

량자립자무리최량화법에 의한 자연전위이상해석

박 경 훈

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

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

량자립자무리최량화(Quantum Particle Swarm Optimization : QPSO)법은 립자무리최량화법에 량자리론의 원리를 도입한 하나의 새로운 무리지능최량탐색방법으로서 2004년에 처음으로 제기되였다.[1]

량자립자무리최량화법은 다른 최량화방법들(립자무리산법, 개미무리산법, 준뉴턴법, 유전알고리즘법, 모의소듐법)에 비하여 수렴속도가 빠르고 정확도가 높은 우점을 가지고 있다.[2]

론문에서는 량자립자무리최량화법의 원리를 소개하고 모의계산을 통하여 방법의 믿음성을 검증하고 어느 한 지역에서 측정한 자연전위자료해석에 적용하였다.

1. 량자립자무리최량화법의 원리

량자립자무리최량화법과 립자무리최량화(PSO)법의 차이점은 우선 립자들의 위치갱신 방식이 다른것이다.

PSO법에서는 매 립자들의 적응도값에 기초하여 결정된 립자최량위치와 무리최량위치를 리용하여 매 립자들의 속도와 위치를 갱신하지만 QPSO법에서는 립자의 속도를 리용하지 않으면서 립자최량위치와 무리최량위치만이 아니라 무리평균최량위치를 리용한다.

또한 립자의 위치갱신에 영향을 미치는 인자수가 PSO법에 비하여 적은것이다.

PSO법에서의 영향인자는 3개 즉 관성무게인자, 가속도인자와 속도제한인자이지만 QPSO법에서의 영향인자는 수축팽창인자뿐이다.

QPSO법에서는 다음식들에 의하여 립자들의 위치를 갱신한다.[1]

$$X_{ij}^{t+1} = \begin{cases} Q_{ij}^t + \beta |m_{\text{best } j}^t - X_{ij}^t| \ln\left(\frac{1}{u}\right), & r > 0.5 \\ Q_{ij}^t - \beta |m_{\text{best } j}^t - X_{ij}^t| \ln\left(\frac{1}{u}\right), & r \leq 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

$$Q_{ij}^t = \varphi P_{ij}^t + (1 - \varphi) P_{gj}^t \quad (2)$$

$$m_{\text{best } j}^t = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M P_{ij}^t \quad (3)$$

여기서 M 은 립자수, r 와 φ , u 는 각각 $0 \sim 1$ 사이에서 균등분포하는 우연수, β 는 수축팽창인자, i 와 j 는 각각 립자의 번호와 성분번호, P_{ij}^t 와 P_{gj}^t 는 각각 t 번째 반복단계에서 립자의 최량위치와 무리의 최량위치이다. 그리고 Q_{ij}^t 는 t 번째 반복단계에서 립자의 과도적위치,

$m_{best_j}^t$ 는 t 번째 반복단계에서 무리의 평균최량위치, X_{ij}^t 는 t 번째 반복단계에서 립자의 위치이다.

량자립자무리최량화법의 계산알고리즘은 다음과 같다.

① 립자수 M 과 무리의 탐색범위를 설정하고 립자들의 초기위치 X_{ij}^0 을 우연적으로 생성한다.

② 적응도함수에 의하여 매 립자들의 적응도값 f_i^t 를 계산하고 립자의 최량위치와 무리의 최량위치를 결정한 다음 식 (3)에 의하여 무리의 평균최량위치를 계산한다.

③ 식 (2)에 의하여 립자의 과도적위치를 계산한다.

④ 식 (1)에 의하여 립자의 위치를 갱신한다.

⑤ 중지조건(최대반복단계수 혹은 허용오차에 도달)을 만족시키지 않으면 ②-④단계를 반복하고 만족시키면 계산결과를 출력한다.

2. 모형계산에 의한 방법의 믿음성평가와 그 적용

모형계산에서는 주향연장이 무한한 두꺼운 맥상체의 자연전위마당계산공식을 리용하였다. 이때 자료점수는 51개, 자료점사이간격은 1m이다. 모형계산결과의 평가지표는 모형의 실제파라미터들과 역문제풀이를 진행하여 얻은 추정파라미터들사이의 평균상대오차(MRE)이다.

1) 해석자료구조형의 영향

일반적으로 모의소둔법, 립자무리최량화법을 비롯한 우연탐색최량화법들은 어떤 자료구조를 가지는 측정자료(실례로 측정값 혹은 구배값)를 해석하는가에 따라 해석결과가 심하게 차이난다. 그러므로 자연전위 U , 그것의 수평 및 수직도함수 U_x , U_z , U_{xx} 를 리용하여 적응도함수를 계산하고 역문제풀이를 진행하여 자료구조형에 따르는 평균상대오차를 비교하였다.(그림 1)

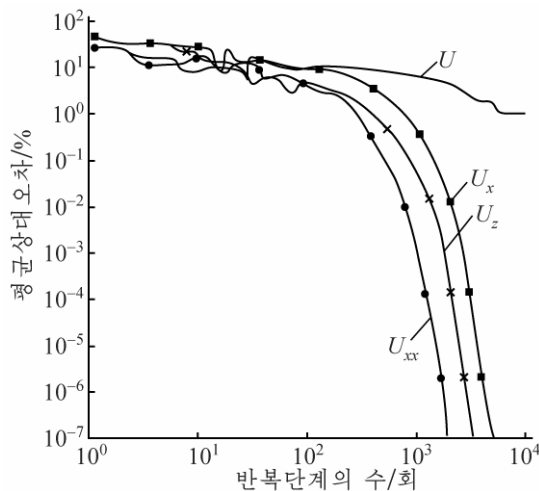


그림 1. 자료구조형에 따르는 평균상대오차곡선

그림 1에서 보는바와 같이 자연전위 U 를 리용한 경우 MRE는 약 1.0%정도이고 U_x , U_z , U_{xx} 를 리용한 경우에는 MRE가 허용오차(10^{-7})보다 더 작다. 특히 U_{xx} 를 리용한 경우에 다른 자료들을 리용한 경우보다 수렴속도가 더 빠르다. 이로부터 적응도값을 계산할 때 자연전위구배이상을 리용하는것이 보다 정확하다는것을 알수 있다.

2) 수축팽창인자의 영향

선행연구[2]에서는 QPSO법을 리용할 때 수축팽창인자 β 의 값을 0.5~1사이에서 반복단계의 수에 따라 선형적으로 변화시키는것이 좋다고 하였다.

자연전위측정자료해석에 미치는 수축팽창인자의 영향을 평가하기 위하여 β 를 임의의 값으로 고정시킨 경우와 반복단계의 수에 따라 그 값을 변화시키면서 역문제풀이

를 진행하였다.

β 를 0.3~1.7사이에서 임의의 값으로 고정시킨 경우 역문제풀이결과의 평균상대오차곡선은 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 최대반복단계수(10 000회)에 도달할 때까지 MRE값이 허용오차한계안에 들어가는것은 β 값이 0.8, 0.9, 1.1일 때인데 그가운데서도 $\beta=0.8$ 일 때 반복단계의 수가 가장 작다. 이로부터 β 를 고정시키고 역문제풀이를 진행하는 경우 β 를 0.8로 설정하는것이 가장 합리적이라는것을 알수 있다.

β 를 반복단계의 수가 증가하는데 따라 1부터 선형적으로 감소시키는 경우 β 의 아래한계값[0.1, 0.7]에 따르는 평균상대오차곡선은 그림 3과 같다.

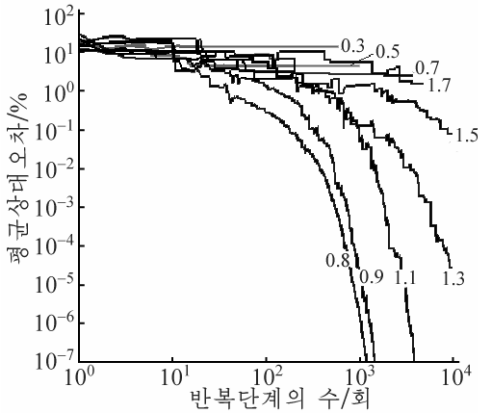


그림 2. β 값을 고정시킨 경우 역문제풀이 결과의 평균상대오차곡선

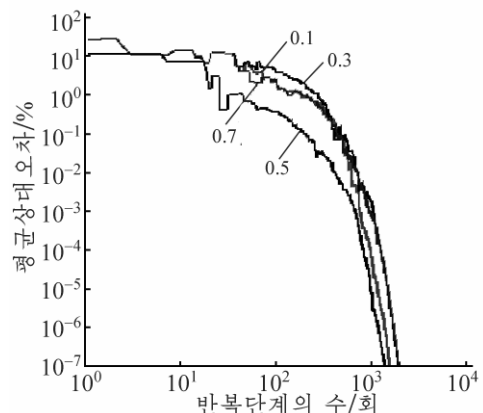


그림 3. β 의 아래한계값에 따르는 평균상대오차곡선

그림 3에서 보는바와 같이 β 의 아래한계값을 각이하게 설정하고 β 를 선형적으로 감소시키면서 역문제풀이를 진행하는 경우 MRE값들은 허용오차안에 들어간다. 그렇지만 β 의 아래한계값을 0.5로 설정한 경우 수렴속도가 가장 빠르다. 이로부터 반복단계의 수가 증가하는데 따라 β 를 선형적으로 감소시키는 경우 아래한계값을 0.5로 설정하는것이 가장 합리적이라는것을 알수 있다.

3) 장애의 영향

장애의 영향을 평가하기 위하여 리론자료에 우연장애를 포함시키고 역문제풀이를 진행하였다.(표 1) 이때 측정자료는 다음식으로 얻었다.

$$f_{\text{측정}} = f_{\text{리론}} \left[1 + (0.5 - r) \frac{\alpha}{100} \right] \quad (4)$$

여기서 r 는 [0, 1]사이에서 균등분포하는 우연수, α 는 장애크기(%)이다.

표 1. 장애의 영향평가

$\alpha/\%$	5	10	15	20	25	30
MRE/%	0.923	1.89	2.91	3.976	5.106	6.303
단위장애크기당 MRE	0.184 6	0.18 9	0.19 4	0.198 8	0.204 0	0.210 0

표 1에서 보는바와 같이 장애크기가 증가할수록 MRE값도 커지지만 단위장애크기당 MRE값은 평균 0.196 7이다. 이로부터 QPSO법이 장애의 영향을 매우 적게 받는다는것을 알수 있다.

4) QPSO법과 SPSO법의 비교

QPSO법의 대역최량풀이탐색능력을 보다 정확히 평가하기 위하여 동일한 조건에서 SPSO법과 비교하였다.(그림 4)

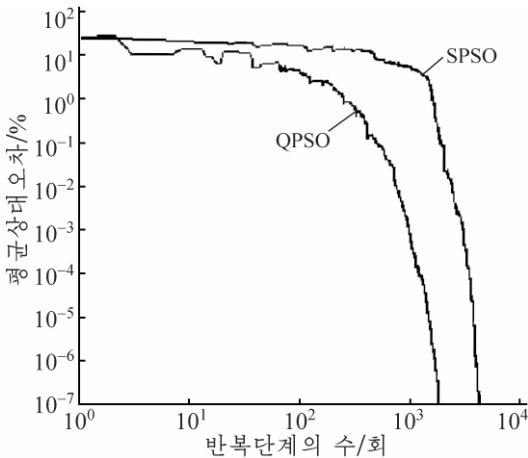


그림 4. SPSO법과 QPSO법에 의한 역문제 풀이결과의 평균상대오차

소시키었다. ($\beta_{\max} = 1$, $\beta_{\min} = 0.5$)

그림 4에서 보는바와 같이 QPSO법은 반복단계의 수가 100회정도에서 국부탐색단계에 들어가 2 000회정도에서 허용오차한계를 만족시켰지만 SPSO법은 2 000회정도에서 국부탐색단계에 들어가 4 500회정도에서 허용오차한계를 만족시켰다. 이로부터 QPSO법이 SPSO법보다 대역최량풀이탐색능력이 보다 높다는것을 알수 있다.

5) QPSO법의 적용

금속탄상지구의 어느 한 구역에서 측정한 자연전위이상을 QPSO법으로 해석한 결과는 그림 5와 같다. 이때 립자무리수는 30개, 최대 반복단계의 수는 1 500회, β 는 선형적으로 감

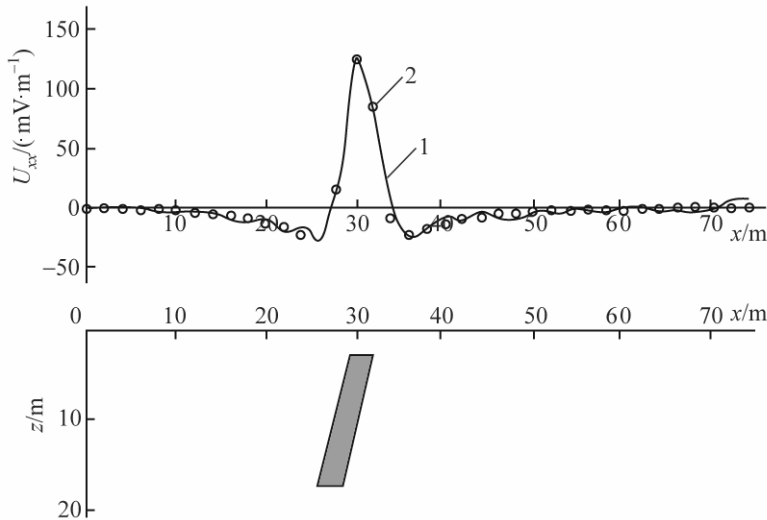


그림 5. 금속탄상지구의 어느 한 구역에서 측정한 자연전위이상을 QPSO법으로 해석한 결과
1-측정곡선, 2-해석곡선

그림 5에서 보는바와 같이 해석곡선과 측정곡선은 전반적으로 매우 잘 일치한다. 자연전위이상의 QPSO법해석결과는 표 2와 같다.

표 2. 자연전위이상의 QPSO해석결과

파라미터	x_0/m	z_0/m	$\alpha/(^\circ)$	l/m	b/m	$K/(mV \cdot m^{-1})$
값범위	20~40	0~10	90~180	0.1~50	0.1~10	10~3 000
해석결과	30.593	2.843	103.88	14.798	2.74	1 412.74

QPSO법으로 자연전위측정자료를 해석한 결과에 기초하여 현지에서 굴착작업을 진행한 결과 3m정도의 깊이에서 석탄층이 발견되었다.

맺는 말

QPSO법은 수렴속도와 안정성, 정확도의 측면에서 볼 때 SPSO법보다 우월하다. 이 방법은 장애의 영향을 적게 받으므로 현실자료해석에 매우 효과적으로 적용할수 있다.

참고 문헌

- [1] J. Sun et al.; IEEE Proceedings of Congress on Evolutionary Computation, IEEE Press, 325~331, 2004.
- [2] 刘建军 等; 工程地球物理学报, 9, 2, 151, 2012.

주체109(2020)년 1월 5일 원고접수

Interpretation of SP Anomalies by Quantum Particle Swarm Optimization Method

Pak Kyong Hun

In this paper we introduced the quantum particle swarm optimization method, verified factors affected on the method, and tested the noise effect through simulation. The method was applied in interpretation of SP data from an area.

Keywords: QPSO, SP