

개체무리최량화알고리즘을 리용한 인공분극탐심자료의 1차원CT해석에 대한 연구

리일경, 김인찬

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

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

최근 전기탐사자료해석에서는 여러가지 최량화방법들을 널리 적용하여 해석의 믿음성과 정확도를 높이기 위한 연구[3]가 심화되고있다.

개체무리최량화(PSO : Particle Swarm Optimization)는 먹이를 탐색하는 새나 곤충무리에서 나타나는 무리적거동특성을 모의한 대역최량화방법[2]이다. 우리는 개체무리최량화알고리즘을 리용한 인공분극탐심자료의 1차원영상화방법을 제기하였다.

1. 개체무리최량화알고리즘

개체무리최량화는 수천년동안 진행되는 생물의 진화와 매우 짧은 시간내에 발생하는 신경처리과정을 결합시킨 대역최량화방법의 하나이다.

$M_i = m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{iM}$ 을 M 차원모형공간에서 i 번째 개체무리(개체의 위치)라고 하고 매 개체의 속도를 각각 $v_i = v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iM}$ 이라고 하자.

매 순환에서 개체의 속도는 개체의 사전위치와 무리의 위치에 의하여 조절되는데 개체의 새로운 속도를 리용하여 개체의 새로운 위치를 계산한다. 개체의 가장 좋은 위치에 의하여 결정되는 개체의 속도를 조절하는 능력을 인식력이라고 하며 개체무리의 가장 좋은 위치에 의하여 결정되는 무리의 속성을 무리적특성이라고 한다.

k 번째 순환에서 i 번째 개체의 위치와 속도를 각각 m_i^k, v_i^k 라고 하고 현재 개체가 도달한 가장 좋은 위치를 m_i^1 이라고 하자. 그리고 k 번째 순환에 무리가 도달한 가장 좋은 위치를 m^g 라고 하자. 그러면 $k+1$ 번째 순환에서 i 번째 개체의 새로운 위치는 다음과 같이 주어진다.

$$\left. \begin{aligned} v_i^k &= v_i^{k-1} + b \cdot \text{ran}(1)(m_i^1 - m_i^k) + c \cdot \text{ran}(1)(m^g - m_i^k) \\ m_i^{k+1} &= m_i^k + a \cdot v_i^k \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

여기서 $k=1, 2, \dots$ 이며 모든 개체들에 대하여 $v_i^1=0$ 이다. b 와 c 는 각각 인식력과 무리적특성을 규정하는 학습속도, a 는 순환회수가 늘어나는데 따라 속도를 가변적으로 감소시키기 위한 제한인자, $\text{ran}(1)$ 은 1을 넘지 않는 우연수이다.

개체무리최량화알고리즘은 그림 1과 같다.

먼저 미리 규정된 파라미터탐색 공간에서 우연적으로 1개의 개체무리를 선택하고 매 개체의 속도를 령으로 설정한다. 다음 매 개체들의 위치가 규정된 파라미터공간안에 놓이도록 제한조건을 주면서 식 (1)에 의하여 개체들의 속도와 위치를 개선한다. 이때 목적함수는 다음과 같다.

$$S(m) = \frac{1}{N} [d_{측} - g(m)]^T [d_{측} - g(m)] \quad (2)$$

여기서 S 는 목적함수, $d_{측}$ 은 측정자료, $g(m)$ 은 계산자료이다.

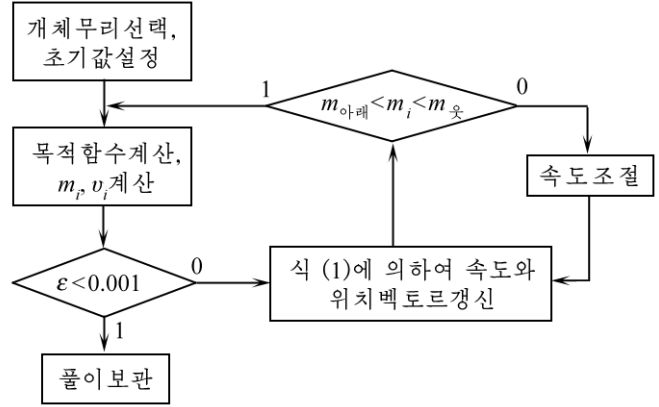


그림 1. 개체무리최량화알고리즘

2. 개체무리최량화알고리즘에 의한 인공분극탐심자료의 CT해석

결보기주파수인자 F^* 은 다음과 같이 정의된다.[1]

$$F^* = \frac{\rho_{f_1}^* - \rho_{f_2}^*}{\rho_{f_2}^*} \quad (3)$$

여기서 $\rho_{f_1}^*$ 은 분극효과가 있는 낮은 주파수 f_1 의 결보기비저항, $\rho_{f_2}^*$ 은 분극효과가 없는 높은 주파수 f_2 의 결보기비저항이다. 그리고 ρ_j , η_j , h_j 는 각각 j 번째 층의 비저항, 분극률, 두께이다.

결보기주파수인자를 계산하자면 2개 단계의 정문제풀이 즉 실지 비저항분포 ρ_j 와 변형된 비저항분포 $\rho_j^{(n)} = \rho_j / (1 - \eta_j)$ 에 대한 정문제풀이를 진행하여야 한다. 여기서 $0 \leq \eta \leq 1$ 이다. 비저항 $\rho_i (i=1, n)$, 분극률 $\eta_i (i=1, n)$ 이고 두께 $h_i (i=1, n-1)$ 인 층상매질의 경우 대칭 4극경도장치의 결보기비저항은 선형려파법으로 계산할수 있다.[1] 비저항분포가 다른 두가지 모형에 대한 결보기비저항을 선형려파법으로 계산한 다음 식 (3)을 리용하여 결보기주파수인자를 계산한다.

먼저 정문제풀이와 거꾸문제풀이를 위하여 매질을 두께가 $h_j = \exp(j \times h_0)$ 인 N 개의 층으로 나누고 구해야 할 파라미터벡토르를 $m = \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N, \rho_1^*, \rho_2^*, \dots, \rho_N^*\}$ 로 구성한다. 여기서 h_0 은 지층분할의 세밀도를 규정하는 상수이다.

다음 구해야 할 파라미터벡토르의 매 원소들에 대하여 구간제한을 주고 이 구간안에서 우연적으로 매 원소들을 선택하여 초기개체무리를 생성한다. 그리고 개체무리최량화알고리즘에 의하여 m 을 구한다.

다음으로 매 층의 분극률을 다음식으로 계산한다.

$$\eta_j = 1 - \rho_j / \rho_j^* \quad (4)$$

매 탐심점들에서 우와 같은 과정을 반복하여 매 층의 비저항과 분극률을 계산하여 자름면의 비저항영상과 분극률영상을 얻는다.

3. 모형계산실험

우리는 모형(그림 2)계산실험을 통하여 개체무리최량화알고리즘의 믿음성을 평가하였다.

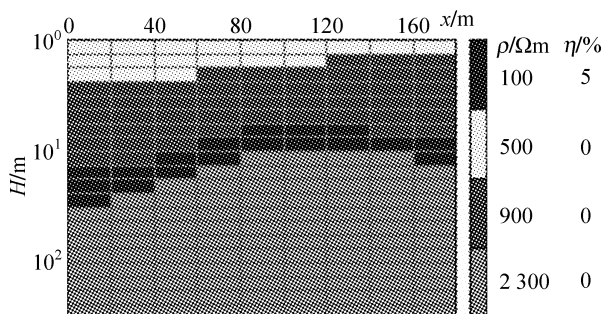


그림 2. 비저항 및 분극률모형

모형계산실험에서는 20m간격으로 10개의 탐심점을 배치하였으며 대칭4극경도장치로 낮은 주파수(0.5Hz), 높은 주파수(8Hz)의 겔보기비저항을 얻고 그로부터 겔보기주파수인자를 결정하였다. 이때 송전전극의 최대길이는 $AB/2=350\text{m}$, 매 탐심점에서 겔보기주파수인자측정자료의 수는 12개이며 야외측정조건을 고려하여 측정값에 2%의 우연장애를 추가하였다.

매 탐심점들에서 지층을 다음식에 따라 30개의 세부층으로 분할하고 매 층의 두께를 고정시켰다.

$$h_i = \exp(i \times \ln(10/9)), \quad i = \overline{1, 30} \quad (5)$$

그리고 매 탐심점들에서 매 층의 비저항과 분극률을 결정하여 탐사선에 따르는 비저항영상과 분극률영상을 얻었다. 거꿀문제풀이를 진행할 때 추정할 분극률의 아래한계는 0, 윗한계는 매 탐심점에서 겔보기분극률의 5배로 설정하였다.

또한 모형계산실험에서 식 (1)의 b 와 c 의 값을 각각 2.0, 3.0으로, a 의 초기값을 0.5로 설정하였다. 그리고 이전 순환단계에 리용한 값에 0.9씩 곱하여 다음 순환에서 리용하였다.

모형계산실험결과는 그림 3과 같다.

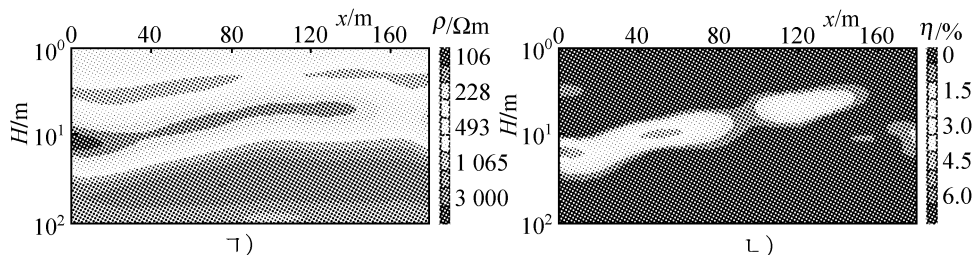


그림 3. 비저항CT자름면(Γ), 분극률CT해석자름면(L)

그림 2에서 보는바와 같이 측정값과 계산값의 평균상대오차는 1.8%이고 해석된 모형의 최대분극률은 6.1%로서 실지분극률 5%와 비슷하며 해석자름면은 모형과 비교적 일치한다.

맺는 말

층상매질모형과 개체무리최량화알고리즘을 리용한 주파수인공분극률탐심자료의 비선형 거꿀문제풀이방법을 제기하고 모형계산실험을 통하여 제기한 방법의 믿음성과 정확도를 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 리일경 등; 전기탐사학, 김일성종합대학출판사, 81~87, 주체99(2010).
- [2] Ranjit Shaw et al.; Geophysics, 72, 2, F75, 2007.
- [3] Douglas W. Oldenburg et al.; Geophysics, 78, 1, E47, 2013.

주체105(2016)년 2월 5일 원고접수

1D CT of Induced Polarization Sounding Data using Particle Swarm Optimization Algorithm

Ri Il Gyong, Kim In Chan

In this paper, we established a method of nonlinear inversion of IP sounding data using layer model and particle swarm optimization algorithm.

Images of resistivity and polarizability were obtained by combining with another resistivity and polarizability under sounding points on the whole survey line.

This method can be applied for prospecting of layered useful mine.

Key words: particle swarm optimization, induced polarization, CT