

고지자기극위치정합에 의하여 상대적평행이동한 지괴들의 초기위치추정방법

김일남, 전준명, 신대경

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 과학기술분야에서 이룩한 성과에 만족하지 말고 나라의 과학기술을 새로운 높은 단계에로 발전시키기 위하여 적극 투쟁하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 133페이지)

원리적으로 볼 때 같은 시대에 해당한 고지자기극은 지괴에 관계없이 정확히 일치되어야 한다. 그러나 지괴들사이의 상대적이동(지체구조적인 평행이동 혹은 회전운동)으로 인하여 고지자기극의 위치나 극이동곡선의 모양이 일치되지 않는다.[1-5] 변위된 고지자기극의 위치나 변형된 극이동곡선의 모양을 본래의것과 일치되게 하는것을 고지자기극위치(극이동곡선)정합이라고 한다.

론문에서는 같은 시대에 해당한 고지자기극위치들이 차이나는 원인을 두 지괴사이의 상대적평행이동만에 의한것으로 볼 때 고지자기극위치들을 정합시키는 방법으로 상대적으로 평행이동한 지괴들의 초기위치를 추정할수 있다는데 대하여 서술하였다.

1. 고지자기극위치정합에 의한 지괴의 초기위치추정원리

지질학적으로 같은 시대에 형성된 두 지괴 $A(\varphi_A, \lambda_A)$ 와 $B(\varphi_B, \lambda_B)$ 에서 주어진 북각과 편각(I_A, D_A 와 I_B, D_B) 에 기초하여 결정한 고지자기극위치 $P_A(\Phi_A, \Lambda_A)$ 와 $P_B(\Phi_B, \Lambda_B)$ 는 B지괴가 A지괴에 대하여 상대적이동을 하지 않았을 때에는 서로 일치한다.

$$P_A(\Phi_A, \Lambda_A) = P_B(\Phi_B, \Lambda_B)$$

$$\Phi_A = \Phi_B, \Lambda_A = \Lambda_B$$

여기서 φ_A 와 λ_A 는 A 지괴의 위도와 경도, φ_B 와 λ_B 는 B 지괴의 위도와 경도, Φ_A 와 Λ_A 는 P_A 의 위도와 경도, Φ_B 와 Λ_B 는 P_B 의 위도와 경도이다.

만일 B지괴가 일정한 지질시대를 거치는 동안 B' 으로 평행이동하였다면(그림) $I_{B'}$, $D_{B'}$, $\varphi_{B'}$, $\lambda_{B'}$ 로부터 결정된 고지자기극 $P_{B'}$ 는 P_B 와 서로 차이나게 된다.

$$P_{B'}(\Phi_{B'}, \Lambda_{B'}) \neq P_B(\Phi_B, \Lambda_B) (= P_A(\Phi_A, \Lambda_A))$$

이것은 구체적으로 $\Phi_A \neq \Phi_{B'}$, $\Lambda_A \neq \Lambda_{B'}$ 를 의미한다. 여기서 B' 는 평행이동한 B 지괴, $\varphi_{B'}$ 와 $\lambda_{B'}$ 는 B' 지괴의 위도와 경도, $I_{B'}$ 와 $D_{B'}$ 는 B' 지괴에서 북각과 편각, $P_{B'}$ 는 $\varphi_{B'}$,

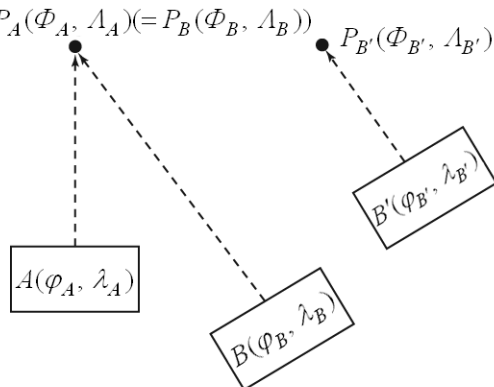


그림. A지괴에 대한 B지괴의 상대적 평행이동과 고지자기극위치변화

$\lambda_{B'}$, $I_{B'}$, $D_{B'}$ 로부터 구한 고지자기극, $\Phi_{B'}$ 와 $\Lambda_{B'}$ 는 $P_{B'}$ 의 위도와 경도이다.

B 지피가 잔류자화를 가지고 $B'(\varphi_{B'}, \lambda_{B'})$ 로 평행이동만 하였다면 그 위치에서의 복각 $I_{B'}$ 와 편각 $D_{B'}$ 는 각각 초기위치 $B(\varphi_B, \lambda_B)$ 에서의 I_B , D_B 와 같다. 그러나 지피의 위도와 경도가 변화된것으로 하여 결정된 고지자기극위치는 초기위치와 차이난다. 서로 편차된 고지자기극위치를 정합시키자면 B' 지피로부터 B 지피에로의 평행이동시켜야 하는데 그러기 위해서는 B 지피의 위치 φ_B 와 λ_B 를 알아야 한다.

B 지피의 위치를 추정하는 방법에는 두가지가 있다. 한가지는 φ 와 λ 를 전구간 $(-\pi/2 \leq \varphi \leq \pi/2, -\pi \leq \lambda \leq \pi)$ 에서 변화시키면서 계산한 고지자기극위치가 $P_B(\Phi_B, \Lambda_B)$ 와 같아지는 $\varphi = \varphi_B$, $\lambda = \lambda_B$ 를 얻는 방법이고 다른 하나는 $P_B(\Phi_B, \Lambda_B)$ 로부터 $I_{B'}$, $D_{B'}$ 를 계산하고 φ 와 λ 를 전구간에서 변화시키면서 계산한 I 와 D 값이 각각 $I_{B'}$, $D_{B'}$ 와 같아지는 φ_B 와 λ_B 를 결정하는 방법이다.

첫번째 방법

① $P_{B'}(\Phi_{B'}, \Lambda_{B'})$ 가 주어졌을 때 $B'(\varphi_{B'}, \lambda_{B'})$ 에서의 값 $I_{B'}$ 와 $D_{B'}$ 를 계산한다.

일반적으로 고지자기극위치 $P(\Phi_0, \Lambda_0)$ 가 주어졌을 때 해당 지역(φ, λ)에서의 복각(I)과 편각(D)은 다음의 식으로 계산한다.

$$\left. \begin{aligned} g_1^0 &= \sin \Phi_0 \\ g_1^1 &= \cos \Phi_0 \cdot \cos \Lambda_0 \\ h_1^1 &= \cos \Phi_0 \cdot \sin \Lambda_0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} X &= g_1^0 \cos \varphi - (g_1^1 \cos \lambda + h_1^1 \sin \lambda) \sin \varphi \\ Y &= -g_1^1 \sin \lambda + h_1^1 \cos \lambda \\ Z &= 2[g_1^0 \sin \varphi + (g_1^1 \cos \lambda + h_1^1 \sin \lambda) \cos \varphi] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} D &= \tan^{-1}(Y/X) \\ I &= \tan^{-1}(Z/\sqrt{X^2 + Y^2}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

여기서 g_1^0 , g_1^1 , h_1^1 은 가우스1차결수, X , Y , Z 는 지자기벡터의 북쪽, 동쪽, 연직방향성분이다.

② φ 와 λ 를 전구간 $(-\pi/2 \leq \varphi \leq \pi/2, -\pi \leq \lambda \leq \pi)$ 에서 변화시키면서 $I_{B'}$ 와 $D_{B'}$ 에 의하여 계산한 고지자기극위치가 $P_B(\Phi_B, \Lambda_B)$ 와 같아질 때의 φ 와 λ 를 각각 추정값 φ_B , λ_B 로 한다.

위도(φ)와 경도(λ)가 알려진 지역에서 복각(I)과 편각(D)으로부터 고지자기극위치 $P(\Phi, \Lambda)$ 를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \sin^{-1}(\sin \varphi \cdot \cos \varphi + \cos \varphi \cdot \sin p \cdot \cos D), \quad \left(p = \cot^{-1} \left(\frac{1}{2} \tan I \right) \right) \\ \Lambda &= \sin^{-1}(\sin p \cdot \sin D / \cos \Phi) + \lambda, \quad (\cos p \geq \sin \varphi \cdot \sin \Phi) \\ \Lambda &= -\sin^{-1}(\sin p \cdot \sin D / \cos \Phi) + \lambda + \pi, \quad (\cos p < \sin \varphi \cdot \sin \Phi) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

두번째 방법

① $P_{B'}(\Phi_{B'}, \Lambda_{B'})$ 가 주어졌을 때 $B'(\varphi_{B'}, \lambda_{B'})$ 에서의 값 $I_{B'}$ 와 $D_{B'}$ 를 계산한다.

② φ 와 λ 를 전구간($-\pi/2 \leq \varphi \leq \pi/2$, $-\pi \leq \lambda \leq \pi$)에서 변화시키면서 계산한 I 와 D 값이 각각 $I_{B'}$, $D_{B'}$ 와 같을 때의 φ 와 λ 를 각각 추정값 φ_B , λ_B 로 한다.

첫번째 방법과 두번째 방법으로 추정한 지피의 φ_B , λ_B 들은 동일하다.

B' 지피의 초기위치 $B(\varphi_B, \lambda_B)$ 가 추정되면 B 로부터 B' 까지의 평행이동량 L 은 지표면에 있는 두 지피들사이의 각거리 α 로부터 다음과 같이 결정할수 있다.

$$x_{B'} = R \cdot \cos \varphi_{B'} \cos \lambda_{B'}, \quad y_{B'} = R \cdot \cos \varphi_{B'} \sin \lambda_{B'}, \quad z_{B'} = R \cdot \sin \varphi_{B'} \quad (5)$$

$$x_B = R \cdot \cos \varphi_B \cos \lambda_B, \quad y_B = R \cdot \cos \varphi_B \sin \lambda_B, \quad z_B = R \cdot \sin \varphi_B \quad (6)$$

$$\alpha = \arccos(x_B \cdot x_{B'} + y_B \cdot y_{B'} + z_B \cdot z_{B'}), \quad L = R \cdot \alpha \quad (7)$$

그리고 지피의 이동방향 ω 는 위도와 경도의 변화량 $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ 의 부호에 의하여 결정할수 있다. 즉 $\Delta\varphi = \varphi_{B'} - \varphi_B$, $\Delta\lambda = \lambda_{B'} - \lambda_B$ 일 때

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi > 0, \Delta\lambda > 0 &\Rightarrow \omega = \omega, && \text{북동} \\ \Delta\varphi = 0, \Delta\lambda > 0 &\Rightarrow \omega = \pi/2, && \text{동} \\ \Delta\varphi < 0, \Delta\lambda > 0 &\Rightarrow \omega = \pi - \omega, && \text{남동} \\ \Delta\varphi < 0, \Delta\lambda = 0 &\Rightarrow \omega = 2\pi, && \text{남} \\ \Delta\varphi < 0, \Delta\lambda < 0 &\Rightarrow \omega = 2\pi + \omega, && \text{남서} \\ \Delta\varphi = 0, \Delta\lambda < 0 &\Rightarrow \omega = 3\pi/2, && \text{서} \\ \Delta\varphi > 0, \Delta\lambda < 0 &\Rightarrow \omega = 2\pi - \omega, && \text{북서} \\ \Delta\varphi > 0, \Delta\lambda = 0 &\Rightarrow \omega = 0, && \text{북} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

이다.

2. 모의계산에 의한 방법의 믿음성검증

제기한 방법의 믿음성을 검증하기 위하여 모의계산에서는 두 지피 A 와 B 가 있을 때 A 지피에 대한 B 지피의 상대적평행이동에 따르는 $P_{B'}(\Phi_{B'}, \Lambda_{B'})$ 의 값을 이론적으로 계산하여 그것을 초기자료(표 1)로 하였다.

표 1. 초기값자료

No.	A 지 궤				B 지 궤				B' 지 궤				$P_{B'}$							
	φ_A	λ_A	I_A	D_A	φ_B	λ_B	I_B	D_B	$\varphi_{B'}$	$\lambda_{B'}$	$I_{B'}$	$D_{B'}$	$\Phi_{B'}$	$\Lambda_{B'}$						
1	30	120	43.001	5	7.044	4	35	134	50.858	3	8.647	4	30	140	50.858	3	8.647	4	82.41	-144.08
2	32	125	46.760	4	-1.39×10^{-15}		35	134	50.287	2	0.729	8	26	150	50.287	2	0.729	8	84.91	157.06
3	33	130	61.418	5	22.355	1	38	135	66.318	9	23.410	9	26	160	66.318	9	23.410	9	60.86	-167.44

제기한 방법가운데서 두번째 방법을 리용하여 $B'(\varphi_{B'}, \lambda_{B'})$ 의 초기위치 $B(\varphi_B, \lambda_B)$ 를 추정하였다.(표 2)

표 2. 추정된 자료

No.	P_B			B 지괴		
	Φ_B	Λ_B	I_B	D_B	φ_0	λ_0
1	82	-113	50.858 3	8.647 4	35	134
2	86	305	50.287 2	0.729 8	35	134
3	70	-175	66.318 9	23.410 9	38	135

표 2에서 보는바와 같이 두번째 방법으로 추정한 φ_0 과 λ_0 은 초기값과 정확히 일치한다.

맺는말

같은 시대에 해당하는 고지자기극위치들이 차이나는 원인을 두 지괴사이의 상대적평행 이동만에 의한것이라고 볼 때 고지자기극위치정합에 의하여 지괴들의 초기위치를 추정하는것은 해석적으로 가능하다. 그리고 초기위치에 의하여 지괴들의 평행이동량과 이동방향을 결정할수 있다.

참고문헌

- [1] J. Besse et al.; Journal of Geophysical Research, **96**, 4029, 1991.
- [2] J. Besse et al.; Journal of Geophysical Research, **107**, 2299, 2002.
- [3] E. Márton et al.; Tectonophysics, **480**, 57, 2010.
- [4] G. Muttoni et al.; Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **386**, 415, 2013.
- [5] T. H. Torsvik et al.; Earth Sci. Rev., **114**, 325, 2012.

주체109(2020)년 4월 5일 원고접수

The Method for Estimating the Initial Position of Massifs Relatively Translated by Using Matching of Paleomagnetic Pole Positions

Kim Il Nam, Jon Jun Myong and Sin Thae Gyong

In this paper, we have described the method by which the initial position of relative translation between massifs by using the matching of the paleomagnetic pole positions can be estimated when we refer the reason of discrepancy of paleomagnetic pole positions corresponding to same ages to only the relative translation between two massifs.

Keywords: paleomagnetic pole position, massifs, inclination, declination, matching