

확률파라미터조절법에 의한 SP이상역문제풀이방법

박 경 훈

위대한 령도자 김정일 동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

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

지구물리탐사정보를 해석하여 땅속에 묻혀있는 이상체의 놓임상태를 알아내는 역문제 풀이에서 중요한 문제의 하나는 풀이의 다가성을 극복하는것이다. 이를 위하여 연구지역의 물성자료와 종합물리탐사자료, 여러가지 정량적인 해석수법들을 리용하여야 한다.[2]

론문에서는 모형의 초기값에 관계없이 안정하게 정확한 풀이로 수렴하는 확률파라미터조절법을 새롭게 제기하고 모형계산실험을 통하여 방법의 믿음성을 검증하였다.

1. 확률파라미터조절법의 원리

지구물리역문제풀이법들은 크게 2가지 부류로 구분할수 있는데 하나는 확률통계적역문제풀이법(몽떼카를로법, 모의소둔법, 유전산법, 확률등산법 등)이고 다른 하나는 비확률통계적역문제풀이법(최속하강법, 공역경사법, 조절법, 마쿠어법 등)이다.

확률통계적역문제풀이법의 가장 큰 우점은 초기모형값에 관계없이 역문제풀이과정에 국부극값(거짓풀이)에 빠져들어가지 않는것이고 부족점은 대역극값(진풀이)을 결정하기 위한 계산량이 매우 많은것이다. 비확률통계적역문제풀이법은 수렴속도는 빠르지만 국부극값에 쉽게 빠져들어가므로 진풀이를 정확히 결정할수 없는 부족점이 있다.

확률파라미터조절법은 위의 2가지 부류의 확률등산법(Stochastic Hill-climbing Method)과 파라미터조절법(Parameter Regulation Method)의 우점들을 결합한것으로서 우점은 국부극값에 빠져들어가지 않으면서도 풀이를 빨리 결정할수 있는것이다.

확률파라미터조절법의 알고리즘은 다음과 같다.

① 사전정보에 기초하여 하나의 초기모형을 우연발생시킨다.

② 온도에 의존하는 류사꼬쉬분포를 리용하여 새 모형을 작성한다.(요동단계)[1]

$$P'_i = P_i + Q(B_i - A_i) \quad (1)$$

$$Q = T \cdot \text{sign}(\theta - 0.5) [(1 + 1/T)^{|2\theta - 1|} - 1] \quad (2)$$

여기서 P_i 와 P'_i 는 각각 낡은 모형과 새 모형(즉 요동전과 요동후)의 i 번째 파라미터, θ 는 $[0, 1]$ 사이에 균등분포하는 우연수, T 는 소둔온도, A_i 와 B_i 는 각각 i 번째 파라미터의 아래우변화한계, sign 는 부호함수이다. 이때 $P'_i \in [A_i, B_i]$ 이어야 한다.

③ 요동전과 후의 목적함수들(S_{old} 와 S_{new})의 차 $\Delta S = S_{\text{new}} - S_{\text{old}}$ 에 의하여 새 모형에 대한 판정을 진행한다.

만일 $\Delta S < 0$ 이면 새 모형을 받아들이고 $\Delta S > 0$ 이면 버리고 다시 새 모형을 작성한다.

④ 요동이 끝나면 소둔온도를 변화시킨다.

소둔온도는 쌍곡선하강형방식에 따라 감소시킨다.

$$T = T_0 \beta^k \quad (3)$$

여기서 T_0 은 초기온도, β 는 감쇠인자로서 1보다 작은 정수, k 는 반복회수이다.

T_0 값이 너무 크면 계산시간이 오래고 너무 작으면 새 모형을 초기모형부근에서만 선택하게 되므로 풀이를 정확히 결정할수 없으므로 실험을 통하여 T_0 값을 결정하여야 한다.

⑤ 소둔온도가 역문제풀이전환온도 T_c 에 이르면 단계 ⑥으로 이행하고 그렇지 않으면 단계 ②으로 이행하여 위의 과정을 반복한다.

⑥ 확률등산법풀이결과를 모형계산을 위한 초기값으로 설정하고 파라미터조절법에 의하여 역문제풀이를 진행한다.

2. 모형계산실험

1) 역문제풀이전환온도(T_c) 결정

역문제풀이전환온도는 역문제풀이과정에 확률등산법으로부터 파라미터조절법으로 넘어가는 한계온도로서 확률등산법의 풀이결과가 조절법의 수렴반경안에 놓이면서 총적인 역문제풀이계산시간을 최대로 줄일수 있도록 설정하여야 한다.

모형계산실험에서는 주향연장이 무한한 두꺼운 맥상형자연전위분극체를 리용하였다. 모형파라미터를 각이하게 설정하고 T_c 값을 변화시키면서 수렴특성을 고찰하였다.(표 1) 이때 자료점의 수는 51개, 자료점사이간격은 1(상대단위), 초기온도는 10^4 °C, 요동수는 40회로 설정하였다.

표 1. 합리적인 T_c 결정

No.	x_0 (상대단위)	h (상대단위)	$\alpha/(^\circ)$	K/mV	l (상대단위)	b (상대단위)	$T_c/^\circ C$
1	25	1	50	500	10	5	0.01
2	25	1	50	50	20	2	100
3	25	5	50	500	20	2	1 000
4	25	5	90	500	4	2	0.01
5	25	5	90	500	1	20	0.001
6	25	10	50	500	10	2	1 000
7	25	10	50	300	10	2	0.1

x_0 : 이상체의 수평놓임위치, h : 맥상체의 상반깊이, α : 분극각, K : 분극기전력, l : 심부 연장길이, b : 맥상체의 절반두께

표 1에서 보는바와 같이 T_c 값은 조절법에서 진값으로 수렴하게 하는 한계값으로서 모형의 크기가 작을수록, 지표가까이에 놓일수록 그 값이 작고 모형의 크기가 클수록, 보다 심부에 놓일수록 그 값이 크다. 그러므로 적합한 T_c 값은 $0.001^\circ C$ 이다.

2) 장애영향

야외에서 측정한 지구물리탐사정보에는 여러가지 요인들에 의한 장애성분이 포함되므로 우리는 다음과 같은 장애가 포함된 자료를 리용하여 방법의 장애에 대한 안정성을 검증하였다.

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{mod}}[1 + (-1)^{\text{Int}(\text{Rnd} \cdot 10)} \text{Rnd} \cdot \eta / 100] \quad (4)$$

여기서 f_{obs} 와 f_{mod} 는 각각 장애가 있는 경우와 없는 경우의 포텐살마당, Rnd는 우연수, η 는 장애함량(%)이다.

η 값을 1, 5, 10%로 주었을 때 해석결과는 표 2와 같다.

표 2. 장애영향검증

모형 파라미터	진 값	장애 함량					
		1%		5%		10%	
		추정값	상대 오차/%	추정값	상대 오차/%	추정값	상대 오차/%
x_0 (상대 단위)	25	25.012	0.048	25.058	0.232	25.123	0.492
h (상대 단위)	5	5.084	1.680	5.390	7.800	5.731	14.620
α (°)	50	50.227	0.454	51.100	2.200	52.176	4.352
K (mV)	500	500.450	0.091	492.84	1.432	472.380	5.524
l (상대 단위)	20	19.701	1.492	18.536	7.320	17.060	14.700
b (상대 단위)	4	4.051	1.275	4.343	8.575	4.874	21.850

표 2에서 보는바와 같이 추정 파라미터들 가운데서 장애의 영향을 가장 적게 받는것은 이상체의 수평위치로서 장애가 10%일 때 추정값의 상대오차는 0.5%정도이다. 그리고 장애의 영향을 가장 많이 받는것은 맥상체의 두께로서 장애가 10%일 때 추정값의 상대오차는 약 22%로서 매우 크다. 장애가 10%일 때 모형파라미터들의 평균상대오차는 10.26%로서 장애크기와 비슷하다. 그러므로 실제 야외자료해석에서는 측정자료에 대한 평활과려파처리를 잘하여야 한다.

3. 야외자료해석실험

우리가 제기한 방법에 의하여 황해남도 룡연군 흥지구에서 얻은 초무연탄탐사자료를 해석한 결과는 그림과 같다.

탐사선의 길이는 230m이고 측정점사이 거리는 5m로 설정하였다. 이 지역에 대한 사전정보에 기초하여 자연전위 이상을 일으킨 이상체의 형태를 주향연장이 무한한 수평원기둥으로 보았다.

그림에서 보는바와 같이 관측곡선과 해석곡선은 비교적 잘 일치하는데 이상체의 수평위치는 114.6m, 수직위치는 21.5m, 분극각은 102.3°이다.

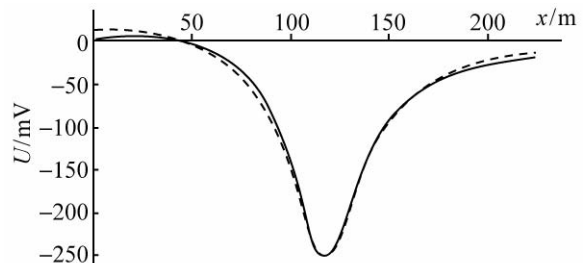


그림. 관측곡선(점선)과 해석곡선(실선)

맺 는 말

확률과라메터조절법은 이상체의 초기값을 임의로 설정하여도 풀이에 대한 대역탐색능력이 강하고 수렴속도가 빠르므로 야외관측자료처리에 리용할수 있다.

참 고 문 헌

[1] 师学明; 工程地球物理学报, 4, 3, 165, 2007.

[2] 劉士毅 等; 物探与物探, 34, 6, 691, 2010.

주체103(2014)년 2월 5일 원고접수

Inversion Method of SP Anomaly by Stochastic Parameter Regulation

Pak Kyong Hun

We have presented the stochastic parameter regulation method, which invariably converged to correct result without adherence to values of initial model approximation and verified the reliability of the method through model calculation.

Key words: stochastic parameter regulation, SP anomaly, inversion