

# 이동 자성체 실시간 역산 추적 전산 모델링

주형태<sup>1)</sup>, 정현기, 임무택<sup>2)</sup>

## 1. 서론

지상에서 자기장을 측정하고, 이러한 자료로부터 지하의 자성체의 형상 등을 역산하는 연구는 많이 수행되어 왔다. 이렇게 발달해온 지구물리 역산 기법은 매우 유용하므로, 자성체가 쌍극자이고, 시간적으로 이동할 경우에 그 자성체의 위치를 아주 빠른 시간 안에 역산할 수 있다면, 결국 자성체의 움직임을 시간적으로 추적할 수 있다는 가정 하에, ridge regression 법을 이용한 연구를 수행하였다. 이러한 방법은 이동하는 차량의 포착, 벨트콘 베이어 위를 이동하는 생산품에 자성물질이 있는가를 검출함에 응용하는 등 이동 자성체의 실시간 추적에 이용할 수 있을 것이다. 이 때 지구물리 자기탐사와는 달리 근거리 형상 탐지보다는 탐지거리내 포착성 및 위치 추적이 주목적이므로 이동 자성체는 단순한 자화 쌍극자로 가정해도 실용상 문제는 없다. 또한, 이러한 경우에 최적 측정수, 최적 측선수를 도출하고, 실제 응용할 경우에 사용할 수 있는 지침과 하드웨어의 최적 설계 방향을 제시한다.

## 2. 역산 모델링

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 좌표계와 가정된 자성체의 자화벡터를 표시하고 있다. 이동 자성체의 길이는 1 m,  $x = 0, 1, 2, 3, y = 0, 1, 2, 3, \dots, 8, z = 1, 2, 3, \dots, 10$  범위 내에서 움직이는 것으로 가정하였다. 측정점은  $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ 의 축상에 위치하는 것으로 하고, 각 측정점에서의 측정 성분은 기본적으로  $x, y, z$  등 3 성분을 측정하는 것으로 하였다. 이동체의 자화 모멘트는 단위 unit로 가정하였다.

Fig. 1 과 같은 3차원 좌표계에서, 중심의 좌표가  $P_0(x_0, y_0, z_0)$ , 쌍극자 길이  $L$ , 극의 자화강도  $m$  (양끝의 자화 강도가  $-m$  과  $+m$  인 쌍극자, 여기서, 극의 자화강도  $m$ 은 보통  $m = IA = kH_eA$  으로 주어지며,  $k$ 는 대자율,  $H_e$ 는 지자기장의 강도,  $A$ 는 쌍극자의 단면이 된다), 자화방향단위벡터  $\vec{u} = (\cos\theta\cos\phi, \sin\theta\cos\phi, \sin\phi)$  (여기서,  $\phi$  = 자화 방향의 inclination,  $\theta$  = 자화방향의 declination)를 갖는 쌍극자의 magnetic field는 측정점  $P(x, y, z)$  에서 다음과 같이 계산된다(민경덕, 1987; Blakely, 1995).

즉, 측정점  $P(x, y, z)$  에서의 magnetic field는 (P 점에서의  $-m$  단극자에 의한 자력값) - (P 점에서의  $+m$  단극자에 의한 자력값)이 된다. 이 때 단극자  $-m$  에 의한 거리  $r$  에서의 자기장은

$$\vec{H} = \frac{m}{r^2} \vec{r}$$

와 같이 주어지므로, 우리가 구하고자하는 쌍극자에 의한 자기장은

$$\vec{H} = \frac{m}{r_1^2} \vec{r}_1 - \frac{m}{r_2^2} \vec{r}_2$$

---

주요어 : 자기 반응 역산, 이동 자성체 실시간 추적

- 1) 한국해양연구소 해양지질연구단
- 2) 한국자원연구소 탐사개발연구부

여기서,  $\vec{r}_1$ 은 측정점 P에서 -m까지의 거리 벡터이고  $\vec{r}_2$ 는 측정점 P에서 +m까지의 거리 벡터이므로 다음과 같이 계산된다. 즉,  $\vec{r}_1$ 과  $\vec{r}_2$ 는

$$\vec{r}_1 = \vec{P}_{-m} - \vec{P}, \quad \vec{r}_2 = \vec{P}_{+m} - \vec{P}$$

여기서,  $\vec{P}_{-m} = \vec{P}_0 - L/2 \cdot \vec{u}$  으로 -m 의 위치벡터,  $\vec{P}_{+m} = \vec{P}_0 + L/2 \cdot \vec{u}$  는 +m 의 위치벡터이다. 즉, 정리하면,  $\vec{P}_{-m}$  와  $\vec{P}_{+m}$  를 구한 다음,  $\vec{r}_1, \vec{r}_2$  를 구할 수 있고, 이로부터 쌍극자에 대한 자기장이 구해진다. 이러한 역산 문제를 풀기 위하여, 본 연구에서는 ridge regression법(정현기, 1986)을 사용하였다.

### 3. 역산 결과 및 고찰

역산 문제에 있어서 찾고자 하는 미지수는 거의 정해져 있고, 일반적으로 측정된 자료가 많을수록 더 정확한 해에 도달하므로, 이 연구에서는 측정점을 많이 가정한 경우로부터 역산 가능성을 먼저 점검하고, 점차로 측정점이 적거나 잡음이 많은 경우 등 더 열악한 경우 까지 그 가능성을 점검하였다.

먼저, 측정점을  $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  등 8곳( $y = 0, z = 0$ )에 설치한 것으로, 3축 성분을 각각 측정된 것으로 가정한 경우는 쉽게 역산이 가능하고, 잡음을 가정하지 않았을 경우에는 이동체의 역산된 위치는 가정한 위치와 거의 차이가 없었다. 한편, 위의 경우와 같은 측정점을  $y = 2, z = 0$  에 한 줄 더 배열했을 경우도 물론 정확한 역산을 수행하였는데, 이는 역산의 원리상 당연한 것이다. 다만, 잡음이 많을 경우에도 역산이 가능한가를 점검하기 위하여는 이렇게 측정점을 늘리는 것이 필요할 수가 있다. 10%의 잡음을 추가했을 때에도, 축선이 1줄(측정점 8개)이나 2줄이나에 상관없이 역산이 가능하였다. 그리고, 한 축선 위의 8개의 측정점에서 z 성분만을 측정된 것으로 가정했을 때의 역산도 다소 미흡하지만 가능한 것으로 판단되었다. 가장 시간이 많이 걸리는 2축선 8개의 측정점을 가정한 경우에 대해서도 역산은 Pentium 급 PC로 1초 이내에 끝났다.

이러한 역산 모델링을 실제에 응용하여, 움직이는 자성체에 의해 유도된 자기장의 측정-역산(위치계산)을 연속적으로 수행하고, 역산된 위치를 시간별로 표시하면 이동 자성체의 추적이 가능하게 된다. 덩어리 등 자성체 혹은 도전체를 추적할 때에 전자과탐사 기법을 능동적 혹은 수동적으로 사용할 수 있으나(Won, 1998) 가능하다면 자기방법이 더욱 간편하고 유용하다.

이 모델링 결과를 특수 목적 정밀 현장에 응용할 경우에는 다음과 같은 개선이 이루어져야 할 것이다. 첫째는 저가격 센서의 sensitivity를 현재의 10nT 정도로부터(Carusio, 2000) 1nT 훨씬 이하로까지 올리는 것이다. 이것은 이동체의 탐지거리 증대, 미세한 위치 변화의 탐지 등을 위한 것이다. 둘째는 base station을 운용하여 모든 측정점에서 측정된 성분값으로부터 base station에서 측정된 성분값을 빼 줌으로써 이동체 자체에 의한 유도 자기장만을 측정할 수 있도록 하는 것이다. 이것은 지구자기장이 지구 외부의 요인에 의하여 하루 수십nT까지 변화하는 것을 보정해 주기 위한 것이다.

### 4. 결론

한 개의 축선 위에 최대 8개의 자기장 측정센서를 놓고, 최대 2개의 축선을 배열하여 이러한 측정에서 3축으로 자기장을 측정된 것으로 가정하여, 이러한 자료로부터 자성체의 위치 등을 역산하는 모델링을 수행하였다. 여기에 쓴 역산 방법은 ridge regression 법이었다.

그 결과, 위와 같이 측정자료가 최대일 경우는 물론이고, 한 축선 위에 4개의 측정점을 배열한 것으로 가정한 경우에도 자성체의 위치를 역산할 수 있었다. 또한, 3성분을 측정된 것을 가정한 경우에는 10%의 잡음을 측정치에 추가한 경우에도 역산이 가능하였다. 다만, 3성분이 아니고, z성분만 측정된 것으로 가정한 경우에는 역산결과가 미흡하였다. 측정점이 2축선에 16개, 3축 측정을 한 것으로 가정한, 변수가 가장 많은 경우에도 역산에 걸리는 시간은 Pentium 급 PC로 1초 이내였다. 이것은 측정-역산(위치추정)을 반복함으로써, 자성체의 위치를 시간적으로 추적할 수 있음을 뜻한다. 이러한 역산 결과를 물밑을 움직이는 비자성체의 신속 정밀 포착 등에 응용하려면 특수 센서의 채택으로 감도를 1nT 훨씬 이하로 올리고 자성체의 위치로부터 많이 떨어진 곳에 base station을 설치하여 외부원인에 의한 자기장의 변화를 실시간 제거하는 것이 요구된다.

#### 참고 문헌

1. 민 경덕, 서 정희, 권 병두, 1987, 응용지구물리학, p. 170 ~ 173, 우성문화사, 서울
2. Blakely, R. J., 1995, Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications, p. 65 ~ 80, Cambridge University Press
3. 정현기, 1986, 자기쌍극자원에 의한 구형도체의 주파수영역 전자반응, 서울대학교 공학박사 학위 논문
4. Won, I. J., Keiswetter, D., and Novikova, E., 1998, Electromagnetic Induction Spectroscopy, JEEG, v. 3, Issue 1, p. 27-40
5. Caruso, M. J. and Withanawasam, L. S., 2000, Vehicle detection and compass applications using AMR magnetic sensors, <www.ssec.honeywell.com>

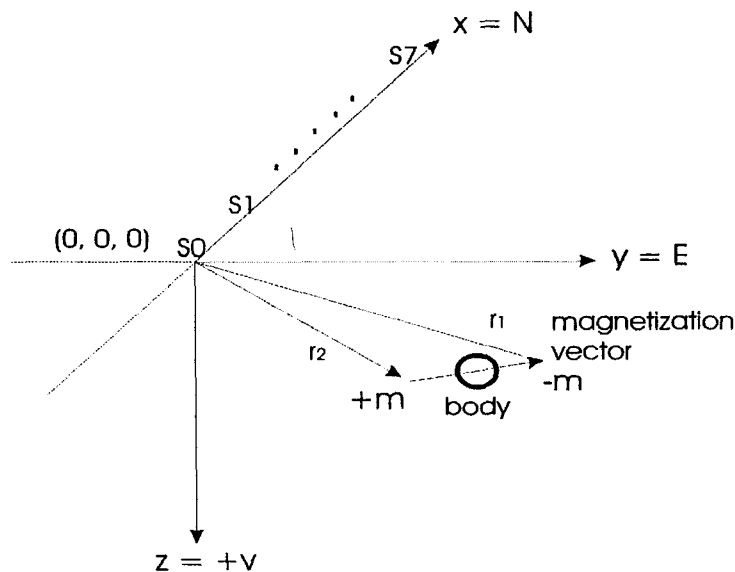


Fig. 1. Coordinates system used in this study.