

3차원 SWEET algorithm에 의한 travelttime과 amplitude 계산

양동우¹⁾, 신창수¹⁾, 서정희¹⁾, 양승진²⁾, 고승원²⁾, 김정호³⁾, 장성형⁴⁾

1. 요약

3차원 중합전 심도 구조보정(PreStack Depth Migration: PreSDM)에서 지하구조 영상의 품질은 정확한 주시와 진폭에 크게 좌우되게 된다. 본 연구에서는 라플라스(Laplace) 영역에서 감쇠 파동장(damped wavefield)의 특성을 이용하여 초동의 주시와 진폭을 동시에 계산하는 3차원 SWEET(Suppressed Wave Equation Estimation of Traveltime) 알고리즘을 개발하였다. 이 3차원 SWEET 알고리즘을 이용하여 주시와 진폭을 계산하기 위해서는 라플라스 영역에서의 파동장과 이에 대한 미분 파동장(derivative wavefield)이 필요하게 된다. 파동장과 미분 파동장을 계산하기 위해서는 거대한 크기의 임피던스 행렬(real impedance matrix)을 인수분해(factorization) 하여야 하고, 이 인수분해 과정에서 모델 크기에 따라 매우 큰 컴퓨터 memory를 필요로 하게 된다. 본 연구에서는 3차원 가중평균 유한요소기술(3-D weighted-averaging finite-element technique)을 개발하여 파장 당 요소 수를 감소시킴으로써 모델 크기를 축소시킬 수 있었고, out-of-core mutifrontal solver를 활용하여 core memory 부족 문제를 해결하였다. 또한, 3-D SEG/EAEG salt 모델에 대한 주시와 진폭을 계산하므로써 3차원 SWEET 알고리즘의 적용성을 검토하였다.

2. SWEET 알고리즘

탄성파 자료의 존재 영역을 고주파 성분 위주로 제한한다고 가정했을 때 Laplace 영역에서 Laplace 주파수 s 에 대한 파동방정식의 해는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$U(s) \cong A(x, y, z) e^{-s\tau(x, y, z)}, \quad (1)$$

여기서 A 와 τ 는 진폭과 주시이다. 식 (1)을 주파수 s 에 대하여 미분하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial U(s)}{\partial s} = -\tau(x, y, z) A(x, y, z) e^{-s\tau(x, y, z)} = -\tau(x, y, z) U(s) \quad (2)$$

식 (2)로부터 주시와 진폭은 다음과 같이 결정된다.

$$\tau(x, y, z) = -\frac{1}{U(s)} \left[\frac{\partial U(s)}{\partial s} \right] \quad (3)$$

$$A(x, y, z) = U(s) e^{-s\tau(x, y, z)} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)의 진폭과 주시를 결정하기 위해서는 Laplace 영역에서의 파동장 $U(s)$ 와 미분 파동장 $\partial U(s)/\partial s$ 가 이전에 계산되어 있어야 한다.

파동장과 미분 파동장은 다음과 같이 계산 할 수 있다. Laplace 영역 파동방정식은

$$[Ms^2 + K]U = F \quad (5)$$

이고, 여기서 U 는 Laplace 영역 파동장, M 는 질량행렬, K 는 강성행렬 그리고 F 는 음원이다. 식 (5)를 주파수 s 에 대해 미분하면

$$[Ms^2 + K] \frac{\partial U}{\partial s} = F^* \quad (6)$$

이 된다. 여기서, F^* 는 가상음원으로서 $-2sMU$ 이다. (5)식과 (6)식의 파동장과 미분 파동장을 이용하여 (3)식과 (4)식의 주시와 진폭을 계산할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 3-D SEG/EAGE salt 모델의 중심에서 y 축에 수직하게 절단한 속도 단면도 ($x=0, y=6560m$)이다. Fig. 2는 점 음원이 이 모델의 중심 ($x=6560m, y=6560m$)에 위치해 있을 때 속도 모델과 같은 위치에서 절단된 주시 단면도이다. 도시한 바와 같이 salt의 위치를 확인할 수 있으며, 퇴적층-암염 불연속면을 따라서 Head wave가 진행되고 있음도 확인할 수 있다. Fig. 5는 Fig. 1과 같은 위치에서 계산된 진폭을 주시 단면도에 중첩시킨 것이다. 본 그림에서 보듯이 진폭 역시 주시단면도와 같이 salt의 위치를 확인할 수 있고, 복잡한 속도 모델에서 진폭 계산이 가능함을 보여주고 있다. Fig. 4는 Fig. 1과 같은 속도모델에 대하여 2-D FEM 모델링에 의한 초동 진폭을 발췌하여 주시 단면도와 같이 중첩하여 그린 것이다. 정성적인 면에서 볼 때 Fig. 4의 3차원 SWEET 알고리즘에 의한 진폭 결과와 일치함을 알 수 있다.

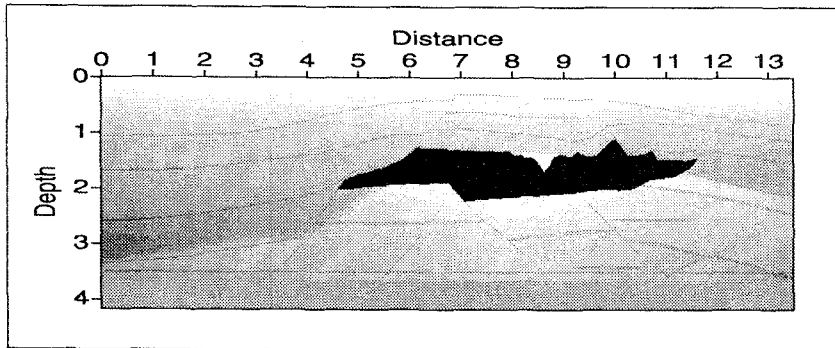


Fig. 1 : The vertical sliced velocity model at the center of the 3-D SEG/EAGE salt model ($x=0, y=6560m$).

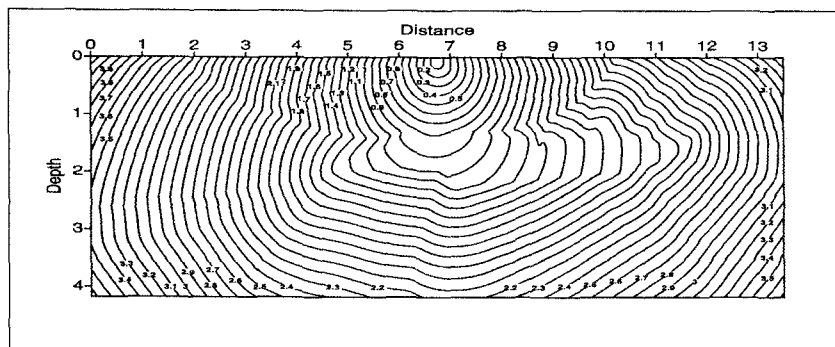


Fig. 2: The traveltime contours of the first arrival wave events by SWEET method on a vertical slice of the 3-D SEG/EAGE salt velocity model ($x=0, y=6560m$).

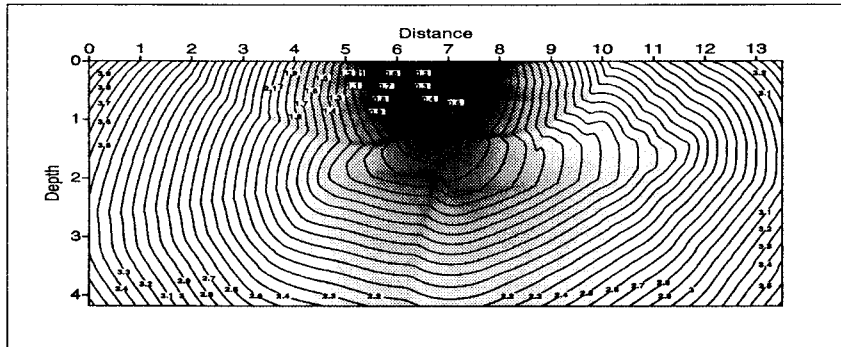


Fig. 3: The amplitude maps are superimposed on a vertical sliced traveltimes contours of 3-D SEG/EAEG salt model ($x=0$, $y=6560m$).

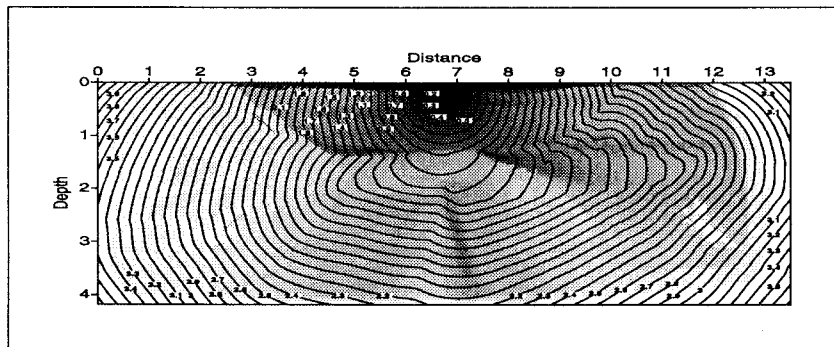


Fig. 4: Amplitude image obtained by FEM modeling overlaid with traveltimes contour by SWEET algorithm.

-
- 1) 서울대학교 지구환경시스템공학부
 - 2) 한양대학교 시스템응용공학부
 - 3) 한국과학기술정보연구원
 - 4) 한국지질자원연구원