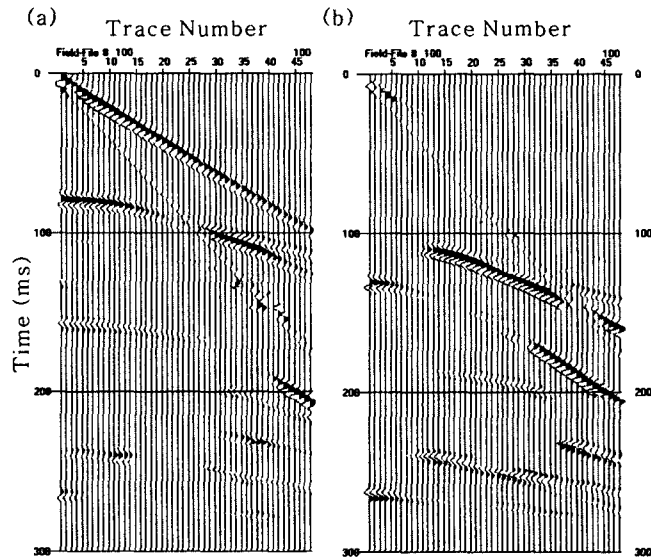


Fig. 2. Multicomponent synthetic seismic data after applying the polarization filters to enhance (a) P waves and (b) S waves, respectively.

## 참고문헌

- Archambeau, C.B. and Flinn, E.A., 1965, Automated analysis of seismic radiation for source characteristics, *Journal of Institute Electrical and Electronics Engineers*, **53**, p. 705.
- Archambeau, C.B., Flinn, E.A., and Lambert, D.G., 1966, Detection, analysis, and interpretation of teleseismic signals: 1. compressional phases from the Salmon event, *Journal of Geophysics Research*, **71**, 1876-1884.
- Flinn, E.A., 1965, Signal analysis using rectilinearity and direction of particle motion, *Journal of Institute Electrical and Electronics Engineers*, **53**, 1874-1987.
- Goebel, V., 1984, Polarization and ground roll suppression, Annual Meeting Abstracts, Society of Exploration Geophysicists, Atlanta.
- Kim, K.Y., 1987, *Polarization studies of multicomponent seismic data*, Ph. D. Thesis, University of Oklahoma.
- Mercado, E.J., 1968, Linear phase filtering of multicomponent seismic data, *Geophysics*, **33**, 926-935.
- Montalbetti, J.F. and Kanasewich, E.R., 1970, Enhancement of teleseismic body phases with a polarization filter, *Geophys. J. Roy. Soc.*, **21**, 119-129.
- René, R.M., Fitter, J.L., and Forsyth, P.M., 1986, Multicomponent seismic studies using complex trace analysis, *Geophysics*, **51**, 1235-1251.