

## 보령댐 절취사면의 암반평가 및 평사투영법에 의한 사면안정성 연구

鮮于椿<sup>1)</sup> · 韓恐昌<sup>1)</sup> · 鄭小杰<sup>1)</sup> · 申僖淳<sup>1)</sup>

### Rock mass classification and Slope stability using the streonet analysis technique in Boryung Dam site

Choon Sunwoo, Kong-Chang Han, So-Keul Chung & Hee-Soon Shin

**ABSTRACT** The stability study on the rock slope where have produced failures in Boryung dam site was evaluated using the streonet analysis techniques. SMR (Slope Mass Rating) approach which is suitable for preliminary assessment of slope stability in rock was also carried out for rating rock mass. The 3-4 major discontinuity sets are distributed and all type of failure (plane, wedge and toppling failure) are presented in this slope face. The dip of slope must be lowered to friction angle (26degree), otherwise the possibility of plane and toppling failue will always exist in this slope.

#### 1. 서 론

보령댐은 충남 보령군 서북부 지역의 생활 및 공업용수를 안정적으로 공급하고 현재 추진 중인 서해안 개발 계획에 따른 용수의 수요증가에 대한 대비와 웅천천 하류지역의 홍수 피해 방지를 목적으로 보령군 미산면에 건설되고 있는 댐이다. 보령댐 여수로 굴착사면은 붕락 사건 이후 경사가 조정되어 재굴착되었지만 그 후에도 대형의 썩기형 파괴공간이 노출되어 이에 대한 검토가 수차례 이루어졌다. 본 연구에서는 현지암반의 특성을 정확히 파악하기 위하여 실험실 시험으로 암석의 단축 및 삼축압축강도, 인장강도, 삼축압축, 탄성파속도 및 절리면 전단시험이 실시되었고, 현장에서는 시추코어를 대상으로 RQD조사 및 점하중 강도시험이 실시되었다. 사면에 분포하는 절리, 층리, 단층 등과 같은 불연속면을 조사, 통계 처리하여 불연속면의 방향성, 간격, 밀도를 구하였고 SMR(Slope Mass Rating)에 의한 현지암반의 평가 및 사면붕괴의 주요 원인이 되는 사면과 불연속면의 기하학적인 형태에 의해 안정성을 평가하는 평사투영법에 의한 사면안정성 검토가 이루어 졌다.

#### 2. 지질개요 및 사면현황

보령댐 절취사면의 지질분포는 쥘라기에 속하는 대동계층군의 퇴적암류로 구성되어 있다. 사면의 동부에는 편마암이 분포되어 있으며 이 편마암은 암회색으로 정향성이 있고 광역 동력변성작용에 의한 퇴적 기원의 변성암으로 사면에 분포하는 퇴적암과 유사한 방향의 층리 방향을 가지며 접촉대에는 변질 세일이 박층으로 협재하고 있다. 사면의 대부분은 역암, 사암, 셰일이 교호하고 있으며 국부적으로 맥암류가 관입되어 있다. 이 맥암은 심하게 풍화되어 토양화되어 있고 이 암석 주변에서 소붕락이 수차례 발생하였다.

사면의 대부분을 이루고 있는 사암 및 역암에는 층리, 절리, 단층 등이 3~4개의 주그룹과 2~3개의 부그룹으로 발달되어 암반내에는 많은 파쇄 구조선이 발달되어 있다(3절 참조). 사면의 왼쪽은 특히 절리의 간격이 좁은 경우가 많고(20 cm 이하) 단층면을 따라 암괴의 이동이 이미 진행된 곳이 많이 존재하고 있다.

보령댐의 절취사면은 원래 구배가 1:0.5로 설계되어

\*1) 정회원, 한국자원연구소, 자원개발연구부

92년 8월부터 굴착이 시작되어 작업 중인 93년 3월에 EL. 150 m 하부에서 약 20,000 m<sup>3</sup> 정도의 붕락이 일어났는데 이때의 사면붕락은 강우와는 무관하게 발생되었으며, 단지 사면 굴착으로 인한 활동력이 저항력을 초과하여 일어난 경우로 지하수의 작용은 전혀 없었던 상황이었다. 따라서 사면구배를 1:1.2, 사면높이를 15m로 변경하여 93년 8월부터 재굴착이 시작되었으나, 굴착경사 조정 후에도 국부적인 붕락이 발생되었다. 현재의 사면은 전구간을 1:1.2로 굴착한 사면으로 전체의 높이는 166 m이고 하부의 폭은 350 m인 대규모 사면으로 되어 있다. 이처럼 무수한 절리와 파쇄구조선이 발달된 대규모 사면에 대한 안정화 대책으로서의 록볼트 시공에 대하여 여러차례 검토되었으나 실현성이 없는 것으로 판단된 바 있다.

보령댐 절취사면에서 이루어진 8개의 시추공에서 채취한 시추코아로 암석물성을 구하기 위한 실험실 실험이 이루어 졌다. 단축압축강도는 역암이 67 MPa로서 연암이며, 사암이 132 MPa로서 보통암 내지는 중경암이고 다른 두 종류의 암석은 약 110 MPa 정도로 보통암으로 판단된다. 이들의 비중은 대개 2.65 정도이나 세일은 2.72이며, 인장강도의 크기는 4.5~13 MPa로서 단축압축강도의 8~12% 수준이다. 또한 현장에서 실시한 각 암석에 대한 점하중강도는 풍화정도에 따라 크게 변화하며, 역암인 경우 압축강도가 14 MPa에서부터 극경암에 속하는 247 MPa까지 나타나고 있다. 특히 No. 7 시추공에서는 중경암 사이에 53 MPa의 연암이 나타나기도 하고, No. 11 시추공에서는 심도 4 m 차이에 강도의 크기가 247 MPa 및 62 MPa로 4배 이상 차이를 보이는 심한 변화를 나타내고 있다. 이런 현상은 세일이나 사암에서도 마찬가지이다. 주목해야 할 것은 시추코아의 회수에서 적은 양의 코아도 없이 분쇄토로 나타나는 10 MPa 이하의 강도를 갖는 토양도 지표 뿐만 아니라 지표에서 수 m 심도에서도 나타나고 있다는 점이다.

### 3. 불연속면의 분포상태

사면의 안정성 분석에 가장 중요한 요소 중에 하나인 불연속면에 대한 조사가 보령댐 절취사면에서 15 m간격의 최하단(EL. 79 m)에서 9단(EL. 199 m)까지 각 단에 대해 크게 왼쪽(L)과 오른쪽(R) 사면으로 구분하여 이루어 졌으며, 사면의 각 단에서 관찰되는 주요 불

연속면 set의 수는 각 단별로 2개에서 4개 set의 불연속면이 존재하고 있다(Fig. 1).

Table 1은 전체 사면에 분포하는 불연속면을 왼쪽 및 오른쪽 사면으로 분류하여 각 사면에 나타나는 주요 불연속면 그룹을 나타내는 것으로 왼쪽 사면에서는 4개, 그리고 오른쪽 사면에서는 3개 그룹의 불연속면이 분포되고 있다. 결국 두 사면에서 관찰되는 주요 불연속면 방향성과 관련된 분포상황은 비슷하다.

사면 전체에서 가장 중요한 불연속면은 ST1에 속하는 그룹으로 경사방향이 왼쪽 사면에서는 N347.8° 경사각이 32.5°이고 오른쪽 사면에서는 N332.4° 경사각 42°로 주로 이 지역의 지층면에 해당되며, 또한 이 지층면이 단층면으로 작용된 것이 많이 분포하고 있다. 이 지층의 경사방향이 다른 불연속면 그룹에 비해 사면의

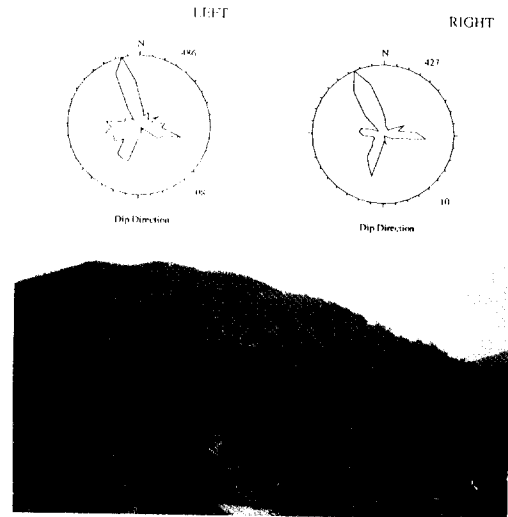


Fig. 1. Scope of rock slope and distribution of the dip direction of discontinuities in Boryung dam site.

Table 1. The orientation of major discontinuity sets in overall slope

		Dip direction(°)	Dip (°)	Number
Left Slope (486)	ST1	347.8	32.5	112
	ST2	252.7	73.5	95
	ST3	103.2	78.5	69
	ST4	202.7	69.8	67
Right Slope (428)	ST1	332.4	42.0	113
	ST2	92.5	88.1	67
	ST3	200.1	66.5	60

Table 2. Dip direction and dip of each slopes

		Dip direction(°)	Dip(°)
Left Slope	L	22	40
	MID	35	40
Right Slope	R	15	40

Table 3. The length and spacing of major discontinuity sets in overall slope

Slope		Persistence (m)	Spacing (m)
Left Slope	ST1	43.80	0.25
	ST2	17.64	0.31
	ST3	15.06	0.35
	ST4	32.48	0.34
Right Slope	ST1	25.60	0.20
	ST2	56.09	0.22
	ST3	15.16	0.21

경사방향에 가장 근접하여 분포되어 있어서 사면의 안정성에 가장 영향을 주는 불연속면 그룹이다. 또한 이 지층의 경사가 전체적으로 오른쪽 사면으로 가면서 경사각이 커지고 방향도 약간 사면과 벌어지는 것을 관찰할 수 있는 데 이것은 오른쪽 사면이 왼쪽 사면에 비해 불연속면 그룹에 의해 영향을 덜 받을 수 있음을 알 수 있다. 다음으로 중요한 불연속면 그룹은 왼쪽 사면의 ST3에 속하는 그룹과 오른쪽 사면의 ST2에 속하는 그룹으로 경사방향은 N100° 전후이며 경사각은 78°에서 거의 수직에 가까운 경사를 보이고 있다. 이 그룹에 속하는 불연속면들은 앞의 ST1의 그룹과 쐐기형의 블록을 형성하는 그룹이 된다.

불연속면의 분포는 두개의 사면으로 분류하여 표시하였지만, 안정성 분석을 위해 사면을 전체적으로 3개의 사면 즉 왼쪽 사면을 왼쪽(L)과 중앙사면(MID) 그리고 오른쪽 사면(R)으로 분류하였으며 사면에 대한 방향성 제원은 Table 2에 표시되어 있으며, 사면의 경사방향은 N15~35°로 북동쪽으로 향하고 있다.

Table 3은 사면전체에서 관찰되는 불연속면의 길이와 간격을 나타내는 것으로 불연속면의 길이는 높이 15 m인 소단 사면의 전체를 가로지르는 것이 대부분이며, 간격은 대부분 0.20~0.35 m로 나타나고 있다.

#### 4. 현지 암반평가

보령댐 절취사면의 8개 시추공에서 채취한 시추코어

에 대한 전체적인 RQD는 33.4%로 Deere(1968)의 RQD값과 암질과의 관계에 의한 암반분류에 따르면 불량이며, 사면에 나타나는 암종별 RQD는 시추공 전체적으로 사암이 29.3%, 역암이 40.0% 셰일이 47.6%로 나타나고 있다.

SMR(Slope Mass Rating) 사면암반 분류법은 사면암반에 대해 1차적으로 안정성을 평가하는 방법으로 일반 암반의 평가법인 Bieniawski(1973, 1976 & 1989)의 RMR(Rock Mass Rating)을 근거로 하여 사면에 대한 요소들을 보정하는 방법으로 Romana(1985, 1988 & 1993)에 의해 제시되었으며, 또한 분류등급에 따라 예상되는 파괴형태와 지보대책에 대한 방법도 제시되고 있다. 사면암반에 있어서 RMR 암반분류는 그대로 적용하기가 곤란하며 이 분류법은 주로 터널에서 지보의 적합성을 평가하는 암반분류법으로 발전되어 현재는 여러 분야에서 적용되고 있다.

SMR 분류법에서는 사면에 대한 보정요소를 고려하여 RMR을 기본으로 하여 적용하고 있다. SMR의 값은 RMR에서 고려하는 i) 암석의 강도, ii) RQD 값, iii) 불연속면의 간격, iv) 불연속면의 상태, v) 불연속면을 통과하는 지하수 상태 등 5가지 요소의 평가 값과 사면의 보정요소로 작용하는 불연속면 및 사면과 관련된 아래와 같은 3가지 요소와 사면의 굴착방법에 대한 보정요소의 값에 의해 구해진다.

불연속면 및 사면과 관계되는 보정요소는

1)  $F_1$  : 사면의 경사방향과 불연속면의 경사방향과의 차이 각의 절대값으로 구하며  $F_1$ 은 0.15에서 1사이의 값을 가진다. 그러나 차이 각이 30°이상일 때는 붕괴 가능성이 희박한 것으로 본다.

2)  $F_2$  : 평면파괴 형태에서의 불연속면의 경사각과 관련된 요소로 불연속면의 전단저동 가능성의 척도를 나타내며 이 값은 1.00(경사각이 45°보다 큰 경우)에서 0.15(경사각이 20°보다 작은 경우)사이의 값을 가지며, 전도파괴에서는  $F_2$ 는 1의 값을 갖는다.

3)  $F_3$  : 사면과 불연속면의 경사각의 차이 값으로 구하며 이 값은 0에서 60 사이의 값을 가진다. 평면파괴에서는 사면에 'daylight'되는 불연속면의 가능성과 관련되고, 사면과 불연속면이 평행할 때는 양호한 상태이며, 사면의 경사각이 불연속면의 경사각보다 10° 이상 클 때는 불안정한 상태가 된다. 또한 전도파괴의 경우는 전도의 성격상 불안정하거나 매우 불안정한 상태는 일어날 수 없으며, 또한 갑작스런 전도파괴도 드물고

전도된 사면도 그대로 유지되는 경우가 많다.

이 사면암반 분류방법에서는 쉐기형의 파괴에 적용하는 요소는 평면파괴에서 적용되는 요소와 특별하게 고려되는 것이 없다.

F<sub>4</sub>는 사면의 굴착방법에 따라 변하는 보정요소로 경험적으로 그 값은 자연사면은 15, presplitting은 10, smooth blasting이 8, 일반 발파나 기계적인 리핑의 경우는 0, 그리고 잘못된 발파의 경우는 -8의 값으로 보정된다.

결과적으로 이러한 보정요소를 고려한 SMR의 값은 아래 식으로 구하며 결과 값에 따른 등급은 Table 4와 같다.

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

이와 같이 사면암반의 평가를 위해서 언급된 요소들 근거로 작성한 전산 program인 SRMR12를 이용하여 보령댐지역의 조사대상의 절취사면에 대한 사면암반의 평가를 실시하였다. Table 5는 절취사면에서 조사된 주요 불연속면 set에 대한 SMR의 값을 나타낸 것으로 대부분의 불연속면 set들은 사면암반 등급에 영향을 끼치지 않으며, 왼쪽과 오른쪽 사면에서 분포되는 ST1 그룹에 속하는 불연속면 set 즉 지층면이면서 단층인 불연속면 그룹만이 영향을 줄뿐이다. 여러 set의 불연속면이 존재할 경우는 각각의 불연속면 set에 대한 암반평가를 실시하여 그 중에서 가장 낮은 SMR의 값을

Table 4. Tentative description for Slope Mass Rating (after Romana, 1993)

Class	SMR	Description	Stability	Predicted failure
I	81~100	Very good	Very stable	None
II	61~80	Good	stable	Some blocks
III	41~60	Fair	Partially stable	Some joint or many wedges
IV	21~40	Poor	Unstable	planar or large wedge
V	0~20	Very poor	Very unstable	Large planar or soil-like

Table 5. SMR value for each major discontinuity set (see Table 1)

	Left Slope				Right Slope		
	ST1	ST2	ST3	ST4	ST1	ST2	ST3
SMR	36.7	42.0	42.0	42.0	40.2	41.0	41.0

현지 암반의 SMR값으로 정한다. 따라서 보령댐의 조사사면의 SMR값은 36.7이 된다.

Table 6은 ST1 그룹에 속하는 암반분류 값과 RMR 값에 따른 예상 암반 물성치를 나타낸다. 여기서 RMR 값을 근거로 환산되는 현지암반의 점착력은 0.21MPa이고 내부 마찰각은 26.0°로 계산되었는데, 절리면 전단시험에서의 내부마찰각은 22~29°이었다. 그리고 현지암반의 예상 변형계수는 4.5GPa로 환산되어진다. 이렇게 계산된 값들은 수치해석을 위한 기초자료로 사용되었다.

이 조사지역의 암반 등급은 RMR 값이 42로 III등급이며 양호이지만 불연속면들의 보정에 의한 사면암반의 분류등급은 36.7로 IV등급이고 불량이다. 조사 지역의 사면은 안정성에서는 불안정한 상태이고, 사면의 파괴는 평면파괴와 큰 쉐기형의 파괴가 예상되며, 실제 사면에서 전반에 걸쳐 쉐기형의 파괴 및 평면파괴가 발생되고 있다.

시간의 흐름에 따라 암석의 광물적인 조성조건과 기 후에 영향을 받는 풍화는 암반분류에서 평가되지 않는다. 일부의 암종은 굴착 당시 사면이 안정된 상태일지

Table 6. Geomechanics classification and properties of rock mass for slope

R.M.R.	R1	R2	R3	R4	R5
	12/15	5.7/15	9/20	8/30	7/15
	42,		Class No. III,		Fair
Rock properties (estimating)	Density		2,670 Kg/m <sup>3</sup>		
	Cohesion		210 KPa		
	Friction angle		26.0° (Trunk & Hoenisch, 1989)		
	In-situ modulus		4.5 GPa (Serafim & Pereria, 1983)		
Adjustment rating for	F1	F2	F3	F4	
	0.15	0.70	-50	0	
S.M.R	36.7,		Class No. IV,		Poor
	Stability failure		Unstable Planar or large wedge		

Table 7. Indicative patterns for Anchoring Slopes (after Romana, 1993)

SMR	Force Density (KN/m <sup>2</sup> )	Shotcrete	Concrete
30-40	50-100	No	Ribs/Beams(wall)
	100-200	No	Ribs/Beams(wall)

라도 약간의 시간이 흐르면 불안정하게 되는 경우도 많기 때문에 암반의 분류는 현재 상태와 미래의 풍화된 상태에 대해서 두 번 평가하는 것이 바람직하다. 조사 사면의 경우 장기간동안 유지되어야 하기 때문에 이와 같은 평가가 이루어지는 것이 좋다. 따라서 이 조사 지역의 사면이 풍화되고 댐이 담수가 되어 지하수 조건이 좋지 않다고 가정했을 때의 SMR 값은 25 정도로 IV 등급으로 등급에서는 변화가 없다.

이와 같은 등급에서 조사지역의 사면안전 대책으로 추천되는 지보형태는 SMR값이 36.7인 경우는 anchor 작업(Table 7), 체계적인 shotcrete, toe 벽 또는 콘크리트시공, 재굴착, 배수로의 설치 등의 대책이 필요하다. 그리고 SMR 값이 25인 차후 조건이 악화된 상태에 대비해서는 체계적인 reinforced shotcrete, toe 벽이나 콘크리트 시공, 재굴착 또는 깊은 배수로 설치와 같은 안전 대책이 필요하다.

### 5. 팽사투영법에 의한 사면의 안정성 분석

사면붕괴의 주요 원인은 주로 사면의 기하학적인 형

태, 지질적인 요소, 지하수 및 발파 등에 의한 영향으로 분류할 수 있다. 지질적인 요소는 암반중의 절리, 층리, 단층 등과 같은 불연속면의 영향이 가장 크며, 이 불연속면의 출현 빈도, 방향 및 경사 등이 중요한 요소가 되고 또한 불연속면 자체의 물리적 특성 또한 중요한 요소가 된다. 지하수에 의한 영향은 우수시 지표수가 암반내의 균열이나 공극으로 침투되어 암반의 약화나 암반내의 지하수 흐름 등이 사면붕괴에 영향을 줄 수 있다. 또한 인위적인 요소로는 사면작업시 발파작업에 의해 발생하는 발파진동에 의해 사면에 영향을 줄 수도 있다.

일반적으로 사면안정성 문제에서 발생할 수 있는 파괴의 형태는 낙석, 원형 전단파괴, block의 붕괴, 평면파괴, 썩기형 파괴와 전도파괴, 토사형의 파괴 등으로 분류할 수 있다.

조사현장에서 관찰할 수 있는 불연속면의 분포와 사면의 방향과 경사에 따른 사면안전성을 도식적인 방법으로 살펴보기 한다. 이러한 도식적인 분석을 위해서 자체 개발한 전산 program인 LSLOPE를 이용하였다. 이 방법은 우선 불연속면들의 pole contour를 net상에

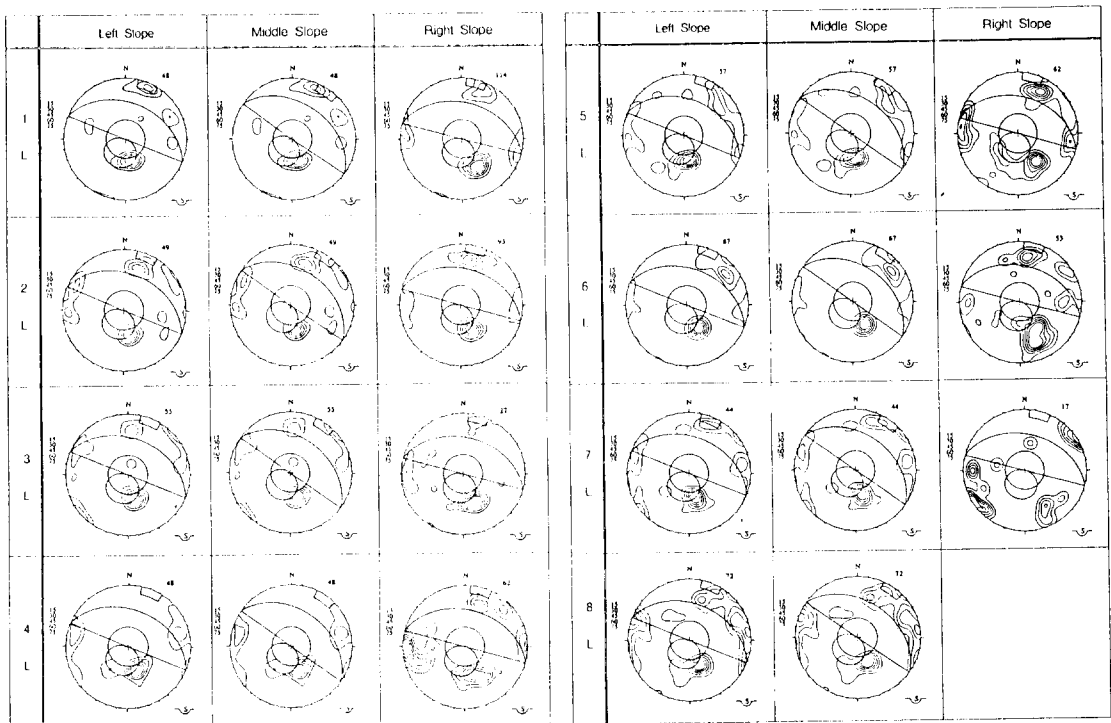


Fig. 2. Analysis of stability for each level in slope by projection method.

작성하고, 사면의 방향 및 경사각의 형태를 대원(great circle)으로, Daylight envelope(도면상의 대원에 접하는 타원형 형태)와 암석물성의 내부마찰각에 따른 friction cone(도면상의 중앙 원에 해당)을 그리고 toppling envelope(원주상의 사다리꼴 모양)를 작도하여 사면의 안정성에 대해서 기하학적으로 해석을 실시하는 것이다 (Fig. 2참조).

이 기법에서 고려될 수 있는 파괴형태는 주로 평면파괴 및 전도파괴에 대한 검토가 이루어진다. 이 도식에서 불연속면들의 pole들이 friction cone 내부에 위치하게 되면 불연속면의 경사각이 내부마찰각보다 낮기 때문에 기하학적인 관점에서 안정하다고 볼 수 있다. 또한 Daylight envelope 내에서 friction cone 부분을 제외한 부분에 pole들이 위치하게 되면, 불연속면들의 경사각이 암반사면의 경사각보다 낮고, 암반의 내부 마찰각보다 큰 것을 나타내기 때문에 불연속면을 따라서 암반이 미끄러지는 평면파괴가 일어날 수 있다. 또한 pole들이 toppling envelope 내에 위치하면 사면과 거의 평행한 방향의 불연속면들이 사면과 반대쪽으로 경사진 경우로 불연속면을 따라 전도파괴가 일어날 수 있다. 또한 방향이 서로 다른 복수군의 불연속면들이 존재할 경우에는 불연속면들의 교차에 의해 생기는 썩기형의 블록이 불연속면을 따라 미끄러질 수 있다. 평사투영기법을 이용하는 방법에서는 썩기형태의 파괴에 대한 분석이 직접적으로 관찰되기가 곤란하다. 따라서 여기에서는 LANALWDG 프로그램을 이용하여 기하학적으로 썩기형의 파괴가 일어날 수 있는 가를 판단하고, 두 불연속면들에 의해 생긴 썩기형 블록의 교차선인 plunge가 daylight나 toppling envelope 내에 나타나는지를 분석하여 썩기형 파괴에 대한 가능성 여부를 결정하였다.

3절에서 불연속면의 분포는 두개의 사면으로 분류하였지만 사면의 안정성 분석에서는 사면이 전체적으로 3개의 방향을 나타내고 있어 3개의 사면으로 분류하여 분석작업을 실시하였다(사면의 제원은 Table 2 참조). Fig. 2는 각 단 별 3개의 사면에 분포하는 불연속면에 대한 각 사면의 안정성을 보기 위한 평사투영도들이다. 모든 사면에서 ST1 그룹의 불연속면에 의한 평면파괴가 나타나며 또한 전체적으로 전도파괴가 나타나는 것을 볼 수 있고 특히 중앙 사면에서 전도파괴 양상이 더욱 많이 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 전체 불연속면에 대한 각 사면의 평사투영

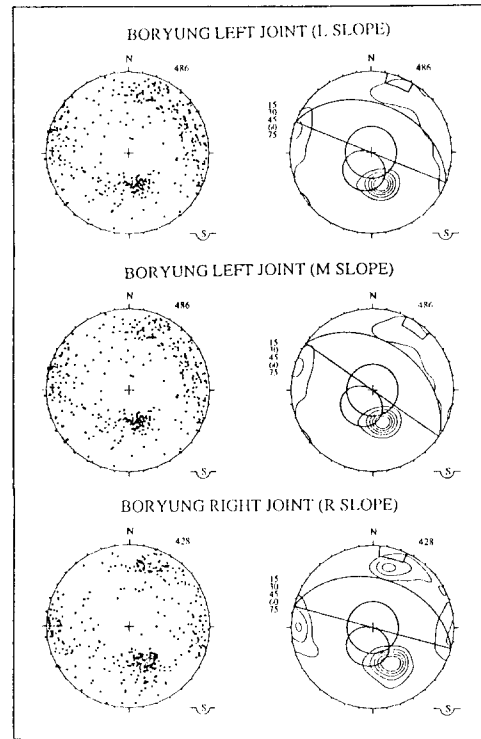


Fig. 3. Analysis of stability of overall slope by projection method.

도로 불연속면들을 streonet상에 표시한 pole과 pole contour로 오른쪽 상단의 숫자는 조사된 불연속면의 수를 나타내며 좌측 하단의 반원과 S는 하반기 투영과 Schmidt net임을 표시한다. 그리고 pole contour 옆에 표시된 수치는 각 contour의 level을 나타내며 조사지역에서 불연속면이 나타날 수 있는 확률을 나타내는 것이다. 전체적으로 나타나는 양상은 각 단별과 같이 평면파괴와 전도파괴가 일어날 수 있음을 알 수 있다. 중앙 사면이 왼쪽 사면에 비해 동쪽으로 치우침으로써 평면파괴의 위험성이 줄고 있지만 전도파괴의 가능성은 조금 더 높아지는 것을 볼 수 있다.

사면의 안정성에 가장 영향을 끼치는 불연속면은 ST1에 속하는 그룹으로 주로 이 지역의 지층면에 해당되며 또한 이 지층면이 대부분 단층면으로 작용하고 있는 불연속면이다. 이 지층의 경사방향이 다른 불연속면 그룹에 비해 사면의 경사방향에 가장 나란하게 근접하여 분포되어 있어 사면의 안정성에 가장 영향을 주는 불연속면 그룹이 된다. ST1 그룹의 불연속면중 일부 (Fig. 3의 왼쪽사면 ST1 그룹의 pole contour중 왼쪽



Fig. 4. Planar failure directed to slope front face by major fault.

으로 튀어나온 부분에 속하는 불연속면들)는 사면의 경사방향과 거의 일치할 이루어 사면의 전면으로 사면과 평행하게 평면파괴가 일어나며 실제 현장에서 많은 부분이 관찰되었다 (Fig. 4의 ST1).

이와 같은 평사투영법에서 직접 나타나지 않는 썰기형의 파괴에 대해서는 Table 1에 표시된 각 불연속면 그룹들에 의해 생길 수 있는 썰기블록을 조사하여 썰기형 파괴의 가능성이 있는 것들을 Fig. 5에 표시하였다. 대부분의 단에서 썰기형 파괴가 일어날 수 있으며, 6단 왼쪽 사면의 경우는 형성된 썰기형의 블록이 전도되는 경우도 나타나고 있다. 이러한 불연속면들에 의해 형성된 썰기형 블록의 plunge는 왼쪽 사면의 경우는 28.0~34.2° 범위를 가지며 오른쪽 사면의 경우는 33.5~35.4° 범위로 왼쪽 사면보다 높게 나타나고 있다.

전 사면에 나타나는 썰기형 파괴의 경우는 평면파괴를 일으키고 있는 ST1 그룹의 불연속면과 더불어 왼쪽 사면의 ST3 그룹과 오른쪽 사면의 ST2 그룹에 의해 일어나고 있으며, 이 그룹의 불연속면들의 경사방향은 N100° 전후이며 경사각은 78°에서 거의 수직에 가까운 경사를 보이고 있다.

대표적인 썰기형 파괴는 왼쪽 사면의 경우는 ST1 그룹과 왼쪽 사면의 ST3 그룹의 불연속면들에 의해 형성된 썰기형 블록으로 plunge는 Fig. 6A와 같이 28.5°이며 가끔 ST2 그룹에 의해 썰기의 상부가 잘리는 블록 형태도 많이 나타나고 있다. 현재 현장에서 일어나고 있는 대형의 썰기형 파괴도 여기에 속하는 불연속면 그룹에 의해 생성된 것이다.

오른쪽 사면의 경우는 ST1과 ST2 그룹에 의한 썰기

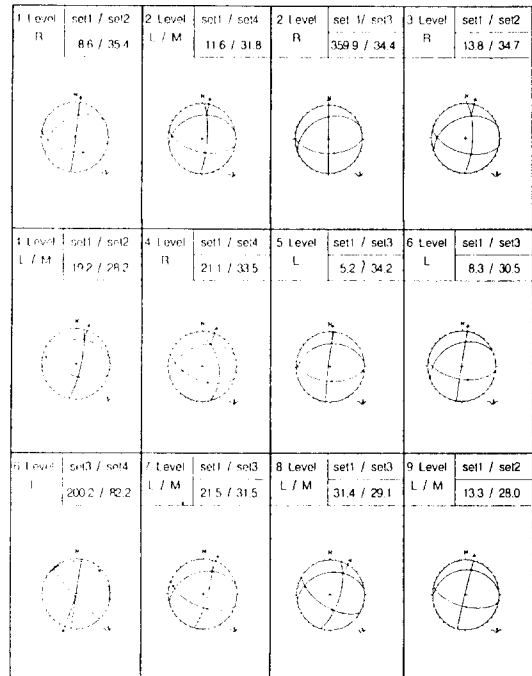


Fig. 5. Potential wedge failure in each level of slope.

형 파괴로 Fig. 6B와 같이 plunge가 37.5°로 왼쪽 사면보다 plunge의 각이 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 지층의 경사가 전체적으로 오른쪽 사면 쪽으로 가면서 경사각이 커지고 방향도 약간 사면과 벌어지기 때문이다. 이러한 이유 때문에 오른쪽 사면을 왼쪽 사면에 비해 높은 경사각도로 사면을 유지해도 안정성을 확보할 수 있을 것이다.

결과적으로 썰기형의 파괴로부터 사면의 안정성을 확보하기 위해서는 사면의 각도는 각 단에서 나타나는 썰기형 파괴의 최소값 plunge보다 낮아져야 한다. 따라서 왼쪽 사면의 경우는 28.0°보다 낮추어야 하며, 오른쪽 사면의 경우는 33.5°보다 낮추어 져야 한다. 그러나 현재와 같이 사면의 방향을 그대로 유지할 경우 Fig. 7과 같이 사면의 경사각을 낮출지라도 평면파괴의 경우는 암반의 내부마찰각까지 낮출 때까지 전 사면에서 부분적으로 일어나는 평면파괴와 일부의 전도파괴를 피할 수는 없을 것이다.

## 6. 결 론

전체적으로 절취사면에 나타나는 주요 불연속면 그

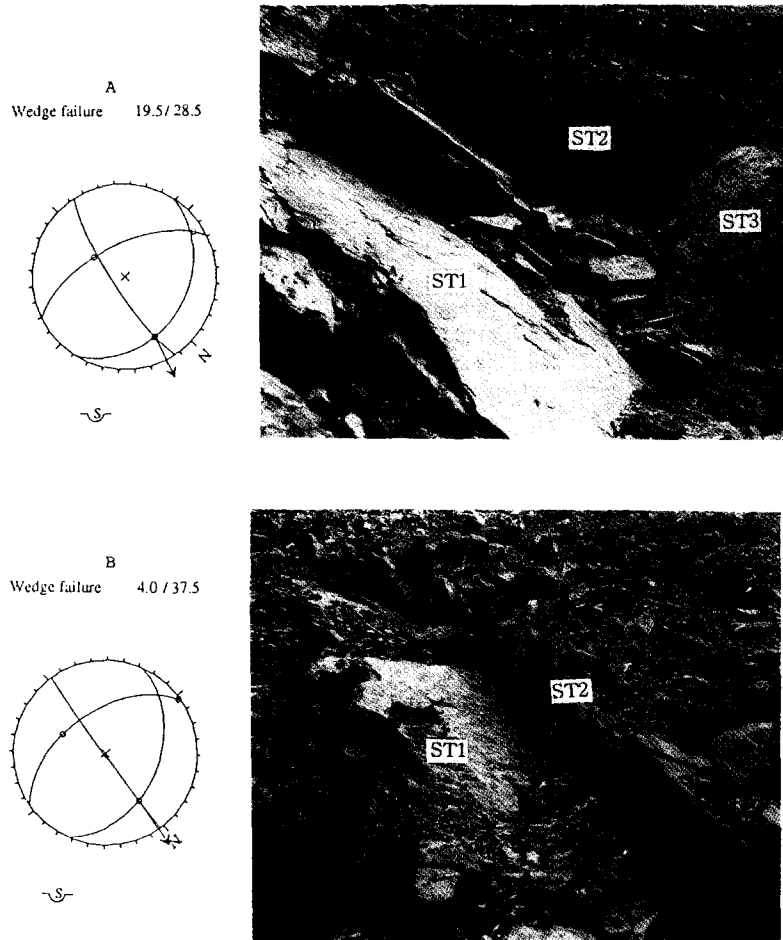


Fig. 6. Wedge failure occurred in slope face.

룹은 왼쪽 사면에서 4개 그룹과 오른쪽 사면에서 3개 그룹이 분포되고 있지만 두 사면에서 관찰되는 주요 불연속면의 방향성과 관련된 분포상황은 비슷하다. 조사 사면에서 가장 중요한 불연속면은 ST1 그룹으로 조사 지역에 존재하는 암반의 지층면에 해당되며 또한 이 지층면이 단층면으로 작용하고 있다. 또한 이 불연속면의 경사는 전체적으로 오른쪽 사면으로 가면서 경사각이 커지고 방향도 약간 사면과 벌어지는 것을 관찰할 수 있다.

사면암반은 RMR이 42로 III등급으로 양호이지만 불연속면들의 보정에 의한 사면암반의 분류등급은 36.7로 IV등급이고 불량이다. RMR값에 의해 환산되는 현지암반의 점착력은 0.21 MPa, 내부 마찰각은  $26.0^\circ$ , 그리고 현지암반의 예상 변형계수는 4.5GPa이다. 사면

은 불안정한 상태를 나타내며, 평면파괴와 큰 썩기형의 파괴가 예상되며, 실제 사면의 전반에 걸쳐 실제 썩기형의 파괴가 발생되고 있는 사면이다. 시간의 흐름에 따라 사면이 풍화되고 지하수 조건이 좋지 않다고 가정했을 때의 SMR값은 25 정도로 IV등급으로 등급에서 변화가 없다. 상기와 같은 등급의 사면안전 대책으로 추천되는 지보형태는 anchor 작업, 체계적인 shotcrete, toe 벽 또는 콘크리트 시공, 재굴착, 배수로의 설치 등의 대책이 필요하고, 그리고 SMR값이 25인 차후 풍화된 상태에 대비할 경우는 체계적인 reinforced shotcrete, toe 벽이나 콘크리트 시공, 재굴착 또는 깊은 배수로 설치와 같은 안전 대책이 필요하다.

평사투영도법에 의한 사면 안정성 분석에서 사면의 모든 단에서 평면파괴와 전도파괴가 일어날 수 있다.



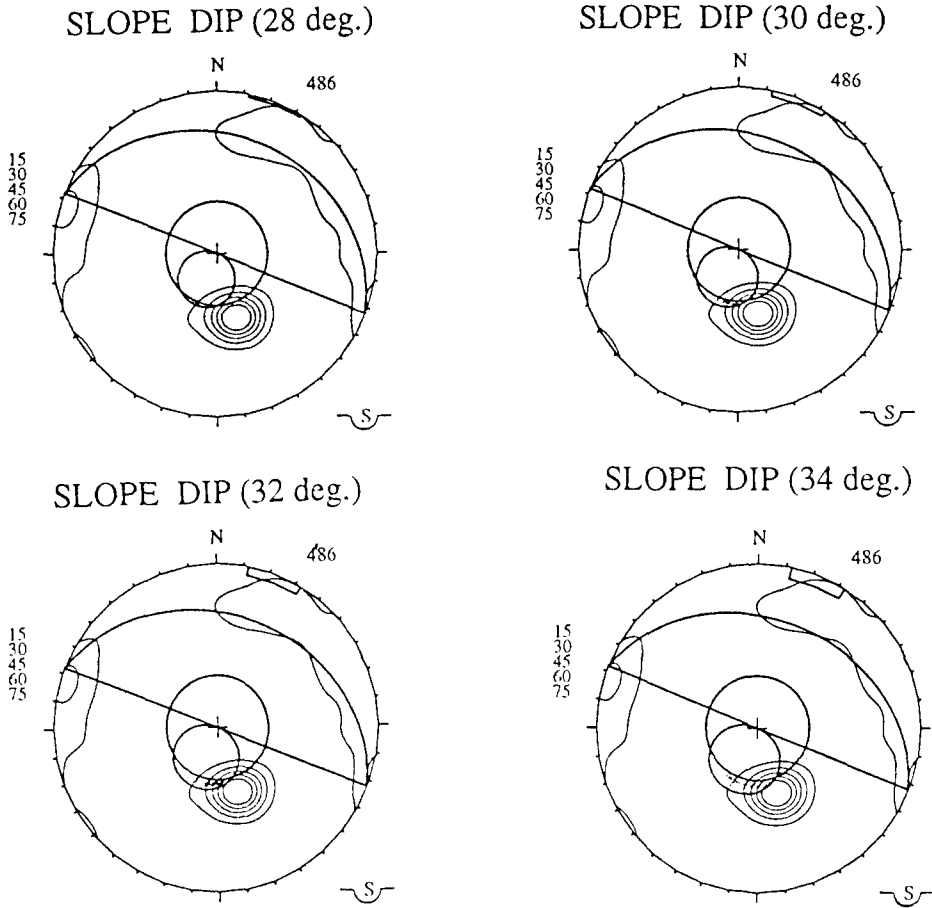


Fig. 7. Analysis of stability with variation of slope angle.

중앙 사면이 왼쪽 사면에 비해 동쪽으로 치우침으로써 평면파괴의 위험성이 줄고 있지만 전도파괴의 가능성은 조금 더 높아진다. 조사 사면의 안정성에 가장 영향을 끼치는 불연속면은 ST1 그룹으로 주로 지층면에 해당되는 불연속면으로 사면 방향에 가장 근접 분포되어 있어 사면의 안정성에 가장 영향을 주며 평면파괴와 썩기형 파괴의 근간을 이루고 있다. ST1 그룹중 일부는 사면의 경사방향과 거의 일치를 이루며 사면과 평행하게 전면으로 평면파괴가 일어나는 경우도 많이 관찰되고 있다. 대부분의 단에서 썩기형 파괴가 일어날 수 있으며, 형성된 썩기형의 블록이 전도되는 경우도 나타나고 있다. 이러한 불연속면들에 의해 형성된 썩기형 블록의 plunge는 왼쪽 사면의 경우는 28.0~34.2°, 오른쪽 사면의 경우는 33.5~35.4°범위로 왼쪽 사면 보다 높게 나타나고 있다. 전체 사면에 나타나는 썩기형 파

괴의 경우는 평면파괴를 일으키고 있는 ST1 그룹의 불연속면과 더불어 왼쪽 사면의 ST3 그룹과 오른쪽 사면의 ST2 그룹에 의해 일어나고 있다. 오른쪽 사면의 경우 plunge가 왼쪽 사면보다 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 지층의 경사가 전체적으로 오른쪽 사면으로 가면서 경사각이 커지고 방향도 약간 사면과 벌어지기 때문이며, 이러한 이유 때문에 오른쪽 사면을 왼쪽 사면에 비해 높은 경사각도로 사면을 유지해도 안정성을 확보할 수 있을 것이다.

결과적으로 썩기형의 파괴로부터 사면의 안정성을 확보하기 위한 사면의 각도는 왼쪽 사면의 경우는 사면의 경사각을 28.0°보다 낮추어야 하며, 오른쪽 사면의 경우는 33.5°보다 낮추어져야 한다. 그러나 현재와 같이 사면의 방향을 그대로 유지할 경우 사면의 경사를 암반의 내부마찰각인 26°까지 낮추지 않으면 전 사면에

서 부분적으로 일어나는 평면파괴와 일부의 전도파괴를 피할 수 없을 것이다.

## 사 사

본 사업의 수행과 논문을 게재할 수 있도록 많은 도움을 주신 쌍용건설 주식회사 최상렬 전무님, 한광옥 차장님, 보령댐 현장 소장 이무형 이사님 및 직원 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Bieniawski, Z.T. 1973, Engineering classification of jointed rock mass, Trans. South Afr. Ins. of Civ. Eng., vol.15, N12, pp.335-344.
2. Bieniawski, Z.T. 1976, Rock mass classification in rock engineering applications, Proc. Symp. on Exploration for rock eng., Balkema, Rotterdam, vol. 12, pp. 97-106.
3. Bieniawski, Z.T. 1989, Engineering rock mass classifications, Wiley, NewYork. p.251.
4. Deere, D.U. 1968, Geological considerations, Rock mechanics in engineering practice, ed. R. G. Stagg and D.C. Zienkiewicz, Wiley, New York, pp. 1-20.
5. Hoek, E. & Bray, J.W., 1981, Rock slope engineering, The Institution of mining and metallurgy, London, 358p.
6. Romana R.M., 1985, New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes, Proc. Int. Symp. on the role of rock mechanics, Zactecas, pp.49E-53.
7. Romana R.M., 1988, Practice of SMR classification for slope appraisal, Proc. Int. Symp. on Landslides, Lausanne, Balkema, Rotterdam, pp.1227-E1229.
8. Romana R.M., 1993, "A Geomechanical classification for slopes: Slope mass rating", Comprehensive rock engineering, ed. Hudson, Pergamon Press, chpt. 23, pp.575-E600.
9. Serafim, J.L. & Pereira, J.P., 1983, Considerations on geomechanics classification of Bieniawski, Proc. Int. Symp. on Eng. Geol. and Underg. Constr. LNFC. Lisboa. vol 1, pp.II 3E 1-II 42.