

벡터계산을 이용한 단층의 이동량 산출법

황상기* · 최은석* · 황재하**

A Simple Vector Calculation Method for the True Fault Displacement Distance

Sang-Gi Hwang, Eun-Seook Choi and JaeHa Hwang

ABSTRACT: True displacement of a fault movement is calculated from the displacement of the index plane such as bedding on an outcrop surface. The input parameters are the orientations of the index, fault, and outcrop planes. It is also necessary to input the orientation of fault striation and the offset distance of the index plane on the outcrop surface. The distances of the total, strike, horizontal and dip slip components of the fault movement are calculated from the input parameters. Hwang (1998) conducted a similar calculation using trigonometric method. To apply the previous method, the offset distance of the index plane must be measured on a vertical outcrop surface. The calculation method of this study accepts the offset distance of the index plane on an outcrop plane of any orientation. Calculation results from both methods are identical, regardless of the simplicity of the new method.

서 론

단층면에서 측정되는 단층의 이동량은 위치에 따라 일정하지 않기 때문에 (Cartwright and Mansfield, 1998; Cowie and Shipton, 1998) 하나의 단층에 관한 이동량을 하나의 수치로 측정할 수는 없다. 그러나 단층의 특정부위에서의 이동량은 측정될 수 있으며 이렇게 측정된 변위량이 취합되면 단층의 전체적인 변위 형태를 밝힐 수 있게 된다. 단층의 특정부위에서 변위를 측정하기 위해서는 단층의 상반과 하반에서 한 기준점의 3차원적 변위가 관찰되어야 한다. 지질학적인 상황에서는 층리, 암맥, 습곡축등의 배열에 의해 형성된 기준점들의 변위를 활용할 수 있으나 이러한 기준점들이 관찰되는 경우는 극히 드물다. 자연에서 흔히 관찰되는 변위는 노두면 위에서 층리나 암맥등의 기준면이 단층에 의해 변위를 보이는 현상이다. 그러므로 노두에서 관찰되는 기준면의 배열과 변위, 단층조선의 방향등을 활용하여 단층의 실 이동량을 쉽게 계산하는

방법이 필요하다.

최근 Costa *et al.* (1998)은 단층의 이동방향 벡터(예, 단층조선의 방위를 표시하는 단위벡터)를 이용하여 주향이동, 수평이동, 수직이동의 변위와 총이동 변위의 관계식을 정립함으로써, 단층의 이동 방향과 주향, 수평, 수직 이동중 하나의 변위량이 측정될 경우 총 변위량을 도화적으로 측정하는 방법을 제시 하였다. 또한 이동벡터를 주향, 수평, 수직이동 성분으로 분할하여 삼각 다이어그램에 점기하는 방안을 제시함으로써 조사지역의 단층들을 종류별로 분할하는 방안을 제시하였다. 황재하 (1998)는 층리와 같은 기준면과 단층면, 단층 조선, 노두면의 배열등과 노두에서의 단층변위와 같은 기하학적 정보를 이용하여 실 변위량을 삼각도해법으로 계산하는 방안을 제시하였다.

본 연구에서는 황재하 (1998)에 의해 제시된 실 변위량 계산에 삼각도해법 대신 벡터 계산을 이용함으로써 계산 과정을 단순화시키는 방안을 제시하고 계산 결과를 전산화하는 과정을 소개하고자 한다.

* 배재대학교 공과대학 토목건축공학부 토목환경공학과 (Geoenvironmental Engineering Department, PaiChai University)

** 한국 자원연구소 지질연구부 도폭연구그룹 (Geology Department, KIGAM)

원 리

야외조사 과정에서 관찰되는 단층의 변위와 측정이

가능한 기하학적인 지질요소들을 도식적으로 표현하면 Fig. 1과 같이 정리될 수 있다. P1면은 층리의 변위가 관찰되는 노두면으로서 야외에서 항상 정확한 평면으로 노출되어 있는 것은 아니다. 그러나 노두의 변위요소를 투영하여 관찰할 수 있는 가상의 평면을 설정하고 이를 P1으로 정의할 수 있겠다. 이 가상의 면에서 층리와 같은 기준면의 변위를 측정할 수 있다. 즉 P1에서 관찰되는 변위벡터 X 는 방위와 크기(D_1)를 갖는 벡터성분이다. 한편 변위를 보이는 기준면(이 경우는 층리)의 배열, 단층면의 배열, 단층조선의 배열이 측정될 수 있다. 이 과정에서 단층조선의 배열을 선구조로서 직접 측정할 수 있으나 측정오차로 인하여 단층면상에 놓여야 할 단층조선이 정확히 측정되지 않을 수 있다. 그러므로 단층면에서 면선각(rake)을 측정하여 선구조의 배열로 전환하는 것이 더 효율적일 것이다. 동일한 이유로 단층과 층리의 교선 벡터 F 나 단층과 P1의 교선벡터 X 의 방위도 면들의 교선으로 계산되는 것(Priest, 1993)이 측량의 횡수를 줄일 수 있으며 차후 단층변위계산에서 계산오차를 줄일 수 있을 것이다. D 로 표시된 단층의 실 이동거리 벡터는 노두 표면 P1에서 단층의 하반에 위치한 층리와 단층면이 만나는 교점(벡터 D 의 꼬리부분)이 단층의 이동방향을 따라서 이동하여 단층의 하반에 위치한 단층면상의 층리면과 만나는 지점(벡터 D 의 머리부분)까지의 거리를 의미한다. 그러므로 실 변위량 벡터 D 는 X 와 F 벡터로 분해될 수 있다. 여기에서 X 는 방향과 거리를 모두 구할 수 있는 벡터이나 F 와 D 는 방향만 알고 크기를 모르는 벡터들이다. 본 논문의 목적은 벡터 X 를 측정하여 벡터 D 의 크기를 구하는 것 이므로 이 세 벡터의 형태만 정의되면 세 벡터의 크기 비율을 구할 수 있고 그 비율에 의해 벡터 D 의 크기, 즉 단층의 이동거리를 구하는 매우 간단한 문제이다.

이동량 산출과정

구조자료를 이용해 세 벡터에 의해 정의되는 삼각형을 구하기 위해서는 세 벡터와 평행한 선분의 주향과 경사값을 이용할 수 있다. 즉 벡터 X 는 크기를 알고 있으므로 선분들의 배열을 이용하여 각 α 와 β 를 측정하여(두 선분의 사이각 측정) 단층면에서 Fig. 1과 같은 삼각형을 작도하면 된다. 그러나 일반적으로 사용되는 주향과 경사는 방향이 없이 방위만을 표현하는 원주좌표의 표현방법이므로 두 선분간의 사이각이 예각과 둔각으로 구해져 이중 어느것이 정확한 사이각인

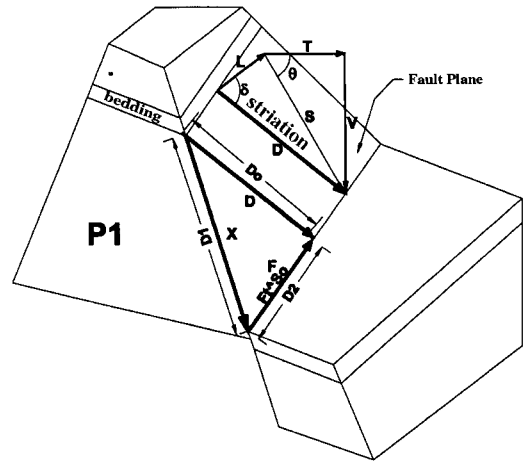


Fig. 1. Nomenclature of the outcrop plane, slip vectors, slip components, and the intersection angles mentioned in this study. On the outcrop surface (P1), bedding offset (D_1) and the trace of the fault plane (X) can be measured. The true fault displacement vector (D) is a sum vector of X and F . The vector F is parallel to the intersection line between the marker (bedding) and fault plane. The true displacement vector D is assumed to be parallel to the striation on the fault plane, and can be decomposed to the strike slip (L), horizontal slip (T) and vertical slip (V) components. Vector S is dip slip component of the true displacement vector D . Angles δ and θ are intersection angles between D and L , and T and S respectively.

지를 알아낼 수 없다. 즉 선분을 표기할 때 원주좌표의 경우는 투영망에서와 같이 원점을 기점으로 하반구를 향하는 벡터로 표현하므로 Fig. 2A에서와 같이 모든 벡터가 아래를 향하는 형태를 갖는다. 그러므로 각 선분간의 각도들이 예각인지 둔각인지를 구별할 수가 없다. 예를 들어 Fig. 2B에 도식된 바와 같이 Fig. 1과 동일한 벡터 D , X , F 의 배열상황(case 1)에서는 벡터와 사이각의 배열이 시계방향으로 각기 X - D - F 와 α - β - γ 가 되며 세 선분의 사이각은 모두 예각이다. 그러나 동일 단층면에 그려진 다른 삼각형(case 2)의 경우는 벡터와 사이각의 시계방향 배열이 각기 X - F - D 와 α - γ - β 가 되며 특히 γ 는 선분 X 와 F 의 사이각중 둔각으로 이뤄져 있다. 즉 Fig. 2C에 요약된 바와 같이 선분들이 시계방향으로 X - D - F 와 X - F - D 로 배열 되었으며 사이각들이 모두 예각인 두 삼각형(좌측상단에 도식된 삼각형)의 경우를 고려할 때, 삼각형에서 어느 사이각이 둔각이 되느냐에 따라서 우측과 아래쪽의 삼각형 형태로 다양하게 변할 수 있다는 것이다. 그러므로 선분들의 일반적인 주향경사 정보들을 이용하여 정확한 삼각형의 도학적 형태를 결정하는 방법이 고려되어야

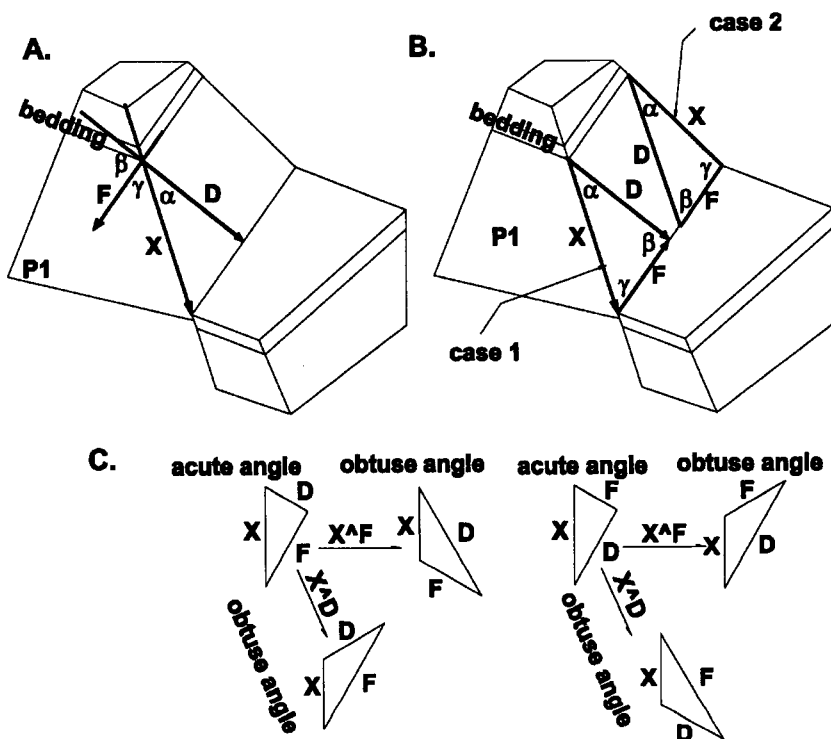


Fig. 2. Angular relationships among vectors X, F and D. A. In geology, strike and dip measurement of a lineation represents direction of a down plunging line. There is no distinction between the down and up plunging nature of the lineation. B. Intersection angles between lines are not clearly defined because of the unique nature of the down plunging measurements. The triangle defined by three vectors, S, D and F, could have three acute angles as case 1 or two acute angles (α and β) and one obtuse angle (γ) as case 2. C. Shape changes of the triangles due to different combination of vectors, and acute and obtuse angles. See details in the text.

한다.

삼각형의 도학적 형태를 결정하기 위해서는 현장조사시 삼각형의 형태를 정의해 주는 방법이 있다. 예를 들어 '삼각형의 선분배열은 시계방향으로 X-F-D이며 γ 각도는 예각이다'와 같이 미리 선분의 배열을 정의하는 것이다. 노두에서 세 방향의 벡터가 쉽게 관찰될 경우에는 현장에서 삼각형의 배열을 쉽게 정의할 수 있으나 대부분의 경우 벡터 F와 D는 보이지 않는다. 그러므로 노두에서 세 벡터의 기하학적 배열을 결정하기 위해서는 투영망등을 이용한 분석을 필요로 한다. 그러나 삼각형의 내각의 합이 180° 라는 성격을 이용하면 주어진 자료(세 벡터의 주향과 경사)만을 이용하여 삼각형의 배열형태를 쉽게 구할 수 있다. 삼각형의 사이각들은 각기 예각과 둔각중 하나이어야 하므로 세 사이각들을 각 꼭지에서 한 쌍씩(예각과 둔각) 설정하여 내각의 배열을 ($\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$)라 정의하자. 편의상 α, β, γ 는 Fig. 2A에서와 같은 배열이며 아래

첨자 1과 2는 각기 예각과 둔각을 의미한다 가정하자. 세 쌍의 내각을 조합하여 삼각형을 구성할 수 있는 방법은 8가지가 있다. 즉 ($\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$) ($\alpha_1, \beta_1, \gamma_2$) ($\alpha_1, \beta_2, \gamma_2$) ($\alpha_1, \beta_2, \gamma_1$) ($\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$) ($\alpha_2, \beta_2, \gamma_1$) ($\alpha_2, \beta_1, \gamma_1$) ($\alpha_2, \beta_1, \gamma_2$)의 배열 방법이 가능하다. 삼각형의 내각의 합은 180° 이어야 하므로 8가지의 배열 중 세 각의 합이 180° 인 배열을 취하면 되고 이 배열에 의하여 삼각형의 형태를 결정하면 된다. 즉 각도가 정해지면 선분 X, F, D의 시계방향 순서도 자동으로 결정된다.

삼각형의 세 사이각이 결정되면 세 변의 길이의 비율은 sine법칙에 의해 간단히 구해진다.

$$\frac{X}{\sin\beta} = \frac{F}{\sin\alpha} = \frac{D}{\sin\gamma} = k$$

그러므로 단층의 실 이동거리(D)와 노두에서 측정된 층리의 변위(X) 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립

Table 1. Comparison between the previous (Hwang, 1998) and the new calculation results for the fault movements. Same data but different calculation routine were used to calculate the strike and dip slip amounts for comparison. Note that the outcrop traces of the previous study are all vertical surfaces. However the outcrop surface of the last data, which is added in this study, is not vertical but inclined towards southwest.

INPUT DATA							OUTPUT DATA			
fault	rake of fault striation	striation	bedding	strike of the vertical outcrop	outcrop surface	apparent dip separation	strike slip		dip slip	
							Hwang, 1998	Current study	Hwang, 1998	Current study
292/77	15S	207/14	080/09	102	190/90	30	81.45	84.3	21.83	22.5
242/57	88N	246/57	140/18	060	150/90	15	0.36	-0.37	10.33	8.3
205/80	01E	115/01	130/22	020	110/90	210	573.27	550	10.00	9.5
005/82	82N	278/21	000/26	010	100/90	12	35.41	35.1	13.59	13.5
120/40		083/34	160/30		230/70	30		18.53		20.69

된다.

$$D = X \times \frac{\sin \gamma}{\sin \beta}$$

단층의 실 이동 벡터는 Fig. 1에서의 같이 주향이동(L), 경사이동(S), 수평이동(T), 수직이동(V)으로 나뉘어진다. 단층 조선은 단층의 이동 감각을 지시하지는 않지만 이동 방향을 지시하는 요소로 알려져 있다. Costa *et al.* (1997)은 단층의 이동방향을 알고 있을 때 단층의 이동벡터를 단위벡터라 가정하고, 이동벡터와 주향이 이루는 각도 δ (면선각)와 단층면의 경사각도 θ 를 이용하여 해당단층의 주향, 수평, 수직이동의 관계를 아래와 같이 정의하였다.

$$L = \cos \delta$$

$$T = \sin \delta \cdot \cos \theta$$

$$V = \sin \delta \cdot \sin \theta$$

그리고 “ $|D|=1=|L|+|T|+|V|$ ”라는 관계식으로부터 L, T, V벡터의 크기 l, t, v의 관계식을 D벡터의 크기로 정의하였으며 이 크기들을 삼각 다이어그램에 접기하여 단층을 이동방향에 의해 분류하는 도학적 방법을 제시하였다. 앞에서 단층의 실 이동거리 D가 이미 구해졌으므로 위의 관계식을 이용하면(각 성분에 이동량 D를 곱해주면) 단층의 주향, 수평, 수직거리를 계산해 낼 수가 있다.

기존 연구결과와의 비교

본 연구에서 제시한 계산법의 정확성을 확인하기 위하여 부록에 제시한 과정으로 벡터계산을 이용한 단층의 이동량 계산과정을 Visual Basic 언어를 이용

하여 코드화 하였다 (PC용 프로그램으로서 필자에게 준비되어 있으므로 제공받을 수 있다). 기존에 제시된 방법과 본 계산과정의 계산결과를 비교하기 위하여 황재하(1998)에서 제시하였던 야외자료들 (황재하, 1998의 Table1)을 벡터계산 프로그램에 의해 다시 계산하여 삼각도해법에 의한 계산결과와 비교하였다. Table 1에 요약된 주향과 경사 이동량의 계산결과와 같이 두 방법에 의한 계산결과는 정확히 일치하지는 않았으나 거의 동일하였다. 계산 결과에서 나타난 오차들은 계산과정에서 소숫점 이하의 자릿수 처리 등에 기인할 것으로 추정되나 두 계산법의 접근방법이 매우 달라서 정확한 수학적 요인을 밝히지를 못하였다.

토의 및 결론

황재하 (1998)는 단층의 총 이동량 계산을 위하여 단층의 배열, 단층조선의 면선각, 기준면 (층리)의 배열, 수직노두의 주향을 입력변수로 선택하였다. 수직 노두에서 관찰되는 변위를 이용하여 수평과 수직 및 총 이동량을 계산하였다. 본 논문에서 제시하는 방법 역시 동일한 입력변수를 사용하고 있다. 그러나 기존의 연구에서는 노두의 배열을 수직면으로 제한한 반면에 본 연구에서 제시된 방법은 경사각을 갖는 일반적인 노두의 배열을 고려하고 있으며 계산의 결과로서 주향이동, 수평이동, 수직이동, 단층의 실 이동거리를 구하고 있다. 이러한 측면에서 본 연구는 노두의 형태를 일반화 하였다는 점을 제외하고는 기존의 연구와 유사한 목적을 지향하였으나 계산법에는 큰 차이를 갖고 있다. 기존의 연구는 삼각도해법을 이용하였으며 본 연구는 벡터의 계산법을 이용하고 있다. 삼각도해법을 이용한 점

근방법에서는 단층조선의 선경사 방향이 기준면의 경사방향에서 90° 이상의 각도를 가질 경우를 “Type 1”로, 그외의 경우를 다시 계산과정에서 발생하는 변수의 형태에 의하여 “Type 2”와 “Type 3”로 구분하여 각기 다른 수식을 유도하여 계산하는 비교적 복잡한 과정에 의해 수행되었다.

벡터 계산에서는 Fig. 2에 정의된 바와 같이 노두에서의 변위방위(X), 단층과 기준면의 교선의 방위(F), 단층조선의 방위(D)로 이뤄진 삼각형의 형태를 면의 사이각을 이용하여 정의함으로써 노두에서의 변위량과 실 단층의 변위량 사이의 관계식을 설정하여 계산을 단순화 하였다. 특히 방향이 없는 주향과 경사로 이뤄진 지질학적 자료를 이용한 교각의 계산에서 구해진 예각과 둔각의 배합중 삼각형을 형성하는 배합을 추출하는 과정을 통하여 계산과정을 면과 선구조의 배열에 의해 여러 가지의 ‘Type’으로 나누는 과정을 간소화 하였다. 또한 실 이동량을 이용한 주향, 수평, 수직운동의 이동량은 Costa *et al.* (1997)이 제시한 선구조의 운동량 분해 방법을 이용하여 단순화하였다.

결론으로 단층의 변위를 계산하는데는 삼각도해법과 벡터계산 모두 효율적인 계산결과를 도출하나 계산과정은 벡터를 이용하는 방법이 비교적 간단하고 단순하였다.

부 록

1. 프로그램 흐름도

Stage 1. 입력자료

단층의 주향경사, 단층면에서 단층조선의 면경사 (rake), 노두면의 주향경사, 기준면 (예, 층리면)의 주향경사, 노두면에서 관찰되는 단층의 변위 (separation)

Stage 2. 단층조선(D)의 주향과 경사 계산

F_{α} =단층의 경사방향

ϕ =단층의 주향방향

$$= F_{\alpha} \pm 90^{\circ}$$

F_{β} =단층의 경사각

δ =면경사 (rake)

F=단층의 수직벡터 (normal vector)

L=단층의 주향방향과 평행한 단위벡터

$$=(L_x, L_y, L_z)=(\cos \phi / |L|, \sin \phi / |L|, 0)$$

단, $|L|=\sqrt{\cos^2 \phi + \sin^2 \phi}$

D=단층조선과 평행한 단위벡터 (주향과 경사로 부터 구함)

$$=(D_x, D_y, D_z)$$

구하고자 하는 단층조선의 단위벡터 D는 다음의 식들로부터 구해진다.

$$L \cdot D = \cos \delta$$

$$L \cdot F = 0$$

$$D \cdot F = 0$$

Stage 3. X(노두면과 단층면의 교선)와 F(단층면과 기준면의 교선)의 주향과 경사를 계산

면A의 수직벡터를 (Ax, Ay, Az)라 하고 면B의 수직 벡터를 (Bx, By, Bz)라 하면 두 면의 교선벡터 (Cx, Cy, Cz)는 다음과 같이 계산된다.

$$C_x = A_y \cdot B_z - A_z \cdot B_y$$

$$C_y = A_z \cdot B_x - A_x \cdot B_z$$

$$C_z = A_x \cdot B_y - A_y \cdot B_x$$

Stage 4. 선분들의 사이각을 계산하여 예각과 둔각으로 저장

* α 는 X와 D의 사이각이며 β 는 D와 F의 사이각이고 γ 는 F와 X의 사이각 이다.

Stage 5. 세 쌍의 예각/둔각 자료를 이용하여 8가지의 삼각형의 배합형태를 결정하고 이들중 배합의 합이 180도인 자료를 선택하여 그들을 각기 α , β , γ 로 정의한다.

Stage 6. Sine법칙을 이용하여 노두에서의 변위를 나타내는 X 선분의 길이와 단층의 실 이동거리인 D 선분의 이동거리에 관한 비례관계를 설정한다.

$$D = X \times \frac{\sin \gamma}{\sin \beta}$$

Stage 7. 단층조선의 주향과 경사값을 이용하여 이동거리 D가 단위거리일때의 주향(L), 수평(T), 수직이동거리(V)를 계산한다.

$$L = \cos \delta$$

$$T = \sin \delta \cdot \cos \beta$$

$$V = \sin \delta \cdot \sin \beta$$

Stage 8. “6”에서 구해진 단층의 실 이동거리 D를 “7”에서 구해진 단층의 분해된 이동거리(D가 단위거리 일 때의 L, T, V 변위)에 곱하여 L, T, V의 실 이동 거리를 구한다.

2. 계산 예제

이해를 돕기위해 야외에서 관찰된 실 노두의 상황

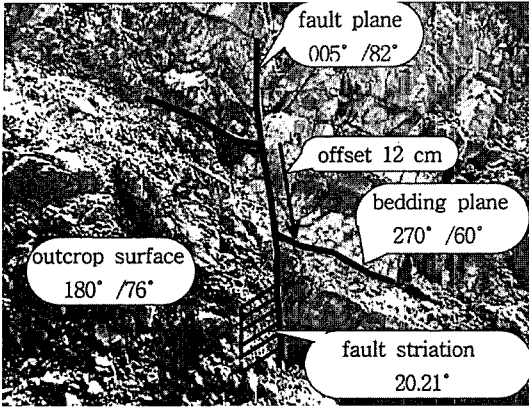


Fig. 3. An outcrop photograph showing apparent displacement of the bedding trace along the normal fault plane. See details in the text.

(Fig. 3A)에서 측정된 면구조, 선구조들과 단층의 이동량을(Fig. 3B) 이용하여 위에서 요약된 계산을 단계별로 수행하여 그 결과를 아래에 요약하였다.

Stage 1. 입력자료

- 노두면의 주향경사 : 180°/76°
- 단층면의 주향경사 : 005°/82°
- 기준면의 주향경사 : 270°/60°
- 단층조선의 면선각 : 20.21°
- 노두면에서 관찰되는 단층의 변위 : 12 cm

Stage 2. 단층조선의 주향과 경사 계산

① 단층의 주향방향과 평행한 단위벡터 L

$$\phi = 95^\circ, |L| = \sqrt{(\cos 95^\circ)^2 + (\sin 95^\circ)^2}$$

$$L = (\cos(\phi)/|L|, \sin(\phi)/|L|, 0)$$

$$= (0.0871, -0.9961, 0)$$

② 단층면의 수직벡터(F)를 계산

$$F = (0.1386, 0.0121, 0.9902)$$

※평면의 경사방향과 경사가 각각 a, b 라고 할 때 그 평면의 수직벡터 (Ux Uy Uz)는 아래의 수식으로 계산된다.

$$U_x = \cos(a) * \cos(b)$$

$$U_y = \sin(a) * \cos(b)$$

$$U_z = \sin(b)$$

③ 단층조선과 평행한 단위벡터(D) 계산

단층조선은 단층면 위에 존재하며 단층면의 주향방향과 면선각의 각도로 기울어져 있으므로 단층조선의

벡터는 아래와 같이 구해진다.

$$L \cdot D = (L_x * D_x + L_y * D_y + L_z * D_z) = \cos(20.21^\circ)$$

$$L \cdot F = (L_x * F_x + L_y * F_y + L_z * F_z) = 0$$

$$D \cdot F = (D_x * F_x + D_y * F_y + D_z * F_z) = 0$$

$$\therefore D = (0.1296, -0.9306, 0.3421)$$

D를 주향과 경사값으로 변환하면 278°/ 20°

Stage 3. 노두면과 단층면의 교선(X)과 단층면과 기준면의 교선(F)을 계산

$$X = 093.19^\circ / 12.61^\circ$$

$$F = 288.35^\circ / 58.68^\circ$$

Stage 4. 선분들의 사이각 계산

예각	둔각	
$X \wedge D(\alpha)$	147.04°	32.95°
$D \wedge F(\beta)$	140.58°	39.41°
$X \wedge F(\gamma)$	107.63°	72.36°

Stage 5. 8가지 배열중 세 각의 합이 180 °인 배열을 결정

(147.04°, 140.58°, 107.63°), (147.04°, 140.58°, 72.36°), (147.04°, 39.41°, 72.36°), (147.04°, 39.41°, 107.63°), (32.95°, 39.41°, 72.36°), (32.95°, 39.41°, 107.63°), (32.95°, 140.58°, 107.63°), (32.95°, 140.58°, 72.36°)

∴ (32.95°, 39.41°, 107.63°) 즉, α=32.95°, β=39.41°, γ=107.63°

Stage 6. 노두에서의 변위를 나타내는 X의 길이와 단층의 실 이동거리 D에 관한 비례관계를 식 $D = X \frac{\sin \gamma}{\sin \beta}$ 를 이용하여 구한다.

노두의 변위를 단위거리 1로 가정할 때 세 벡터의 변위에 관한 비례관계는

X : D : F = 1 : 1.5010 : 0.8567로 계산되며, 노두의 변위가 12 cm 이므로 비례관계에 실 변위량을 대입하면 X : D : F = 12 cm : 18.0127 cm : 10.2811 cm가 계산된다.

Stage 7. 단층조선의 경사방향(δ)과 경사값(β)를 이용하여 주향(L), 수평(T), 수직이동(V) 거리를 계산한다. 이동거리 D가 단위거리 일경우의 비례관계를 계산함.

L(주향이동) : T(수평이동) : V(수직이동) = 0.9384 : 4.8089 : 0.3421

Stage 8. 단층조선의 실 이동거리가 16.6773 cm (Stage 6에서)일 때의 비례관계를 계산한다.

L(주향이동):T(수평이동):V(수직이동)=16.9032
cm : 0.8662 cm : 6.1635 cm

의 지원을 받아 수행한 연구의 일부이다. 건설적인 지적과 수정으로 논문을 발전시켜주신 박형동, 백환조 심사위원에게 감사 드립니다.

개 요

노두에서 관찰되는 기준면의 변위를 이용하여 단층의 실 이동량 계산을 수행하였다. 층리와 같이 단층변위가 관찰되는 기준면, 노두면, 단층면, 단층조선의 배열 (주향과 경사값), 노두면에서 측정된 기준면의 변위가 계산에 필요한 입력 자료이며 단층의 실 이동량, 주향, 수평, 수직 이동량등이 계산의 결과이다.

동일한 계산이 황재하 (1998)에 의하여 삼각도해법으로 수행된 바 있다. 기존의 계산법은 수직의 노두면에서 측정된 기준면의 변위를 입력 자료로 하여 단층의 실 이동량을 계산하였다. 본 연구에서 제시된 계산법은 노두의 배열이 반드시 수직일 필요가 없는 일반적인 지질상황에서의 자료를 입력자료로 활용할 수 있으며 기존의 계산법에 비해 매우 단순한 계산 방법을 사용하였으나 계산의 결과는 동일하였다.

참고문헌

황재하 (1998) 단층변위를 이용한 단층의 총 이동량 계산법, *자원환경지질학회지* 31권, p. 547-555
 Cartwright, J. H. and Mansfield, C. S. (1998) Lateral displacement variation and lateral tip geometry of normal faults in the Canyonlands National Park, Utah, *J. Struc. Geol.*, V20, p. 3-19
 Costa, C. H., Cesco, J. C. and Moran, R. J. (1997) A simple graphical method for estimating the components of the fault-slip vector, *J. Struc. Geol.*, V19, p. 1245-1247
 Cowie, P. A. and Shipton, Z. K. (1998) Fault tip displacement gradients and process zone dimensions, *J. Struc. Geol.* V20, 983-997
 Priest, S. D. (1993) *Discontinuity analysis for rock engineering*, Chapman & Hall, 473p.

1999년 3월 22일 원고접수, 1999년 6월 7일 게재승인.

사 사

본 연구는 1997년 학술진흥재단의 학계간 공동연구