

고지자기극이동곡선정합에 의한 지괴들사이의 상대적회전이동량추정

김일남, 리재남

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

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

같은 시대에 해당하는 두 지괴에서 작성된 고지자기극이동곡선들이라고 하여도 서로 정확히 일치되지 않는 경우가 적지 않다.[2, 3] 그 원인은 두 지괴사이의 상대적인 회전운동 또는 상대적인 평행이동, 상대적인 회전운동 및 평행이동에 있다.

논문에서는 같은 시대에 해당하는 고지자기극이동곡선들이 차이나는 원인을 두 지괴사이의 상대적회전이동에만 의한것이라고 볼 때 이 두 곡선이 정합되기 위한 해석적조건들을 찾아내는 방법으로 상대적회전이동량을 추정할수 있다는데 대하여 서술하였다.

1. 지괴들사이의 상대적회전이동량추정문제

지질학적으로 같은 시대에 형성된 두 지괴 $A(\varphi_A, \lambda_A)$ (φ_A, λ_A 는 A 지괴의 위도와 경도)와 $B(\varphi_B, \lambda_B)$ (φ_B, λ_B 는 B 지괴의 위도와 경도)에서 잔류자화세기벡토르의 북각과 편각으로부터 구한 고지자기극위치 $P_A(\Phi_A, \Lambda_A)$ (Φ_A, Λ_A 는 P_A 의 위도와 경도)와 $P_B(\Phi_B, \Lambda_B)$ (Φ_B, Λ_B 는 P_B 의 위도와 경도)는 B 지괴가 A 지괴에 대하여 회전이동을 하지 않은 초기에는 서로 일치한다. 즉 $P_A(\Phi_A, \Lambda_A) = P_B(\Phi_B, \Lambda_B)$ 또는 $\Phi_A = \Phi_B, \Lambda_A = \Lambda_B$ 이다.

그러나 B 지괴가 A 지괴에 대하여 수평으로 α , 수직으로 β 만큼 회전이동되어

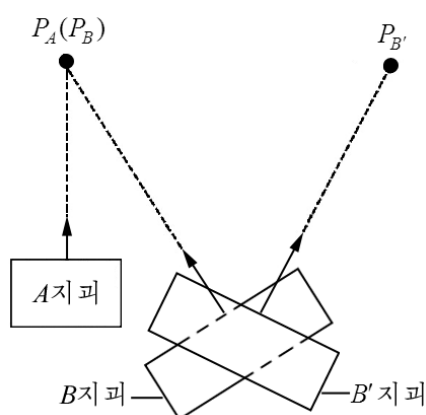


그림. A 지괴에 대한 B 지괴의 상대적회전이동과 편차된 고지자기극위치

$B'(\varphi_{B'}, \lambda_{B'})$ 지괴 ($\varphi_{B'}, \lambda_{B'}$ 는 B' 지괴의 위도와 경도)로 되면 잔류자화세기벡토르의 북각과 편각은 I_B, D_B 로부터 $I_{B'}, D_{B'}$ 로 변환된다. 이때 $I_{B'}, D_{B'}$ 에 의해 계산된 고지자기극위치 $P_{B'}(\Phi_{B'}, \Lambda_{B'})$ ($\Phi_{B'}, \Lambda_{B'}$ 는 $P_{B'}$ 의 위도와 경도)는 I_B, D_B 에 의해 계산된 본래의 고지자기극위치 $P_B(\Phi_B, \Lambda_B)$ ($P_A(\Phi_A, \Lambda_A)$)와 편차나게 된다.

A 지괴에 대한 B 지괴의 상대적회전이동과 편차된 고지자기극위치는 그림과 같다.

이때 수평회전이동이 먼저 진행되고 그 다음에 수직회전이동이 진행되었다고 본다.

초기자리표계에서 잔류자화세기완전벡토르를 J_0 , 그것의 성분별 벡토르를 각각 J_{0x}, J_{0y}, J_{0z} , 수평회전

된 자리표계에서 성분별 벡토르를 각각 J_{1x}, J_{1y}, J_{1z} , 다음 수직회전된 자리표계에서 성분별 벡토르를 각각 J_{2x}, J_{2y}, J_{2z} 라고 하면 수평 및 수직회전이동에 의한 복각과 편각의 변환과정은 다음과 같은 자리표변환식(정변환식)으로 표시된다.

$$\begin{cases} J_{0x} = J_0 \cos I_B \cos D_B \\ J_{0y} = J_0 \cos I_B \sin D_B \\ J_{0z} = J_0 \sin I_B \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} J_{1x} = J_{0x} \cos \alpha + J_{0y} \sin \alpha \\ J_{1y} = -J_{0x} \sin \alpha + J_{0y} \cos \alpha \\ J_{1z} = J_{0z} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} J_{2x} = J_{1x} \cos \beta + J_{1z} \sin \beta \\ J_{2y} = J_{1y} \\ J_{2z} = -J_{1x} \sin \beta + J_{1z} \cos \beta \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} I_{B'} = \arctan\left(J_{2z} / \sqrt{J_{2x}^2 + J_{2y}^2}\right) \\ D_{B'} = \arctan(J_{2y} / J_{2x}) \end{cases} \quad (4)$$

우리는 $I_{B'}$, $D_{B'}$ 가 주어졌을 때 β 와 α 를 추정하는 문제를 고찰한다.

2. 지괴들사이의 상대적회전이동량 추정원리

B 지괴의 상대적회전이동으로 편차된 고지자기극위치 $P_{B'}(\Phi_{B'}, \lambda_{B'})$ 로부터 $B'(\varphi_{B'}, \lambda_{B'})$ 지괴에서의 $I_{B'}$, $D_{B'}$ 를 계산하고 β , α 에 의한 거꿀자리표변환을 실시하여 계산된 극위치값이 원래의 극위치값 $P_B(\Phi_B, \lambda_B)$ ($P_A(\Phi_A, \lambda_A)$)와 같아지게 되는 β , α 를 구하면 이것이 바로 우리가 추정하려고 하는 회전이동량으로 된다.

거꿀자리표변환과정은 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{cases} J_{2x} = J_0 \cos I_{B'} \cos D_{B'} \\ J_{2y} = J_0 \cos I_{B'} \sin D_{B'} \\ J_{2z} = J_0 \sin I_{B'} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} J_{1x} = J_{2x} \cos \beta - J_{2z} \sin \beta \\ J_{1y} = J_{2y} \\ J_{1z} = J_{2x} \sin \beta + J_{2z} \cos \beta \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} J_{0x} = J_{1x} \cos \alpha - J_{1y} \sin \alpha \\ J_{0y} = J_{1x} \sin \alpha + J_{1y} \cos \alpha \\ J_{0z} = J_{1z} \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} I_B = \tan^{-1}\left(J_{0z} / \sqrt{J_{0x}^2 + J_{0y}^2}\right) \\ D_B = \tan^{-1}(J_{0y} / J_{0x}) \end{cases} \quad (8)$$

한편 어떤 지역 (φ, λ) 에서 복각 I , 편각 D 를 알고 지자기극위치를 결정하기 위한 식은 다음과 같다.[1]

$$\begin{cases} p = \cot^{-1}(\tan I / 2) \\ \Phi_0 = \sin^{-1}(\sin \varphi \cdot \cos \varphi + \cos \varphi \cdot \sin p \cdot \cos D) \\ A_0 = \sin^{-1}(\sin p \cdot \sin D / \cos \Phi_0) + \lambda \quad (\cos p \geq \sin \varphi \cdot \sin \Phi_0 \text{ 일 때}) \\ A_0 = -(\sin^{-1}(\sin p \cdot \sin D / \cos \Phi_0)) + \lambda + \pi \quad (\cos p < \sin \varphi \cdot \sin \Phi_0 \text{ 일 때}) \end{cases} \quad (9)$$

극위치가 주어졌을 때 임의의 지역 (φ, λ) 에서의 복각, 편각을 결정하기 위한 식은 다음과 같다.[1]

$$\begin{cases} g_1^0 = \sin \Phi_0 \\ g_1^1 = \cos \Phi_0 \cdot \cos A_0 \\ h_1^1 = \cos \Phi_0 \cdot \sin A_0 \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} X = g_1^0 \cos \varphi - (g_1^1 \cos \lambda + h_1^1 \sin \lambda) \sin \varphi \\ Y = -g_1^1 \sin \lambda + h_1^1 \cos \lambda \\ Z = 2[g_1^0 \sin \varphi + (g_1^1 \cos \lambda + h_1^1 \sin \lambda) \cos \varphi] \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} D = \tan^{-1}(Y / X) \\ I = \tan^{-1}\left(Z / \sqrt{X^2 + Y^2}\right) \end{cases} \quad (12)$$

여기서 g_1^0, g_1^1, h_1^1 은 전개식의 가우스결수, X, Y, Z 는 각각 지자기벡터의 북쪽, 동쪽, 연직성분이다.

이제 α 와 β 를 전구간 $(-180^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ, -90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ)$ 에서 변화시키면서 거꿀자리 표변환을 실시하여 I 와 D 값이 각각 I_B, D_B 와 같아지는 α 와 β 를 추정한다.

지금까지 고찰한 내용은 한 시대에 해당하는 1개의 고지자기극에 대한것이다.

순차적으로 된 여러 시대에 해당하는 고지자기극이동곡선에 대하여 위의 방법을 반복 하면 A 지피와 B 지피에서의 고지자기극이동곡선들이 정합된다.

3. 계산실험결과

계산실험을 위한 초기자료설정과정은 다음과 같다.

먼저 식 (10)–(12)를 리용하여 임의의 고지자기극위치 $P_A(\Phi_A, A_A)(P_B(\Phi_B, A_B))$ 로부터 두 지피 $A(\varphi_A, \lambda_A)$ 와 $B(\varphi_B, \lambda_B)$ 에서의 복각(I_A, I_B)과 편각(D_A, D_B)을 계산한다.

다음 I_B 와 D_B 로부터 α_0, β_0 에 의한 자리표변환(식 (1)–(4))을 실시하여 $I_{B'}, D_{B'}$ 를 계산한다.

그리고 $B'(\varphi_{B'}, \lambda_{B'})$, $I_{B'}, D_{B'}$ 로부터 식 (9)를 리용하여 $P_{B'}(\Phi_{B'}, A_{B'})$ 를 계산한다.

이 과정을 거쳐 초기자료로 설정된 고지자기극위치 및 지피파라미터와 회전이동량은 표와 같다.

표. 초기자료로 설정된 고지자기극위치 및 지괴파라메터와 회전이동량

파라메터와 회전이동량		계산실험		
		I	II	III
$P_A(\Phi_A, \lambda_A)$	$\Phi_A(\Phi_B)$	74	77	86
$(P_B(\Phi_B, \lambda_B))$	$\lambda_A(\lambda_B)$	185	225	305
$A(\varphi_A, \lambda_A)$	φ_A	35	38	40
	λ_A	125	126	130
	I_A	60.634 8	54.370 0	55.478 7
	D_A	18.623 0	15.718 1	0.430 7
$B(\varphi_B, \lambda_B)$	φ_B	40	41	35
	λ_B	126	128	134
	I_B	64.698 0	57.578 6	50.287 2
	D_B	20.114 7	16.508 5	0.729 8
$B'(\varphi_{B'}, \lambda_{B'})$	$\varphi_{B'}$	40	41	35
	$\lambda_{B'}$	126	128	134
	$I_{B'}$	44.744 9	12.267 7	73.222 0
	$D_{B'}$	3.075 1	19.052 1	-65.478 9
$P_{B'}(\Phi_{B'}, \lambda_{B'})$	$\Phi_{B'}$	76.123 4	51.269 7	41.816 1
	$\lambda_{B'}$	-65.561 3	-83.243 8	94.922 4
회전이동량/(°)	α_0	15	-20	25
	β_0	20	50	-30

지괴들사이의 상대적회전이동량추정과정은 다음과 같다.

먼저 $P_{B'}(\Phi_{B'}, \lambda_{B'})$ 로부터 $B'(\varphi_{B'}, \lambda_{B'})$ 에서의 $I_{B'}$, $D_{B'}$ 를 계산한다.

$I_{B'}$, $D_{B'}$ 에 대하여 각이한 회전이동량 β ($-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$), α ($-180^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$)에 의한 거꿀자리표변환(식 (5)-(8))을 실시하여 I_B , D_B 를 계산한다.

다음 I_B , D_B 와 φ_B , λ_B 로부터 식 (9)를 리용하여 $P_B(\Phi_B, \lambda_B)$ 를 계산한다.

위의 과정을 반복하면서 $P_B(\Phi_B, \lambda_B) = P_A(\Phi_A, \lambda_A)$ 를 만족시키는 회전이동량 α , β 를 추정한다.

추정결과 얻어진 회전이동량 α , β 는 초기자료로 설정된 α_0 , β_0 과 정확히 일치된다.

맺 는 말

같은 시대에 해당한 고지자기극이동곡선들이 차이나는 원인을 두 지괴사이의 상대적회전이동에만 의한것이라고 볼 때 고지자기극이동곡선정합에 의해 A지괴에 대한 B지괴의 상대적회전이동량(수평방향에서 α_0 , 수직방향에서 β_0)을 추정하는것이 해석적으로 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] 김일남 등; 지질 및 지리과학, 3, 3, 주체99(2010).
- [2] G. Muttoni et al.; Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 386, 415, 2013.
- [3] E. Márton et al.; Tectonophysics, 480, 57, 2010.

주체109(2020)년 1월 5일 원고접수

Estimation of the Magnitude of Relative Rotary Motion Between the Massifs by Matching Paleomagnetic Polar Wander Curves

Kim Il Nam, Ri Jae Nam

The magnitude of relative rotary motion between the massifs can be estimated by matching the paleomagnetic polar wander curves when we refer the reason of the discrepancy of paleomagnetic polar wander curves corresponding to the same ages to only the relative rotary motion between two massifs.

Keywords: paleomagnetic polar wander curve, massif, matching