

# 이상체의 자화방향과 독립인 표준화된 원천세기의 특성과 그 계산방법

권순일, 김성준

지난 시기 자력탐사자료해석에서는 이상체의 잔류자화를 무시하고 감응자화만을 고려하였다.[1, 2] 그런데 완전자화세기의 방향이 감응마당의 방향과 심하게 차이나는 경우가 많으므로 자력탐사자료해석결과에는 심한 오차가 포함된다.

최근 자화방향에 관계되지 않는 물리적량들을 리용하는 거꿀문제풀이방법들[3-5]이 제기되어 리용되고있다. 그러나 이 방법들도 3차원문제인 경우에 자화방향에 따라 해석결과가 차이나는 부족점이 있다.

본문에서는 자기마당관측자료로부터 이상체의 자화방향에 완전히 무관계한 표준화된 원천세기를 계산하기 위한 한가지 방법을 제기하였다.

## 1. 관측자료로부터 표준화된 원천세기의 계산방법

관측점에서 자기이상체까지 거리의  $n$ 제곱에 의하여 표준화되는 원천세기(NSS)는 다음과 같이 표시된다.

$$\mu = \frac{qC_m}{|r - r_0|^n}$$

여기서  $n$ 은 구배이상체에 관계되는 구조지수,  $q$ 는 기하학적인자,  $r$ 와  $r_0$ 은 관측점과 적분점의 위치벡토르,  $C_m = 10^{-7} \text{H/m}$ 이다.

위의 식에서 보는바와 같이 자기이상체의 표준화된 원천세기는 원천의 기하학적인자(표)에 관계된다.

표준화된 원천세기는 자기마당관측자료의 자기구배텐소르의 고유값들로부터 계산할수 있다.

자기구배텐소르  $\Gamma$ 는 다음과 같이 표시된다.

표. 각이한 모형들에 대한 구조지수와 기하학적인자

모형	$n$	$q$
구	4	$3m$
수평원기둥	3	$4js$
얇은 판상체	2	$2jt$
수직계단	1	$2j$

$m$ 은 자기모멘트의 크기,  $j$ 는 유효자화세기,  $t$ 는 얇은 판상체의 두께,  $s$ 는 모형의 가로자름면면적

$$\Gamma = -C_m \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial z} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \partial z} & \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

원천의 외부에서  $\Phi$ 는 라플라스방정식  $\nabla^2\Phi=0$ 을 만족시키므로 자기구배텐소르의 대각선의 합은 령과 같다.

대칭행렬  $\Gamma$ 를 특이값분해하면 다음과 같다.

$$\Gamma = V\Lambda V^T \quad (2)$$

여기서

$$V = [V_1 \ V_2 \ V_3], \ \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix}$$

은 각각 고유벡토르와 고유값행렬이다.

표준화된 원천세기는 자기구배텐소르  $\Gamma$ 의 고유값들에 의하여 다음과 같이 표시된다.

$$\mu = \sqrt{-\lambda_2^2 - \lambda_1\lambda_3} \quad (3)$$

식 (3)에서 보는바와 같이 자기구배텐소르  $\Gamma$ 의 고유값들인  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 을 구하면 자화방향과 독립인 표준화된 원천세기를 계산할수 있다.

## 2. 표준화된 원천세기와 이상체의 자화방향사이의 무관계성

우리는 모형계산실험을 통하여 2차원, 3차원인 경우 표준화된 원천세기가 이상체의 자화방향에 관계되지 않는다는것을 증명하였다.

우선 지자기마당세기가 52 000nT이고 자화률이 0.01SI( $\kappa$ )인 구형체와 자화률이 0.01SI( $\kappa$ )이며 45°로 경사진 무한판상체의 자기이상완전성분과 표준화된 원천세기를 계산하였다.(그림 1) 이때 모형의 수평위치와 놓임깊이는 각각  $x_0=500\text{m}$ ,  $z_0=100\text{m}$ 이고 잔류자화벡토르의 자기복각과 편각은 각각  $I=45^\circ$ ,  $D=0^\circ$ 로, 자화세기는 지자기마당세기와 같게 설정하였다.

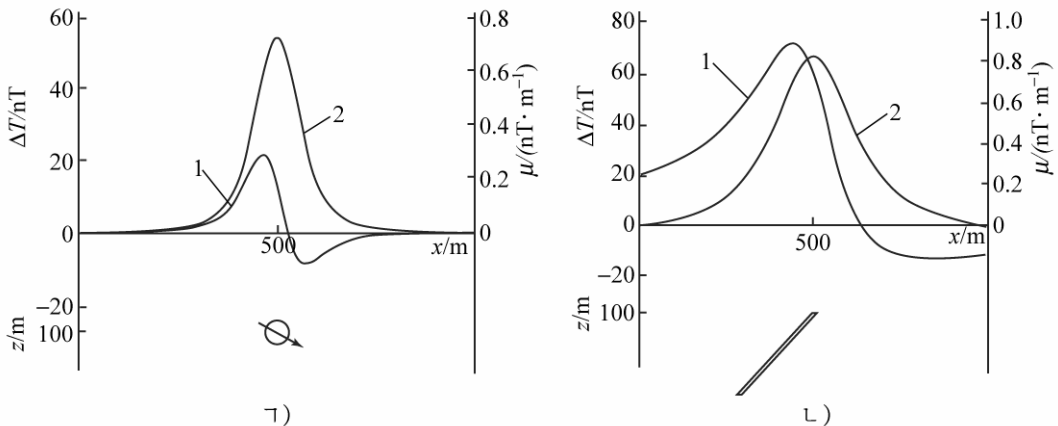


그림 1. 자기이상완전성분(1)과 표준화된 원천세기(2)곡선  
 a) 구형체, b) 무한수평판상체

그림 1에서 보는바와 같이 강한 잔류자화를 가지는 2차원이상체인 경우 자기이상완전성분곡선은 이지러지지만 표준화된 원천세기는 이상체의 중심을 지나는 연직방향의 축을 중심으로 대칭이다. 이로부터 2차원자기이상체인 경우 표준화된 원천세기는 이상체의 자화방향이나 경사방향에 무관계하고 이상체의 중심에서 최대값을 가진다는것을 알수 있다.

다음으로 3차원자기이상체의 경우 자화방향에 따르는 표준화된 원천세기의 변화특성을 고찰하였다.(그림 2)

모형계산실험에서는 지자기마당의 북각  $i_0 = 45^\circ$ , 편각  $d_0 = 45^\circ$ , 자화세기  $J = 1\,000\text{A/m}$ 로 설정하고 자기이상체(직6면체)의 자기이상완전성분, 표준화된 원천세기, 해석신호의 진폭(A)[6]특성을 비교하였다. 그림 2의 ㄱ), ㄴ), ㄷ)는 자화방향이  $j = 65^\circ$ ,  $d = 25^\circ$ 인 경우이며 ㄴ), ㄷ), ㄹ)는  $j = 25^\circ$ ,  $d = -65^\circ$ 인 경우이다.

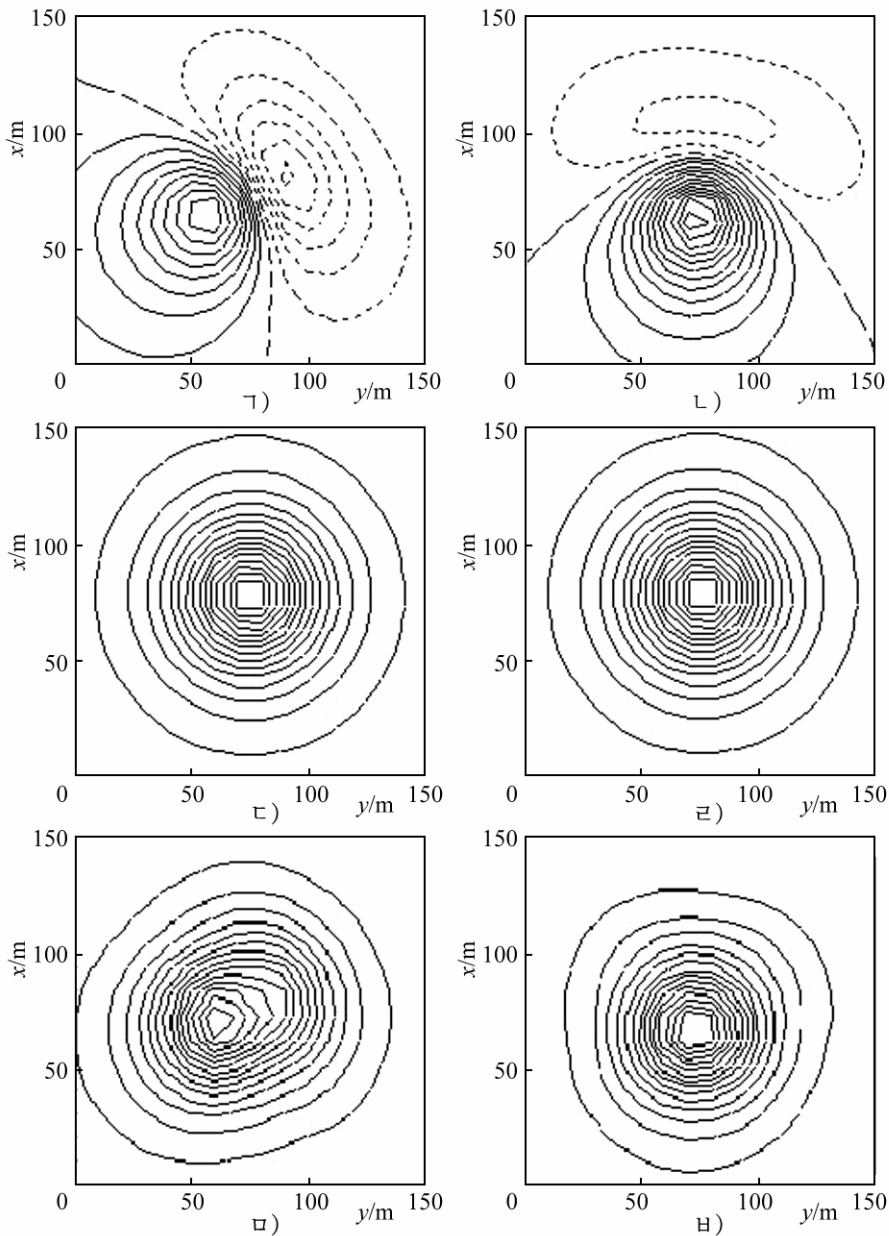


그림 2. 표준화된 원천세기의 특성

ㄱ), ㄴ) 자기이상완전성분, ㄷ), ㄹ) 표준화된 원천세기,  
 ㄹ), ㄹ) 해석신호의 진폭; 점선-부이상, 실선-정이상

그림 2에서 보는바와 같이 자기이상완전성분은 자화방향에 따라 형태와 방향, 세기가 차이난다. 그리고 해석신호의 진폭 역시 자화방향의 영향을 적게 받지만 자화방향에 따라 형태와 방향이 차이난다. 그렇지만 표준화된 원천세기는 자화방향에 관계없이 형태와 방향이 차이 나지 않는다.

모형계산실험을 통하여 표준화된 원천세기는 2차원인 경우뿐만아니라 3차원인 경우에도 이상체의 자화방향에 전혀 관계되지 않으며 강한 잔류자화를 가지는 광체들도 효과적으로 찾아내는데 리용할수 있다는것을 알수 있다.

### 맺 는 말

- 1) 자기이상관측자료의 구배텐소르를 리용한 표준화된 원천세기계산방법을 제기하였다.
- 2) 모형계산실험을 통하여 2차원인 경우뿐만아니라 3차원인 경우에도 표준화된 원천세기는 자화방향에 전혀 관계되지 않는다.

### 참 고 문 헌

- [1] Li Yaoguo; Geophysics, 75, 2, 394, 2010.
- [2] P. Mark; Geophysics, 62, 4, 1132, 1997.
- [3] M. Fedi; Geophysical Prospecting, 47, 1, 40, 2001.
- [4] M. Haney et al.; Geophysical Journal International, 152, 251 2013.
- [5] Nabighian M. Misac; Geophysics, 37, 3, 507, 1972.
- [6] Xiong Li; Geophysics, 71, L13-L16, 2006.

주체105(2016)년 11월 5일 원고접수

## The Property of the Normalized Source Strength which is Independent upon Source's Magnetization Direction and Its Calculation Method

*Kwon Sun Il, Kim Song Jun*

We have proposed a method for calculating the normalized source strength which is independent upon source's magnetization direction.

As compared NSS with the analytic signal amplitude we are sure that the NSS can provide more reliable information in magnetic prospecting data interpretations when the magnetic source contains remanent magnetization with a different direction to the inducing field.

Key words: NSS, magnetization direction