

현장암반 평가에 관한 제안 및 암반분류법들간의 상관관계 고찰

김홍표¹⁾, 장호민^{2)*}, 강추원²⁾, 고진석²⁾

A Suggestion of In-situ Rock Mass Evaluation and Correlation between Rock Mass Classification Methods

Hong-Pyo Kim, Ho-Min Chang, Choo-Won Kang and Chin-Surk Ko

Abstract The purpose of this study is to find out rock mass classification method which is practically applicable to a field and to consider a correlation between the new method and the old method. Rock mass is an aggregate of separated blocks. To express the aggregate, the properties of both intact rock and rock mass should be considered. In this study, therefore, parameters for rock mass description are classified into rock strength and rock structure. Indices for parameters evaluation are obtained from old method and the strength and structure property of rock is described by using those indices. Value of 25 is allocated to each parameter obtained. $RMR_{basic} = 0.86(X - Method) + 14.47$ is derived between RMR_{basic} and this study and $RMR^* = 0.87(X - Method) + 9.20$ is derived between revised RMR and this study. Coefficient of determination is $R^2=0.841$ and $R^2=0.846$ each.

Key words Rock mass classification, Correlation

초 록 본 연구에서는 암반분류를 현장에서 바로 실시할 수 있는 암반분류법을 도출하고 도출된 분류법과 기존 분류법간의 상관관계를 고찰하는데 그 목적이 있다. 암반 묘사를 위한 분류인자를 먼저 암반강도와 암반구조로 나누었으며, 암반강도는 점허중강도와 절리상태, 암반구조는 RQD와 절리간격을 통하여 평가하였다. 변수의 평가를 위한 지표는 기존의 분류법에서 획득하여 이용하였으며, 이를 통하여 암반의 강도 특성과 구조적 특성을 모두 나타내었다. 도출된 각 각의 변수에는 25점의 배점을 할당하였다. RMR_{basic} 과 본 연구와의 상관관계는 $RMR_{basic} = 0.86(X - Method) + 14.47$, 수정 RMR과 본 연구와의 상관관계는 $RMR^* = 0.87(X - Method) + 9.20$ 로 나타났다. 결정계수는 각각 $R^2=0.841$, $R^2=0.846$ 으로 나타났다.

핵심어 암반분류, 상관관계

1. 서 론

터널과 같은 지하공간의 건설에서 암반분류법은 경험적 방법으로 지보설계에 적용되고 있다. 현존하는 여러 가지 암반분류법 중 가장 널리 알려진 암반분류법으로는 Terzaghi(1946)의 암반하중분류법, Lauffer

(1958)의 자립시간분류법, Wickham, Tiedemann, Skinner(1972)의 RSR(Rock Structure Rating)분류법, Bieniawski(1973)의 RMR(Rock Mass Rating) 분류법, Barton 등(1974)의 Q-system 등이 있다.

암반분류가 설계에 있어서 강력한 조건자로 작용하고 있다. 그러나 암반분류에서 암반의 상태를 완전하게 기술할 수 있는 분류변수는 존재하지 않는다. 기본적으로 암반분류는 수 개의 변수의 조합으로 이루어져 있고, 변수가 많아짐에 따라 발생하는 정보수집의 어려움, 복잡성과 변수자체의 불확실성은 부인할 수 없다. 이러한 관점에서 Q-System에 기반을 둔 N분류법(Rock Mass Number)이나 RMR분류법을 기초로

¹⁾ 태조엔지니어링

²⁾ 조선대학교 에너지자원공학과

* 교신저자 : swe79@nate.com

접수일 : 2010년 12월 20일

심사 완료일 : 2010년 12월 24일

게재 승인일 : 2010년 12월 26일

한 RCR분류법(Rock Condition Rating)이 탄생하기도 하였다(Singh & Goel, 1999).

암반분류법간의 상관관계에 관한 연구는 현재까지 다각적으로 이루어지고 있다. 그 중 Bieniawski(1973)의 RMR과 Barton 등(1974)의 Q와의 상관관계에 관한 연구는 주로 사례연구를 통하여 이루어 졌으며, Bieniawski(1989), Rutledge & Preston(1978), Moreno(1980), Cameron-Clarke & Buduvari(1981), Abad 등(1984)에 의한 연구가 대표적이다. 또한 국내에서도 선우춘 등(2001)에 의하여 암반분류법간의 상호관계에 관한 연구가 이루어졌다.

국내의 암반분류법은 기준이 표준화되어 있지 않고, 각 기관별로 상이한 분류법을 적용하고 있어 판단기준의 혼동과 같은 많은 문제점을 갖고 있다. 따라서 국내에 적용되고 있는 암반분류법의 문제점을 개선하기 위해 국내암반분류 기준들과 국외 기준들을 비교 검토하여 새로운 방법을 제안하고, 기존의 암반분류법들과의 상관성을 검토하였다.

본 연구는 현장에서 수집할 수 있는 최소한의 정보를 이용한 암반분류와 기존 분류법 사이의 상관관계에 관한 연구로서 이를 위하여 첫째, 암반을 분리된 블록의 집합체로서 표현하기 위하여 암반분류의 변수를 암반강도와 암반구조로 나누었으며 암반강도는 점하중강도와 절리상태, 암반구조는 RQD와 절리간격을 통하여 평가하고자 하였다. 둘째, 암반분류를 위한 분류변수 도출을 위하여 국·내외 암반분류법에서 사용 중인 각 분류변수에 대한 고찰을 실시하였고 셋째, 동일한 코어 샘플을 이용하여 RMR분류와 본 연구에서 도출된 분류변수와 배점에 의한 분류하였다. 넷째, RMR분류에 의한 암반등급 및 평점과 본 연구에 의한 분류에 의한 암반등급 및 평점과의 비교하였고 다섯째, 본 연구에서의 암반분류법과 RMR분류법, 그리고 RQD 사이의 상관관계에 대하여 고찰하였다.

2. 본 연구에서의 암반분류

2.1 분류변수

본 연구에서는 암반분류의 기준으로 크게 두 가지 기준 즉, 암반의 강도 특성 기준과 암반의 구조적 특성 기준으로 나누어 고려하였다. 그리고 암반의 분류

에 사용되는 모든 정보의 획득이 현장 관찰·측정 또는 시추추상도상에서 가능하도록 분류변수를 정하였다.

본 연구에서 제안된 평가법이 GSI와 유사할 수 있지만, GSI는 암반의 구조적인 형태와 절리의 거칠기 변화정도로 표시되며, 현장에서 육안관측으로도 쉽게 사용할 수 있는 실용적인 시스템이나 암반의 강도 문제 등을 고려하지 않고 있는 단점이 있다.

본 연구에서 암반의 강도 특성 기준은 암석재료의 강도와 절리면 상태를 이용하여 평가하고 암반의 구조적 특성 기준은 암질지수(RQD)와 절리면 간격을 이용하여 평가한다.

그리고 분류변수에 대한 평가가 현장에서 신속하게 이루어 질 수 있도록 암석재료의 강도는 점하중강도를 이용하고 절리면의 상태는 현장에서 육안관찰이 용이한 풍화도를 변수로 선택하였다.

2.2 암석재료의 강도

현재 국내의 많은 암반분류기준에서도 암석의 일축 압축강도를 이용하여 분류를 실시하고 있다. 국내의 암반분류기준 중 서울특별시 표준지반분류, 한국고속철도건설공단 지반분류기준, 서울지하철공사 지반분류기준, 한국도로공사 지반분류기준에서 일축압축강도의 적용은 Table 1과 같다.

국외의 많은 암반분류법에서도 암석의 일축압축강도는 중요한 분류변수로서 사용되고 있다. 국외의 ISRM분류기준(1978)에서 암석의 일축압축강도에 따른 분류는 Table 2와 같다. 또한 RMR분류법(Bieniawski, 1989)과 영국지질공학회의 'Description of Rock and Soils(1972)'에서 일축압축강도의 적용과 그에 따른 암반 분류기준을 살펴보면 Table 3과 같다.

일축압축강도에 대한 국내 기준의 평균값과 국외 기준의 평균값은 Table 4와 같다.

점하중 강도 지수를 사용하기 위하여 국내·외 암반분류기준에서 적용된 일축압축강도의 평균값에 $\sigma_c = 24 \cdot I_s(50)$ 을 적용하여 점하중 강도지수로 변환한 값은 Table 5와 같다.

본 연구에 적용된 등급별 점하중지수 범위와 그에 따른 배점은 Table 6과 같다.

Table 1. Rock mass classification by uniaxial compressive strength (Home)

분류	서울특별시 표준지반분류		한국고속철도 건설공단		서울지하철공사		한국도로공사 지반분류기준	
	분 류	UCS (kg/cm ²)	분 류	UCS (kg/cm ²)	분 류	UCS (kg/cm ²)	분 류	UCS (kg/cm ²)
극경암	극경암층	≥ 1,000	극경암	≥ 1,000	극경암층	≥ 1,000	-	-
경 암	경 암 층	≥ 500	경 암	500~1,000	경 암 층	500~1,000	경 암	≥ 1,200
중경암 (보통암)	보통암층	≥ 250	중경암	250~500	보통암층	250~500	보통암	800~1,200
연 암	연 암 층	≥ 100	연 암	50~250	연 암 층	100~250	연 암	600~800
풍화암 (풍화토)	풍화암층	<100	풍화암	<50	풍화암층	10~100	풍화암	250~600
	풍화토층	-			풍화토층	≤ 10	풍화암(토)	≤ 250
	퇴적토층	-						

Table 2. Uniaxial Compressive Strength classification of rock (ISRM, 1978)

Grade	Description	UCS(MPa)
R0	Extremely weak rock	0.25~1.0
R1	Very weak	1.0~5.0
R2	Weak	5.0~25
R3	Medium strong rock	25~50
R4	Strong rock	50~100
R5	Very strong rock	100~250
R6	Extremely strong rock	> 250

Table 3. UCS application of rock mass classification (Abroad)

RMR (Z. T. Bieniawski, 1989)		Description of Rock and Soils(1972)	
UCS(MPa)	Rating	UCS(MN/m ²)	Description
> 250	15	> 200	Extremely strong
100~250	12	100~200	Very strong
50~100	7	50~100	strong
25~50	4	12.5~100	Moderate strong
5~25	2	5~12.5	Moderate weak
1~5	1	1.25~5	Weak
< 1	0	< 1.25	Very weak

Table 4. Average of uniaxial compressive strength (Home and abroad)

구 분	(A) 국내 기준 평균값 (kg/cm ²)	(B) 국외 기준 평균값 (MPa)	(A), (B) 평균 (MPa)
1	> 1,000	> 225	> 162.5
2	675~1,000	100~225	83.8~162.5
3	387.5~675	50~100	44.4~83.8
4	212.5~387.5	18.7~50	20~44.4
5	≤ 212.5	≤ 18.75	≤ 20

Table 5. Change from UCS to point load strength index($I_{s(50)}$)

구 분	Average of Uniaxial Compressive Strength (MPa)	Point Load Strength Index($I_{s(50)}$) (MPa)
1	160 이상	6.67 이상
2	80 ~ 160	3.34 ~ 6.67
3	40 ~ 80	1.67 ~ 3.34
4	20 ~ 40	0.83 ~ 1.67
5	20 이하	0.83 이하

Table 6. Point load strength rating in this study

상 태	분류기호	Point Load Strength Index($I_{s(50)}$)	배 점
very strong	P1	> 7 MPa	25
strong	P2	3 ~ 7 MPa	16
fair	P3	2 ~ 3 MPa	13
weak	P4	1 ~ 2 Mpa	6
very weak	P5	1 MPa 이하	3

Table 7. Rock mass classification by RQD (Home)

기관 분류	서울특별시 표준지반분류		한국고속철도 건설공단		서울지하철공사		한국도로공사 지반분류기준	
	분 류	RQD	분 류	RQD	분 류	RQD	분 류	RQD
극경암	극경암층	75% 이상	극경암	90%이상	극경암층	75%이상	-	-
경 암	경암층	50% 이상	경 암	70~90%	경암층	50~75%	경 암	70%이상
중경암 (보통암)	보통암층	25% 이상	중경암	10~70%	보통암층	25~50%	보통암	40~70%
연 암	연암층	10%이상	연 암	10%이하	연암층	10~25%	연 암	20~40%
풍화암 (풍화토)	풍화암층	10%미만	풍화암	-	풍화암층	10%이하	풍화암	20%이하
	풍화토층				0%			
	퇴적토층					풍화암(토)		

Table 8. RQD application in RMR and Q-System (Abroad)

RQD (D. U. Deere, 1968)		RMR (Z. T. Bieniawski, 1989)			Q-System (Barton et al.,1974)	
RQD	Rock Quality	RQD	Qualitative Description	Rating	RQD	Condition
< 25%	Very poor	< 25%	Very poor	3	< 25%	Very poor
25~50%	Poor	25~50%	Poor	8	25~50%	Poor
50~75%	Fair	50~75%	Fair	13	50~75%	Fair
75~90%	Good	75~90%	Good	17	75~90%	Good
90~100%	Excellent	90~100%	Very good	20	90~100%	Excellent

2.3 RQD

현재 국내의 여러 기관에서도 RQD를 이용하여 암반분류를 실시하고 있다(Table 7 참조). 또한 대표적인 암반분류법인 RMR분류법(1989)과, Q-system(1974)에서 RQD의 적용범위를 살펴보면 Table 8과 같다. 본 연구에서는 국내 및 국외의 암반분류에서 적용된 RQD의 평균값(Table 9)을 참고하여 분류기준을 도출하였으며 25점의 배점을 할당하였다(Table 10 참고).

2.4 절리면 상태

본 연구의 분류법에서는 풍화도에 의한 절리면 상태 평가를 위하여 ISRM의 분류방법, American Institute of Professional Geologist(1997)에서 제시한 방법, 영국지질공학회 암반기술의 풍화도기술, Rock Core Evaluation Manual(2006)을 참고하여 적용하였다(Table 11 참조).

Table 9. Average of RQD for classification (Home and abroad)

구 분		국내 기준 평균값	국의 기준 평균값
극경암	매우 좋음	80% 이상	90%이상
경 암	좋 음	50~80%	90~75%
보통암	보 통	20~50%	50~75%
연 암	나쁨	10~20%	25~50%
풍화암	매우 나쁨	0~10%	0~25%

Table 10. RQD rating in this study

상 태	분류기호	RQD	배 점
very good	R1	85% 이상	25
good	R2	60~85%	17
fair	R3	30~60%	13
poor	R4	15~30%	7
very poor	R5	15% 이하	3

Table 11. Joint condition(weathering) rating in this study

구 분	분류기호	상 태	배점
신선 Fresh	W1	· 암색의 변화가 없음 · 절리면은 잘 밀착되어 있음 · 풍화의 영향을 받지 않음	25
약간풍화 Slightly Weathered	W2	· 대체로 신선함 · 절리면을 따라 약간의 풍화진행 · 절리 주변부가 다소 변색 · 약간의 암색 변화가 관찰됨 · 절리면이 개구성일 경우 절리표면의 변색 발생 · 90% 이상이 암색으로 구성됨	17
보통풍화 Moderately Weathered	W3	· 다소 많은 암색 변화가 관찰됨 · 절리면은 개구성으로 절리면 안쪽으로 풍화 진행 · 대부분의 장석이 변질됨 · 절리면을 따라 다소 풍화진행 · 50~90%가 암색으로 구성됨	13
심한풍화 Highly Weathered	W4	· 심한 암색 변화가 관찰됨 · 석영을 제외한 대부분의 입자가 변색됨 · 절리면의 대부분이 개구성을 보임 · 절리면에서 비교적 깊은 곳까지 변질됨 · 암색의 구성은 50%이하	8
완전풍화 Completely Weathered	W5	· 전체적으로 분해되어 쉽게 부스러짐 · 입자들이 부분적으로 존재함 · 시추코어의 회수가 불가능함	2

2.5 절리간격

현재 국내 암반분류기준인 서울특별시 표준지반분류, 한국고속철도 건설공단 분류기준, 서울지하철공사 분류기준에서 절리간격에 따른 암반분류 기준은

Table 12와 같다.

국외의 암반분류기준에서도 절리간격을 평가변수로 사용하고 있다. 국외 암반분류기준 중 RMR분류법(1989)에서 절리간격의 적용, ISRM(1978)의 절리간

Table 12. Rock mass classification by joint spacing (Home)

분류	서울특별시 표준지반분류		한국고속철도 건설공단		서울지하철공사	
	분 류	절리간격 (cm)	분 류	절리간격 (cm)	분 류	절리간격 (cm)
극경암	극경암층	300이상	극경암	20이상	극경암층	300이상
경 암	경 암 층	200~300	경 암	10~20	경암층	200~300
중경암 (보통암)	보통암층	60~200	중경암	5~10	보통암층	100~200
연 암	연 암 층	20~60	연 암	5이하	연암층	100이하
풍화암 (풍화토)	풍화암층	20이하	풍화암	-	풍화암층	-
	풍화토층				풍화토층	-
	퇴적토층					

Table 13. Joint space rating of RMR (Bieniawski, 1989)

Joint spacing	> 200cm	60~200cm	20~60cm	6~20cm	< 6cm
Rating	20	15	10	8	5
Description	Very wide	Wide	Moderate	Close	Very close

Table 14. Joint spacing description of ISRM(1978) and AIPG(1977)

ISRM(1978)		AIPG(1977)		
Joint spacing	Description	Joint spacing	Grade	Description
> 600cm	Extremely wide	-	-	-
200~600cm	Very wide	-	-	-
60~200cm	Wide	> 90cm	F-1	Wide
20~60cm	Moderate	20~90cm	F-2	Moderately Close
6~20cm	Close	10~20cm	F-3	Close
2~6cm	Very close	5~10cm	F-4	Very Close
< 2cm	Extremely close	≤ 5cm	F-5	Extremely Close

Table 15. Average of joint spacing for classification (Home and abroad)

구 분	국내 기준 평균값	국외 기준 평균값
극경암	Very wide 207cm 이상	200cm 이상
경 암	Wide 137~207cm	70~200cm
보통암	Moderate 55~137cm	20~70cm
연 암	Close 55cm 이하	7.3~20cm
풍화암	Very close -	7.3cm이하

격에 대한 기술, AIPG(1977)의 절리간격에 대한 기술은 Table 13, Table 14와 같다.

국내, 국외 절리 간격 기준 평균값은 Table 15와 같고 Table 16은 본 연구에 적용된 절리간격과 배점을 나타낸 것이다.

2.6 도출된 분류변수 및 배점

본 연구에서는 현장에서 적용이 가능한 암반분류법의 도출을 위하여 변수의 평가를 위한 지표를 기존의 국내의 암반분류법에서 획득하여 이용하였으며, 이를 통하여 암반의 강도 특성과 구조적 특성을 모두 나타내고자 하였다. RMR 분류에서의 배점은 강도 15,

RQD 20, 절리간격 20, 절리특성 30, 지하수 15점으로 이루어져있다. 즉 터널을 위한 암반분류인 RMR에서 절리특성에 관계된 변수의 점수합은 70%이다. 따라서 본 분류에서의 배점 또한 절리특성에 주안점을 두고 RMR분류의 큰 틀을 벗어나지 않으려 하였으며, 암석강도(풍화상태)+절리발달 빈도의 두가지 요소를 고려하여 RMR분류와 유사한 75% 수준에서 배점을 결정하였다.

본 연구에서 도출된 분류법에 의한 평점에 따른 암반등급을 Table 17에 분류변수와 변수별 배점은 Table 18에 나타내었다.

Table 16. Rating of joint spacing in this study

상 태	분류기호	절리간격	배 점
Very wide	S1	> 200cm	25
Wide	S2	100~200cm	18
Moderate	S3	40~100cm	12
Close	S4	6~40cm	8
Very Close	S5	< 6cm	3

Table 17. Rock mass classes determined from total ratings by X-Method

점 수	100~81	80~61	60~41	40~21	20~0
암반분류	I	II	III	IV	V
의 미	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor

Table 18. Parameters and ratings for rock mass classification by X-Method

평가항목		평가기준					
1	암반강도	기 호	P1	P2	P3	P4	P5
		점하중지수 (MPa)	> 7	3~7	2~3	1~2	1 이하
	평 점	25	16	13	6	3	
2	절리상태	기 호	W1	W2	W3	W4	W5
		풍화도	신선함	약간풍화	보통풍화	심한풍화	완전풍화
	평 점	25	17	13	8	2	
3	RQD	기 호	R1	R2	R3	R4	R5
		암질지수(%)	85 이상	60~85	30~60	15~30	15 이하
	평 점	25	17	13	7	3	
4	절리간격	기 호	S1	S2	S3	S4	S5
		간격(cm)	> 200	100~200	40~100	6~40	6 이하
	평 점	25	18	12	8	3	

3. 기존 암반분류법과의 비교

3.1 시료획득

Fig. 2에는 본 연구에서 사용한 코어의 모습을 나타내 있다.

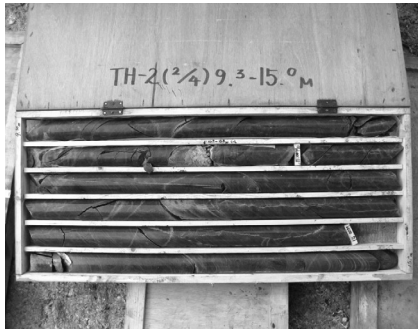
3.2 RMR 분류

획득한 코어샘플에 대하여 RMR분류법을 이용하여 암반분류를 실시하였다. RMR분류는 Bieniawski의 RMR(1989)에 의하여 RMR_{basic}(Table 19 참조)과 수

정 RMR(Table 20 참조)을 평가하였다.

RMR_{basic}에 의한 분류결과 54개 샘플에 대하여 각각 I 등급 암반은 4개소, II등급 암반은 12개소, III등급 암반은 28개소, IV등급 암반은 9개소, V등급 암반은 1개소로 평가되었으며 III등급인 암반의 비율이 전체 대비 51.85%로 가장 높았다.

터널구간의 절리 방향성을 고려할 때 터널 진행방향과 경사방향과의 관계는 ‘fair(보통)’로 나타났으며, 이에 따라 RMR_{basic}에 -5점을 보정하였다.



(a) SN-2(TH-2)



(b) SN-8(TH-12)

Fig. 1. Photograph of core samples.

Table 19. Result of RMR classification (RMR_{basic})

분류등급	비 고	개 소	비 율 (%)
I 등급		4	7.41
II 등급		12	22.22
III 등급		28	51.85
IV 등급		9	16.67
V 등급		1	1.85
계		54	100.0

Table 20. Result of RMR classification (RMR*)

분류등급	비 고	개 소	비 율 (%)
I 등급		1	1.85
II 등급		13	24.07
III 등급		23	42.60
IV 등급		16	29.63
V 등급		1	1.85
계		54	100.0

RMR*: Adjusted RMR for joint orientation

Table 21. Rock mass classification list by RMR(1989) for each sample

NO.	심도 (m)	압축강도 (Mpa)	RQD (%)	절리간격 (cm)	절리면상태				
					연장성 (m)	틈새 (mm)	거칠기	충전물 (mm)	풍화도
SN-1	16.1~17.8	24	22	7	10~20	1~5	약간거침	견고(<5)	심한풍화
		2	3	8	1	1	3	4	1
SN-2	11.0~14.0	81	84	38	1~3	0.1~1.0	거침	없음	약간풍화
		7	17	10	4	4	5	6	5
SN-8	57.3~60.3	155	83	108	1~3	0.1~1.0	거침	없음	약간풍화
		12	17	15	4	4	5	6	5
SN-9	42.7~44.9	198	85	12	3~10	0.1~1.0	거침	없음	보통풍화
		12	17	8	2	4	5	6	3
SN-18	25.4~27.0	194	41	6	1~3	1~5	거침	없음	약간풍화
		12	8	8	4	1	5	6	5
SN-23	8.3~9.6	16	0	2	10~20	>5	거침	없음	심한풍화
		2	3	5	1	0	5	6	1
SN-24	4.5~7.0	18	10	7	10~20	1~5	거침	견고(<5)	심한풍화
		2	3	8	1	1	5	4	1
SN-29	6.8~8.0	26	29	11	10~20	1~5	거침	견고(<5)	심한풍화
		4	8	8	1	1	5	4	1
SN-30	14.8~17.8	183	100	114	1~3	0.1~1.0	거침	없음	약간풍화
		12	20	15	4	4	5	6	5

지하수 상태	RMR Basic		절리 방향성 보정	수정 RMR	
	평점	등급		평점	등급
습윤 10	33	IV	보통	28	IV
			-5		
습윤 10	68	II	보통	63	II
			-5		
완전건조 15	83	I	보통	78	II
			-5		
습윤 10	67	II	보통	62	II
			-5		
습윤 10	59	III	보통	54	III
			-5		
완전건조 15	38	IV	보통	33	IV
			-5		
완전건조 15	40	IV	보통	35	IV
			-5		
완전건조 15	47	III	보통	42	III
			-5		
완전건조 15	86	I	보통	81	I
			-5		

SN: Sample number

수정 RMR에 의한 분류결과 54개 샘플에 대하여 각각 I 등급은 1개소, II등급은 13개소, III등급은 23개소, IV등급은 16개소, 5등급 암반은 1개소로 평가되었으며 III암반의 비율이 42.60%로 가장 높았다. 본 연구에서 사용된 샘플의 RMR 평점 및 암반등급을 Table 21에 나타내었다(지면 관계상 샘플 데이터는 54개 중 9개씩만 기재함).

3.3 X-Method(본연구의 암반분류를 말함)에 의한 암반분류

위에 제시된 분류변수와 배점을 통해 얻어진 암반 분류를 X-Method라 하였다. X-Method를 이용한 암반분류는 RMR분류와 같이 총 54개 샘플에 대하여 실시하였고, 본 연구에서 도출된 분류 변수와 변수별 배점을 이용하여 코어샘플에 대해 암반분류를 실시하였다. X-Method에 의한 분류결과는 Table 22와 같다.

Table 22. Result of rock mass classification by X-Method

분류등급	비 고	개 소	비 율 (%)
I 등급		1	1.85
II 등급		9	16.67
III 등급		25	46.30
IV 등급		16	29.63
V 등급		3	5.55
계		54	100.0

Table 23. Rock mass classification by X-Method

NO.	점하중강도			절리상태		
	(Mpa)	기호	배점	구분	기호	배점
SN-1	1.03	P4	6	심한풍화	W4	8
SN-2	3.44	P3	13	약간풍화	W2	17
SN-8	6.60	P2	16	약간풍화	W2	17
SN-9	8.43	P1	25	보통풍화	W3	13
SN-18	8.23	P1	25	약간풍화	W2	17
SN-23	0.68	P5	3	심한풍화	W4	8
SN-24	0.78	P5	3	심한풍화	W4	8
SN-29	1.12	P4	6	심한풍화	W4	8
SN-30	7.79	P1	25	약간풍화	W2	17

RQD			절리간격			평점	등급
(%)	기호	배점	(cm)	기호	배점		
22	R4	7	7	S4	8	29	IV
84	R2	17	38	S4	8	55	III
83	R2	17	108	S2	18	68	II
85	R2	17	12	S4	8	63	II
41	R3	13	6	S5	3	58	III
0	R5	3	2	S5	3	17	V
10	R5	3	7	S4	8	22	IV
29	R4	7	11	S4	8	29	IV
100	R1	25	114	S2	18	85	I

X-Method의 변수별 평가 점수와 그에 따른 평점 및 암반등급을 Table 23에 나타내었다.

Fig. 2의 (a), (b)는 X-Method를 이용하여 암반분류를 하기위한 암반분류평가표의 예이다. 평가표에 변수별 평점도표를 작성하여 피분류암반과 분류 평점 및 등급과의 개연성을 도시화하였다. Fig. 2(a)는 SN-8의 평점 58점으로 III등급으로 분류된 암반분류평가표이고, Fig. 2(b)는 평점 85점으로 I 등급으로 분류된 SN-30의 암반분류평가표이다. 두 샘플은 X-Method에서 강도변수로 고려한 점하중 강도와 절리상태에서 42점으로 동일한 평점을 얻었지만, 암반의 구조를 대변하는 변수로 고려한 RQD와 절리간격에서는 확연한 차이를 보이고 있다. 따라서 SN-30이 SN-18보다 높은 등급의 암반으로 평가될 수 있는 요인은 SN-18에 비하여 SN-30이 암반의 구조적인 조건이 양호하기 때문이다.

3.4. RMR분류법과 X-Method와의 비교

Table 24는 X-Method를 이용하여 분류한 암반등급과 RMR분류법을 이용한 분류표이다.

X-Method를 이용하여 평가된 암반등급과 RMR_{basic}

에 의해서 평가된 암반등급이 일치하는 코어샘플의 수는 총 54개의 코어샘플 중 35개로 64.81%로 나타났다. 반면에 일치하지 않는 코어샘플의 수는 19개로 35.19%로 나타났다. 암반등급이 일치하지 않는 19개의 샘플은 X-Method에 의한 암반등급이 RMR_{basic}에 의한 암반등급보다 보수적으로 평가되었다. 수정 RMR에 의한 암반등급이 일치하는 코어샘플의 수는 36개로 66.67%로 나타났다. 반면에 일치하지 않는 코어샘플의 수는 18개로 33.33%로 나타났다.

X-Method의 평가변수와 배점을 이용하여 분류한 암반의 평점과 RMR을 이용하여 분류한 평점과의 상관관계에 대하여 검토하였다. Fig. 3은 전체 54개 코어시료에 대하여 X-Method와 RMR_{basic}과의 상관관계를 나타내고 있으며 두 분류법간 상관관계에 따른 회귀식은 식 (1)과 같다.

$$RMR_{basic} = 0.86(X-Method) + 14.47 \quad (R^2 = 0.84) \quad (1)$$

절리방향에 따른 보정을 실시한 수정 RMR과 X-Method 사이의 관계는 Fig. 4와 같다.

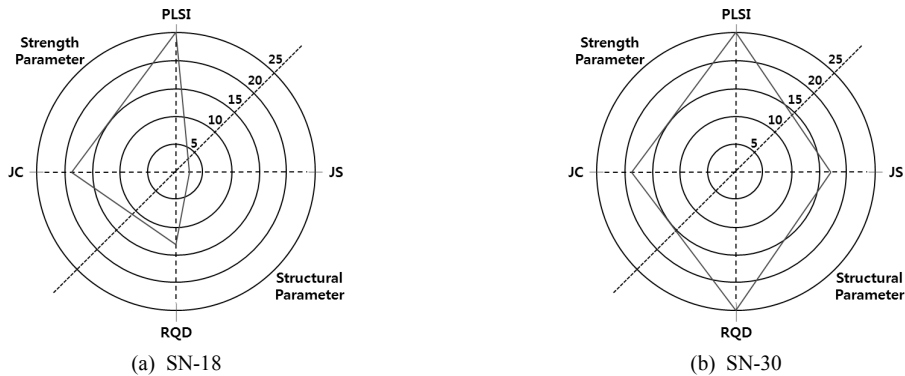


Fig. 2. Example of rock mass classification.

Table 24. Comparison of rock mass classification grade

	Between X-Method and RMR _{basic}		Between X-Method and RMR*	
Matched	35	64.81 %	36	66.67 %
Unmatched	19	35.19 %	18	33.33 %
Total	54	100.0 %	54	100.0 %

RMR*: Adjusted RMR for joint orientation

수정 RMR과 X-Method 사이의 상관관계에 따른 회귀식은 식 (2)와 같다.

$$RMR^* = 0.87(X-Method) + 9.20 \quad (R^2 = 0.85) \quad (2)$$

이와 같이 X-Method와 RMR과의 상관관계가 좋게 나타나는 것은 두 분류법간 평가변수의 적용 비중에서 찾을 수 있다. 즉, RMR에서 절리에 대한 평가요소는 RQD 20점, 절리간격 20점, 절리상태 30점으로 70%를 차지하고 있고 여기에서 지하수상태에 대한 배점을 제외하면 82%를 차지하고 있다. 또한 RMR분류법에서 강도에 대한 적용 비중은 15%이고, 지하수상태에 대한 배점을 제외하면 약 18%의 비중을 차지하고 있다. X-Method에서 절리에 대한 평가요소의 비중은 RQD 25점, 절리상태 25점, 절리간격 25점으

로 75%를 차지하고 있고, 강도에 대한 적용비중은 25%를 차지하고 있다. 결국 두 분류법간 상관관계가 좋게 나타나는 것은 두 분류법에서 적용된 평가변수의 비중이 유사하기 때문이라고 판단된다.

Fig. 5와 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 X-Method가 동일 암반을 RMR분류법에 비하여 대부분 보수적으로 평가하였다.

본 연구에서는 암반분류에서 중요한 질리특성 반영 요소인 RQD와 RMR분류법, 그리고 X-Method간의 상관관계에 대하여 검토하였다. RMR과 RQD의 상관관계에 관한 연구로서 선우춘 등(2001)은 식 (3)과 같은 상관관계를 도출하였다.

$$R = 0.46 RQD + 25.20 \quad (R^2 = 0.85) \quad (3)$$

본 연구에서 RMR_{basic}과 RQD의 상관관계를 도시

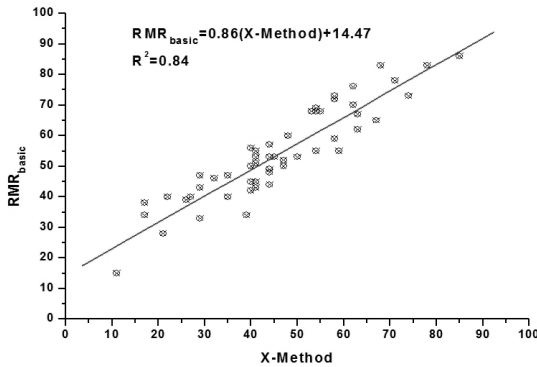


Fig. 3. Correlation between RMR_{basic} and X-Method.

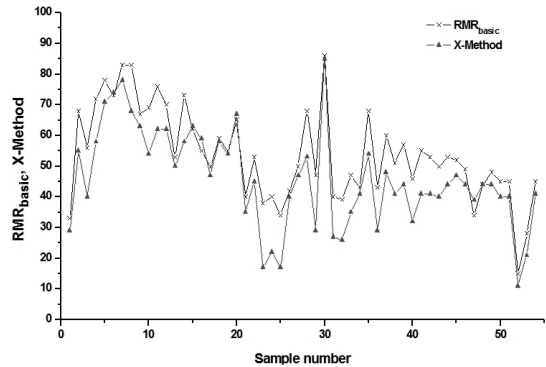


Fig. 5. Difference between RMR_{basic} and X-Method.

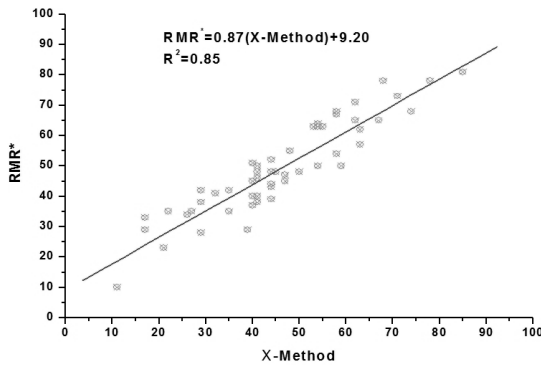


Fig. 4. Correlation between RMR* and X-Method.

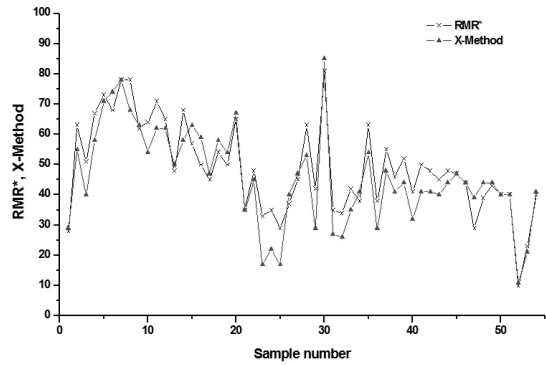


Fig. 6. Difference between RMR* and X-Method.

한 결과는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 RMR_{basic} 과 RQD의 상관관계에 따른 회귀식은 식 (4)와 같다.

$$R_{basic} = 0.46RQD + 32.32 \quad (R^2 = 0.79) \quad (4)$$

식 (4)에서 결정계수는 $R^2 = 0.79$ 로 양호한 것으로 나타났으며 선우춘(2001) 등의 회귀식과 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

X-Method와 RQD와의 상관관계를 도시한 결과는 Fig. 8과 같고 이때의 회귀식은 식 (5)와 같다.

$$(X-Method) = 0.45RQD + 24.88 \quad (R^2 = 0.66) \quad (5)$$

식 (5)에서 회귀식의 결정계수는 $R^2 = 0.66$ 으로 비

교적 양호한 상관성이 나타났다.

이처럼 RQD와 RMR_{basic} , X-Method와의 상관관계가 양호하게 나타나는 것은 각 분류법에서 RQD와 절리간격에 대한 배점이 차지하는 비중에서 생각해 볼 수 있다. RQD값은 절리빈도의 함수로 불연속면의 간격과 암괴의 크기를 의미한다. 즉, RMR_{basic} 에서 절리빈도를 대변하는 RQD와 절리 간격이 차지하는 비중은 40%로 지하수 상태에 대한 평점을 제외하면 약 47%로 많은 비중을 차지하고 있다. 또한 X-Method에서도 절리빈도를 대변하는 RQD와 절리 간격이 차지하는 비중은 50%이다. 결국 RQD와 RMR_{basic} , X-Method간의 상관관계가 양호하게 나타나는 이유는 RQD와 절리간격에 대한 비중이 각 분류법의 평점에서 차지하는 비중이 높기 때문이라고 사료된다.

암반등급 평가의 관점에서 볼 때 낮은 값의 RQD에

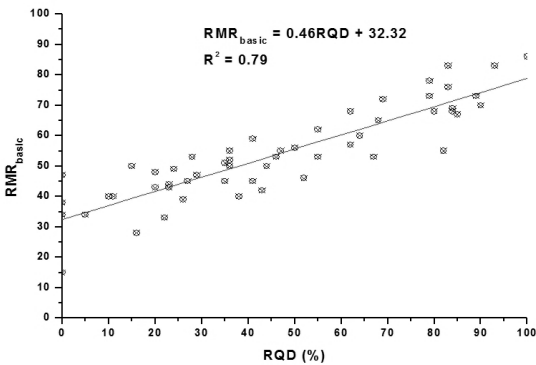


Fig. 7. Correlation between RMR_{basic} and RQD.

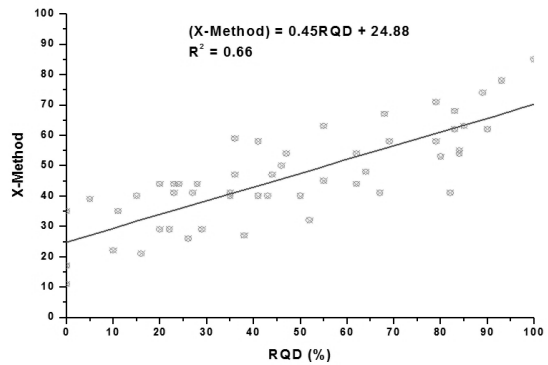


Fig. 8. Correlation between X-Method and RQD.

분류변수		분류기준 및 배점				
		P1	P2	P3	P4	P5
암반강도	기 호	P1	P2	P3	P4	P5
	점하중지수(MPa)	> 7	3~7	2~3	1~2	1 이하
	배 점	25	16	13	6	3
절리상태	기 호	W1	W2	W3	W4	W5
	풍화도	신선함	약간풍화	보통풍화	심한풍화	완전풍화
	배 점	25	17	13	8	2
RQD	기 호	R1	R2	R3	R4	R5
	암질지수(%)	85 이상	60~85	30~60	15~30	15 이하
	배 점	25	17	13	7	3
절리간격	기 호	S1	S2	S3	S4	S5
	간격(cm)	> 200	100~200	40~100	6~40	6 이하
	배 점	25	18	12	8	3

서는 X-Method에 의한 암반평가 등급이 'Poor'와 'fair'로 RQD의 'Very poor'와 'Poor'에 비하여 높은 등급으로 평가되었다. 그러나 높은 값의 RQD에서는 X-Method에 의한 암반평가 등급이 주로 'Good'으로 RQD의 'Good'이나 'Excellent'에 비하여 상대적으로 낮게 평가되고 있음을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 현장암반에 대하여 점하중강도값을 적용함으로써 실내실험을 통해야하는 번거로움과 불연속면의 표면적인 조건들만 조사함으로써 조사항목이 줄어 조사시간을 단축시킬수 있는 신속한 적용이 가능한 암반분류법(X-Method)을 도출하고, 기존 분류법과의 상관관계를 알아보기 위함이다. 이를 위하여 본 연구의 변수로의 적용하기 위하여 국내외 암반분류기준에 대한 검토한 결과, 이를 바탕으로 본 연구에서 도출된 암반분류법을 적용하여 분류를 실시한 결과, 그리고 기존의 RMR분류법과 X-Method와의 상관관계를 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) X-Method는 분류변수로서 점하중강도(25점), 절리면상태(25점), RQD(25점), 절리간격(25점)의 4분류변수를 사용하였으며, 사용된 분류변수는 현장에서의 신속한 측정 또는 시추주상도상에서 바로 획득이 가능한 정보를 이용하였다.
- 2) X-Method는 국내 각 기관별로 다른 분류기준 값에 대한 평균치와 국외 분류기준과의 비교를 통하여 다음과 같은 분류기준과 배점을 설정하였다.
- 3) X-Method에 의한 암반등급과 RMR_{basic}에 의한 암반등급이 일치하는 코어 샘플은 64.81%로 나타났다. 또한 두 분류에 의하여 평가된 암반등급이 일치하지 않는 샘플은 모두 X-Method에 의한 암반등급이 RMR_{basic}에 비하여 보수적으로 평가되었다. 또한, X-Method에 의한 암반등급과 수정 RMR에 의한 암반등급이 일치하는 코어 샘플의 수는 66.67%로 나타났으며, 대체적으로 X-Method에 의한 암반등급이 수정 RMR에 비하여 보수적으로 평가되었다.
- 4) X-Method와 RMR_{basic}과의 상관관계는 RMR_{basic}

$= 0.86(X-Method) + 14.47$ 로 나타났으며, 수정 RMR과의 상관관계는 $RMR^* = 0.87(X-Method) + 9.20$ 으로 나타났다. 그리고 두 상관관계에서 결정계수는 각각 $R^2 = 0.84$ 와 $R^2 = 0.85$ 로 양호하게 나타났다. 이는 두 분류법에서 적용된 평가변수의 비중이 유사하기 때문이라고 판단된다.

- 5) 본 연구에서 절리빈도 반영 변수로서 사용된 RQD와의 상관관계를 검토한 결과 RMR과의 상관관계는 $RMR_{basic} = 0.46RQD + 32.32$ 로 나타났고, X-Method와 RQD의 상관관계는 $(X-Method) = 0.46RQD + 24.88$ 으로 나타났다. 그리고 두 상관관계에서 결정계수는 각각 $R^2 = 0.79$ 와 $R^2 = 0.66$ 으로 양호하게 나타났다. 이는 RMR분류법과 X-Method에서 RQD와 절리간격의 배점이 차지하는 비중이 각각 47%와 50%로 높은 비중을 차지하고 있기 때문이라고 사료된다.
- 6) 앞으로 현장암반에 대하여 더욱 신속하고 적용성이 높은 암반분류법의 도출을 위한 평가변수의 연구와 함께 X-Method에서 변수로 사용된 점하중강도, 절리간격과 X-Method와의 상관관계에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 보다 많은 자료들의 누적으로 분류방법간의 상관관계성을 높이고 기존에 많은 연구가 진행된 RMR과 Q의 상관관계와 관련하여 X-Method와 Q의 상관관계에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문 또는 저서는 지식경제부 자원개발특성화대학사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강병무, 박인식, 오대열, 이수곤, 2004, 암반의 조사와 적용(암반분류에 대한 토의), (불연속면조사),(풍화조사), (사)대한지질공학회, 1, pp. 1-23.
2. 박철환, 박찬, 신중호, 2006, 암반등급 분류법들의 비교연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), Vol. 16, No. 3, pp. 203-208.

3. 선우춘 외, 2001, 암반분류방법간의 상관관계에 대한 고찰, 한국지반공학회논문집, Vol. 17, No. 4, pp. 127-134.
4. 선우춘, 정용복, 2006 기존의 암반분류법의 조합에 의한 새로운 암반평가법의 제안, 화약·발파(대한화약발파공학회지), Vol. 24, No. 1, pp. 21-28.
5. 이수곤, 이송, 1995 점하중강도(Point Load Test)를 이용한 일축압축강도 추정방법, 대한토목학회, Vol. 15, No. 4, pp. 1015-1027.
6. Barton, N, 1978, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, Int. J. Rock. Mech. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15. pp. 319-368.
7. Bieniawski, Z.T., 1973, Engineering Classification of jointed Rock Masses. The Civil Engineer in South Africa, Vol. 15, pp. 335-344.
8. Bieniawski, Z.T., 1989, Rock mechanics design in mining and tunnelling, A.A.Balkema, Rotterdam, pp. 97-135.
9. Singh, B. & R.K. Goel, 1999, Rock Mass Classification ; A Practical Approach in civil Engineering, Elsevier, pp. 3, 17-24, 34-46, 62-83.
10. Cameron-Clarke, I.S. and S. Budavari, 1981, Correlation of Rock Mass Classification Parameters Obtained from borecore and insitu observations, Engineering Geology, Vol. 17, pp. 19-53.
11. Geotechnical Engineering Bureau, 2006, ROCK CORE EVALUATION MANUAL.
12. Barton, N., R. Lien and J. Lunde, 1974, Engineering Classification of Rock masses for Design of Tunnel Support, Rock Mechanics, Vol. 6, pp. 189-236.



김 흥 표

태조엔지니어링

Tel : 062)230-7876

E-mail : ever0620@hanmail.net



장 호 민

조선대학교 대학원
에너지 자원공학과 박사과정

Tel : 062)230-7876

E-mail : swessil@hanmail.net



강 추 원

조선대학교 에너지 자원공학과 교수

Tel : 062)230-7117

E-mail : cwkwang@chosun.ac.kr



고 진 석

조선대학교 에너지 자원공학과 교수

Tel : 062)230-7118

E-mail : jsgo@chosun.ac.kr