

확장 Born 근사를 이용한 전자탐사 3차원 모델링

조성준* · 송운호 · 이성곤 · 정승환¹⁾

1. 서론

유한차분법이나, 유한요소법, 적분방정식을 이용하는 전자탐사 수치모델링 기법들은 전자탐사 3차원 영상화 역산 알고리즘을 위한 수치모델링 기법으로 사용하기에는 많은 계산시간 및 메모리 용량을 요구한다. 본 연구에서는 이러한 문제 해결을 위해 실제 적용 가능한 수준의 정확도를 확보하고 계산시간 및 메모리 문제를 고성능 PC 수준에서 해결할 수 있는, 확장 Born 근사(Habashy et al., 1993)를 적용한 3차원 전자탐사 적분방정식 모델링 알고리즘을 개발하였다. 국내에서는 확장 Born 근사 2.5차원 모델링(조인기 등, 1998) 및 토모그래피(조인기 등, 1998), 전체공간에서의 3차원 확장 Born 근사를 이용한 모델링(이성곤 등, 1999)이 발표되어, 확장 Born 근사를 이용한 알고리즘의 효용성을 인정받았으며, 본 연구는 반무한 공간에서 3차원 모델링이 가능하도록 하여 궁극적 목표인 3차원 역산의 기본 계산 알고리즘으로 사용될 수 있도록 하였다.

2. 이론

지하 층서구조에 존재하는 이상체에 의한 전체공간내 위치 \mathbf{r} 에서의 자기장 $\mathbf{H}(\mathbf{r})$ 및 확장 Born 근사를 이용한 이상체 내부에서의 전기장 $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ 은 다음과 같이 주어진다.(Habashy et al., 1993)

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}) = \mathbf{H}_b(\mathbf{r}) - \hat{z} \int_V \underline{\underline{\mathbf{G}}}_H(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \cdot \Delta \hat{\mathbf{y}}(\mathbf{r}') \mathbf{E}(\mathbf{r}') d\mathbf{r}' \quad (1)$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) \approx \underline{\underline{\Gamma}}(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{E}_b(\mathbf{r}) \quad (2)$$

여기서, $\mathbf{H}_b(\mathbf{r})$ 는 이상체가 존재하지 않을때 층서구조만의 1차 자기장, $\underline{\underline{\mathbf{G}}}_H(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ 는 층서구조만의 자기장 그린텐서, $\Delta \hat{\mathbf{y}}(\mathbf{r}')$ 배경 매질과의 전도도 차이, \hat{z} 은 $i\omega\mu$, $\underline{\underline{\Gamma}}(\mathbf{r})$ 는 scattering 텐서, $\mathbf{E}_b(\mathbf{r})$ 는 1차 전기장을 나타낸다. 한편 (2)식의 scattering 텐서는 다음과 같이 구해진다.(Habashy et al., 1993)

$$\underline{\underline{\Gamma}}(\mathbf{r}) = \left[\underline{\underline{\mathbf{I}}} + \hat{z} \int_V \underline{\underline{\mathbf{G}}}_E(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \cdot \Delta \hat{\mathbf{y}}(\mathbf{r}') d\mathbf{r}' \right]^{-1} \quad (3)$$

여기서, $\underline{\underline{\mathbf{G}}}_E(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ 는 층서구조만의 전기장 그린텐서를 나타낸다.

본 연구에서는 공간영역 특히 x 와 y 축에 걸친 콘볼루션 적분으로 표현되는 (1)식을 계산함에 있어, 3차원 역산에 효과적으로 동원할 수 있도록 x 축과 y 축으로 2차원 FFT를 수행하여 k_x-k_y 영역에서의 그린텐서와 이상전류 $\tilde{\mathbf{J}}^S(k_x, k_y, z')$ 의 곱으로 2차 자기장 $\tilde{\mathbf{H}}^S(k_x, k_y, z)$ 을 다음과 같이 계산한다.

$$\tilde{\mathbf{H}}^S(k_x, k_y, z) = \hat{z} \int_V \tilde{\underline{\underline{\mathbf{G}}}}_H(k_x, k_y, z; z') dz' \cdot \tilde{\mathbf{J}}^S(k_x, k_y, z') \quad (4)$$

(3)식에서 $\Delta \hat{\mathbf{y}}(\mathbf{r}')$ 역시 2차원 FFT를 통해 k_x-k_y 영역에서 그린텐서와의 곱을 취함으로써 scattering 텐서를 계산하였다. 수평 층서구조 내 그린텐서의 경우 k_x-k_y 영역에서 해석적인 해가 존재하며, 특히 z 축 방향으로의 적분 역시 해석적으로 존재하므로 적분방정식의 정확

주요어: 확장 Born 근사, 적분방정식, 3차원, 전자탐사

1) 한국자원연구소 전기·전자탐사 연구실 (mac@kigam.re.kr)

도를 높이고 계산시간을 줄일 수 있으며, 이미 계산된 그린텐서를 저장하여 역산과정의 반복계산시 시간을 획기적으로 절약할 수 있게 된다.

3. 결과 및 고찰

2차원 FFT를 이용한 계산 알고리즘의 정확도 및 적절한 수치모델링 변수를 고찰하기 위해 확장 Born 근사를 이용한 1차원 모델링 결과를 정확한 1차원 전자탐사 모델링 알고리즘으로 알려진 EM1D (Pellerin et al., 1995) 결과와 비교해 보았다. 다양한 1차원 모델 및 주파수에 대해 수치실험한 결과 모암의 전기비저항에 비해 10배 이상 차이가 나는 이상체에 대해서 최대 오차 5% 이내의 정확한 결과를 보여주었으며, 주파수 대역 10 Hz-10 kHz에서 EM1D에 의한 결과와 동일한 결과를 내 주었다.

3차원 모델링의 정확도를 고찰하기 위해 얇은판 적분방정식 해(Song and Lee, 1998)에 의한 결과와 비교해 보았다. 비교 결과 모델 구성에 의한 약간의 차이를 제외 하고는 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 본 연구에 의해 개발된 3차원 모델링 알고리즘을 이용해 주향방향으로 모델의 길이를 늘려 2차원 모델로 근사하여, 2.5차원 유한요소법 결과 및 2.5차원 확장 Born 근사 결과와 비교해 보았다. 비교 결과 양상은 유한요소법 결과에 거의 일치하나 크기에서는 10% 정도의 차이를 보여주었다.

4. 결론

본 연구에서 개발된 확장 Born 근사를 이용한 전자탐사 3차원 수치모델링 알고리즘은 비교적 정확한 계산 및 빠른 모델링 속도를 보여주고 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 수치 모델링 알고리즘은 기술적 필요성이 증대하고 있는 지표 전자탐사 3차원 역산 및 시추공간 3차원 토모그래피를 위한 모델링 알고리즘으로서 효용성이 클 것으로 여겨진다.

참고문헌

- 이성근, 김희준, 서정희, 1999, 확장 Born 근사에 의한 시추공간 3차원 전자탐사 모델링 : 물리탐사, 2, 86-95.
- 조인기, 서정희, 1998, 확장된 Born 근사에 의한 시추공간 전자탐사 2.5차원 모델링: 물리탐사, 1, 127-135
- 조인기, 심현미, 1998, 확장된 Born 근사에 의한 EM 토모그래피: 물리탐사, 1, 155-160
- Habashy, T. M., Groom, R. W. and Spies, B., 1993, Beyond the Born and Rytov approximation: A nonlinear approach to electromagnetic scattering: J. Geophys. Res., 98, 1759-1775.
- Song, Y. and Lee, K. H., 1998, A wide-band integral equation solution for EM scattering by thin sheet: 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstract, 436-439.
- Pellerin, L., Labson, V. F., and Pfeifer, M. C., 1995, VETEM - A very early time electromagnetic system: Proceeding of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP), 725-731.