

립자무리최량화방법에 의한 2차원자연전위이상역문제풀이

박경훈, 신철남

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《지질탐사부문에서는 첨단기술을 받아들여 탐사사업의 현대화를 적극 다그쳐나가야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제14권 505페이지)

립자무리최량화(PSO)방법은 1995년에 Kennedy와 Eberhart에 의하여 제기된 새무리의 먹이탐색행동을 모방한 일종의 새로운 비선형계발식대역최량화방법이다. 이 방법의 가장 중요한 우점은 모형공간에서 확률적으로 대역탐색을 진행하므로 국부극소점들에 쉽게 들어가지 않으며 사전제약조건들을 임의로 첨부할수 있는것이다.[1, 2, 4] 부족점은 국부탐색능력이 약한것이다. 우리는 논문에서 립자무리최량화법의 강한 대역탐색능력을 유지하면서 국부탐색능력을 높이기 위한 방법을 확립하고 모형계산을 통하여 그 방법의 효과성을 검증하였다.

1. 립자무리최량화방법의 원리와 알고리즘

립자무리최량화방법에 의한 역문제풀이에서 모형파라미터모임을 한마리의 새 또는 립자라고 한다. 모든 립자들은 최량화함수에 의하여 결정되는 하나의 적응도함수값을 가지며 동시에 비행속도와 위치를 가진다. 탐색공간(모형공간)이 n 차원이고 립자의 총수가 N 이며 i 번째 립자의 n 차원공간에서의 위치가 $\mathbf{p}_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$ 이고 비행속도가 $\mathbf{v}_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ 이라고 하자. 이때 매 립자들의 현재위치 \mathbf{p}_i 에 근거하여 적응도함수값 f_i 를 계산하고 적응도함수값에 근거하여 현재까지 매 립자들이 탐색한 제일 좋은 위치 \mathbf{p}_b 와 전체 무리가 탐색한 제일 좋은 위치 \mathbf{p}_g 를 확정한다. 매 립자들의 속도와 위치는 다음식들에 의하여 갱신된다.

$$\mathbf{v}_i^{k+1} = \omega \cdot \mathbf{v}_i^k + c_1 \cdot r_1 \cdot (\mathbf{p}_b - \mathbf{p}_i^k) + c_2 \cdot r_2 \cdot (\mathbf{p}_g - \mathbf{p}_i^k) \quad (1)$$

$$\mathbf{p}_i^{k+1} = \mathbf{p}_i^k + \mathbf{v}_i^{k+1} \quad (2)$$

여기서 \mathbf{v}_i^k 와 \mathbf{p}_i^k 는 각각 i 번째 립자의 k 차 반복단계에서의 비행속도와 위치이고 r_1 과 r_2 는 각각 0~1에서 균등분포하는 우연수들이며 c_1 과 c_2 는 학습인자들이다. ω 는 속도조절 무게인자로서 [0, 1]의 임의의 실수값인데 반복과정에 상수 또는 변수로 줄수 있다.

구체적인 계산절차는 다음과 같다.

① 립자무리수 N , 모형파라미터벡토르의 아래한계값 $m_{\text{최소}}$ 와 윗한계값 $m_{\text{최대}}$ 를 지정한다.

② [$m_{\text{최소}}$, $m_{\text{최대}}$]안에서 n 개의 모형파라미터와 N 개의 립자들에 대응하는 위치 \mathbf{p}_i 를 우연적으로 생성한다.

③ 매 립자들의 리론값을 해당한 리론마당계산식을 리용하여 구한다.

- ④ 목적함수계산식에 근거하여 매 립자들의 적응도함수값을 구한다.
- ⑤ 적응도함수값에 근거하여 현재 매 립자들이 탐색한 제일 좋은 위치 p_b 와 무리가 탐색한 제일 좋은 위치 p_g 를 선택한다.
- ⑥ 만일 대역수렴조건을 만족하거나 최대반복회수에 이르면 ⑨에로 이행한다.
- ⑦ 매 립자들은 p_b 와 p_g 에 근거하여 식 (1)과 (2)에 따라 자기들의 속도와 위치들을 갱신한다.
- ⑧ ③에로 이행하여 다음반복에로 넘어간다.
- ⑨ 수렴조건을 판정하고 조건이 만족되면 탐색결과를 출력하고 계산을 끝낸다.

2. 모 형 계 산

립자무리최량화방법은 대역탐색능력은 강하지만 비계발식최량화방법들에 비하여 국부탐색능력이 약한것이 결함이다. 다시말하여 모의실험에서 진값을 정확히 얻지 못한다. 그러므로 다른 최량화방법들과 결합하여 리용하고있다.

모형계산에서는 먼저 립자무리최량화방법에 영향을 주는 인자들의 특성을 확증하고 다음으로 국부탐색능력을 높이기 위한 방도를 찾는데 목적을 두었다. 모형계산실험에 주향연장이 무한하고 심부연장이 유한한 두꺼운 맥상체를 리용하였다. 모형의 매 파라메터들에 대하여 진모형값의 $\pm 80\%$ 의 구간제약을 하였고 학습인자값은 2로 주었다.

먼저 이 방법에 영향을 주는 무게인자, 립자무리수, 속도제한범위값들의 변화에 따르는 파라메터추정상대오차특성을 평가하고 가장 합리적인 영향인자값들을 확증하였다. 적응도함수값은 다음식으로 구하였다.

$$f_i = \|F_{\text{관측}}(p) - F_{\text{리론}}(i, p)\|_2^2 \quad (3)$$

무게인자와 감쇠결수에 따르는 추정파라메터평균상대오차는 표 1과 같다.

표 1. 무게인자와 감쇠결수에 따르는 추정파라메터평균상대오차						
무게인자 \ 감쇠결수	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
0.9	0.013	0.27	0.015	0.037	0.367	30.115
0.8	22.27	0.288	0.015	0.406	22.34	22.63
0.7	0.004 6	0.012	0.13	0.004	0.07	0.008
0.6	0.029	0.027	0.016	0.007	0.046	0.004
0.5	22.83	0.003	0.14	0.032	22.19	0.011

표 1을 통하여 가장 적합한 무게인자와 감쇠결수를 각각 0.7, 0.6으로 정하였다. 립자수와 속도제한범위값들도 평균상대오차에 영향을 미친다.(표 2와 3)

표 2. 립자수에 따르는 평균상대오차						
립자수/개	5	10	15	20	25	30
평균상대오차/%	24.16	0.004	0.012	0.001 8	0.002	0.002 3

표 3. 속도제한범위값에 따르는 평균상대오차							
속도제한범위값	1	2	3	4	5	6	7
평균상대오차/%	0.004	0.035	0.25	0.046	0.039	0.007	0.056

표 2와 3을 통하여 가장 적합한 립자수와 속도제한범위값은 각각 25, 1로 정하였다.

다음으로 이 방법의 국부탐색능력을 높이기 위한 실험을 진행하였다. 방도로서 관측자료형의 선택에 있다고 보았다.

자연전위마당과 그것의 위상마당에 따르는 립자무리최량화방법의 역문제풀이결과는 표 4와 같다.

표 4. 립자무리최량화(PSO)방법의 역문제풀이결과

모형과파라미터		자연전위마당		위상마당	
		역문제풀이값	상대오차/%	역문제풀이값	상대오차/%
맥상체의 수평중심위치 x_0/m	30	29.992	0.025	30	0
맥상체의 상반깊이 z_0/m	5	4.93	1.297	5	0
분극각 $\alpha/^\circ$	60	59.889	0.185	60	0
맥상체의 심부연장길이 l/m	20	20.18	0.906	20	0
맥상체너비의 절반 b/m	2	2.167	8.365	2	0
분극세기 K/mV	200	182.99	8.5	—	—

표 4에서 보는바와 같이 위상마당의 역문제풀이값은 실제값과 완전히 일치하였다. 즉 위상마당을 리용하면 국부탐색능력을 훨씬 높일수 있다.

다음으로 장애영향을 보았다. 각이한 장애에 따르는 평균상대오차는 표 5와 같다.

표 5. 각이한 장애에 따르는 평균상대오차

장애/%	5	10	15	20	25	30
평균상대오차/%	1.34	2.86	3.92	5.62	7.66	9.57

표 5에서 보는바와 같이 장애크기에 비한 평균상대오차의 비값은 0.268~0.32로서 매우 작다. 이것은 이 방법이 장애의 영향을 크게 받지 않는다는것을 말해준다.

3. 야외측정자료처리

○지역에서 얻은 야외측정자료[3]를 가지고 자연전위이상해석을 진행하였다.(그림) 이상을 일으킨 분극체는 얇은 맥상체로 간주하였다.

그림은 ○지역에서 얻은 측정곡선과 위에서 확립한 방식으로 해석처리한 역문제풀이곡선도이다. 측정점수는 51개, 측정점간격은 5m이며 립자무리최량화방법에서 구간제약은 이 이상에 대한 선행한 해석자료를 참고하여 선정하였다. 그림을 통하여 알수 있는바와 같이 역문제풀이곡선은 측정곡선과 왼쪽 부분(정값부분)을 제외하고 매우 잘 일치한다.

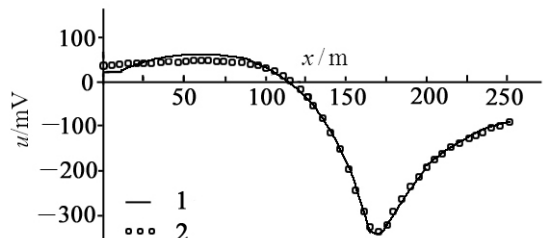


그림. ○지역의 자연전위이상해석
1-측정곡선, 2-역문제풀이곡선

왼쪽 부분에서 두 곡선의 차이는 측정오차 혹은 린접한 다른 이상체의 영향으로 인한 것일수 있다. ○지역 자연전위이상의 역문제풀이결과는 표 6과 같다.

표 6. ○지역 자연전위이상의 역문제풀이결과

파라메터	x_0/m	z_0/m	$\alpha/^\circ$	K/mV	l/m
역문제풀이값	167.8	12.8	45.5	104.47	54.4

맺 는 말

- 1) 린자무리최량화방법은 장애영향을 매우 적게 받으므로 야외측정자료해석에 적합하다.
- 2) 속도제한범위값을 역문제풀이에 적합하게 설정하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 62, 6, 156, 주체105(2016).
- [2] R. Shaw et al.; Geophysics, 72, 2, F75, 2007.
- [3] M. Akgün; Journal of the Balkan Geophysical Society, 4, 2, 29, 2001.
- [4] 孙中科 等; 物探化探计算技术, 35, 2, 128, 2013.

주체106(2017)년 11월 5일 원고접수

Inversion of 2D SP Anomalies with Particle Swarm Optimization Method

Pak Kyong Hun, Sin Chol Nam

In this paper, we have enhanced local search power of PSO and estimated noise effect with investigation of character of factors affected PSO method. And we inverted observed SP anomalies.

Key words: PSO, SP