

## 복합형자연전위이상해석에서 립자무리최량화법의 국부탐색능력을 높이기 위한 연구

박경훈, 리국성

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《컴퓨터에 의한 탐사자료의 처리와 해석, 위성화상자료해석기술을 새롭게 연구도입하고 여러가지 응용프로그램들을 개발하여 지질탐사사업에 널리 리용하여야 합니다.》

사회주의강국건설에서 절실히 필요한 원료와 연료, 동력자원을 원만히 보장하기 위하여서는 지질탐사사업에 최신과학기술성과를 널리 받아들여야 한다.

립자무리최량화방법은 무리지능에 기초한 최량화방법[2, 3]으로서 대역탐색능력은 높지만 국부탐색능력은 약한 부족점이 있다. 이러한 부족점은 한 탐사자름면안에 놓여있는 이상체의 수가 많을수록 더욱 심하게 나타난다.

선행연구[1]에서는 이상체들의 분극세기가 같다는 가정하에서 표준화처리를 하는 방식으로 역문제풀이의 국부탐색능력을 높이였다.

우리는 복합형자연전위이상자료의 역문제풀이에서 립자무리최량화방법의 국부탐색능력을 높이기 위하여 립자무리최량화방법에 의한 역문제풀이결과에 미치는 영향인자들을 평가하고 어느 한 구역에서 측정 한 자연전위이상자료를 해석하였다.

### 1. 복합형이상과 국부탐색능력에 미치는 영향인자

복합형이상은 한 탐사자름면안에 존재하는 2개이상의 이상체들에 의하여 생기는 이상으로서 리론적으로는 개별적인 이상체들이 지표의 매 측정점들에 만드는 마당의 합으로 표시할수 있다.

한 탐사자름면안에 2개이상의 이상체가 존재하는 경우에는 립자무리최량화방법과 국부탐색능력이 강한 최량화방법들을 결합할수 없으므로 립자무리최량화방법의 국부탐색능력을 높이기 위하여서는 관성무게인자( $\omega$ ), 가속도인자( $c_1$ 과  $c_2$ ), 속도제한인자( $v_{제}$ ), 파라메터탐색범위, 최소화함수 등과 같은 영향인자들을 합리적으로 선택하여야 한다.

립자무리최량화방법의 국부탐색능력에 미치는 인자들의 영향을 평가하기 위하여 모형계산을 진행하였다.

모형계산에서는 주향연장이 무한한 두꺼운 맥상체모형을 선택하고 최소화함수는 선행연구[1]에 기초하여 관측자료의 수평2계도함수를 리용하였으며 관성무게인자는 선형적으로 감소시켰다. ( $\omega_{\max} = 0.9$ ,  $\omega_{\min} = 0.3$ ) 그리고 과학기술계산프로그램(《MATLAB R2015a》)을 리용하여 모형계산을 진행하였다.

#### 1) 가속도인자의 영향

가속도인자의 영향을 평가하기 위하여 립자수는 156개, 최대반복수는 5 000회,  $v_{제} = 1$ , 두 이상체들의 파라메터의 진값과 탐색범위는 표 1과 같이 설정하였다.

표 1. 두 이상체들의 파라미터의 진값과 탐색범위

이상체		$x_0/m$	$h/m$	$\alpha/(^{\circ})$	$l/m$	$2b/m$	$K/(\text{mV}\cdot\text{m}^{-1})$
1	진 값	15	5	50	20	2	100
	탐색범위	0~25	0~20	30~90	0~50	0~10	10~500
2	진 값	35	5	50	20	2	100
	탐색범위	25~50	0~20	30~90	0~50	0~10	10~500

가속도인자  $c_1$  을 0.2~0.8,  $c_2$  를 2.2~2.8사이에서 변화시키면서 개선된 립자무리최량화법[2]으로 역문제풀이를 진행하고 평균상대오차를 비교하였다.(표 2)

표 2. 가속도인자  $c_1$  과  $c_2$  의 변화에 따르는 평균상대오차(%)

$c_1$	$c_2$						
	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
0.2	$4.7 \times 10^{-5}$	$4.9 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-8}$	$3.5 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$6.5 \times 10^{-6}$
0.3	$5.2 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$4.3 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-5}$	$3.3 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-5}$
0.4	$6.5 \times 10^{-5}$	$7.1 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-5}$	$8.0 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-4}$
0.5	$1.1 \times 10^{-3}$	$3.3 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-9}$	$1.0 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-2}$	$4.3 \times 10^{-4}$
0.6	$6.1 \times 10^{-5}$	$4.1 \times 10^{-5}$	$7.1 \times 10^{-6}$	$2.8 \times 10^{-4}$	$4.8 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-4}$	$3.1 \times 10^{-3}$
0.7	$6.8 \times 10^{-3}$	$8.6 \times 10^{-4}$	$4.3 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$6.7 \times 10^{-3}$
0.8	$2.0 \times 10^{-5}$	$9.2 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$3.6 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^{-4}$	$7.3 \times 10^{-3}$

표 2에서 보는바와 같이  $c_1 = 0.5$  ,  $c_2 = 2.5$  일 때 역문제풀이결과의 평균상대오차가 가장 작다.

## 2) 속도제한인자의 영향

립자무리최량화법에서는 립자의 속도를 갱신할 때 풀이의 안정한 수렴을 보장하기 위하여 속도제한인자를 리용하는데 이 값을 어떻게 선택하는가에 따라 역문제풀이결과가 달라진다.

우리는 속도제한인자의 값을 합리적으로 선택하기 위하여 속도제한인자의 값을 각이하게 변화시키면서 역문제풀이를 진행하고 평균상대오차를 비교하였다.(표 3) 이때 립자수는 120개,  $c_1 = 0.5$  ,  $c_2 = 2.5$  , 최대반복수를 5 000회로 설정하였다.

표 3. 속도제한인자의 변화에 따르는 평균상대오차(%)

$v_{제}$	0.1	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0	10.0	20.0	40.0
$\bar{\varepsilon}/\%$	$3.3 \times 10^1$	$9.9 \times 10^{-6}$	$1.1 \times 10^{-9}$	$2.1 \times 10^{-10}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.8 \times 10^{-4}$	$6.8 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$7.0 \times 10^{-3}$

표 3에서 보는바와 같이 속도제한인자의 값이 너무 작은( $v_{제} = 0.1$ ) 경우 평균상대오차가 매우 크므로 풀이의 정확성을 담보할수 없다. 평균상대오차가 가장 작을 때는  $v_{제} = 1.0$  인 경우이다.

## 3) 파라미터들의 탐색범위의 영향

립자무리최량화방법에서는 립자들의 초기위치를 우연적으로 설정하고 매 반복단계에 파라미터들의 탐색범위안에서 립자들의 위치를 갱신하므로 탐색범위를 어떻게 설정하는가에 따라 역문제풀이결과가 달라진다. 특히 이상체의 수가 여러개일 때 국부탐색능력을 높이자면 탐색범위를 좁게 설정하여야 한다.

탐색범위를 설정할 때 이상체머리부의 수평위치와 경사각은 이상곡선에서 정성적으로 판정할수 있고 나머지파라미터들은 해당 지역의 지질도와 추공자료를 참고하여 설정하여야 한다. 그리고 계산과정에 추정한 파라미터의 값이 해당한 탐색범위의 경계근방에 놓인다면 탐색범위가 잘못 설정되었다고 보고 다시 설정하여야 한다.

탐색범위가 역문제풀이결과에 미치는 영향을 평가하기 위하여 이상체들의 파라미터의 진값과 탐색범위를 표 1과 같이 설정한 경우(1),  $x_0$ 의 탐색범위만을 0~50으로 설정한 경우(2), 경사각의 탐색범위만을 0~180으로 설정한 경우(3),  $h$ 의 탐색범위만을 0~50으로 설정한 경우(4)에 역문제풀이를 진행하고 평균상대오차를 비교하였다.(표 4)

표 4에서 보는바와 같이 탐색범위를 적합하게 주었을 때에는 평균상대오차가 매우 작지만 탐색범위를 적합하게 설정하지 못한 경우 즉 전체 구간으로 설정한 경우에는 평균상대오차가 비교적 크다.

표 4. 탐색범위에 따르는 평균상대오차(%)

경우	(1)	(2)	(3)	(4)
$\bar{\varepsilon}/\%$	$2.1 \times 10^{-10}$	$4.2 \times 10^1$	$2.1 \times 10^1$	$3.15 \times 10^1$

## 2. 적용 사례

우리는 확립한 방법을 강동지구의 어느 한 탄상지구에서 측정한 자연전위자료해석에 적용하였다. 이때 탐사선사이간격은 30m, 측정점사이간격은 5m이다.

측정자료에 대한 정성해석결과 탐사자름면상에는 2개의 이상체가 존재하며 이상체들의 주향은 잘 연장된다. 이로부터 이상체를 주향연장이 무한한 두꺼운 맥상체로 보고 역문제풀이를 진행하였다.(그림) 이때 연구지역에서 얻은 측정자료의 수평2계도함수를 목적함수계산에 리용하였다. 그리고 립자수는 120개, 최대반복수는 5 000회,  $c_1 = 0.5$ ,  $c_2 = 2.5$ ,  $v_{\text{제}} = 1$ 로 설정하고 관성무게인자는 선형적으로 감소시켰다. 또한 탐색범위를 벗어나는 립자들은 이전 반복단계의 위치값을 그대로 가지도록 하였다.

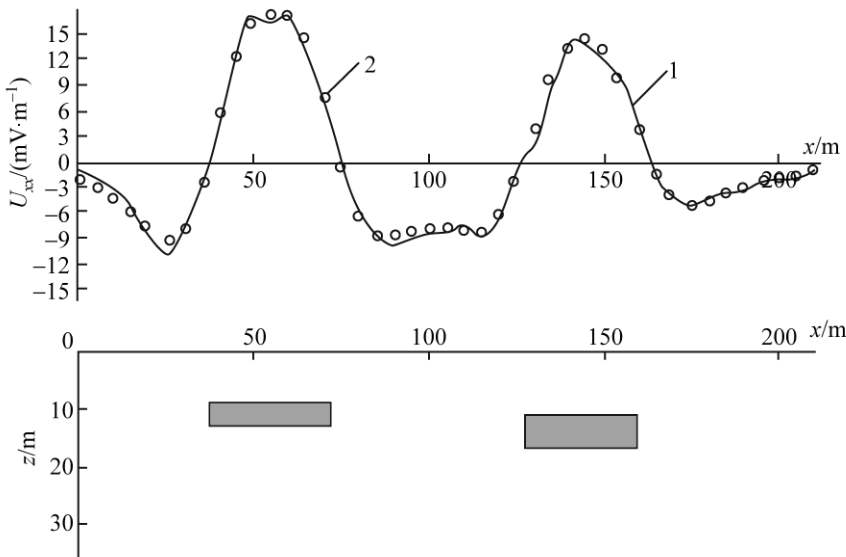


그림. 립자무리최량화방법에 의한 역문제풀이결과  
1-측정곡선, 2-해석곡선

그림에서 보는바와 같이 측정곡선과 해석곡선은 비교적 잘 일치한다.  
 설정한 파라미터들의 탐색범위에 따르는 역문제풀이결과는 표 5와 같다.

표 5. 선정한 파라미터범위와 역문제풀이결과

이상체		$x_0/m$	$h/m$	$\alpha/(^{\circ})$	$l/m$	$2b/m$	$K/(mV \cdot m^{-1})$
좌측	탐색범위	30~80	0~30	0~180	0~50	0~40	500~2 000
	추정값	54.6	8.96	98.7	3.8	34.0	1 737.0
우측	범위	120~180	0~30	0~180	0~50	0~40	500~2 000
	추정값	143.6	11.01	98.7	6.0	30.3	1 103.2

표 5에서 보는바와 같이 연구지역에 매장된 탄맥들은 두께에 비하여 수평너비가 더  
 큰것이 특징이다.

## 맺 는 말

립자무리최량화방법의 국부탐색능력을 높이기 위하여서는 이상체의 수가 많을수록  
 영향인자들을 합리적으로 선정하여야 한다.

모형계산에 의하면 복합형이상해석에서 이상체들의 수평자리표와 경사각의 탐색범위  
 는 측정곡선에 정성해석을 통하여 될수록 좁게 설정하여야 한다. 그리고 가속도인자  $c_1$   
 은  $c_2$  보다 크게 설정하지 말아야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 지구환경과학 및 지질학, 65, 4, 61, 주체108(2019).
- [2] J. L. G. Pallero et al.; Journal of Applied Geophysics, 116, 180, 2015.
- [3] Zhang Dailei et al.; Global Geology, 19, 1, 33, 2016.

주체109(2020)년 4월 5일 원고접수

## Study for Enhancing Local Searching Power in the Inversion of Complex Self-Potential Anomaly Using Particle Swarm Optimization

*Pak Kyong Hun, Ri Kuk Song*

The problem for enhancing local searching power is a very important key problem  
 connected with utility of this method directly. In this paper, we evaluate the influencing  
 factors for enhancing local searching power in the inversion of complex self-potential  
 anomaly using particle swarm optimization and apply to interpretation of self-potential data  
 measured in area.

Keywords: self-potential, particle swarm optimization, complex anomaly, inversion