

地工學的 岩盤分類의 再評價

REVALUATION OF 『GEOMECHANICS CLASSIFICATIONS OF ROCK MASSES』

金 敦 原, GYO-WON KIM

(株) 三安 建設技術 公社 常務理事/工學博士/技術士, Managing Director/PE/PhD, SAMAN Engineering Consultants Co.,Ltd., Seoul, Korea

SYNOPSIS :

The Bieniawski's geomechanics classification system(1984) is widely employed as a tool of engineering evaluation of rock masses for tunnel design. Since the six parameters adopted in the system are believed to control the engineering behavior of rock mass under an external load, no question may be raised to the conceptional idea immanent in the system. However, the rating grade for each individual parameter given in the system may not be properly measured since an engineering property of rock mass is not stepwise changed but continuously changed. In order to get the proper rating grade based upon the continuously changed properties in each parameter, several equations presented in this paper are obtained through regression analyses with the grades and median values of properties given in the system. A FORTRAN computer program given in the paper could provide not only RMR value but also rock mass properties (E, c, ϕ , ν etc.) using the empirical equations.

1. 서언

터널등의 지하구조물이 아 암반기초 및 사면등의 설계시에 필요한 암반의 지반공학적 특성을 평가하기 위한 정량적인 암반분류안의 하나로써 국제적으로 널리 적용되고 있는 Bieniawski의 지공학적 암반분류안(RMR 분류)의 실무적용상의 문제점에 대하여 고찰하고 이 분류안의 수정안을 제안하며 그에 대하여 논의코자 한다.

RMR 분류안은 1) 시료의 압축강도(R1), 2) RQD(R2), 3) 절리면의 간격(R3), 4) 절리면의 상태(R4), 및 5) 지하수 상태(R5)등 5 개의 기본 분류인자와 6) 절리면과 구조물의 상대적인 방위(R6)라는 보정인자로 구성된다. 기본 분류인자는 최대 15점에서 30점까지의 일정한 평점이 각각 부여되고 최대 평점의 합은 100점이 된다. 보정인자는 터널, 기초 및 사면등 대상목적물의 종류에 따라 서로 다른 부의 평점이 부여되어 전체 RMR은 기본인자 및 보정인자의 평점을 합하여 구하게 된다.

본고에서는 RMR분류안에 대하여 간략히 설명하고 수정안의 내용과 지반특성치와의 상관관계를 상술한다.

2. 지공학적 암반 분류안

2.1 분류안의 내용

이 분류는 Bieniawski에 의하여 1974년에 제안되어 1984년에 일부 수정보완된 지반분류안으로서, <Table 2.1>에 제시된 바와 같이 암석의 강도, 암질표시율, 절리면 간격, 절리면 상태 및 지하수 조건 등 5개 인자에 의하여 지반의 공학적 특성이 지배되는 것으로 보며, 구조물의 특성에 따라 절리의 방위가 또한 영향을 미치는 것으로 보고 있는데 터널에 있어서의 평점은 표의 R6에 제시한 바와 같다.

<Table 2.1>에서 알 수 있듯이 암석시료 강도는 전체 평점의 15%, 절리와 관계된 인자들은 70%, 지하수 영향에 나머지 15%의 평점을

주어서 지반의 전체적인 특성이 주로 절리등 불연속면의 특성과 밀접한 관계가 있음을 나타내고 있다. R6에서는 절리의 방위에 따라 R5까지의 평점 합에서 최대 12점을 감하여서 최종적인 RMR(Rock Mass Rating) 값을 결정한다.

<Table 2.1> Bieniawski의 RMR 지반분류안

분류 기준		구분범위 및 평점							
R1	시료강도 (kg/cm ²)	점하중강도 일축압축강도	100 2500	40 1000	20 500	10 250	5 100	적용 30	10
	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	거칠기 연속성 분리성 견고성	극심 없음 미약 견고	중간 약함 < 1 견고	적음 중간 < 1 연약	매끔 연속 1-5 점토	매우 연속 > 5 mm 연약	매끔 연속 점토	
		R4 평점		30	25	20	10	0	
R5	지하수	터널10m당 유량 수입/용역 비 일반적 상태	0 0	10 0.1	25 0.2	125 0.5	리터/분 소량	대량유입	
		R5 평점		15	10	7	4	0	
R6	상대적인 절리방위 (터널용)	터널굴진방위 절리면경사각	경사방향 20-45	경사반대 20-45	주향방향 20-45	무관 < 20도			
		R6 평점		-2	0	-10	-5	-5	-12

2.2 RMR 값의 이용

최종 결정된 RMR 값에 대한 터널 굴진시의 유효 굴착규모에 대한 지반의 자립시간과 점착력 및 내부 마찰각등의 지반강도 특성은 <Table 2.2>에 나타난 바와 같다.

<Table 2.2> RMR 평점별 지반특성

RMR 평점	100-81	80-61	60-41	40-21	20 이하
지반등급	I	II	III	IV	V
지반상태	매우우수	우수	양호	불량	매우불량
자립시간	10년/5 m	6개월/4 m	1주일/3 m	5시간/1.5m	10분/0.5m
점착력	> 3.0	2.0-3.0	1.5-2.0	1.0-1.5	<1.0kg/cm ²
마찰각	> 45°	40-45°	35-40°	30-35°	< 30°

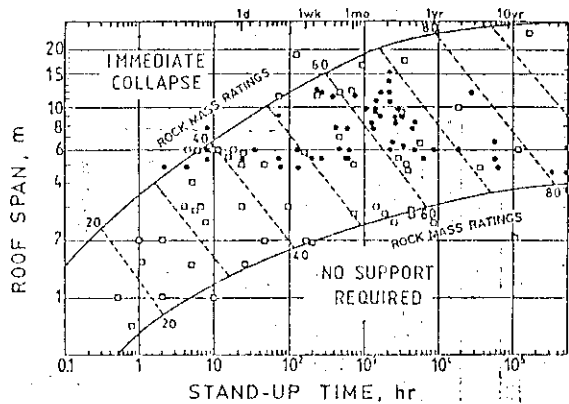
또한 Bieniawski(1978)는 RMR 값이 50 이상인 지반의 변형계수(D_m)는 (식 2.1)로 산출할 수 있다고 제안하였고, Serafim and Pereira (1983)은 RMR 50 이하인 지반의 변형계수 결정을 위하여 (식 2.2)를 제안하였다.

$$D_m = 20,000(RMR - 50) \quad (\text{식 2.1})$$

$$D_m = 10^{(k+4)} \quad (\text{식 2.2})$$

여기서, 단위는 kg/cm² 이고 k=(RMR-10)/40 이다.

터널의 굴진폭과 RMR 값에 의한 무지보 자립시간을 49개소의 터널에 대하여 Bieniawski (1976)가 정리한 바는 (Fig. 2.1)과 같다.



범례 : ● = 광산 천정부 붕락; □ = 터널 천정부 붕락

(Fig. 2.1) 자립시간-터널 폭-RMR 값의 상관관계

2.3 RMR 분류의 문제점

전술한 바와 같이 RMR 분류에서는 각 분류인자의 특성치를 일정 범위로 구분하여 평점을 부여한다. 이와같이 지반 특성치를 일정범위로 구분하여 불연속적인 평점을 부여하는데 이 분류안의 문제점이 있다. 즉, R1 압축강도의 경우를 예로 들면 강도가 1000 - 2500 kg/cm² 범위일때 평점 12가 주어지고 500 - 1000 kg/cm²일때 평점 7이 주어지는데, 극단적인 경우에는 강도 999 와 1000 kg/cm²에서 강

도차가 1 kg/cm²인데 평점 차는 5가 되는 반면, 강도 1000 과 2499 kg/cm²의 경우 강도차가 훨씬 크지만 같은 평점을 부여하게 되는 모순이 있다.

3. 수정안의 제안

전술한 불연속적 특성구분에 의한 지반평가의 모순성을 배제하기 위하여 RMR 분류안에 제시된 평점을 주어진 지반 특성치의 중앙값과 대응시켜서 회귀분석을 실시한 결과, 각 분류인자의 특성치에 따른 평점은 일정한 수식으로 연속적으로 표현될 수 있다고 판단되어서 본 수정안을 제안하게 되었다.

3.1 기본개념

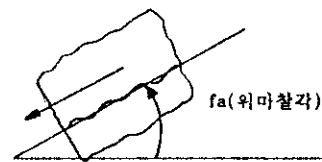
본 수정안은 RMR 분류안에서 도입하고 있는 제반 분류인자와 각 인자에 부여된 평점이 지반의 공학적 특성을 대변하고 있다는 전제에서 시작되었다.

3.2 접근방법

1) R1, R2, R3 및 R5의 결정 : 정량적인 기준이 제시된 이들 각 인자의 평점은 분류기준에 제시된 특성치의 중앙값과 대응한다고 가정하였다. 즉, 시료강도 500-1000 kg/cm²의 경우 이 범위의 RMR 값인 7 이 중앙값인 강도 750 kg/cm² 과 대응되는 것으로 가정하였다.

2) R4 의 결정 : 기본인자 중 '절리면의 상태' R4는 정량적인 기준이 아니기 때문에 전술한 방법을 적용하기 곤란하다. RMR 분류안에서 '절리면의 상태'는 절리면의 '거칠기', '연속성', '분리성' 및 '견고성'으로 구분할 수 있으며, 이러한 특성은 곧 '절리면의 총 전단강도'를 표현하고 있다고 판단하였다. 즉, 이 인자는 암석의 고유한 내부마찰각과 Asperity Angle 뿐만 아니라 절리 점착력까지 포함하여 결정되는 절리면의 전체적인 전단저항을 나타내고 있다고 볼 수 있다.

이러한 특성을 계수화하기 위하여 아래 그림과 같이 '한 절리면을 공유하는 두개의 브록을 수중에서 기울일 때 중력에 의하여 상부의 브록이 막 미끄러기 시작할 때의 절리면의 평균 기울기'로 정의하는 '위마찰각(Apparent Friction Angle)'이라는 용어를 도입한다. 본 수정안에서 채택한 위마찰각과 평점 R4와의 상관관계는 <Table 3.1>에 나타난 바와 같다.



(Fig 3.1) 절리면의 위마찰각 측정

<Table 3.1> 절리면의 상태별 평점 및 위마찰각

절리면 상태	거칠기 연속성 분리성 견고성	극심 없음 밀착 견고	중간 약함 < 1 견고	적음 중간 < 1 연약	매끈 연속 1-5 결토	매우매끈 연속 > 5 mm 연약결토
R4 평점		30	25	20	10	0
위마찰각(fa, 도)		70	65	60	40	20

3) R6의 결정 : 터널의 경우에 있어서 RMR분류안이 채택하고 있는 절리방위와 RMR 값과의 관계는 터널의 상대적인 굴진 방위와 절리면의 경사각에 따라 결정하는데, 절리경사가 20도 이상인 경우 상대적인 터널의 굴진 방위가 절리주향과 평행하거나 직교하는 경우만으로 구분되어 있다. 즉, 터널 축과 절리주향이 사교하는 경우는 기술자가 적절히 판단하여 적용하지 않으면 안된다.

본 수정안에서는 지하철이나 도로터널등 상당한 기간의 내구연한이 요구되는 터널의 경우를 대상으로 하여 굴착 후 일정시간 이내에 저보공이 설치되는 것으로 간주하여 노출된 무지보 굴착면이 제한된 범위라는 전제하에 다음과 같은 가정에 기초하여 터널의 방위와 절리면의 방위에 대한 R6의 값을 결정하였다.

- 터널의 축은 수평으로 가정한다.
- 터널굴착시의 무지보 노출면 중 안정성과 관련된 천정부, 좌우 측벽 및 막장면은 상호 직교하는 평면이다.
- 따라서, 절리면이 수평이거나 수직인 경우는 절리주향에 무관하게 같은 영향을 미친다. 즉, RMR 분류에서는 절리면의 경사각이 90도 일때의 평점이 0, -5, 및 -12로 되어 있으나 본 수정안에서는 단일 평점인 -4로 하고 수평절리일때는 -8로 한다.
- RMR 분류에서 제시되어 있지 않은 주향방향에 대하여서는 보간법으로 평점을 부여한다. 즉, 주향이 터널축과 45°로 사교하는 경우는 직교하는 경우의 평점과 평행하는 경우의 평점의 중간값을 취한다.
- 전산화의 편의상 주향 및 경사각은 경사방향과 경사각으로 대체하여 사용한다. 즉, 북쪽을 0로하고 동쪽은 90, 남은 180, 서는 270등으로 표시한다. 따라서, 절리면이 주향 N40W, 경사 60SW인 경우는 경사방향 230, 경사각 60으로 표현된다.

3.3 분석결과

이상과 같은 방법으로 각 인자별 특성치와 평점을 회귀분석한 결과는 (Fig 3.2) 에서 (Fig 3.7)에 나타내었으며, 상관관계식은 아래에 정리하였다.

압축강도(qu) : $R1 = -1.4 \times 10^{-6}(qu)^2 + 0.009(qu) + 0.3$

암질표사율(RQD) : $R2 = 0.2(RQD) + 0.4$

절리면 간격(Js) : $R3 = 3.5(Js)^{0.3}$

절리면 상태(fa) : $R4 = -(fa/19)^3 + (fa/6.8)^2 - (fa/2.3) + 2.5$

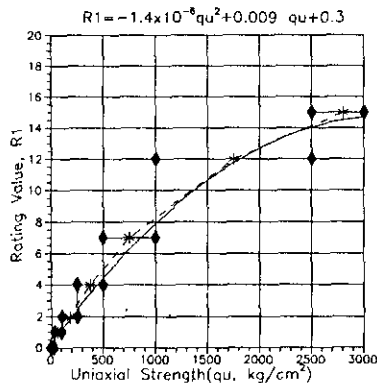
지하수 상태(W) : $R5 = -2.5 \ln(W) + 14.0$

절리면 방위(dip) : $R6 = A(dip)^3 + B(dip)^2 + C(dip) + D$ (터널의 경우)

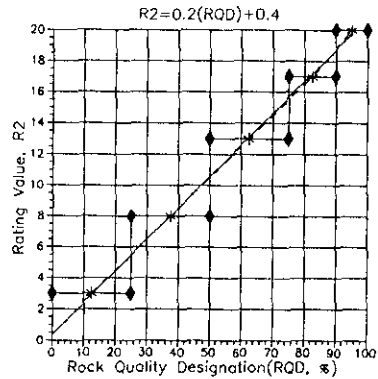
여기서, R6의 상수는 경사방향 Dd의 함수로서 다음과 같다.

$0 < Dd \leq 90^\circ$ 및 $270 < Dd \leq 360^\circ$ 일때,
 $A = (0.103 Dd - 4.931) \times 10^{-5}$
 $B = (-0.985 Dd + 49.874) \times 10^{-4}$
 $C = (-0.545 Dd - 5.100) \times 10^{-3}$
 $D = -8.00$

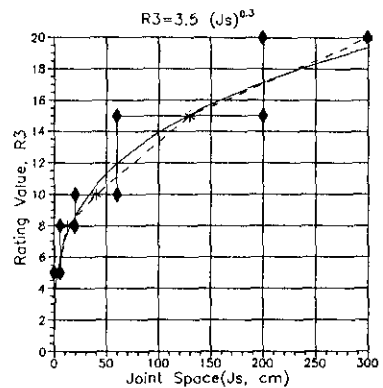
$90 < Dd \leq 270^\circ$ 일때,
 $A = 4.321 \times 10^{-5}$
 $B = (0.093 Dd - 47.222) \times 10^{-4}$
 $C = (-0.833 Dd + 119.44) \times 10^{-3}$
 $D = -8.00$



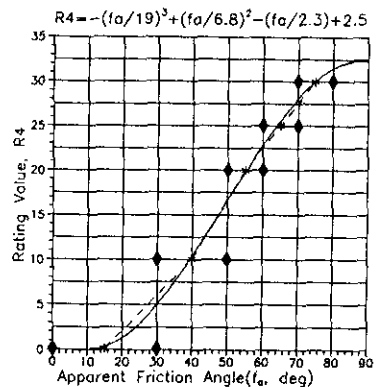
(Fig 3.2) 시료의 일축압축강도와 평점 R1의 상관관계



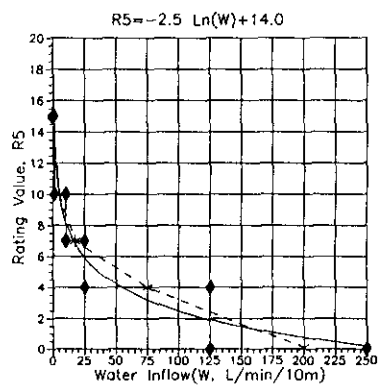
(Fig 3.3) RQD와 평점 R2의 상관관계



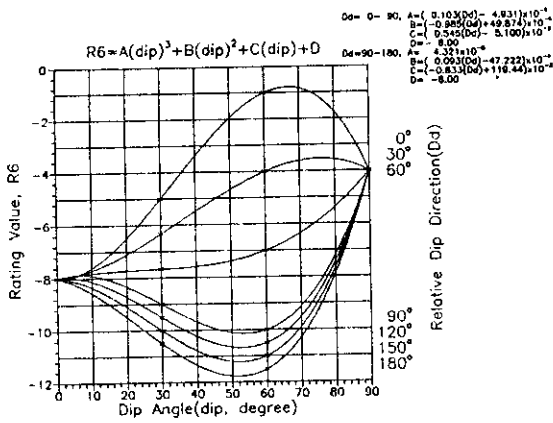
(Fig 3.4) 절리면의 간격과 평점 R3의 상관관계



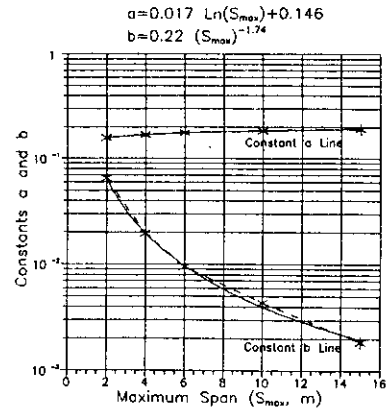
(Fig 3.5) 절리면의 위마찰각과 평점 R4의 상관관계



(Fig 3.6) 지하수 유출량과 평점 R5의 상관관계



(Fig 3.7) 절리면의 상대적인 방위의 평결 R6의 상관관계



(Fig 3.9) 무지보 최대 터널 폭에 따른 상수 a와 b

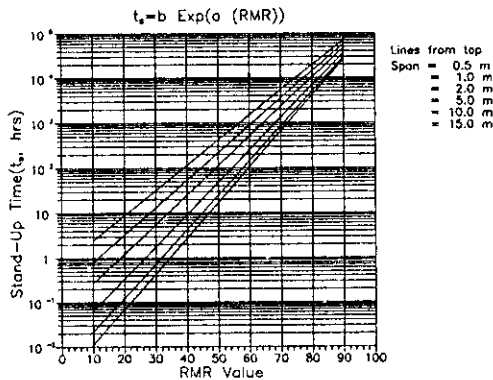
3.4 RMR 값의 이용방안

건설한 바와 같은 관계식은 다소 복잡한 면도 있지만 간단한 계산 프로그램을 이용한다면 부록에 수록된 예와 같이 손쉽게 RMR 값을 구할 수 있을 뿐만 아니라 RMR 값에 따라서 경험적으로 결정하는 암반의 절착력, 내부마찰각, 포아송 비 및 변형계수 등의 지반특성치를 산출하여 수치해석의 입력치로 이용할 수 있으며 터널의 규모에 따른 무지보 자립시간을 제공하므로 터널 굴착패턴의 결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

1) 자립시간 : 터널의 굴착폭에 따른 무지보 자립시간과 RMR값이 (Fig 2.1) 및 <Table 2.2>와 같은 관계일때, 이들은 다시 다음 상관관계식 및 (Fig 3.8)과 같이 표현되었으며 상수 a와 b는 (Fig 3.9)와 같이 최대 무지보 터널 폭의 함수로 나타난다.

터널 자립시간: $t_s = b \text{Exp}(a (\text{RMR}))$

단, 상수 $a = 0.0017 \ln(S_{max}) + 0.146$
 $b = 0.22(S_{max})^{-1.74}$

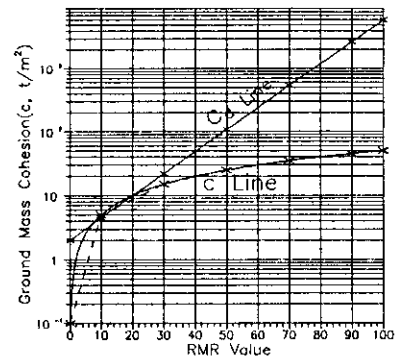


(Fig 3.8) RMR 및 무지보 터널 폭에 따른 터널의 자립시간

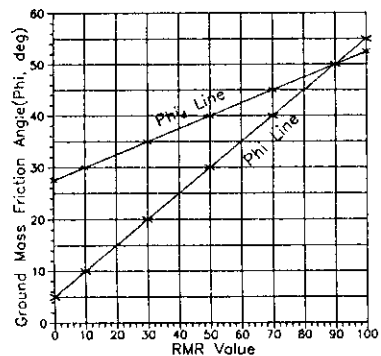
2) 지반강도 정수 : 지반의 절착력과 내부마찰각은 <Table 2.3>과 같이 원저자에 의하여 제시되었는데 (Fig 3.10) 및 (Fig 3.11)에 c

및 Phi로 표시된 바와 같이 RMR과는 직선적인 관계가 있다. 그러나, 지반의 절착력과 내부 마찰각은 지하수 유출량이나 절리면의 방위와는 무관한 특성이므로 RMR 값 중 R5 및 R6을 제외한 값인 RMR*을 적용하여 결정함이 타당할 것으로 판단하여 그동안 서울시 지하철의 설계 또는 수치해석시에 국내 기술자들에 의하여 널리 적용되어온 값을 이용하여 그림의 ca 및 Phi_d로 표시된 바와 같은 관계를 구하였으며, 이들 상관관계식은 다음과 같다.

$c = 0.5(\text{RMR})$ 단위: t/m^2
 $ca = 2.0 \text{Exp}(0.08 \text{RMR}^*)$
 $\text{Phi} = 0.5(\text{RMR}) + 5.0$
 $\text{Phi}_d = 0.25(\text{RMR}^*) + 27.5$



(Fig 3.10) RMR과 지반 절착력의 상관관계



(Fig 3.11) RMR과 지반 내부마찰각의 상관관계

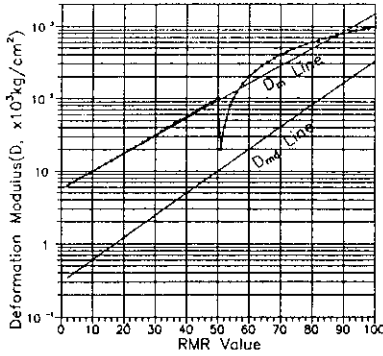
3) 변형계수 : (식 2.1) 및 (식 2.1)에 제시된 지반의 변형계수는 한 그래프상에 표시하면 (Fig 3.12)의 위 곡선과 같이 두개의 곡선이 불연속적으로 연결되게 된다. 이들 두선을 동시에 표현할 때 그림상 D_m 과 같이 지수함수로 나타낸다. 변형계수 또한 R5나 R6와는 무관한 특성이므로 전술한 바와 같이 RMR*을 이용하여 국내 지하철 터널해석에서 주로 적용하고 있는 지반 등급별 변형계수의 값과 대비시켜서 D_{md} 의 곡선을 얻었으며, 이들 관계식은 다음과 같다.

$$D_m = 5768 \text{ Exp}(0.056 \text{ RMR}) \quad \text{단위: kg/cm}^2$$

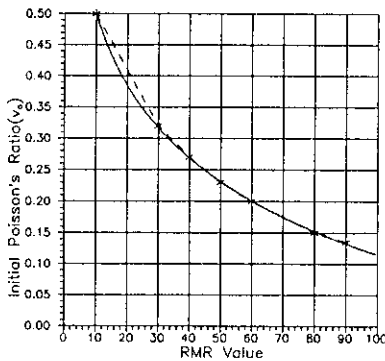
$$D_{md} = 300 \text{ Exp}(0.07 \text{ RMR}^*)$$

4) 포아송 비 : 변형계수와 아울러 지반의 초기 포아송비는 터널 해석에 필수적인 특성치이다. RMR과 포아송 비의 상관관계에 대한 관계식은 알려진 것이 없으므로 전술한 바와 같이 RMR*과 지반 등급별 국내에서 적용하고 있는 포아송 비를 기준으로 (Fig 3.13)과 같은 관계를 얻었으며, 관계식은 다음과 같다.

$$v_0 = -0.17 \text{ Ln}(\text{RMR}^*) + 0.9$$



(Fig 3.12) RMR과 지반 변형계수의 상관관계



(Fig 3.13) RMR과 초기 포아송 비의 상관관계

3.5 원안과 수정안의 결과 비교

가상의 지반특성치에 대하여 원안과 수정안에 의한 RMR 값을 비교한 결과를 <Table 3.2>에 나타 내었다. 수정안의 전산 계산결과는 부록의 전산출력 예와 같다. 표에서 알 수 있듯이 RMR 값은 유사하나 점착력과 변형계수는 상당한 차이를 보이고 있다. 이는 수정안의 결과

가 현재 지하철 설계시에 입력하는 값을 근거로 산출된 것이고 서울 지하철의 경우 이러한 값을 입력하여 수치해석한 지반거동이 계속치와 어느 정도 부합되고 있음에 비추어 수정안의 특성치가 합당한 것으로 유추된다.

<Table 3.2> 원안과 수정안의 비교

분류 기준 및 특성치	원 분류안	수정안
일축압축강도 $q_u = 550 \text{ kg/cm}^2$	7	4.83
압밀표시율 $RQD = 78 \%$	17	16.00
절리간격 $J_s = 80 \text{ cm}$	15	13.03
절리상태 = 약간 거칠고 연속, 약간 절리면	20	22.78
지하수 30 liter/min/10 m	4	5.50
절리방위 = N30E, 50SE (터널방위 북쪽)	-12	-10.64
RMR 값	51	51.49
점착력 (t/m^2)	15 - 20	185
내부마찰각 (ϕ)	35 - 40	41
변형계수 (t/m^2)	1,059, 253	158, 066

4. 지하철 터널설계에의 적용

현재 설계 진행중인 서울시 지하철 6호선에서 적용하고 있는 지반분류안은 <Table 4.1>에 제시한 바와 같이 지반은 6개의 층으로 구분하였고, 각 층에 대한 개략적인 특성과 지질조사시의 분류기준이 명시되어 있다. 또한, 이 표는 서울시 지하철 분류안과 RMR과의 관계를 나타내며, 지질조사결과로부터 이루어지는 예비설계안과 시공시의 막장관찰 및 조사결과에 의하여 결정되어야 할 보조공법의 필요성 여부도 제시하고 있다.

<Table 4.1> 서울 지하철 6호선 1차 구간 1차 분류 修正案과 RMR 및 標準設計案

地層名 및 地層의 特性	地質調査時의 地層分類 基準	RMR-System	RMR-System	適用設計案
1. 1차 1층 / 1R1 (R1) : 粘壤土質이 大部分 混入되되어 軟弱 토질로서 承载力 弱하여 掘削時 震動의 影響을 受하게 되며 掘削 시 2차 震動도 考慮하여 掘削時 掘削 速度가 掘削의 最下까지도 하여, 손으로 쉽게 무너져서 R 값이 100R/30ca 이하인 지층	TCR < 0 w RQD < 0 w H < 100R/30ca $q_u < 10 \text{ kg/cm}^2$	R1-2 (RMR* < 19)	R1-2 (RMR* < 19)	a4 > 10 掘削 掘削 掘削 a4 > 10 掘削 掘削 掘削
2. 1차 2층 / 2R2 (R2) : 粘壤土質이 混入되어 粘石층의 成分이 混入되나 粘石층의 成分이 混入되어 掘削 시 2차 震動도 考慮하여 掘削 시 掘削 速度가 掘削의 最下까지도 하여, 손으로 쉽게 무너져서 R 값이 100R/30ca 이하인 지층	TCR < 30 w RQD < 10 w H < 100R/30ca $q_u < 100 \text{ kg/cm}^2$	R2-3 (19 < RMR* < 35)	R2-3 (19 < RMR* < 35)	a4 > 10 掘削 掘削 掘削 a4 > 10 掘削 掘削 掘削
3. 1차 3층 / 3R3 (R3) : 粘壤土質이 混入되어 粘石층의 成分이 混入되나 粘石층의 成分이 混入되어 掘削 시 2차 震動도 考慮하여 掘削 시 掘削 速度가 掘削의 最下까지도 하여, 손으로 쉽게 무너져서 R 값이 100R/30ca 이하인 지층	TCR > 30 w RQD < 25 w $q_u < 250 \text{ kg/cm}^2$ Ja < 100 ca	R3-4 (35 < RMR* < 46)	R3-4 (35 < RMR* < 46)	a4 > 10 掘削 掘削 掘削 a4 > 10 掘削 掘削 掘削
4. 1차 4층 / 4R4 (R4) : 粘壤土質이 混入되어 粘石층의 成分이 混入되나 粘石층의 成分이 混入되어 掘削 시 2차 震動도 考慮하여 掘削 시 掘削 速度가 掘削의 最下까지도 하여, 손으로 쉽게 무너져서 R 값이 100R/30ca 이하인 지층	TCR > 60 w RQD > 25 w $q_u < 250 \text{ kg/cm}^2$ Ja < 200 ca	R4-5 (46 < RMR* < 53)	R4-5 (46 < RMR* < 53)	a4 > 10 掘削 掘削 掘削 a4 > 10 掘削 掘削 掘削
5. 1차 5층 / 5R5 (R5) : 粘壤土質이 거의 混入되지 않으나 粘石층의 成分이 混入되어 掘削 시 2차 震動도 考慮하여 掘削 시 掘削 速度가 掘削의 最下까지도 하여, 손으로 쉽게 무너져서 R 값이 100R/30ca 이하인 지층	TCR > 80 w RQD > 80 w $q_u < 500 \text{ kg/cm}^2$ Ja < 300 ca	R5-6 (53 < RMR* < 71)	R5-6 (53 < RMR* < 71)	a4 > 10 掘削 掘削 掘削 a4 > 10 掘削 掘削 掘削
6. 1차 6층 / 6R6 (R6) : 粘壤土質과 같은 層厚를 가지나 掘削 속도가 300 ca 이하이거나 RQD가 75 w 이하인 지층	TCR > 80 w RQD > 75 w $q_u < 1000 \text{ kg/cm}^2$ Ja < 200 ca	R6-7 (71 < RMR*)	R6-7 (71 < RMR*)	a4 > 10 掘削 掘削 掘削 a4 > 10 掘削 掘削 掘削

註) RMR*은 Bieniawski 分類基準의 強度(R1), RQD(R2), 節理間隔(R3), 節理狀態(R4)의 評點合으로 地下水 狀態(R5) 및 節理方位(R6)의 評點을 除外한 RMR 값을 나타냄.

5. 결론

터널 설계에 있어서의 지반분류는 여러 안이 제시되어 왔으나 국내 외적으로 널리 적용되고 있는 RMR 분류안은 지반의 불연속면의 특성이 터널 안정에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보고 있다. 이러한 개념에 의한 분류는 특히 풍화 및 연암층이 주로 분포하는 도심지

의 얇은 지하철 터널의 경우 적절할 것으로 판단된다. 그러나, 이 분류안이 채택하고 있는 불연속적인 평결 배분방식은 지반특성의 연속적 변화와 상충된다고 판단하여 본 수정안이 제안되었다.

이 수정안이 내포하고 있는 문제점은 원 RMR 분류에서 정상적인 기준으로 제시된 절리면의 상태를 정량적인 수치로 환산하는 과정에서 오차가 있을 수 있으며, 원안에 한정적으로 제시된 이외의 절리면의 방향을 주어진 방향에 대한 평점을 기준으로 보간 유추하여 결정하는데 있을 것으로 사료되나, 원안을 적용하는 경우라 하더라도 이 두 인자의 평가에는 개개 기술자의 상대적인 오차가 있을 수 밖에 없다. 따라서, 이미 한 예로 검토한 바와 같이 이 인자들의 정량화로 인한 전체적인 지반평가에의 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

본 수정안의 적용에 있어서의 급부의 과제로는 RMR 값에 의하여 수행된 설계를 현장 적용하면서 지반의 거동을 계속하여 RMR과 지반의 변위 및 지보공 응력등과의 상관관계를 규명하고 그 결과를 수치해석등에 재반영함으로써 시공현장의 실측치에 근거하는 해석결과가 도출되도록 노력하는 일이라 생각된다.

마지막으로 본 수정안을 실무 적용하면서 도출되는 문제점에 대하여 학회활동등을 통하여 활발하게 논의되어서 우리 현실에 적합한 터널 설계용 지반평가안으로 보완 발전하게 되기를 기대하는 바이다.

6. 부록 : 전산프로그램 및 입력, 출력예

Example of Input Data

 Example 1 for Design of KGS Tunnel, 93 Symposium
 550., 78., 80., 60., 30., 0., 120., 50., 6.
 end

Example of Output

 Example 1 for Design of KGS Tunnel, 93 Symposium

1. Input Data are Followed,

R1: Strength(kg/cm2) = 550.00	R2: RQD(%) = 78.00	
R3: Joint Space(cm) = 80.00	R4: Joint Friction(deg) = 60.00	
R5: Water(L/min/10m) = 30.00	R6: a) Tunnel Direction(deg) = .00	
	b) Joint Dip Direction = 120.00	
	& Angle(deg) = 50.00	

Maximum Active Excavation Span = 6.00 m
 2. Resulting RMR Value : RMR = 51.49 RMR* = 56.63

1) Rock Strength, R1 = 4.83	2) RQD, R2 = 16.00	
3) Joint Space, R3 = 13.03	4) Joint Friction, R4 = 22.78	
5) Water Inflow, R5 = 5.50	6) Orientation, R6 = -10.64	
 3. Stand-Up Time for Active Span of 6.00 m is 86.0 hours.
 4. Ground Mass Class = Hard Rock(HR) Standard Design Pattern = P-5
 5. Ground Mass Properties for Design :

1) Cohesion(t/m2) = 185.65	2) Friction Angle(degree) = 41.66
3) Poissons Ratio = .21	4) Deformation Modulus(t/m2) = 158066.
 6. Consider Auxiliary Support to Prevent of Over Excavation !
-

```

$debug
$large
c
c Program RMR written by Gyo-Won Kim, SAMAN Engineering Consultants; Co.
c                                on December, 1992                                Tel 02-504-2524
c
c This program "RMR.FOR" can compute the RMR value of rock mass grade
c to appreciate the standard design pattern of subway tunnel. The basic
c concept of the program is well described in the technical note titled
c as "Revaluation of Geomechanics Classification of Rock Masses"
c (Gyo Won Kim) carried on "Proceedings, KGS 93 Symposium Geotechnical
c Engineering and Tunneling Technology", Korean Geotechnical Society,
c Seoul, Korea
c
c
c                                program RMR
c
c                                real*4 r1,r2,r3,r4,r5,r6,r7,qu,rqd,js,phi,wi,dip,s,ts,
c                                a,b,c,d,rnr1,rnr,aa,bb,cd,phid,v0,d0
c                                character yn*1,im*1,ctnu*1
c                                character*72 titl,sp,rcss,spot,fn,fn1,fn2,junk,hour
c
10                                continue
c
c                                Data input method : data file or type in on screen
c
c                                write(*,'(a)')      Input on Monitor Screen (y/n) ?? '
c                                read(*,'(a1)') im
c
c                                if(im .eq. 'y' .or. im .eq. 'Y') goto 13
c                                goto 5
13                                continue
c                                write(*,'(a)')      Enter Output File Name = '
c                                read(*,'(a10)') fn1
c                                open(6,file=fn1, status='new')
c
150                                write(*,'(a)')      Title and Information(a70) ?? '
c                                read(*,'(a70)') titl
c
c                                write(*,'(a)')
c                                + ' R1: Uniaxial Compressive Strength,qu(kg/cm2) ?? '
c                                read(*,*) qu
c                                write(*,'(a)')      R2: RQD(%) ?? '
c                                read(*,*) rqd
c                                write(*,'(a)')      R3: Joint Space(cm) ?? '
c                                read(*,*) js
c                                write(*,'(a)')      R4: Joint Friction Angle(degree) ?? '
c                                read(*,*) phi
c                                write(*,'(a)')
c                                + ' R5: Quantity of Water Inflow(L/min/10m) ?? '
c                                read(*,*) wi
c                                write(*,'(a)')
c                                + ' R6: Direction of Tunnel Axis(degree) ?? '
c                                read(*,*) tx
c                                write(*,'(a)')
c                                + ' R6: Joint Dip Direction (degree) ?? '
c                                read(*,*) ds
c                                write(*,'(a)')      R6: Joint Dip Angle(degree) ?? '
c                                read(*,*) dip
c                                write(*,'(a)')      Active Excavation Tunnel Span(m) ?? '
c                                read(*,*) sax
c                                goto 15
c

```

```

5      continue
c
      write(*,'(a\)' ) Enter Input File Name = '
      read(*,'(a10)' ) fn
      open(5, file=fn, status='old')
c
      write(*,'(a\)' ) Enter Output File Name = '
      read(*,'(a10)' ) fn2
      open(6, file=fn2, status='new')
c
100     continue
      read(5,25) titl
25      format(a70)
      if(titl.eq.'end'.or.titl.eq.'END'.or.titl.eq.'END') goto 111
c
c data order : Uniaxial Strength(kg/cm2), RQD(%), Joint Space(cm),
c               Friction Angle(degree), Water Inflow(L/min/10m),
c               Tunnel Direction(degree from North),
c               Dip Direction of Joint(degree from North),
c               Dip Angle(degree), Excavation Span(m)
c
      read(5,*) qu,rqd,js,phi,wi,tx,ds,dip,smx
      s=abs(tx-ds)
      if(s.gt.180.) s=360.-s
15      continue
      write(*,20) titl,qu,rqd,js,phi,wi,tx,ds,dip,smx
      write(6,20) titl,qu,rqd,js,phi,wi,tx,ds,dip,smx
20      format(5x,a70,/,/,2x,'1. Input Data are Followed.',/,5x,
+         'R1: Strength(kg/cm2) = ',f8.2,3x,
+         'R2: RQD(%) = ',f6.2,/,5x,
+         'R3: Joint Space(cm) = ',f8.2,3x,
+         'R4: Joint Friction(deg) = ',f6.2,/,5x,
+         'R5: Water(L/min/10m) = ',f8.2,3x,
+         'R6: a) Tunnel Direction(deg)= ',f6.2,/,5x,
+         35x,' b) Joint Dip Direction = ',f6.2,/,5x,
+         35x,' & Angle(deg) = ',f6.2,/,5x,
+         'Maximum Active Excavation Span = ',f6.2,' m'/)
c
c Parameter A,B,C, and D for R6
c
      if(s.lt.90.) then
      a=(0.103*s-4.931)/10**5
      b=(-0.985*s+49.874)/10**4
      c=(0.545*s-5.10)/10**3
      d=-8.0
      else
      a=4.321/10**5
      b=(0.093*s-47.222)/10**4
      c=(-0.833*s+119.44)/10**3
      d=-8.0
      endif
c
c Limitation of dip angle
c
      if(dip.lt.5.) dip=5.
      if(dip.gt.80.) dip=80.
      if(wi.lt.0.1) w=0.1
c
c R1, R2, R3, R4, R5, and R6 computation
c
      r1=-1.4/10**6*qu*qu+0.009*qu+0.3
      r2=0.2*rqd+0.4
      r3=3.5*(js**0.3)
      r4=-(phi/19)**3+(phi/6.8)**2-(phi/2.3)*2.5
      r5=-2.5*Log(wi)+14.0
      r6=a*dip**3+b*dip**2+c*dip+d
c
c Limitation of R values
c
      if(r1.gt.16.) r1=16.
      if(r2.gt.20.) r2=20.
      if(r3.gt.20.) r3=20.
      if(r4.lt.0.) r4=0.
      if(r4.gt.30.) r4=30.
      if(r5.gt.15.) r5=15.
      if(r6.lt.-12.) r6=-12.
      if(r6.gt.0.) r6=0.
      if(r7.gt.0.) r7=0.
c
      rmr=r1+r2+r3+r4
      rnr=r1+r2+r3+r4+r5+r6+r7
c
c Ground Classification
c
      if(rmr.lt.0.) rnr=0.
      if(rmr1.lt.19.) rcss='Residual Soil(RS)'
      if(rmr1.ge.19..and.rmr1.lt.35.) rcss='Weathered Rock(WR)'
      if(rmr1.ge.35..and.rmr1.lt.46.) rcss='Soft Rock(SR)'
      if(rmr1.ge.46..and.rmr1.lt.53.) rcss='Moderate Rock(MR)'
      if(rmr1.ge.53..and.rmr1.lt.71.) rcss='Hard Rock(HR)'
      if(rmr1.ge.71.) rcss='Very Hard Rock(VHR)'
c
c Standard Subway Tunnel Design
c
      if(rmr1.lt.19.) sp='P-2'
      if(rmr1.ge.19..and.rmr1.lt.41.) sp='P-3'
      if(rmr1.ge.41..and.rmr1.lt.53.) sp='P-4'
      if(rmr1.ge.53.) sp='P-5'
c
c Warning to expected trouble
c
      spot='
      if(r5.le.4..and.r6.gt.-7.72) spot=' Water Inflow !'
      if(rmr1.lt.35.and.r6.le.-7.72.and.r5.gt.4.)
+      spot=' Roof Falling !'
      if(rmr1.ge.35.and.r6.le.-7.72.and.r5.gt.4.)
+      spot=' Over Excavation !'
      if(rmr1.lt.35.and.r6.le.-7.72.and.r5.le.4.)
+      spot=' Water Inflow and Roof Falling !'
      if(rmr1.ge.35.and.r6.le.-7.72.and.r5.le.4.)
+      spot=' Water Inflow and Over Excavation !'
c
c Stansup Time
c
      aa=0.017*log(smx)+0.146
      bb=0.22*smx**(-1.74)
c
      ts=bb*exp(aa*rmr)
c
      hour=' hours.'
      if(ts.lt.1.0) then
      hour=' minutes.'
      ts=ts*60.
      endif

```

```

c
c   Rock Masses' Properties
c
cd=2.0*exp(0.08*rmr1)
phid=0.25*rmr1+27.5
v0=-0.17*log(rmr1)+0.9
d0=3000*exp(0.07*rmr1)
c
c   Output of Computed Results
c
if(ts.gt.999.99) ts=999.99
write(*,30) rmr,rmr1,r1,r2,r3,r4,r5,r6,smx,ts,hour,rcss,sp,
+   cd,phid,v0,d0
write(6,30) rmr,rmr1,r1,r2,r3,r4,r5,r6,smx,ts,hour,rcss,sp,
+   cd,phid,v0,d0
30  format(2x,'2. Resulting RMR Value : RMR = ',f5.2,' RMR# = ',
+   f5.2,'/,5x,'1) Rock Strength, R1 = ',f6.2,6x,
+   '2) RQD, R2 = ',f6.2,/,5x,
+   '3) Joint Space, R3 = ',f6.2,6x,
+   '4) Joint Friction, R4 = ',f6.2,/,5x,
+   '5) Water Inflow, R5 = ',f6.2,6x,
+   '6) Orientation, R6 = ',f6.2,/,2x,
+   '3. Stand-Up Time for Active Span of ',f4.2,' m is ',
+   f6.1,a10,/,2x,'4. Ground Mass Class = ',a20,
+   2x,'Standard Design Pattern = ',a4,/,2x,
+   '5. Ground Mass Properties for Design :',/,5x,
+   '1) Cohesion(t/m2) = ',f6.2,7x,
+   '2) Friction Angle(degree) = ',f6.2,/,5x,
+   '3) Poissons Ratio = ',f6.2,7x,
+   '4) Defomation Modulus(t/m2) = ',f8.0,/)
c
if(r5.le.4. or.r6.le.-7.72) then
write(*,50) spot
write(6,50) spot
50  format(2x,'6. Consider Auxiliary Support to Prevent of',
+   a35,/)
endif
c
if(ts.lt.2.) write(*,40)
if(ts.lt.2.) write(6,40)
40  format(5x,
+'WARNING !!! You may need reduce the excavation span ',/,17x,
+'to increase the stand-up time of tunnel.',/,14x,
+'OR Increase the ground strength using auxiliary supports.',/)
c
write(*,'(a)')
read*,'(a1)') ctnu
c

```

```

if(im.eq.'s'.or.im.eq.'S') then
write*,'(a\)' ' Change Active Span ??(y/n).... '
read*,'(a1)') yn
if(yn.eq.'y'.or.yn.eq.'Y') then
write*,'(a\)' ' Enter New Active Span(m) = '
read*,'(a)') smx
yn='n'
goto 150
endif
c
write*,'(a\)' ' Other Determination ??(y/n).... '
read*,'(a1)') yn
if(yn.eq.'Y'.or.yn.eq.'y') goto 10
endif
c
if(im.ne.'y'.or.im.ne.'Y') goto 100
c
111 stop
end
c
End of Program
c

```

7. 참고문헌

- Bieniawski, Z.T.(1974), Geomechanics Classification of Rock Masses and its Application in Tunneling, Proceedings, Third International Congress Rock Mechanics, International Society of Rock Mechanics, Denver, Colo.
- Bieniawski, Z.T.(1976), Rock Mass Classifications in Rock Engineering, Proceedings Symposium on Exploration for Rock Engineering, ed. Bieniawski, Balkema Rotterdam, Netherlands.
- Bieniawski, Z.T.(1978), Determining Rock Mass Deformability: Experience from Case Histories, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 15.
- Bieniawski, Z.T.(1984), Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling, Balkema Rotterdam, Netherlands.
- Serafim, J.L. and J.P. Pereira (1983), Considerations off the Geomechanics Classification of Bieniawski, Proceedings, International Symposium on Engineering Geology and Underground Construction, Lisbon, Portugal