

## 세일지반에서 사면붕괴 사례연구

김 용준, 김 선기, 김 주화 (대림산업(주))

### 1. 서론

경상분지에 위치한 지층은 주로 중생대 백악기에서 신생대 제 3기에 형성된 암반층으로 층리와 절리가 잘 발달되어 있는 셰일(shale), 이암(mudstone), 실트스톤(siltstone), 사암(sandstone), 역암(conglomerate) 등의 퇴적암류로 대부분 구성되어 있다. 그리고 퇴적환경에 따라 형성된 층리면과 같은 지층구조와 풍화에 대한 내구성 등에 의해 공학적 특성이 화성암이나 변성암과는 다소 차이가 있다. 퇴적암중 셰일로 이루어진 사면은 인장절리와 수축절리의 간격(spacing)이 조밀하게 잘 발달되어 있으며 대기에 노출시 빠른 시간에 풍화를 받는다. 그리고 암석의 강도는 층리 방향에 따라서 큰 차이를 나타내고 있다. 또한 중생대 경상누층군과 같이 역암, 사암, 셰일 등이 호층을 이루고 있는 경우는 셰일의 풍화가 진행된 후 층리면에 점토층이 충전된 경우가 빈번하여 사면의 붕괴가 자주 발생하여 이들에 대한 특성규명이 요구된다.

이와 관련하여, 본 연구에서는 셰일로 구성된 사면에서 셰일의 풍화에 의해 형성된 점토층을 따라 파괴가 발생한 사면에 대해서 파괴사례를 규명하고, 절리가 조밀한 암반에서 암반의 안정성을 Hoek & Brown의 파괴규준을 이용하여 암반등급별 지반정수 산정사례를 나타내었다.

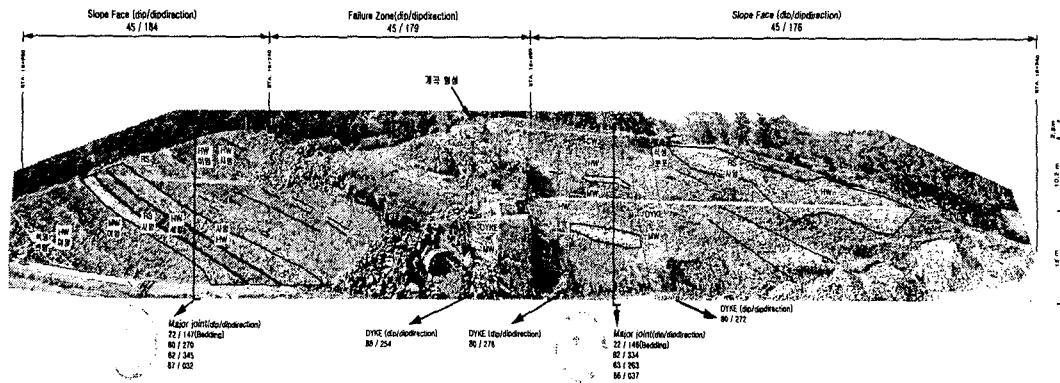
### 2. 사면현황

대상사면은 주로 적색 셰일과 사암이 호층을 이루고 있으며, 국부적으로 풍화도가 높은 이암층이 존재한다. 그리고 3 ~ 5m 폭으로 관입된 암맥(dyke)이 존재하며, 수직 절리면 내에 2~5mm 두께의 방해석이 존재한다. 당초 본 절취사면은 표준횡단면도에 의해 발파암의 사면구배 1 : 0.5로 계획되었으나, 시공중 사면에서 발달한 지질구조 특성에 의해서 사면구배가 1 : 1.0으로 완화되었다. 그 후 집중호우시 사면 내 발달한 층리면(dip 20°)을 따라 사면 중앙부에서 대규모의 평면파괴가 발생하였다.

본 사면의 총 연장은 280m로써 붕괴가 발생한 구간은 Sta. 16+740 ~ Sta. 16+780(L = 40m)이다. 사면의 방향은 N86E/45SW이며 사면내 발달한 층리의 방향성은 N57E/20SE이다. 그리고 층리의 연장성은 매우 좋으며, 사면에서 발달하고 있는 불연속면은 4개의 군으로 나뉘어진다.

본 사면은 적색 셰일과 사암이 호층을 이루며 그 층상이 비교적 뚜렷하며, 사면 전반에 걸쳐 풍화도가 높은 이암층이 존재한다. 그리고 본 사면의 1단 소단 상부는 풍화가 매우 심하

고 절리면의 간격이 매우 조밀하다. 또한 세일과 사암의 차별풍화에 의해 사면내 여러 곳에



<그림 1> 사면현황

서 토사가 나타난다. 그리고 사면내 관입된 암맥은 보통 정도의 풍화를 나타내고 있으며, 그 경계면을 따라 지하수 누수 흔적과 상당한 두께의 충전물이 나타난다. 붕괴된 영역에서 사면파괴는 선단에서 발생하였으며, 사면상부에는 약 15m 깊이의 인장균열이 발달해 있으며, 사면 뒤쪽에 계곡이 존재하였다. 그리고 붕괴된 암괴의 우측에 발달하고 있는 85/264(dip/dipdirection)의 수직 절리에 의해서 블록의 파괴가 발생하였다. 사면 좌측부는 층리면을 따라 미끄러진 흔적이 잘 나타난다.

그리고 사면의 좌측 하단부에는 토사로 풍화한 사암이 40~60cm 두께로 사면 내에 존재하며, 사면 우측 하단부에도 상당히 풍화한 연약대가 존재한다. 그리고 사면 상부는 절리의 간격이 20~30cm로 조밀하며, 풍화도가 매우 높아서 낙석형태의 붕괴나 원호형태의 붕괴가 발생할 우려가 있는 것으로 나타났다. 그리고 암맥 주변부의 풍화정도로 보아 지표수 유입 통로가 형성되어 있는 것으로 판단된다.

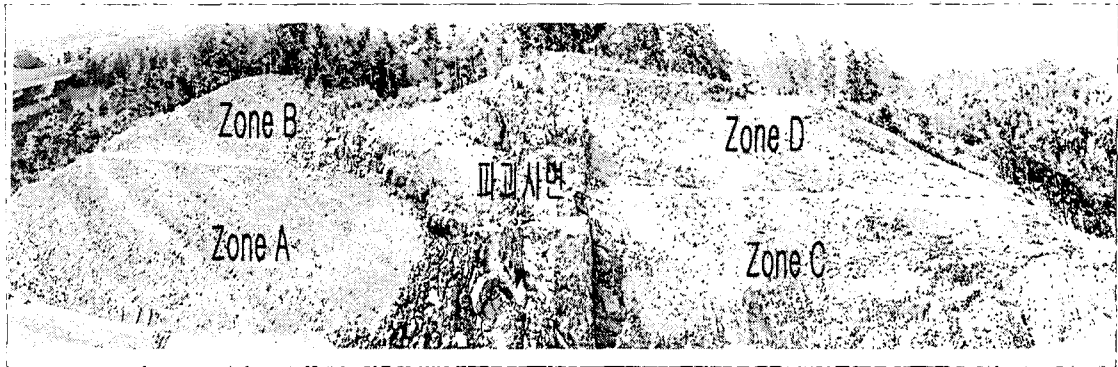
이에 본 사면을 붕괴된 지역을 중심으로 좌측과 우측으로 구분하고, 풍화정도가 다른 사면 상부와 하부를 구분하여 5개의 Zone으로 구역화하고 사면의 암반의 특성, 주요 구조선 및 사면 방향성 등의 지질조사를 실시하였으며, 그 결과를 <그림 1>에 나타내었다.

### 3. 암반분류 및 지반정수 산정

#### 3.1 실내시험

대상사면의 시험위치는 <그림 2>에서 보는바와 같이 A, B, C, D의 네 개의 구역과 파괴 사면으로 나누었으며, 각 구역별 사암과 세일, 파괴사면의 세일과 Dyke를 중심으로 시험을 실시하였다.

대상암석시료에 대해 실시한 물리적, 역학적 시험결과는 <표 1>에서 <표 3>에 나타내었다. 본 과업의 대상사면의 대표적 위치에서 채취된 암석시료에 대한 물리, 역학적 시험의 결과는 세일의 단위중량은 2.53~2.67(t/m<sup>3</sup>)이고 흡수율이 1.45~2.02%의 범위를 나타내었다. 그리고 사암은 단위중량이 2.15~2.51(t/m<sup>3</sup>)이고 흡수율이 2.17~7.14%를 나타내어 세일보다 높은 값을 나타내었다. 그리고 사면 우측부가 사면 좌측부에 비해서 흡수율이 다



<그림 2> 각 구역별 시험위치

소 크며, 점재하 강도가 다소 낮게 나타나서 풍화도가 높은 것으로 판단된다. 파괴사면에서의 채취한 블록시료에서 삼축압축시험 결과를 <표 3>에 나타내었다. 그리고 현장에서 세일의 층리면을 따라 채취한 불연속면에 대해서 현장에 분포한 두께(2cm)로 성형한 뒤 실시한 절리면 전단시험 결과에 의하면 충전된 절리면에서  $c=0.13\text{kg/cm}^2$ ,  $\phi=22.2^\circ$  를 나타내어 충전되지 않은 절리면 전단시험 결과에 비해 낮은 전단강도 값을 나타내었다.

<표 1> 세일의 시험결과

Zone		단위중량 ( $\text{t/m}^3$ )	흡수율 (%)	함수비 (%)	$I_{s50}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$I_{s50} \times 24$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	비고
좌측사면	상부	2.64	1.27	0.72	14.83	355.8	
	하부	2.67	1.45	0.85	9.04	217.01	
우측사면	상부	2.58	1.91	1.21	12.04	289.1	
	하부	2.53	2.02	1.30	8.26	198.2	

<표 2> 사암의 시험결과

Zone		단위중량 ( $\text{t/m}^3$ )	흡수율 (%)	함수비 (%)	$I_{s50}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$I_{s50} \times 24$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	비고
사면좌측	상부	2.46	2.77	0.74	29.0	696.0	
	하부	2.51	2.17	0.53	37.08	889.86	
사면우측	상부	2.15	7.14	0.96	21.26	510.2	
	하부	2.25	5.52	0.89	17.28	414.7	

<표 3> 파괴사면에서의 시험결과

Zone	암석명	일축압축 강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )	삼축압축시험		절리면전단시험			
			c ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	충전안된 절리면		충전된 절리면	
					c ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	c ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )
파괴사면	Shale	972.3	150	40.3	0.69	36.1	0.13	22.2
	Dyke	1591.4	290	54.0	-	-	-	-

### 3.2 암반분류

조사지역에 분포하는 암반층의 공학적인 특성을 정성적으로 분류하기 위하여 암석 및 암반의 강도를 구역화 한 후, Bieniawski(1979)의 기본 RMR분류법을 적용하여 암반의 특성을 나타내었다. Bieniawski(1979)의 RMR 분류법은 무결암의 일축압축강도, RQD, 절리간격, 절리상태, 지하수 상태 5가지 요소를 고려하는 것으로써, 절리면의 상태에 관한 등급에서는 각각의 불연속면군에 대한 평균값을 사용하게 하였으나, 본 과업에서는 각 Zone별 거동발생 유발 불연속면의 절리상태를 중점적으로 고려하여 분류되었다.

본 대상사면의 기본 RMR분류 결과는 <표 4>에 나타내었다. 그리고 RQD는 시추조사에서 얻어지는 코아시료에 대해서 산정되지만, 본 과업에서는 시추조사를 하지 않아서 Palmstrom(1982)이 제안한 단위체적당 불연속면의 수로부터 RQD를 산정하는 방법을 사용하였으며, 그 관계식은 아래 식(1)에 나타내었다.

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad (1)$$

$J_v$  : 단위 체적당 불연속면의 전체수

<표 4> 각 구역별 RMR 분류

		$I_{s(50)}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	R.Q.D (%)	간격 (mm)	불연속면 상태					지하수	RMR 등급
					연속성	틈	거칠기	충전물	풍화도		
A 사면좌측 하부	Value	9.04	33.8	300	10 ~ 20m	0.1 ~ 1.0mm	Smooth	Hard filling > 5mm	MW	Damp	41
	Rating	4	7	9	1	4	1	2	3	10	
B 사면좌측 상부	Value	14.83	23.9	150	> 20m	1 ~ 5mm	Smooth	Soft filling > 5mm	HW	Wet	26
	Rating	4	5	7	0	1	1	0	1	7	
C 사면우측 하부	Value	8.26	30.5	280	10 ~ 20m	0.1 ~ 1mm	Smooth	Hard filling > 5mm	MW	Damp	39
	Rating	3	6	9	1	4	1	2	3	10	
D 사면우측 상부	Value	12.04	20.6	150	> 20m	1 ~ 5mm	Smooth	Soft filling > 5mm	HW	Wet	26
	Rating	4	5	7	0	1	1	0	1	7	

### 3.2 암반의 강도정수

Hoek와 Brown(1980)은 Griffith이론에 개념적 기초를 둔 경험적 파괴규준을 제시하였다. 실제로 절리 또는 부서진 암석을 포함한 암석강도의 넓은 범위를 맞추기 위해서 시험과 오차의 결과에서 유도하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \sigma_c \sigma_3 + s \sigma_c^2} \quad (2)$$

여기서,  $\sigma_1$ 는 파괴시 최대주응력이고,  $\sigma_3$ 는 암석에 작용하는 최소주응력이다.  $\sigma_c$ 는 무결합 암석의 일축압축강도이고,  $m$ 은 내부마찰각, 구성입자의 결합성등에 의하여 좌우되는 상수이며,  $s$ 는 응력을 가하기 전의 시험편의 파손상태로 인한 인장강도에의 영향에 좌우되는 상수이다.

Balmer(1952)는 파괴면상에 작용하는  $\tau$  와 등방성 암석의 파괴시의 주응력들간의 일반적인 관계를 Mohr원에 대한 식으로부터 식 (3)과 같이 유도하였다.

$$\left[ \sigma - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \right]^2 + \tau^2 = \frac{1}{4}(\sigma_1 - \sigma_3)^2 \quad (3)$$

식 (2)와 (3)을 이용하여 각각의 암석의 파괴시의  $\sigma_1$ 과  $\sigma_3$ 를 이용하여 Mohr 원을 작도할 수 있다. 그러나 어느 특정한 수준의 응력에서의 전단강도 계산에는 불편하므로 식 (4)와 같이 규준화하여 나타낼 수 있다.

$$\frac{\tau}{\sigma_c} = A \left( \frac{\sigma}{\sigma_c} - \frac{\sigma_t}{\sigma_c} \right)^B \quad (4)$$

여기서 A, B는 log 축의  $(\tau/\sigma_c) - (\sigma/\sigma_c - \sigma_t/\sigma_c)$ 관계에서 각각 절편과 기울기이다. 그리고 어떤 특정한 수준의 연직응력에서의 마찰각과 점착력은 각각 식 (5), (6)에 의해 산정된다.

$$\tan \phi_i = AB \left( \frac{\sigma}{\sigma_c} - \frac{\sigma_t}{\sigma_c} \right)^{B-1} \quad (5)$$

$$c_i = \tau - \sigma \tan \phi_i \quad (6)$$

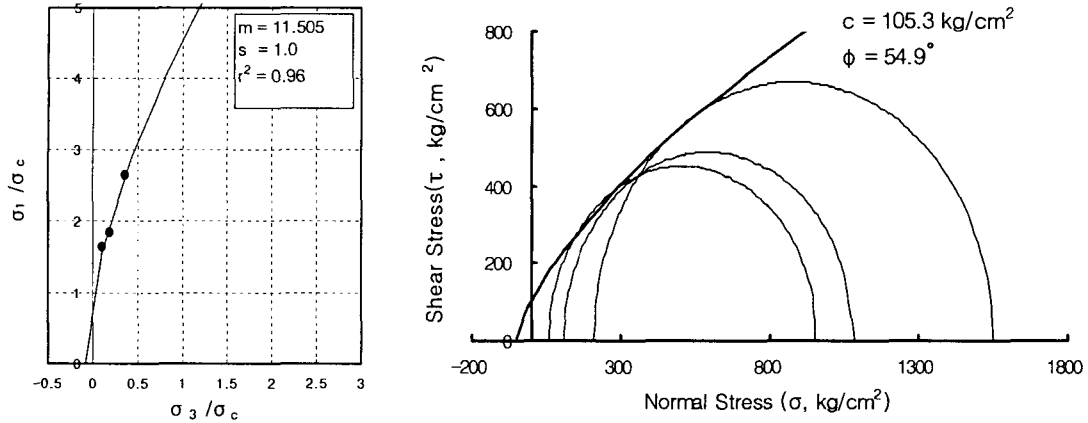
Hoke & Brown(1980)은 Bieniawski(1974)가 제안한 RMR과 노르웨이 지반공학연구소(NGI)에서 Barton et al.(1974)이 분류한 Q-system 이용하여 Panguna 안산암의 각 단계별 시료의 상태에 대한 암반분류적인 입장에서 평점을 상세히 기록하고 삼축압축시험 결과를 이용하여 암반등급에 따른  $m$ ,  $s$ 값을 산정하는 식을 아래에 나타내었다.

$$m = m_i \exp\left(\frac{RMR - 100}{14I_m}\right) \quad (7)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR - 100}{6I_s}\right) \quad (8)$$

여기서,  $m_i$ 는 무결합 암석에 대한  $m$ 값이다.(RMR=100) 그리고  $I_m$ 은 불교란 상태일 때

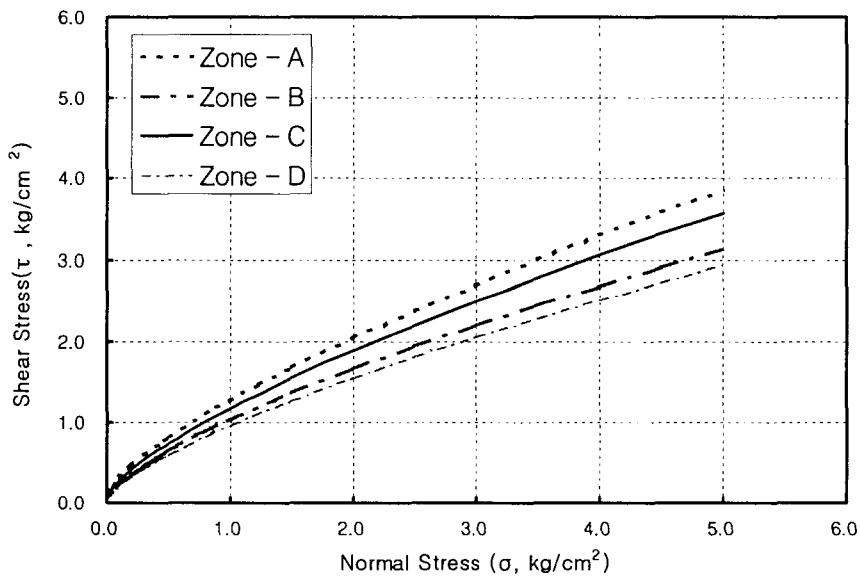
2이고 교란상태일 때는 1이며,  $I_s$ 는 불교란상태일 때는 1.5이고 교란상태일 때는 1인 상수이다. 본 대상 암석에 대한 삼축압축시험 결과로부터 산정된 Hoek & Brown의 파라미터와 암석의 파괴포락선은 <그림 3>에 나타내었다. 그리고 본 사면의 구역별 RMR 등급에 따른 암반의 강도정수는 <표 5>와 같으며 이때 파괴포락선은 <그림 4>에 나타내었다.



<그림 3> Hoek & Brown의 파괴기준에 의한 세일의 m, s 값 및 파괴포락선

<표 5> Zone별 암반의 강도정수

Slope	Zone	$\sigma_c (I_{s(50)} \times 17)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	RMR (%)	parameter		Shear Strength	
				m	s	c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
좌측사면	A	153.7	41	0.170	5.4E-5	0.21	38.5
	B	252.1	26	0.058	4.4E-6	0.17	35.3
우측사면	C	140.4	39	0.147	3.8E-5	0.2	37.3
	D	204.7	26	0.058	4.4E-6	0.15	34.2



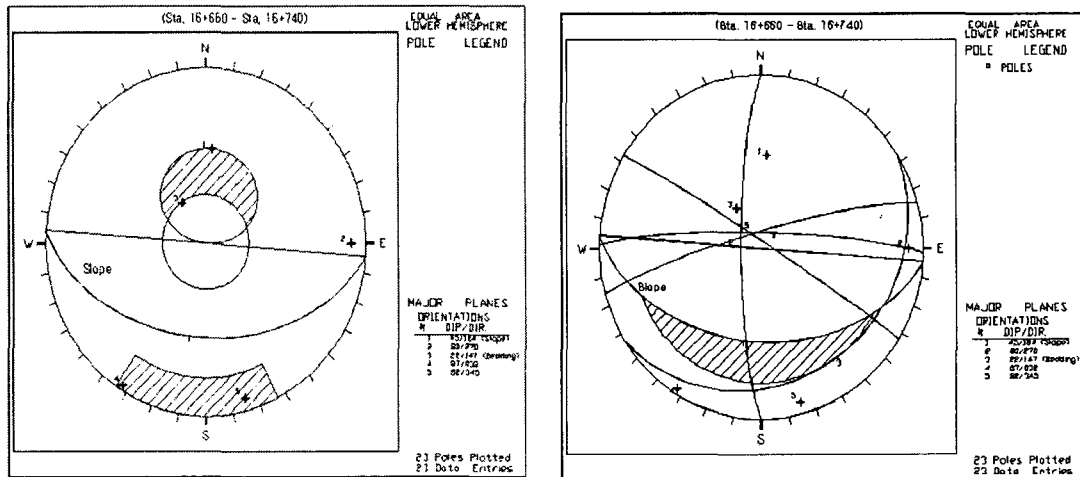
<그림 4> 구역별 암반의 파괴포락선

## 4. 안정성 해석

### 4.1 평사투영해석

암반사면의 안정성을 평가하기 위하여, 사면의 방향성, 불연속면의 방향성, 불연속면의 마찰각을 이용하여 평사투영방법(stereo graphic method)을 이용하여 각각의 사면의 안정성을 평가하였다. 본 해석에서는 시각적인 효과를 높이기 위하여 평면파괴와 전도파괴에는 극점법을 사용하고 썩기파괴에는 대원법을 이용하여 각각의 사면에 대하여 파괴 가능성을 살펴보았다. 그리고 절리면의 마찰각은 충전된 절리면의 전단시험에서 얻은  $22^\circ$  를 사용하였다.

평사투영 해석결과 사면내 4개의 절리군이 발달한 것으로 나타났으며, 다. <그림 5>에 나타나는 주절리군인 층리면에 의해 평면파괴가 발생할 가능성이 있는 것으로 나타났으며 썩기파괴 가능성은 거의 없는 것으로 나타났다.



<그림 5> 평면, 전도, 썩기파괴 평사투영도

### 4.2 SMR에 의한 안정성 평가

SMR(Slope Mass Rating)에 의한 암반사면 분류법은 암반사면의 안정성을 정성적으로 평가하는 방법으로서, 암반분류에 널리 사용되는 Bieniawski(1979)의 RMR(Rock Mass Rating)과 불연속면의 경사와 방향성 및 사면과 관련된 요소들로 보정하는 방법으로 Romana에 의해 제시되었다. Romana(1985)는 암반사면의 안정성을 정의하는데 암반분류법을 적용하는데 큰 기여를 하였다. 그는 현장 자료를 근거로 한 RMR 분류법에 불연속면의 방향성에 따른 등급조정을 하는 계수접근법을 개발하였다. Romana가 중점을 둔 것은 암반사면의 안정성은 불연속면의 거동에 영향을 받는데 비하여, Bieniawski(1979)에 의한 기본 RMR분류법은 절리 방향성에 대해서 분명한 지침이 없다는 점이다. 이에 RMR 분류법에 불연속면의 방향에 대한 새로운 보정계수를 제안하고 굴착방법에 따른 보정계수를 추가하여 나타낸 접근법은 매우 연약하거나 절리가 매우 심한 암반에서 사면의 안정성을 예비

적으로 평가하는데 적절한 것으로 평가되고 있다.

대상사면에 대한 SMR에 의한 안정성 평가결과는 <표 6>에 나타내었다. 그 결과에 의하면 사면 상부는 IV등급에 해당하여 불안정한 상태이며 평면파괴나 큰 썩기형 파괴가 일어날 수 있으며, 보완대책을 수립해야 할 것으로 나타났다. 사면하부는 III등급을 나타내어 부분적으로 안정한 것으로 나타났으며, 정확한 해석에 의한 보완조치가 강구되어야 할 것으로 나타났다.

<표 6> SMR에 의한 안정성 평가

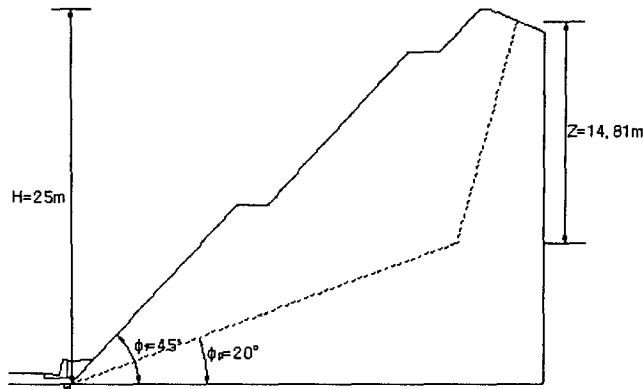
좌측 사면	계수값 산정	$F_1 = P/T$	$P =  \alpha_j - \alpha_s $ $T =  \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	$P =  147 - 184  = 37$ $T =  146 - 176 - 180^\circ  = 217$	$P/T = 0.17$	0.17
		$F_2 = P \text{ or } T$	$P =  \beta_j $ $T = 1$	$P =  22  = 22$ $T = 1$	$P = 0.4 \text{ or } T = 1$	0.4
		$F_3 = P/T$	$P = \beta_j - \beta_s$ $T = \beta_j + \beta_s$	$P = 22 - 45 = -23$ $T = 22 + 45 = 67$	$P/T = -0.34$	-0.34
		$F_4$	(Smooth blasting)			
	하부	$SMR = RMR - (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 = 41 - (0.17 \times 0.4 \times -0.34) + 10 = 51$				
상부	$SMR = RMR - (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 = 26 - (0.17 \times 0.4 \times -0.34) + 10 = 36$					36
우측 사면	계수값 산정	$F_1 = P/T$	$P =  \alpha_j - \alpha_s $ $T =  \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	$P =  146 - 176  = 30$ $T =  146 - 176 - 180^\circ  = 210$	$P/T = 0.14$	0.14
		$F_2 = P \text{ or } T$	$P =  \beta_j $ $T = 1$	$P =  23  = 23$ $T = 1$	$P = 0.4 \text{ or } T = 1$	0.4
		$F_3 = P/T$	$P = \beta_j - \beta_s$ $T = \beta_j + \beta_s$	$P = 23 - 45 = -22$ $T = 23 + 45 = 68$	$P/T = -0.32$	-0.32
		$F_4$	(Smooth blasting)			
	하부	$SMR = RMR - (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 = 39 - (0.14 \times 0.4 \times -0.32) + 10 = 49$				
상부	$SMR = RMR - (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 = 26 - (0.17 \times 0.4 \times -0.34) + 10 = 36$					36

### 4.3 한계평형해석

붕괴된 사면의 파괴면은 사면선단에서 층리면을 따른 평면파괴와 사면 상부에 발달한 절리면의 경사를 고려하여 <그림 6>과 같이 선정하였다. 이러한 파괴단면은 현장조사에 의한 파괴단면과 거의 유사한 것으로 판단된다. 그리고 이 사면이 붕괴될때의 전단강도 값을 산정하기 위하여 절리면 전단시험에서 산정한 전단강도 값과 인장균열면 내에 지하수위 높이를 여러 가지로 가정하여 본 사면이 붕괴되었을 경우의 전단강도와 인장균열내 수위를 산정하였다. 붕괴된 사면에 대해서 해석한 사면의 해석결과를 <표 7>에 나타내었다.

역해석 결과에 의하면 사면 선단으로부터 발달한 층리면 내에 충전물이 없는 경우는 인장균열면 내의 수위가 최대인 경우도 안전율이 1.5를 상회하여 안정성에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 그러나 층리면에 충전재가 있는 경우는 인장균열 내의 수위가 인장균열 깊이의 절반 정도에서 안전율이 1.04을 나타내어 극한상태에 있는 것을 알 수 있다.





<그림 6> 붕괴된 사면의 역해석 단면

<표 7> 사면 상부의 인장균열에 의한 역해석 결과

절리면 상태	물의깊이 (Zw, m)	파괴면길이 (A, m <sup>2</sup> /m)	쌓기무게 (W, t/m)	부양력 (U, t/m)	물의힘 (V, t/m)	안전율 (F.S.)
충진된 상태	0	29.24	942.82	0	0	1.28
	7.41	29.24	942.82	109.64	27.45	1.04
	14.81	29.24	942.82	219.29	109.67	0.71
충진되지 않은 상태	0	29.24	942.82	0	0	2.64
	7.41	29.24	942.82	109.64	27.45	2.18
	14.81	29.24	942.82	219.29	109.67	1.54

본 사면에 대한 SMR 안정해석에 의하면 본 사면은 원호파괴의 가능성도 있는 것으로 판단되었다. 이에 본 사면의 좌측과 우측에 대하여 원호파괴에 대한 안정성을 검토하였다. 이때 우기시의 사면내의 간극수압의 영향을 고려하기 위하여 사면 상부에만 지표수가 침투하는 것으로 가정하고 사면 상부의 간극수압비( $r_u$ )를 0.3으로 산정하였다. 그리고 안정성 해석 결과는 <표 8>에 나타내었다. 해석결과에 의하면 사면상부는 우기시 원호파괴가 발생할 수 있는 것으로 나타났다.

<표 8> 파괴조건에 따른 원호파괴 해석결과

위치	파괴조건	안 전 율(Fs)	
		건기시	우기시( $r_u=0.3$ )
좌측사면 STA16+740	하부파괴	1.60	-
	상부파괴	1.54	1.04
	전체파괴	1.41	1.25
우측사면 STA16+840	하부파괴	1.59	-
	상부파괴	1.49	1.03
	전체파괴	1.39	1.24

## 5. 결론

세일로 구성된 사면에서 세일의 풍화에 의해 형성된 점토층을 따라 파괴가 발생한 붕괴 사례에 대한 고찰을 하고 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

### 1) 지질 및 암반의 특성

대상사면이 위치한 지역은 상부대동계의 칠곡층에 해당하고 사암, 세일, 이암이 주를 이루고 있다. 사면의 방향은 N86E/45SW이며 사면내 발달한 층리의 방향성은 N57E/20SE이다. 그리고 층리의 연장성은 매우 좋으며, 4개의 불연속군이 있는 것으로 나타났다. 또한 사면내 관입된 암맥은 보통 정도의 풍화를 나타내고 있으나 그 주변은 지표수 유입에 의해 풍화정도가 심하였다. 그리고 그 경계면을 따라 지하수 누수 흔적과 함께 풍화에 의해 형성된 점토층의 충전물이 존재하였다.

### 3) 붕괴원인

붕괴된 사면의 파괴면을 사면선단에서 층리면을 따른 평면파괴면과 사면 상부에 발달한 인장균열을 고려하여 역해석한 결과에 의하면 사면 선단으로부터 발달한 층리면 내에 충전물이 없는 경우는 인장균열면 내의 수위가 최대인 경우도 안전율이 1.5를 상회하여 안정성에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 그러나 층리면에 충전재가 있는 경우는 인장균열 내의 수위가 인장균열 깊이의 절반 정도에서 안전율이 1.04를 나타내어, 붕괴원인은 층리면을 따라 형성된 점토 충전재의 낮은 전단강도와 강우시 인장균열내 형성된 수압에 의해 붕괴가 발생한 것으로 판단된다.

### 4) 해석결과

사면의 경사방향과 유사하게 발달한 층리면을 따라 평면파괴가 발생할 우려가 있는 것으로 나타났으며, RMR 및 사면과 불연속면의 방향성을 고려한 SMR 평가에서도 불안정한 것으로 나타났다. 그리고 Hoek & Brown(1980)의 파괴규준과 암반등급에 따라 산정된 암반강도정수를 이용하여 원호파괴해석을 수행한 결과 붕괴우려가 있는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 이영휘, 김용준, 정강복(2002), "퇴적암의 공학적 특성 및 문제점", 한국지반공학회 암반역학위원회 학술세미나, pp 32-50
2. Bieniawski Z. T.(1979), "The Geomechanics Classification in Rock Engineering Application", Proc. 4th Int. Congr. Rock Mech., ISRM, Montrteux, Vol. 2, pp. 51-58
3. Hoek, E. and Brown, E. T. (1980), Empirical strength criterion for rock masses, J. Geotech. Engng Div. ASCE 106(GT9), pp. 1023-1035.
4. Romana, M.(1985), "New Adjustment Rating for Application of the Bieniawski Classification to Slope", Proc. Int. Syum. Rock Mech. Min. Civ. Works, ISRM, Zacatecas, Mexico, pp. 59-63.