

## 정면적법을 이용한 불연속면의 특성화 및 사면안정해석:

### 충북 보은군 내북면 창리 지역

최병렬<sup>1)\*</sup>, 정상원<sup>2)</sup>

## Analysis of Slope Stability and Property of Discontinuities Using Square-Inventory Method: The Changri area, Boeun-Gun, Chungbuk

Byoung-Ryol Choi and Sang-Won Cheong

**Abstract** The study shows a method called a square-inventory method, which is a better and faster method than scanline survey and window method for an analysis of slope stability. The study area is located in the Changri area, Boeun-Gun, Chungbuk, and consists of many formations of the Okcheon Supergroup. Various types of failure are observed from the phyllite including the rocks in the study area. The physical properties of meta-sedimentary rocks are that minerals of the rocks are composed of microcrystalline quartz and sericite, which are arranged parallel to bedding (or schistosity) and crenulation cleavage. Therefore, such properties affect geotechnical ones of the rock. The slope stability are analyzed by selecting 3 areas, each of which are divided into 2 or 3 slopes of 1m x 1m area that represent each of 3 investigation sites. The possibility of wedge and toppling failure is very high in all 3 areas by using square-inventory method. Although possibility of plane failure is weak in the investigation site 2, the plane failures are frequently found from the slope of site 2. The bedding (or schistosity) plane and cleavage, another types of discontinuity coexist in meta-sedimentary rocks unlike igneous rocks, and therefore are important factors to be considered together with joint structures in the analysis of slope stability.

**Key words** Square-inventory method, Slope stability, Meta-sedimentary rock, Bedding (or schistosity), Crenulation cleavage

**초 록** 정면적법을 이용하여 연구지역의 사면 안정성 분석을 하였으며, 이 방법은 선조사 방법이나 면적조사법을 이용하는 것보다 빠르게 유추할 수 있는 방법이다. 연구지역은 충북 보은군 창리 일대에 속해 있는 옥천누층군의 지층으로 구성되어 있으며 연구지역을 포함하여 천매암으로 구성된 지층에서 여러 종류의 사면 파괴 유형이 발생했음을 관찰하였다. 이러한 변성퇴적암의 물리적 특성은 광물입자가 극세립질의 석영과 견운모로 구성되었으며 층리(또는 편리)구조와 파랑벽개구조를 따라 층리에 평행하게 배열되어 암석의 공학적 특성에 영향을 끼치는 것으로 분석되었다. 연구지역 내 3개 지점을 선정하여 각각 사면의 특성을 대표할 수 있는 1m x 1m 사면을 2 또는 3개소를 선택하여 사면 안정성분석을 시도하였다. 분석결과 정면적법을 이용한 사면의 안정성분석에서 3개 연구지점 모두에서 전도파괴와 췌기파괴의 가능성이 매우 높은 것으로 분석되었으며 또한 연구지점 2의 경우 평면파괴의 가능성은 미약한 것으로 분석되었으나 실제 현장의 노두에서는 평면파괴가 발생한 곳이 다수 관찰되었다. 변성퇴적암에서는 화성암과는 다른 불연속면 구조인 층리(또는 편리)와 벽개구조가 함께 존재하기 때문에 사면 안정성 분석에서 절리구조와 더불어 반드시 고려해야 할 중요한 요소이다.

**핵심어** 정면적법, 사면안정, 변성퇴적암, 층리(또는 편리), 파랑벽개

### 1. 서 언

연구지역은 행정구역상 충북 보은군 내북면 창리 인

근지역과 회북면 일부 지역에 속하며 경위도상 위도 36° 30' - 36° 35'와 경도 127° 35' - 127° 41'의 범위에 속하는 지역이다. 연구지역은 국도 19번과 국도 25번 도로 사이의 지방도 571과 575가 남북 또는 북북동-남남서 방향으로 가로 지르는 지역에 해당된다.

지형상 주산계와 주수계의 방향성은 북동-남서 방향이며 부산계와 부수계의 방향성은 북서-남동방향이다.

<sup>1)</sup> 충북대학교 사범대학 과학교육학부 교수

<sup>2)</sup> 충북대학교 사범대학 과학교육학부 강사

\* 교신저자 : choibr@chungbuk.ac.kr

접수일 : 2007년 10월 8일

심사 완료일 : 2008년 1월 14일

연구지역의 암석은 후기 오르도비스기의 옥천누층군에 속하는 변성퇴적암류로서 층상상 하부로부터 화전리층, 구룡산층, 이원리층, 문주리층, 그리고 황강리층으로 구성되며 흑색 점판암, 사질 셰일 및 천매암 등의 이질기원과 석회질 셰일과 호상 석회암 등의 석회질 기원의 다양한 암석으로 구성된다(이종혁 외, 미원도폭, 1980). 이들 지층은 동일한 지층이 광역적 습곡작용에 기인하여 여러 차례 반복되어 북동-남서 방향으로 노출되어 있다(Fig. 1). 이러한 지층의 방향성이 지형상 주 산계와 주 수계의 방향성과 매우 잘 일치한다는 사실은 지층의 지질구조가 지형의 형성에 영향을 끼쳤음을 시사한다.

연구지역을 포함하여 옥천누층군에 속하는 암석으로 구성된 지역의 사면은 여러 종류의 사면파괴 양상을 잘 보여준다. 연구지역과 관련된 학술논문으로 지형분석, 지하수유로조사 그리고 암석의 탄성과 탐사와 이방성의 연구(최병렬, 1998; 최병렬, 2000; 최병렬, 2001)가 있으며, 지질학적 또는 공학적 연구 특히 사면안정에 관한 연구는 미약한 편이다(이지수 외, 2001; 이연희 외, 2003; 최재원 외, 2004).

연구지역은 화성암과는 달리 변성퇴적암으로 구성되기 때문에 절리구조 이외의 불연속면 즉 변성작용과 변형작용의 결과물인 층리(또는 편리)구조와 벽개구조 등

의 면구조가 잘 발달되어 있다. 따라서 이번 연구에서는 지형 및 암석의 물리, 화학적 성질 그리고 지질구조의 영향 등 복합적인 영향으로 발생한 파괴유형을 분석하고 연구하고자 한다.

연구지역 사면의 안정성 연구를 위하여 사면 발달이 양호한 3 지점을 선정하였으며 각 연구에서 2 또는 3곳의 사면에 대하여 정면적법을 이용하여 불연속면의 방향성, 길이, 연장성, 절리의 표면 거칠기 및 암석의 일축 압축강도 등 공학적 특성을 분석하여 여러 종류의 사면 파괴유형을 연구하였다. 특히 층리(또는 편리)구조나 벽개구조 등의 다른 불연속면이 존재할 경우 절리구조와의 상호관계에 따라 사면의 안정성이 달라지는 현상을 검토하고자 한다.

## 2. 연구지역의 지질 특성

### 2.1 암석의 특성

연구지역에 나타나는 암석은 후기 오르도비스기의 옥천누층군에 속하는 변성퇴적암류로서 하부로부터 화전리층, 구룡산층, 이원리층, 문주리층, 그리고 황강리층으로 구성되며 연구지역의 북서와 남동지역에 주라기의 화강암의 관입이 있었다(Fig. 1). 하지만 사면안정을 위해 측정된 지역은 화전리층(연구지점 3), 구룡산층(연구지점 2), 그리고 문주리층(연구지점 1)에 속한 암석으로 이루어진다. 각 지층을 구성하는 암석은 주로 셰일, 다양한 색을 갖는 천매암으로 구성되지만 일부 결정질 석회암과 석탄층이 협재한다고 보고되어 있다(이종혁 외, 미원도폭, 1980).

연구지역에 나타나는 암석의 대부분은 이질 또는 사질 천매암으로 구성되며 대체로 짙은 회색에서 흑색의 색을 띠며 부분적으로 암녹색을 띠기도 한다. 부분적으로 흑색을 띠는 부분이 다수 관찰되며 이는 암석 내에 탄질물이 협재되어 있음이 편광현미경 연구를 통하여 밝혀졌다. 입자의 크기는 극세립질로 매우 작아 육안상 입자의 크기를 볼 수 없으며 편광현미경의 관찰에서 주 성분 광물은 장경 0.1 mm 내외의 크기를 갖는 석영과 견운모로 구성되어 있다. 또한 빈도수는 많지 않으나 두께 수 mm 내외의 석영과 방해석 맥이 층리(또는 편리)를 절단하기도 한다.

화전리층은 층상상 연구지역의 최하위에 속하는 지층이며 흑색 점판암, 사질 셰일 및 천매암 등의 이질기원과 석회셰일과 호상 석회암 등의 석회질 기원의 암석으로 구성된다. 연구지역의 북동부에서 남동 방향으로 가로지르는 수직단층에 의해 절단되어 있다. 화전리층은 연구지점 3에서 나타나는 지층으로 암회색의 천매암으

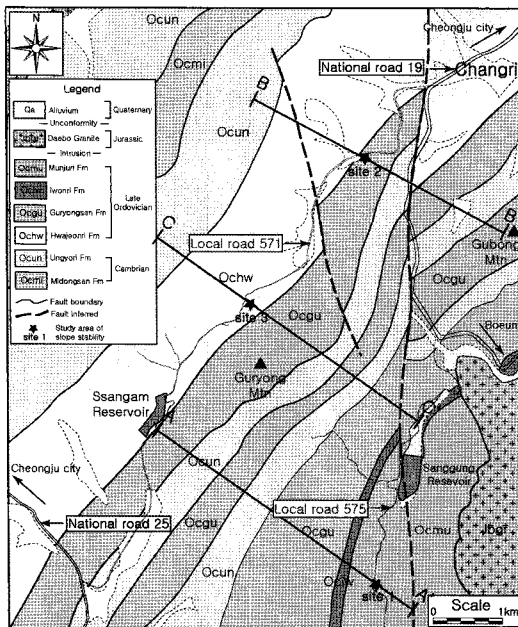


Fig. 1. Geologic map around the Changri area, Boeun-Gun, Chungbuk (modified from the geologic map of Miweon sheet (Lee, et al.(1980))). Lines of A-A', B-B' and C-C' indicate cross section of each area (see Fig. 3).

로 층리구조가 잘 발달되어 있으며 이를 고각도로 절단하는 파랑벽개 내지 불연속 벽개(fracture cleavage)가 조밀하게 발달된다.

구룡산층은 상기한 화전리층의 상위에 놓이며 연구지역에 대체로 일정한 두께로 3매가 존재한다. 구룡산층의 주구성암석은 천매암, 운모편암, 흑색 점판암 및 합탄 저변성 셰일로 구성된다. 구룡산층은 연구지점 2의 지층을 형성하며 연구지점 2의 주 구성암석은 암회색의 천매암으로 일정한 방향의 층리(또는 편리)구조가 파랑벽개와 함께 잘 발달되어 있다.

문주리층은 이원리층의 상위에 놓이며 주구성 암석은 연녹회색에서 흑색 천매암과 결정질 석회암이 단속적으로 협재한다고 보고되어 있다(이종혁 외, 미원도폭, 1980). 연구지점 1에 위치하는 문주리층은 흑색 또는 암회색의 이질 천매암으로 구성되며 층리구조를 따라 풍화가 많이 진행되어 얇은 박편으로 쪼개져 있다. 벽개구조는 풍화작용에 기인하여 노두상에서 관찰되지 않아 그 방향성을 측정할 수 없었으나 편광현미경하에서 벽개구조가 있음이 관찰되었다.

## 2.2 지질구조

연구지역의 지질구조의 요소에는 변성퇴적암류에 잘 발달된 층리구조와 엽리구조(편리구조와 벽개를 포함), 습곡구조, 단층구조 및 절리구조 등이 있다. 층리구조는 암석이 변성되기 이전의 퇴적암의 일차구조이며 엽리구조는 연구지역을 구성하는 암석이 변성작용을 받아 형성된 면구조로서 연구지역의 모든 암석에 층리구조나 파랑벽개구조(crenulation cleavage)가 잘 발달되어 있다(Fig. 2). 이러한 면구조의 발달은 연구지역의 암석이 심한 변성작용을 받지 않았기 때문이다. 면구조의

방향성은 연구지역의 도로 사면의 방향성과 절리구조의 방향성과 더불어 사면 안정에 막대한 영향을 끼친다.

연구지역에 나타나는 상기한 각 지층은 북동-남서 방향의 습곡축을 갖고 동일한 지층이 서로 반복적으로 나타난다. 이러한 현상은 광역적 변형작용의 결과로 나타난 습곡구조 또는 드러스트에 의해 나타날 수 있으나 층리의 방향성을 고려할 때 드러스트에 의한 현상이라기보다는 오히려 습곡구조에 의해 형성된 것으로 판단된다. 또한 연구지점 1과 그리고 연구지점 2와 3에서 층리의 방향성(특히 경사 방향)이 현저히 다른 사실도 연구지역의 암석은 광역 습곡구조로 형성되었음을 시사한다. 미원도폭(이종혁 외, 1980)에 따르면 이러한 습곡구조는 타이트습곡 또는 등사습곡(tight-isoclinal fold)으로 형성된 것으로 보고하고 있다.

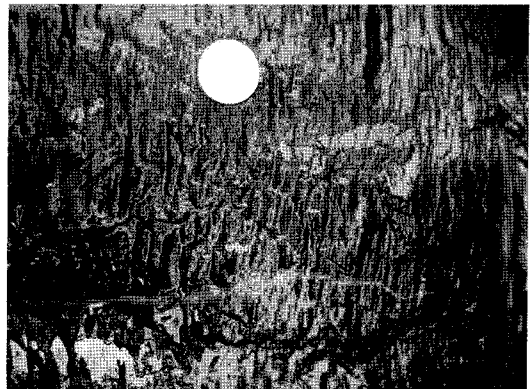
연구지역에서 나타나는 지층의 습곡축의 방향은 대체로 40-50°E 방향으로 일정하며 습곡축의 경사 각도는 대체로 10-20°NE와 0-15°SW의 방향성을 보여준다(이종혁 외, 1980, 미원도폭).

단면도 A-A'에서 연구지점은 문주리층으로서 습곡구조는 나타나지 않으나 지층의 경사는 NW로 경사하고 있다. 단면도 B-B'에서의 연구지점은 구룡산층이며 향사습곡구조의 왼쪽 날개에 해당된다. 단면도 C-C'에서의 연구지점은 화전리층으로 구성되며 향사습곡구조의 오른쪽 날개에 위치하고 있다. 상기한 세 지점 모두 지형상 사면의 경사방향인 NW 방향으로 습곡구조의 날개가 갖는 방향과 일치하고 있음을 보여준다(Fig. 3).

연구지역을 단층구조는 2개가 보고되어 있으며 그 중 하나는 연구지역을 남북으로 관통하는 역단층으로 단층면이 서쪽으로 기울어져 있으나 수직단층에 해당되며 또한 N20°W 방향으로 주향하는 단층 역시 수직단



(a) Photograph of bedding and crenulation cleavage from the rock sample in site 2.



(b) Photograph of bedding and crenulation cleavage from the rock sample in site 3.

Fig. 2. Relation between bedding and crenulation cleavage.

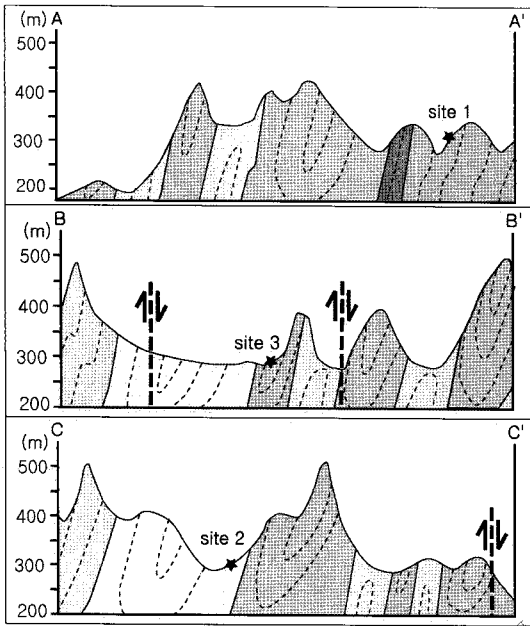


Fig. 3. Cross section indicating locality of each site in fold structure formed by regional deformation in the study area, 5x vertical exaggeration (see geologic map in Fig. 1).

층으로 알려져 있다(이중혁 외, 미원도폭, 1980). 이러한 단층구조는 사면 안정에 막대한 영향을 끼칠 수 있으나 연구지역의 사면안정 분석시 측정된 지점과 떨어져 있으며 또한 수직단층으로 알려져 있으므로 측정지역의 불연속면의 물리, 화학적 특성에 영향을 끼치지 않은 것으로 사료된다.

절리구조는 측정지역의 모든 암석에 잘 발달되어 있으며 기존에 형성된 불연속면(층리와 벽개구조)을 절단하며 각 측정지역에 2 또는 3 방향성의 집중군으로 나타난다(Table 1). 절리구조의 방향성과 절리면의 표면 거칠기는 사면의 안정 분석에 중요한 요소 중의 하나이다. 사면 안정성 분석과 FracworkXP를 이용한 3차원적 시각화를 위하여 측정된 절리구조는 최소 5 cm 이상의 길이를 갖는 절리만을 측정하였다. 최소 5 cm 이하의 미세 절리구조는 특정 지역에 절리밀도가 높지 않는 한 암석의 강도에 영향을 줄 수 있으나 사면의 안정에 큰 영향을 끼치지 않기 때문이다.

2.3 현미경적 미구조와 조직

사면안정에 영향을 끼칠 수 있는 현미경적 미구조 요소를 파악하기 위하여 각 노두별로 암석 표본을 채취하

Table 1. Relations among slope orientation, joint, bedding (or schistosity), and crenulation cleavage of the rocks measured in each site for slope stability analysis.

Site No.	Slope orientation (dip/dip dir)*	Slope No.			Joint (dip/dip dir)*		Bedding or schistosity (dip/dip dir)*	Cleavage (dip/dip dir)*	
		Slope No.	No. of joint measured	Weight value					
Site 1	60°/280°	1-1	20	738	J1	88°/200°	31°/296°	-	
					J2	80°/271°			
		1-2	41	1448	J1	70°/098°			32°/299°
					J2	65°/211°			
		1-3	32	1106	J1	85°/143°			46°/310°
					J2	83°/020°			
J3	41°/254°								
Site 2	65°/355°	2-1	34	1750	J1	88°/069°	48°/151°	85°/300°	
					J2	63°/020°			
					J3	84°/167°			
		2-2	31	1111	J1	65°/199°	45°/150°	62°/120°	
					J2	74°/241°			
					J3	63°/135°			
Site 3	65°/000°	3-1	37	1499	J1	52°/268°	55°/160°	80°/143°	
					J2	78°/237°			
					J3	89°/142°			
	70°/115°	3-2	34	1068	J1	80°/227°	72°/322°	82°/140°	
					J2	89°/250°			
					J3	47°/132°			

(dip/dip dir)\* above indicates dip and dip direction of plane structures.

여 박편제작용 하였으며 편광현미경을 이용하여 암석의 미구조와 광물의 종류, 크기, 형태, 방향성 그리고 층리구조와 파랑 벽개의 관계 등 물리적 요인을 연구하였다. 층리와 벽개구조를 관찰하기 위하여 암석 표본을 층리면에 수직한 방향으로 절단하여 현미경 관찰을 시도하였다.

연구지역에 나타나는 암석은 변성작용을 받기 이전의 모암이 극세립질의 세일이며 또한 미약한 변성작용을 받았기 때문에 나타나는 광물의 입자 역시 장경 0.1 mm 이하의 크기로 매우 미세하다. 대부분의 광물은 극세립질의 석영과 견운모로 구성되며 부성분 광물로는 약간의 탄질물과 녹리석 및 극소량의 휘석이 존재한다. 휘석의 존재는 연구지역의 암석이 미약한 열변질작용을 받았음을 의미한다.

석영과 견운모는 층리면에 평행하게 서로 교호하여 나타나며 층리면을 따라 약간 신장되어 있다. 극세립질의 석영은 타원형을 띠며 운모 광물의 하나인 견운모(sericite)는 층리면에 평행하게 배열되어 있으며 극세립질의 엽상으로 산출된다. 따라서 이러한 면구조를 갖는 암석이 풍화작용을 받는 경우 층리구조(또는 편리구조)나 파랑벽개를 따라 얇은 면구조로 쪼개진다.

층리와 파랑벽개는 45-90°의 각도로 서로 교차하며 발달되어 있으며 파랑벽개 사이의 간격은 암석마다 다르나 0.2-10 mm의 간격을 갖는다. 파랑벽개는 미약한 변성작용을 받은 암석 내에 발달한 쪼개진 엽리구조로서 변성암 중 천매암에서 잘 나타나며 현미경적 미세 습곡구조로 물결모양을 보여준다(Fig. 4).

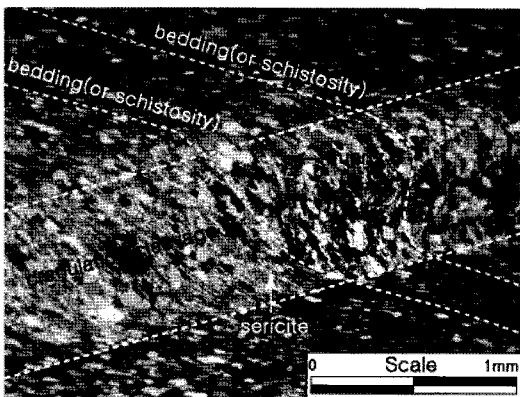
벽개구조는 아직 파괴되지 않은 면구조이지만 암석이 지표에 노출될 때 잠재적인 불연속면이 된다. 사면에 노출된 암석에서 벽개구조는 절리나 엽리와 더불어 또

하나의 불연속면으로 작용하여 절리나 엽리의 불연속면만 고려할 때의 파괴양상과는 다른 파괴양상이 나타날 수 있다. 따라서 이러한 잠재적인 불연속면의 방향성이 절리나 엽리의 방향성을 관통할 때 예상하지 못한 사면 파괴를 발생할 소지가 있다. 또한 벽개구조에는 미세한 운모광물이 집중되어 있으므로 그 방향에 따라서 쉽게 미끄러지게 되는 원인이 되기도 한다.

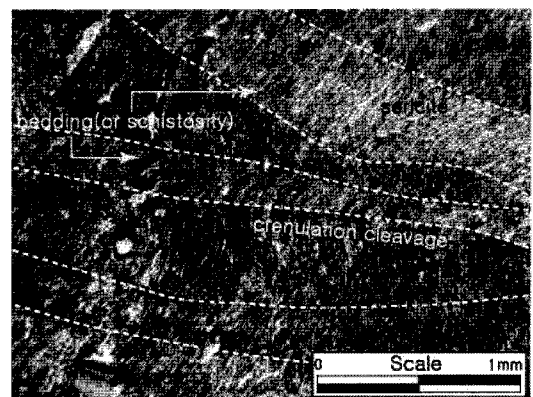
### 3. 정면적법(square-inventory method)

사면의 안정성 연구에 응용하기 위하여 불연속면의 특성을 연구하는 방법에는 면적조사법, 선조사법 또는 원형조사법(Davis and Reynolds, 1996; Priest, 1993) 등이 있으나 원형조사법을 제외하면 불연속면의 측정과 해석에 많은 시간과 경비가 소요된다. 따라서 시간과 비용을 절약하기 위하여 또는 특정 지역의 사면을 대표할 수 있는 간편한 사면 안정 분석 방법이 필요하리라 판단된다. 사면안정 분석에 정확한 불연속면의 특성을 파악하기 위하여 더 많은 자료가 필요하며 따라서 면적조사법이나 선조사법을 사용할 경우 보다 적절한 해석을 수행할 수 있을 것이다.

하지만 기존에 사용했던 면적조사법은 정면적법보다 넓은 면적을 조사하며 또한 급사면의 경우는 전체 사면에 대하여 조사하기 어려운 제약이 있으며 대체로 완사면이나 편평한 노두상에서 많이 사용하는 단점이 있다. 또한 원형조사법도 있으나 평면이 아닌 노두상에서 원을 그려 사용하기가 불편하며 그리고 원하는 장소의 급사면에서 사용하기에는 부적당하다. 또한 선조사법은 사면의 경사에 관계없이 연구지역의 불연속면의 특성을 파악할 수 있으나 특정한 방향의 선을 따라 만나는



(a) Photomicrograph of crenulation cleavage from the rock sample in slope No. 1-1



(b) Photomicrograph of crenulation cleavage from the rock sample in slope No. 2-1

Fig. 4. Photomicrograph of phyllites showing the relationship between the orientation of crenulation cleavage and bedding.

불연속면의 특성을 나타내지만 면적조사법과 달리 전체 사면의 특성을 반영하지는 못한다.

방법상론에 있어 정면적법은 면적조사법의 일종으로 분석방법은 원형 조사법과 유사하나 분석 지점의 특정 영역을 정사각형이나 직사각형으로 설정하여 그 영역 내의 불연속면의 특성을 측정하는 방법이다. 그러므로 기존의 면적조사법이나 선조사법을 이용하는 경우 넓은 면적을 조사하거나 또는 긴 지역을 조사하는 데 불필요한 시간을 줄일 수 있다. 또한 사면의 경사가 급한 곳이나 너무 높은 사면을 갖는 곳 등 지형적 영향으로 불연속면의 특성을 측정할 수 없는 곳에서 매우 유용하게 사용할 수 있기 때문에 기존의 사용하던 방법의 단점을 보완할 수 있다. 따라서 국내나 국외에서 시도해보지 않은 방법을 연구지역의 사면에 적용하게 되었던 것이며 이 방법을 이용하여 분석한 논문이나 참고자료가 현재 전무한 실정이다.

정면적법은 특정 사면의 안정 분석에서 그 사면의 물리적 성질을 대표할 수 있는 지역을 조사하고자 하는 사면 내에서 선정하며 신뢰도를 높이기 위해 최소 둘 또는 세 곳을 선택하여 불연속면의 특성을 조사한다. 연구지역에서는 1 m×1 m 내의 면적에 해당하는 불연속면의 특성을 조사하였으나 자료의 정확도를 높이기 위하여 또는 노두의 상태를 고려하여 조금 더 넓은 면적을 조사할 수도 있으며 반드시 정사각형의 면적을 이용할 필요도 없다(Fig. 5).

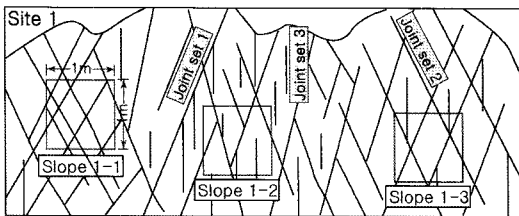


Fig. 5. Example showing a method to measure joint orientation and length in a specified slope face.

작은 범위의 지역을 조사하기 때문에 불연속면의 방향성과 길이에 있어 특히 불연속면의 길이의 측정과 같이 전체 사면의 특성을 제대로 반영할 수 있도록 길이에 대한 가중치를 이용하여 불연속면의 방향성 분석을 시도하였다(Table 1). 가중치는 짧은 불연속면의 길이를 단위 길이로 놓고 긴 불연속면의 길이와 비교하여 상대적으로 긴 불연속면의 방향성에 더 많은 값을 줌으로써 불연속면의 방향성 연구에 오차를 줄일 수 있다.

예를 들어 Fig. 5에서와 같은 연구지점에서 전체 불연속면의 방향성은 3방향이지만 각 사면(slope 1-1, slope 1-2, and slope 1-3)마다 절리군의 방향성과 길이가 다르게 나타난다. 절리군 1과 2는 전 사면에서 방향성과 연장성에 있어 뚜렷한 반면 절리군 3은 특정사면(slope 1-2)에만 집중되어 나타나며 연장성이 미약하게 나타난다. 이러한 경우 절리의 빈도수는 많지만 절리의 연장성에 있어 그 사면을 대표할 수 없기 때문에 평가 투영시 불연속면의 방향성 분석에 큰 오류가 생긴다. 따라서 불연속면의 길이에 대한 가중치를 반영할 경우 이러한 오류를 극복할 수 있게 된다.

정면적법을 이용한 불연속면의 특성을 분석하고 사면 안정의 연구에 응용하기 위하여 연구지역의 암석과 지층의 지질특성과 지질구조 및 현미경적 미구조를 이해하고 또한 이를 암석의 공학적 특성과 연관시킴으로써 연구지역 사면안정 분석을 시도하고자 한다.

Fig. 6은 실제 야외조사시 정면적법을 적용한 연구지점 3곳의 야외노두사진을 보여준다.

#### 4. 조사자료의 획득과 분석결과

Fig. 1의 3개 연구지점(sites 1, 2, and 3)의 각 조사사면(slopes 1-1, 1-2, 1-3; 2-1, 2-2; 3-1, 3-2)에 대하여 정면적법을 사용하여 불연속면의 방향성과 발달 상태를 측정하고, 이외 공학적 특성을 분석하였다.

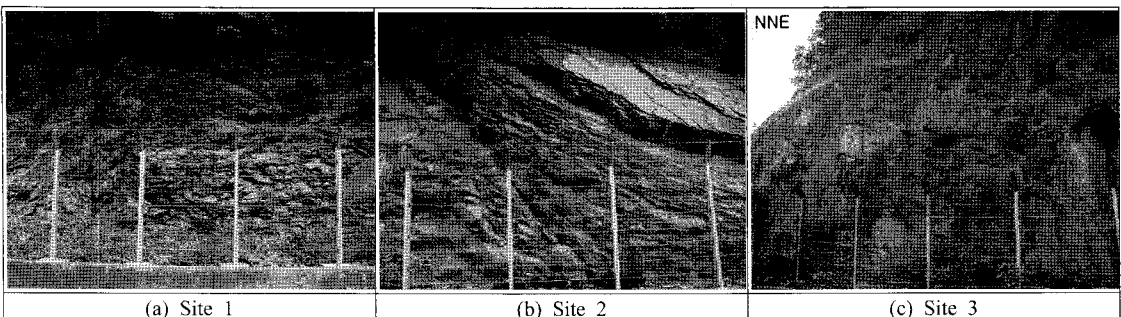


Fig. 6. Outcrop view showing joint and bedding plane in each slope face.

4.1 불연속면의 방향성 분석

층리구조(또는 편리)와 벽개구조

정면적법을 이용한 사면 안정 분석을 위하여 각 연구 지점의 사면에 대해 절리구조나 층리구조, 및 파랑벽개의 방향성을 대표할 수 있는 둘 또는 세 곳의 지점을 선정하여 각 구조의 방향성과 연장길이, 표면 거칠기 등의 요소를 측정하였다. 층리와 파랑벽개의 일반적인 방향성은 각각의 사면에 대해 큰 변화를 보이지 않지만 측정의 정확성을 위하여 최소 5개 이상을 측정하여 평

사투영망에 투영한 결과 최대 집중군의 방향성을 산출하여 사면 안정분석에 이용하였다(Fig. 7).

연구지점 1에서의 층리의 경사방향(dip direction)은 296-310°의 범위이며 경사각도는 31-46°이며 북서쪽으로 완경사한다(Fig. 7 and Table 1). 또한 파랑벽개의 발달은 매우 미약하며 층리(또는 편리)가 매우 잘 발달하고 있다. 이러한 층리는 암석이 지표에 노출된 후 풍화작용에 의하여 수 mm 두께로 매우 얇은 면구조를 띠며 작은 조각으로 쪼개져 있다. 연구지점 2에서의 층리의 경사방향(dip direction)은 150-160°의 범위로 측정

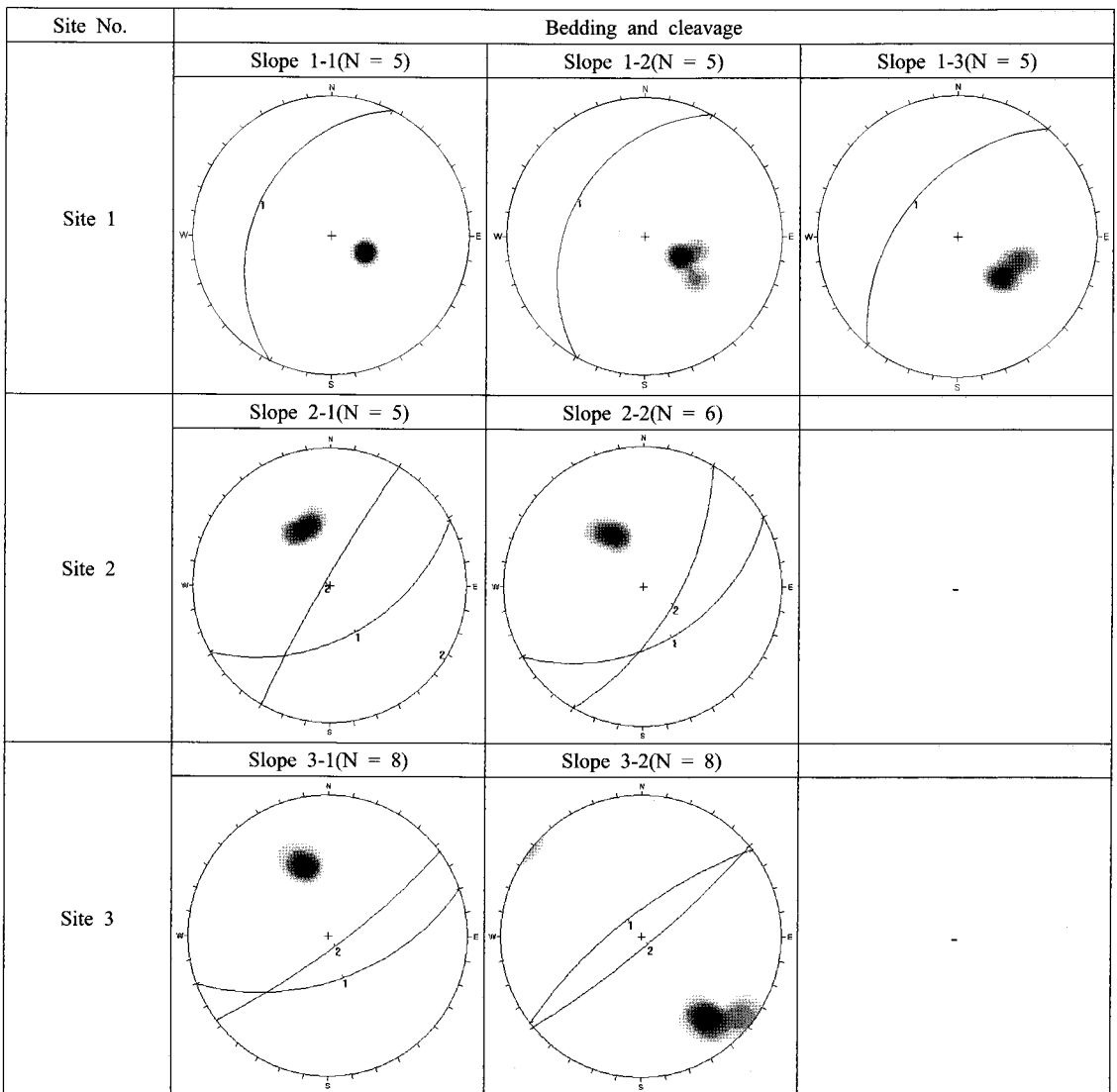


Fig. 7. Contour plot of bedding plane and crenulation cleavage (lower hemisphere). Numbers 1 and 2 in the figure above indicate the orientation of bedding plane and crenulation cleavage, respectively, and N indicates the number of measurements of bedding planes.

되었으며 경사각도는 45-55°이며 남동쪽으로 경사한다 (Fig. 7 and Table 1). 이 지점에서는 파랑 벽개가 매우 잘 발달되어 있으며 벽개의 주향은 N30°E 이며 사면 2-1에서는 85° 북서방향으로 그리고 사면 2-2에서는 65° 남동 방향으로 경사하며 층리구조를 절단하고 있다 (Fig. 7 and Table 1). 연구지점 3에서 층리와 벽개의 방향성은 사면 3-1에서는 각각 55°/160°와 80°/143°이며, 사면 3-2에서는 72°/322°와 82°/140°이다. 이 지역에서 층리의 방향성이 서로 다른 이유는 소규모의 습곡에 기인하거나 또는 대규모 습곡구조 내에 존재하는 기생 습곡의 일종으로 판단된다. 하지만 파랑 벽개의 방향성이 일정한 것으로 보아 후자의 경우에 해석함이 타당하다.

절리구조

절리구조는 층리구조나 벽개구조와는 달리 일정한 방향성을 보이지 않으며 각 연구지점의 사면마다 서로 다른 방향성을 보여준다. 또한 각 연구지점에서 측정된 사면(slope No)마다도 서로 다른 방향성을 갖는 것으로 분석되었으며, 둘 또는 세 방향성의 최대집중군으로 나타나지만 대부분 65°의 고각도로 경사한다(Table 1).

4.2 불연속면의 발달 상태

연구지역의 불연속면은 층리(또는 편리)구조, 파랑벽개구조 및 절리 등이 있으며 층리구조와 벽개구조는 지표에 노출될 때 풍화작용에 기인하여 수 mm의 두께로 쪼개지는 양상을 보인다. 따라서 지하수 등의 물질 유입을 자유롭게 되며 풍화작용을 가속화하는 경향을 있다. 그러므로 연구지역의 암석은 불연속면의 표면이 쉽게 산화되거나 유체의 화학적 침전에 의해 붉게 물들어 있으며 작은 조각으로 풍화하는 양상을 보인다(Fig. 8).

연구지역 불연속면의 방향성은 연구지점마다 다르나

대체로 동일한 지점에서 2 또는 3 방향의 일정한 방향성을 보인다. 일정한 방향성을 띠는 절리군(J1과 J2)은 절리의 간격 또한 일정하게 나타나는 규칙 절리의 양상을 띠고 연장성이 수 m에 이르지만 그렇지 않은 절리군(J3)은 규칙절리 사이를 점유하는 교차절리(cross joint)로 나타나며 연장성이 약 10 cm 이내로 미약한 것이 특징이다.

불연속면의 틈새 및 간격은 연구지점마다 약간씩 다르나 대체로 단한 절리에 해당되며 파괴양상이 발생된 지역에서는 수 mm에서 최대 수 cm의 틈새를 보인다. 절리간격은 절리 밀도에 반비례하며 절리군마다 다르나 약 5-10 cm 정도이다. 단한 절리의 틈새는 물질의 충전이 없으나 틈새가 있는 절리의 경우 토양이나 석영 또는 방해석으로 충전되기도 한다. 전 연구지역에서 절리면을 따라 흐르는 지하수의 유입은 없는 것으로 건기에 관찰되었으나 우기에는 절리틈새가 있는 곳에서는 다량의 지하수의 유입이 있었다.

4.3 공학적 특성

연구지점 3개소의 조사 사면에 대하여 연장성 및 절리면의 표면거칠기(JRC)와 절리밀도를 측정하였다. 불연속면의 표면거칠기 측정시 profile gauge를 이용하였으며, 내부마찰각은 야외조사시 및 실험실에서 암석표본을 최소 5차례 이상 실험한 결과와 측정된 주요 불연속면의 표면거칠기(Barton and Chouby, 1977)를 이용하여 각 불연속면의 내부마찰각(Hoek, 1998)을 경험식에 기초하여 계산한 방법과 서로 비교하여 구하였다. 또한 슈미트해머의 반발값을 하여 주요 불연속면의 일축압축강도를 계산하였다(ISRM, 1981; Cheong and Lee, 1998).



(a) Weathering aspect in site 1



(b) Weathering aspect in site 2

Fig. 8. Weathering aspects of the rocks.



$$\phi = 1.0587(JRC) + 27.97 \quad (1)$$

$\phi$ (내부마찰각)

$$\ln \sigma_n = \ln 10.3 + 0.05148*(SHRV) \quad (2)$$

$\sigma_n$  = 일축압축강도(MPa)

SHRV = 슈미트해머 반발값(Schmidt Hammer Rebound Value)

측정한 불연속면의 표면 거칠기는 2-8의 범위를 나타내며 연구지점 2의 절리면 1(J1)의 표면거칠기는 2-4의 범위로 매우 낮은 값을 갖는다. 낮은 값의 표면거칠기는 암석의 내부마찰각을 감소시키며 따라서 평면파괴의 범위를 증가시키는 요인이 된다. 연구지점 2의 절리면(J1)을 제외하면 전지역에서 대체로 일정한 표면거칠기를 보여준다.

내부마찰각은 31-35°의 범위를 나타내며 대체로 일정한 분포를 보여준다. 또한 정면적법을 이용하여 계산한 절리의 밀도 범위는 7.4-17.5(m/m<sup>2</sup>)이며 연구지점 1의 사면 1-1의 절리밀도는 7.4(m/m<sup>2</sup>)로 다른 곳에서보다 낮은 값을 보여주지만 즉 연장성이 긴 규칙절리의 발달이 미약하기 때문이며 이곳의 지역을 제외하면 절리밀도는 10.7-17.5(m/m<sup>2</sup>)의 범위로 대체로 일정한 편이다 (Table 2).

슈미트해머의 반발값을 이용하여 계산된 암석의 일축압축강도는 연구지점 1에서 절리면의 경우 53.3-58.1 MPa이며 층리면의 경우 40.7 MPa이다. 연구지점 2에서 절리면의 경우 140.7-157.7 MPa, 층리면의 경우 103.4 MPa이며, 연구지점 3에서는 절리의 경우 100.2-101.8 MPa, 층리면의 경우 69.2 MPa로 계산되었다(Table 3). 암석의 일축압축강도는 지역에 따라 큰 차이를 보이며 이는 지역에 따른 절리밀도와 절리간격 및 암석의 풍화양상 등에 기인한다. 또한 동일한 지역에서는 대체로 일정한 압축강도를 보이며 층리(또는 편리)면의 압축강도는 절리면의 압축강도보다 약 10-50 MPa의 낮은 값을 갖는다.

### 5. 사면 안정의 요인 분석

#### 5.1 사면안정분석의 사례연구

연구지역의 불연속면에 대한 방향성 분석과 사면 안정성 분석을 위하여 컴퓨터 프로그램 DIPS 5.0을 이용하여 특정 지역의 파괴양상을 분석하였다. 또한 각 연구지점의 특정사면 3곳에서 위에서 측정한 불연속면의 방향성과 길이 및 컴퓨터 프로그램 FracworksXP를 사용하여 3차원의 도표를 만들어 현장 불연속면의 방향성을 시각화하였다(Fig. 9).

**Table 2.** Parameters measured and/or calculated in each set of joints for slope stability (values of friction angles are calculated on the basis of JRC values measured in each joint plane).

Site No.	Slope No.	Major Joint Set	JRC*	Friction angle (°)	Joint density (m/m <sup>2</sup> )	
Site 1	1-1	J1	4-6	33°	7.4	
		J2	6-8	35°		
	1-2	J1	4-6	33°	14.5	
		J2	6-8	35°		
	1-3	J1	J1	4-6	33°	11.1
			J2	6-8	35°	
J3			6-8	35°		
Site 2	2-1	J1	2-4	31°	17.5	
		J2	4-6	33°		
		J3	4-6	33°		
	2-2	J1	J1	2-4	31°	11.1
			J2	4-6	33°	
			J3	4-6	33°	
Site 3	3-1	J1	4-6	33°	15.1	
		J2	4-6	33°		
		J3	4-6	33°		
	3-2	J1	J1	4-6	33°	10.7
			J2	4-6	33°	
			J3	6-8	35°	

JRC\* above indicates Joint Roughness Coefficient of each joint set.

불연속면의 모형은 원판형(penny shape), 터널형(tunnel shape) 및 쐐기형(wedge shape)으로 나눌 수 있으며, 암석의 종류에 따라 형성된 불연속면의 3차원적 모형은 달라질 수 있다(Engelder, Fischer, and Gross, 1993; 정상원, 2000). 연구지역의 암석은 퇴적암에서 변성된 변성퇴적암의 일종으로서, 특히 퇴적암의 경우 터널형 모형의 불연속면이 형성되지만 이번 연구에서는 원판형의 모형을 사용하였다. 왜냐하면 정면적법을 이용하여 측정된 지역이 1 m×1 m로 소규모이며 따라서 절리의 모형이 터널형이라기 보다는 오히려 원판형에 더 근접할 수 있기 때문이다.

연구지역에서 정면적법을 이용한 특정 사면의 안정 분석을 위하여 그 사면의 물리적, 공학적 성질을 대표할 수 있는 3개 지점을 선정하였으며, 각 사면의 파괴유형을 해석함으로써 분석된 파괴 유형과 실제 사면에서

발생한 파괴 유형과의 연관성을 분석하였다.

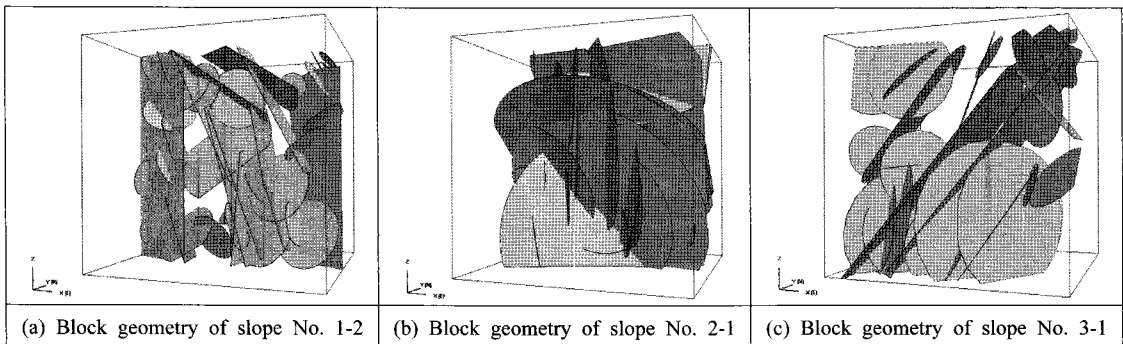
지형상 연구지점 3개 지점을 포함한 지방도로(Fig. 1)는 앞서 언급하였듯이 북동-남서 방향이며 이 방향성은 광역적 습곡구조의 습곡축의 방향성과 일치한다. 또한 광역적으로 지층의 주향은 북동 방향이며 경사방향은 북서 방향으로 사면의 방향과 매우 유사하다.

연구지점 1은 습곡구조는 존재하지 않지만 사면의 경사방향과 층리의 경사방향이 북서방향으로 서로 일치하며(Fig. 3), 미약한 파랑벽개는 관찰되었으며 층리를 따라 박층으로 쪼개지는 특성(bedding fissility)을 갖는 세립질 또는 극세립질의 셰일과 천매암으로 구성된다. 연구지점 1의 사면 1-2의 경우 사면의 경사에 비해 절리군 1이 고각으로 경사하여 심한 전도파괴가 일어난 것으로 분석되었으며 절리군 1과 2가 서로 교차하여 쐐기파괴가 일어난 것으로 분석되었다. 평면파괴는 발생하지 않는 것으로 분석되었으나(Fig. 10(a)) 실제 노두에서 미약한 평면파괴가 일어난 사실을 관찰하였다(Table 4). 이러한 사실은 앞서 설명한 층리구조가 장기간 지표에 노출되어 얇은 평면으로 쪼개진 현상이며 또한 연구지역의 암석이 입자가 매우 작은 세일 또는 천매암으로 구성되어 층리면의 표면 거칠기가 입자가 큰 암석과는 달리 매우 작은 값을 갖게 되어 일어난 현상으로 판단된다. 분석결과 사면 1-2지점은 쐐기파괴와 전도파괴가 발생할 가능성이 매우 높은 지역이지만 야외조사시 전도파괴의 양상은 발생하지 않았으며 이는 전체 사면의 높이가 약 3-4 m 정도의 낮은 지역이므로 전도파괴의 발생 소지가 적은 편이다(Fig. 11(a)).

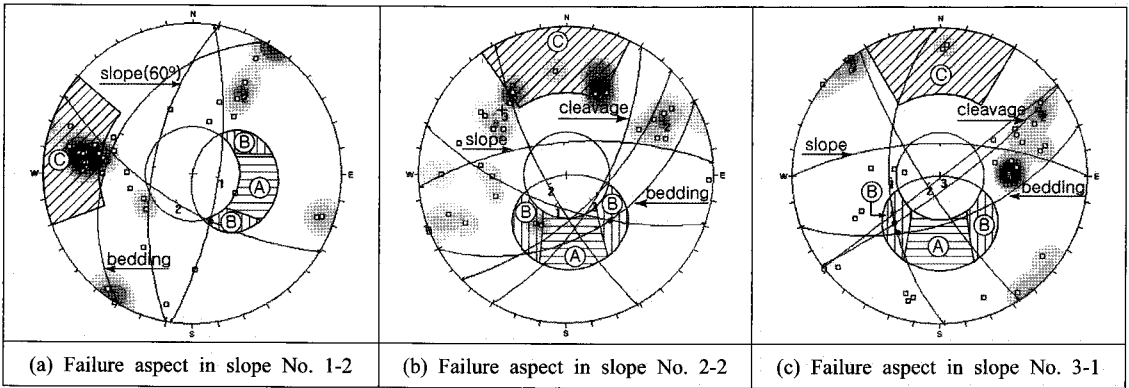
연구지점 2는 향사습곡구조의 왼쪽 날개부(Fig. 3)에 위치하는 사면으로 파랑벽개와 층리 및 사면의 방향성이 서로 교차하며 세립질의 천매암과 운모편암 및 탄질물을 함유한 셰일로 구성된 지점이다. 연구지점 2의 사면 2-2의 파괴양상은 평면파괴, 쐐기파괴, 전도파괴가 모두 일어날 가능성이 있으며 특히 절리군 1에 의한 전

**Table 3.** Uniaxial compressive strength of each plane calculated on the basis of Schmidt hammer rebound values (J1, J2, J3, and B1 indicate major joint sets and bedding planes, respectively).

Slope No.	Orientation of planes (dip/dip direction)		Uniaxial compressive strength (MPa)
Site 1	J1	85°/010°	56.6
	J2	85°/085°	58.1
	J3	80°/195°	53.3
	B1	35°/305°	40.7
Site 2	J1	45°/340°	140.7
	J2	85°/235°	157.7
	B1	60°/150°	103.4
Site 3	J1	80°/220°	100.2
	J2	55°/085°	101.3
	J3	65°/170°	101.8
	B1	60°/330°	69.2



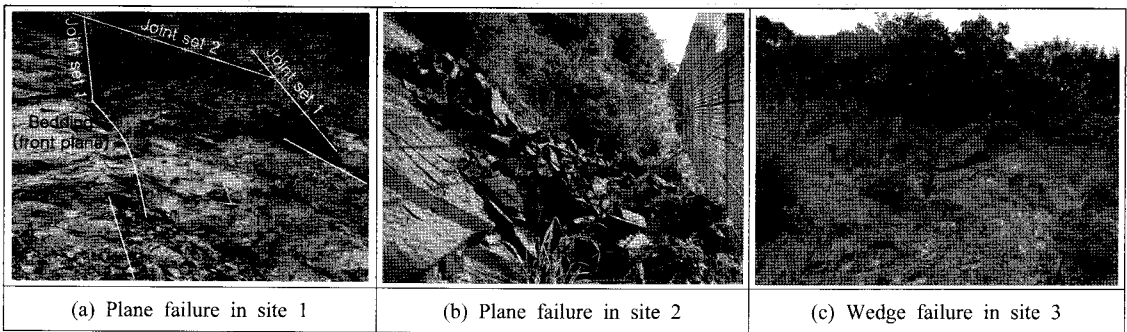
**Fig. 9.** 3-D block geometry generated by FracworksXP (see Fig. 1 and Table 1 for the site numbers).



**Fig. 10.** Failure aspects of three different regions of the study area by using square-inventory method (region (A): wedge failure; region (A)+(B): plane failure; region (C): toppling failure). See Table 1 for the relationship among orientations of the slopes, bedding planes, crenulation cleavages and joint sets.

**Table 4.** Results of slope stability analysis in three locations.

Slope No.	Types of possible failure by analysis	Result of observation	Remark related to geologic structure
Slope 1-2	Wedge and toppling	Plane and toppling	1. Plane failure due to bedding fissility. 2. No toppling failure possibly due to low height of the slope.
Slope 2-2	Plane, wedge, and toppling	Plane, wedge, and toppling	1. High possibility of plane failure due to thin coal material parallel to bedding. 2. Wedge failure due to intersection between J1 and bedding.
Slope 3-1	Wedge and toppling	Wedge and toppling	1. High possibility due to intersection among J1, J3, cleavage and bedding affected by local folds. 2. Weak possibility of toppling and no plane failure.



**Fig. 11.** Outcrop photographs showing different failure aspects.

도파괴가 발생할 빈도가 매우 높은 것으로 판단된다 (Fig. 10(b)). 또한 절리군 1과 층리구조와 교차로 인하여 썩기파괴가 발생할 가능성이 있는 것으로 분석되었으며 실제 모든 종류의 파괴양상이 노두상에서 관찰되었다(Table 4 and Fig. 11(b)). 연구지점 2의 현장 노두상에서 특히 평면파괴가 발생한 곳이 다수 관찰되었으며 이는 다른 지역에서보다 층리구조의 방향성이 매우 일정하며 층리면을 따른 표면거칠기가 매우 낮고, 암석

내에 박층의 석탄 물질이 첨가되어 층리면을 따라 평면 파괴의 가능성을 높게 한 원인이 되었다.

연구지점 3은 광역적으로 향사습곡구조의 오른쪽 날개부에 해당되는 사면(Fig. 3)이며 지역적으로 기생습곡을 형성하여 지층의 주향과 경사방향의 변화가 심하다. 파랑벽개와 층리 및 사면이 서로 교차하며 흑색 점판암, 사질 셰일 및 천매암 등의 세립질 암석으로 구성된다. 연구지점 3의 사면 3-1의 경우 평면파괴 양상은

발생할 가능성이 없으며 또한 전도파괴가 발생할 가능성이 미약한 편이다. 하지만 이 사면에서 절리군 1은 절리군 3, 파랑벽개, 그리고 층리구조의 서로 교차하므로 켜기파괴의 가능성이 매우 큰 것으로 분석되었다(Fig. 10(c)). 앞서 언급한 현미경적 미구조에서 논의하였듯이 이 지점에서 켜기파괴의 양상은 파랑벽개와 절리군 1과의 교차에 의해서도 야기될 수 있음을 보여준다. 야외 노두상에서 평면파괴와 전도파괴로 인한 미약한 붕괴가 있었으며, 규모가 큰 켜기파괴가 발생되었음이 관찰되었다(Table 4 and Fig. 11(c)). 연구지점 3에서는 층리구조의 경사가 55-72°로 다른 지역에서보다 급경사하고 있으며 경사 방향성도 남동과 북서방향으로 서로 달리 경사한다. 이와 같은 현상은 이 지역의 암석이 습곡구조에 의해 형성되었음을 나타내며 따라서 층리의 경사 각도가 습곡구조의 위치에 따라 변할 수 있음을 의미한다. 그러므로 사면의 안정성은 습곡축 또는 경사방향 및 경사각도 등과 같은 지질구조의 방향성에 따라 다른 파괴 양상을 보여준다.

Table 4는 사면의 파괴유형 분석에 의한 결과와 실제 사면에서 발생한 파괴유형의 결과를 비교하였으며 서로 매우 유사한 결과를 보여준다. 하지만 각 연구지점에서 습곡구조와 벽개 및 층리 등 지질구조의 영향과 암석의 특성에 기인하여 특정한 파괴유형이 우세하게 나타나거나 또는 나타나지 않을 수도 있음을 시사한다.

## 6. 결 론

연구지역의 암석은 주성분 광물이 극세립질의 석영과 견운모로 구성된 천매암으로서 미약한 변성작용을 받아 층리구조(또는 편리구조)와 파랑벽개가 잘 발달된 면구조 형성한다. 이러한 변성퇴적암에서는 광물의 종류와 입자의 크기, 면구조와 사면의 방향성과의 상관관계가 암석의 공학적 특성에 영향을 끼치며 사면의 파괴 유형에 또 다른 정보를 제공한다.

지형상 3개 연구지점을 포함한 지방도로는 북동-남서 방향이며 이 방향성은 광역적 습곡구조의 습곡축의 방향성과 일치한다. 광역적으로 지층의 주향은 북동 방향이며 경사방향은 북서 방향으로 사면의 방향과 매우 유사하다.

연구지역은 광역적 습곡작용을 받아 동일한 지층이 서로 반복적으로 나타나며 대체로 북동-남서 방향의 습곡축을 형성한다. 따라서 층리구조의 방향성은 습곡 부위에 따라 다른 경사방향을 보여주며 연구지점 1에서는 경사와 경사방향의 측정시 각각 31-46°/295-310°, 연구지점 2에서는 45-48°/150-151°와 연구지점 3에서는 소

규모의 기생습곡에 의하여 경사 방향이 반대로 나타난다. 파랑벽개의 존재 역시 암석마다 발달 정도의 차이는 있으나 대부분 지역에서 잘 관찰되며 주향 방향은 다양하지만 62-85°의 고경사로 층리구조와 서로 교차한다. 절리구조의 방향성 역시 측정지역마다 다르게 나타나지만 동일한 지역에서는 평사투영망에 투영한 결과 2 또는 3방향성의 최대집중군으로 형성된다.

암석의 공학적 특성에서 불연속면의 표면 거칠기는 2-8의 범위를 나타내며 경험식을 이용하여 계산된 내부 마찰각은 31-35°의 범위를 갖는다. 또한 절리의 밀도 범위는 7.4-17.5(m/m<sup>2</sup>)로 측정지역에 관계없이 대체로 일정한 편이다. 슈미트해머의 반발값을 이용하여 계산된 암석의 일축압축강도는 연구지점 1에서 절리면의 경우 53.3-58.1 MPa이며 층리면의 경우 40.7 MPa이다. 연구지점 2에서 절리면의 경우 140.7-157.7 MPa, 층리면의 경우 103.4 MPa이며, 연구지점 3에서는 절리의 경우 100.2-101.8 MPa, 층리면의 경우 69.2 MPa로 계산되었다. 층리(또는 편리)면의 압축강도는 절리의 일축압축강도보다 약 10-50 MPa 정도 낮은 값을 갖는다.

정면적법을 이용한 사면의 안정성분석에서 연구지점 3곳 모두에서 전도파괴와 켜기파괴의 가능성이 매우 높은 것으로 분석되었으며 또한 연구지점 2의 경우 평면파괴의 가능성은 미약한 것으로 분석되었으나 실제 현장의 노두에서는 평면파괴가 발생한 곳이 다수 관찰되었다. 이는 다른 지역에서보다 층리구조의 방향성이 매우 일정하며 층리면을 따른 표면거칠기가 매우 낮고, 암석 내에 박층의 석탄 물질이 첨가되어 층리면을 따라 평면 파괴의 가능성을 높게 한 원인으로 판단된다. 이러한 사실은 정면적법을 이용하여 불연속면의 특성을 연구하고 이를 사면안정 분석에 적용한 결과가 실제 사면에서 발생한 파괴유형과 잘 일치하기 때문에 사면파괴의 예측에 도움을 줄 수 있다고 확신한다.

변성퇴적암에서는 화성암과는 달리 대부분 습곡구조가 존재하고 또한 불연속면 구조인 층리구조(또는 편리구조)와 벽개구조가 공존하며 그리고 사면의 위치가 습곡구조의 부위에 따라 사면의 파괴유형이 달라지기 때문에 사면 안정성 분석에서 절리구조와 더불어 반드시 고려해야 할 중요한 요소이다.

## 사 사

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝힌다. 본 연구를 위해 야외조사 기간 동안 무더운 날씨에도 불구하고 야외조사에 도움을 준 충북대학교 사범대학 과학교육학

부 대학원생에게 감사드리며 또한 세심한 조언과 지적을 해주신 익명의 심사위원께도 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 이연희, 정영국, 박혁진, 이사로, 장범수, 전귀현, 2003, GIS를 이용한 공간자료 적용 및 무한 사면의 안정성 해석 기법 적용 검증: 보은지역을 중심으로, 대한지질공학회 정기총회 및 학술발표회, 153-158.
- 이종혁, 이민성, 박봉순, 1980, 한국지질도, 미원도폭, 1:50,000, 자원개발연구소, 29p.
- 이지수, 박혁진, 민경덕, 구호본, 2001, 불연속면의 특성을 고려한 보은지역 암반사면 안정성 해석, 자원환경지질, v. 34, 601-615.
- 정상원, 2000, 지구환경과학 I, 암석의 균열과 응력, 204-218.
- 최병렬, 1998, 지하수 유로조사를 위한 절리계의 응용지질학적 분석, 대한지질공학회, v. 8, 131-143.
- 최병렬, 2000, 보은지역의 지형분석, 충북대학교 과학교육연구소, 49-55.
- 최병렬, 2001, 탄성파를 이용한 보은지역 암석의 공학적 성질과 이방성에 관한 연구, 대한지질공학회, v. 11, 215-227.
- 최재원, 이사로, 민경덕, 우익, 2004, 지리정보시스템(GIS) 및 베이지안 확률기법을 이용한 보은지역의 산사태 취약성도 작성 및 검증, 자원환경지질, v. 37, 207-223.
- Barton, N. R. and Chouby, V., 1977, The shear strength of rock joints in theory and practice, Rock Mechanics, v. 10, 1-54.
- Cheong, S. W. and Lee, C. Z., 1998, The rock mass rating(RMR) with joint spacing and its relation to slope stability, Jour. Korean Earth Science Society, v. 19, 641-648.
- Davis, G. H. and Reynolds, S. J., 1996, Structural Geology of Rocks and Geology, 2nd edn. John and Wiley and Sons, 776p.
- Engelder, T., Fischer, M. P. and Gross, M. R., 1993, Geological Aspects of Fracture Mechanics, Geological Society of America, A Short Course Manual, 281p.
- Hoek, E., 1998, Rock engineering course notes, Evert Hoek Consulting, 313p.
- Hoek, E. and Bray. J. W., 1981, Rock slope engineering, 3rd edn. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 402p.
- ISRM, 1981, International Sciences of Rock Mechanics.
- Priest, S. D., 1993, Discontinuity analysis for rock engineering, 1st edn. Chapman and Hall, 473p.

### 최 병 렬



1968년 서울대학교 문리과대학 지질학과 이학사  
 1970년 서울대학교 대학원 지질학과 이학석사  
 1980년 고려대학교 대학원 지질학과 이학박사  
 Tel: 043-261-2735  
 E-mail: choibr@cbu.ac.kr  
 현재 충북대학교 사범대학 과학교육학부 교수

### 정 상 원



1985년 서울대학교 자연과학대학 지질학과 이학사  
 1987년 서울대학교 자연과학대학 대학원 지질학과 이학석사  
 1999년 미국 네바다 주립대학교 대학원 지질학과 이학박사  
 Tel: 011-9844-1265  
 E-mail: cheong1@dreamwiz.com  
 현재 충북대학교 사범대학 과학교육학부 강사