

새로운 地盤 分類 體系에 依한 터널 支保工의 設計

A NEW APPROACH TO GROUND CLASSIFICATION

SYSTEM FOR TUNNELLING AND TUNNEL SUPPORT DESIGN

金 教 原

(Northwestern 大學 土木科 博士過程)

龔 泰 成

(株式會社 大宇엔지니어링 專務理事)

1. 序 論

터널건설은 지반에 인위적으로 일정한 크기의 공간을 형성하는 일이므로 지반의 특성은 터널 건설에 직접적인 영향을 미치게 된다. 최근 지반특성의 조사법이 발달되고 터널 신공법이 개발되어 지반강도가 약한 토사층이나 충적층에 이르기까지도, Shield 나 Pipe Masher 공법등 비교적 경비가 많이드는 특수공법의 도움없이도 터널을 안전하게 건설할 수 있게되었다.

본고에서는 그동안 국내 지하철, 통신전력구, 도로터널등 다양한 크기의 터널에 대한 설계및 시공감리 경험을 바탕으로하여, 터널 건설을 위한 지반조사에 대하여 간략히 서술하고, 지반의 강도특성 및 RQD, 절리상태, 지하수조건등 터널에 영향을 미치는 지반특성요인을 정량적으로 평가하기 위한 GMR (Ground Mass Rating) 분류안을 제시하고 있다. 아울러, 그동안의 설계를 분석한 결과를 토대로, GMR 분류에 터널의 크기 및 형상, 굴착방법등을 추가하여 도출된 GMI (Ground Mass Intex)에 연관시켜 터널건설을 위한 지보공 설계안을 제시하고 있다.

본고에서 제안된 지보공 설계방안은 많은 경우 도심지에서의 설계경험을 기초로 하였기 때문에 다소 안전측의 결과를 유도할 것으로 판단되므로, 산악터널등에 적용하고자 할 경우는 경제성을 고려하여, 기술자의 판단에 따라 소요 지보공을 조절하여 할것이다. 여기서 제안된 지반분류체계 및 지보공 결정식은 설계 조건 이나 상황에 따라 기술자의 적절한 보완이 가미될 때 더욱 신빙성있는 지침으로서 발전될 수 있을것이다. 더욱이 현재 국내의물 통하여 터널 신공법에

대한 일관성있는 지보설계 기준이 정립되지 않아, 각 기관, 또는 설계자에 따라 상당한 차이를 보이고 있어, 터널공사의 발주시 많은 혼란을 겪고있는 실정인바, 본고에서 제안된 설계기준을 보완 발전 시킴으로서 일관성 있는 터널 설계가 가능할 것으로 판단된다.

2. 地盤調査 및 試驗

터널 공사와 관련하여 터널 노선의 선정, 공사비 및 공기의 예상, 설계, 시공법의 결정, 안정성의 확보 및 장래의 유지관리를 위하여 적절한 지반 조사 및 시험을 실시하여 충분한 기초자료를 얻도록 하여야 한다. 터널공사를 위한 일반적인 지질조사의 흐름은 Fig. 1 에 나타난 바와 같다.

자료조사는 터널공사 계획의 초기 단계에서 지형도, 지질도, 항공사진 및 기타 조사 보고서 등의 기존 관련자료를 이용하여 실시하는 실내 작업으로서 노선 계획 지역의 광범위한 지형 및 지질구조 등의 개요를 파악하기 위하여 수행한다. 자료 조사에 이어서 현장 지질 답사를 수행하여 지표지질을 관찰하고 지형적 특성을 파악하여 다음 단계의 조사 계획을 수립한다. 예비조사는 노선 확정을 위하여 수행하는데 지반공학 外的인 사회문화적 요인 등에 의하여 노선이 결정된 경우는 정밀조사 계획수립을 위하여 수행 하기도 한다.

상기의 지반조사를 통하여 노선이 확정되면 정밀조사를 수행하게 되는데 이 단계에서는 설계를 위한 모든 기초자료가 충분히 제공되도록 각종 현장 및 실내 시험을 실시하여야 한다. 특히 최근 유한요소법 (FEM, Finite Element Method) 등의 수치해석 기법이 터널 설계에 도입되어 널리 이용됨에 따라 정확한 지반특성의 파악은 더욱 필요하게 되었다. 정밀조사는 주로 시추탐사에 의하여 수행되는 때 시추간격 및 심도등은 터널이 위치하는 환경 조건에 따라 결정되게 된다. 터널 심도가 비교적 얇고 도심지에 위치하는 지하철 터널의 경우는 지표에서의 露頭 관찰이 거의 불가능하기 때문에 시추 간격은 보통 20-50m로 하며, 심도는 터널 바닥부 밑으로 하고 있다. 현장시험은 표준관입시험, 공내재하시험, 공간탄성과 탐사등 시추공을 이용한 시험등이 포함되며, 실내시험은 단위중량, 입도분포등을 비롯한 Index Properties 와 강도 및 변형 특성을 알기위하여 수행하는

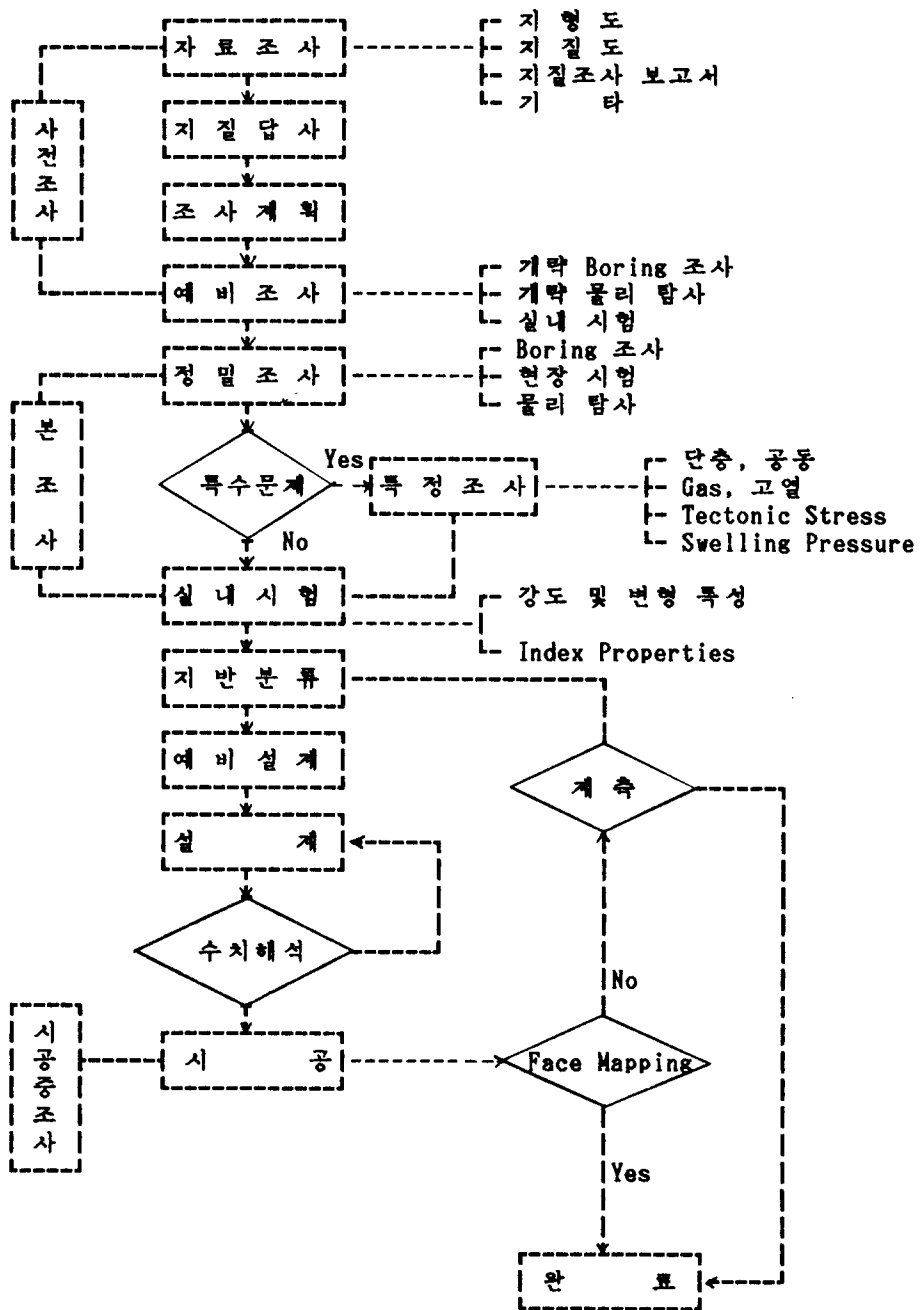


Fig.1 지반조사 Flow

때, 시험결과는 지반을 구성하고 있는 암석 또는 흙의 특성률 나타내므로 설계 및 해석에 적용하기 위하여서는 지반내의 불연속면등의 영향을 고려하여 보정하여 이용하여야 할 것이다.

정밀조사중에 터널 안정에 악영향을 미칠 가능성이 있는 특수문제가 발견되면, 그 영향요인의 특성을 충분히 파악하기 위한 특정조사를 수행한다. 현장조사 및 시험결과와 시료에 대한 실내시험 결과에 기초하여 지반을 분류하고, 지반분류에 근거하여 설계가 실시된다. 설계가 끝나면 시공전 FEM에 의한 수치해석을 수행하여 설계의 적정여부를 확인하며, 시공중에는 터널 막장에서 노출되는 지반을 매 막장마다 관찰하여, 기 실시된 지반분류의 타당성을 확인하면서 계측을 병행하여 터널 시공 및 안정을 관리한다.

3. 地盤分類

3.1 既存 分類案에 對한 考察

터널건설을 위한 지반분류 또는 암반분류는 여러 기술자들에 의하여 여러 가지 방법이 제안되어 왔지만, 어느 방법이나 터널이 대상으로 하는 지반의 다양한 특성 때문에 완벽하다고는 보기 어렵다. 분류방법이 대체로 간편하고 또 지반의 중요한 특성을 어느 정도 만족할 만큼 고려한 분류법은 Bieniawski 의 RMR 분류법이라고 생각되지만, 이 분류에서는 터널 거동에 큰 영향을 미치는 지반의 초기응력을 고려하지 않았을 뿐만 아니라 각 분류별 예상되는 지보공의 설계대책이 주어지지 않았다. 또 많은 정량적인 기준에 근거하여 지보공을 결정할 수 있도록 상세하게 세분한 분류법으로서는 Barton 등의 NGI 분류법이라 할 수 있지만, 이 분류법은 그 분류가 복잡하여 현장적용이 어려운 것이 흠이다. Lauffer 의 분류법은 유효자립폭과 자립시간에 따라 암반을 분류한 것으로서, 설계를 위한 분류법이라기 보다는 시공성을 높이기 위한 지보설치 시간 조정에 유용한 분류법이라 할 수 있다. Merritt 의 RQD 에 의한 분류는 RQD 만을 기준으로 하였기 때문에 강도 및 절리면의 특성등 다양한 영향요인을 고려하지 못하였으며, Rabcwicz-Pacher 의 분류는 일반적인 지반의 상태에 굴착면 주변응력의 상대적 크기도 추가하여 고려하였지만, 암반상태를 구분하는 방법이 너무나 정성적

이어서 객관적인 분류에는 무리가 있다. Protodyakonov 는 지반강도에 따른 저항지수 f 에 의하여 지반을 분류하였는데, 지반 재료의 일축압축강도만을 기준으로 하였기 때문에 지반의 전반적인 특성을 나타낸다고 볼수 없다.

그동안 국내의 터널 공사에서 적용되어 왔던 암반 분류안중의 하나인 DWE 분류는 서울특별시 지하철 3.4호선을 터널 신공법 (TURS 혹은 NATM)에 의하여 성공적으로 수행하는데 크게 기여하였으나, 이는 경험에 의한 제한된 정량분류 기준에 근거하였으며, 주로 화강암등의 괴상 암체를 의한 분류안이었기 때문에 퇴적암등의 층상 암반에 까지 확대 적용하는데는 한계가 있었다.

3.2 GMR 分類案

전술한 여러 지반 분류안은 서로 다른 장단점을 가지고 있으므로 각 분류의 장점을 취합하여 적용이 간편하고, 지반의 특성이 충분히 반영되며 지역적인 특성에 적합한 새로운 분류안이 요구되어 왔다.

여기서 제한하는 GMR (Ground Mass Rating) 분류안은 최근 수년간 수행한 국내외의 지하철, 철도, 도로 및 통신전력구 등의 대소 터널의 설계 및 시공 감리를 통하여 얻어진 경험과 자료에 기초하여 작성되었다. 본 분류안은 Table 1에 나타나 있듯이, 우선 터널 안정에 영향을 미치는 지반 자체의 영향 요인을 선정하고 각 요인을 다섯 등급으로 대분하여 체계화하며, 각 요인에서 정하여진 Rating의 합으로 부터 Table 2에 나타난 바와같은 지반 분류가 이루어져서 설계의 Pattern화가 가능하게 된다. Table 1에서 알 수 있듯이 터널의 안정은 암석(흙)의 일축압축강도 q_u , 지반의 RQD 및 절리 특성등에 의하여 주로 지배되지만, 지반의 질량 밀도와 연관된 탄성파 속도 V_s , 간극수압 및 절리면의 마찰저항과 관련된 f_w 및 지반초기 영역을 지배하는 H 등의 지반 자체 인자에 의하여서 영향을 받는다고 보았다.

본 분류는 터널 안정에 큰 영향을 미치는 범위내의 지반중 가장 불량한 지반으로 부터 얻어진 Rating에 기준으로하여 결정되어야 한다. 즉, Fig.2 (a)에 나타난 바와같이 터널 횡단면에서 터널 반경의 2배 이내 거리에 나타나는 지반중

Table 1. Ground Mass Rating Criteria

Parameters	Rating Criteria						Remarks
1 Compressive Strength (Point Load Strength)	≥ 8000 t/m (≥ 320 t/m)	4000-8000 (160-320)	1000-4000 (40-160)	100-1000 (4-40)	< 100 (<4)		qu : from Unconfined Compressure Test (from Point Load Test)
Rating	20	15	10	6	2		
2 R.Q.D.	75%	50 - 75	25 - 50	5 - 25	< 5		RQD from Boring or RQD = $115 - 3.3 J_v$ (J_v = Joint Number/ M^3)
Rating	20	15	10	6	2		
3 Joint Spacing	≥ 2 m	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 0.06		J _s
Rating	15	12	9	5	2		
4 Joint Conditions	Rough & Irregular	Smooth & Irregular	Smooth & Planar	Slicken-Sided	Gouge Filled		f _j
Rating	15	12	9	5	2		
5 Vs	≥ 2.8 km/sec	1.9 - 2.8	1.3 - 1.9	0.7 - 1.3	< 0.7 km/sec		V _s from Field Measurement
Rating	10	8	6	4	2		
6 Ground Water	Dry	Moist	Wet	Inflow	Severe Inflow		f _w
Rating	10	8	6	4	2		
7 Overburden	< 50 m	50 - 100	100 - 200	200 - 400	≥ 400 m		H
Rating	10	8	6	4	2		

Table 2. Ground Mass Rating 에 의한 지반의 분류 및 기본 Pattern 결정

지반의 분류	GM - 1	GM - 2	GM - 3	GM - 4	GM - 5	Remarks
Total Ground Mass Rating	≥ 85	70 - 84	50 - 69	30 - 49	< 30	
Ground Mass Quality	Excellent	Good	Fair	Poor	Very Poor	
막장 자립 시간 (Tu)	$Tu = f_w \cdot f_s \cdot f_v \cdot (Vs/g) \cdot \exp(bI + c)$					
Shotcrete Thickness (tS)	$tS = (1/f_s) \cdot (\sqrt{A}/100) (h - \sqrt{I})$					
Rockbolt Length (LR)	$LR = (1/f_s) \cdot \sqrt[3]{Vu} (k - LnI)$					
Rockbolt Number (nR)	$nR = (1/f_s) \cdot (\sqrt{I}/Cv) (k' - n' \sqrt{I})$					
Wire Mesh	$\phi 5 \times 100 \times 100$ mm			$\phi 3 \times 50 \times 50$ mm $\phi 5 \times 100 \times 100$ mm	혹은	
Steel Rib	Not Necessary			H-100 x 100		Steel Rib Spacing = 1.0 - 1.5 m
보조 지보공	-	-	필요 시	Forepoling	Grouting 및 Forepoling	
굴착 방법	Full Face	Full Face	Bench Cut	Bench Cut	Ring Cut	
$50 < A \leq 100 M^2$	Full Face	Bench Cut	Bench Cut	Ring Cut	Silot Cut	
Rockbolt 타설부위	Crown			측벽 면		

가장 낮은 Rating 을 가지는 지반을 기준으로 하여 지반을 분류하여야 하므로 터널 (A) 는 GM-2 로, 터널 (B) 는 GM-3 으로 분류된다. 또한 종단상의 지반의 변화에 대하여서 Fig.2 (b) 에 보인바와 같이, 상기의 기준으로 분류한다.

이상에서 기술된 지반 분류 Rating은 터널 계획에서 근간이 되는 터널의 굴착 방식과 지보형식을 구분하는 기본적인 터널 Pattern Design 에 응용된다.

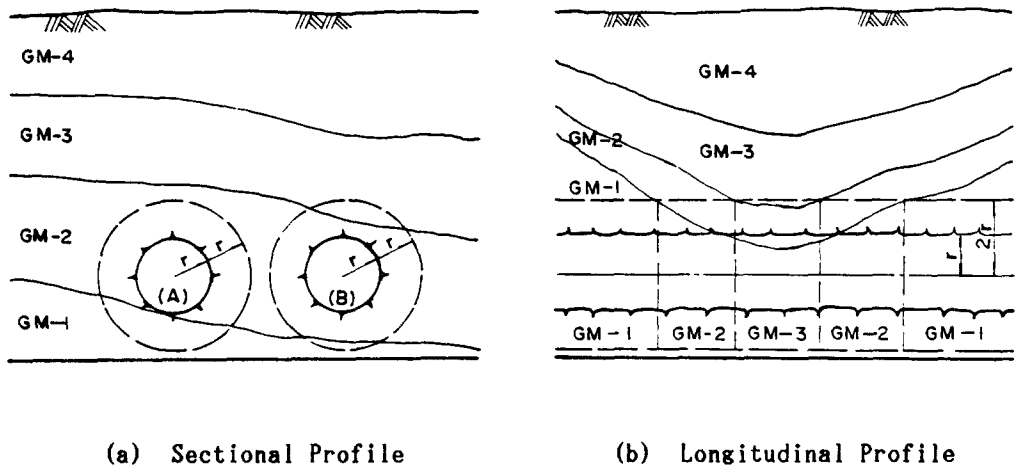


Fig. 2 Application of Ground Mass Rating

3.3 GMR에 의한 地盤 分類와 既存 分類와의 比較

여러 지반 분류안 중에서 계수화된 정량적인 분류에 속하는 Bieniawski 의 RMR 분류와 Barton 의 Q-System 에 의한 분류와의 상관 관계는 식 (1)과 같이 표시 될 수 있다.

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서 제안된 GMR 에 의한 Ground Mass Rating (R) 과 Bieniawski 의 RMR 과의 상관 관계는 개략적으로 식 (2)와 같이 표시 할 수 있으며, 또한 R 과 Barton 의 Q 와의 관계는 식 (3)과 같이 표시 할 수 있으며, 이들 상관 관계는 Fig.3 에 보인 바와같다.

$$R = 13 \sqrt{RMR} - 30 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R = 7 \ln Q + 57 \quad \dots\dots\dots (3)$$

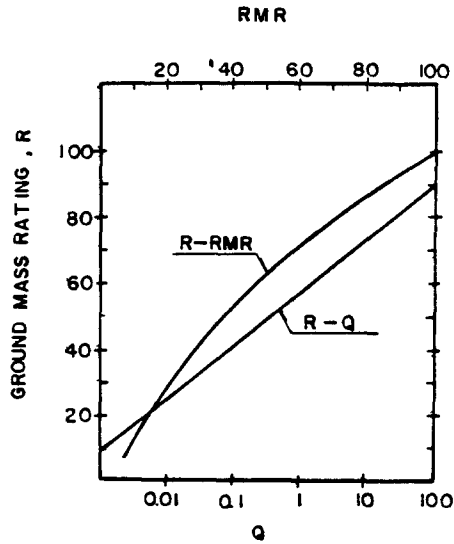


Fig. 3 Correlations among R, RMR, and Q

본 GMR 분류는 서울특별시 지하철 3.4호선 터널 공사에서 적용되었던 DWE 분류를 확대 기망한 것으로서 이들 상호간의 대비는 Table 3 과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 정확한 대비가 어려운 것은 그 분류 요인의 차이에서 오는 결과이다.

Table 3. GMR 과 DWE 분류의 비교

GMR 분류	R	DWE 분류 (1982)	R	비 고
Very Poor Ground Mass	25	풍화토, RS		1) DWE 분류는 화강암 및 편마암의 강도, 풍화도 및 절리도에 따라 분류하였음 2) WR : $N \geq 100$ 3) HR II : $RQD \geq 50$
Poor Ground Mass	45	풍화암, WR	35	
Fair Ground Mass	65	연 암, SR	55	
Good Ground Mass	80	경암 I, HRI	75	
Very Good Ground Mass	100	경암 II, HR II	90	

4. Ground Mass Index (GMI) 에 의한 支保工의 設計

다른 구조물의 기초 설계에서와는 달리, 터널을 위한 지반 분류에서는 분류된 지반에 대한 적절한 설계 자료가 제공될 수가 있어야 한다. 본장에서는 전술한 바있는 GMR 지반 분류 체계를 한 단계 발전시켜, GMR Rating 要因에 터널의 크기 및 형상, 굴착방법등 터널 설계 要因을 추가하여 Ground Mass Index (GMI) 를 제안하고, 그 제안된 GMI 에 의거한 터널 자립시간 및 지보공의 소요를 계산하는 방안을 제시하고자 한다.

4.1 Ground Mass Index (GMI)

Ground Mass Index, I 는 Initial Maximum Stress와 암석(혹은 흙)의 일축 압축강도와와의 비에서 결정되는 Is, 터널 반경과 Joint Spacing 과의 상대적인 변수인 Ib 및 Joint Conditions 에 따른 Ij 의 습으로 정의되며, 그 결정 방법은 식 (4), (5), (6)에서 제시된 바와 같다. 이러한 Is, Ib, Ij 의 결정 배경은 터널의 안전성이 단순히 지반의 강도특성, Joint 조건, 지반의 초기응력 등의 지반 자체 요인에만 좌우되지 않으며, 터널의 크기 및 형상, 굴진장등 터널의 굴착 방법 등에도 영향을 받기 때문이다.

$$\text{또한, } I = I_s + I_b + I_j \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{여기서 } I_s = (q_u/P_o)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$I_b = (a \cdot J_s/r)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$I_j = RQD/f_j \quad \dots\dots\dots (7) \text{ 이다.}$$

I : 지반지수 (Ground Mass Index)

I_s : 상대 응력지수 (Relative Stress Index)

I_b : 상대 압괴지수 (Relative Block Size Index)

I_j : 상대 절리지수 (Relative Joint Condition Index)

q_u : 암석 일축압축강도 (Uniaxial Compressive Strength of Intact Rock)

P_o : 암반 최대 초기응력 (Initial Maximum Stress at Tunnel Invert)

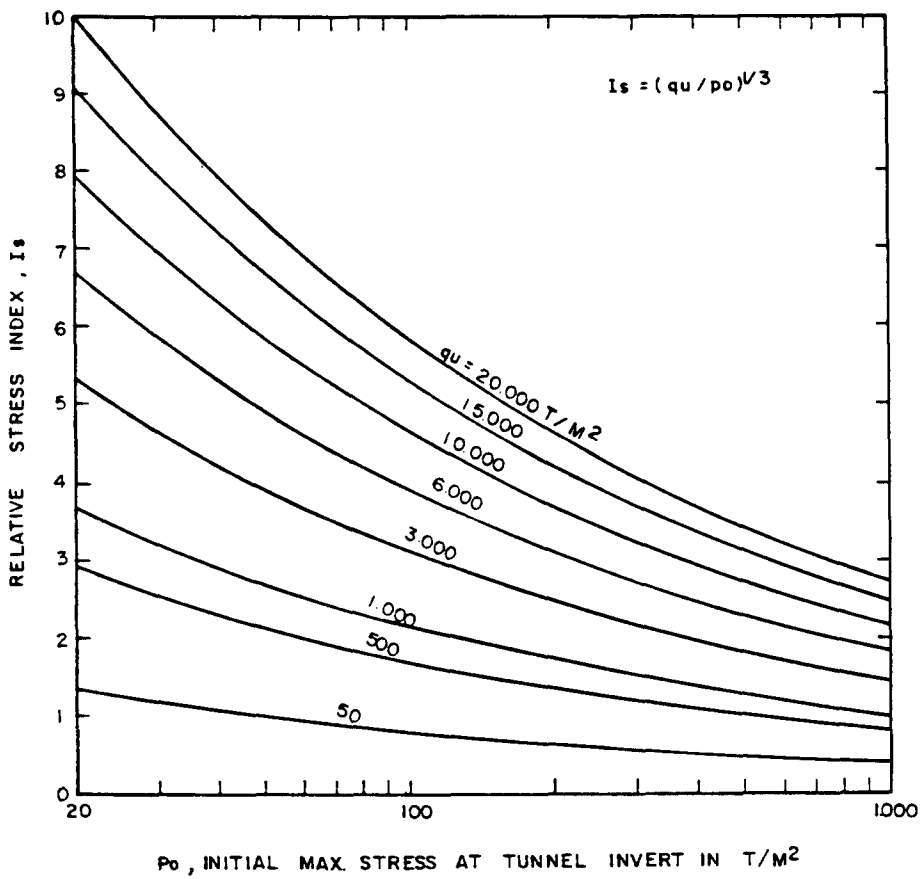


Fig. 4 Variations of Relative Stress Index, I_s

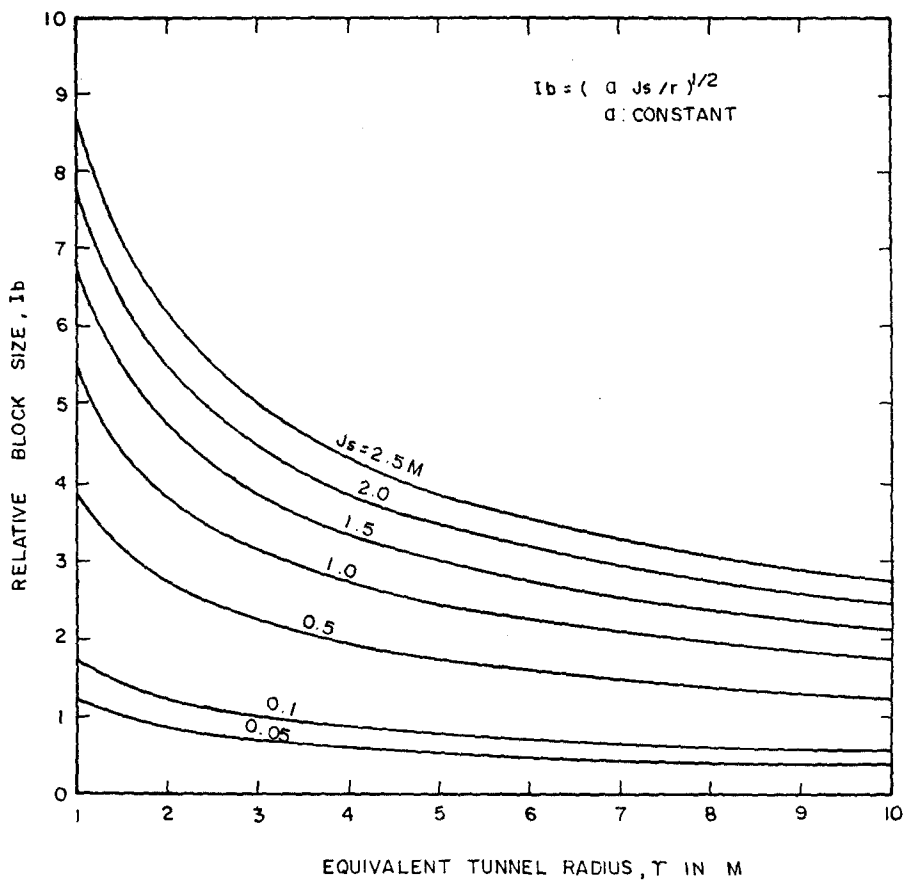


Fig. 5 Variations of Relative Block Size Index, I_b

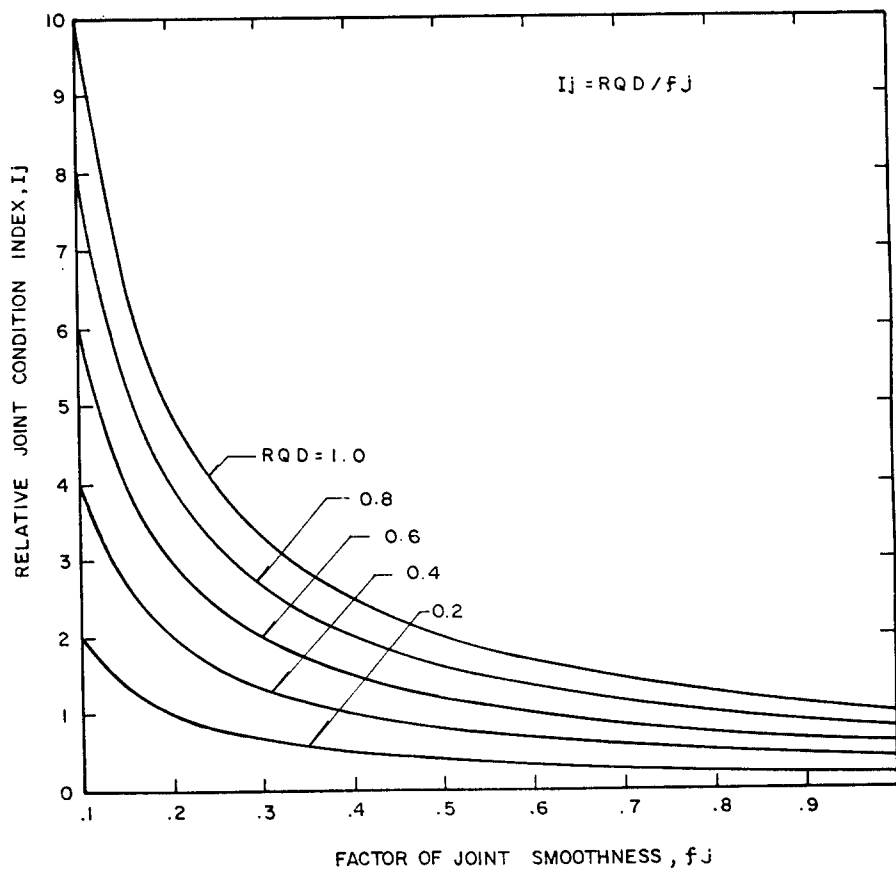


Fig. 6 Variations of Relative Joint Condition Index, I_j

- a : 상수 (Constant)
- Js : 평균 절리간격 (Average Joint Spacing of Rock Mass)
- r : 유효 터널반경 (Equivalent Tunnel Radius, $r = \sqrt{A/\pi}$)
- A : 굴착면적 (Excavation Area)
- RQD: Rock Quality Designation (0--1.0)
- fj : 절리계수 (Factor of Joint Smoothness)

fj 값은 Joint 상태에 따라 결정되는 상수이다.

Figs.4, 5 및 6 에서는 상기에서 고려된 계 인자들에 의한 각 지수, 즉 Is, Ib, 및 Ij 의 변화물 나타내었다.

4.2 막장의 自立時間

터널 굴착후 지보공이 설치되기 전 지반자체가 얼마동안 자립 할 수 있는가 하는 문제는 시공법과 Cycle Time 결정에 지대한 영향을 미친다. 자립시간은 지반 상태와 무지보 상태의 굴착공간의 크기와 연관시켜, 다음과 같은 경험식으로 추정 될 수 있다.

$$Tu = f_w \cdot f_s \cdot f_v \cdot C_s \dots\dots\dots (8a)$$

$$= f_w \cdot f_s \cdot f_v \cdot (Vs/g) \cdot \exp(b \cdot I + c) \dots\dots\dots (8b)$$

여기서, Tu : 막장 자립시간 (Stand-up Time of Unsupported Tunnel Span)

f_w : 지하수계수 (Water Reduction Factor)

지하수 유입 조건에 따라 결정

f_s : 터널형상계수 (Tunnel Shape Factor)

터널형상에 따라 결정

f_v : 무지보 체적계수 (Factor for Unsupported Tunnel Volume)

$$f_v = (dM^3/V)^{1/6}$$

V : Unsupported Tunnel Volume

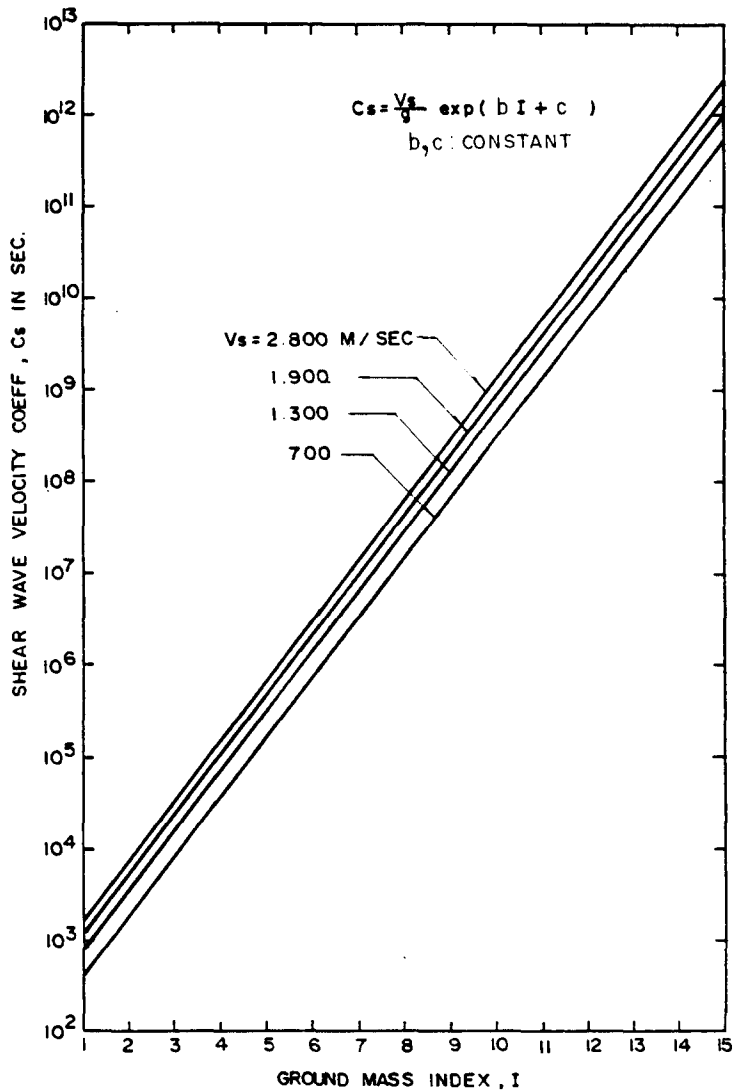


Fig. 7 Variations of Shear Wave Velocity Coefficient, C_s

Cs : 전단파 속도계수 (Shear Wave Velocity Coefficient of GMI)

$$Cs = (Vs/g) \exp (b \cdot I + c) \quad \dots\dots\dots (9)$$

Vs : 전단파 속도 (Shear Wave Velocity of Ground Mass)

g : 중력 가속도 (Gravitational Acceleration, 9.814 m/sec²)

b, c, d: 상수이다.

참고로, GMI 에 대한 Shear Wave Velocity Coefficient 의 변화를 대표적인 지반의 전단파의 속도에 대하여 Fig.7 에 도시했다.

4.3 Shotcrete의 두께

Tunnel 굴착면을 보호하고 이완된 암괴의 붕락을 방지하며 굴착면 주변의 응력집중을 방지하는 역할을 담당하는 Shotcrete 의 두께는, 터널의 굴착 단면적과 지반 상태에 따라 식(9)와 같이 표현할 수 있으며, 그 변화를 Fig.8 에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와같이 Shotcrete 두께는 최소 5cm 로 하며 두께가 두꺼운 경우는 시공성 및 반발율의 감소를 위하여 5-10cm 로 분할하여 타설하는 것이 좋다. 이 식에 의하여 구하여진 Shotcrete 두께 tS 는 터널의 특성, 시공성, 지역성 등을 고려하여 최소 5cm 단위로 조정하여 실제 설계에 임하는 것이 바람직하다.

$$tS = (1/fs) (\sqrt{A} / 100) (h - \sqrt{I}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

여기서 A : 터널 단면적 (Cross Sectional Area of Tunnel)

fs : 터널 형상계수 (Coefficient of Tunnel Shape)

h : 상수이다.

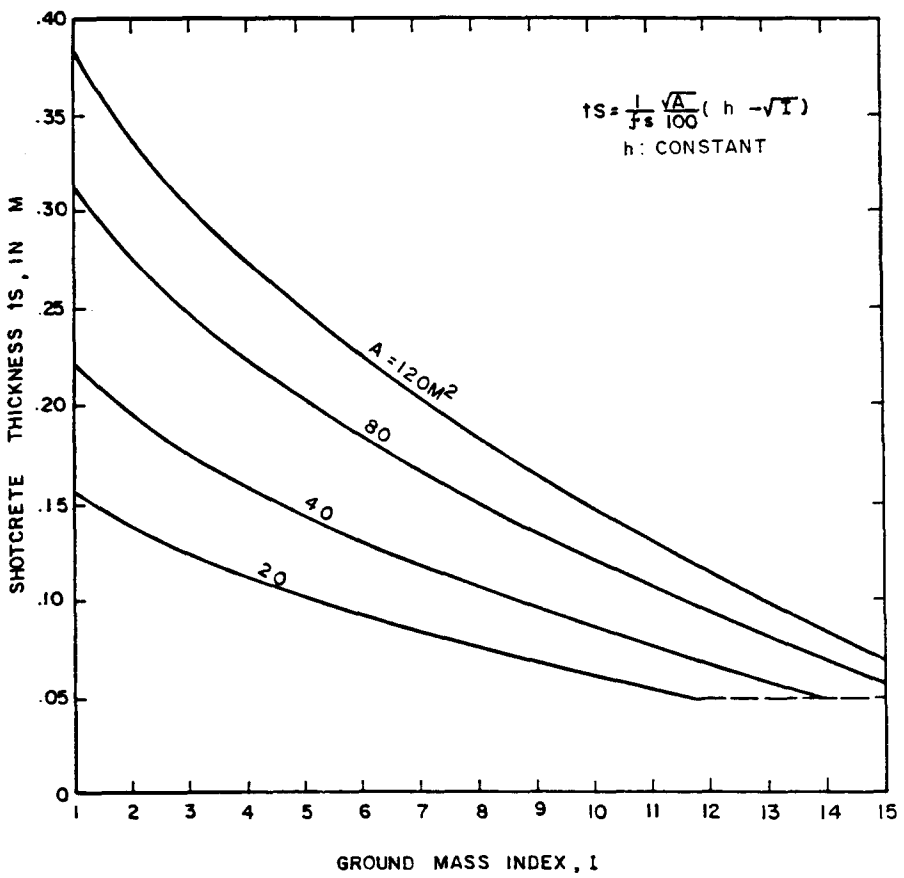


Fig. 8 Determination of Shotcrete Thickness

4.4 Rockbolt의 길이와 갯수

신공법 터널의 주지보공으로서 지반 아아치 형성 작용과 절리면 봉합작용을 하는 Rockbolt의 길이는 지반상태, 터널의 매 굴착마다의 굴착체적 및 설치하는 Rockbolt의 종간격과 관계되는 것으로 가정하고 식(11)과 같이 표현하였다. 여기서 Rockbolt의 길이 1R 값은 대량 제작성 등을 고려하여 0.5m 간격으로 반올림하되 역시 터널의 중요성, 시공성, 지역성 등을 고려하여 결정하도록 한다

$$1R = (1/fs) (\sqrt[3]{Vu}) (k - m \cdot \ln I) \dots\dots\dots (11)$$

여기서, Vu : Tunnel Span Volume (Vu = A.S)

S : Longitudinal Rockbolt Spacing 이다

k, m: 상수

Rockbolt 타설 갯수는 터널폭, Rockbolt의 길이 및 지반상태에 따라 결정되는데 식 (12)와 같이 표현할 수 있다. 이 식으로 구하여진 nR의 값은 소숫점 이하에서 반올림 하도록 하고 터널의 형상 및 사용년한, 지역성 및 시공성 등에 따라 조정하여야 할 것이다.

$$nR = (1/fs) (\sqrt{1/Cv}) (k' - m' \sqrt{I}) \dots\dots\dots (12)$$

여기서, Cv : Coefficient of Tunnel Span Volume

k', m': 상수

식(11)과 (12)에 기초하여 대표적인 터널 즉 통신폭력구 (10-20m²) 지하철단선 (40m²) 및 지하철복선 (80m²), 대단면 터널 (120m²) 등에 대하여 Ground Mass Index (I) 와 Rockbolt의 길이 및 타설 갯수와의 상관 관계를 Fig.9 및 Fig.10에 나타내었다. 지반이 상대적으로 양호한 경우는 필요한 위치에만 Rockbolt를 설치하는 Random 타설로 설계하도록 한다.

이상과 같이 결정된 Rockbolt의 설치위치는 터널의 형상과 지반 상태에 따라 결정하는데 터널 폭이 크거나 지반이 양호할수록 천정부를, 터널 높이가 크거나 지반이 불량할수록 측벽부를 중점적으로 Rockbolt를 배치하는 것이 좋다.

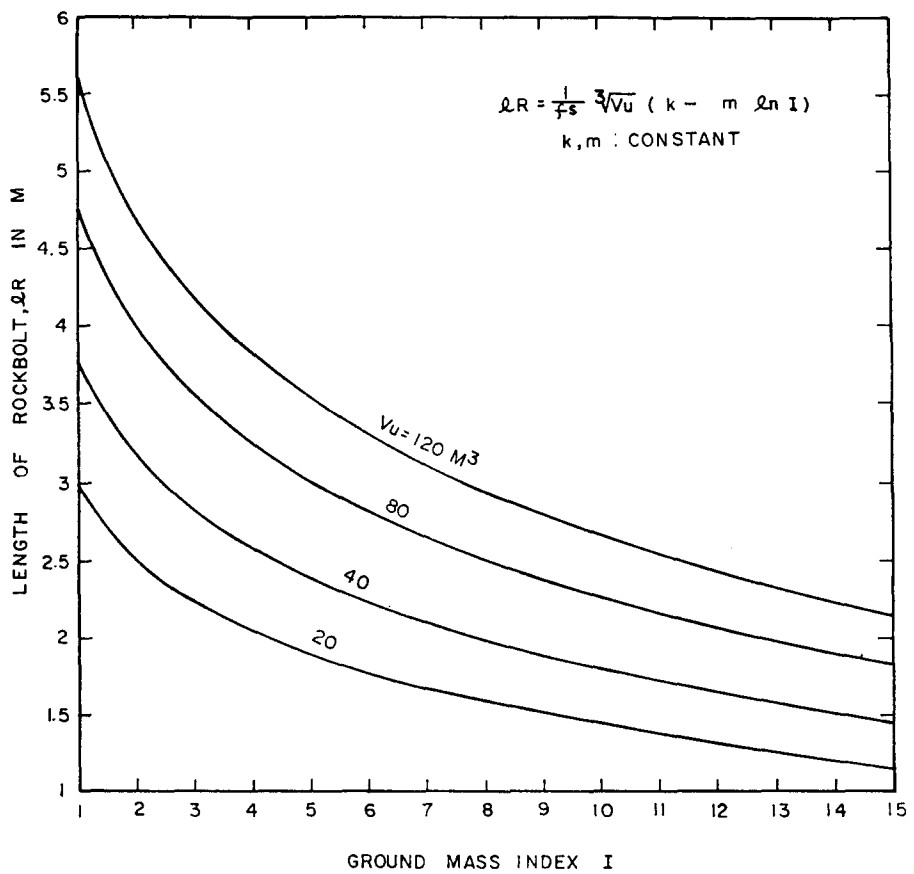


Fig. 9 Determination of Rockbolt Length

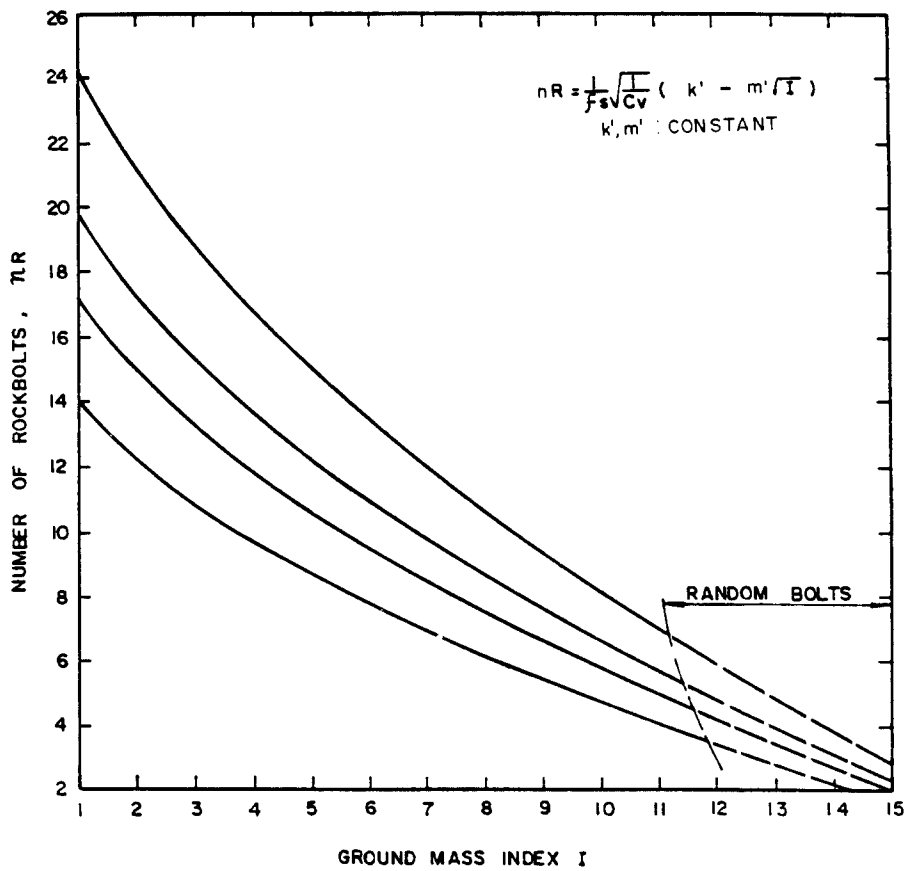


Fig. 10 Determination of Rockbolt Numbers

그의 Wire Mesh 나 Steel Rib 은 Table 2 에 나타난 바와같이 설치하도록 한다. 그러나 팽창성 지반 등에서는 Wire Mesh 를 추가하거나 강지보공을 Mu 지보공으로 대체하는 것이 좋을 것이다. 또한 Forepoling 이나 Grouting 등의 보조 공법은 현장 사정에 따라 필요한 경우 기술자의 판단에 의하여 설계, 적용 되어야 할 것이다.

5. 諸常數의 決定

지보공 설계에서 제시된 여러 상수들은 암반의 종류와 절리 (Joint) 상태, 지하수 유입상태, 터널 형상등에 따라 결정되는 경험치들로서 이 값들은 실제 적용된 터널에서의 설계치, 계측결과 그리고 유한요소해석 (FEM) 결과들과의 비교에서 얻어지고 있다. 물론 이러한 경험치들 일관성있게 적용하기 위하여는 여러종류의 암반에서 보다 많은 터널의 자료들이 반영됨이 필요한데, 현재까지 국내외를 통하여 시공된 터널의 자료들과 앞으로 수행될 터널의 자료를 계속 종합분석하여 보다 안전하고 경제적인 터널 설계기법으로 발전 시켜야 할 것이다.

6. 結 言

본 분류안은 앞으로 많은 터널에 적용되어 확인되어야 하겠지만, 화강암 등의 화성암, 편마암 등의 변성암뿐만 아니라 퇴적암 지반에까지 확대 적용하여도 좋도록 암석강도 보다는 층리나 절리등의 불연속면의 존재가 크게 터널의 안정에 영향을 미치는 것으로 하였다. 기 설계 시공된 터널중 마계형 또는 원형의 소단면 (단면적 10-20 m^2), 중단면 (단면적 40 m^2 내외) 및 대단면 (단면적 80 m^2 내외)에 대하여서는 본 분류안에 의한 지보공 결정식을 이용하여 본 분류의 적합성을 확인하였으나, 특대단면 (단면적 120 m^2 이상)에 대하여서는 시공예가 부족하여 비교검토가 이루어지지 않았으며, 또 사각형에 가까운 광산 터널등에의 적용 검토도 이루어지지 않았으므로 이들에 대하여서는 계속적인 보완 연구가 필요할 것이다.

이와 아울러 본 분류안에 의하여 설계된 단면은 현장 적용전에 유한요소법 등의 수치해석으로 안정성을 확인하고 시공중에는 연속적인 계측과 막장의 노출된 지반상태의 관찰로 안전을 확인하며, 필요한 경우 지보공을 가감하여야 할 것이다.

參考 文獻

1. Barton, N. & Lunde, J. (1975), "Estimation of Support Requirements for Underground Excavation," Proc. 16th Symp. on Rock Mechanics.
2. Bieniawski, Z.T. (1976), "Rock Mass Classification in Rock Engineering," Proc., Symp. on Exploration for Rock Engineer, Johannesburg, Vol. 1.
3. Hoek, E. & Brown, E.T. (1980) "Underground Excavation in Rock," Stephen Austin and Sons Ltd.
4. Lauffer, H. (1958), "Gebirgsklassifizierung fur den Stollenbau," Geologie und Bauwesen, Vol. 24. No. 1
5. Protodyakonov (1973), "The Art of Tunnelling," by Szechy, K., Akademiai kiado, Budapest, pp. 235-239.
6. Rabcewicz, L.v. (1954), "Bolted Support for Tunnels," Water Power, April and May
7. 일본 터널 기술협회 (1980), "터널공사에 있어서 암반분류의 적용 현상과 문제."
8. (주) 대우엔지니어링 (1983), "서울지하철 3.4호선 NATM A팀 구간 실시설계도," 서울시 지하철 공사.
9. (주) 대우엔지니어링 (1984), 터널 신공법 (NATM) 연구개발 보고서