

암반 사면에 대한 새로운 암반 분류안의 적용

김 대 복¹⁾

Application of a Geomechanical Classification for Rock Slope

Dae-Bok Kim

ABSTRACT

Rock Mass classifications have been developed in many European countries. The most widely used classification methods are the Rock Mass Rating (RMR) system proposed by Bieniawski (1973) and the Q-system developed by Barton et al. (1974). These methods are also adopted at many mountain tunnels and subway sites in our country. Here, a geomechanical classification for slopes in rock, the "Slope Mass Rating" (SMR) is presented for the preliminary assessment of slope stability. This method can be applied to excavation and support design in the front part of tunnel and cutting area as a guide line and recommendation on support methods which allow a systematic use of geomechanical classification for rock slopes.

1. 서 론

암반 사면의 새로운 분류안인 SMR(Slope Mass Rating)에 대한 소개를 하고자 한다. SMR 분류안은 암반 사면의 1차적인 안정성을 평가하는 매우 유용한 방법으로 M.R. ROMANA에 의해 제시되었으며 이는 불안정한 파괴형태와 이에 요구되는 지보에 관한 간편한 방법을 제시하고 있다.

SMR 분류안은 세계적으로 널리 알려진 Bieniawski의 RMR(Rock Mass Rating)을 발전시킨 방법으로 암반 조건을 서술하는 체계적인 방법으로 많은 전문가들에 의해 사용되어 왔다. RMR 분류안은 현재까지 사면에 적용된 것보다는 터널에서 지보의 적합성을 평가하는 암반분류 방법으로 특히 발전되어 왔으나 SMR 분류안은 암반사면의 지질공학적인 분류안으로 지보방법에 관한 조정된 요소, 현장지침 등 제반사항을 제시하고 있다.

2. RMR 분류의 적용

RMR(Rock Mass Rating)의 분류안은 Table 1과 같다.

사면에 대한 불연속면의 방향에 대하여 1976년에 다음과 같이 정립되었다.

very favorable	0
favorable	-5
fair	-25
unfavorable	-50
very unfavorable	-60

3. SMR(Slope Mass Rating) 분류의 적용

SMR 분류는 절리-사면 관계에 의존하는 조정요소

* 1994년 11월 10일 접수

1) 정회원, (주) 삼우기술단 이사

주) 이 글은 1993년 Comprehensive Rock Engineering 중 Volume 3-II에 발표되었던 내용의 일부를 번역한 것임
(by M.R. Romana)

Table 1. Bieniawski Ratings for RMR

Parameter	Ranges of values					
	>10 MPa	4~10 MPa	2~4 MPa	1~2 Mpa	5~25 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred
Strength of intact rock material	>10 MPa	4~10 MPa	2~4 MPa	1~2 Mpa	5~25 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred
Uniaxial compressive Rating	>250 MPa 15	100~250 MPa 12	50~100 MPa 7	25~50 MPa 4	5~25 MPa	1~5 MPa <1 MPa 2 1 0
Drill core quality RQD	90~100% 20	75~90% 17	50~70% 13	25~50% 8	<25% 3	
Spacing of discontinuities	<2 m 20	0.6~2 m 15	200~600 mm 10	60~200 mm 8	>60 mm 5	
Condition of discontinuities	Very rough surfaces. Not continuous. No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces. Separation <1 mm. Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces. Separation <1 mm. Highly weathered walls	Slickensided surfaces or gouge <5 mm thick or separation 1~5 mm. Continuous	Soft gouge >5 mm or separation <5 mm Continuous	
Rating	30	25	20	10	0	
Groundwater in joints	Completely dry 15	Damp 10	Wet 7	Dripping 4	Flowing 0	
Rating						

Table 2. Adjustment Rating of Joints

Case	Very favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very unfavorable
P $ \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	$30-20^\circ$	$20-10^\circ$	$10-5^\circ$	$<5^\circ$
T $ (\alpha_j - \alpha_s) - 180^\circ $					
P/T F_1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P $ \beta_j $	$<20^\circ$	$20-30^\circ$	$30-35^\circ$	$35-45^\circ$	$>45^\circ$
P F_2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T F_2	1	1	1	1	1
P $\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10-0^\circ$	0°	$0-10^\circ$	$<-10^\circ$
T $\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110-120^\circ$	$>120^\circ$	-	-
P/T F_3	0	-6	-25	-50	-60

P, plane failure; T, toppling failure; α_j , joint dip direction; α_s , slope dip direction; β_j , joint dip; β_s , slope dip.

를 공제하고 굴착 방법에 의존하는 요소를 합하여 얻어진다. 즉, $SMR = RMR - (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$

Table 2에서 보는 바와 같이 절리에 대한 조정율은 다음과 같은 3가지 요소로 이루어진다.

1) F_1 은 절리와 사면 주향 사이의 차이 각으로 구해진다. 그 범위는 1.0(모두 거의 평행할 때)에서 0.15(30° 이상의 차이와 붕괴 가능성이 매우 낮은 경우)이다. 그 관계는 $F_1 = (1 - \sin A)^2$ 으로 경험적으로 설정되었으며 여기서 A는 사면과 절리 주향 사이의 각도를 의미한다.

2) F_2 는 평면파괴 형태의 절리의 경사각으로 절리면의 전단강도를 예시하며 그 값은 1.0(절리의 경사각이 45° 이상)에서 0.15(절리 경사각이 20° 미만)의 범위이다.

경험적으로 $F_2 = \tan^2 \beta_j$ 가 설정되었으며 여기서 β_j 는 절리의 경사각으로, 전도파괴의 경우 F_2 값은 1.0으로 계산한다.

3) F_3 는 사면과 절리의 경사각 사이의 관계로서 Bieniawski는 1976년 그 관계를 설정하였다. 이는 평면파괴의 경우 사면에 있는 Joint 'daylight'로 설정되며 사면과 절리가 평행할 때 그 조건은 fair한 상태로 보고, 사면경사각이 절리경사각 보다 10° 이상일 경우 very unfavorable한 조건이 발생하는 것으로 판단한다.

단 전도파괴의 경우 갑작스런 파괴가 극히 드물고 전도된 많은 사면이 그대로 유지되고 있기 때문에 unfavorable 또는 very unfavorable 조건은 자연사면의 경우 드물게 발생하는 경우이다.

Goodman과 Brag는 전도파괴 가능성이 풍화된 사

면과 전도 마찰력에 의한 5° 가량의 낮은 전단강도를 갖는 사면에서 쉽게 발생할 수 있다고 한다.

4) 굴착방법에 의한 경험적인 조정요소(F_4)

Method of excavation	F_4 value	'Remarks
Natural slope	+15	More stable
Presplitting	+10	Increases slope stability
Smooth blasting	+8	Increases slope stability
Normal blasting or Excavation by ripping	0	Does not change slope stability
Deficient blasting	-8	Damages stability

5) SMR corrective factor F_4 (by Swindells)

Swindells는 사면 안정에 대한 발파 방법의 영향을 평가하기 위해 Scotland에 있는 자연사면, 철도, 고속도로 및 채석장 등 5개 지역의 16개소 굴착현장에서 조사한 결과를 Fig. 1에 제시하였으며 Fig. 2는 F_4 값과 교란대 깊이와의 비교를 나타낸 것이다. 조사지역의 암반은 화성암과 변성암이었으며 굴착지역은 육안 관찰, 현장탄성파 굴절법에 의한 탐사, Borehole TV camera 및 실내시험 등의 다른 방법으로 조사되었다.

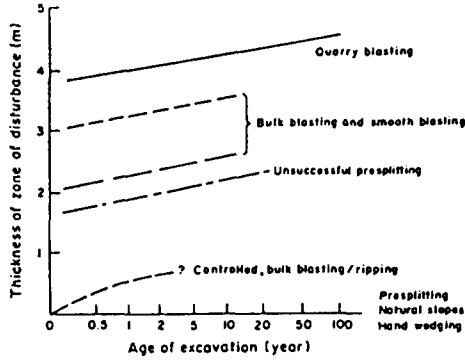


Fig. 1. Generalized relationship between excavation technique, age of excavation and seismically detectable disturbance (Swindells).

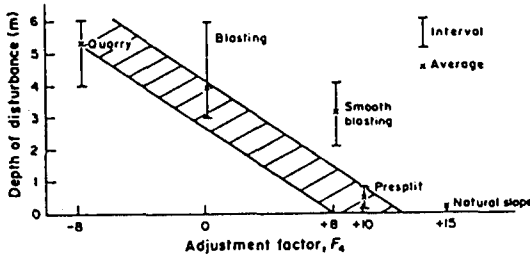


Fig. 2. Relationship between depth of disturbed zone, according to Swindells and SMR correction factor F_4 .

발파방법의 교란효과와 F_4 와의 관계는 Table 3과 같다. Table 4는 임시의 SMR 분류에 대한 서술을 제시하고 있다.

썩기파괴(Wedge Failure)의 경우 평면파괴(Plane Failure)에서 적용되는 요소와 특별히 다르게 고려될 사항은 없다. 사면의 암질분류 과정에서 썩기파괴가 평면파괴의 경우보다 RMR 값에 더 의존적이지 않음이 입증되었으므로 사면 암반분류는 각각의 질리

Table 3. Comparison Between Disturbance Effects of Blasting Methods and F_4

Excavation method	N	Thickness of disturbance		SMR F_4
		Range (m)	Mean (m)	
Natural slope	4	0	0	+15
Presplitting	3	0-0.6	0.5	+10
Smooth blasting	2	2-4	3	+8
Bulk blasting	3	3-6	4	0

발달상태의 적용으로 분석되어야 할 것이다. 또한 풍화상태는 암석의 광물학적 조건과 기후에 주로 의존하기 때문에 일시적 과정 그 자체만으로 암질분류 자료로서 평가될 수는 없다.

Kendorski는 RMR 값에 A_B 요소를 곱한 값으로 굴착함에 따른 지하구조물의 발파손상에 대하여 Table 5와 같이 평가하였다.

4. SMR 평가 지침

4.1 Intact Rock의 강도

Intact Rock의 강도는 ISRM에서 제시된 일축압축강도(C_u) 자료나 그 밖의 공인된 표준시험에 의한 자료를 활용한다. 그러나 현장에서 실내시험을 거치지 않고 즉시 강도를 평가하는 것도 필요하다. Table 6은 Pocket 칼이나 조사용 햄머로 수행된 index test로서 일축압축강도를 평가함에 도움이 될 수 있는 자료이다.

4.2 RQD(Rock Quality Designation) 평가

Drill core가 수행되지 않은 상태에서 RQD는 다음과 같은 방법으로 평가된다.

Table 4. Tentative Description of SMR Classes

Class	SMR	Description	Stability	Failures	Support
I	81-100	Very good	Completely stable	None	None
II	61-80	Good	Stable	Some blocks	Occasional
III	41-60	Normal	Partially stable	Some joints or many wedges	Systematic
IV	21-40	Bad	Unstable	Planar or big wedges	Important/corrective
V	0-20	Very bad	Completely unstable	Big planar or soil-like	Reexcavation

(i) Palmstrom은 RQD와 'volumetric joint count' (number of joints per cubic meter) 사이의 관계를 $RQD = 115 - 3.3 J_v$ ($RQD > 100$)로 제시하였다.

(ii) Priest와 Hudson은 절리의 평균값과 절리에 수직인 방향에 있는 RQD 값 사이의 관계를 $RQD = 100(0.1/S + 1) \exp(0.1/S)$ 로 나타내었다. 여기서 S는 절리의 평균간격(m)을 의미한다.

4.3 절리상태 (Joint Condition)

절리상태는 여러개의 요소로 구성되어 매우 복잡한 상태이다. 그들은 다음과 같다.

1) 절리간격(Joint Spacing : S_j)

Table 7에 제시된 바와 같으며, RMR이나 SMR 분류에 입력자료로서는 평균 간격을 적용함이 합당하다.

2) 절리의 연장(Persistence)

Very Low Persistence	<1 m
Low Persistence	0~3 m
Medium Persistence	3~10 m
High Persistence	10~20 m
Very High Persistence	>20 m

Table 5. Comparison Between Kendorski Blasting Coefficient and F₄

Excavation method	A _B	(%)	SMR F ₄
Controlled blasting	0.97-0.94	108-104	+8
Good blasting	0.94-0.90	104-100	0
Poor blasting	0.90-0.80	100-89	-8

Table 6. Manual Index Text for Assessing Rock Stregth (ISRM)

Rock description	Range of C ₀ (MPa)	Pocket knife	Field identification Geological hammer
Ext. strong	>250	No peeling	Only chisel after impact
Very strong	100-250	No peeling	Many blows to fracture
Strong	50-100	No peeling	Several blows to fracture
Med. strong	25-50	No peeling	A firm blow to fracture
Weak	5-25	Difficult peeling	Can indent
Very weak	1-5	Easy peeling	Can crumble

3) 절리면의 거칠기(Roughness)

4) 절리면의 풍화상태

Table 8은 절리면 풍화상태의 분류안(ISRM)을 요약한 것이다.

5) Parametric rating

Table 9는 암반사면을 분류할 때 유용한 절리발달 상태에 관한 Rating 자료이다.

4.4 지하수(Ground Water)

지하수위 상태는 RMR 분류안에서 3가지 다른 방법으로 평가되었다.

(i) Inflow of water in tunnels

(ii) Pore pressure ratio

(iii) General conditions

사면에 대하여 일반 조건은 상당히 적절한 상태이며 ISRM에서 제시된 지하수 상태는 Table 10과 같다.

4.5 방위각(Orientations)

(i) 절리 : 경사(0-90°)와 경사 방향(0-360°)을 Clinometer로 측정한다.

(ii) 사면 : 사면의 경사와 경사방향을 측정한다.

4.6 발파방법(Blasting Methods)

Table 7. Classification for joints spacing (ISRM, Bieniawski)

Description	Spacing (m)	Rock mass condition
Very wide	>2	Solid
Wide	0.6-2	Massive
Moderate	0.2-0.6	Blocky/seamy
Close	0.06-0.2	Fractured
Very close	<0.06	Crushed/shattered

Table 8. Classification for Wall Weathering (ISRM)

Grade	Term	Decomposed rock (%)	Description
Ia	Fresh	~	No visible weathering
Ib	Fresh	~	Slight discoloration of walls
II	Slightly weathered	<10	General discoloration
III	Moderately weathered	10~50	Part of rock is decomposed. Fresh rock is a continuum
IV	Highly weathered	50~90	General decomposition of rock. Some fresh rock appears
V	Completely weathered	>90	All rock is decomposed. Original structure remains
VI	Residual soil	100	All rock is converted to soil. Original structure is destroyed.

Table 9. Partial Parametric Ratings for Joint Conditions (Romana)

Roughness/filling	Rating	
Very rough	10	
Rough	9	
Slightly rough	8	
Smooth	6	
Slickensided or gouge	5	
Soft gouge	0	
Separation	Opening	Rating
Closed	<0.1 mm	9
Moderately open	0.1~1 mm	7
Open	1~5 mm	5
Very open	>5 mm	0
Persistence	Rating	
Not persistent, not continuous	5	
Subpersistent	3	
Persistent, continuous	0	
Weathering	Grade	Rating
Fresh	I	6
Slightly weathered	II	5
Moderately weathered	III	3
Highly weathered	IV	0
Completely weathered	V	0

발파방법의 일반적인 조건은 SMR 분류에서 다음과 같이 정의되어 있다.

프리스플릿팅(Presplitting)

- 굴착 경계면을 따라 1개열을 천공
- 각 공의 위치는 현장에서 신중히 표시
- 천공은 수평으로 함(2% 내외)
- 공 간격은 50~80 cm 정도
- 장약은 자유면을 남겨 두고 공벽으로부터 디커플링(decoupling) 시킴
- 장약량은 매우 소량 사용
- 주발파전에 접화

스무스 발파(Smooth blasting)

- 굴착 경계면을 따라 1개열을 천공
- 각 공의 위치는 현장에서 신중히 표시
- 천공은 수평으로 함(2% 내외)
- 공 간격은 60~100 cm 정도
- 장약량은 소량 사용
- 주발파 이후에 접화(때때로 microdelays 이 용)

정상 발파(Normal blasting)

- 각 발파는 기 설계방법으로 시행
- 각 공의 위치를 현장에 표시
- 장약량은 가능한 최소화 함
- 단발이나 초단발로 순차적으로 접화

약장약 발파(Deficient blasting)

- 발파설계는 일반적으로 일정
- 장약량은 가능한 최소화 하지 않음
- 발파는 순차적으로 이루어지지 않음

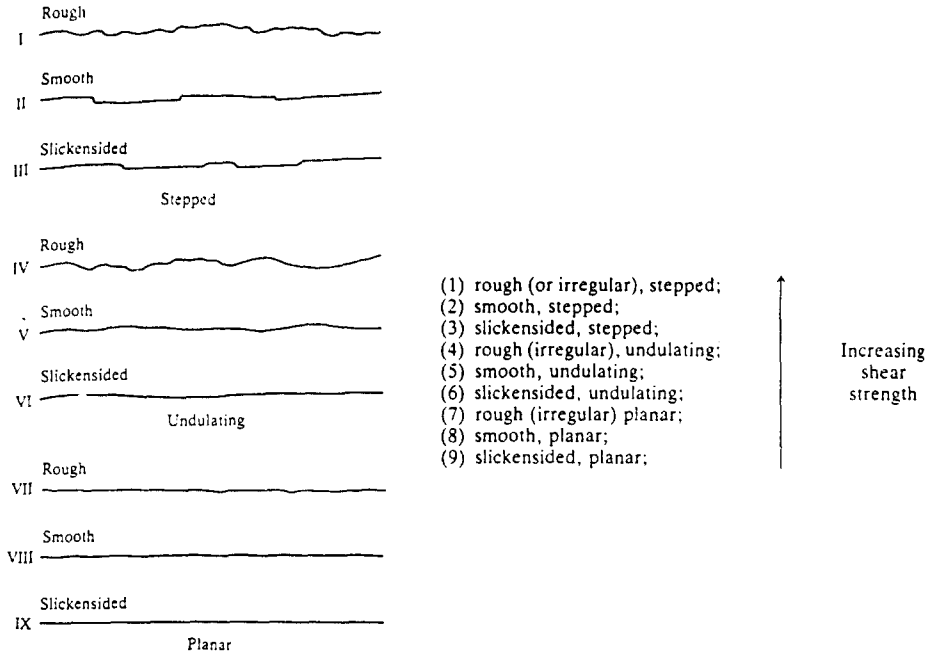


Fig. 3. Typical roughness profiles and Suggested nomenclature. The length of each profile is in the range of 1~10 m. The vertical and horizontal scales are equal (after Barton, 1977).

Table 10. Groundwater Conditions (ISRM, Romana)

Description	Unfilled Joints		Filled Joints	
	Joint	Flow	Filling	Flow
Comp. dry	Dry	No	Dry	No
Damp	Stained	No	Damp	No
Wet	Damp	No	Wet	Some drips
Dripping	Wet	Occasional	Outwash	Dripping
Flowing	Wet	Continuous	Washed	Continuous

5. 사면의 안정성 분류(Stability Classes)

Table 4에서 5등급의 안정성 분류를 제시하였고 그 요약은 다음과 같다.

- Class I : Completely Stable. No failures
- Class II : Stable. Some block failures
- Class III: Partially Stable. Planar failures in some joints and many wedge failures
- Class IV: Unstable. Planar failures in many joints or big wedge failures
- Class V : Completely unstable. Big planar failures

res or soil-like failures

각기 다른 파괴형태에 대한 SMR 분류안의 경험적인 Rating 값은 Table 11과 같다.

6. 보강대책(Support Measures)

6.1 일반사항

불안정한 사면에 대한 보강대책은 여러가지 방법이 있으며 특히 여러 다른 지보방법이 동시에 병행될 때 암반사면 지보재의 정확한 효과에 관한 기술적 문헌은 충분하지 않다. 따라서 불안정한 암반사면에 대한

Table 11. Limit Values of SMR for Different Failure Modes

SMR	Plane failures	Wedge failures	
>75	None	None	
60-70	None	Some	
40-55	Big	Many	
15-40	Major	NO	

SMR	Toppling failures	SMR	Soil-like failures
>65	None	>30	None
50-65	Minor	10-30	Possible
30-35	Major		

현장보강대책의 결정은 그리 쉬운 일이 아니다. 지보대책은 다음과 같이 분류될 수 있다.

- (i) 무지보(No Support) : None, Scaling
- (ii) 보호(Protection) : Toe ditches

Fences (at toe in the slope)

망 (over the slope face)

(iii) 보강(Reinforcement) : 볼트, 앵커

(iv) 콘크리트(Concreting) : 슛크리트, Dental 콘크리트

Ribs and/or beams

Toe walls

(v) 배수(Drainage) : 표면, 심층

(vi) 재굴착(Reexcavation)

각 지보 단계(Fig.4)에 대한 더 일반적인 지보 보강대책은 Table 12와 같다. Table 13은 각 지보 단계에 대한 넓은 의미의 SMR range를 보여주고 있다.

6.2 보호수단(Protection Measures)

6.2.1 Toe ditch

Toe ditch는 평면파괴, 췌기파괴 및 소규모 전도

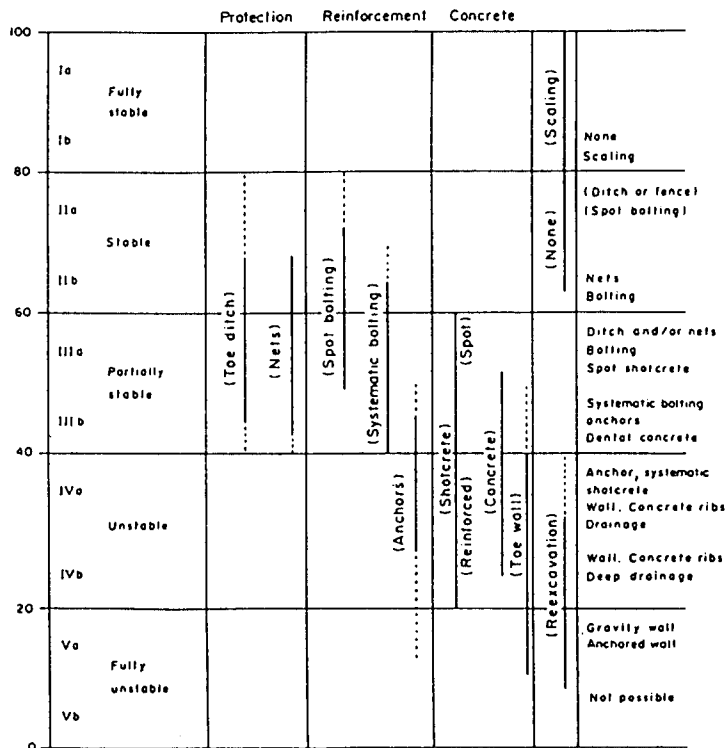


Fig. 4. Correction methods according to SMR range.

Table 12. Recommended Support Measures for Each Stability Class

Class	SMR	Support
Ia	91-100	None
Ib	81-90	None. Scaling
IIa	71-80	(None. Toe ditch or fence) Spot bolting
IIb	61-70	Toe ditch or fence. Nets Spot or systematic bolting
IIIa	51-60	Toe ditch and/or nets Spot or systematic bolting Spot shotcrete
IIIb	41-50	(Toe ditch and/or nets) Systematic bolting. anchors Systematic shotcrete Toe wall and/or dental concrete
IVa	31-40	Anchors Systematic shotcrete Toe wall and/or concrete (Reexcavation) Drainage
IVb	21-30	Systematic reinforced shotcrete Toe wall and/or concrete Reexcavation. Deep of drainage
Va	11-20	Gravity or anchored wall Reexcavation

(i) Very often several different support methods are used in the same slope.

(ii) Less usual support measures are in brackets.

파괴가 발생시 도로에서 떨어지는 암편을 잡아주는데 매우 유용하다. Ritchie는 3가지 유형으로 낙석을 분류하였다.

(i) Direct fall : for slopes 1H : 4V and Steeper

(ii) Rebound : for slopes around 1H : 2V

(iii) Roll : for slopes 1H : 1V and flatter

Table 14. Ditch Dimensions According to Ritchie

Height (m)	Slopes				
	1H:4V/1H:3V	1H:2V	3H:4V	1H:1V	5H:4V
4.5-9	3.0×0.9	3.0×0.9	3.0×1.2	3.0×0.9	3.0×0.9
9-18	4.5×1.2	4.5×1.2	4.5×1.8	4.5×1.2	3.0×1.5F
18-30	6.0×1.2	6.0×1.8F	6.0×1.8F	6.0×1.8F	4.5×1.8F
>30	6.0×1.2	7.5×1.8F	7.5×2.4F	6.0×1.8F	4.5×1.8F

W. width (m); D, depth (m) (W×D) F means that ditch depth can be 1.2 m with a fence to total depth.

Table 13. Range of SMR for Support Measure classes

SMR	Support measures
65-100	None. Scaling
45-70	Protection
30-75	Reinforcing
20-60	Concreting
10-40	Drainage
10-30	Toe walls. Reexcavation

Ritchie는 ditches와 fences의 규모에 대하여 경험적 기준을 제시하였으나 많은 공학자들은 이 기준이 규모가 너무 크고 비경제적인 것으로 판단하고 있다.

Castaneda의 기준은 $C_0 < 25$ MPa(soft rock), $F_4 > 8$ (careful blasting)인 사면에 대하여 유용하고, Ritchie의 기준은 $C_0 > 25$ MPa와 $F_4 \leq 0$ (normal blasting)인 경우에 적합한 것으로 본다. Ritchie의 Toe ditch 규모기준은 Table 14에, Castaneda의 기준은 Table 15에 제시되어 있다.

6.2.2 망(Nets)

사면에 망을 설치함으로써 암편의 자유낙하를 방지할 수 있다. 망의 설치는 썩기파괴나 소규모 전도 파괴에 대하여 유용하다. 암편의 초과하중에 의한 망의 파괴를 방지하기 위하여 망은 J_v 값이 큰 사면에 사용되어야 한다(Table 16 참조).

6.3 보강방안(Reinforcement)

6.3.1 볼트설치

사면에서의 볼트설치는 전 세계적으로 사용된 기법이나 설계에 대한 표준규칙도 없으며 볼트의 설계법이 기술문헌에 나타나 있지 않은 실정이다. 볼트는 사면에 있어 일시적이고 영구적인 지보재로서 사용

Table 15. Ditch Dimensions According to Castaneda

Height (m)	Slope 1H:4V/ 2H:3V	Height (m)	Slope 2H:3V/ 1H:1V
10-25	2.2×1.2	6-20	2.2×1.2
25-40	3.2×1.6	>20	3.5×1.8
>40	3.7×2.0		

W, width (m); D, depth (m) (W×D)

Table 16. Indicative Conditions for use of Nets (Romana)

J _v	Type of Net	Block weight (kN)
5-10	Reinforced	1.5-5
>10	Normal	>1.5

되어 왔다. 볼트 유형은 다음과 같다.

- (i) 완전 그라우트, 무인장(Fully grouted, Not tensioned)
 - 레진이나 몰탈로 그라우팅
 - 선단부에서 인장하지 않음
 - 보통 rebar 형태(φ 20~25 mm)
- (ii) 인장볼트(Tensioned)
 - 일반적으로 팽창방식(split and wedge 형)
 - 선단부에서 인장함
 - 내하 평판(bearing plate) 이용
 - 부식 방지 위해 몰탈로 그라우팅
- (iii) 그라우트 볼트(Grouted bolts)의 특성
 - 볼트길이(3~4 m)
 - 불안정한 절리를 통과하여 견고한 암반에 1~2 m까지 설치
 - 사면 높이의 1/10보다 크게 설정
 - 강도(120~150 kN)

암반은 다음의 암종에 있는 절리 갯수에 따라 다음과 같이 분류된다.

- (i) 덩어리진(Blocky), 경암(Blocky hard rock)
 - 절리간격(>1 m)
 - 절리갯수(J_v=1~3개/m³)
 - 설치간격(3~3.5 m)
- (ii) 파쇄된 경암

Table 17. Conditions for Adequate Use of Bolting (Romana)

Rock strength C _o (MPa)	Joint volumetric count J _v (joints m ⁻³)	Bolting
<5	>18	Not adequate
5-25	10-18	Systematic with shotcrete
>25	3-10	Systematic bolting
>25	<3	Spot bolting

- 절리간격(0.3~1 m)
- 절리갯수(3~10개/m³)
- 설치간격(1~3 m)
- (iii) 매우 파쇄된 경암
 - 절리간격(<0.3 m)
 - 절리갯수(>10/m³)
 - 설치간격(1 m)+ 슛크리트 15~25 cm(J_v=10-18)
- (iv) 개방되거나 점토로 채워진 절리를 지닌 풍화암
 - 낙반을 방지하기 위해 절리를 통과하여 신선한 암반까지 설치
 - 적절한 암석과 절리의 배치에 맞게 볼트의 간격과 길이 설정
- (v) 연암
 - 매우 연약한 암반에서는 완전히 인장되지 못하므로 볼트를 보통 제한하여 적용
 - 연암에서는 볼트를 연속적이고 보강된 두꺼운 슛크리트와 병행하여 사용

적절한 볼트설치에 대한 암반조건은 Table 17에 요약되어 있으며 SMR 안정성 분류에 관한 볼트 패턴은 Table 18에 제시되어 있다.

6.3.2 앵커링(Anchoring)

앵커는 사면의 표면에서 안정한 지반까지 연결시키는 긴 철재봉(long steel bar)이다. 이를 설치함으로써 사면의 안정성을 높이고 동시에 절리의 전단강도를 증진시키는 역할을 한다. 앵커는 여러 형태가 사용될 수 있으며 그 특성은 다음과 같다.

- (i) 길이 • 가장 유용한 길이(12~20 m)

Table 18. Indicative Patterns for Rock Bolting in Slopes (Romana)

Class	SMR	Bolt (S m ⁻²)	D (m)	Force density (kN m ⁻²)	Shotcrete
II	>65	0.08	3.5	10-12.5	No
IIb	65-60	0.11	3.0	13.3-16.6	No
III	65-40	0.40	1.6	48-60	Spot
		0.70	1.2	84-105	Spot or systematic
		1.00	1.0	120-150	Systematic
IIIb	45-40	1.00	1.0	120-150	Systematic reinforced

D, distance between bolts.

Table 19. Indicative Patterns for Anchoring Slopes (Romana)

Class	SMR	Force density (kNm ⁻²)	Shotcrete	Concrete
IIIb	50-40	10-25	Reinforced	Monuments
		25-50	Reinforced	Monuments
IVa	40-30	50-100	No	Ribs and/or beams (wall)
		100-200	No	Ribs and/or beams (wall)
IVb	30-20	As required	No	Wall (ribs and beams)

- (ii) 강도
 - 설치가능 길이(8~30 m)
 - 가장 유용한 강도(700~1000 kN)
 - 가능한 강도(300~2000 kN)
- (iii) 설계
 - 가장 보편적 설계(1개소/10~35 m²)
 - 가로, 세로로 배치
- (iv) 선단부
 - 독립된 콘크리트체(1×1×0.5 m)
 - 콘크리트 rib이나 beams (폭: 1~1.5 m)
 - Anchored 벽체
 - Toe walls (중력식 옹벽의 안정을 위해 설치)

앵커는 대규모 평면파괴, 전도파괴 및 전반적으로 불안정한 사면에 매우 유용하며 Table 19에 개략적인 지침이 표시되어 있다.

6.4 콘크리팅(Concreting)

6.4.1 슛크리트

사면에 슛크리트 작업은 용이하며 조기에 작업이 가능하여 매우 효율적인 보강 방법으로 알려져 있다. 그러므로 많은 사면에 불안정한 현상이 처음 발생할 때 슛크리트를 타설한다. 그러나 사면에 타설된 슛크리트의 실제 효과를 평가함은 그리 용이하지 않다.

시간이 경과함에 따라 슛크리트 층이 파괴되어 도로 또는 사면 하부로 그 조각이 떨어짐을 방지하기 위하여 표면망(Surface net)이 설치되기도 하였다. 암편이 발달된 사면($J_v=10\sim18$)에는 Systematic Shotcrete가 시행되어야 하며 독립된 Anchor head로 토압을 분산시킬 수 있다.

약한 암질로 구성된 사면에서 풍화, 침식으로부터 사면을 보호하기 위하여 슛크리트가 타설될 경우 다음 사항을 유의하여야 한다.

(1) 사면을 깨끗이 한다(콤프레샤 에어 또는 물 등으로)

(2) 몇개 층으로 타설한다(예: 1차 3 cm, 2차 5 cm, 3차 10 cm)

(3) 암반에 슛크리트를 안전하게 부착하기 위해 Short bolts를 설치한다.

(4) 사면에 자연 배수지와 같은 곳에는 절대적으로 타설을 피한다. 왜냐하면 절리 내의 수압을 크게 하여 사면을 불안정한 상태로 만들 수 있기 때문이다.

(5) 지하수압을 경감시키기 위하여 배수시설을 설치한다.

6.4.2 Dental 콘크리트

Dental 콘크리트는 일괄적으로 안정한 사면에 부

분적인 보강이 필요한 곳에 적합하다. 이는 석축(Masonry)으로 대체될 수도 있다. 이는 풍화에 잘 견디는 사면과 같은 암종으로 보강이 될 수 있는 장점을 지닌다. 어떤 경우라도 Dental 콘크리트는 암반사면에 있는 자연배수지를 교란시키지 않도록 설치한다.

6.4.3 Ribs, Beams, Walls

콘크리트 Rib와 Beam은 사면에 대하여 저항체로 작용한다. 또한 Toe wall도 같은 기능을 하며 앵커와 같이 설치될 수 있다. 완전히 불안정한 사면은 Gravity wall 그 자체로 또는 추가적인 앵커 설치로 안정성을 유지할 수 있다. 연속적인 Wall은 암반사면의 깊은 배수에 대한 유효한 조향이 포함되어야 한다.

6.5 배수(Drainage)

6.5.1 표면배수(Surface drainage)

표면배수는 사면의 안정성에 큰 역할을 한다. 사면 최상부의 유수는 개방된 인장 균열(tension crack) 사이로 유입된다. 이때 걸리는 수압은 균열(crack) 깊이의 제곱에 비례하므로 매우 불안정한 힘이 된다. 또한 사면의 표면에 흐르는 유수도 연약한 지역에 침식되어 국부적인 불안정 요소가 될 수 있다.

사면의 배수시설은 사면 정상 Ditch로부터 수직, 수평으로 상부의 유수를 분산시킴으로서 사면을 보호한다. 표면 배수시설은 효율적으로 잘 이루어져야 한다. 콘크리트 ditch는 갈라질 수 있으며 이때 유수는 사면의 배수관 대신 절리 속으로 유입된다. 따라서 배수관은 사면의 변형을 초래하지 않도록 부드러운 자재로 효율적인 연결이 되어야 한다.

6.5.2 심층배수(Deep drainage)

유수는 암반사면의 절리를 통하여 스며 나온다. 절리의 수리 전도율은 절리폭의 삼승에 비례한다. 절리 틈이 채워져 있으면 불투수성 상태로 된다. 지표 근처에서 절리는 개방되는 경향이 있어 매우 투수성이 높다. 이러한 이유로 내부수압은 암반사면의 경우 토질 사면보다 불안정한 요인으로 덜 중요한 요소가 된다. 많은 토질 산사태는 단지 내부 배수처리로 충분히 조정될 수 있다. 암반사면에 있어 내부 배수처리는 다른 지보재(Anchoring/walls)와 같이 사용되어야 한다.

가능한 심층 배수 시스템(Deep drainage system)은 다음과 같다.

- (i) 수평 toe 배수
 - (‘French’ or ‘Californian’)
 - 사면 끝에서부터 수평으로 굴착
 - 흘러 넘치는 것을 방지하기 위한 필터 설치
 - 사면하부 파괴시 취약
 - 사면표면의 수압을 제거함에 매우 효과적임
- (ii) 수직 배수
 - 사면으로부터 수직으로 굴착
 - 사면에 Perched 지하 수위가 있을 때 매우 효과적
- (iii) 수평 배수갱
 - 사면에 평행으로 설치
 - 가장 효율적인 방법
 - 댐을 제외하고 토목공학적 사용은 일반적이지 않음
 - 깊은 배수로는 주로 사면에 일정한 지하수위가 유지될 때와 매우 건조한 기후나 큰 수평적 수리 전도도를 갖는 절리가 발달된 상황에서 유용하며, 대규모 평면 파괴나 불안정 사면에 효율적이다.
- (i) 최적 배수의 길이
 - H_w 는 사면의 위험 높이에서 3배 되는 거리의 사면바닥에서 지하수위의 높이
 - 일반적으로 6~12 m
- (ii) 배수로 사이의 최적 거리
 - 배수길이의 0.33 내지 0.5배의 거리
 - 일반적으로 2~6 m
- (iii) 최적 방향
 - 이론적으로 하부사면방향 $10^\circ \sim 15^\circ$
 - 보통 수평
 - 상부사면 방향 $5^\circ \sim 10^\circ$
- (iv) 최적 재료
 - PVC 관 사용
 - 유출됨을 방지하기 위해 관 주위에 Geotextile 필터 설치

7. 결 론

암반분류의 방법은 RSR(Rock Structure Rating), RMR(Rock Mass Rating), Q system 등의 여러방법이 개발되어 왔으며, 본고에서는 스웨덴의 M.R. RO-

MANA에 의해 제시된 SMR(Slope Mass Rating) 방법을 소개하였다. 이 분류안은 RMR 분류와 같은 자료를 요하며 각 안정 등급에 따른 사면의 안정성 문제점의 예상과 지보기술을 제시하고 있다. 국내의 경우 도로절취 사면, 터널 입구사면 및 진입로 사면 등에서 체계적인 암반분류의 방법이 많이 요구되고 있으므로 참고자료로서 이 분류안을 소개하며 국내 실정에 맞는 새로운 암반사면 분류안이 개발되어야 할 것으로 본다.

참 고 문 헌

- 1) Bieniawski Z.T., Engineering Rock Mass Classifications. Wiley, New York (1989).
- 2) Bieniawski Z.T., Engineering classification of jointed rock masses. Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng. 15, 355-344 (1973).
- 3) Bieniawski Z.T., Rock mass classification in rock engineering. In Proc. Symp. Exploration for Rock Eng., vol. 1, pp. 97-106. Balkema, Rotterdam (1976).
- 4) Bieniawski Z.T., The Geomechanics Classification in rock engineering applications. In Proc. 4th Int. Congr. Rock Mech., Montreux, chap. 5, pp. 55-95. Balkema, Rotterdam (1979).
- 5) Bieniawski Z.T. and Orr C.M., Rapid site appraisal for dam foundations by Geomechanics Classification. In Proc. 12th Int. Congr. Large Dams, Q46, R32, pp. 483-501. ICOLD, Mexico (1976).
- 6) Serafim J.L. and Pereira J.P., Considerations on the Geomechanics Classification of Bieniawski. In Proc. Int. Symp. Eng. Geol. and Underground Construction, Lisbon, vol. 1, pp. II 31-II 42. (1983).
- 7) Kendorski F.S., Cummings R.A., Bieniawski Z.T. and Skinner E.H., Rock mass classification for block caving mine drift support. In Proc. 5th Int. Congr. Rock Mech., Melbourne, Section B. Balkema, Rotterdam (1983).
- 8) Steffen O.K.H., Research and development needs in data collection for rock engineering. In Proc. Symp. Exploration for Rock Eng. vol. 2, pp. 95-104. Balkema, Rotterdam (1976).
- 9) Bieniawski Z.T., Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling, Chap. 5, pp. 55-95. Balkema, Rotterdam (1984).
- 10) Goodman R.E. and Bray J.W., Toppling of rock slopes. In Proc. Spec. Conf. Rock Eng. Found and Slopes, vol. 2, pp. 201-234. ASCE, Boulder, CO (1977).
- 11) Goodman R.E., Methods of Geological Engineering, pp. 192-199. West Publishing, San Francisco (1976).
- 12) Swindells C.F., The detection of blast induced fracturing to rock slopes. In Proc. Int. Symp. on the Role of Rock Mech., pp. 81-86. Zacatecas (1985).
- 13) ISRM SUGGESTED METHODS Quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 15, 319-368 (1978).
- 14) Haramy K.Y. and DeMarco M.J., Use of the Schmidt hammer for rock and coal testing. In Proc. 26th U.S. Symp. Rock Mech., Rapid City, SD (Edited by E. Ashworth), pp. 549-555. Balkema, Rotterdam (1985).
- 15) ISRM SUGGESTED METHODS Determining hardness and abrasiveness of rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 15, 89-97 (1978).
- 16) Barton, N. and Choubey, V., The shear strength of rock joints in theory and Practice Rock Mechanics. 10, 1-54. (1977).
- 17) Romana M., Nuevos factores de ajuste para la aplicacion de la clasificacion de Bieniawski a los taludes. Jorn. Géotec. Nac. (1985).
- 18) Romana M., New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. In Proc. Int. Symp. on the Role of Rock Mech., pp. 49-53. Zacatecas. (1985).
- 19) Romans M., Practice of SMR classification for slope appraisal. In Proc. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne. Balkema. Rotterdam. (1988).
- 20) Castañeda R., Algunos tratamientos de taludes rocosos en carreteras frente a desordenes Superficiales. Simp. Nal. Sobre Rocas Blandas. SEMR, Madrid. (1976).