

# 탄성과 간섭파와 가상음원 연구

장성형<sup>1)\*</sup> · 서상용<sup>2)</sup> · 김영환<sup>3)</sup>

## 1. 서 론

지층 경계면을 통과한 투과파의 자기상관은 반사파와 반사파의 역시간의 합으로부터 구할 수 있는 사실이 Clearbout (1968)에 의해 발표된 후 이 방법은 지층구조를 영상화하는 기본원리로 이용되어 왔다. 즉, 지하매질에서 P파의 응답을 지표면에서 측정할 때 반사파의 응답은 관측된 응답의 자기상관의 “+” 영역을 취하는 것을 의미한다. 초기 반사파, 다중 반사파는 이와 같은 방법으로 구별할 수 있으며, 획득된 반사파 응답에 존재하는 음원파형은 지하내부에서 음원신호의 자기상관과 같음을 의미한다. 일반적으로 간섭파를 이용하는 연구 (interferometry) 는 두 곳에서 기록된 신호의 상호상관으로 두 곳의 신호에 대한 순간응답 (impulse response)을 구하는 방법을 말하며, 탄성과 탐사에 적용할 경우 탄성과 간섭파 이용 연구 (seismic interferometry: SI) 로 불린다 (Wapenaar, 2006). 간섭양상은 상관과 지구내부 물리적 특성을 포함하고 있는 탄성과 트레이스의 합으로 구할 수 있다. 일반 탄성과 반사법 탐사에서는 반사파 신호음을 최대화하고 그 외 기록된 신호는 잡음으로 간주하여 제거하는 방법을 적용하지만, SI 에서는 잡음으로 여겨지는 신호음으로부터도 정보를 얻기 위해 적용된다. SI 목적은 수신기에 기록된 신호음으로부터 각각의 다른 속도를 지니고 있는 파들을 분리하는 것으로 탄성과 탐사에서는 다중 반사파제거와 반사파 신호를 증진시키는데 이용되고 있다. 각각의 수신기들은 이웃하는 수신기 기록에 영향을 주므로 SI에서는 상호상관에 이용되는 기준 수신기에서의 기록을 가상음원이라 말할 수 있다. 가상음원 모음도 (virtual source gathers)는 주어진 임의의 수신기에 기록된 파동장의 상호상관의 결과로부터 구해진다. 최근 SI 방법은 지질구조 영상화하는 여러 분야에서 응용되고 있는데 Schuster (2001)는 상관이론을 지진파 연구뿐 아니라 탄성과 탐사에 적용하였다. Wapenaar et al. (2002) 은 3D 불균질 음향/탄성 매질에 대한 적용성을 일반화 하였으며, Draganov et al. (2003) 수평으로 변화하는 속도모델에 대해 수치모형실험을 연구하였다. 한편, Bakulin and Calvert (2006) 는 가상음원을 이용하여 지하구조를 영상화하는 연구를 하였으며, Snieder et al. (2006)는 정상위상 (stationary phase) 법을 이용하여 수신기에 기록된 신호음의 상관관계로부터 파동전파에 대한 그린함수를 규명하는 연구를 하였다. 본 연구에서는 현실적인 수치모형실험을 적용하기 위해 불균질 매질에서 속도모델을 결정하고, 수신기를 해저면에 고정시키고 음원을 해수면에 설치하여 이동하면서 자료를 획득하는 해저면 탄성과 탐사법 (ocean bottom seismic: OBS)을 이용하여 인공합성 탄성과 단면도를 작성하였으며 이로부터 가상음원과 음원모음단면도의 상호상관으로부터 가상음원 단면도를 구하고자 하였다.

---

주요어 : 탄성과 간섭파, 가상음원, 상호상관, 가상음원 모음도

1) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부 (jang@kigam.re.kr)

2) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부 (sysuh@kigam.re.kr)

3) 한국지질자원연구원 석유해저자원연구부 (linuxyoung@hanmail.net)

## 2. 본 론

탄성파의 간섭효과를 분석하여 매질의 특성을 규명하는 방법인 SI는 지표면에서 기록된 탄성파 배경잡음의 상호상관으로 반사파 응답 (reflection response)을 구하고 이로부터 유효한 정보를 추출하는 것을 말한다. 가상음원 모음도를 구하기 위해서는 상호상관 적용시 필요한 가상음원을 정하고 이를 모든 수신기에 기록된 신호와 상호상관을 취하여 상호상관 모음도를 구한다. 이때 기준 수신기를 통과하는 신호음이 음원 역할을 하여 다음 수신기 기록에 영향을 미치므로 가상음원이라 하는데, 이는 역시간 구조보정문제에서 속도에 대한 편미분을 구할 때 이용되는 가상음원과 차이가 있다. 본 연구에서는 SI를 탄성파 탐사 영상화에 적용하기 위한 기초단계로 불균질 매질에서 인공합성 탄성파 단면도, 상호상관, 가상음원 단면도를 구하고자 하였다. 수치모형실험을 위해 Karman 방정식

$$F(r) = \frac{\varepsilon^2 2^{1-\kappa}}{\Gamma(\kappa)} \left(\frac{r}{a}\right)^\kappa K_\kappa\left(\frac{r}{a}\right) \quad (1)$$

을 이용하여 불균질 매질에서 속도를 구하였으며, 여기서  $\Gamma$ 는 감마함수이고,  $\kappa$ 는 허스트 수 (Hurst number)이며,  $K_\kappa$ 는 2종 변형베셀함수이다. 이때 허스트 수는 0.2로 하였다. Fig. 1은 해수층과 불균질 매질로 이루어진 지층모델로 상부층 속도는 1,500 m/s, 하부층은 2,836 m/s - 3,153 m/s 까지 변하는 불균질 속도매질이다. 수신기를 해저면에 설치하는 해저면 탄성파법 (OBS) 방식으로 음원 모음도를 구하였다. 음원은 해수면에서 1,000 m 깊이에서 50 m 간격으로 101개를 설치하였고 수신기는 해저면 깊이 1,000 m에서 음원 진행방향으로 4,000 m에서 7,000 m 까지 25 m 간격으로 120개를 설치하였다. 상호상관 모음도를 구하기 위해 첫 번째 수신기를 가상음원으로 선택하여 음원번호 21에서 60까지 음원 모음도에 상호상관을 적용하였다. Fig. 2 (a)는 20번 음원에서의 음원모음도로 직접파와 해저면 반사파, 굴절파, 다중 반사파, 그리고 불균질 속도모델에서 기인하는 산란파 등이 존재함을 보여준다. Fig. 2 (b)는 상호상관의 결과를 일부만 도시한 것이다. 가상음원 모음도는 상호상관 모음도를 모두 더한 것으로 그림 Fig. 2 (c)에 있다. 그림에서 보듯이 상호상관 결과는  $t < 0$ 인 구간을 포함하고 있지만 본 그림에서는 일부분을 도시한 것이다.  $t=0$ 에서는 상호상관 모음도의 유한성에서 기인하는 인공잡음이 발생하고 특히  $t=1.3$  s 부근에서 강한 반사파가 나타남을 알 수 있다.

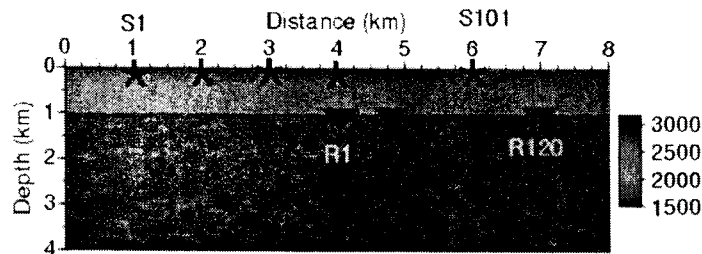


Fig. 1. A geological model for ocean bottom seismic modeling with a inhomogeneous random velocity layer.

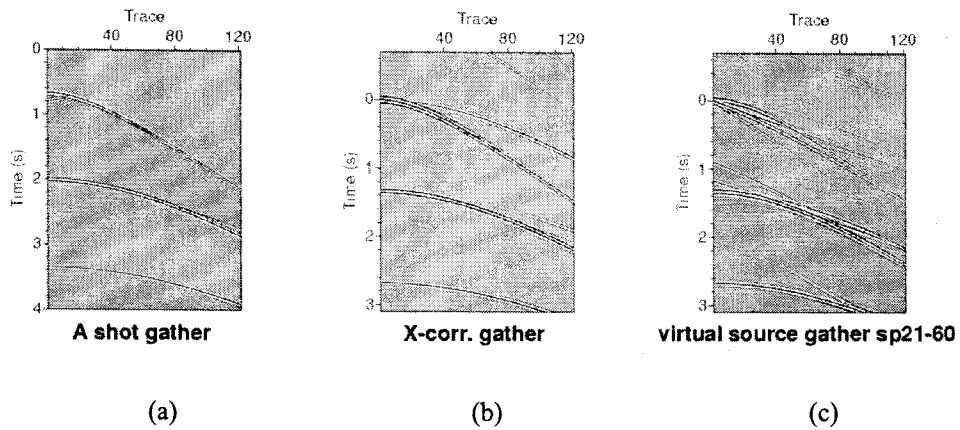


Fig. 2. A geological model for ocean bottom seismic with inhomogeneous random velocity layer.

### 3. 결 론

SI는 다양한 신호음이 기록된 모든 자료를 이용하여 지질정보를 알아내기 위한 방법으로 본 연구에서는 수치모형실험을 통하여 상호상관에 의한 잡음특성과 가상음원 모음도를 제작하였다. SI분석을 위해 Karman 방정식을 이용한 불균질 속도모델을 구하고 OBS 방식으로 인공합성 탄성과 단면도를 제작하였다. 첫 번째 수진기를 가상음원으로 정하고 모든 수진기와 상호상관으로 상호상관 음원 모음도를 구하고 상호상관 모음도의 합으로 가상음원 모음도를 제작하였다. 가상음원 모음도는 직접파, 반사파, 굴절파 등을 보이며,  $t=0$  에서는 상호상관 모음도의 유한성에서 기인하는 인공잡음이 발생하고 특히  $t=1.3$  s 부근에서 강한 반사파가 나타남을 알 수 있다. SI 목적중 하나는 탄성과 탐사에서 다중반사파 특성분석에 있으므로 현장자료에 대한 적용할 경우 석유탐사자료 처리에 유용할 것이다.

### 감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 “석유가스 부존특성 규명 및 치밀 가스전 개발 요소기술 연구” 사업 지원으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- Bakulin, A. and Calvert, R., 2006, The virtual source method: Theory and case study, *Geophysics*, 71, SI139-SI150.
- Claerbout, J., 1968, Synthesis of a layered medium from its acoustic transmission response, *Geophysical*, 33, 264-269.
- Draganov, D., Wapenaar, K., and J. Thorbecke, 2003, Synthesis of the reflection response from the transmission response in the presence of white noise sources: 65th Annual Int. Conf. and Exhib., EAGE, Extended Abstracts, P218.
- Schuster, G. T., 2001, Theory of daylight/interferometric imaging: Tutorial: 63rd Annual Int. Conf. and Exhib., EAEG, Extended Abstracts, A32.

Snieder, R., Wapenaar, K., and Larner, K., 2006, Spurious multiple in seismic interferometry of primaries, *Geophysics*, 71, SI111-124.

Wapenaar, K., 2002, On the emergence of the Green's function in the correlations of a diffuse field: Pulse-echo using thermal phonons: *Ultrasonics*, 40, 435-439.

Wapenaar, K., Draganov, D., and Robertsson, J., 2006, Introduction to the supplement on seismic interferometry, *Geophysics*, 71, SI1-SI14.