

불연속면 방향의 효율적인 측정 방안

김해경^{*1)} · 고영구²⁾

¹⁾전남대학교 지구환경과학부, ²⁾전남대학교 과학교육학부

Effective Measuring Method of Discontinuity Orientation

Hai-Gyoung Kim^{*1)} · Yeong-Koo Koh²⁾

¹⁾Chonnam National University, Faculty of Earth Systems & Environmental Sciences.

²⁾Chonnam National University, Dept. of Science Education

요 약

본 연구는 암반에서 불연속면 방향의 효율적인 측정 방안에 관한 것이다. 불연속면의 방향성은 주향/경사, 경사방향/경사(세 자리 숫자/두 자리 숫자) 그리고 경사방향을 우측에 두고 바라보는 방향을 주향방향으로 결정하는 방법의 세 가지 방법으로 표현한다. 일반적으로 불연속면의 주향/경사는 클리노미터에 의해 측정이 되며, 경사방향/경사는 실바콤파스(type15)에 의해 측정된다. 주향/경사는 지질조사 시에 측정이 되는데, 경사방향/경사는 공학적 목적으로 측정이 되며, 통계처리에 유용하다. 클리노미터에 의해 불연속면의 경사방향 측정과 주향/경사를 경사방향/경사로의 전환 시, 측정자에 따라 오류를 유발할 가능성이 있다.

본 연구에서는 불연속면 방향성을 두 가지 방법 (주향/경사, 경사방향/경사)으로 효과적으로 측정하기 위하여 클리노미터에 회전방위판과 주향 및 경사방향 표시 화살표를 부착하여 측정하는 방법을 고안하였다. 이 새로운 측정법은 주향뿐만 아니라 경사방향을 정확하게 측정할 수 있는 효과적인 측정법이다. 또한 이 측정법은 주향/경사 및 경사방향/경사의 동시 측정이 가능하다. 암반사면에서 불연속면의 방향 측정 시, 현행 측정법과 새로운 측정법을 비교한 결과, 새로운 측정법이 오류를 분명히 감소시킬 수 있었다. 따라서 새로운 측정법은 도로 설계 시 광역적인 지표지질조사에서 많은 불연속면의 방향성을 측정할 경우와 측정 경험이 부족한 조사자에게 유용한 방법이라고 생각된다.

주요어: 불연속면, 주향/경사, 경사방향/경사, 클리노미터, 실바 콤파스(type15)

ABSTRACT: This study is aimed at the effective measurement plan of discontinuity orientation on rock mass. The discontinuity orientation is expressed as three methods, strike/dip, dipdirection/dip (a three digit number / a two digit number) and right hand rule. Generally, strike/dip is measured with clinometer, and dipdirection/dip with silva compass(type15). A sign of strike/dip, discontinuity orientation is used to geological survey, and dipdirection/dip to engineering. Dipdirection/dip converted by strike/dip measured with clinometer is useful on the statistical analysis of a lot of data.

* Corresponding author: khgoh@chollian.net

To measure the azimuth of the dip with clinometer and to change strike/dip to dipdirection/dip may have potential errors in each person. The newly designed apparatus, clinometer equipped by a rotational azimuth plate and an arrow to measuring strike and dipdirection, has been developed to measure effectively the discontinuity orientation with two method (strike/dip and dipdirection/dip). The measuring method of discontinuity orientation with clinometer having newly designed apparatus is effective one for accurate measurement of strike as well as dipdirection which is degrees counted clockwise from true north. Used by clinometer with newly designed apparatus, concurrent measuring strike/dip and dipdirection/dip of discontinuity is possible. In application to measuring discontinuity orientation on rock slope, it has been recognized that the newly designed method, unambiguously, led to drop measuring errors comparing with existing measuring apparatuses. Therefore, it is considered that measuring method of discontinuity orientation (strike/dip and dipdirection/dip) by the newly designed apparatus is useful to one in geological engineering investigation of road design, and to unskilled investigator.

Key words: discontinuity, strike/dip, dipdirection/dip, clinometer, silva compass(type15)

서 론

암반은 다양한 형태의 불연속면과 불연속면에 의해 분리된 암석 블록인 무결합 암석의 조합으로 이루어져 있으며, 불연속면은 암석이 구조적으로 불연속적인 낮은 인장강도를 갖는 균열면 또는 연약면으로서 단층을 비롯하여 절리, 층리, 엽리 및 편리 등이 있다 (Priest, 1993). 암반의 역학적 성질은 이러한 불연속면들에 의해 지배를 받게 되며, 불연속면의 특성이 무결합 암석 재료의 특성보다는 훨씬 더 중요하다. 암반의 공학적 거동에 영향을 주는 불연속면의 성질 중 중요한 요소들은 불연속면의 방향성, 간격, 상태 (거칠기, 연속성, 틈, 풍화상태, 충전물), 벽면의 강도 그리고 지하수 조건 등에 의해 이루어진다. 상기의 요소 중, 지표 근처의 암반을 굴착하는 경우 암석의 강도, 불연속면의 간격과 방향성 그리고 지하수 조건과 같은 구조적 지질 특성에 의해 좌우되는 것으로 여겨진다. 불연속면의 특성에 대한 정량적인 기술에 대해서는 ISRM (1981)에서 자세히 기술하고 있다

불연속면의 방향성이란 불연속면이 놓여 있는 공간상의 상태를 표현한 것으로 이를 주향과 경사 또는 경사방향과 경사 그리고 오른쪽에 경사 방향을 두고 바라보는 방향을 주향방향으로 결정

하는 방법 (Right hand rule)이 있으며, 공학적으로는 경사방향과 경사로 표현하도록 하고 있다 (ISRM, 1981).

암반내 발달하는 불연속면의 방향성은 암반의 RMR (Bieniawski, 1989) 분류에서의 보정, 사면의 암반 분류법인 SMR (Romana, 1985) 분류법의 변수 그리고 암반사면의 예비적 평가법인 평사투영 해석법에 있어서 중요한 역할을 하며, 암반분류 및 사면안정 해석에 유용하게 사용이 되고 있다.

불연속면의 주향/경사 측정은 클리노미터 (clinometer), 브란톤 콤파스(Brunton compass) 또는 클리노콤파스(clino-compass)에 의해 이루어지며, 일반적으로 측정하는 방법이다. 또한 불연속면 방향의 공학적 표기법인 경사방향/경사는 실바 콤파스(type 15)에 의해 이루어지며, 그 사용법은 Priest (1993)에 의해 설명되고 있다. 지표지질조사 시, 불연속면 방향성의 집중도 및 통계적인 자료 처리를 위해서는 노두에 따라 다르겠지만, 한 암반 노두에서 수십 내지 수백 개의 불연속면의 자료의 측정이 요구된다. 따라서 이러한 불연속면의 측정은 많은 시간이 소요되며, 측정자에 따라서 측정 오류의 가능성을 가지고 있다. 즉, 클리노미터에 의한 불연속면의 주향/경사 측정 시 주향의 측정은 쉽게 이루어지지만 경사방향의 측정은

실제 방위를 고려하여 결정해야하기 때문이다. 또한 불연속면의 방향성을 주향 및 경사로 측정하고 통계처리에 유용한 경사방향 및 경사로 표기하기 위해서는 주향 및 경사의 값을 다시 변환해야 한다.

따라서, 본 연구에서는 최근에 설계·시공 일괄 경쟁 형태의 설계에서 지표지질 조사결과, Bips 조사결과 그리고 평사투영해석 시 사용한 불연속면의 측정 및 표기 사례에 대하여 조사하고, 일반적으로 사용하고 있는 클리노미터 또는 클리노콤파스를 이용해 불연속면의 방향성을 측정할 때, 주향/경사 및 경사방향/경사를 동시에 측정할 수 있을 뿐만 아니라 측정 오류의 최소화, 측정 시간의 단축 방안을 강구하고, 그 효율성을 평가하는데 목적을 두었다. 이러한 연구 목적을 위하여 클리노미터에 부착하여 사용할 수 있는 측정 장치를 고안하고, 이를 C 대학교 대학원 지반공학 전공 학생 8명을 대상으로 불연속면의 방향 측정을 수행하고 그 효율성에 대해 평가하였다.

불연속면의 방향성 측정

주향은 불연속면과 수평면과의 만나는 교선의 방향을 말하며, 진북을 기준으로 측정한다. 경사는 주향과 직각인 방향의 직선과 수평면과의 사이 각을 의미하며, 경사 방향을 함께 측정한다. 경사 방향은 주향의 직각 방향으로 클리노미터에서 직접 판독할 수 없기 때문에 측정자가 실제 방위를 고려하여 결정하여야 한다.

Fig. 1과 같이 주향 측정 시 클리노미터 안쪽에 표시된 동, 서가 역전된 방위 표시는 단지 주향 측정을 쉽게 하기 위함이다.

클리노미터에서 불연속면의 경사 방향을 측정할 때는 주향과 마찬가지로 직접 측정할 수 없기 때문에 불연속면의 기울어진 방향과 실제 방위를 고려하여 측정자 스스로 결정하여야 하거나, 또는 방위판의 북을 나침반의 북자침과 일치시켜서 불연속면과 접한 면의 방향으로 결정해야 하는 일련의 과정이 필요하다.

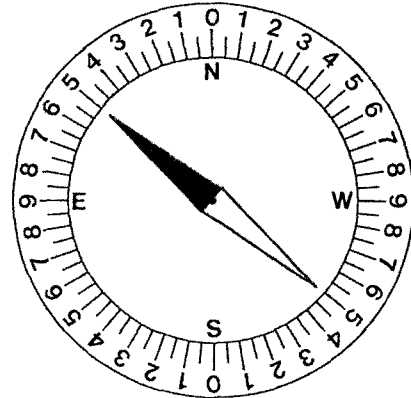


Fig. 1. Strike (N50E) in the clinometer

Fig. 2와 같이 불연속면의 경사가 우측으로 경사진 경우, 경사 방향은 주향과 직각 방향인 SE 방향이 된다

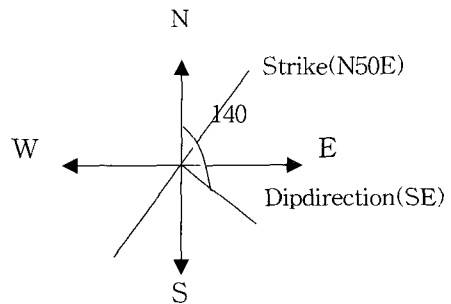


Fig. 2. Strike(N50E) and Dipdirection (SE, 140)

경사각과 경사 방향을 측정한 후, 경사각이 30도인 경우, 경사의 표시는 30 SE와 같이 경사 방향 앞에 경사각도를 기록한다. 주향 및 경사 측정은 전술한바와 같이 클리노미터에 의해 측정될 수 있으며, 경사방향/ 경사의 표기를 위해서는 Fig. 2와 같은 경우에 경사방향은 50도+90도에 의해 140도로 변환하여야 한다. 불연속면의 방향성을 경사방향/경사로 표기하기 위해서는 클리노미

터에 의한 측정보다 실바콤파스에 의한 측정 (Priest, 1993)이 간편하고 유리하다. 그러나 실제 국내에서는 불연속면의 방향성 측정은 대부분 클리노미터에 의해서 이루어지기 때문에 클리노미터에 의한 주향/경사 측정 후, 이를 경사방향/경사로 전환하고 있는 실정이다. 즉, 전술한 주향(N50E)과 경사(30SE)는 Fig. 2와 같이 140/30으로 바뀌어질 수 있다. 불연속면 방향의 공학적 표기법인 경사방향/경사(세자리 숫자/ 두자리 숫자)는 실바콤파스(type15)에 의해 측정될 수 있다. 실바콤파스의 방위판은 상기의 클리노미터와는 다르게 방위표시가 실제 방위와 일치하며, 방위각은 북을 기준으로 시계방향으로 0도에서 360도까지 기록되어 있으며, 회전이 가능하다. 이와 같은 방법은 불연속면 경사방향을 측정하기에는 편리하나, 주향/경사 측정은 클리노미터의 방법이 보다 유리하다. 일반적으로 type 2, type5, type77 그리고 type342의 실바콤파스는 경사각의 측정 기능이 없어 경사각도의 측정이 불가능하기 때문에 불연속면의 방향성 측정에는 적합하지가 않다. 그러나 type 15는 경사측정 장치가 부착되어 있어 경사각 측정이 가능하기 때문에 불연속면의 방향성 측정에 이용된다. Type15에 의한 경사방향/경사 측정은 실바콤파스의 단변측의 개폐 가능한 덮개판을 열어 위쪽 면을 불연속면에 밀착시킨 후, 방위판의 북을 북자침과 일치시키고 상·하 표시 선이 가리키는 방향을 0~360도로 읽는다. 이때 암반 블록이 앞쪽으로 경사진 경우(overhanging block)의 불연속면에 대해서는 하의 표시선, 그리고 반대인 경우(non-overhanging)는 상의 표시선 방향을 읽는다. 경사각도 측정은 실바콤파스의 상단의 단변을 불연속면에 밀착시킨 후, 방위판의 360도가 상·하의 표시선 중, 암반 블록이 앞쪽으로 경사진 경우에는 하의 표시선과, 그 반대인 경우는 상의 표시선과 일치시킨 후, 경사측정 바늘이 가리키는 각도를 측정한다 (Priest, 1993). 따라서 실바콤파스(type15)는 불연속면에 장변 방향을 불연속면에 밀착시켜 주향/경사를 측정하는 클리노미터의 사용법과는 차이가 있으며, 방위판의 360도를 경사방향 측정 시에는 북자침과 그리고 경사각도 측정 시에는 경우에 따라 상 또는 하의 표시선과 일치시켜야 하는 조정 과정이 필요하다. 지

표지질조사 시, 불연속면 방향성의 집중도 및 통계적인 자료 처리를 위해서는 노두에 따라 다르겠지만, 한 암반 노두에서 수십 내지 수백 개의 불연속면의 자료의 측정이 요구된다. 따라서 이러한 불연속면의 측정은 많은 시간이 소요되며, 측정자에 따라서 측정의 오류를 범할 수 있다. 불연속면의 방향성 측정 시 주향/경사의 측정은 클리노미터에 의한 방법이 유리하며, 경사방향/경사측정은 실바콤파스 (type 15)에 의한 방법이 유리하다. 현행 국내에서 대부분이 지표지질조사 시, 일반적으로 사용하는 클리노미터에 의해 측정된 주향/경사는 통계처리에 유용한 공학적 표기인 경사방향 및 경사로 변환하여 사용하고 있다.

다음은 최근 2000년, 2002년 그리고 2003년에 설계·시공 일괄 경쟁 형태의 설계를 수행한 7개 회사의 토질조사보고서를 토대로 불연속면 방향의 표기를 검토한 결과이다(Table 1).

지표지질조사 시, 불연속면 방향의 측정은 모두 클리노미터에 의해 이루어졌으며, 조사결과에 따른 불연속면 방향성 표기는 7개 회사 모두 주향/경사로 표기하고 있다. Bips 조사 결과에 따른 불연속면 방향성 표기는 7개 회사 모두 경사방향/경사로 표기하였고, 이 중 1개 회사만이 주향/경사와 경사방향/경사 표기를 병용하고 하였다. 또한 2개 회사는 경사방향/경사를 경사/경사방향으로 표기하였다.

평사투영해석 시, 불연속면 방향성의 표기는 7개 회사 중, 6개 회사가 경사방향/경사로 표기하고, 1개 회사는 주향/경사로 표기하였다. 또한 이 중 1개 회사는 경사방향/경사를 경사/경사방향으로 표기하였다.

상기와 같이 일반적으로 지표지질조사 결과의 불연속면 방향성은 클리노미터에 의한 측정이 이루어지므로 주향/경사로 표기하고, Bips 결과와 평사투영해석은 경사방향/경사로 표기하고 있는 것으로 나타났다. 평사투영해석 시 7개 회사 모두 상용프로그램인 Dips를 사용하였는데, 프로그램에서 불연속면의 방향성 자료의 입력 시 주향/경사보다 경사방향/경사로 입력할 때, 더욱 편리하기 때문인 것으로 생각된다.

전체적으로 한 회사에서 지표지질조사 또는 평사투영해석 시 불연속면 방향의 표기 방법이 다

불연속면 방향의 효율적인 측정 방안

Table 1. Examples of sign (discontinuity orientation) used in each company.

	12 / 2000 (Dundeok ~ Jusam)			10 / 2002 (Geokumdo)		4 / 2003 (Kunyeo ~ Namchang)	
	A	B	C	A	B	A	B
Geological survey	Strike/Dip	Strike/Dip	Strike/Dip	Strike/Dip	Strike/Dip	Strike/Dip	Strike/Dip
Result of Bips	Dipdi./Dip	Dipdi./Dip	Dipdi./Dip Strike/Dip	Dip/Dipdi.	Dipdi./Dip	Dip/Dipdi.	Dipdi./Dip
Analysis of stereographic projection	Dipdi./Dip Strike/Dip	Strike/Dip	Dipdi./Dip	Dipdi./Dip	Dip/Dipdi.	Dipdi./Dip	Dipdi./Dip

(Dipdi. : Dipdirection)

른 것은 지표지질조사자, Bips 조사자 그리고 평사투영해석자가 각기 다르거나, 또는 지표지질조사 결과의 주향/경사로 표기된 불연속면의 방향을 경사방향/경사로 변환하여 사용했음을 알 수 있다. 따라서 불연속면 방향성 측정 시, 주향/경사와 경사방향/경사의 측정이 동시에 이루어질 필요성이 있으며, 불연속면의 방향성에 대한 표기를 일치시킬 필요가 있다.

측정법의 새로운 방안

전술한 바와 같이 클리노미터에 의한 불연속면의 방향성을 주향/경사로 측정 한 후, 통계해석을 위해서는 경사방향/경사로의 변환과 같은 일련의 과정이 필요하다. 본 연구에서는 위의 두 가지 표기 방법으로 동시에 측정할 수 있도록 자침의 자기적 특성에 영향을 미치지 않고, 클리노미터에 부착하여 사용할 수 있는 아크릴 재질의 장치인 회전방위판과 주향 및 경사측정 화살표를 고안하였다. 이들은 링 형태로 절단하고 그 위에 각각 방위, 방위각 및 화살표 표시를 부착하였다. 회전 방위판은 하부에, 그리고 주향 및 경사 측정 화살표 표시는 상부에 위치하게 하여 하부의 방위판은

회전이 가능하도록 하였다. 이들이 부착된 단면도는 Fig. 3과 같으며, 이들의 설명은 다음과 같다.

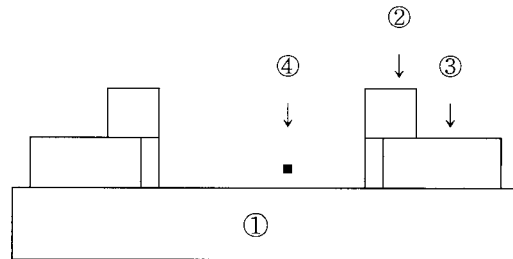


Fig. 3. Cross section of clinometer (① : clinometer, ② : arrow to measuring strike and dipdirection, ③ : rotational azimuth plate. ④ : magnetic needle)

회전 방위판

기존의 클리노미터에서는 Fig. 1과 같이 방위표시인 N, S, E, W가 표시되고 E 와 W 는 바뀌어져 있다. 또한 방위각은 N과 S를 기준으로 E와 W방향으로 0에서 90도가 표시되어 있어 주향 측정에 유리하다. 실바콤파스에서의 방위 표시는 N, S, E, W가 실제 방위와 일치하고 북을 기준으로

시계방향으로 0~360도 까지 표시되어 있어서 경사방향의 측정에 유리하다. 그러나 개선된 회전방위판은 N, S, E, W가 실제 방위와 일치하게 표시하고 있으며 방위각은 N을 기준으로 E와 W방향으로 각각 0에서 90도 까지 표시되어 있어, 주향 측정 시 이용될 수 있다. 이외에도 N에서 동측인 시계방향으로 0~360까지 표시되어 있는데 이는 경사 방향을 측정할 때 이용되며, 이 장치는 회전이 가능하도록 하였다 (Fig. 4).

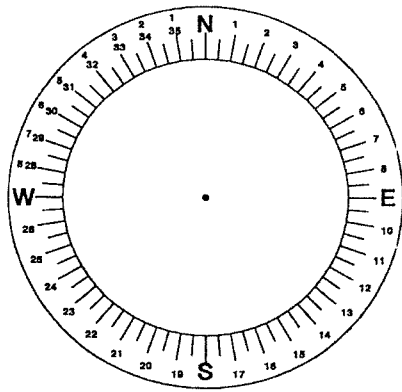


Fig. 4. Rotational azimuth plate.

주향 및 경사 측정 화살표

클리노미터에서의 주향 측정은 자침이 가리키는 방향을 북을 기준으로 측정하며, 실바콤파스에서는 경사방향 측정이 주 목적이므로 주향을 측정하는 화살표가 없으며, 경사방향 측정은 실바콤파스의 단변의 덮개 판을 불연속면에 밀착시키고 상·하의 표시 선에 의해 측정이 된다. 고안된 주향 및 경사 방향 측정 화살표시는 Fig. 5와 같이 고정된 상·하 및 좌·우의 화살표로 구성되어 있다. 클리노미터의 장변을 불연속면에 밀착하고 상·하의 화살표는 주향을 측정할 때 그리고 좌·우의 화살표는 경사방향을 측정할 때 사용된다. 상기에서 설명한 회전방위판과 주향 및 경사 방향 측정 화살표가 부착된 클리노미터는 Fig. 6의 (B)와 같다.

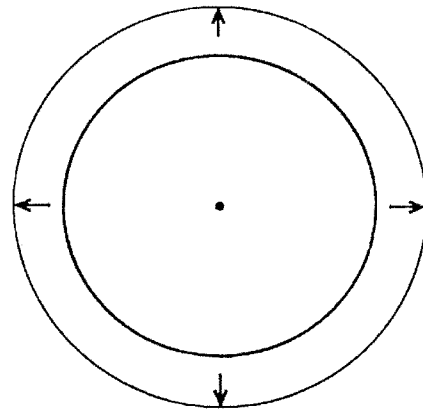
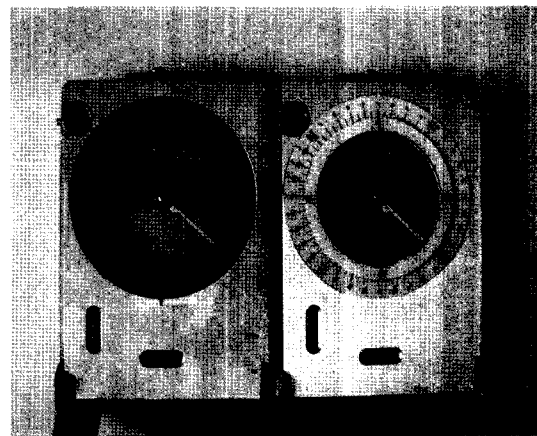


Fig. 5. Measuring arrow of strike and dipdirection



(A) (B)

Fig. 6. Present-day clinometer(A) and newly designed clinometer with devised apparatus(B).

측정방법

- 먼저 측정하고자 하는 불연속면에 클리노미터의 장변을 밀착시키고 수준기를 이용해 수평을 유지한다. 즉, 기존의 클리노미터 사용법과 동일하다.
- 회전방위판을 회전시켜 방위판의 N과 북자침이 일치하도록 한다. 이때 상·하의 화살표 방향은 불연속면과 수평면이 만나는 선의 방향과 일치

하기 때문에 주향의 측정은 N과 이 화살표 사이의 각도가 주향이다. 상·하의 화살표 중 N과 가까운 화살표가 가리키는 각도를 읽으면 되고 이 화살표는 N을 기준으로 E 또는 W사이에 있게 된다. 주향의 표기는 화살표가 가리키는 방위와 각도 (0~90)를 읽어서 기록하면 된다. 만약 화살표가 N-S와 일치하면 주향은 NS이고, E-W와 일치하면 EW이다. Fig. 7과 같이 위쪽(상)의 화살표가 N과 E사이에 있고 50도를 가리키므로 N50E가 주향이다. 또한 위쪽(상)의 화살표가 N과 W 사이에 있고 50도를 가리키면 N50W가 주향이다. 주향측정 시, 회전 방위판의 방위를 이용하므로, 기존의 동·서 방향이 바뀐 방위표시는 사용하지 않는다.

- 경사 방향은 주향과 직각 방향이므로 화살표 중 좌·우의 화살표를 이용하여 측정한다. 만약 불연속면이 측정자의 우측으로 경사져 있으면 우측 화살표가 가리키는 방향이 경사방향이 되고, 좌측으로 경사져 있으면 좌측 화살표가 가리키는 방향을 읽으면 경사방향이 된다. Fig. 7과 같이 불연속면의 경사방향 측정 시, 불연속면이 우측으로 경사져 있을 경우, 우측 화살표가 가리키는 방향 즉, SE 방향이 경사방향이다. 다음은 경사방향을 N을 기준으로 시계 방향으로 0~360도의 방위각으로 측정할 때는

방위판의 0~360의 방위각을 읽으면 된다. 즉, 우측 화살표가 가리키는 각도인 140이 경사 방향이 된다.

- 경사각은 불연속면과 수평면이 만나는 선에 직각인 직선과 수평면과의 각이 경사각이다. 경사 각도를 측정하기 위해서는 주향의 직각 방향으로 클리노미터를 위치하고 경사각 측정 바늘이 가리키는 안쪽 눈금을 읽으면 되는데, 기존의 방법과 동일하다.
- 결국, 경사각이 30이라면 주향/경사로 측정할 때는 N50E/30SE가 되고, 경사방향/경사로 측정할 때는 140/30이 된다 (Fig. 7).

새로운 측정법의 효율성 평가

일반적으로 설계를 위한 지표지질조사는 지질공학 전문가에 의해서 이루어지나, 터널 및 암반 절취사면 시공 시, face mapping은 주로 지반공학 실무자에 의해서 이루어진다. 이번 연구에서는 지질공학 전문가 보다, 불연속면 방향성 측정의 기회가 상대적으로 적으며, 클리노미터의 사용 경험이 있는 지반공학 전공의 대학원 학생을 대상으로 제한성을 두고, 클리노미터에 의한 현행 주향/경사 측정법과 개선된 방법을 이용하여 불연속면의 방향성을 측정한 후, 그 효율성을 상호 비교하였다. 효율성 평가 시, 현행 방법과 개선된 방법의 사용할 때의 편리한 점과 측정 소요시간 그리고 측정 오류의 가능성에 대해 평가하였다.

현행 측정법과 개선된 측정법에 의한 상호 효율성을 평가하기 위하여 실제 암반사면에서 불연속면 방향성 측정을 실시하였다. 대상 사면은 전라남도 화순군 북면 서유리에 위치하며, 사암, 셰일, 역암으로 구성된 퇴적암으로 이루어진 암반사면으로 사면경사 1: 0.5, 사면길이는 약 30m, 사면 높이는 약 20m이다 (Fig. 8).

상기 암반사면 (Fig. 8)에서 각기 방향성이 다른 10개의 불연속면 (Table 2)을 연구자가 먼저 측정하였다. 측정된 불연속면의 방향성은 net상에 pole로 나타내었다 (Fig. 9). 10개의 불연속면 중, J1과 J10은 층리이며 J2~J9는 절리이다. 상기의

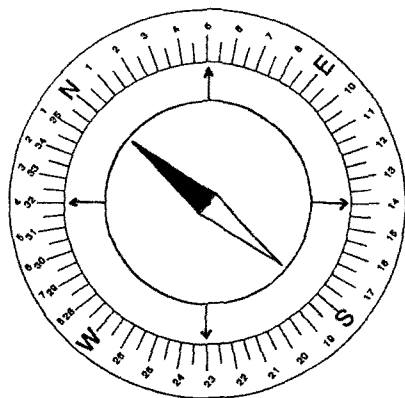


Fig. 7. Strike and dipdirection in clinometer with newly devised apparatus.



Fig. 8. Measuring of discontinuity orientation on rock slope

Table 2. Discontinuity orientation measured on rock slope.

	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10
Strike	N30W	N86E	N65W	N80E	N70E	N20E	N88E	N10E	N76E	N40W
Dip	18NE	56SE	55SW	58SE	70SE	38NW	27NW	30NW	18SE	10NE
Dipdirection/ Dip	060/18	176/56	205/55	170/58	160/70	290/38	358/27	280/30	166/18	050/10

동일한 불연속면의 위치에서 8명의 학생들에게 현행 측정법과 개선된 측정법으로 측정이 수행되었으며, 그 결과는 각각 Table 3, 4와 같으며, 측정된 방향성은 pole로 나타내었다 (Fig. 10).

Table 3에서 보는 바와 같이 현행 측정법에 의한 주향/경사 측정시 주향의 측정은 오류 발생이 거의 없이 측정이 이루어지고 있으나, 경사측정시, 경사방향의 측정오류는 8명 중, 3명이 각각 1회 내지 3회 나타났다. 이러한 이유는 경사방향을

결정할 때, 실제 방위와 불연속면의 경사방향을 측정자 스스로 고려하여 결정해야 하기 때문에 오류가 발생한 것으로 보인다. 다음은 주향/경사를 측정하고 이를 경사방향/경사로 변환하는 경우 측정자 5명이 1회 내지 4회 오류를 보이고 있는데 대부분이 경사방향이 NW인 270~360의 범위에서 변환의 오류를 보이고 있다. 결국 현행 측정 방법으로 측정할 때, 개인의 차이에 따라 다르나, 주향/경사 측정 시 경사방향의 결정 그리고 경사

불연속면 방향의 효율적인 측정 방안

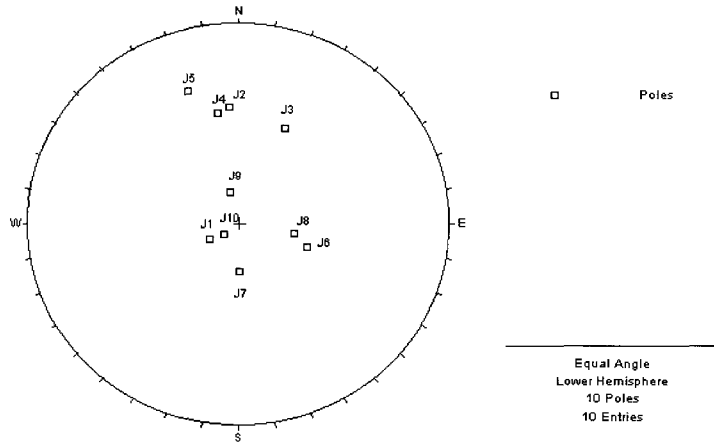


Fig. 9. Pole plot of discontinuity orientation

방향/경사의 전환 시, 오류발생의 개연성이 높음을 알 수 있다.

다음은 상기의 동일 불연속면에 대하여 개선된 측정법을 숙지하고, 개선된 방법으로 불연속면의 주향/경사 및 경사방향/경사를 동시에 측정하게 한 결과는 다음과 같다.

Table 4 에서 보는 바와 같이 기존의 방법으로 측정할 경우, 주향/경사 측정 및 경사방향/경사의 오류를 일으킨 측정자들 모두, 측정의 오류를 일으키지 않고 있다. Fig.10 에서 보는 바와 같이 현행 측정법에 의해 측정된 불연속면의 방향성을 stereonet상의 pole 분포 (Fig. 10, (A))를 보면 각 불연속면의 pole이 집중되지 않고, 일부 산포되어 나타나며, 개선된 측정법에 의해 측정된 불연속면의 pole분포 (Fig. 10, (B))는 각각 집중되어 나타나고 있다. 즉, 개선된 측정법에 의한 불연속면 방향 측정이 보다 정확히 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 개선된 측정법으로 불연속면의 방향 측정은, 주향/경사를 측정하고 경사방향/경사로 전환하는 현행 측정법 보다 짧은 시간 내에 이루어 졌다. 현행 측정법으로 한 개의 불연속면에 대한 주향/경사 측정과 경사방향/경사의 전환 시, 걸리는 시간은 개인에 따라 다르나 약 1분 내지 2분이 소요되었으며, 새로이 고안된 측정법으로 주향/경사 및 경사방향/경사의 동시 측정 시, 오류

를 일으키지 않고 하나의 불연속면에 대하여 약 30초 이내에 측정이 이루어져, 측정 시간이 단축되었다.

따라서 본 연구에서 새로이 고안된 측정법은 조사지역이 광범위하고 많은 수의 불연속면을 측정해야하는 공학적 목적의 지표지질조사 시, 현행 방법보다 측정 시간을 단축할 수 있으며, 측정 시 오류가 현저히 감소되고, 주향/경사 및 경사방향/경사의 두 가지 방법의 측정이 동시에 이루어지는 효율적인 방법으로 생각된다. 특히, 지질공학을 전공하지 않았거나, 주향, 경사의 측정에 경험이 부족한 조사자가 사용할 경우에도, 측정자에 따라 측정 오류의 가능성은 거의 없어 유용한 측정법이라 생각된다.

Table 3 . Discontinuity orientation by present-day measuring method

Measuring person		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10
A	Strike	N34W	N86E	N63W	N82E	N72E	N18E	N86E	N9E	N78E	N40W
	Dip	18NE	60SE	58SW	60SE	78SE	40NW	26NW	29NW	18SE	11NE
	Dipdirection/ Dip	056/18	176/60	207/58	172/60	162/78	288/40	356/26	279/29	168/18	050/11
B	Strike	N28W	N84E	N60W	N80E	N70E	N20E	N88E	N15E	N74E	N36W
	Dip	16NE	58SE	54NE*	60SE	76SE	40NW	26SE*	29NW	16NW*	12NE
	Dipdirection/ Dip	062/16	174/58	030/54	170/60	160/76	320/40 ⁺	232/28	330/29	286/16	126/12 ⁺
C	Strike	N28W	N86E	N65W	N82E	N66E	N18E	N86E	N8E	N73E	N33W
	Dip	18NE	61SE	68SW	62SE	73SE	39NW	28NW	28NW	19SW*	13NE
	Dipdirection/ Dip	069/18	176/60	295/68 ⁺	172/62	156/73	288/39	356/28	278/28	163/19	057/13
D	Strike	N30W	N86E	N60W	N80E	N70E	N20E	N72E	N7E	N78E	N40W
	Dip	18NE	63SE	58SW	60SE	78SE	38NW	27NW	28NW	18SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	60/18	176/63	210/58	170/60	160/78	308/38 ⁺	342/27	277/28	168/18	050/12
E	Strike	N29W	N88E	N66W	N88E	N70E	N22E	N89E	N10E	N76E	N40W
	Dip	16NE	58SE	56SW	61SE	78SE	40NW	28NW	28NW	17SE	8NE
	Dipdirection/ Dip	061/16	178/58	204/56	174/61	160/78	292/40	359/28	280/28	166/17	050/8
F	Strike	N30W	N84E	N60W	N82E	N70E	N20E	N88E	N10E	N76E	N40W
	Dip	14NE	62SE	58SW	60SE	78SE	40NW	28NW	30SW*	18SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	060/14	174/62	238/58 ⁺	172/60	160/78	320/20 ⁺	332/28 ⁺	330/20	166/18	050/12
G	Strike	N28W	N84E	N58W	N86E	N71E	N25E	N86E	N6E	N73E	N35W
	Dip	17NE	61SE	57SW	61SE	76SE	42NW	28NW	29NW	19SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	062/17	174/61	327/57 ⁺	176/61	161/76	318/42 ⁺	332/28 ⁺	331/29 ⁺	163/19	065/12
H	Strike	N30W	N86E	N60W	N80E	N70E	N20E	N72E	N10E	N72E	N40W
	Dip	20NE	60SE	58SW	60SE	77SE	39NW	28NW	30NW	20SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	060/20	176/60	210/58	170/60	160/77	290/39	342/28	280/30	162/20	050/12

(* : measuring error, + : converting error)

불연속면 방향의 효율적인 측정 방안

Table 4. Discontinuity orientation by newly designed measuring method

Measuring person		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10
A	Strike	N31W	N87E	N60W	N82E	N73E	N19E	N80E	N10E	N72E	N42W
	Dip	20NE	60SE	55SW	60SE	75SE	39NW	30NW	30NW	23SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	059/20	177/60	210/55	172/60	163/75	289/39	350/30	280/30	162/23	048/12
B	Strike	N30W	N86E	N60W	N80E	N70E	N21E	N81E	N7E	N79E	N41W
	Dip	20NE	61SE	57SW	59SE	76SE	37NW	27NW	25NW	18SE	13NE
	Dipdirection/ Dip	060/20	176/61	210/57	170/59	160/76	291/37	351/27	277/25	169/18	049/13
C	Strike	N28W	N84E	N60W	N80E	N70E	N20E	N88E	N15E	N74E	N36W
	Dip	16NE	58SE	54SW	61SE	74SE	40NW	26NW	29NW	16SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	062/16	174/58	210/54	170/61	160/74	290/40	358/28	285/29	164/16	054/12
D	Strike	N28W	N85E	N60W	N88E	N72E	N22E	N86E	N6E	N73E	N35W
	Dip	17NE	60SE	60SW	61SE	78SE	42NW	28NW	30NW	19SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	062/17	175/60	210/60	178/61	162/78	292/42	356/28	276/30	163/19	055/12
E	Strike	N30W	N84E	N60W	N82E	N70E	N20E	N89E	N10E	N76E	N40W
	Dip	14NE	62SE	58SW	62SE	79SE	40NW	28NW	30NW	18SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	060/14	174/62	210/58	172/62	160/79	290/40	359/28	280/30	166/18	050/12
F	Strike	N30W	N88E	N62W	N88E	N71E	N21E	N89E	N10E	N77E	N40W
	Dip	16NE	58SE	58SW	60SE	78SE	40NW	30NW	28NW	17SE	8NE
	Dipdirection/ Dip	060/16	178/58	208/58	174/60	161/78	291/40	359/30	280/28	167/17	050/8
G	Strike	N28W	N84E	N58W	N86E	N71E	N23E	N86E	N6E	N73E	N35W
	Dip	17NE	61SE	57SW	61SE	76SE	42NW	28NW	29NW	20SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	062/17	174/61	212/57	176/61	161/76	293/42	356/28	276/29	163/20	055/12
H	Strike	N31W	N87E	N60W	N80E	N70E	N20E	N81E	N10E	N72E	N41W
	Dip	20NE	60SE	61SW	60SE	77SE	39NW	28NW	30NW	21SE	12NE
	Dipdirection/ Dip	059/20	177/60	210/61	170/60	160/77	290/39	351/28	280/30	162/21	049/12

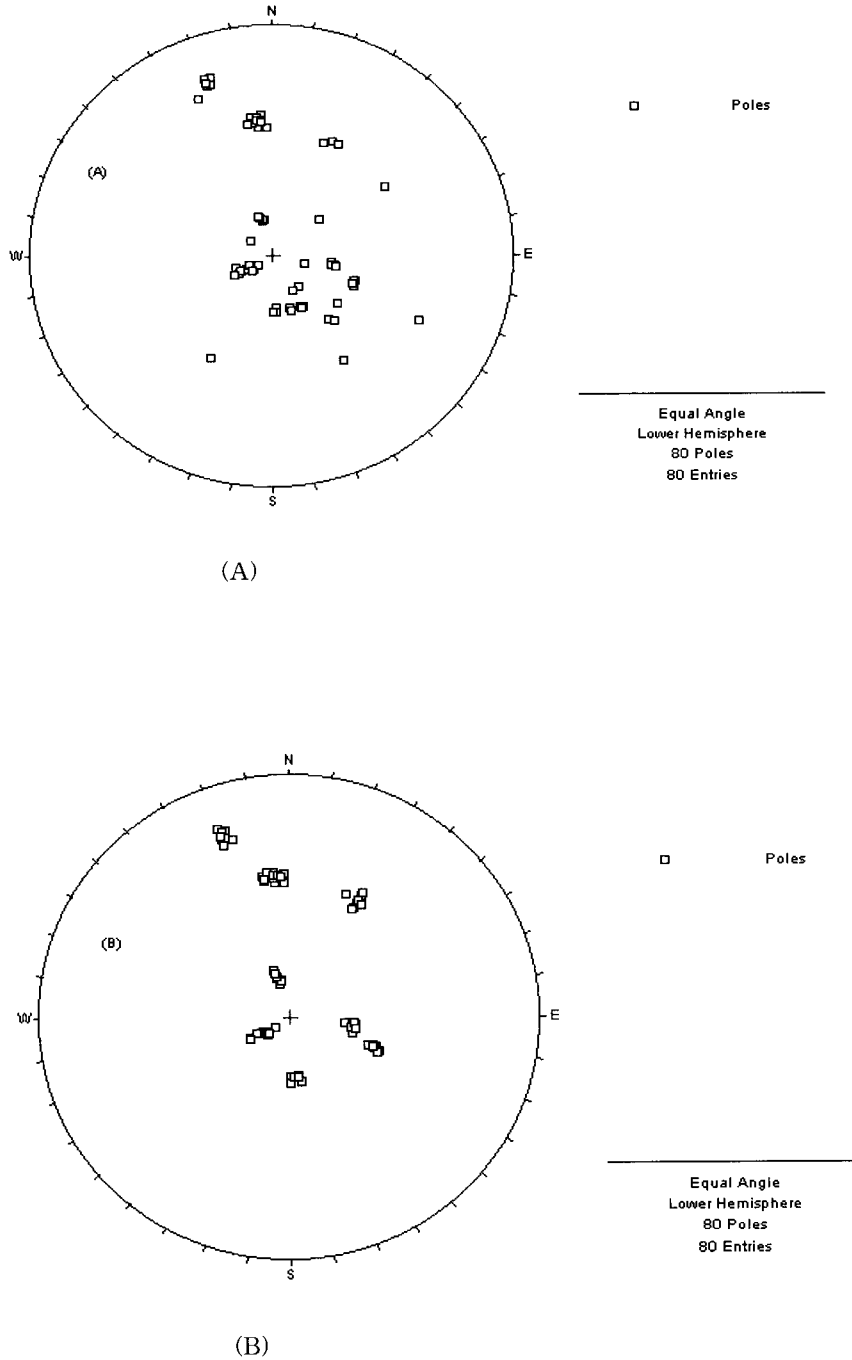


Fig. 10. Pole plot of discontinuity orientation
(A) : present-day measuring method
(B) : newly designed measuring method

결 론

본 연구에서는 불연속면의 방향성을 효율적으로 측정하기 위한 방안으로 새로운 측정방안을 연구하였다. 불연속면의 방향성은 주향/경사, 경사방향/경사 등의 방법으로 표현된다. 일반적으로 클리노미터에 의한 방향성 측정은 주향/경사의 방법으로 표기하고 많은 자료의 통계처리를 위해서는 공학적 표기인 경사방향/경사가 유용하다.

현행 일반 도로설계 또는 설계·시공 일괄경쟁형태의 설계의 경우를 살펴보면, 지표지질조사 결과, Bips결과 그리고 평사투영해석 수행 시 불연속면의 방향성을 주향/경사 및 경사방향/경사의 표기가 병행하고 있다. 일반적으로 클리노미터에 의해서 불연속면의 측정이 이루어지며 지표지질조사 결과는 주향/경사, 평사투영해석 결과는 경사방향/경사로 표기하고 있는데, 이는 평사투영해석 시 불연속면의 방향성을 경사방향/경사로 변환하였음을 알 수 있다. 이때 많은 양의 자료를 변환할 경우 오류의 가능성이 항상 내재한다. 본 연구에서 고안된 장치는 주향/경사와 경사방향/경사를 동시에 측정할 수 있도록 클리노미터에 회전방위판과 주향 및 경사방향을 측정할 수 있는 화살표가 부착되었다.

실제 암반사면에서 현행 측정법과 개선된 측정법으로 측정한 결과는 다음과 같다.

기존의 클리노미터에 의한 불연속면의 주향/경사 측정 시, 측정자에 따라 경사방향의 측정오류 가능성이 내재하였으나, 새로이 고안된 측정법으로는 오류의 가능성이 거의 나타나지 않는다. 이 측정법은 불연속면의 주향/경사뿐만 아니라 경사방향/경사의 동시 측정이 가능하며, 측정 시간을 단축시킬 수 있었다. 즉, 주향/경사뿐만 아니라 경사방향/경사의 동시 측정이 가능하므로 측정 오류의 가능성을 거의 배제시킬 수 있다.

본 연구에서 새로이 고안된 측정법은 클리노미터에 의한 불연속면의 주향/경사 측정 경험이 미숙한 조사자에게도 측정오류의 가능성을 매우 축소시킬 수 있는 방법으로 생각되며, 광범위한 지표지질조사 또는 많은 수의 불연속면 방향성에 대한 측정 시, 측정 시간을 단축시키고, 측정오류 가능성을 거의 배제시킬 수 있는 효과적인 방법이라고 생각된다.

참 고 문 헌

대림산업주식회사, 2002, 거금도 연도교 가설공사 (2단계), 토질조사보고서, 921p.
 대림산업주식회사, 2003, 군외-남창 도로확장공사, 토질조사보고서, 848p.
 두산건설주식회사, 2000, 국도대체우회도로(둔덕-주삼)건설공사, 토질조사보고서, 538p.
 삼성물산(주), 2003, 군외-남창 도로확장공사, 토질조사보고서, 723p.
 현대건설주식회사, 2000, 국도대체우회도로(둔덕-주삼)건설공사, 토질조사보고서, 488p.
 현대건설주식회사, 2002, 거금도 연도교 가설공사 (2단계), 토질조사보고서, 893p.
 SK건설(주), 2000, 국도대체우회도로(둔덕-주삼) 건설공사, 토질조사보고서, 497p.
 Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering rock mass classification , p. 5-28.
 ISRM., 1981, Rock characterization testing & monitoring, p. 6-13.
 Priest, S. D., 1993, Discontinuity Analysis for Rock Engineering, Chapman & Hall, p. 1-41.
 Romana, M., 1985, New adjustment rating for application of Bieniawski classification to slopes, Proc. Int. Symp. Rock Mech. Excav. Min. Civ. Works, ISRM, Mexico city, p. 59-68.

투 고 일 2003년 7월 9일
 심 사 일 2003년 7월 10일
 심사완료일 2003년 8월 5일

김해경(Hai-Gyoung Kim)
 전남대학교 자연과학대학 지구환경과학부
 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300번지
 Tel: 062-530-3450
 Fax: 062-530-3459
 E-mail: khgoh@chollian.net

김해경, 고영구

고영구(Yeong- Koo Koh)
전남대학교 사범대학 과학교육학부
500-757 광주광역시 북구 용봉동 300번지
Tel: 062-530-2513
Fax: 062-530-2519
E-mail: ykkoh@chonnam.chonnam.ac.kr