

## 토목기술자를 위한 암반공학(Ⅳ)

김 교 원\*<sup>1</sup>  
오 대 열\*<sup>2</sup>

### 4. 공학적 지반분류

#### 4.1 개요

지반을 구성하는 물질의 분류는 사용 목적에 따라서 다양하게 분류할 수 있다. 즉, 농업 분야에서는 경작에 필요한 표토층에 대한 자세한 분류가 필요하며, 광업분야에서는 유용광물의 채광 가능성에 관심을 가진 분류가 중요하지만, 건설공학 분야에서는 시설이나 구조물을 건설하는데 필요한 지반분류를 수행하는 것이 주 목적이 된다.

건설공학적인 목적을 위하여 국내·외적으로 여러 기관 또는 연구자들에 의해 다양한 종류의 흙, 암석 및 암반에 대한 여러 가지 분류방법이 제시되어 있으나, 본 강좌에서는 실무에 참고할 수 있도록 각 분류안을 집대성하였다. 즉, 국내 공사현장에서 공사비를 산출하기 위해 적용하고 있는 “건설표준품셈”의 암분류, 국제적으로 널리 적용되고 있는 정량적인 암반분류 기준인 “RMR. 분류”와 “Q-System”, 서울시의 표준 지반분류, 일본의 도로공단 및 국유철도의 암반분류 및 프랑스 터널기술협회(AFTES) 등 각국 또는 각 기관에서 각자의 실정에 맞게 제정하여 적용하고 있는 암반분류방법을 소개한다.

#### 4.2 건설 표준 품셈의 암분류

건설표준품셈에 제시된 토공용 토질 및 암의 분류는 다음 표 4.2.1과 같다. 암 그룹 A, B에는 표 4.2.2와 같은 대표적인 암종이 있다. 건설표준품셈의 암분류 기준인 내압강도는 시료를 5×5×5cm의 입방체로 성형하여, 24시간 동안 노건조시키고 다시 48시간 수침시킨 후에 수행하는 압축강도로서 정확한 시료성형이 용이하지 않기 때문에 실제 적용하기에는 많은 어려움이 있다.

또한, 일반적으로 시료의 길이:직경 비에 따라서 측정되는 강도에 상당한 차이를 보이고 있으며 시료의 형상(입방체, 원주체 등)에 따른 강도차이도 있기 때문에, 시추시 얻어지는 암석 코아시료를 이용한 압축강도와 대비가 곤란하다. 더구나, 토공사의 공사비 산정에 기준이 되는 건설표준품셈의 암분류는 암석자체의 강도만을 분류기준으로 고려하고 있기 때문에 설계 및 시공법 결정 등 공학적인 측면에서 활용하기는 실용성이 부족한 것으로 판단된다.

\*1 정희원, 경북대학교 자연과학대학 지질학과 조교수

\*2 경북대학교 대학원 지질학과, 박사과정, (주)아주지오엔지니어링, 차장

표 4.2.1 표준품셈의 토공용 토질 및 암의 분류

토질 및 암	개요	탄성파속도		내압강도	
		자연상태	암 편		
		$v$ (km/sec)	$v_c$ (km/sec)	kg/cm <sup>2</sup>	
토사	보통토사	보통상태의 실트 및 점토, 모래질 흙(사질토) 및 이들의 혼합물로서 삽이나 팽이를 사용할 정도의 토질(삽 작업을 하기 위하여 상체를 약간 구부릴 정도)	-	-	
	견질토사	견고한 모래질흙이나 점토로서 팽이나 곡팽이를 사용할 정도의 토질(체중을 이용하여 2~3회 동작을 요할 정도의 토질)	-	-	
	고사점토 및 자갈섞인 토사	자갈질(역질)흙 또는 견고한 실트, 점토 및 이들의 혼합물로서 곡팽이를 사용하여 파낼 수 있는 단단한 토질	-	-	
	호박돌 섞인 토사	호박돌(지름 18cm 이상의 가공하지 않은 호박돌) 크기의 돌이 섞이고 굴착에 약간의 화약을 사용해야 할 정도로 단단한 토질	-	-	
암	풍화암 (연암Ⅰ)	암질이 부식되고 균열이 1~10cm 정도로서 굴착에는 약간의 화약을 사용해야 할 암질로서, 일부는 곡팽이를 사용할 수도 있는 암질	A 0.7~1.2 B 1.0~1.8	A 2.0~2.7 B 2.5~3.0	A 300~700 B 100~200
	연 암 (연암Ⅱ)	혈암, 사암 등으로 균열이 10~30cm 정도로서 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하나 석축용으로는 부적합한 암질	A 1.2~1.9 (0.7~2.8) B 1.8~2.8	A 2.7~3.7 B 3.0~4.3	A 700~1,000 B 200 ~500
	보통암 (중경암)	풍화상태를 벗출수 있으나 굴삭 또는 절취에는 화약을 사용해야 하며 균열이 30~50cm 정도의 암질(석회석, 다공질 안산 암 등)	A 1.9~2.9 (2.0~4.0) B 2.8~4.1	A 3.7~4.7 B 4.3~5.7	A1,000~1,300 B 500 ~ 800
	경 암 (경암Ⅰ)	화강암, 안산암 등으로 굴착에는 화약을 사용해야 하며, 균열상태가 1m 이내로서 석축용으로 쓸수 있는 암질	A 2.9~4.2 (3.0 이상) B 4.1 이상	A 4.7~5.8 B 5.7 이상	A 1,300~1,600 B 800 이상
	극경암 (경암Ⅱ)	암질이 대단히 밀착된 단단한 암질 (규암, 각석 등 석영질이 풍부한 경암)	A 4.2 이상	A 5.8 이상	A 1,600 이상

주) 탄성파속도 및 ( )은 일본건설성 품셈 참고

### 4.3 RMR 분류법

정량적인 분류인자에 기준한 암반분류법인 Rock Mass Rating(RMR) System은 Bieniawski(1973)에 의하여 발표된 후 수정·보완(1979)되었으며 여러 연구자들에 의하여

보완되어 왔다. 이 분류안은 특히 터널설계 시에 많이 적용되며 그 내용은 다음 표 4.3.1과 같이 시료의 강도, RQD, 절리면 간격, 절리면 상태 및 지하수 상태에 의하여 암반을 분류하고 표 4.3.2에 제시한 바와 같이 절리면의 방위에 의하여 RMR 값을 보정하게 된다. 보정

된 평점은 표 4.3.3에 의하여 5등급으로 분류되며 각 등급별로 터널의 자립시간, 강도정수 등이 주어진다. 표 4.3.4은 터널에서의 절리 방

위의 유·불리의 상관관계를 나타내며 표 4.3.2에서 보정 평점을 결정하는데 이용된다.

표 4.2.2 그룹별 대표 암종 및 특징

구분	그룹 분류	그룹별 대표적인 암석명	
		A 그룹	B 그룹
대표적 암명		편마암, 사질편암, 녹색편암, 각섬암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사문암, 유문암, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 혈암, 니암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각 판정		사질분·석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단함. 결정도가 높은 암.	사질분·석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 암, 천매상의 암.
500~1.000gr 해머의 타격에 의한 판정		타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되거나 거의 암분을 남기지 않는 것	타격점의 암 자신이 깨어지지않고, 분말상이 되어 남으며 암편이 별로 비산되지 않는 것

표 4.3.1 Bieniawski의 RMR 분류

분류기준		특성치 구분 및 평점							
R1	시료강도	점하중강도지수	100	40	20	10	일축압축강도 이용		
		일축압축강도	2500	1000	500	250	100	30	
	R1 평점	15	12	7	4	2	1	0	
R2	암질표시율(RQD)%	90	75	50	25				
	R2 평점	20	17	13	8	3			
R3	절리면 간격(Js)cm	200	60	20	6				
	R3 평점	20	15	10	8	5			
R4	절리면 상태 (Jc)	연장 길이(m)	< 1	1~3	3~10	10~20	> 20		
		평 점	6	4	2	1	0		
		분리폭(mm)	밀착	< 0.1	0.1~1.0	1~5	> 5		
		평 점	6	5	4	1	0		
		거칠기	매우거침	거침	약간거침	매끄러움	아주 매끄러움		
		평 점	6	5	3	1	0		
		충전물두께(mm)	없음	전고 < 5	전고 > 5	연약 < 5	연약 충전물 > 5		
		평 점	6	4	2	2	0		
		풍화도	신선함	약간풍화	중간풍화	심한풍화	완전풍화		
평 점	6	5	3	1	0				
R5	지하수 상태	유입량 (l/분)	0	10	25	125	(터널 10m 당)		
		수압/응력 비	0	0.1	0.2	0.5			
		건습 상태	건조	습윤	젖음	소유출	대량유출		
	R5 평점	15	10	7	4	0			

표 4.3.2 절리면의 방위에 따른 RMR 평점의 보정

절리면의 주향·경사		매우 유리	유리	양호	불리	매우 불리
평 점	터널	0	-2	-5	-10	-12
	기초	0	-2	-7	-15	-25
	사면	0	-5	-25	-50	-60

표 4.3.3 RMR 평점에 의한 암반 구분과 특성치(1989)

RMR 평점	81~100	61~80	41~60	21~40	20이하
암반등급	I	II	III	IV	V
암반상태	매우 우수	우수	양호	불량	매우 불량
평균 무지보폭 및 자립시간	15m Span 20년	10m Span 1년	5m Span 1주일	2.5m Span 10시간	1m Span 30분
암반점착력 $c_m(t/m^2)$	> 40	30~40	20~30	10~20	< 10
암반내부마찰각 $\phi_m(^{\circ})$	> 45°	35~45°	25~35°	15~25°	< 15°
암반 변형계수 $D_m(kg/cm^2)$	RMR > 50 : $D_m = 20,000(RMR-50)$ RMR ≤ 50 : $D_m = 10^{[(RMR-10)/40]+4}$			Bieniawski(1978) Serafim과 Pereira(1983)	

표 4.3.4 절리면의 방위와 터널 굴진방향의 상관관계(수정 Wickham, 1972)

절리면의 주향이 터널 굴진방향과 수직				절리면의 주향이 터널 굴진방향과 평행		주향과 무관
내림 경사방향 굴진		오름 경사방향 굴진		경사각	경사각	
경사각 45~90°	경사각 20~45°	경사각 45~90°	경사각 20~45°	경사각 45~90°	경사각 20~45°	경사각 20° 이하
매우 유리	유리	양호	불리	매우 불리	양호	양호

#### 4.4 Q-System 분류

Barton 등(1974)은 스칸디나비아 반도에서의 212개 터널에 대한 분석에 기초하여 Q-System이라는 정량적인 암반분류안을 제안하였다. 이 분류안은 표 4.4.1에 제시된 6개의 정량적인 분류기준에 의하여 다음 식으로 Q 값을 산출하고 그에 따라서 암반을 분류하고 있다.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad (4.4.1)$$

Q 값의 범위는 0.001 에서 1,000까지로서 표

4.4.1과 식 4.4.1에서 결정된 Q 값과 표 4.4.2의 ESR 값과 식 4.4.2에서 결정된 계수 De에 의하여 그림 4.4.1에 제시한 바와 같이 암반의 등급을 규정하게 된다.

$$De = \frac{\text{최대직경, 높이 또는 굴진장(m)}}{ESR} \quad (4.4.2)$$

Q값과 RMR값과의 상관관계는 다음 식과 같이 제안되었다.

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (\text{Bieniawski, 1976}) \quad (4.4.3)$$

$$RMR = 10.5 \ln Q + 42 \quad (\text{Abad, et al., 1983}) \quad (4.4.4)$$

표 4.4.1 Q-System 암반분류 기준

1. 암질 표시율	RQD	비 고
A. 매우 불량	0~ 25	1) RQD가 10% 이하인 경우는 10으로 고려하여 Q값을 산정함. 2) RQD 간격은 5% 간격으로 함 (예: 100, 95, 90, 85 . . . . 15, 10).
B. 불량	25~ 50	
C. 보통	50~ 75	
D. 양호	75~ 90	
E. 매우 양호	90~100	

2. 절리군의 수	Jn	비 고
A. 피상으로 절리가 거의 없음	0.5~1.0	1) 터널 교차부에서는 (3.0×Jn)을 적용 2) 터널 갱구부에서는 (2.0×Jn)을 적용
B. 1방향의 절리군	2	
C. 1방향의 절리군과 부수절리	3	
D. 2방향의 절리군	4	
E. 2방향의 절리군과 부수절리	6	
F. 3방향의 절리군	9	
G. 3방향의 절리군과 부수절리	12	
H. 4방향 이상의 절리군, 심한 절리 발달, 또는 각 사탕상 절리발달	15	
J. 파쇄상태 또는 토사상태	20	

3. 절리면 거칠기 계수	Jr	비 고
a. 밀착 절리면	4.0 3.0 2.0 1.5 1.5 1.0 0.5	1) 관련 절리군의 평균 절리면 간격이 3.0m 이상인 경우는 (Jr+1.0)을 적용 2) 만일 선상구조가 유리한 방위로 발달된 경우 선구조가 발달된 매끄러운 평탄절리에 대하여 Jr=0.5를 적용
b. 절리면이 10cm 이내로 밀착		
A. 불연속성 절리		
B. 거칠거나 불규칙한 파상절리		
C. 부드러운 파상절리		
D. 매끄러운(경활면) 파상절리		
E. 거칠거나 불규칙한 평탄절리		
F. 부드러운 평탄절리		
G. 매끄러운 평탄절리	0.5	
c. 전단시 절리면 접촉이 없는 경우	1.0 1.0	
H. 점토등 절리충전물로 채워져서 절리면 접촉 불가능		
J. 사질, 역질, 파쇄대 등으로 절리면 접촉 불가능	1.0	

4. 절리면 변질계수	ja	φ r	비 고
a. 밀착 절리면	0.75 1.0 2.0 3.0	- 25~35 25~35 20~25	1) φ r값은 광물학적인 측면에서 추정된 절리충전물의 개략적인 내부마찰각임
A. 견고하게 밀착 또는 석영등으로 밀착되어 불투성인 절리			
B. 변질되지 않은 절리			
C. 약간 변질, 비연질선 광물피막, 사질 입자, 암편형재된 절리			
D. 비연질성 실트질 또는 점토질 피막의 절리	3.0		

표 4.4.1 Q-System 암반분류 기준(계속)

4. 절리면 변질계수	ja	$\phi r$	비 고
E. 연질 또는 저마찰력의 점토피막(카오린, 운모, 활석, 석고, 흑연 등) 절리, 또는 불연속성 소량의 팽창성 점토피막(1-2mm)의 절리	4.0	8~16	
b. 절리면이 10cm 이내로 밀착			
F. 사질입자, 무점토의 암편형재절리	4.0	25~30	
G. 연속성의 고압밀 비연질 점토 광물 충전 절리(1-5mm)	6.0	16~24	
H. 연속성의 중저압밀 연질 점토 광물 충전 절리(1-5mm)	8.0	12~16	
J. 연속성의 팽창성 점토충전 절리 (<5mm, 팽창성 점토의 함유율, 지하수에의 노출 정도에 따라 Ja를 조정함)	8.0~12.0	6~12	
c. 전단시 절리면 접촉이 없는 경우			
K. 풍화변질 또는 파쇄된 암편 및 점토대(G, H, J항의 점토상태 설명 참조)	6.0, 8.0, 또는 8.0~12.0	6~24	
L. 비연질성의 실트질 또는 모래질 점토대	5.0	-	
M. 두꺼운 연속 점토대(G, H, J항의 점토상태 설명 참조)	10.0, 13.0 또는 13.0~20.0	6~24	

5. 절리면 지하수 저감계수	Jw	개략수압 (kgf/cm <sup>2</sup> )	비 고
A. 건조 또는 소량의 유출 (< 5l/분)	1.0	< 1.0	1) C~F 인자는 극히 개략적인 추정이며, 배수로가 설치되는 경우 Jw값을 증가시킴 2) 결빙으로 야기되는 특수한 문제는 고려되지 않았음
B. 중간 정도의 유출 또는 가끔 절리충진물 유실	0.66	1.0~2.5	
C. 대량 유출 또는 견고한 절리면 사이로 고압유출	0.5	2.5~10.0	
D. 대량유출 또는 고압으로 절리충진물의 상당한 유실	0.33	2.5~10.0	
E. 극심한 유출 또는 발파시 고압유출되거나 점차 수압감소	0.2~0.1	> 10.0	
F. 극심한 유출 또는 고압유출 지속	0.1~0.05	> 10.0	

6. 응력저감계수	SRF	비 고
a. 굴착시 이완 가능성의 연약대 교차		1) 관계되는 전단파쇄대가 단순히 영향을 미치나 굴착지와 교차되지 않은 경우는 SRF값을 25~50% 감소시킴
A. 점토나 화학적 풍화대 등 연약대 다수있고 주변암 상태가 매우느슨	10.0	
B. 점토나 화학적 풍화대 등 단일 연약대(굴착심도 ≤ 50m)	5.0	
C. 점토나 화학적 풍화대 등 단일 연약대(굴착심도 > 50m)	2.5	

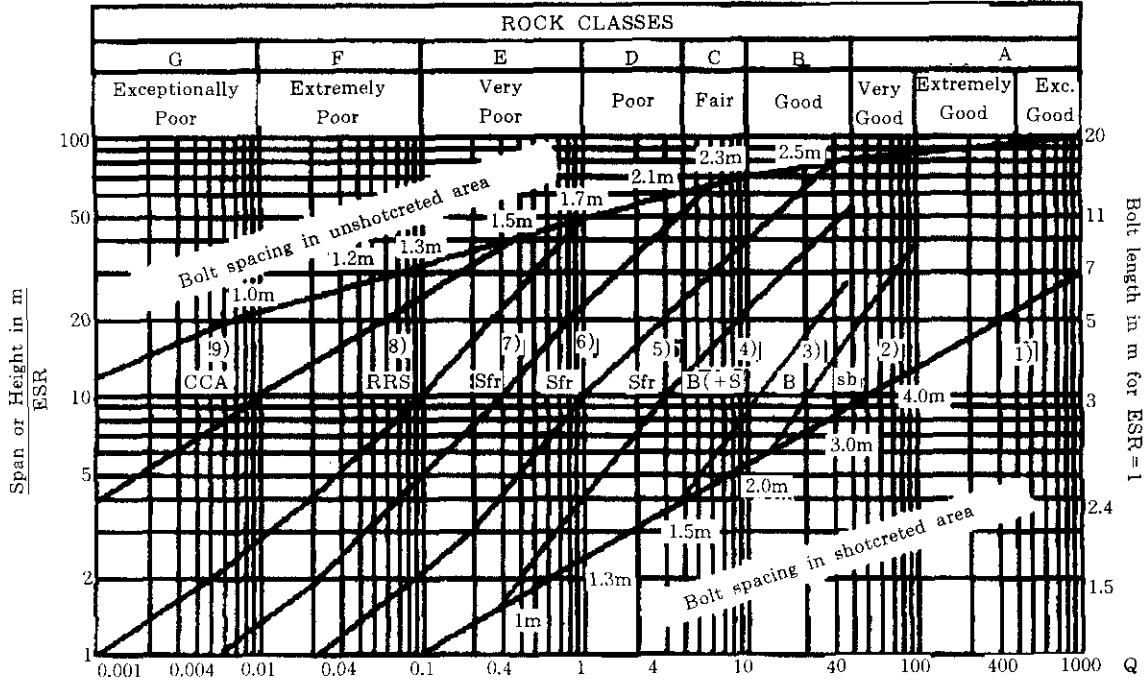
표 4.4.1 Q-System 암반분류 기준(계속)

6. 응력저감계수			SRF	비 고
E. 견고한 암반에 단일 파쇄대(굴착심도 ≤ 50m)			5.0	
F. 견고한 암반에 단일 파쇄대(굴착심도 > 50m)			2.5	
G. 느슨한 열린 절리, 심한 절리, 각 사탕상의 파쇄암반			5.0	
b. 견고한 암반의 지압 문제	$\sigma_2/\sigma_1$	$\sigma_1/\sigma_3$		2) 초기 응력장이 강한 이방성인 경우 $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ : $\sigma_2$ 를 $0.8\sigma_1$ 및 $0.8\sigma_3$ 로 한다. $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ : $\sigma_2$ 를 $0.6\sigma_1$ 및 $0.6\sigma_3$ 로 한다. ( $\sigma_2$ = 일축압축강도, $\sigma_3$ = 인장강도)
H. 낮은 지압, 지표근처	> 200	> 13	2.5	
J. 중간 지압	200~10	13~0.66	1.0	
K. 높은 지압, 견고한 지질 구조(안정성은 양호하나 벽면안정성 불리)	10~5	0.66~0.33	0.5~2.0	
L. 약한 암반파단(괴상)	5~2.5	0.33~0.16	5~10	
M. 심한 암반 파단(괴상)	< 2.5	< 0.16	10~20	
c. 유동성 암반, 높은 지압하에서 소성 유동되는 비전질 암반				3) 천정부의 심도가 터널 직경보다 적은 경우 SRF 2.5~5배 증가시킴 (H 참조)
N. 약한 유동암			5~10	
O. 높은 유동암			10~20	
d. 팽창성 암반				
P. 낮은 팽창암			5~10	
Q. 높은 팽창암			10~15	

표 4.4.2 ESR 값의 결정

지하굴착의 종류	ESR	분석사례 건수
A. 임시 광산갱도	3~5	2건
B. 원형 수직갱 사각형 수직갱	2.5 2.0	-
C. 영구 광산갱도, 수로터널(고수압터널 제외), 선진도갱, 대단면 터널 상부반단면 굴착	1.6	83건
D. 저장용 지하공동, 수처리 시설, 소규모 고속도로 및 철도터널, 서지 공동, 진입터널	1.3	25건
E. 지하발전소, 주요 도로 및 철도터널, 지하방호공동, 터널갱구부, 터널교차부	1.0	73건
F. 지하 핵발전소, 지하철도역사, 지하공장	0.8	2건

(1993년도 Q System 개정판)



$$\text{Rock mass quality } Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

<적용 지보공 범례>

- (1) 무지보
- (2) 랜덤 록볼트
- (3) 시스템 록볼트
- (4) 시스템 록볼트+숏크리트 40~100mm
- (5) 시스템 록볼트+강섬유 숏크리트 50~90mm
- (6) 시스템 록볼트+강섬유 숏크리트 90~120mm
- (7) 시스템 록볼트+강섬유 숏크리트 120~150mm
- (8) 시스템 록볼트+강섬유 숏크리트 150mm이상+강지보공
- (9) 보강 콘크리트 라이닝

그림 4.4.1 Q-System에 의한 암반 등급분류 및 적용 지보공

4.5 굴착 난이도에 의한 분류

암반에서의 굴착 난이도는 암석 코어 강도 외에 암석의 종류, 암석의 조직 및 경도 풍화 상태와 절리발달 정도에 따라 다르게 된다. 특히 절리의 연속성과 간격에 따라 암석종류별 암반 강도의 변화 폭이 커지게 되어 굴착난이

도에 의한 암반 분류에서는 암석 코어 강도와 절리 상태가 동시에 고려되어 분류되어야 한다. 그림 4.5.1 및 그림 4.5.2는 굴착 난이도에 의한 암반 분류와 리퍼빌리티(Ripperbility)를 각각 나타낸다.



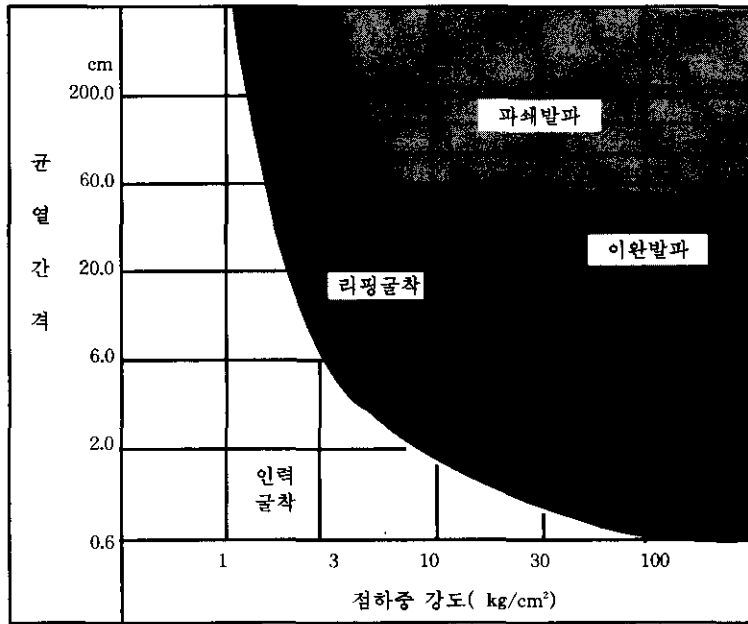


그림 4.5.1 굴착난이도 결정을 위한 암반분류(Franklin, 1971)

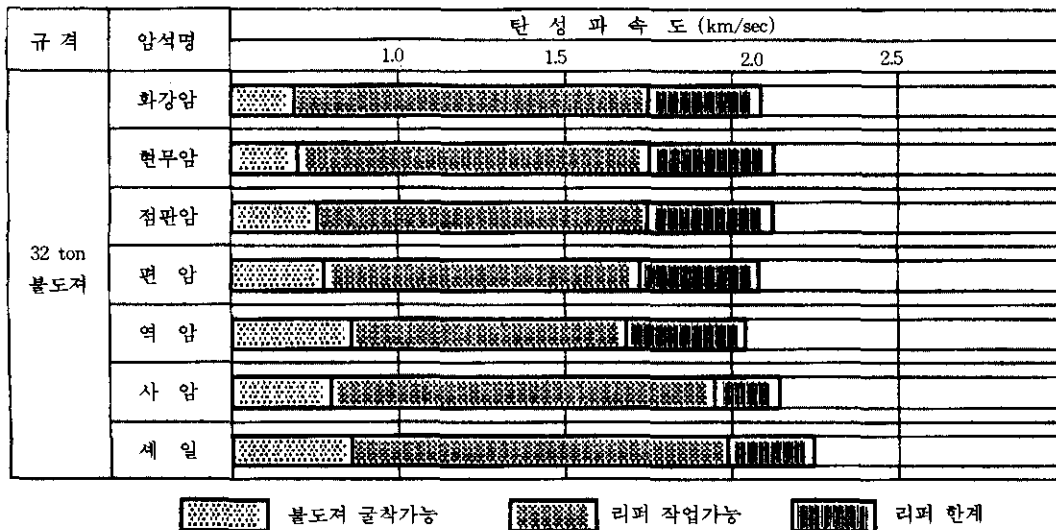


그림 4.5.2 탄성파속도에 의한 리퍼빌리티 분류

#### 4.6 서울시 표준지반분류

서울시에서는 토목공사와 관련하여 수행되는 모든 지반 조사·시험시에 수집된 정보는 통일된 표 4.6.1의 『서울시 표준지반분류법』에 의하여 종합·분석하고 분류하는 것을 원칙으로 하고 있다. 이 지반분류는 분류기준에 제시된 모든 조건을 충족하여야 한다. 예를 들면, Nx 규격으로 시추하였을 때의 코아회수율

(TCR)이 8%이고 N 50회/10cm인 경우는 풍화암이 아니라 풍화토로 분류된다. 단, 분류표의 탄성파속도는 개략적인 대비이며 분류기준은 아니다. 그러나, 터널공사 등 특수한 목적을 위하여 국제적으로 널리 적용되는 지반분류안은 본 분류안과 병용하도록 권고하고 있다 (예: 터널공사용의 RMR(Rock Mass Rating), Q-System 등).

표 4.6.1 서울시 표준지반분류

지반명 및 정성적 특징(노두조사 및 막장조사시)	시추조사시의 분류기준	개략 현장 탄성파속도
		$V_p$ (km/s)
퇴적토층(DS) 원지반에서 분리·이동되어 다른 곳에 퇴적된 층으로 대체로 원지반보다 연약하며 입자의 크기나 구성에 따라 세분	흙의 통일분류법으로 세분함	-
풍화토층(RS) 조암광물이 대부분 완전풍화되어 암석으로서의 결합력을 상실한 풍화잔류토로서 절리의 대부분은 풍화산물인 점토 등 2차 광물로 충전되어 혼적만 보이고 함수포화시에 전단강도가 현저히 저하되기도 하며, 손으로 쉽게 부수어지는 지반	$N < 50$ 회/10cm 흙의 통일분류법으로 세분함	<1.2
풍화암층(WR) 심한 풍화로 암석자체의 색조가 변색되었으며 충전물이 채워지거나 열린 절리가 많고, 가벼운 망치 타격에 쉽게 부수어지며 칼로 흠집을 낼수 있음. 절리간격은 좁음 이하이며 시추시 압편만 회수되는 지반	$TCR \geq 10\%$ $N \geq 50$ 회/10cm $qu < 100\text{kg/cm}^2$	1.0~2.5
연암층(SR) 절리면 주변의 조암광물은 중간풍화되어 변색되었으나 암석내부는 부분적으로 약한 풍화가 진행 중이며 망치 타격에 둔탁한 소리가 나면서 파괴되고, 일부 열린 절리가 있으며 절리간격은 중간 정도인 지반	$TCR \geq 30\%$ $RQD \geq 10\%$ $qu \geq 100\text{kg/cm}^2$ $J_s \geq 20\text{cm}$	2.0~3.2
보통암층(MR) 절리면에서 약한 풍화가 진행되어 일부 변색되었으나 암석은 강한 망치 타격에 다소 맑은 소리가 나면서 깨어지고, 절리면의 대부분이 밀착되어 있고 절리간격이 넓음	$TCR \geq 60\%$ $RQD \geq 25\%$ $qu \geq 250\text{kg/cm}^2$ $J_s \geq 60\text{cm}$	3.0~4.2
경암층(HR) 조암광물의 대부분이 거의 신선하며 암석은 강한 망치타격에 맑은 소리를 내며 깨어지고, 절리면은 잘 밀착되어 있고 절리간격이 매우 넓음	$TCR \geq 80\%$ $RQD \geq 50\%$ $qu \geq 500\text{kg/cm}^2$ $J_s \geq 200\text{cm}$	4.0~5.0
극경암층(XHR) 거의 완전하게 신선한 암으로서 절리면은 잘 밀착되어 있고 강한 망치 타격에 맑은 소리가 나며 잘 깨어지지 않으며 절리간격이 극히 넓음	$TCR \geq 80\%$ $RQD \geq 75\%$ $qu \geq 1,000\text{kg/cm}^2$ $J_s \geq 300\text{cm}$	> 4.8

주) N:표준관입시험(SPT)의 관입저항치, TCR:코아 회수율, RQD:암질 표시율, qu:코아시료 일축압축강도,  $J_s$ :절리면 간격, TCR 및 RQD는 Nx 공경 다이아몬드 비트와 이중 코아베럴을 사용한 시추시의 측정치임.

4.7 한국 고속철도 건설공단 지반분류  
한국 고속철도 건설공단에서는 다음 표

4.7.1과 같은 암반분류기준을 제정하여 사용하고 있다.

표 4.7.1 한국고속철도 건설공단 지반분류

지 반 등 급	지 반 판 정 기 준									
	일축압축 강 도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성파 속 도 (km/sec)	변형 계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	지 반 강도비	시추 코어의 상태			현장 육안 관찰		굴착후의 상태
					시추 검층	코어 회수율 (%)	R.Q.D. (%)	합 마 타 격	균 열 상 태	
풍화암	< 50	< 1.2	1,000- 4,000	1 이하	세편상으로 암편이 남아 있으나 단형 코어가 없음.	-	-	약한 합마 타 격에 부스러 지고 일부는 손으로도 부 스러짐	-	암내부에도 풍화 진행. 암 의 구조 및 조직이 남아 있음.
연 암	50-250	1.2-2.5	4,000- 10,000	1-4	암편상-세편 상(각력상)원 형코어가 적 고 원형 복구 곤란	40 이하	10 이하	합마로 치면 탁음을 내고 부서지며 균 열이 되면서 도 갈라짐	5cm 이하	암내부외는 풍 화 진행. 점토 가 절리면을 피 복. 세편상으로 나옴.
중경암	250-500	2.5-3.5	10,000- 50,000	4 이상	대암편상-단 주상 균열간 격 10cm 내외 5cm 내외의 코어가 많고 원형복구 가 능	40-70	10-70	합마 타격에 용이하게 갈 라지며 불연 속면을 따라 비교적 소편 으로 갈라짐	10cm 내외	균열을 따라 다 소 풍화진행. 장 석 및 유색광물 일부 변색.
경 암	500-1,000	3.5-4.5	50,000- 100,000	-	단주상-봉상 대체로 20cm 이하	70-90	70-90	강한 합마 타 격에 갈라지 나 절리면을 따라 비교적 크게 갈라짐	15cm 내외	대체로 신선 균 열을 따라 약간 풍화. 암내부는 신선.
극경암	1,000 이상	4.5 이상	100,000 이상	-	봉상-장주상 코어가 거의 20cm이상 세 편은 거의 포 함되지 않은 상태	90 이상	90 이상	합마 타격시 튀어 오르고 여러번 타격 시 갈라지나 신선한 면이 나타남	20- 50cm	대단히 신선 변 질 받지 않음.
		현장탄 성파 속 도 터널 상부 15cm범 위내에 복수의 속도 층 이 있을 경우 저 속도 층 을 이용	토피가 10m 이 상일 때 적용	토피가 터널폭 의 2배 이상 500m 미만에 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 코어 직경이 50mm 이상</li> <li>• 더블코어 바렐 사용</li> <li>• 다이아몬드 비트 사용</li> </ul>			• 개략적인 판정치임		

주) 중생대 퇴적암류는 경암 이하, 퇴적암 및 응회암류는 중경암 이하로 분류하며 화산암, 심성암, 변성암류 및 규화된 퇴적암류는 지반등급의 제한이 없음.

#### 4.8 일본의 지반분류

일본은 자국내에서 공통으로 적용할 수 있는 지반분류법을 제정하지 않고, 각 기관별로 독자적으로 자체사업에 적용하는 지반분류법을 사용하고 있다. 최근에 이르러 통일된 지반분류 방법이 필요하다는 인식은 확산되고 있으나, 구체적인 대안은 제시되지 않고 있다.

여기서는 일본 도로공단과 국유철도에서 사용하는 지반분류 방법을 소개한다.

##### 4.8.1 일본 도로공단의 지반분류

일본 도로공단이 작성한 설계요령 제 3집 터널 편에서는 다음 표 4.8.1과 같이 암반을 분류하고 있다.

표 4.8.1 일본 도로공단 지반분류

암질구분 (1)	암질구분 (2)	암석구분 (*)	암질 판정 기준										
			① 탄성과 속도 기준 (Km/sec)	② 조사성과 지질상태의 판정기준	③ 시추코어 상태 판정기준	④ 관찰시 판정기준		⑤ 굴착 후 지질상태의 판정기준					
			햄머 타격시		균열 간격								
A	I	a		(1) 암질은 매우 단단하고 신선하며, 파괴상태를 나타내고 틈이 거의 없고 연속해서 안정하고 있는 것. (2) 암질은 단단하고 신선하며 과상이고 균열은 거의 없다.	코어 채취율은 거의 90% 이상이며 완전한 원주상태를 나타내고 거의 20cm 이상의 길이를 가지고 세편은 거의 포함하지 않은 상태의 것	햄머가 튀며, 강하게 타격해서 겨우 깨지며, 신선한 면에서 깨진다.	50cm 이상	소성지압은 작용하지 않는다. 이완 범위는 1.6m 이하					
		b											
		c											
	II	d							(1) 암질은 신선하고 단단하며 틈은 비교적 적다. (2) 암질은 상당히 단단하지만 풍화로 약간 변질된 것. (3) 암질은 단단하지만 층상을 나타내는 암이며 층리 또는 편리가 있고 그 면을 따라 깨지기 쉽다.	코어 채취율은 약 70% 이상이며 완전한 원주상태를 나타내지 않은 것도 있고 약간의 세편을 포함하며 코어의 대부분이 약 5cm 이상유지	강하게 타격하면 깨지지만 대부분이 균열에 따라 비교적 크게 깨진다. 비교적 쉽게 균열면 등에 따라 작게 깨지며 균열의 면에서는 깨는 것이 곤란하다.	10~50cm	소성지압은 없으나 파쇄정도나 용수 등에 따라서는 지압이 작용한다. 이완 범위는 1.5~3.0m
		e											
C	III	a		(1) 풍화를 받아 암석에 변질을 일으키고 있는 것. (2) 암질은 비교적 단단하지만 균열이 많아서 소피상을 보이며 틈새에는 충전물 협재함. (3) 층리나 편리가 현저하며 매우 잘 깨지기 쉬움 (4) 폭이 좁은 소 단층 등을 끼는 것.	코어 채취율 약 40~70% 이며 균열이 많고 또한 부수기 쉬우며 5cm이하의 세편이 많은 상태의 것		2~10cm	소성지압이 작용하는 경우가 많다. 소성범위 또는 이완 범위는 2.4~4.0m					
		b											
		c											
		d											
		e											
D	IV	a		(1) 현저히 풍화를 받아 일부는 이미 토양화되었고 내부에 약간 굳은 부분이 남아있으며 균열이 지극히 많고 균열이 외 부분 쉽게 깨어짐 (2) 점토화가 심하지 않은 파쇄대이며 점성토와 세편상의 암석편이 혼입된 상태일 때는 약간 단단한 것도 포함되고 있는 것 (3) 토사, Talus 지대 등	코어 채취율은 약 40% 이하이고 코어는 세편으로 되지만 때로는 각력이 혼입된 모래 또는 점토상태로 되는 것.	햄머로 쉽게 부서진다. 암은 무르고 손가락으로 쉽게 깨진다.	-	소성지압이 작용하고, 큰 편압이 작용하는 경우가 있다. 소성범위 또는 이완 범위는 3.0~6.0m					
		b											
		c											
		d											
		e											
E	V	a		(1) 현저한 편압을 받은 상당한 폭을 가지는 단층 파쇄대나 큰 Talus 지대 등			-	소성지압이 작용하며, 현저한 편압이 작용하는 경우가 많다. 소성범위는 7.0m 이상					
		b											
		c											
		d											
		e											

\* 주) 암석에 의한 구분

- a : 변성암(천매암, 편암, 사문암, 호른펠스 등), 심성암
- b : 중생대 및 고생대 층(점편암, 사암, 역암, 경사암, 석회암, 규암, 휘록 응회암 등)
- c : 화산암(석영 조면암, 안산암, 현무암 등), 대암(화강반암, 석영반암, 반암, 휘록암 등), 심성암(화강암, 화강섬록암, 섬록암)
- d : 제 3기층(이암, 셰일, 규질 셰일, 사암, 역암, 응회암, 응회각력암, 집괴암)
- e : 층적층, 홍적층

4.8.2 일본 국유철도의 지반분류

연구보고와 지질상태, 탄성과 속도를 조합하여 만든 것으로 표 4.8.2와 같다.

일본 국철의 "터널의 암반분류"는 도구조물 설계표준에 제시된 기준과 철도기술연구소의

표 4.8.2 각 지층의 탄성파속도(증파, 일본 철도기술연구소 자료)

암 질	탄 성 파 속 도 (km/sec)					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
A	[블랙아웃]					
B	[블랙아웃]					
C	[블랙아웃]					
D	[블랙아웃]					
E	[블랙아웃]					
F	[블랙아웃]					

주 1) 암질의 A-F 분류는 표 4.8.3에 의한다.

주 2) 포화되지 않은 경우의 탄성과 속도를 기준

주 3) 속도에 따른 지질상태

- [블랙아웃] 균열 적고 풍화, 변질되지 않은 신선한 암질
- [블랙아웃] 균열 많고, 부분 파쇄질, 약간 연질. 단결정도 나쁨. 약간 풍화된 경우
- [블랙아웃] 파쇄대. 연질. 단결정도 나쁨. 풍화 심하다. 균열이 아주 많은 경우

표 4.8.3 일본 국유철도 지질분류

암 질	암 식 명
A	(1) 고생대 점판암, 사암, 역암, 처트, 중생대 석회암, 휘록 응회암 등 (2) 심성암 : 화강암, 화강섬록암, 섬록암, 반려암 등 (3) 반심성암 : 석영반암, 화강반암, 반암, 반려암, 사문암 등 (4) 화산암(현무암) (5) 변성암(결정 편암, 천매암, 편마암, 호른펠스)
B	(1) 박리가 심한 변성암 (2) 세층리가 발달한 고생대층, 중생대층
C	(1) 중생층의 일부 변성암 셰일 ( 사암, 휘록 응회암 등) (2) 화산암 ( 유문암, 안산암 등) (3) 고 제3기층의 일부 ( 화산암질 응회암, 규화 셰일, 사암, 응회암 등)
D	고 제3기층 : 이암, 셰일, 사암, 역암, 응회암 등 신 제3기층 : 각력 응회암, 응회질 용암 등
E	신 제3기층 : 이암, 실트암, 사암, 사력암, 응회암 홍 적 층 : 단구, 애추, 화산쇄설물 등
F	홍 적 층 : 점토, 실트, 사력, 화산분출물 등 층 적 층 : 편상 퇴적물, 애추, 단구 등
G	표토, 붕토

위 표에서의 지반분류 A-E는 다음과 같이 터널굴착시의 A-E 구분으로 분류될 수 있으며, 일본 토목공사 공동 시방서에는 각 분류별 특징을 다음과 같이 정리하고 있다. 이들 분류는 대체적으로 표 4.8.4와 같은 탄성과 속도의 범위를 갖는다.

- (1) 터널 굴착 A : 지반의 암질은 매우 견고하여 신선하고 치밀한 상태로서 절리 발달이 별로 없어 상부 반단면 굴착시 굴착막장의 자립이 가능하다. 굴착면에서 국부적인 붕락이 예상된다.
- (2) 터널 굴착 B : 지반의 암질은 견고하나 절리가 약간 있으며 절리 및 편리가 발달되어 있다. 상부 반단면 굴착시 굴착막장의 자립이 가능하다. 굴착면에서 국부적인 붕락이 예상된다.
- (3) 터널 굴착 C : 지반의 암질은 비교적

견고하나 절리가 매우 촘촘히 발달하여 작은 조각으로 떨어진다. 절리면 사이에 얇은 점성토가 협재되어 있는 상부 반단면 굴착시 굴착막장의 자립이 가능하다.

- (4) 터널 굴착 D : 지반의 암질은 풍화작용을 받아 토사화된 부분이 있고 가운데 부분은 다소 견고한 부분이 남아 있는 정도로 상부 반단면 굴착시 막장자립이 되지 않으므로 Ring cut 등 분할굴착이 요구된다. 부분적으로 막장보강이 필요하다.
- (5) 터널 굴착 E : 지반의 암질은 풍화작용을 받아 토사화되어 있으며 매우 불안정한 토사지반으로 상부 반단면 굴착시 막장자립이 되지 않고 Ring Cut와 막장보강이 필요하며 경우에 따라서는 특수 공법이 병행되어야 한다.

표 4.8.4 일본 국유철도 터널굴착시 지반분류

분류	1	2	3	4	5	6	7	비 고	
암 질	A	> 5.0	5.0~4.0	4.6~4.0	4.2~3.6	3.8~3.2	< 3.4	1) 막장에 용출수가 고르게 있다면 분류를 1 단계 내린다. 2) 팽창성 암석(사문암, 흑색편암, 이암)에 구애받지 않고 7로 생각한다. 이 경우는 속도는 보다 작고 포아손 비는 0.3보다 크다. 3) 풍화암이며 포아손 비가 0.3보다 작은 경우는 분류를 1 또는 2단계 올린다. 주) 수치는 탄성과 속도(km/sec) 임.	
	B		> 4.8	4.8~4.2	4.4~3.8	4.0~3.4	< 3.6		
	C	> 4.8	4.8~4.2	4.4~3.8	4.0~3.4	3.6~3.0	< 3.2		
	D	> 4.2	4.2~3.6	3.8~3.2	3.4~2.8	3.0~2.4	< 2.6		
	E			> 2.6	2.6~2.0	2.2~1.6	< 1.8		< 1.4
	F					1.8~1.2	1.4~0.8		< 1.0

#### 4.9 프랑스의 지반분류

프랑스는 전국적으로 지질상태가 조사되어 있어 터널공사 시에 개략적인 지반상태는 파악할 수 있으며, 통상 터널공사의 설계시 암반 평가에 사용되는 암반분류는 프랑스 터널기술 협회(AFTES)의 지보형식 선택에 필요한 추천 기준안을 따르고 있다. 지반조건의 평가는 Protodjakonov 지수(f)를 이용하며, 그 값은 표 4.9.1과 같으며, 표 4.9.2는 암반구분에 따른

지보의 선정기준을 나타낸다. Protodjakonov 지수(f)는 소련의 Protodjakonov가 1970년에 제안한 암석강도의 척도로서 소련에서는 널리 이용되고 있다. 가장 일반적인 것은 한 모서리의 길이가 30mm인 입방체 시험편에 성충면과 직각방향으로 하중을 가하여 측정된 일축압축강도를 Sc kg/cm<sup>2</sup>이라 할 때,  $f_l = Sc/10$  으로 구한 f<sub>l</sub>을 Protodjakonov 지수라 한다.

표 4.9.1 Protodjakonov의 지수(f)

구분	상 태	예	f 주1)
I	강도가 매우 뛰어난 암석	강도가 높은 규암 및 현무암	20
II	매우 강도가 큰 암석	매우 강도가 큰 화강암, 반암, 사암 및 강도가 매우 높은 암석	13-19
III	내구성이 충분한 암석	매우 내구성이 뛰어나거나 약간 백운모화된 화강암, 사암 및 석회암, 대리석, 백운암, 치밀한 역암.	7-13
IV	보통강도 암석	보통 사암, 규질 편암, 편암질 사암.	5-7
V	평균강도 암석	평균 강도의 점토질 편암, 사암 및 석회암, 치밀한 이회암, 견고성이 약한 역암	3-5
VI	강도 낮은 암석	견고성이 약하거나 매우 균열된 편암, 또는 석회암, 보통 이암, 석고, 매우 파쇄된 사암, 역암 및 압축된 사질토	1.3-3
VII	파쇄암석, 고압밀도	점토, 점성 충적토, 압밀 점토질 모래, 치밀한 모래와 자갈	0.9-1.3
VIII	중 압밀도	이탄, 점토질 모래, 중간 압밀 모래	0.7-0.9
IX	저 압밀도	저압밀 점토, 포화된 모래 또는 자갈	0.5-0.7
X	유동 지반	포화 이질토, 기타 포화된 점성토	0.5

주1)

- 5×5×5cm인 각주 시험편을 사용한 2면 전단시험의 전단강도를 Sc라고 하면  $f1 \approx f2 = 0.06Sc$
- 한 모서리 길이가 50mm인 입방 시험편에 대한 1면 전단강도시험 결과, 그 전단강도를 Sc라 하면,  $f1 \approx f3 = 0.03 Sc$
- 착암기로 깊이 1m를 착공하는데 필요한 시간을 t 분이라 할 때,  $f1 \approx f3 = 0.8t$
- 충격강도(impact strength)시험을 실시한 경우는  $f \approx 20n / l$  인 관계가 성립하나, 중추의 낙하횟수 n을 5라 할 때,  $f1 \approx f4 = 103 / l$
- ISI(impact strength index)는 drillability와 밀접한 관계에 있다.
- $f = (f1 + f2 + f3 + f4) / 4$

표 4.9.2 프랑스 터널기술협회의 지보 기준(AFTES)

구분	터널지보기준
I	· 무지보
II	· 무지보 · 또는 천단부 2-5cm의 슛크리트 타설 · 또는 천단부에 록볼트에 의한 철망설치(간격 1-2m) 상기 지보형식 중 선택할 형식과 슛크리트의 두께, 록볼트 간격 및 철망 설치에 대해서는 아래의 기준에 근거하여 암반의 파쇄상태에 따라 결정한다.
III	· 주로 천단부분에 2-7cm 슛크리트 타설 · 또는 철망과 경우에 따라서 2-3cm 슛크리트와 병행하여 천단부에 록볼트 간격(0.7-2.5m) 타설.
IV	· 철망과 함께 슛크리트 3-7cm 또는 철망없이 슛크리트 10-15cm 타설 · 또는 철망과 함께 3-5cm에 병행하여 좁은 간격(0.5-1.5m)의 록볼트 타설 · 천단지지 강철판의 타입 또는 이와 병행하여 강제지보공 설치
V	· 강제 지보공 병행 또는 철망없이 슛크리트 10-20cm 타설 · 또는 막장에 가능한 가깝게 철망과 함께 슛크리트를 병행한 좁은간격(0.5-1.2m)의 록볼트 타설 · 또는 일반적으로 천단부에 천단지지 강철판과 함께 강제 지보공 설치 · VI급과 VII급의 지반에서는 지하수의 유무와 아울러 굴착중 투수정도에 따라 지보의 선택에 아주 크게 영향을 받는다.
VI	· 강제 지보공으로 지지된 철망 위에 슛크리트(7-20cm) · 또는 록볼트와 병행한 슛크리트, 단 본 암중구분 이하로는 록볼트 타설에 있어서 전면 접촉식의 록볼트를 사용하여야 한다. · 또는 강제 지보공과 함께 강철판으로 천단지지(지지후 경우에 따라서 슛크리트 타설)
VII	· 강제 지보공으로 지지된 철망 위에 슛크리트(10-20cm) · 또는 록볼트와 병행한 슛크리트(구분 VI과 동일) · 또는 강제지보공과 함께 강철판으로 천단부 및 측벽지지 · 또는 콘크리트 세그먼트나 최종 복공 현장타설 콘크리트의 shield 이용
VIII	· 막장에서 강제 지보공과 함께 천단지지 강철판(상반 및 측벽부) · 또는 전향과 동일하지만 부분적인 지반강화 보조공법을 병행하는 shield(주입 공법, 동결 공법, 압기 공법)
IX	· 전면적인 강철판 지지 · 또는 blind shield · 또는 jack에 의한 casing 삽입
X	· blind shield · jack에 의한 casing 삽입