

비대칭감마장치를 리용한 비저항CT탐사 자료의 역문제풀이

리일경, 김철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《최신물리탐사방법과 조정밀원격조사기술, 심부추공시추기술과 초심도추공시추기술을 비롯한 핵심적인 첨단탐사방법과 기술을 연구도입하여 탐사공간과 대상을 확대하고 탐사작업을 험하게 하면서도 탐사의 과학성과 정확성, 효율성을 최대한 높여야 합니다.》

최근시기 지하자원탐사에서 널리 리용되고있는 비저항CT탐사의 정확성과 효과성을 높이기 위하여 여러가지 전극장치들을 연구도입하고 효과적인 역문제풀이방법들을 적용하고있다.[1]

감마장치는 다른 전극장치들에 비하여 감도분포특성이 좋고 자료점수가 적은것으로 하여 비저항CT탐사에 널리 리용되고있다.[2, 3]

론문에서는 비대칭감마장치를 리용한 비저항CT탐사자료의 해석방법을 제기하고 모형계산을 통하여 그 믿음성을 검증하였다.

1. 비대칭감마장치를 리용한 비저항CT탐사자료의 역문제풀이원리

비대칭감마장치를 리용하여 측정된 겉보기비저항자료의 CT해석은 다른 전극장치들과 마찬가지로 측정된 겉보기비저항가상자름면과 이론적으로 얻은 겉보기비저항가상자름면이 최소두제곱의 의미에서 일치하도록 매 요소블록의 비저항을 결정하는 방법으로 진행된다.

먼저 자름면을 유한개의 요소블록들로 분할한다. 이때 매 요소블록의 비저항은 상수라고 가정한다. 그리고 비저항모형이 놓여있는 최대깊이는 보통 해당 장치의 탐사깊이에 기초하여 설정하며 매 층의 두께는 깊이가 증가함에 따라 저항법의 분해능이 감소하는것을 고려하여 증가시킨다.

다음으로 유한개의 요소블록으로 분할된 비저항모형에 대하여 다음의 편미분방정식을 유한요소법으로 풀어 전위분포를 구한다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\sigma(x, z) \partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\sigma(x, z) \partial U}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\sigma(x, z) \partial U}{\partial z} \right) = -I \delta(A) \quad (1)$$

여기서 $\sigma(x, z)$ 는 매질의 전도도, I 는 점전류의 세기, A 는 점전류원천의 위치, U 는 전위이다.

다음으로 얻어진 전위분포에 기초하여 비대칭감마장치의 겉보기비저항을 계산한다.

비저항CT탐사자료의 역문제풀이에서 널리 리용되고있는 평활제약최소두제곱법을 리용한다.[1]

$$(J^T J + \alpha C^T C) P = J^T d \quad (2)$$

여기서 J 는 야코비행렬, α 는 조절파라미터, d 는 자료편차벡토르, P 는 모형파라미터수정벡토르, C 는 2차원평활연산자이다.

2. 모형계산에 의한 믿음성검증

비대칭감마장치를 리용하여 얻은 겉보기비저항CT탐사자료에 대한 역문제풀이결과에 믿음성을 검증하기 위하여 모형계산을 진행하였다.

비저항이 ρ_2 이고 반경이 r_0 인 구형체가 비저항이 ρ_1 인 균일한 반무한매질속에 놓여있을 때(그림 1) 점 A에 놓인 점전류원천에 의하여 구형체의 밖에 형성되는 전위 u_1 은 다음과 같이 표시된다.[1]

$$u_1(r, \theta) = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[\frac{1}{X} + \sum_{n=0}^{\infty} K_n \frac{a^{2n+1}}{d^{n+1}r^{n+1}} P_n(\cos\theta) \right] \quad (3)$$

여기서 $K_n = n(\rho_2 - \rho_1)/[n\rho_1 + (n+1)\rho_2]$ 이고 $P_n(\cos\theta)$ 는 n 차 제1종의 구면함수이다.

모형계산에서는 비저항이 $100\Omega\text{m}$ 인 균일한 반무한매질속에 비저항이 $5\Omega\text{m}$ 이고 반경이 1.5m 이며 놓임깊이가 5m 인 구형체모형이 만드는 전기마당을 계산하고 여기에 야외조건을 재현하기 위하여 2%의 우연장애를 추가하여 측정자료로 하였다. 이때 전극의 수는 60개, 전극사이 간격은 1m 인 비대칭감마장치(γ_{113} , γ_{114} , γ_{115})를 리용하였다. 실제로 비대칭감마장치 γ_{113} 은 $\overline{AM} = \overline{MB} = a$, $\overline{BN} = 3a$ 인 전극장치를 의미한다.

구형체모형과 비대칭감마장치의 겉보기비저항상자름면에 대한 비저항CT해석자름면은 그림 2와 같다.

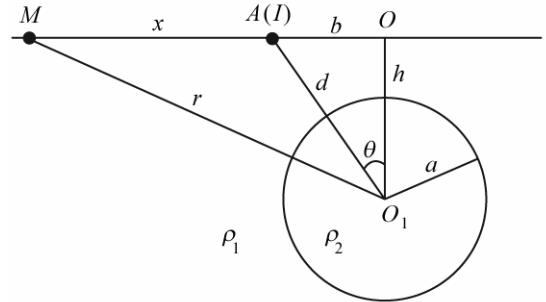


그림 1. 반무한매질속에서 구형체가 만드는 전기마당계산원리

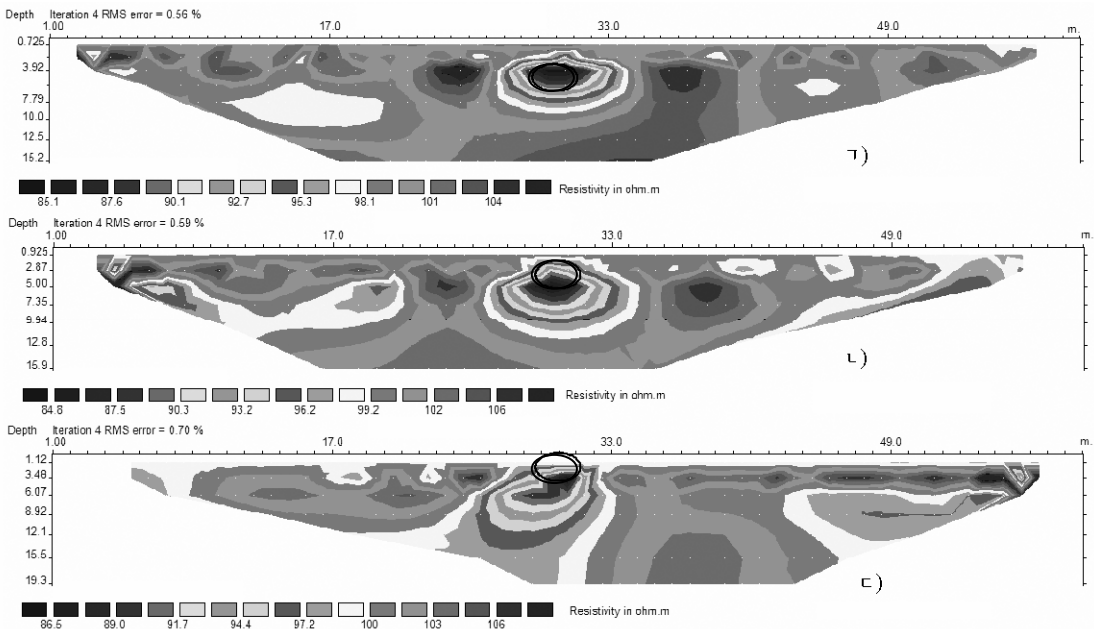


그림 2. 각이한 비대칭감마장치의 비저항CT해석자름면
 ㉠) γ_{113} 장치, ㉡) γ_{114} 장치, ㉢) γ_{115} 장치; 타원은 구형체모형

그림 2에서 보는바와 같이 비저항CT해석자름면에서 구형체모형은 상대적으로 작은 비저항을 가지는 저저항구역으로 나타날뿐아니라 저저항구역의 형태와 중심점의 놓임깊이도 구형체모형의 형태, 놓임깊이와 비교적 잘 일치한다.

3. 비대칭감마장치와 여러가지 장치들의 탐사깊이비교

비대칭감마장치와 여러가지 장치들의 탐사깊이를 비교하기 위하여 비저항이 $100\Omega\text{m}$ 인 균일한 반무한매질속에 비저항이 $5\Omega\text{m}$ 이고 반경이 1.5m 인 구형체모형이 10m 의 깊이에 놓여있다고 보고 모형계산을 진행하였다. 이때 전극의 수는 60개, 전극사이 간격은 1m 인 다회선전극장치들(γ_{115} 장치, 웬너알파장치, 점-쌍극자장치)을 리용하였다.

각이한 장치들에 의한 결보기비저항계산자료를 얻고 거기에 3%의 우연장해를 추가한 다음 그것을 측정자료로 리용하였다. 역문제풀이결과에 얻은 각이한 장치들에 따르는 비저항CT해석자름면들은 그림 3과 같다.

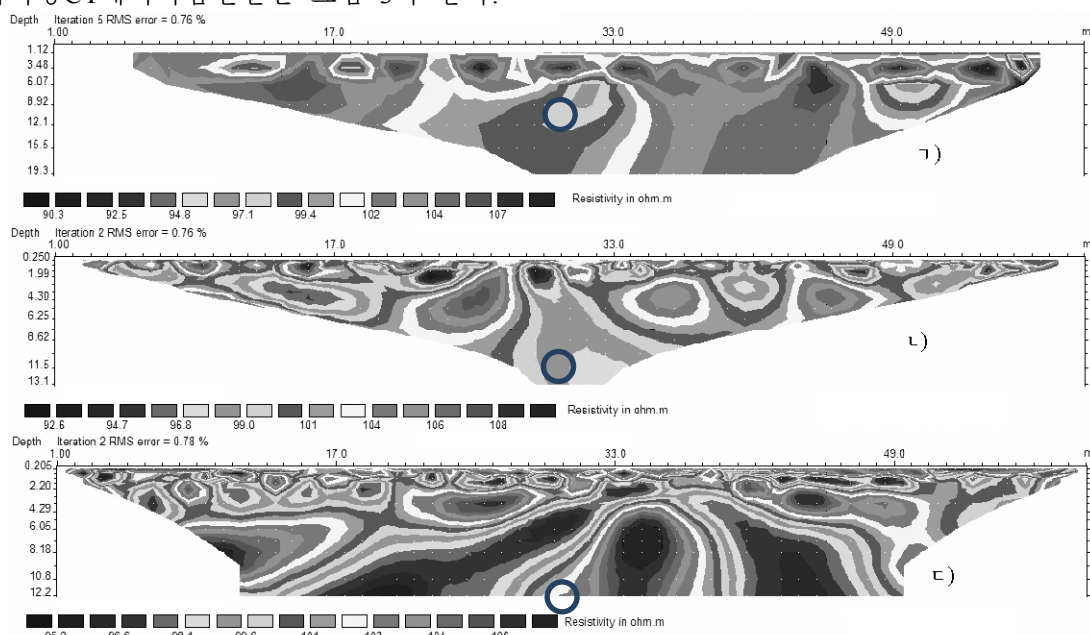


그림 3. 각이한 장치들에 따르는 비저항CT해석자름면

ㄱ) γ_{115} 장치, ㄴ) 웬너알파장치, ㄷ) 점-쌍극자장치

그림 3에서 보는바와 같이 γ_{115} 장치의 비저항CT해석자름면에서는 구형이상체의 형태와 놓임깊이가 비교적 잘 반영되지만 웬너알파장치와 점-쌍극자장치의 비저항CT해석자름면에는 구형이상체가 명백히 반영되지 않는다. 이로부터 비대칭감마장치의 탐사깊이가 다른 전극장치들에 비하여 더 깊다는것을 알수 있다.

맺 는 말

비대칭감마장치를 리용한 비저항CT탐사자료의 해석방법을 리용하여 이상체의 형태와 놓임깊이를 비교적 정확히 결정할수 있으며 비대칭감마장치를 리용하면 다른 전극장치들을 리용할 때보다 깊은 곳에 있는 이상체도 찾아낼수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 리일경; 전기탐사학, 김일성종합대학출판사, 114~115, 주체109(2020).
- [2] M. H. Loke et al.; Geophysical Prospecting, 62, 172, 2014.
- [3] S. Szalai et al.; Geophysical Prospecting, 63, 508, 2015.

주체109(2020)년 7월 5일 원고접수

Inversion of Resistivity CT Method Data Obtained by Asymmetric Gamma Array

Ri Il Gyong, Kim Chol

In this paper, we have suggested the interpretation method of resistivity CT method data obtained by asymmetric gamma array and verified its reliability through the synthetic experiments. Furthermore, we can recognize that, while the asymmetric gamma array rather than others is employed, the anomalous body's shape and its lying-depth can be estimated more correctly and vertical investigation range can be more extended.

Keywords: inversion, gamma array, CT