

EZTOMO 시추공 토모그래피 소프트웨어 시스템 보완

이두성¹⁾

¹⁾한성대학교 정보시스템 공학과, dslee@hansung.ac.kr

EZTOMO CROSSWELL TOMOGRAPHY SOFTWARE SYSTEM UPDATE

Doo Sung Lee¹⁾

¹⁾Department of Information System Engineering, Hansung University

요약 : EZTOMO는 시추공 주시토모그래피 소프트웨어 시스템이다. 이 시스템은 초동발체, 파선추적, 역산, 오차분석 및 시각화 기능을 보유하고 있다. 이 연구에서는 시스템의 초동발체와 역산법을 개선 보완하였다. 초동의 파형정보를 사용한 초동발체 방법과 초동신호의 S/N(신호 대 잡음비)을 사용한 역산법의 보완이다.

주요어 : 시추공 탄성과 토모그래피

Abstract : EZTOMO is a crosswell seismic tomography software system. The system has capability of event picking, raytracing, inversion, error analysis, and visualization of the processing results. Waveform of the first arrival signal has been utilized to select the event of the first motion, and uncertainty measured in estimation of the first breaks has been utilized to improve the inversion process.

Keywords : Crosswell Seismic Tomography

1. 서론

본 발표에서 사용한 EZTOMO 시스템은 Windows 환경에서 개발된 것이다 (신동훈 등, 2002, 이두성, 2003, 최재경, 이두성, 2004). 초동주시 시점은 기록의 초동신호가 감지되는 최초의 시각인데 잡음의 존재로 인하여 발체가 어려운 경우가 많으며 특히 전산화 측면에서 이 시점의 자동인식은 쉽지 않다. 본 연구에서는 시간절편에 의한 초동주시 발체법을 초동발체 공정에 첨가하였다.

이 시스템의 역산은 파선추적에 의한 반복 역산 법으로 모델주시와 측정주시의 잔차를 속도모델 개선에 사용하는 방법이다. 따라서 주시 잔차에 대한 신뢰도는 최종 속도모델의 신뢰도와 직접적인 관계가 있다고 볼 수 있다. 측정 주시에 대한 신뢰도는 초동신호의 S/N값에 의하여 예측할 수 있다 (이두성, 2007 a). 시스템 보완으로 역산과정에서 각 기록의 측정주시의 오차한계를 적용하였다. 본 논문에서 사용한 자료는 스위스의 그림젤 시험지역에서 획득한 고해상 시추공 탄성파자료 일부로서 송신 주파수가 20 kHz인 데이터이다 (이두성, 2006).

2. 초동발체

EZTOMO의 초동발체는 초동으로 신호의 피크, 트라프, 또는 초동이 시작되는 영점을 발체할 수 있다. 사용자는 발체모드를 선택하고 모니터에 표시된 기록 중 몇 개의 트레이스에서 대략적인 위치를 마우스로 선택하면 시스템이 선택된 점 부근의 피크, 트라프, 또는 영점을 탐색하고 그 결과(시각)를 도시하게 되며 이때 사용자는 수동으로 편집할 수 있다. 시스템이 도출한 위치에 대한 신뢰도는 신호의 특성이 분명한 피크(peak)나 트라프(trough)의 발체는 상당히 높으나, 零點 발체는 기록의 S/N과 관계가 있으며 상당한 불확실성을 내포하고 있다. 펄스형 신호의 시작시각은 완만하게 증가하는 경우가 대부분으로 정확한 시작시각의 인식은 신호의 이득(gain)조절에 따라 영향을 받는 등 발체에는 불확실성이 내포되어 있다(Ricker, 1953). 시추공 토모그래피의 일반적인 경우는 이벤트가 비교적 분명한 최초의 피크 또는 트라프를 초동주시로 사용한다. 그러나 다중주파수 기록의 피크 또는 트라프 이벤트는 주파수에 따라 차별적인 지연이 발생함으로 영점주시를 초동 주시로 사용함이 바람직하다(이두성, 2007 b).

본 연구에서는 영점 산출로 시간절편법을 적용하였다. 이두성(2007 a)에서 제안한 시간절편법은 최초의 피크 또는 트라프로부터 전방으로 N 샘플 구간을 직선으로 近似化하고 이 직선의 시간절편을 초동의 영점으로 산출하는 방법이다. 여기서 샘플 수 N은 자료처리 프로그램의 입력매개변수로서 대략 초동 웨이브렛폭의 1/4 보다 다소 작게 설정할 수 있다. 본 시스템 개선에서는 N을 입력 파라미터로 하지 않고 근사화 구간을 충분히 길게 정하여 반복적으로 탐색하는 방법을 사용하였다. 즉 영점 도출방법은 1단계로 피크 또는 트라프를 발체하고 pick option을 영점(zero)으로 하여 반복적으로 영점을 도출하는 방법이다.

실험결과의 한 예를 보면, 우선 pick mode를 min. 으로 설정하고 (Fig. 1), 수개의 트레이스에서 대략적인 위치를 마우스 왼쪽 버튼으로 선택하고 (Fig. 2), Fig. 3에 제시된 처리 메뉴의 Search Pick 버튼을 수차례 클릭하면 프로그램은 반복적으로 최저점을 탐색하여 결과를 표시 한다 (Fig. 4). 2 단계로 영점 탐색은 Option에서 pick mode를 Zero로 선택하고 메뉴에서 Search Pick을 수차례 클릭하면 대부분의 기록에서 점진적으로 영점에 접근하는 사실을 확인하였다 (Fig. 5).

3. S/N 경보틀 이용한 역산

반복 역산은 관측주시와 모델주시의 차이를 사용하여 속도모델을 개선하는 방법이다. 따라서 관측주시의 신뢰도는 도출된 속도모델의 신뢰도와 밀접한 관계가 있다. 발체된 초동에 대한 신뢰도는 기록의 신호대잡음비(S/N)와 밀접한 관계가 있으므로 발체한 초동주시를 사용한 해석과정에서 각 기록의 S/N값 분석이 필요할 것이다 . 이두성(2007 a)에 제시한 초동발체 오차는 다음과 같다.

$$t = \frac{1}{W \log_2 \left(\frac{S^2 + N^2}{N^2} \right)} \text{ (sec)} \quad (1)$$

여기서 W는 신호의 주파수 대역폭이고 S/N은 신호대잡음비이다.

식 (1)을 사용하여 각 기록의 초동발체 오차한계를 계산하고 반복 역산의 각 단계에서 모델주시와 관측주시의 차이가 오차한계보다 작은 기록과 오차한계가 기준치 이상으로 큰 기록의 주시 잔차는 속도모델 개선과정에서 제외하였다. Fig. 6에 초동발체 오차

한계와 반복 역산 단계에서 모델주시와 관측주시의 잔차를 도시 하였다. 여기서 단위는 기록의 샘플 수이고 영상의 최대값(흰색)은 6 이고 최소값(검정색)은 0 이다. 기록의 초동발체 오차는 대부분의 기록에서 1샘플 정도이고 원거리 기록에서 최대 3샘플 정도이다. 제시된 반복역산 단계의 주시 잔차를 보면 반복횟수가 증가함에 따라 대부분의 기록(픽셀)에서 잔차가 감소하는데 특히 잔차가 오차한계보다 큰 부분(영상의 좌 하부와 우 상부)에서 더 현저하게 감소하는 사실을 관찰할 수 있다.

5. 결론

탄성과 주시 토모그래피의 중요한 공정은 초동 발체이며 발체된 초동에 대한 신뢰도는 최종 속도 토모그램의 신뢰도에 상당한 수준의 영향을 줄 것으로 생각된다. 본 연구에서 사용한 소프트웨어 시스템 EZTOMO는 시추공 주시토모그래피 시스템으로 초동발체, 파선추적, 역산, 오차분석 및 시각화 기능을 보유하고 있다. 본 연구에서 보완한 사항은 초동 파형정보를 사용한 초동발체 와 초동발체 오차를 고려한 역산법의 개선이다. 초동발체프로그램은 사용자의 간단한 제어로 반복적으로 최적 시간을 도출하며 개선된 역산은 반복역산의 각 단계에서 모든 기록의 주시를 사용하는 대신 의미 있는 기록의 잔차만 선택적으로 속도모델 개선에 사용하는 방법이다. 반복 역산법은 매 단계에서 산출된 각 기록의 주시 잔차를 사용하여 속도모델을 개선하는데, 주시 잔차가 해당기록의 초동발체 오차한계 보다 작을 경우 산출된 주시를 역산에 포함하는 것은 무의미하며 또한 발체오차가 기준치 이상으로 큰 기록의 측정주시를 사용하면 역산 결과에 대한 신뢰도 저하를 유발할 수 있으므로 개선된 프로그램에서는 이 잔차를 역산과정에서 배제하였다.

참고문헌

- 신동훈, 고광범, 박재우, 지준, 이두성, 2002, 리눅스용 GUI 시추공 탄성과 토모그래피 프로그램 개발, 물리탐사, **5**, 150-156.
- 이두성, 2003, EZTOMO: 공대공 토모그래피 소프트웨어 시스템, 2003년도 춘계학술발표회 논문집, 한국지구시스템공학회, 한국지질자원연구원, 2003. 4. 22~23, 185-187.
- 이두성, 2006, 시추공 간 전단대 특성 규명을 위한 고해상 탄성과 토모그래피, 물리탐사, **9**, 225-260.
- 이두성, 2007 a, 초동발체를 위한 탄성과 신호분석연구, 물리탐사, **10**, 130-136.
- 이두성, 2007 b, 다중 주파수 송신원에 의한 공대공 탄성과 실험, 물리탐사, **10**, 223-228.
- 최재경, 이두성, 2004, Windows용 시추공 탄성과 토모그래피 소프트웨어, 2004년 대한 지구물리학회, 한국물리탐사학회 공동학술대회, 대한지구물리학회, 한국물리탐사학회, 한국해양연구원, 2005, 6, 10, 291-295.
- Ricker, N., 1953, The form and law of propagation of seismic wavelet, *Geophys.*, **18**, 10-40.

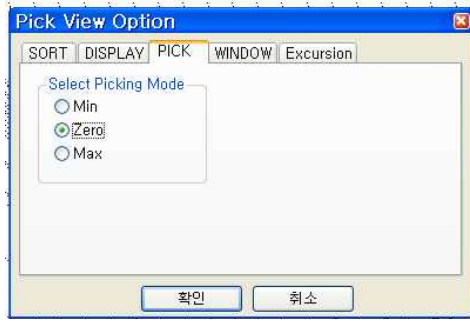


Fig. 1 Pick Option

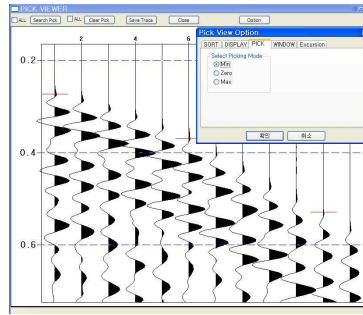


Fig. 2 First arrivals are picked at three traces



Fig. 3 Menu of the picking program

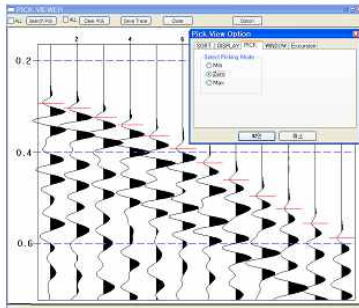


Fig. 4 Events for min.

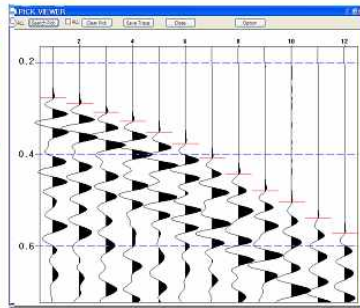


Fig. 5 Computed zero events

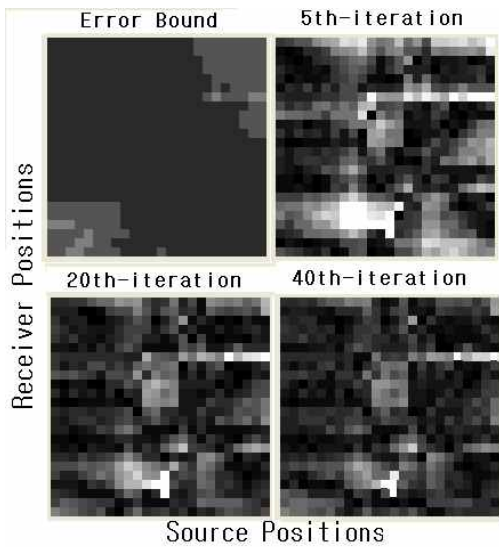


Fig. 6 Picking error and travel time residual (in samples). The time residuals are at 5th-, 20th-, and 40th-iteration. The range of image is 0(black)~6(white).