

심도에 따라 속도가 증가하는 매질에서의 반사 주시 토모그래피

서울대학교 자원공학과

최영기, 신창수

1. 서론

반사 주시 토모그래피는 지하 매질의 속도와 반사면의 구조를 얻기 위하여 실시 되는데, 종래의 연구에서 주로 매질을 상속도로 가정하는데 반해, 본 연구에서는 심도에 따라 속도가 증가하는 매질을 대상으로 하였다. 속도 그래디언트 즉 깊이에 따른 속도의 증가율은 쇄설성 지층의 차별적 다져지기 작용에 의해 생기며 이는 주로 지질연대가 젊은 지층에 나타나고, 대략 1m 당 0.3~1.0m/sec 의 속도 증가율을 갖는다. 본 연구에서는 이를 블록 매개화하여 역산을 수행함으로써 지하매질의 수직적 속도변화를 분해하고자 하였다.

속도 그래디언트를 고려한 모형반응 계산을 위하여 Slotnick(1951)이 제안한 식을 이용한 파선추적을 수행하였으며, 역산은 주어진 모형을 작은 삼각형 요소로 나누어 파선추적을 수행한 후 얻어진 파선 경로로부터 각 삼각형 요소의 자코비안을 계산하고, 이를 취합, 속도 그래디언트로 블록 매개화하여 수행하였다.

2. 이론

모형반응계산

속도의 선형적 변화가 있는 지하매질의 경우 파선은 원의 경로를 따라 전파되며 그 경로는 원의 방정식으로 표현된다.(Slotnick(1951))

역산

$$V(z) = V_0 + z \cdot k$$

여기서, k : 속도 그래디언트 ($m/sec/m$)

V_0 : 매질 상단의 속도

z : 삼각형 요소의 깊이

이러한 관계를 이용하여 삼각형 요소의 속도의 증분 ΔV_{el} 은 다음과 같이 표현되며 다음과 같은 새로운 가우스-뉴턴 행렬식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 J \cdot \Delta M &= \begin{bmatrix} \frac{\partial T}{\partial V_{e1}} & \frac{\partial T}{\partial V_{e2}} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \\ \frac{\partial T}{\partial V_{e1}} & \frac{\partial T}{\partial V_{e2}} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_{e1} \\ \Delta V_{e2} \\ \vdots \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{\partial T}{\partial V_{e1}} & \frac{\partial T}{\partial V_{e2}} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & z_{e1} \\ 1 & z_{e2} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_0 \\ \Delta k \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

이와 같이, 즉 속도 그래디언트 k 를 매개 변수화함으로써, 역산해야할 변수가 각 삼각형 요소의 속도($V_{e1}, V_{e2} \dots$)에서 요소들이 속한 블록의 속도 정보 V_0, k 로 줄어들게 되므로 빠르고 안정적인 역산의 효과를 기대할 수 있다.

3. 결과

속도 그래디언트를 갖는 3층 경사 모형을 설정하여, 이로부터 얻은 합성 자료를 통해 역산을 수행하여 상속도 역산 결과와 비교하여 보았다. 상속도 역산은 속도 오차가 약 11.5% 속도 그래디언트 역산은 속도 오차 약 1.3% 정도로 수렴하였다.

수평적 속도 변화가있는 복잡한 속도 구조를 가진 모형을 대상으로 속도 오차 25%의 초기 모형을 사용하여 상속도 역산 20회, 속도 그래디언트 역산 20회를 단계적으로 수행하여 각각 속도 오차 7.1%, 3.1%로 수렴하였다.

4. 결론

수치 모형 실험 결과를 통해, 본 역산은 층내 속도 변화가 전혀 없는 상속도 모형에 대해서도 신뢰할 만한 성능을 보여 주었으며, 속도 그래디언트가 존재하는 대상 또한 속도 오차 5% 내로 수렴하는 결과를 주었고, 특히 간단한 층서 구조의 경우 1% 내외로 수렴하는 등 수직적 속도 변화에 대한 높은 속도 분해 능력을 보여 주었다. 그리고 이 결과를 속도 그래디언트를 고려하지 않는 상속도 역산의 결과와 비교하여 볼 때, 기존 역산에 비해 2배에서 10배까지 속도 오차가 줄어든 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 수직적 속도 변화가 예상되는 대상에 본 역산을 적용함이 타당함을 확인하였다. 또한 임의의 방향으로의 속도 그래디언트에 대한 확장이 용이하므로 좀더 일반적인 대상에 대한 적용을 통해 그 적용범위를 넓힐 수 있을 것으로 기대된다..

참 고 문 헌

- 김유성, 1992, 층서구조의 구간속도 결정을 위한 탄성과 반사주시 역산 : 서울대학교 박사학위 논문.
- 신성렬, 1994, 주파수영역에서 파선추적을 이용한 유사파형 역산 : 서울대학교 박사학위 논문.
- Bishop, T. N., Bube, K. P., Cutler, R. T., Langan, R. T., Love, P. L., Resnick, J. R., Shuey, R. T., Spindler, D. A., and Wyld, H. W. 1985, Tomographic determination of velocity and depth in laterally varying media : *Geophysics*, 50, 903-923.
- Slotnick, M. M., 1951, *Lessons in seismic computing* : The Society of Exploration Geophysics.

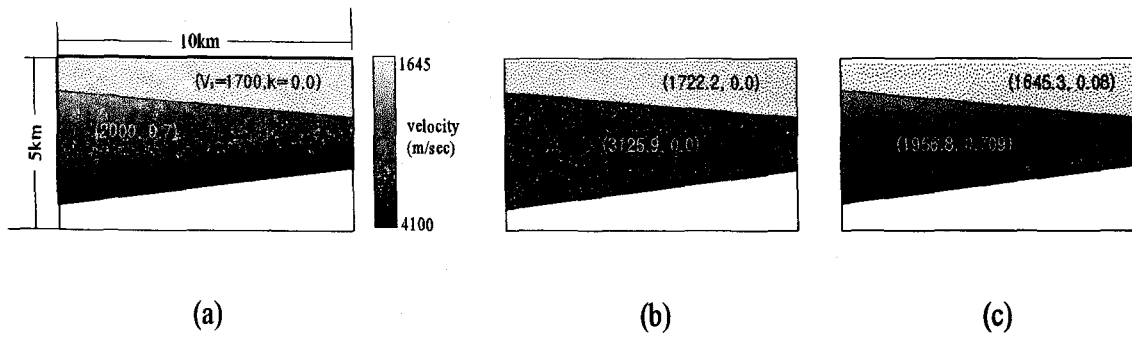


Fig. The inversion on velocity gradient model and the comparison with conventional inversion.
 (a) True model is dipping three layered earth, which has velocity gradient like above.
 (b) Reconstruction model after 20 iteration of inversion without velocity gradient.
 (traveltime error = 0.32%, velocity error = 11.5%)
 (c) Reconstruction model after 20 iteration of velocity gradient inversion.
 (traveltime error = 0.17%, velocity error = 1.3%)

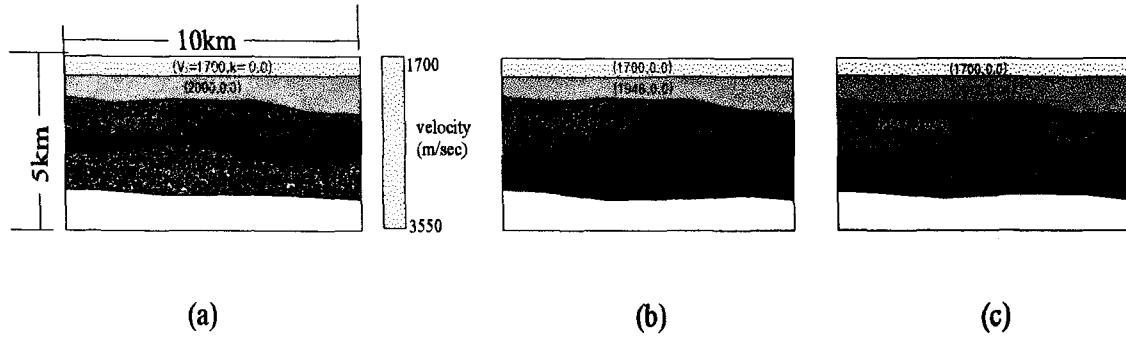


Fig. Two-step inversion
 (a) True model with 6 velocity blocks
 (b) Reconstructed after 20 iterations of the inversion without velocity gradient.
 (traveltime error = 1.03%, velocity error = 7.9%)
 (c) Reconstructed after 20 more iterations of velocity gradient inversion using the result of (b)
 as an initial model.
 (traveltime error = 0.57%, velocity error = 3.1%)