

매설관로 탐지기 개발을 위한 전자탐사 3차원 FEM 모델링

정호준¹⁾ · 정현기 · 박영수²⁾ · 조철현³⁾

1. 서론

지하에 매설된 도시내의 기간 시설물(주로 전력선, 전화선, 가스관, 상하수도관 등)의 위치와 매설 깊이를 정확히 파악하는 것은 굴착 비용 및 소요시간 절감, 굴착시 가스관, 상수관, 통신선등의 파손으로 인한 피해의 예방등의 측면에서 볼 때 매우 중요하다. 저주파 전자파 관로탐지기는 GPR(Ground Probing Radar) 장비에 비해 정밀도는 다소 떨어지나 약간의 교육으로 사용 가능한 실용적 저가격 신속 탐사장비로 현재 현장에서 가장 널리 쓰이고 있으며 국내에는 영국 Radio Detection사와 일본 Fuji사의 제품들이 제일 많이 수입 운용되고 있다. 선진국 장비들은 끊임없이 성능을 향상시켜 고가로 보급을 행하나, 국내에서는 이 분야의 제품화 탐지장비 개발의 연구가 거의 불모지이므로 사용하기 간편하고 정확한 지하매설물 탐지 장비의 시급한 국내개발은 매우 중요하다 하겠다. 본 연구에서는 전자파를 이용한 지하매설물 탐지기 개발 및 현장운용시 필요한 지침을 마련하기 위하여 지하 매설관로의 전자반응을 3차원 유한요소법을 이용하여 분석하고자 한다. 이는 관로탐지 전자파법은 통상의 지구물리 전자탐사 개념과 달리 송신 dipole을 멀리 관로 직상부에 고정하고 수신기를 이동하여 보아 현장에서 직상부를 파악함과 동시에 간단히 수직장 차로부터 심도를 계산하기 때문이다.

2. 3차원 유한요소 모델링 프로그램 검증

지하관로의 전자반응은 Ansoft사의 상업용 3차원 전자모델링 프로그램인 Maxwell EM3D를 사용하여 계산하였다. 이 프로그램은 자동메쉬생성 기능을 제공하여 쉽게 복잡한 지하모델의 유한요소해석을 할 수 있는 소프트웨어로서 매우 고가임에도 불구하고 근래에 전기전자공학 각 분야뿐만 아니라 의료분야에서도 많이 사용하는 소프트웨어이다. 프로그램의 지하전자반응 계산 문제에 대한 적용성을 검증하기 위하여 1차원 층서모델에 대한 수직 자기쌍극자의 전자반응을 계산하여 층서모델에 대해 정확한 결과를 계산하는 것으로 공인된 Berkeley의 EMID 프로그램의 계산결과와 비교하여 보았다. 검증된 일례의 지하모델은 2층 구조로 각 층의 전기비저항은 각각 10, 100 Ohm-m, 1층의 두께는 5m이며, 송신주파수는 50kHz이다. 그림1은 송신원으로부터의 거리에 따라 자기장의 수직성분과 수평성분을 표시한 것으로 Maxwell EM3D의 결과와 EMID의 결과가 매우 잘 일치함을 볼 수 있다.

3. 인접 이중관로의 전자반응

주요어 : 매설물, 탐지기, 3차원 FEM 모델링

- 1) 서울대학교 교육종합연구원
- 2) 한국자원연구소 자원연구부
- 3) (주)지하정보기술

그림 2는 인접 이중관로의 전형적인 실전 모델을 나타낸다. 송신원은 관로 주향에 수직인 자기쌍극자이며 송신주파수는 40kHz이다. 관로의 반경은 0.15m, 깊이는 1m, 관로사이의 간격은 2m 이며, 관로의 전기비저항은 10^{-4} Ohm-m, 주변 매질의 전기비저항은 100 Ohm-m (국내의 전형적 표토층 전기비저항)이다. 관로의 주향방향 연장은 무한한 것으로 가정하였으며 관로반응의 측정은 송신원으로부터 20m 떨어진 지점에서 관로주향에 수직인 방향으로 이루어진다.

그림 3(a), (b)는 자기장의 수직성분 및 수평성분의 동상성분과 이상성분을 나타낸 것이며, 그림 3(c)는 자기장의 수직성분의 수평방향 미분, 그림 3(d)는 수평성분의 세기를 나타낸 것이다. 그림 3에서 보면 자기장의 수직성분의 미분치의 경우 두 개의 관로 상부에서 큰 값을 나타내서 두 개의 관로의 존재를 알 수 있는 반면에 수평성분의 경우는 송신원 하부의 관로 상부에서는 큰 값을 보이지만 인접한 관로 상부에서는 반응이 매우 작아서 인접관로의 존재를 파악하기가 곤란하다. 그림3(c)와 (d)에서 최대치의 1/2이 되는 값의 너비를 비교하여 볼 때 수직방향 자기장의 수평방향 미분치를 측정하는 것이 수평방향 자기장을 측정하는 것에 비해 분해능이 최소 1.5배 이상 높은 것으로 판단할 수 있다.

4. 토의 및 결론

현재 국내에 도입되어 운용중인 전자파를 이용한 매설관로 탐지기들은 관로에 의해 유도되는 자기장의 수평성분을 측정하는 방식 또는 수직성분 자기장의 수평방향 미분치를 측정하는 방식을 사용하는데 인접 이중관로에 대한 전자반응을 계산하여 본 결과 자기장의 수직성분의 미분치를 측정하는 방식이 분해능이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

앞으로 여러 가지 관로 모델들(인접 다수관로, 굴곡관로, T형관로)에 대한 전자반응의 특징 및 다수의 관로 존재시 정확한 관로 심도 계산 방법에 대한 고찰이 필요하며 이는 향상된 시스템의 설계 및 시스템 현장운용시에 중요한 지침을 제공할 것이다.

본 연구는 통상산업부의 공업기반기술 공모과제의 일환으로 수행되어 그 중간 연구결과의 일부를 발표하는 것임을 밝혀둔다.

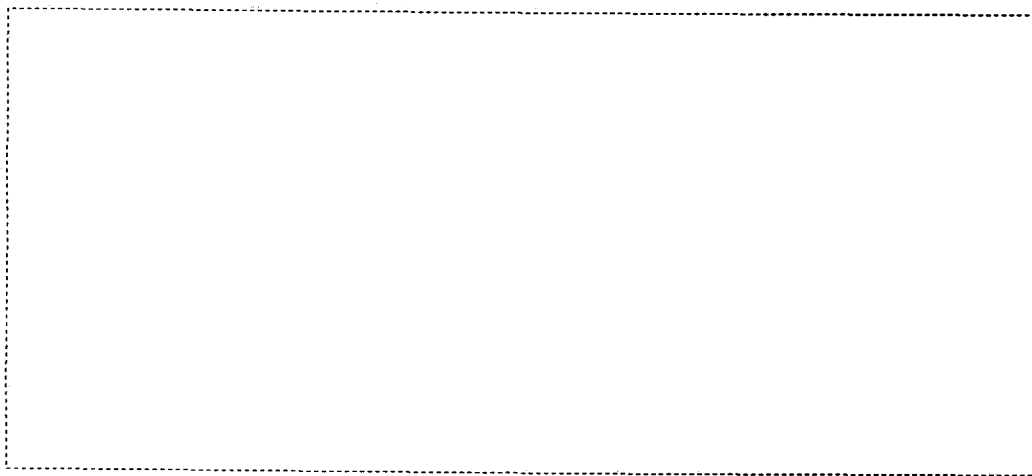


그림 1. 3D FEM에 의한 수평 2층구조의 수직 자기쌍극자 자기반응의 검증 결과 (In : In-phase, Q : Quadrature, r : radial, z : vertical, p : primary, s : secondary)

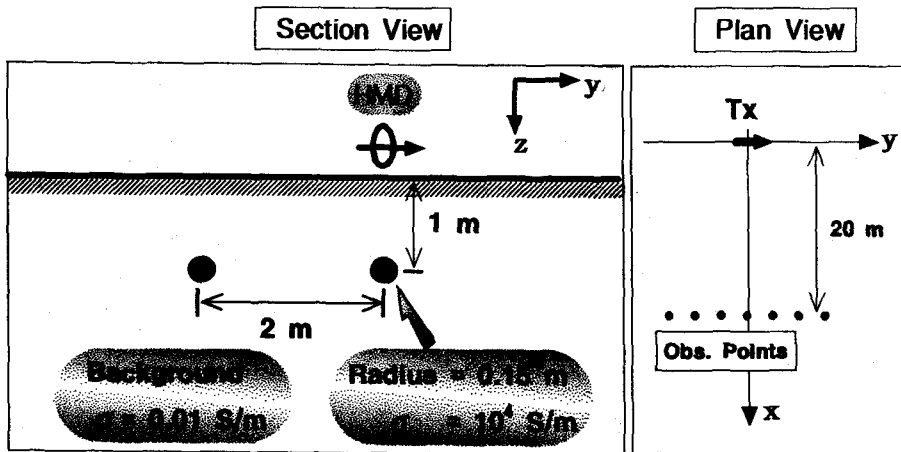


그림 2. 인접 이중 관로 모델

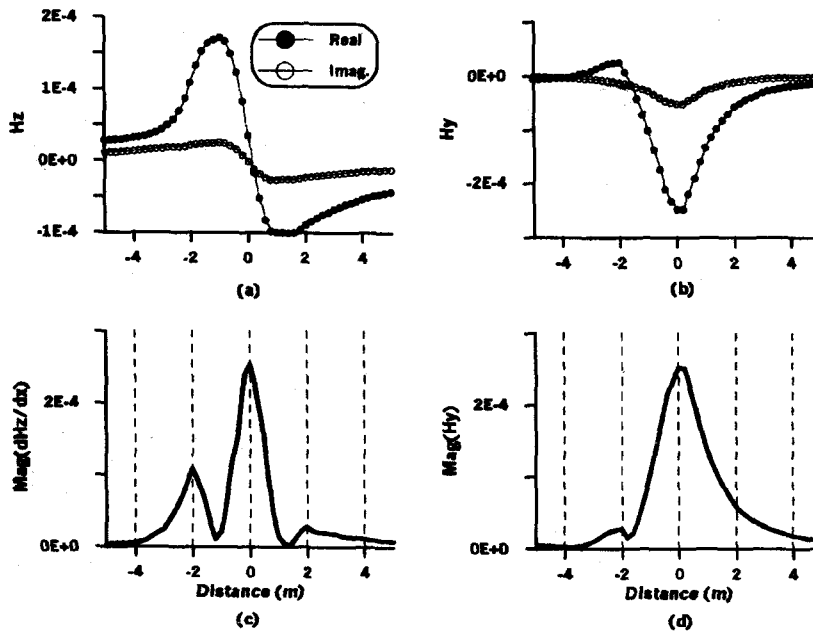


그림 3. 인접 이중관로 모델의 전자반응 계산 결과.

- (a) 총자기장(1+2차장)의 수직성분 반응
- (b) 총자기장의 수평성분 반응
- (c) 수직성분 반응의 수평차분(차분거리 = 0.1m)
- (d) 수평성분 반응 (b)의 세기 ($[\text{Re}(H_y)^2 + \text{Im}(H_y)^2]^{1/2}$)