

SRT 방식의 traveltime을 이용한 3차원 Kirchhoff migration

임해룡¹⁾, 신창수¹⁾, 서정희¹⁾, 고승원¹⁾, 홍순덕¹⁾, 차영호¹⁾

1. 요약

탄성과 도달시간을 계산하는 방법은 파선추적법, 유한차분 eikonal 방정식 해법 및 그래프이론을 이용한 방법 등이 있다. 일반적으로 이들 방법들은 최소 도달시간 또는 최초 도달시간을 계산하는 방법들이다. 그러나 최근 연구결과(Geoltrain et al., 1993, Nichols, 1996)에 의하면 탄성과 심도 구조보정에 있어서 최대 에너지 도달시간을 사용하는 것이 최초 도달시간을 사용하는 것보다 좋은 이미지를 보여준다고 한다. 그러나 이러한 최대 에너지 도달시간을 계산하는 것은 매우 어렵고 또 그 비용이 많이 드는 방법이다. 본 논문에서는 속도모델변환과 수직 입사 파선에 대한 직접 전달과 계산(SRT)을 이용하여 궁극적으로 이러한 최대 에너지 도달시간과 최초 도달시간의 중간시간을 계산하는 방법을 개발하였다. 그리고 이방법의 장점은 일반적으로 사용되는 최초 도달시간 계산비용 보다도 작은 비용으로 최대에너지 도달시간을 대신할 수 있는 직접 전달 시간을 계산하는 것이다. 변환된 속도모델에서는 모든 파선이 방사방향으로 전파하는 수직 입사파로 고정된다. 따라서 연산에 의해서 쉽게 직접파의 도달시간 뿐만 아니라 진폭까지도 계산할 수 있게 된다.

2. 변환된 속도 모델

2차원 선형내삽(linear interpolation)과 같은 간단한 내삽을 이용하여 직각좌표계로 주어진 2차원 속도모델을 송신원을 원점으로 하는 극좌표계로 변환하여 극좌표계의 모든 격자점에서 속도가 주어진 변환된 2차원 속도모델을 구할 수 있다. 그림 1에서 나타난 바와 같이 인접한 4개의 격자 점으로 구성되는 깔때기 모양의 단위 요소 내부에서 속도가 각의 변화에 관계없이 일정하고 방사방향으로는 선형으로 변화한다고 가정한다. 이러한 속도모델에 일정한 간격의 발사각을 주어 파를 발사시키면 모든 파들이 직선의 파선 경로를 가지게 된다. 따라서 우리는 송신점으로부터 임의의 격자점까지 파의 경로를 직선으로 결정할 수 있고 간단한 연산을 통해 도달시간을 계산할 수 있게 된다. 게다가 파선이 통과하는 각 단위 요소 사이의 전파계수를 Snell의 법칙을 이용하여 구하고 여기에 기하학적인 진폭감쇠를 고려하면 도달된 파의 진폭까지도 구할 수 있게 된다.

이러한 이론적 기초 위에 본 연구에서의 방법으로 계산된 도달시간의 이론적 계산오차는 없으며 다만 원래의 속도모델과 변환된 속도모델과의 차이에 기인한 오차만이 존재할 뿐이다. 그림 2(a) - 2(d)는 극좌표계에서 격자 간격의 차이에 따른 속도모델 변화 오차를 보여준다. 그림 2(a)는 원래의 4층구조 속도모델을 나타내며 그림 2(b)는 $\Delta r = 70m$, $\Delta \theta = 10^\circ$ 일 때의 변환된 속도모델을, 그림 2(c)는 $\Delta r = 7m$, $\Delta \theta = 1^\circ$, 그림 2(d)는 $\Delta r = 0.7m$, $\Delta \theta = 0.1^\circ$ 일 때의 변환된 속도모델을 보여준다. 격자 간격이 작아질수록 변환된 속도모델과 원래의 속도모델의 차이는 작아지며, 만약 $\Delta r \rightarrow 0, \Delta \theta \rightarrow 0$ 로 극한을 취한다면 변환된 속도모델이 원래의 속도모델과 동일한 모델이 된다.

3. Marmousi model에 대한 심도 구조 보정

잘 알려진 2차원 속도모델이 Marmousi(Bourgeois et al., 1991) 모델에 대한 본 연구의 적용 결과를 보여주하고자 한다. 먼저 본 연구의 방법으로 구한 도달시간의 물리적인 의미를 살펴보기 위하여 Vidale(1998)의 방법으로 구한 최초 도달시간 및 유한요소 탄성과 모델링으로 구한 파들로부터 추출된 최대 에너지 전달시간을 비교하였다. 그림 3은 송신원에서 파를 발생시킨지 1.1초 지난 후 탄성과 파동의 분포를 나타내는 snapshot에 이들 세가지 도달시간 등고선을 중첩시킨 그림이다. 그림에서 본 연구에서 개발된 방법으로 구한 도달시간(흑색 실선)은 최대에너지 전달시간(백색 실선)과 최초 도달시간(흑색 점선)의 중간에 해당함을 알 수 있다. 따라서 최대에너지 전달시간 대신 탄성과 영상화에 사용한다면 최초 도달시간보다는 더 좋은 이미지를 제공할 수 있을 것이다. 그림 4(a)는 Vidale의 최초 도달시간을 이용하여 얻어진 최종 이미지이며, 그림 4(b)는 본 연구에서 개발된 방법에 의한 도달시간을 이용한 최종 이미지이다. 본 연구에서 개발된 방법을 이용하였을 때 전체적으로 보다 훌륭한 이미지를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 특히 실제로 석유의 부존 가중성이 놓아 주 탐사 타겟이 되는 한단의 배사구조에서 가장 큰 이미지의 향상을 보여준다.

4. SEG/EAGE salt model에 대한 심도 구조 보정

본 연구에서 개발된 방법으로 계산된 도달시간을 이용하여 SEG/EAGE salt model C3-NA 모델링 자료중 1개의 측정 자료에 대해 중합전 심도구조보정을 실시하였다. 그림 5(a)는 SEG/EAGE salt model을 영상화를 실시한 측선에 대해 수직으로 절단한 속도단면도이며, 그림 5(b)는 본 연구에서 개발된 방법을 적용하여 얻은 중합전 심도 구조보정 결과를 역시 동일한 측선에 대해 수직으로 절단한 이미지이다. 영상화 결과가 원래의 속도구조 모델과 잘 일치함을 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 변환된 속도모델을 이용하여 직접 전달파의 도달시간을 계산하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 수직입사파에 기반을 두었고, 송신점과 수신점이 고정된 상태에서 계산을 하기 때문에 계산에 있어서 파선추적법 보다 효과적임을 알 수 있었고, 파선추적법이 가지고 있는 문제점의 해결도 가능하였다. 2차원 및 3차원 탄성과 자료에 대하여 본 연구에서 개발된 시간을 사용하였을 경우 기존은 방법보다 더 좋은 지하 영상을 얻을 수 있었다.

6. 사사

이 논문은 2001년도 두뇌한국21사업 및 국가지정연구실 사업에 의하여 지원되었음.

7. 참고문헌

- Bourgeois, A., Bourget, M. Lailly, P., Poulet, M. Ricarte, P. and Versteeg, R., 1991, Marmousi, model and data, in Versteeg, R. and Grau, G. Eds., The Marmousi experience, Proceedings of the 1990 EAEG workshop on Practical Aspect of Seismic Data Inversion: EAEG, 5-16.
- Cerveny V., Molotkov I. A. and Psencik I., 1977, Ray method in seismology: Univ. of Karlova Press, Prague.

Geoltrain, Sebastian and Brac, Jean, 1993, Can we image complex structures with first-arrival traveltime, *Geophysics*, 58, 564-575.
Nichols, D.E., 1996, Maximum energy traveltimes calculated in the seismic frequency band, *Geophysics*, 61, 253-263.
Vidale, 1988, Finite-difference calculation of traveltimes: *Bull. Seis. Soc. Am.*, 78, 2062-2076.

1) 서울대

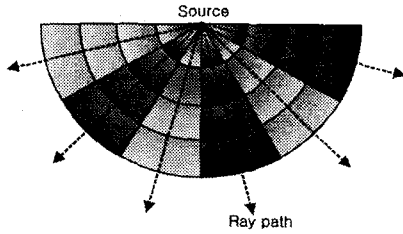


Fig 1. Transform of a velocity model into polar coordinate

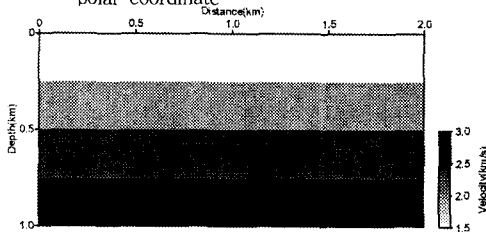


Fig 2. Comparisons of model discretization error for a four-layered model (a) Original four-layered model. The velocities of each layer are 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0km/s, respectively

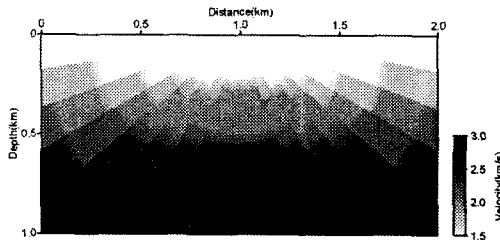


Fig 2(b). Transformed velocity model with $\Delta r=70m$ and $\Delta \theta=10^\circ$ having an origin at 1.0km on surface

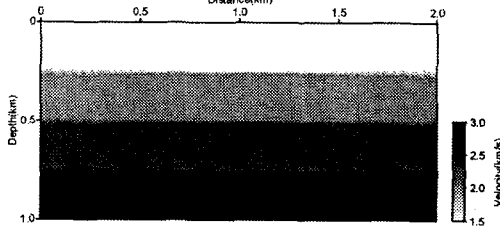


Fig 2(c). Transformed velocity model with $\Delta r=7m$ and $\Delta \theta=1^\circ$ having an origin at 1.0km on surface

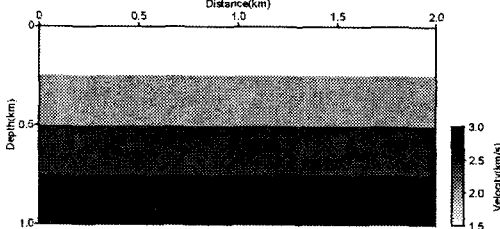


Fig 2(d). Transformed velocity model with $\Delta r=0.7m$ and $\Delta \theta=0.1^\circ$ having an origin at 1.0km on surface

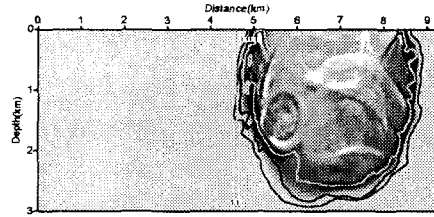


Fig 3. A snapshot image obtained by FEM modeling overlaid with direct arrival times by our method(black solid line), first arrival times by Vidale's method(black dashed line) and maximum energy arrival times picked from the wave fields by FEM modeling(white solid line)

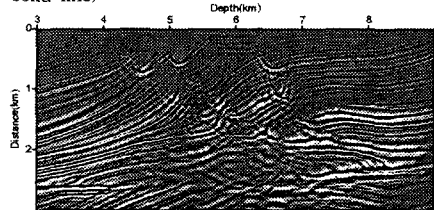


Fig 4. A comparison of the final migrated images (a) migrated image using the first arrival times by Vidale's method

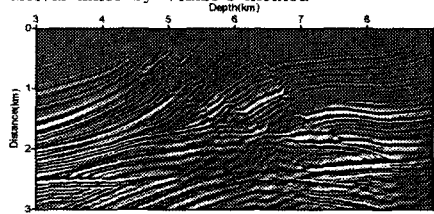


Fig 4(b) migrated image using the direct arrival times by our method

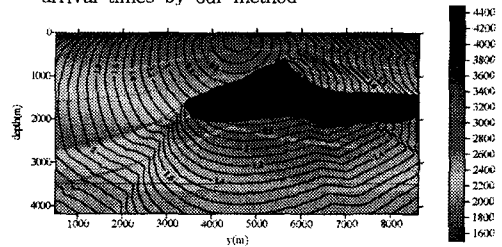


Fig 5(a). 3D SEG/EAEG salt model(Inline 362)

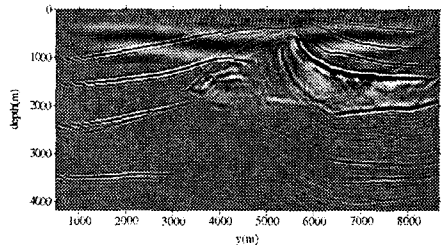


Fig 5(b) Migration Image for Fig. 5(a).