

갱앞장맥상체의 비저항탐사자료거꿀문제풀이방법

박은경, 리일경

갱앞장비저항탐사는 갱앞장의 이상체를 탐사하는데 널리 적용되고있는데 그것의 자료 해석은 이상체의 파라미터와 겉보기비저항자료의 상관관계에 기초하고있다.[1]

논문에서는 갱앞장에 분포된 맥상체의 파라미터들을 종합적으로 평가할수 있는 갱앞장비저항탐사자료의 거꿀문제풀이방법을 제기하였다.

1. 갱앞장맥상체의 겉보기비저항모형

맥상체가 측정선에 대하여 경사져있을 때 점 A에 놓인 점전류 I에 의한 2극장치의 겉보기비저항은 다음과 같이 표시된다.[2]

$$\rho^*(x_i) = \rho_1 \left\{ 1 + |x_i| \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} K_{12}^n K_{23}^{n+1}}{\sqrt{(|x_i| \cos \varphi)^2 + [2(d + b \sin \varphi + nh) + |x_i| \sin \varphi]^2}} + \right. \\ \left. + |x_i| \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} K_{12}^{n+1} K_{23}^n}{\sqrt{(|x_i| \cos \varphi)^2 + [2(d + b \sin \varphi) + 2(n+1)h + |x_i| \sin \varphi]^2}} \right\} \quad (1)$$

여기서 h 는 맥상체의 두께, d 는 점전류원천으로부터 맥상체까지의 수직거리, φ 는 맥상체의 경사각, x_i 는 점전류원천으로부터 측정점까지의 수평거리, b 는 막장에 배치한 첫번째 송전전극으로부터 다음 송전전극까지의 거리, ρ_1 과 ρ_2 , ρ_3 은 각각 맥상체의 왼쪽 매질과 맥상체, 맥상체의 오른쪽 매질의 비저항, n 은 무한합렬항의 수, K_{12} 와 K_{23} 은 장치결수로서 다음과 같다.

$$K_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}, \quad K_{23} = \frac{\rho_3 - \rho_2}{\rho_2 + \rho_3}$$

점-쌍극자장치의 경우 겉보기비저항은 다음과 같이 표시된다.

$$\rho^*(x_i) = \rho_1 x_i^2 \left\{ 1 + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n K_{12}^{n+1} K_{23}^n [x_i + 2 \sin \varphi (d + nh)]}{[(x_i \cos \varphi)^2 + (2(d + b \sin \varphi + nh) + x_i \sin \varphi)^2]^{3/2}} + \right. \\ \left. + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n K_{12}^n K_{23}^{n+1} [x_i + (2(d + b \sin \varphi) + 2(n+1)h) \sin \varphi]}{[(x_i \cos \varphi)^2 + (2(d + b \sin \varphi) + 2(n+1)h + x_i \sin \varphi)^2]^{3/2}} \right\} \quad (2)$$

맥상체의 두께와 비저항, 경사각이 각각 2m , $2\Omega \cdot \text{m}$, 90° 이고 막장으로부터 맥상체까지의 전방수직거리가 3m , 배태암의 비저항이 $100\Omega \cdot \text{m}$ 일 때 거꿀문제풀이에 리용할 2극장치와 점-쌍극자장치의 겉보기비저항계산식의 합렬항의 수를 결정하기 위한 모형계산을 진행하였다.

$n=200$ 일 때의 겹보기비저항곡선과 n 이 각각 1, 5, 10, 20일 때의 겹보기비저항곡선들사이의 평균상대오차(표)를 다음의 식으로 계산하였다.

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\rho_i^{*(200)} - \rho_i^{*(n)}}{\rho_i^{*(200)}} \right| \quad (3)$$

여기서 $\rho_i^{*(200)}$ 은 $n=200$ 일 때의 겹보기비저항, $\rho_i^{*(n)}$ 은 n 이 각각 1, 5, 10, 20일 때의 겹보기비저항, N 은 측정점의 수이다.

표. $n=200$ 일 때의 2극장치 및 점-쌍극자장치의 겹보기비저항곡선과 n 이 각각 1, 5, 10, 20일 때의 겹보기비저항곡선들사이의 평균상대오차(%)

장치	n			
	1	5	10	20
2극장치	12.300	3.490	0.840	0.060
점-쌍극자장치	15.800	3.860	0.800	0.046

표에서 보는바와 같이 무한합렬의 차수 n 이 20보다 크면 겹보기비저항값의 변화는 매우 작다. 그러므로 무한합렬의 항을 $n=20$ 정도로 설정하면 거꿀문제풀이결과의 정확도를 보장할수 있다.

2. 여러점원천을 리용하는 갱앞장비저항탐사자료거꿀문제풀이방법

갱도에서 측정한 겹보기비저항자료에 대한 거꿀문제풀이를 진행하기 위하여 다음과 같이 목적함수를 설정하였다.

$$\Phi(\mathbf{P}) = \Phi_d + \alpha \Phi_p \quad (4)$$

여기서 \mathbf{P} 는 구하려는 모형파라미터벡토르(전방수직거리, 두께, 경사각, 비저항), Φ_d 와 Φ_p 는 각각 자료편차량과 모형편차량, α 는 자료편차량과 모형편차량이 목적함수에 기여하는 몫을 조절하는 파라미터이다.

이제 식 (4)를 \mathbf{P} 에 관하여 최소화하면 다음의 정규방정식을 얻는다.

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{W}_d^T \mathbf{W}_d \mathbf{A} + \alpha \mathbf{I}) \Delta \mathbf{P} = \mathbf{A}^T \Delta \quad (5)$$

여기서 $\Delta \mathbf{P}$ 는 파라미터수정벡토르, \mathbf{I} 는 단위행렬, \mathbf{A} 는 $N \times M$ 차감도행렬, \mathbf{W}_d 는 자료무계화행렬로서 대각선원소들은 다음과 같이 표시된다.

$$W_{d,ii} = C_{ii} / d_i^{(m)}$$

여기서 C_{ii} 는 자료공분산행렬의 대각선원소로서 모르는 경우에는 1로 취한다. 그리고 Δ 는 매 반복단계에서 리론값과 측정값사이의 편차벡토르로서 다음과 같이 표시된다.

$$\Delta = (d_i^{(m)} - d_i^{(t)}(\mathbf{P}))_{N \times 1}$$

여기서 $\mathbf{d}^{(m)} = (d_1^{(m)}, d_2^{(m)}, \dots, d_N^{(m)})^T$ 와 $\mathbf{d}^{(t)}(\mathbf{P}) = (d_1^{(t)}, d_2^{(t)}, \dots, d_N^{(t)})^T$ 는 각각 측정값과 리론값벡토르이다.

식 (5)를 풀어 파라미터수정량 $\Delta \mathbf{P}_k$ 를 계산한 후 다음식으로 다음단계의 풀이를 얻는다.

$$\mathbf{P}_{k+1} = \mathbf{P}_k + \Delta \mathbf{P}_k \quad (6)$$

우의 계산과정을 목적함수가 주어진 오차한계보다 작아질 때까지 반복한다. 그리고 우리는 거꿀문제풀이를 진행하면서 조절파라미터선택방법과 조절파라미터의 마지막한계값을

설정해주는 방식을 결합하여 α 를 결정하였다. 즉

$$\alpha_{k+1} = \begin{cases} q \cdot \alpha_k, & \alpha_{k+1} > \alpha_e \\ \alpha_e, & \alpha_{k+1} < \alpha_e \end{cases} \quad (k=0, 1, 2, \dots). \quad (7)$$

여기서 $0 < q < 1$, α_e 는 조절파라미터의 마지막한계값으로서 장애가 클 때는 크게, 작을 때는 작게 설정한다.

3. 방법의 믿음성검증

우리는 제기한 방법의 믿음성을 검증하기 위하여 모형계산실험을 진행하였다.(그림)

관측체계로 점-쌍극자방식의 32회선비저항CT측정체계를 리용하였다. 이때 5개의 송전전극을 각각 0, -2, -4, -6, -8m 위치에 배치하고 측정전극사이거리는 2m, 송전전류의 세기는 100mA, 배태암의 비저항은 $100\Omega \cdot m$ 로 설정하였다. 그리고 전방수직거리 5m, 맥상체의 두께, 비저항, 경사각을 각각 2m, $2\Omega \cdot m$, 30° 로 설정하였다. 또한 야외조건을 재현하기 위하여 계산한 결보기비저항값에 매 측정점에서 측정값의 5%에 해당하는 우연오차를 첨가하였다. 초기근사로 전방수직거리 10m, 두께 10m, 비저항 $34\Omega \cdot m$, 경사각 45° 로 주었다.

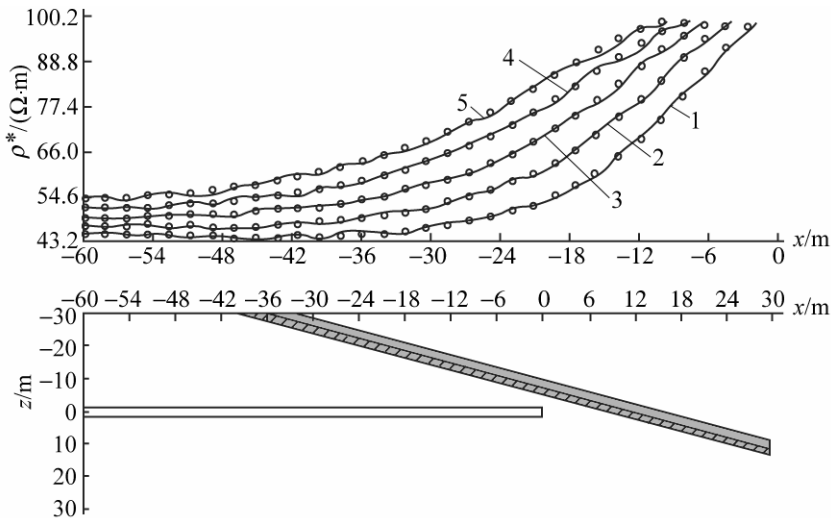


그림. 모형계산실험결과

1-5는 각각 송전전극을 0, -2, -4, -6, -8m 위치에 배치한 경우;
○ 측정값, 빗선구역은 실제모형, 회색구역은 해석모형

그림에서 보는바와 같이 측정곡선과 해석곡선사이의 평균상대오차는 0.97%이다. 추정된 맥상체의 파라미터들은 전방수직거리 4.94m, 두께 6.28m, 비저항 $3.4\Omega \cdot m$, 경사각 30.3° 로서 실제모형의 파라미터와 비슷하다.

맺는 말

조절법을 리용한 갱앞장비저항탐사자료의 거꿀문제풀이방법을 제기하고 방법의 효과성을 검증하였다. 제기한 방법은 갱앞장이상체의 모든 파라미터들을 정확히 결정하는데 효과적으로 리용할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 박철성 등; 지질 및 지리과학, 4, 2, 주체102(2013).
- [2] 石学锋 等; 煤矿安全, 43, 5, 104, 2012.

주체106(2017)년 3월 5일 원고접수

Inversion of the Resistivity Data for Dike in the Tunnel

Pak Un Gyong, Ri Il Gyong

We proposed an inversion of resistivity data in tunnel using control method and verified its efficiency.

First, we confirmed throughout model experiment that accuracy of solution of forward problem was enough guaranteed when the number of terms of infinite series of apparent resistivity formula to use for the inversion of resistivity data in the tunnel was taken to more than 20. And then we established the inversion of that and verified its reliability throughout model experiment.

This method can be effectively used for interpretation of resistivity data in the tunnel.

Key words: mine direct current electric method, resistivity, inversion