

## 인공분극탐심자료의 1 차원영상화에 대한 연구

신일남, 리일경

인공분극탐심법은 지하수탐사 특히 퇴적층조사, 반암형금속광상탐사와 환경조사에서 널리 이용되고있는 효과적인 방법이다.[3]

논문에서는 제약조건을 리용한 비선형거꿀문제풀이에 의한 주파수영역인공분극탐심자료해석의 한가지 방법을 제기하였다.

### 1. 제약조건을 리용한 인공분극탐심자료의 비선형거꿀문제풀이

주파수영역인공분극탐심법에서는 분극효과가 있는 낮은 주파수  $f_1$ 에서 측정한 겉보기 비저항  $\rho_{f_1}^*$ 과 분극효과가 없는 높은 주파수  $f_2$ 에서 측정한 겉보기비저항  $\rho_{f_2}^*$ 에 의하여 겉보기주파수인자를 계산한다. 즉

$$F^* = \frac{\rho_{f_1}^* - \rho_{f_2}^*}{\rho_{f_2}^*}$$

비저항이  $\rho_i (i=\overline{1, n})$ 이고 분극률이  $\eta_i (i=\overline{1, n})$ 이며 두께가  $h_i (i=\overline{1, n-1})$ 인 층상매질일 때 대칭4극경도장치를 리용하는 경우 겉보기비저항은 선형려과법으로 계산할수 있다.

분극효과가 없는 높은 주파수에서의 리론겉보기비저항은  $\rho_{f_2}^{*(t)} = f(r, \rho_i, h_i)$ 로 표시되므로 선형려과법[2]에 의하여 다음과 같이 계산할수 있다.

$$\rho_{f_2}^{*(t)}(k) = \sum_{j=-3}^5 T(j)H(k-j) \quad (1)$$

여기서  $r$ 는 송전전극사이거리의 절반값,  $k$ 는 겉보기비저항계산점의 번호,  $H$ 는 려과결수,  $T$ 는 전극사이거리와 지층의 비저항 및 두께에 관계되는 저항변환함수이며 웃첨자  $t$ 는 리론값이라는것을 의미한다.

분극률이  $\eta_i (0 < \eta_i < 1)$ 인 지층의 비저항은 시겔의 공식에 의하여  $\rho_i^{(f_1)} = \rho_i / (1 - \eta_i)$ 로 표시되므로 분극효과가 있는 낮은 주파수에서의 겉보기비저항은  $\rho_{f_1}^{*(t)} = f(r, \rho_i^{(f_1)}, h_i)$ 이다. 따라서 낮은 주파수에서의 겉보기비저항은 비저항분포가  $\rho_i^{(f_1)} (i=\overline{1, n})$ 인  $n$ 층매질로 보고 선형려과법을 리용하여 계산할수 있다.

그러므로 층상매질인 경우 리론겉보기주파수인자는 다음과 같이 표시된다.

$$F_i^{*(t)} = \frac{\rho_{f_1}^{*(t)} - \rho_{f_2}^{*(t)}}{\rho_{f_2}^{*(t)}} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에 의하여 두 주파수인공분극탐심법의 정문제풀이를 진행하고 분극률과 비저항이 항상 정수값을 가진다는 성질과 파라미터의 윗한계를 사전정보에 의하여 결정할수 있다는것을 고려한(제약조건) 새로운 거꿀문제풀이방법을 제기하였다.

목적함수는 다음과 같다.

$$\Phi(\mathbf{P}) = \|W_d(F^{*(m)} - F^{*(t)})\|_2^2 + \alpha \|W_p(\mathbf{P} - \mathbf{P}_0)\|_2^2 \Rightarrow \min, \quad 0 < \mathbf{P} < \mathbf{P}_u \quad (3)$$

여기서  $F^{*(m)}$ 은 측정된 겐보기주파수인자,  $\alpha$ 는 목적함수  $\Phi(\mathbf{P})$ 에서 자료편차항과 모형편차항사이의 몫을 조절하는 조절파라미터,  $W_d$ 와  $W_p$ 는 각각 자료편차와 모형편차무게함수,  $\mathbf{P}$ 는 계산하여야 할 파라미터,  $\mathbf{P}_0$ 은 초기근사벡토르,  $\mathbf{P}_u$ 는 사전정보와 인공분극탐심법의 특성을 리용하여 결정되는 파라미터의 윗한계이다.

우리는 식 (3)에 로그장벽항을 포함시켜 목적함수를 다음과 같이 설정하였다. 즉

$$\Phi(\mathbf{P}) = \|W_d(F^{*(m)} - F^{*(t)})\|_2^2 + \alpha \|W_p \ln(\mathbf{P} / \mathbf{P}_0)\|_2^2 - 2\lambda \left\{ \sum_{j=1}^M \ln\left(\frac{P_j}{P_u}\right) + \sum_{j=1}^M \ln\left(1 - \frac{P_j}{P_u}\right) \right\} \quad (4)$$

여기서  $M$ 은 파라미터의 수,  $\lambda$ 는 로그장벽파라미터이다.

그리고 적응조절최속하강법[1]을 리용하여 목적함수가 최소로 되도록 하였는데 매 순환에서 파라미터수정은 다음식에 의하여 진행하였다.

$$\mathbf{P}_L = \mathbf{P}_{L-1} \cdot \exp[-S_L G^\alpha(\mathbf{P}_L)] \quad (5)$$

여기서  $L$ 은 순환번호,  $S_L$ 은  $L$ 번째 순환에서 걸음길이,  $G^\alpha(\mathbf{P}_L)$ 은  $L$ 번째 순환에서 목적함수의 구배방향이다.

## 2. 모형계산실험에 의한 방법의 믿음성검증

우리는 그림 1과 같은 모형에 대한 계산실험을 통하여 제기한 방법의 믿음성을 검증하였다.

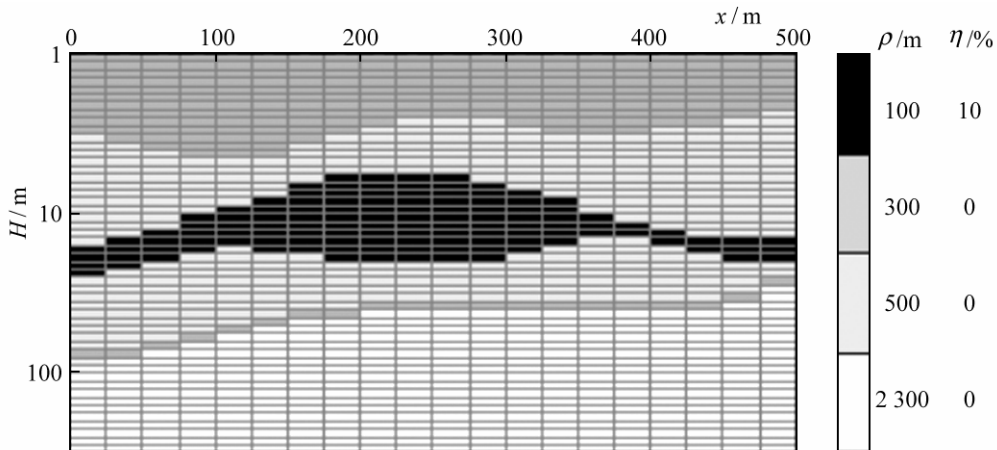


그림 1. 지층의 비저항 및 분극률모형

그림 1에서 보는바와 같이 세번째 지층의 분극률이  $\eta=10\%$ 이고 나머지 지층들의 분극률은  $0\%$ 이다.

모형계산실험에서는 20개의 탐침점을 배치하고 대칭4극경도장치로 낮은 주파수(0.5Hz)와 높은 주파수(8Hz)에서의 겘보기비저항을 결정한 다음 겘보기주파수인자를 계산하였다. 이때 장치크기는  $AB/2=350\text{m}$ 이며 매 탐침점에서 15개의 겘보기주파수인자를 결정하였다. 그리고 야외조건을 반영하기 위하여 측정값에 5%의 우연장애를 추가하였다. 또한 매 탐침점들에서 지층을 24개의 세부층으로 분할하고 매 층의 두께를 다음식으로 계산하였다.

$$h_i = \exp(i \times \ln 10 / 9), \quad i = \overline{1, 24} \quad (6)$$

제기한 방법으로 매 층의 비저항과 분극률을 결정하여 탐사선의 비저항영상과 분극률영상을 얻었다.(그림 2) 거꿀문제풀이를 진행할 때 겘보기분극률곡선을 지층수(24개)만큼 보간하였으며 추정할 분극률의 윗한계는 매 탐침점에서 겘보기분극률의 5배로 설정하였다.

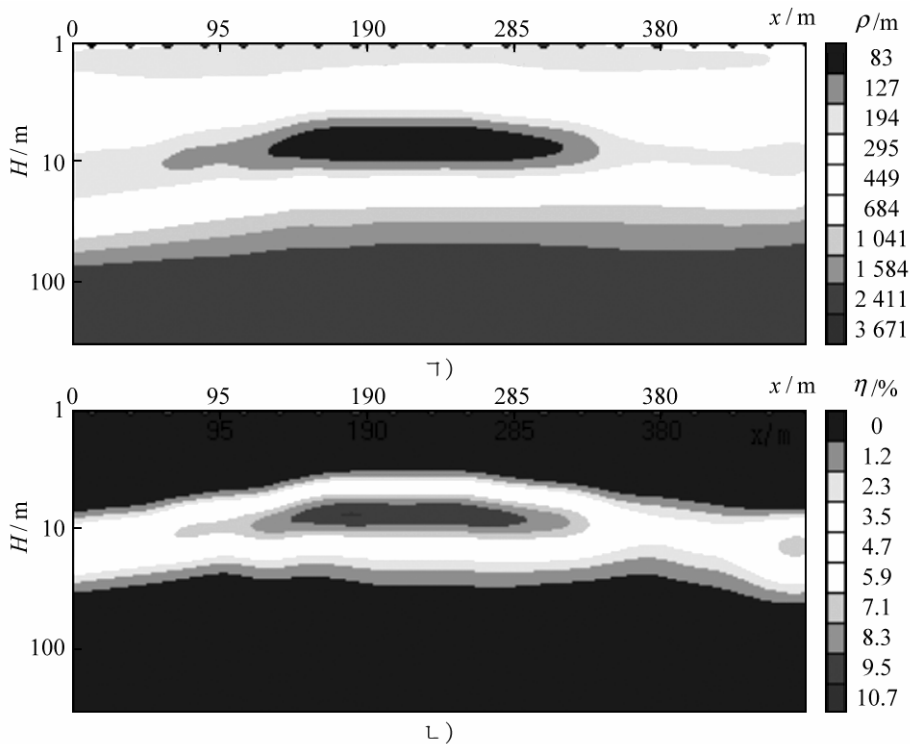


그림 2. 해석결과

a) 비저항CT자름면, b) 분극률CT자름면

그림 2에서 보는바와 같이 측정값과 이론값사이의 평균상대오차가 2.8%로서 두값은 거의 일치하며 해석모형은 지층경계들이 뚜렷하지 못하지만 실지모형과 근사하다. 그리고 모형의 최대분극률은 10.7%로서 실지분극률 10%와 매우 근사하다.(분극률의 상대오차는 7%)

## 맺 는 말

층상매질모형과 제약조건을 리용한 주파수인공분극탐침자료의 비선형거꿀문제풀이방법을 제기하고 모형계산실험을 통하여 제기한 방법의 믿음성을 검증하였다.

이 방법은 층상매질에 적용할수 있는데 이때 지층경계는 명백하게 나타나지 않는다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 59, 5, 156, 주체102(2013).
- [2] 리일경 등; 전기탐사학, 김일성종합대학출판사, 81~87, 주체100(2011).
- [3] B. B. Bimalendu et al.; Geophysical Prospecting, 51, 393, 2003.

주체103(2014)년 11월 5일 원고접수

## **Study on 1D Imaging of Induced Polarization(IP) Sounding Data**

*Sin Il Nam, Ri Il Gyong*

In this paper we established a method of solving nonlinear inversion of IP sounding data using layer model and constraint conditions. Nonlinear inverse problem was solved by adaptive control gradient method. Images of resistivity and chargeability of section under prospecting line were obtained by combining with one another resistivities and chargeabilities of sounding points for the whole prospecting line.

Reliability of the method that is established in this paper was verified throughout model experiment, which can be applied to layer medium and produce model with smooth interfaces between layers.

Key words: induced polarization, 1D imaging