

자기이상완전구배에 의한 3차원영상화방법

최영남, 김인찬

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《앞선 탐사방법을 받아들이는데서 중요한것은 또한 지질탐사에 물리탐사방법의 최신 성과를 받아들이는것입니다.》(《김정일선집》 증보판 제14권 505페이지)

지금까지 적지 않은 자력탐사자료해석에서는 잔류자화의 영향을 무시하고 감응자화만을 고려하였다. 그렇지만 고고학과 일부 광물탐사를 진행할 때에는 잔류자화세기가 비교적 강하므로 해석에서 반드시 고려하여야 한다.[3]

논문에서는 자화방향의 영향을 적게 받는 자기이상완전구배를 리용한 3차원영상화방법을 제기하고 모형계산을 통하여 방법의 믿음성을 검증하였다.

1. 자기이상완전구배를 리용한 3차원영상화방법

일반적으로 2차원해석신호의 진폭은 자화방향의 영향을 받지 않는다.[1] 3차원문제인 경우 관측자료로부터 직접 계산할수 있으면서도 자화방향의 영향을 받지 않는 그러한 파라미터는 아직까지 찾지 못하였다. 그러나 자기이상의 완전구배가 자화방향의 영향을 크게 받지 않는다는것은 이미 알려져있다. 그러므로 우리는 자기이상체가 강한 잔류자화를 가지고 있는것으로 하여 완전자화세기의 방향을 모르는 경우에도 해석을 진행할수 있는 자기이상의 완전구배를 리용한 3차원영상화방법을 연구하였다.

자기이상의 완전구배는 구배이상의 진폭이다.

$$G = |\nabla M| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

여기서 M 은 자기이상완전성분이나 자기이상수직성분과 같은 주어진 이상마당의 어느 한 성분이다.

야외에서 흔히 얻게 되는 관측자료는 자기이상완전성분이다. 그러므로 완전구배를 리용하여 거꿀문제풀이를 하자면 관측자료로부터 완전구배를 계산하여야 한다.

우리는 주파수령역연산자에 의한 도함수계산방법을 리용하였다.

우선 푸리에변환을 통하여 관측자료를 주파수령역으로 넘긴 다음 해당한 도함수연산자들을 적용한다. 얻어진 결과를 다시 공간령역으로 넘기면 x, y, z 방향도함수들을 얻는다. 다음 식 (1)을 리용하여 완전구배를 계산한다.

일반적으로 거꿀문제풀이를 진행할 때 관측면아래의 해석구역을 요소직6면체들의 모임으로 근사시킨다.

요소직6면체의 구배마당계산식들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta T}{\partial x} &= \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 S \left[G_1 \frac{1}{r_{klm}} + G_2 \frac{\alpha_k}{r_{klm}(r_{klm} + \beta_l)} + G_3 \frac{\alpha_k}{r_{klm}(r_{klm} + h_m)} + \right. \\
 &\quad \left. + G_4 \frac{\beta_l h_m (r_{klm}^2 - \alpha_k^2)}{r_{klm}(r_{klm}^2 \beta_l^2 + \alpha_k^2 h_m^2)} - G_5 \frac{\beta_l h_m (r_{klm}^2 + \alpha_k^2)}{r_{klm}(r_{klm}^2 \alpha_k^2 + \beta_l^2 h_m^2)} \right] \\
 \frac{\Delta T}{\partial y} &= \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 S \left[G_1 \frac{\beta_l}{r_{klm}(r_{klm} + \alpha_k)} + G_2 \frac{1}{r_{klm}} + G_3 \frac{\beta_l}{r_{klm}(r_{klm} + h_m)} - \right. \\
 &\quad \left. - G_4 \frac{\alpha_k h_m (r_{klm}^2 + \beta_l^2)}{r_{klm}(r_{klm}^2 \beta_l^2 + \alpha_k^2 h_m^2)} + G_5 \frac{\alpha_k h_m (r_{klm}^2 - \beta_l^2)}{r_{klm}(r_{klm}^2 \alpha_k^2 + \beta_l^2 h_m^2)} \right] \\
 \frac{\Delta T}{\partial z} &= \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 S \left[G_1 \frac{h_m}{r_{klm}(r_{klm} + \alpha_k)} + G_2 \frac{h_m}{r_{klm}(r_{klm} + \beta_l)} + G_3 \frac{1}{r_{klm}} + \right. \\
 &\quad \left. + G_4 \frac{\alpha_k \beta_l (r_{klm}^2 - h_m^2)}{r_{klm}(r_{klm}^2 \beta_l^2 + \alpha_k^2 h_m^2)} - G_5 \frac{\alpha_k \beta_l (r_{klm}^2 - h_m^2)}{r_{klm}(r_{klm}^2 \alpha_k^2 + \beta_l^2 h_m^2)} \right] \\
 G_1 &= J(Mr + Nq), \quad G_2 = J(Lr + Np), \quad G_3 = J(Lq + Mp), \\
 G_4 &= J(Nr - Mq), \quad G_5 = J(Nr - Lp)
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 $S = (-1)^{k+l+m+1}$, $r_{klm} = \sqrt{\alpha_k^2 + \beta_l^2 + h_m^2}$, $\alpha_k = a_k - x$, $\beta_l = b_l - y$ 그리고 a_k , b_l , h_m 은 직6면체의 정점들의 자리표, J 는 자화세기이다. 또한 L , M , N 은 자화세기벡터의 방향코시누스, p , q , r 는 지자기마당의 방향코시누스이다.

지자기마당의 복각과 편각을 각각 i_0 , d_0 이라고 하면 지자기마당의 방향코시누스는 다음과 같이 표시된다.

$$p = \cos i_0 \cos d_0, \quad q = \cos i_0 \sin d_0, \quad r = \sin i_0$$

그리고 자화벡터의 복각과 편각을 각각 j , d 라고 하면 자화벡터의 방향코시누스들은 다음과 같이 표시된다.

$$L = \cos j \cos d, \quad M = \cos j \sin d, \quad N = \sin j$$

식 (2)를 식 (1)에 넣으면 완전구배에 대한 정문제풀이모형을 얻을수 있다. 정문제풀이를 진행할 때 자화방향은 임의로 설정할수 있는데 보통 지자기마당방향으로 설정한다.

우리는 SIRT[2]법을 리용하여 매 요소직6면체들의 자화세기를 결정하였다.

2. 모형계산실험에 의한 방법의 믿음성검증

우리는 제기한 방법의 믿음성을 검증하기 위하여 경사진 3차원자기이상체가 만드는 마당에 대한 모형계산실험을 진행하였다.

모형계산실험에서 지자기마당의 방향은 $i_0 = 60^\circ$, $d_0 = 0^\circ$, 자기이상체의 자화방향은 $j = 75^\circ$, $d = 35^\circ$, 자화세기는 $J = 1\,000 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ 로 설정하였다.

관측자료의 수는 256개, 관측점들사이의 간격은 10m로 하였다. 거꾸문제풀이를 진행하기 위하여 해석구역을 x , y 축방향에서는 각각 16개, z 축방향에서는 10개로 나누어 모두 2 560 개의 직6면체요소들로 분할하였다. 이때 요소체의 크기는 $10\text{m} \times 10\text{m} \times 10\text{m}$ 이다.

요소체의 자화방향은 지자기마당의 방향과 일치시켰다.
모형계산실험결과는 그림과 같다.

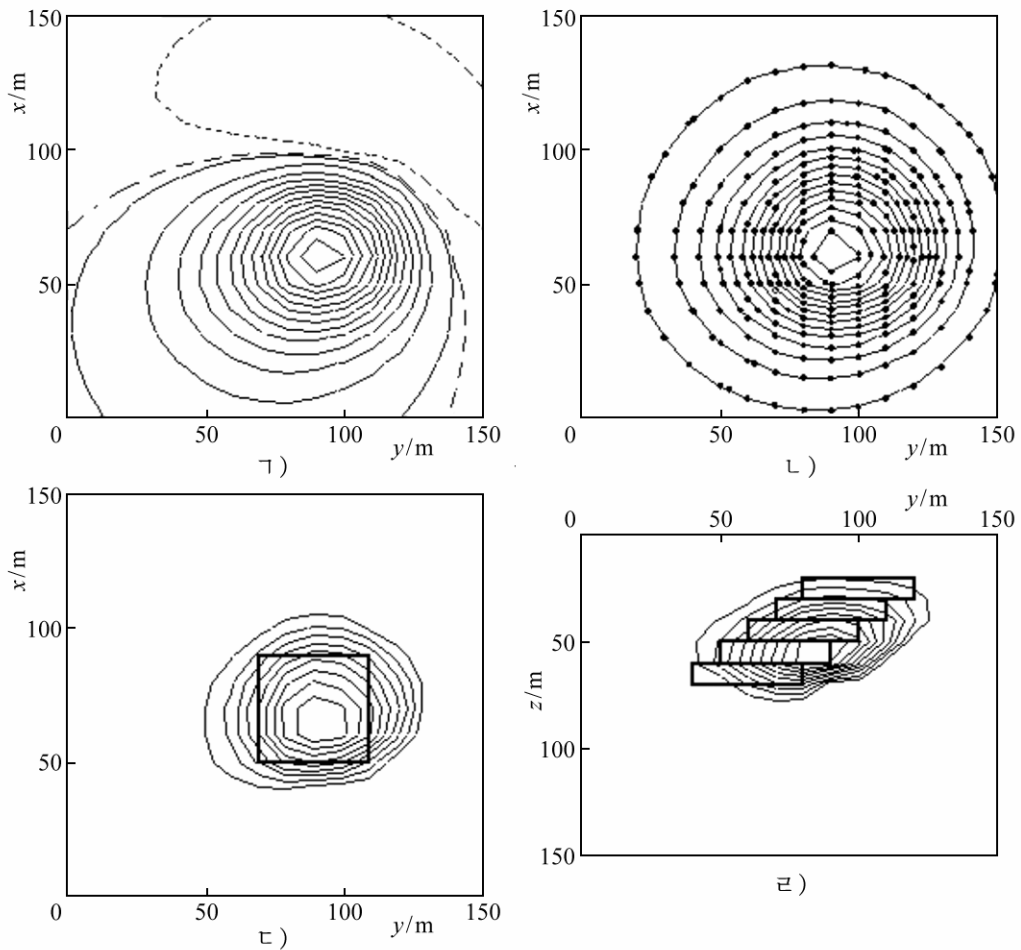


그림. 관측 및 완전구배마당과 영상화결과

ㄱ) 관측마당, ㄴ) 완전구배마당(점선—관측이상, 실선—추정이상),

ㄷ) 수평자름면($z=30\text{m}$), ㄹ) 수직자름면($x=70\text{m}$)

그림에서 보는바와 같이 완전구배를 리용한 영상화방법을 리용하면 자기이상체의 자화방향을 모르는 경우에도 자기이상체의 위치와 놓임깊이는 물론 자기이상체의 형태와 경사방향까지도 비교적 정확히 해석할수 있다.

맺는 말

자기이상의 완전구배를 리용한 3차원영상화방법은 자기이상체의 잔류자화를 고려할수 있는 효과적이면서도 비교적 믿음성있는 해석방법이다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 54, 6, 156, 주체97(2008).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 47, 1, 142, 주체90(2001).
- [3] Yaoguo Li et al.; Geophysics, 75, 1, L1, 2010.

주체105(2016)년 10월 5일 원고접수

**Three Dimension Imaging Method by the Total Gradient
of Magnetic Anomaly**

Choe Yong Nam, Kim In Chan

We suggested 3D imaging method using the total gradient of magnetic anomaly on the basis of finding the possibility to can regard the remanent magnetization and proved the reliability of the method via model calculation.

Key wards: remanent magnetization, magnetic anomaly, total gradient