

다척도자기이상의 표준편차상관결수를 리용한 자성원천의 심부연장특성평가

전 광 철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

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

자성원천의 심부연장특성을 정확히 평가하는것은 자력탐사자료해석에서 중요한 문제로 제기된다.

지난 시기 자성원천의 심부연장특성을 해명하기 위하여 스펙트르분석법을 리용하거나 다척도분석법을 리용하였다. 이 방법들을 리용하면 자성체의 심부연장특성을 정부이상공반관계에 기초하여 정성적으로 평가할수 있다.[2, 3]

론문에서는 자기이상을 다척도분해하여 근사성분(다척도자기이상)을 얻고 그것의 표준편차상관결수를 리용하여 자성원천의 심부연장특성을 평가하는 방법을 제기하였다.

1. 방법의 원리

1) 자기이상의 다척도분해

2차원자기이상에 대하여 3계다척도분해를 진행하면 다음과 같다.[1]

$$\begin{aligned}\Delta T(x, y) &= A_0 f(x, y) \\ &= A_4 f(x, y) + \sum_{j=1}^3 (D_j^h f(x, y) + D_j^v f(x, y) + D_j^d f(x, y))\end{aligned}\quad (1)$$

여기서 $j=\overline{1,3}$ 는 다척도분해의 계차, $A_j f(x)$ 는 2차원다척도공간 V_j^2 에서의 근사성분, $D_j^h f(x)$, $D_j^v f(x)$, $D_j^d f(x)$ 는 각각 V_j^2 의 직교공간 W_j^2 에서의 수평, 수직, 대각선방향의 세 부분이다.

이와 같은 다척도분해를 자력탐사자료처리에 적용할수 있다. 야외측정값 ΔT 를 1계웨블레트분해하여 국부이상 ΔT_{∇_1} 과 지방이상 ΔT_{χ_1} 을 얻고 ΔT_{χ_1} 을 2계웨블레트분해하여 ΔT_{∇_2} 와 ΔT_{χ_2} 를 얻을수 있다. 그리고 ΔT_{χ_2} 를 3계웨블레트분해하여 ΔT_{∇_3} 과 ΔT_{χ_3} 을 얻을수 있으며 이와 같은 방법으로 계속 분해를 진행할수 있다. 실례로 야외측정값에 대하여 3계웨블레트분해를 진행하면 다음과 같은 식을 얻을수 있다.

$$\Delta T = \Delta T_{3\text{계근사}} + \Delta T_{3\text{계세부}} + \Delta T_{2\text{계세부}} + \Delta T_{1\text{계세부}}$$

2) 표준편차상관결수계산

2차원자료가 주어진 경우 측정점의 자리표는 (x_i, y_j) , 측정값은 $f(x_i, y_j)$ 라고 하자.

관측면에 분포된 측정자료에 대하여 그것의 표준편차상관결수를 계산하면 자기이상의 수평변화률이 큰 부분에서는 표준편차상관결수가 상대적으로 보다 큰 값을 가지므로 자성원천의 경계를 효과적으로 식별할수 있다. 구체적인 계산단계는 다음과 같다.

측정점 (x_i, y_j) 를 중심으로 하는 부분창문을 설정하고 그것을 이동시키면서 매 창문 안에서의 표준편차를 계산하고 그것을 창문중심점에서의 값으로 한다. 이때 창문안에 들어있는 자료점의 총수를 N , x 방향에서 자료점의 수를 $2p+1$, y 방향에서 자료점의 수를 $2q+1$ 이라고 하면 창문중심점 (x_i, y_j) 에서의 표준편차 σ_{ij} 는 다음의 식으로 계산한다.

$$\sigma_{ij} = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{d=i-p}^{i+p} \sum_{c=j-q}^{j+q} [f(x_d, y_c) - \bar{f}_{ij}]^2 \right\}^{1/2}, \quad \bar{f}_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{d=i-p}^{i+p} \sum_{c=j-q}^{j+q} f(x_d, y_c) \quad (2)$$

다음으로 표준편차의 8방위상관결수를 계산한다. 즉 측정점 (x_i, y_j) 를 창문중심점으로 하여 서로 이웃한 8개 방향의 창문중심을 각각 1, 2, ..., 8로 표시한다.(그림 1)

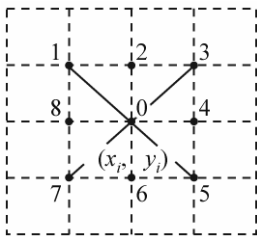


그림 1. 창문의 분할

중심창문의 표준편차모임 σ_{ij-0} (중심창문과 이웃한 8개 창문에서의 표준편차들)과 이웃한 8개 창문의 표준편차모임 $\sigma_{ij-1}, \sigma_{ij-2}, \sigma_{ij-3}, \sigma_{ij-4}, \sigma_{ij-5}, \sigma_{ij-6}, \sigma_{ij-7}, \sigma_{ij-8}$ 을 결정한 다음 중심창문과 이웃한 8개 창문의 표준편차모임들사이의 상관결수를 계산한다.

$$R_{0-k} = \frac{\text{cov}(\sigma_{ij-0}, \sigma_{ij-k})}{\sqrt{D(\sigma_{ij-0}) \cdot D(\sigma_{ij-k})}}, \quad k = \overline{1, 8} \quad (3)$$

$$D(\sigma_{ij-0}) = \frac{1}{8} \sum_{g=1}^8 (\sigma_{ij-0-g} - \bar{\sigma}_{ij-0})^2, \quad D(\sigma_{ij-k}) = \frac{1}{8} \sum_{g=1}^8 (\sigma_{ij-k-g} - \bar{\sigma}_{ij-k})^2,$$

$$\text{cov}(\sigma_{ij-0}, \sigma_{ij-k}) = \frac{1}{8} \sum_{g=1}^8 [(\sigma_{ij-0-g} - \bar{\sigma}_{ij-0}) \cdot (\sigma_{ij-k-g} - \bar{\sigma}_{ij-k})],$$

$$\bar{\sigma}_{ij-0} = \frac{1}{8} \sum_{g=1}^8 \sigma_{ij-0-g}, \quad \bar{\sigma}_{ij-k} = \frac{1}{8} \sum_{g=1}^8 \sigma_{ij-k-g}$$

여기서 k 는 중심창문주위의 어떤 방향의 창문번호, σ_{ij-0-g} 는 중심창문주위의 8개 방향마디점을 중심으로 한 창문에서의 표준편차, σ_{ij-k-g} 는 중심창문주위의 k 번째 창문주위의 8개 방향마디점을 중심으로 한 창문에서의 표준편차이다.

상관결수의 값범위가 0~2에 놓이도록 상관결수를 정값화하였다.

$$M_{0-k} = 1 - R_{0-k}, \quad k = \overline{1, 8} \quad (4)$$

상관결수를 정값화하면 정값화된 상관결수 M_{0-k} 가 보다 작을수록 자료의 파동성(수평변화)은 더 작아지며 M_{0-k} 가 보다 클수록 자료의 파동성은 더 커진다. 각이한 방향의 정값화된 상관결수를 식 (5)에 넣어 기하평균 $P_{i,j}$ 를 구한다. $P_{i,j}$ 값이 클수록 자료의 파동성이 크다. 이것은 이 점이 자성원천의 경계점으로 될 확률이 크다는것을 의미한다.

$$P_{i,j} = \sqrt[8]{M_{0-A} \cdot M_{0-B} \cdot M_{0-C} \cdot M_{0-D} \cdot M_{0-E} \cdot M_{0-F} \cdot M_{0-G} \cdot M_{0-H}} \quad (5)$$

자기이상을 다척도분해할 때 척도가 커짐에 따라 자기이상의 근사성분들에서는 지표가까이의 이상체들의 영향이 반영된 고주파성분들이 없어지면서 자기이상의 변화가 약화된다. 그러므로 각이한 척도의 자기이상의 근사성분을 얻고 표준편차상관결수를 계산하여 자성원천의 경계를 평가할수 있는데 자성체의 심부연장이 유한한 경우에는 척도가 큰 근사성분들에는 자성원천의 경계가 반영되지 않는다. 이러한 원리에 기초하여 자성원천의 심부연장특성을 평가할수 있다.

2. 모형계산에 의한 방법의 믿음성검증

다척도자기이상의 표준편차상관결수를 리용하여 자성원천의 심부연장특성평가방법의 믿음성을 검증하기 위하여 모형계산을 진행하였다. 이때 다척도자기이상에 국부이상체들이 반영되는 특성을 정량적으로 평가하기 위하여 상대노름 q 를 리용하였다.

$$q = \frac{\|F'\|}{\|F\|}$$

여기서 $\|F'\|$ 는 다척도자기이상의 표준편차상관결수행렬노름, $\|F\|$ 는 관측자기이상의 표준편차상관결수행렬노름이다.

모형계산에서는 구형체모형들이 만드는 자기이상에 10%의 우연장애가 포함된 자기이상을 리용하였다. 구형체모형들의 파라메터는 표와 같다.

표. 구형체모형파라메터(m)

구분	수평위치	놓임깊이	반경
구형체 1	(60, 60)	15	5
구형체 2	(140, 60)	25	10
구형체 3	(60, 140)	35	15
구형체 4	(140, 140)	50	20

구형체조합모형이 만드는 자기이상은 그림 2와 같다.

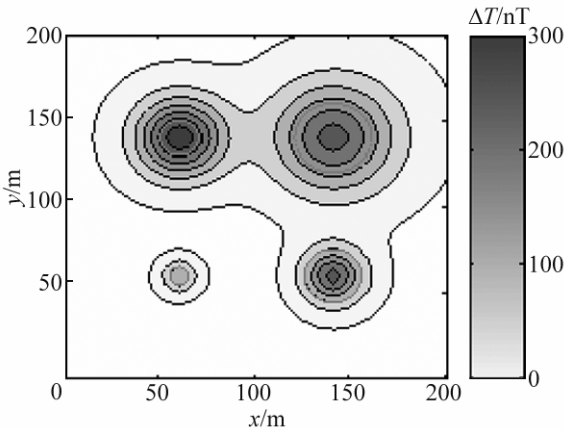


그림 2. 구형체조합모형이 만드는 자기이상

구형체조합모형이 만드는 자기이상을 db4웨블레트를 리용한 5계다척도분해를 적용하여 다척도자기이상을 얻고 표준편차상관결수를 계산한 다음 자성원천의 경계를 결정하였다.(그림 3)

그림 3에서 보는바와 같이 자기이상과 척도 1—3일 때 얻어진 다척도자기이상에 자성원천의 경계가 반영되지만 척도가 4이상일 때에는 자성원천의 경계가 반영되지 않는다. 그리고 척도 3일 때에는 자성원천의 경계가 보다 넓어지면서 희미해진다. 이것은 지표가까이에 놓여있는 자성체들의 자기이상의 영향이 반영되지 않았기때문이다.

매 척도에 따르는 자기이상에 대한 상대노름은 각각 0.999 8, 0.998 4, 0.965 9, 0.790 3, 0.431 2이고 매 척도에 따르는 자기이상을 에너지스펙트럼법으로 해석한 결과 자성원천의 놓임깊이는 각각 25.94, 33.19, 50.58, 61.86, 79.19m이다. 계산결과에서 보는바와 같이 척도 4이상부터는 상대노름이 급격히 작아지며 자성원천의 놓임깊이는 61.84m로서 제일 심부에 놓여있는 구형체의 놓임깊이 50m보다 더 크다. 이것은 척도가 4이상일 때 얻은 다척도자기이상에 국부이상체가 반영되지 않으며 국부이상체들의 놓임깊이가 61.84m이하라는것을 보여준다. 이로부터 상대노름이 0.9이상인 경우 다척도자기이상에 자성원천이 반영된다고 볼수 있다.

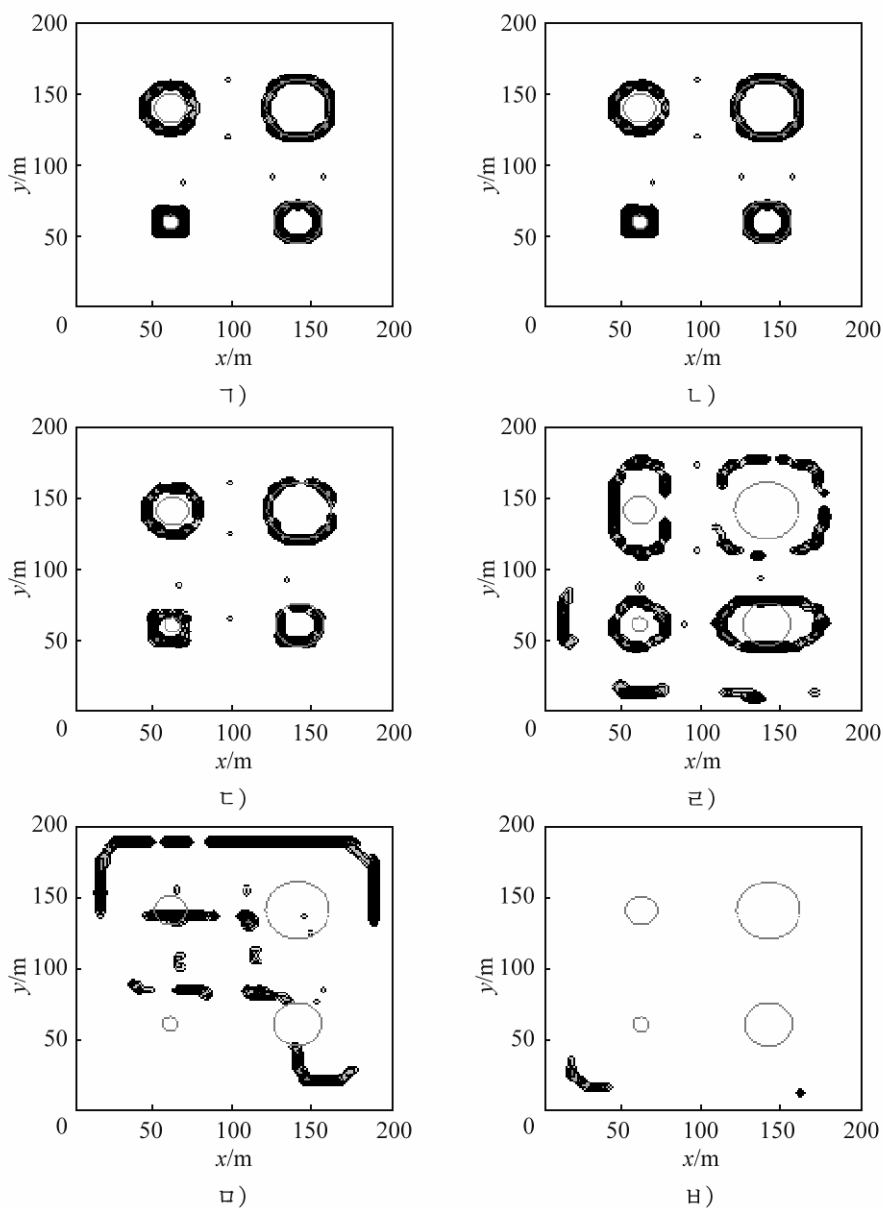


그림 3. 자기이상 및 다척도자기이상의 표준편차상관결수
 ㄱ) 자기이상, ㄴ) 척도 1, ㄷ) 척도 2, ㄹ) 척도 3, ㅁ) 척도 4, ㅎ) 척도 5;
 원은 이상체들을 수평면에 사영하였을 때의 테두리

맺 는 말

1) 자기이상을 다척도분해할 때 보다 큰 척도의 자기이상에는 국부이상체의 영향이 보다 적게 반영된다.

2) 다척도자기이상의 표준편차상관결수를 리용하면 자료속에 장애가 포함되는 경우에도 자성원천의 테두리와 그것의 심부연장특성을 효과적으로 평가할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성 종합대학학보(자연과학), 61, 12, 100, 주체104(2015).
- [2] D. Ravat et al.; Geophys. J. Int., 169, 421, 2007.
- [3] 杨学立 等; 地球物理学进展, 31, 6, 2707, 2016.

주체110(2021)년 1월 5일 원고접수

Estimation of Depth Extent of Magnetic Sources Using Standard Deviation Correlation Coefficients of the Multi-scale Magnetic Anomaly

Jon Kwang Chol

In this paper, we propose a method to obtain multi-scale magnetic anomaly by multi-scale decomposition of magnetic anomaly and to evaluate the depth extent of magnetic source using its standard deviation correlation coefficient.

When the magnetic anomaly is decomposed to the multi-scale, the still larger scale magnetic anomaly reflects less influence of local magnetic anomaly.

Using the standard deviation correlation coefficient of a multi-scale magnetic anomaly can effectively estimate the edge of the magnetic source and its depth extent even if the interference is included in the data.

Keywords: multi-scale magnetic anomaly, standard deviation correlation coefficient, depth extent