

2010年 2月
석사학위논문

현장암반 평가에 관한 제안

조선대학교 대학원

자원공학과

김 홍 표

현장암반 평가에 관한 제안

- A suggestion of in situ rock mass evaluation -

2010 년 2 월 25 일

조선대학교 대학원

자원공학과

김 홍 표

현장암반 평가에 관한 제안

지도교수 강 추 원

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함.

2009 년 10 월

조선대학교 대학원

자원공학과

김 홍 표

김홍표의 석사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 고진석



위원 조선대학교 조교수 강성승



위원 조선대학교 교수 강추원



2009 년 11 월

조선대학교 대학원

목 차

List of tables	i
List of figures	iii
Abstract	iv
1. 서 론	1
2. 암반분류법	3
2.1 암반분류	3
2.2 주요 암반분류법	4
2.2.1 RMR분류법	7
2.2.2 Q-System	13
3. 본 연구에서의 암반분류	21
3.1 분류변수	21
3.1.1 암석재료의 강도	24
3.1.2 절리면 상태	30
3.1.3 RQD(Rock Quality Designation)	36
3.1.4 절리간격	42
3.2 도출된 분류변수 및 배점	46
4. 기존 암반분류법과의 비교	47
4.1 시료의 획득	47
4.2 RMR분류	48
4.3 X-Method에 의한 분류	56
4.4 RMR분류와 X-Method와의 비교	66
5. 결 론	79
참 고 문 헌	81

List of Tables

Table 2.1 Major engineering rock mass classifications	6
Table 2.2 Parameters and rating of RMR classification	9
Table 2.3 Guidelines for classification of discontinuity conditions	10
Table 2.4 Rating adjustment for discontinuity orientation	10
Table 2.5 Effect of discontinuity strike and dip orientation in tunnelling	11
Table 2.6 Rock mass classes determined from total ratings	11
Table 2.7 Meaning of rock classes in RMR	11
Table 2.8 Guidelines for excavation and support of 10 m span rock tunnels in accordance with the RMR system	12
Table 2.9 Classification of parameters used in Q	14
Table 2.10 Q value and rock mass description	18
Table 2.11 Value of excavation support ratio	19
Table 3.1 Rock mass classification by uniaxial compressive strength (Home) ..	25
Table 3.2 Uniaxial Compressive Strength classification of rock	26
Table 3.3 UCS application of rock mass classification (Abroad)	26
Table 3.4 Average of uniaxial compressive strength (Home and abroad)	27
Table 3.5 Change from UCS to point load strength index ($I_s(50)$)	28
Table 3.6 Point load strength rating in this study	29
Table 3.7 Coefficient of weathering(K) value by weathering grade	30
Table 3.8 Weathering description of ISRM	32
Table 3.9 Weathering description of AIPG	33
Table 3.10 Weathering description of The Geological Society of London	33
Table 3.11 Weathering categories in Rock Core Evaluation Manual	34
Table 3.12 Joint condition(weathering) rating in this study	35
Table 3.13 Correlation between RQD and rock mass quality	36
Table 3.14 Rock mass classification by RQD (Home)	39

Table 3.15 RQD application in RMR and Q-System (Abroad)	40
Table 3.16 Average of RQD for classification (Home and abroad)	40
Table 3.17 RQD rating in this study	41
Table 3.18 Rock mass classification by joint spacing (Home)	43
Table 3.19 Joint space rating of RMR	44
Table 3.20 Joint spacing description of ISRM and AIPG	44
Table 3.21 Average of joint spacing for classification (Home and abroad)	45
Table 3.22 Rating of joint spacing in this study	45
Table 3.23 Parameters and ratings for rock mass classification by X-Method	46
Table 3.24 Rock mass classes determined from total ratings by X-Method	46
Table 4.1 Result of RMR classification (RMR_{basic})	48
Table 4.2 Result of RMR classification (RMR^*)	48
Table 4.3 Rock mass classification list by RMR for each sample	50
Table 4.4 Result of rock mass classification by X-Method	56
Table 4.5 Rock mass classification by X-Method	57
Table 4.6 Example of rock mass classification table (SN-18)	61
Table 4.7 Example of rock mass classification table (SN-30)	62
Table 4.8 Example of rock mass classification table (SN-23)	63
Table 4.9 Example of rock mass classification table (SN-47)	64
Table 4.10 Comparison of rock mass classification grade	66
Table 4.11 Comparison of rock mass classification grade (RMR_{basic})	68
Table 4.12 Comparison of rock mass classification grade (RMR^*)	69
Table 4.13 Comparison of rock mass classification evaluation (RMR_{basic})	70
Table 4.14 Comparison of rock mass classification evaluation (RMR^*)	71
Table 4.15 Statistical value of regression analysis (Fig 4.2, Fig 4.3)	73
Table 4.16 Statistical value of regression analysis (Fig 4.6, Fig 4.7)	77

List of Figures

Fig. 2.1 Relationship between stand up time, span and RMR (Bieniawski, 1989)	12
Fig. 2.2 Support chart showing 38 support categories (Baton et al., 1974)	19
Fig. 2.3 Chart for design of SFRS support (Grimstard and Baton, 1993)	20
Fig. 3.1 Rock material characteristics	21
Fig. 3.2 Principle of this study characterizing material properties of rock mass	22
Fig. 3.3 Strength classification of intact rock	24
Fig. 3.4 Correlation between coefficient of weathering(K) and UCS(σ_c)	31
Fig. 3.5 Procedure for measurement and calculation of RQD (Deere, 1989)	38
Fig. 3.6 Comparison between apparent spacing and true spacing	42
Fig. 4.1 Photograph of core samples	47
Fig. 4.2 Correlation between RMR _{basic} and X-Method	72
Fig. 4.3 Correlation between RMR* and X-Method	73
Fig. 4.4 Difference between RMR _{basic} and X-Method	74
Fig. 4.5 Difference between RMR* and X-Method	75
Fig. 4.6 Correlation between RMR _{basic} and RQD	76
Fig. 4.7 Correlation between X-Method and RQD	77

Abstract

- A suggestion of in situ rock mass evaluation -

By Kim, Hong Pyo

Adv. Prof. : Kang, Choo Won

Dept. of Resource Engineering

Graduate School, Chosun University

In rock mass classification, rock condition is expressed numerically by grading the rock properties that affects stability of tunnel, underground cave, dam, foundation excavating and rock slope. Rock mass classification is an important indicator that gives information that is necessary for economical and effective excavation and support design. Furthermore, it gives quantitative data and guide line for design and provides basic information for communication between engineering and geology.

The purpose of this study is to find out rock mass classification method which is practically applicable in the 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. Rock strength is evaluated by point load strength and joint condition and rock structure is evaluated by RQD and joint spacing.

Indices for parameters evaluation are obtained from old method and by using those indices the strength and structure property of rock is described. Each obtained parameter is allocated 25 points. In rock mass classification, point

graph of each parameter is used so that it is easy to understand the rough properties of rock mass. Probability between rock mass and classification point and grade is illustrated by using the graph.

Moreover, a rock mass evaluated by RMR is classified by the method that is proposed in this study and the correlation with RMR is derived. As a result of that, $RMR_{basic} = 0.86(X - Method) + 14.47$ 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.

1. 서론

터널과 같은 지하공간의 건설에서 암반분류법은 경험적 방법으로 지보설계에 적용되고 있다. Terzaghi(1946)의 암반하중이론과 Deere(1964)의 RQD가 소개된 이래 암반등급은 터널 및 지하공간의 설계에 있어서 경제적이고 능률적인 굴착과 지보설계에 필요한 자료를 제공하는 중요한 지표로서의 역할을 하며 반세기 이상이 지났다. 또한 현재는 암반하중이나 RQD를 하나의 변수로 사용하는 보다 복잡한 분류법들이 많이 적용되고 있다.

암반분류는 지금까지 전 세계적으로 성공적으로 적용되어 왔으며, 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, Lien, Lunde(1974)의 Q-system 등이 있다.

암반분류가 설계에 있어서 강력한 조언자로 작용하게 된 가장 큰 이유 중 하나는 변수를 이용하여 암반을 분류하는데 있어서 사용이 편리하고, 이와 동시에 안정성에 절대적으로 필요한 정보를 제공한다는 데 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 한 RCR분류법(Rock Condition Rating)이 탄생하기도 하였다(B. Singh, R. K. Goel, 1999).

암반분류의 변수는 일축압축강도, 불연속면의 상태나 간격, 탄성과 속도, RQD, Slaking 특성, 코어의 형상 등 암석이나 암반의 상태를 대변해 줄 수 있는 모든 변수가 사용 가능하다. 하지만 암반분류에 있어서 변수의 적용은 편리성과 양호한 반복성이 중요한 요소로서 작용하게 된다.

암반분류법간의 상관관계에 관한 연구는 현재까지 다각적으로 이루어지고 있다. 그 중 Bieniawski(1973)의 RMR과 Barton et al.(1974)의 Q와의 상관관계에 관한

연구는 주로 사례연구를 통하여 이루어 졌으며, Bieniawski(1989), Rutledge and Preston(1978), Moreno(1980), Cameron-Clarke and Buduvari(1981), Abad et al.(1984)에 의한 연구가 대표적이다. 또한 국내에서도 선우춘 등(2001)에 의하여 암반분류법간의 상호관계에 관한 연구가 이루어졌다.

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 분류를 실시하였다. 넷째, RMR분류에 의한 암반등급 및 평점과 본 연구에 의한 분류에 의한 암반등급 및 평점과의 비교를 실시하였고 다섯째, 본 연구에서의 암반분류법과 RMR분류법, 그리고 RQD 사이의 상관관계에 대하여 고찰하였다.

2. 암반분류법

2.1 암반분류

암반을 대상으로 하는 공사는 터널과 지하공동, 다목적 댐 기초 굴착 및 암반사면 등 여러 분야에서 이루어지고 있으며 이러한 암반에 대한 공학적 분류는 조사, 시공경험 및 암반역학적인 판단을 기초로 하여 대상 암반의 조건을 수치로 표현함으로써 경제적이고 능률적인 굴착과 지보설계에 필요로 하는 자료를 제공하는 중요한 지표이다.

암반은 같은 종류나 구조를 가지고 있더라도 단층, 파쇄, 풍화, 변질, 불연속면의 정도에 따라 암반의 물성이 변화하기 때문에 암석 및 암반에 대하여 여러 실험을 실시하여도 그 결과를 암반의 역학적 성질과 직접 연결시키기는 어렵다. 따라서 이러한 암반의 성질을 공학적으로 구분하고 조사하는 과정은 매우 중요하다고 할 수 있다.

암반분류는 암반의 거동에 영향을 미치는 가장 중요한 요소를 확인하고 복잡한 암반을 비슷한 거동의 그룹으로 그룹화하거나 평점화하여 각 암반의 등급 특성을 이해하기 위한 기초자료를 제공할 뿐만 아니라 한 지역의 암반조건에 대한 경험과 다른 지역에서의 경험사이의 관계를 유추할 수 있다. 또한 설계를 위한 정량적인 자료와 guide line을 유도해 주고 설계 시 지보 지침을 제공하며 공학과 지질학 사이의 의사교환을 위한 공통된 기초자료를 제공해 주는데 그 목적이 있다.

암반에 대하여 공학적인 암반분류를 실시했을 때 발생하는 효과는 분류변수로서 최소의 입력자를 요구함으로써 현장조사에 대한 질을 향상시키고 설계목적에 대한 정량적인 정보를 제공하며 과업에 대한 향상된 공학적 판단과 더욱 효과적인 의사소통이 가능해진다. 또한 암반분류는 터널과 지하공간의 안정성 평가를 위해 지하관측의 통계적 처리를 이용하는 경험적인 설계방법의 구성요소가 된다(Goodman, 1980, Hoek and Brown, 1980).

2.2 주요 암반분류법

암반분류는 지금까지 전 세계적으로 성공적으로 적용되어 왔다. 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, Lien, Lunde(1974)의 Q-system 등이 있다. 다음 Table 2.1에 주요 암반분류법과 제안자 및 적용분야를 요약하여 나타내었다.

Terzaghi(1946)의 암반하중분류법은 최초로 소개된 실용적인 분류법으로 미국에서 35년 이상 활용되었으며 철재지보 터널에 성공적으로 적용될 수 있음이 입증되었다. 하지만 현대적인 터널공사에서는 숏크리트나 록볼트 같은 능동적 지보를 적용하고 조절발파나 TBM의 사용에 의하여 터널주위 암반의 교란을 최소화하고 있기 때문에 암반하중분류법은 보다 정량적이고 객관성 있는 지보량 산정을 필요로 하는 현대적인 터널굴착설계에는 적합하지 않은 것으로 알려지고 있다.

Lauffer(1958)의 무지보 자립시간분류법은 Stini(1950)의 연구에 근거하고 있으며 암반의 구조적인 결함에 중요성을 두고 있다. Lauffer는 터널굴착 시에 암반상태에 따른 무지보 구간(active unsupported rock span)과 자립시간(stand up time)의 개념을 고려한 보강방법과 보강물량 계산을 제안하였으며, 터널설계에 있어서 지보재의 형태 및 지보량을 결정하는데 중요한 역할을 하는 터널의 자립시간 개념을 최초로 도입하였다는 관점에서 터널기술 발전의 진일보에 기여하였다.

Deere(1964)의 RQD분류법은 암질지수(RQD, Rock Quality Designation)의 개념이 도입되었다. RQD는 길이가 100mm 이상인 양호한 Core만을 고려하는 수정된 코어 회수율(TCR, Total Core Recovery)에 기초한 정량적 지수이다. RQD는 절리 빈도를 나타내는 지수로 신속하고 적은 비용으로 구할 수 있는 Core 암질 평가에 대한 실용적인 변수이지만 절리의 방향성, 밀착성, 충전물을 고려할 수 없는 한계성이 있기 때문에 그 자체만으로 암반의 암질을 충분히 표현할 수 없다.

RSR(Rock Structure Rating)개념은 Wickham, Tiedemann, Skinner(1972)에 의해 미국에서 고안된 지반 지보량 예측 모델로 암반의 암질을 평가하고 적절한 지보법

을 선택할 수 있는 정량적 방법을 제시하고 있다. RSR개념은 분류변수들의 상대적 중요도에 따라 가중점수를 부여하고 암반에 대한 등급 시스템을 도입하였으며, 이는 1946년 Terzaghi에 의해 암반분류가 제안된 이래 최초의 완전한 형태의 분류법이다.

현재 가장 많이 사용되고 있는 암반분류법은 RMR분류법과 Q-system이다. Bieniawski(1973)에 의해 제안된 RMR분류법은 여러 번의 수정을 거쳐서 지금까지 이어지고 있으며 최초에는 터널을 대상으로 개발되었으나 암반사면, 기초굴착, 지반절취도(ground rippability)의 평가 및 광산 터널의 문제에도 활용되고 있다. 노르웨이의 Barton, Lien, Lunde(1974)에 의해 개발된 Q-system은 터널 사례연구를 근거로 제안된 정량적인 분류법으로 터널지보의 설계를 용이하게 해주는 공학적인 분류체계이다. RMR분류법은 Laubscher(1986)에 의해 광산의 설계에 사용되었고, Kendorski(1983)에 의해 붕락 채광에 사용되었다. Q-system은 Potvin(1988)에 의해 수정되어 채광설계에 사용되었다.

또한 Hoek et al.(1995)에 의해 제안된 GSI(Geological Strength Index)나 Palmstrom(1995)에 의한 RMI(Rock Mass index)는 신선암의 특성을 사용하여 현지의 암반의 강도를 추정하거나 결정하기 위해 사용할 수 있는 암반분류이다.

Table 2.1 Major engineering rock mass classifications

Name of Classification	Originator	Date	Country of Origin	Applications	
Rock Load	Terzaghi	1946	USA	Tunnel with steel support	
Stand up time	Lauffer	1958	Austria	Tunneling	
NATM	Pacher et al.	1964	Austria	Tunneling	
Rock quality designation	Deere et al.	1967	USA	Core logging, tunneling	
RSR concept	Wickham et al.	1972	USA	Tunneling	
RMR system	Bienawski	1973 ~1989	South Africa	Tunnels, mines, slopes, foundations	
	Weaver	1975	South Africa	Rippability	
	Laubscher	1977	South Africa	Mining	
	Olivier	1979	South Africa	Weatherability	
	Ghose and Raju	1981	India	Coal mining	
	Moreno Tallon	1982	Spain	Tunneling	
	MBR	Cummings et al.	1982	USA	Copper mining
		Kendorski et al.	1983	USA	Hard rock mining
		Nakao et al.	1983	Japan	Tunneling
		Serafim and Pereira	1983	Portugal	Foundations
		Gonzalez and Vallejo	1983	Spain	Tunneling
		Unal	1983	USA	Roof bolt in coal mine
	SMR	Romana	1985	Spain	Slope stability
		Newman	1985	USA	Coal mining
	Sandbak	1985	USA	Boreability	
	Smith	1986	USA	Dredgeability	
CMRS	Venkates Warlu	1986	India	Coal mining	
	Robertson	1988	Canada	Slope stability	
Modified RMR	Goel et al.	1995		General, communication	
Q-system	Barton et al.	1974	Norway	Tunnels, Chambers	
	Kirsten	1982	South Africa	Excavatability	
	Kirsten	1982	South Africa	Tunneling	
NTM	Grimstad	1986	Norway	Steel fiber S/C	
Rock Mass Number	Kaiser et al.	1986		General, communication	
	Goel et al.	1995			
Modified Q	Singh et al.	1992		General, communication	
Strength-size	Franklin	1975	Canada	Tunneling	
BGD	ISRM	1981		General, communication	
Rate of tunneling	Chauhan	1982		General, communication	
Unified classification	Williamson	1984	USA	General, communication	
GSI	Hoek et al.	1995		General, communication	
Rock Mass index(RMi)	Palmstrom	1995		General, communication	

2.2.1 RMR분류법

정량적인 분류인자에 기준한 암반분류법인 RMR분류법은 1972~1973년에 Z. T. Bieniawski에 의해 제안되었으며 Lauffer(1958)의 무지보 자립시간 분류법이나 Wickham 등(1972)의 RSR분류법을 기초로 개발되었다. RMR분류법은 조사암반에 대한 암반의 등급뿐만 아니라 터널의 유지 시간, 반압, 터널의 최대 폭, 암반의 변형계수, 암반의 점착력과 내부마찰각 등 암반의 물리적 성질에 대한 값도 경험식에 의해 유도될 수 있으며 다른 암반 분류법과도 대비할 수 있다.

RMR분류법의 장점은 여러 분야에서 적용되었고 각 요소들에 대한 평가가 비교적 쉬우며, 터널의 유지시간, 최대 가능 폭 및 최대 무지보 폭 등의 예측이 가능하고 암반의 물리적 성질의 값도 예측이 가능하며, 터널과 불연속면의 방향성을 명백하게 고려할 수 있고 여러 사례들이 출판되어 검증이 가능하다는 점이다. 단점으로는 지보량의 결정에 있어서 개별 요소의 영향이 Q-system과 같이 세밀하지 않다는 점과 불연속면의 간격 평가에 있어서 불연속면의 군이 3개 이하인 경우는 보수적인 평가가 된다는 점, 그리고 암반을 5개의 암반등급으로 분류하고 있지만 실제로는 영역간의 뚜렷한 경계가 없다는 점, 터널의 폭에 대한 연구가 충분하지 못하며, 지압 25MPa 이하, 직경 10m, 천공발파식 마제형 터널에 대한 지보량의 결정에만 적용범위를 국한시키고 있다는 점이다.

RMR분류법의 분류변수는 암석의 일축압축강도(15점), 암질지수(20점), 평균 불연속면의 간격(20점), 불연속면의 상태(30점), 지하수의 상태(15점)이며 여기에 불연속면의 방향성의 영향을 고려하기 위한 보정값을 적용한다. 암석의 일축압축강도는 Point load test나 실험실 시험에 의해 구해지며, 나머지 변수들은 현장조사에 의해 이루어진다.

RMR값은 식 (2.1)과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{RMR} = & \sum_{i=1}^5 (\text{암반분류 요소에 의한 점수}) (\text{RMR}_{\text{basic}}) \\
 & + \text{불연속면 방향성 효과에 따른 보정} \quad (2.1)
 \end{aligned}$$

6번째 변수로서 불연속면의 방향성에 대한 보정을 따로 실시하는 것은 터널굴착, 사면, 댐, 기초, 광산개발 등과 같은 시공대상에 따라 불연속면의 방향성에 대한 공학적인 적용이 달라지기 때문이다.

RMR분류법의 변수 및 배점은 Table 2.2와 같고 5개의 분류변수의 각각에 대하여 5등급으로 분류된 값들로 구분된다. 5개의 분류변수에 의하여 0~100까지 범위의 합산 값을 기본 RMR(RMR_{basic})로 하고 이를 6번째 변수인 불연속면의 방향성에 따른 값을 Table 2.4에 의해 보정하여 최종 RMR(수정 RMR)값을 구한다.

최종 RMR값에 의하여 암반은 Table 2.6과 같이 5개 등급의 암반으로 평가되며 평가된 암반의 등급별 의미는 Table 2.7과 같다. Table 2.7에서 보는 바와 같이 RMR분류는 각 등급별로 평균 유지시간, 점착력, 암반의 마찰각에 대한 통계적 수치를 제시한다. 그러나 점착력의 값은 포화되어 있고 풍화암으로 구성된 사면에만 적용할 수 있으며 터널의 경우 절리간격이 넓고 맞물려 있기 때문에 점착력은 이 값보다 수 십배 크다고 알려져 있다(B. Singh, R. K. Goel, 1999).

RMR에 의한 암반분류 평점을 Lauffer가 제안한 무지보 터널의 자립시간과 관련시킨 결과는 Fig 2.1에 나타나 있으며 이를 이용하여 터널의 지보강도를 조절할 수 있다.

RMR분류법을 적용하기 위해서는 암반을 지질적으로 유사성을 지닌 몇몇 구간으로 구분하며 암반은 자연상태에서 불연속적인 특성을 가지지만 암체단위에서는 지질특성이 동일한 것으로 간주하는데 예를 들면 불연속면 간격이 동일하다고 보는 것이다. 대부분의 경우 암체단위의 경계는 단층, 암맥, 파쇄대, 등과 같은 주요 지질구조선과 일치한다. 암체단위가 결정되면 암반분류 요소들은 현장에서 측정한다. 터널에서는 일반적으로 불연속면의 방향성에 대한 보정만으로 충분하다. 그러나 광산의 경우에는 심도에 따른 응력과 변위의 변화에 대한 보정도 필요하다.

Laubscher(1977), Kendroriski(1983) 등은 이에 대한 연구를 통하여 발파에 의한 지반이완, 현장응력과 응력변화, 주요 단층과 파쇄대의 보정에 의한 광산에서의 RMR system의 적용을 제안하였다(John A. Hudson, John P. Harrison, 2000).

Table 2.2 Parameters and rating of RMR classification (Bieniawski, 1989)

Parameter		Range of values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index (MPa)	>10	4~10	2~4	1~2	For this low rang-uni-axial compressive test is preferred		
		Uni-axial comp. strength (MPa)	>250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill Core Quality RQD(%)	90%~100%	75%~90%	50%~75%	25~50%	<25%			
	Rating	20	17	13	8	3			
3	Spacing of discontinuities	>2m	0.6~2m	200~600m	60~200m	<60mm			
	Rating	20	25	20	10	0			
4	Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge <5 mm thick or Separation 1~5 mm Continuous	Soft gouge > 5mm thick or Separation >5 mm Continuous			
	Rating	30	25	20	10	0			
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length (l/minute)	None	<10	10~25	25~125	>125		
		(Joint water press)/(Major principal σ)	0	<0.1	0.1~0.2	0.2~0.5	>0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating	15	10	7	4	0			

Table 2.3 Guidelines for classification of discontinuity conditions (Bieniawski, 1989)

Parameter	Rating				
Discontinuity length (persistence) Rating	< 1 m 6	1~3 m 4	3~10 m 2	10~20 m 1	> 20 m 0
Separation (aperture) Rating	None 6	< 0.1 mm 5	0.1~1.0 mm 4	1~5 mm 1	> 5 mm 0
Roughness Rating	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slicksided 0
Infilling(gouge) Rating	None 6	Hard filling < 5 mm 4	Hard filling > 5 mm 2	Soft filling < 5 mm 2	Soft filling > 5 mm 0
Weathering Rating	Unweathered 6	Slightly weathered 5	Moderately weathered 3	Hardly weathered 1	Decomposed 0

Table 2.4 Rating adjustment for discontinuity orientation (Bieniawski, 1989)

Strike and dip orientations		Very Favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Rating	Tunnel & mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

Table 2.5 Effect of discontinuity strike and dip orientation in tunnelling
(Modified after Wickham et al., 1972)

Strike perpendicular to tunnel axis		Strike parallel to tunnel axis	
Drive with dip - Dip 45~90°	Drive with dip - Dip 20~45°	Dip 45~90°	Dip 20~45°
Very favourable	Favourable	Very unfavourable	Fair
Drive against dip - Dip 45~90°	Drive against dip - Dip 20~45°	Dip 0~20 - Irrespective of strike°	

Table 2.6 Rock mass classes determined from total ratings
(Bieniawski, 1989)

Rating	100~81	80~61	60~41	40~21	< 20
Class number	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

Table 2.7 Meaning of rock classes in RMR (Bieniawski, 1989)

Class number	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	10 years for 15 m span	6 month for 8 m span	1 week for 5 m span	10 hours for 2.5 m span	30min for 1 m span
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300~400	200~300	100~200	< 100
Friction angle of rock mass (ϕ)	> 45°	35~45°	25~35°	15~25°	< 15°

Note) Cohesion of rock mass, applicable to slopes only in saturated and weathered rock mass

Table 2.8 Guidelines for excavation and support of 10 m span rock tunnels in accordance with the RMR system (Bieniawski, 1989)

Rock mass class	Excavation	Rock bolts (20mm diameter, fully grouted)	Shotcrete	Steel sets
I Very good rock RMR: 81~100	Full face, 3m advance.	Generally no support required except spot bolting.		
II Good rock RMR: 61~80	Full face, 1~1.5m advance. complete support 20 m from face.	Locally, bolts in crown 3m long, spaced 2.5m with occasional wire mesh.	50mm in crown where required.	None.
III Fair rock RMR: 41~60	Top heading and bench 1.5~3m advance in top heading. Commence support after each blast. Complete support 10m from face.	Systematic bolts 4m long, spaced 1.5~2m in crown and walls with wire mesh in crown.	50~100mm in crown and 30 mm in sides.	None.
IV Poor rock RMR: 21~40	Top heading and bench 1.0~1.5m advance in top heading. Install support concurrently with excavation, 10m from face.	Systematic bolts 4~5m long, spaced 1~1.5m in crown and walls with wire mesh.	100~150mm in crown and 100 mm in sides.	Light to medium ribs spaced 1.5m where required.
V Very poor rock RMR: ≤ 20	Multiple drifts 0.5~1.5m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting	Systematic bolts 5~6m long, spaced 1-1.5m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert	150~200mm in crown, 150 mm in sides, and 50mm on face.	Medium to heavy ribs spaced 0.75m with steel lagging and forepoling if required Close invert.

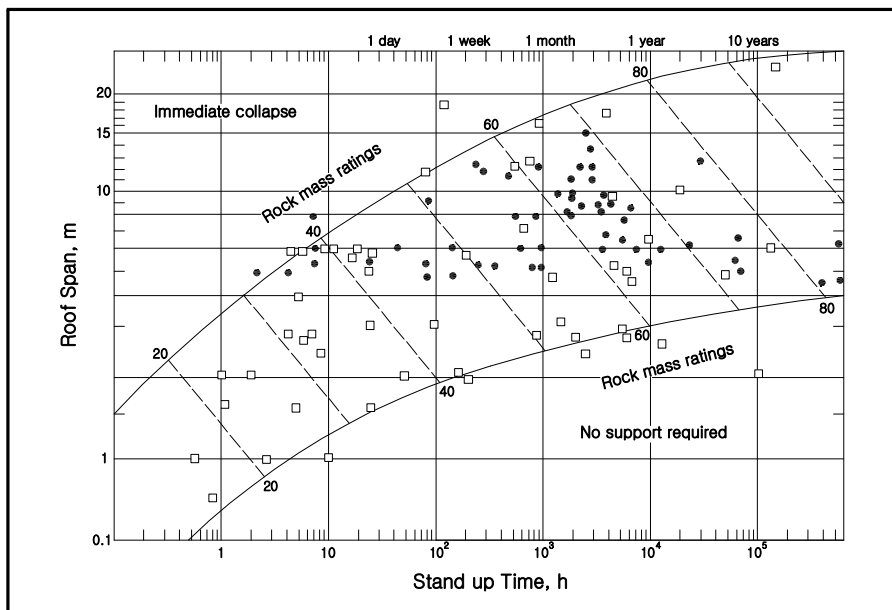


Figure 2.1 Relationship between stand up time, span and RMR (Bieniawski, 1989)

2.2.2 Q-System

Q-System은 1974년 노르웨이의 NGI(Norwegian Geotechnical Institute)의 Barton, Lein, Lunde 등에 의해 개발되었다.

Q-System은 ISRM에서 제안하는 불연속면의 상태를 표현하는 10가지 항목 모두에 대해 정량적인 표현이 이루어지고 있는 것은 아니다. 특히 RMR분류법과 대비할 때 문제가 되는 점은 불연속면의 방향성에 대한 고려가 생략되고 있는 점이다.

Barton 등은 J_n , J_r 과 J_a 가 불연속면의 방향보다 중요한 역할을 한다고 간주하였는데 Barton은 분류평가법의 견해 중에 RMR 등에서 중시되고 있는 불연속면의 방향성을 직접적으로 고려하지 않은 이유로 터널을 설정할 때 그 방향이 주요한 방향성의 영향을 받지 않도록 고려되고 있는 점을 들고 있다. 또 불연속면의 방향성을 고려한다면 그 검토가 복잡하게 되고 일반성이 적어서 가장 필요한 분류평가의 간략성을 잃어버리게 된다고 설명하였다.

Q-System은 6개 변수를 이용하여 일반의 암질을 정량적인 수치로 평가한다. 변수로는 RQD, 절리군 수, 가장 상태가 나쁜 절리나 불연속면의 거칠기, 취약 절리면의 충전물 또는 변질정도, 지하수의 유입상태, 응력조건이다.

이 조건들을 3개의 항으로 나타내면 전체 암반 등급 Q값이 된다.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (2.2)$$

식 (2.2)에서 RQD/J_n 항은 전체적인 암반의 구조를 나타내고 그 비는 암반블록 크기의 상대적인 측정치이다. J_r/J_a 항은 암반 블록 사이의 상대적인 전단강도를 나타내고 J_w/SRF 항은 작용응력을 나타낸다. 결국 Q는 위의 세 변수로 된 함수라 할 수 있으며 식 (2.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = (\text{Block or particle size}) \times (\text{Shear strength}) \times (\text{Active strength}) \quad (2.3)$$

RQD/J_n 과 J_r/J_a 항은 광산의 채광 설계에서 자주 사용되지만 상대적인 암괴의 크기나 암괴간의 전단강도는 불안정의 정도를 나타내기에 충분하지는 않다.

암질 Q는 각 변수의 최소·최대 값을 조합했을 때 $10^{-3} \sim 10^3$ (0.001~1000)사이의 값으로 표시되며 이 값은 9개 등급으로 분류된다.

Table 2.9 Classification of parameters used in Q (Barton et al., 1974)

DESCRIPTION	VALUE	NOTES
1. Rock quality designation	RQD	
A. Very poor	0~25	
B. Poor	25~50	
C. Fair	50~75	
D. Good	75~90	
E. Excellent	90~100	
2. Joint set number	Jn	
A. Massive, none or few joints	0.5~1.0	
B. One joint set	2	
C. One joint set plus random	3	
D. Two joint sets	4	
E. Two joint sets plus random	6	
F. Three joint sets	9	1. For intersections use $3.0 \times J_n$
G. Three joint sets plus random	12	
H. Four or more joint sets, random, heavily jointed, "sugar cube", etc	15	2. For portals use $2.0 \times J_n$
I. Crushed rock, earth like	20	
3. Joint roughness number	Jr	
a. Rock wall contact and		
b. Rock wall contact before 10cm shear		
A. Discontinuous joint	4	
B. Rough or irregular, undulating	3	
C. Smooth, undulating	2.0	
D. Slickensided, undulating	1.5	1. Add 1.0 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3m
E. Rough or irregular, planar	1.5	
F. Smooth, planar	1.0	
G. Slickensided, planar	0.5	2. $J_r = 0.5$ can be used for planar, slickensided joints having lineation, provided the lineations are favourably oriented
c. No rock wall contact when sheared		
H. Zone containing clay minerals thick enough to prevent rock wall contact	1.0	※ Descriptions B to G above refer to small scale and intermediate scale features, in that order
I. Sandy, gravelly, or crushed zone thick enough to prevent rock wall contact	1.0	

Table 2.9 continued

DESCRIPTION	VALUE		NOTES
4. Joint alteration number	J_a	ϕ_r, degrees (approx.)	
a. Rock wall contact			
A. Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling, I.e., quartz or epidote	0.75		1. values of ϕ_r are intended as an approximate guide to the mineralogical properties of the alteration products, if present.
B. Unaltered joint walls, surface staining only	1.0	25~35	
C. Slightly altered joint walls Non-softening mineral coatings, sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc	2.0	25~35	
D. Silty or sandy clay coatings, small clay fraction(non-softening)	3.0	20~25	
E. Softening or low-fiction clay mineral coatings, I.e., kaolinite, mica. Also chlorite, talc, gypsum, and graphite, etc., and small quantities of swelling clays(discontinuous coatings, 1~2 mm or less in thickness)	4.0	8~16	
b. Rock wall contact before 10 cm shear			
F. Sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc.	4.0		25~30
G. Strongly particles, clay-free disintegrated, etc. mineral fillings (continuous, <5 mm in thickness)	6.0		16~24
H. Medium or low over-consolidation, softening, clay mineral fillings(continuous, <5 mm in thickness)	8.0		12~16
I. Swelling clay filling, I.e., montmorillonite (continuous, <5 mm in thickness). Value of J_a depends on percentage of swelling clay-sized particles, and access to water, etc	8~12		6~12
J. Zones or bands of disintegrated or crushed rock and clay(see G, H, J for description of clay condition)	8~12		6~24
c. No rock wall contact when sheared			
K. Zones or bands of silty or sandy clay, small clay fraction(non-softening)	5		
L. Thick, continuous zones or bands of clay(see G, H, J for description of clay condition)	13~20		6~24

Table 2.9 continued

DESCRIPTION	VALUE	NOTES
5. Joint water reduction	Jw	Approx. Water pressure(kgf/cm²)
A. Dry excavations or minor inflow, I.e., 5 lt./min locally	1	<1.0
B. Medium inflow or pressure occasional out-wash of joint fillings	0.66	1.0~2.5
C. Large inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints	0.5	2.5~10.0
D. Large inflow or high pressure, considerable out-wash of joint fillings	0.33	2.5~10.0
E. Exceptionally high inflow or water pressure at blasting, decaying with time	0.2~0.1	>10
F. Exceptionally high inflow or water pressure continuing without noticeable decay	0.1~0.05	>10
6. Stress reduction factor	SRF	
a. Weakness zones intersecting excavation, which may cause loosening of rock mass when tunnel is excavated.		
A. Multiple occurrences of weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock, very loose surrounding rock (any depth)	10.0	1. Reduce these SRF values by 25~50% if the relevant shear zones only influence but do not intersect the excavation
B. Single-weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock (depth of excavation ≤ 50m)	5.0	
C. Single-weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock (depth of excavation > 50m)	2.5	
D. Multiple-shear zones in competent rock (clay-free), loose surrounding rock (any depth)	7.5	
E. Single-shear zones in competent rock (clay-free) (depth of excavation ≤ 50m)	5.0	
F. Single-shear zones in competent rock (clay-free) (depth of excavation > 50m)	2.5	
G. Loose open joints, heavily jointed or "sugar ", etc (any depth)	5.0	

Table 2.9 continued

DESCRIPTION			VALUE		NOTES
6. Stress reduction factor			SRF		
b. Competent rock. rock stress problems	q_c/σ_1	q_t/σ_1	Old	New	2. For strongly anisotropic stress field (if measured)
H. Low stress, near surface	>200	<0.01	2.5	2.5	: when $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reduce
I. Medium stress, favourable stress condition	200~10	0.01 ~0.3	1	1	q_c and q_t to $0.8q_c$ and $0.8q_t$
J. High stress, very tight structure (usually favourable to stability, may be unfavourable to wall stability)	10~5	0.3~0.4	0.5~2	0.5~2	: when $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reduce q_c and q_t to $0.6q_c$ and $0.6q_t$ (where q_c is unconfined compressive strength, q_t is tensile strength (point load), σ_1 and σ_3 are major and minor principal stress)
K. Moderate slabbing after >1 hr in massive rock	5~3	0.5 ~0.65	5~9	5~50	
L. Slabbing and rock burst after a few minutes in massive rock	3~2	0.65 ~1.0	9~15	50~200	3. Few case records available where depth of crown below surface is less than span width.
M. Heavy rock burst (strain-burst) and immediate deformations in massive rock	<2	>1	15 ~20	200 ~400	Suggest SRF increase from 2.5 to 5 for such cases (see H)
c. Squeezing rock : plastic flow of incompetent rock under influence of high rock pressures					
N. Mild squeezing rock pressure			5~10		
O. Heavy squeezing rock pressure			10~20		
d. Swelling rock : chemical swelling activity depending on presence of water					
P. Mild swelling rock pressure			5~10		
Q. Heavy swelling rock pressure			10~15		

Table 2.10 Q value and rock mass description

Q value	Group	Description
400~1000	1	Exceptionally good
100~400	2	Extremely good
40~100	3	Very good
10~40	4	Good
4~10	5	Fair
1~4	6	Poor
0.1~1	7	Very poor
0.01~0.1	8	Extremely poor
0.001~0.01	9	Exceptionally poor

이와 같은 Q값이 이용가치가 높은 것은 유효크기(D_e , Equivalent Dimension)를 이용하여 터널 지보와 관계시켰기 때문이다. 유효크기는 굴착목적과 크기의 함수로서 공동의 높이나 직경 또는 폭을 터널의 용도에 의해 결정되는 굴착지보계수 (ESR, Excavation Support Ratio)라 불리는 값으로 나눈 값이며 식 (2.4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D_e = \frac{\text{span, diameter or hight in meters}}{ESR} \quad (2.4)$$

또한 터널의 용도에 따라 결정되는 굴착지보계수는 Table 2.11과 같다.

Q-system에서는 Q값과 유효크기를 이용하여 Fig 2.2에서와 같이 암반을 38개의 범주로 구분하여 각각에 대한 구체적인 지보형식을 제시하고 있다.

Table 2.11 Value of excavation support ratio (Baton et al., 1974)

Type of Excavation		ESR
temporary mine openings, etc.		3~5
vertical shaft	circular section	2.5
	rectangular / square section	2.0
permanent mine openings, water tunnels for hydro power (excluding high pressure penstocks), pilot tunnels, drifts and headings for large excavations, etc.		1.6
storage rooms, water treatment plants, minor road and railway tunnels, surge chambers, access tunnels, etc.		1.3
power stations, major road and railway tunnels, civil defense chambers, portals, intersections, etc.		1.0
underground nuclear power stations, railway stations, sports and public facilities, factories, etc.		0.8

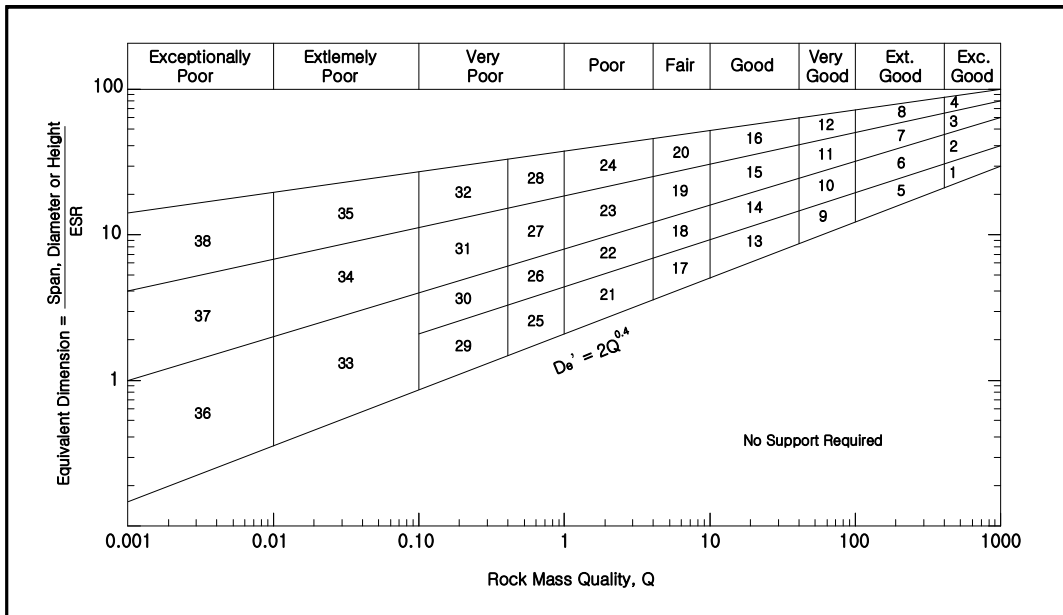


Figure 2.2 Support chart showing 38 support categories (Baton et al., 1974)

또한 Grimstad 와 Barton(1993)은 1980년대 초반부터 불량한 암질의 터널굴착 지보 재료 록볼트와 함께 사용된 강섬유 보강 슛크리트(SFRS, Steel Fiber Reinforced shotcrete)를 이용한 지보설계 chart를 제안하였다.

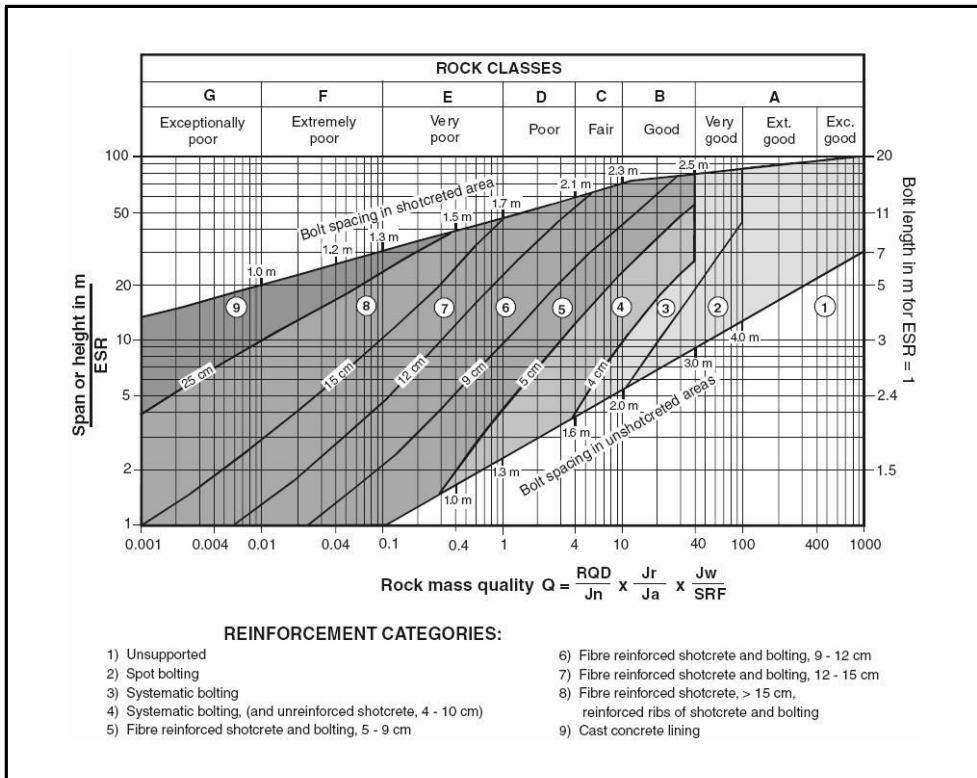


Figure 2.3 Chart for design of SFRS support (Grimstad and Barton, 1993)

Q-system은 변수들을 정량화하는데 있어서 RMR분류법이나 기타 분류법에서 사용하는 실험실 시험을 요구하지 않고 기본적으로 현장 측정자료에 의존하므로 간단한 방법이며 지보예측 chart를 이용하여 터널지보를 예측하는데 가장 유용한 분류법이라 할 수 있다. 하지만 기본적으로 분리면 방향성에 대한 고려가 누락되어 있고 동일 암반을 RMR과 Q-system에 적용했을 때 대부분 RMR에 비하여 낮은 평가치가 산출되며 변수의 적용과정이 복잡하고 정밀하여 조사자의 숙련도에 따라 큰 편차가 발생할 수 있다. 그리고 암반등급의 평가도 변수평가에서 발생한 오차에 매우 민감하다는 단점이 있다.

3. 본 연구에서의 암반분류

3.1 분류변수

다른 공학적 재료들과 달리 암석은 고유의 문제를 안고 있다. 암석재료는 선택적이지 못하며 그 특성이 매우 다양하게 변화하는 복잡한 물질이다. 따라서 암석의 집합체인 암반 또한 암석의 고유의 문제로 인하여 그 특성을 정량적으로 나타내는데 상당한 어려움이 따른다.

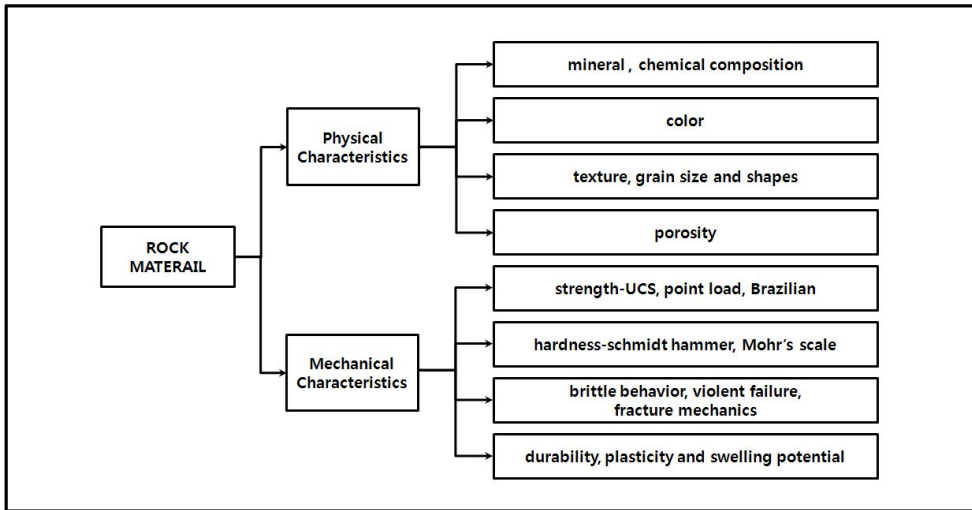


Figure 3.1 Rock material characteristics

암반이라는 물체는 불연속성의 물체이다. 암반은 어느 공간적 넓이를 가진 암석 집합체로 일반적으로 지질학적 분리면과 암반의 불연속면을 포함하고 있다. 따라서 암반에 대하여 공학적으로 접근하는 공학도들은 암반을 각종 분리면으로 분리된 블록의 집합체로서 직면하게 된다. 암반내의 불연속면들은 암반의 물성을 크게 좌우하고 있기 때문에 무결암의 실험을 통해 얻어진 물성이 그 집합체인 암반의 물성과 직접 연결되지 않는다. 결국 암반의 분류를 위해서는 무결암(intact rock)과

암반(rock mass)의 공학적 특성이 모두 고려되어야 한다.

암반분류의 변수를 적용하는데 있어서 중요한 요소는 대표성, 편리성, 반복성이다. 편리성은 암반에 대하여 분류법을 적용하는데 있어서 편리함의 정도를 의미하고, 대표성은 암반분류에 사용된 변수들이 암반의 상태를 얼마나 잘 표현한 것인가를 뜻한다. 그리고 암반 상태가 각 변수들의 표현과 가장 잘 일치할 때에 변수 평가는 편리한 것이 되며 동시에 다른 측정자에 의해 평가될 때에도 같은 값이 얻어질 수 있는데 이는 반복성을 뜻하며, 그렇지 않다면 변수의 평점은 편차를 가지게 된다. 즉 암반 분류에서 변수의 대표성과 반복성은 경험적 방법인 암반분류를 정당화하는 수단으로서 작용한다.

본 연구에서는 암반분류의 기준으로 크게 두 가지 기준 즉, 암반의 강도 특성 기준과 암반의 구조적 특성 기준으로 나누어 고려하였다. 그리고 암반의 분류에 사용되는 모든 정보의 획득이 현장 관찰·측정 또는 시추주상도상에서 가능하도록 분류 변수를 정하였다.

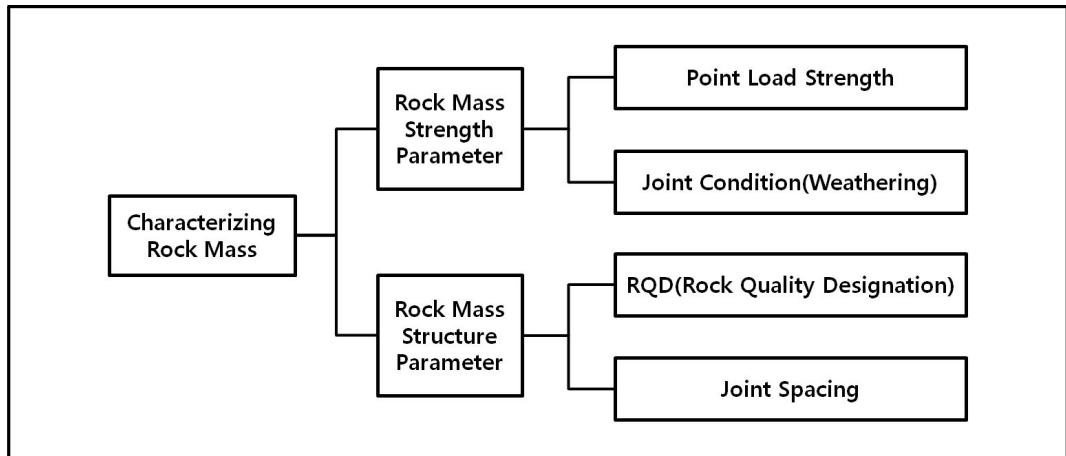


Figure 3.2 Principle of this study characterizing material properties of rock mass

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. Fig 3.2에 상기 서술한 내용을 그림으로 나타내었다.

본 연구의 암반분류법에서는 암반분류를 위해 점하중강도, 절리상태(풍화도), RQD, 절리간격의 4가지 변수를 선택하고 각 변수별로 배점을 할당하여 정량화하였다. 그리고 각 변수별로 평가된 점수를 합산하여 암반을 분류하였다.

3.1.1 암석재료의 강도11

암석재료의 강도는 암반의 물성 중 기본적인 요소로서 여러 암반분류에서 분류 변수로 적용되었다. 특히 무결암의 일축압축강도(uniaxial compressive strength)는 무결암의 특성을 기술하거나 암반공학적으로 분류하는 과정에서의 중요한 지수이다. 따라서 무결암의 일축압축강도와 이와 밀접한 관계를 갖는 탄성계수를 이용하여 무결암을 분류하려는 노력이 다각적으로 이루어졌으며 특히 ISRM에서는 기존의 여러 가지 방법들을 종합하여 무결암을 6등급으로 분류하였으며 암반강도의 하한치를 1MPa(10.2kg/cm²)로 제시하였다. 무결암의 일축압축강도에 의한 무결암의 분류 대비표를 Fig 3.3에 나타내었다.

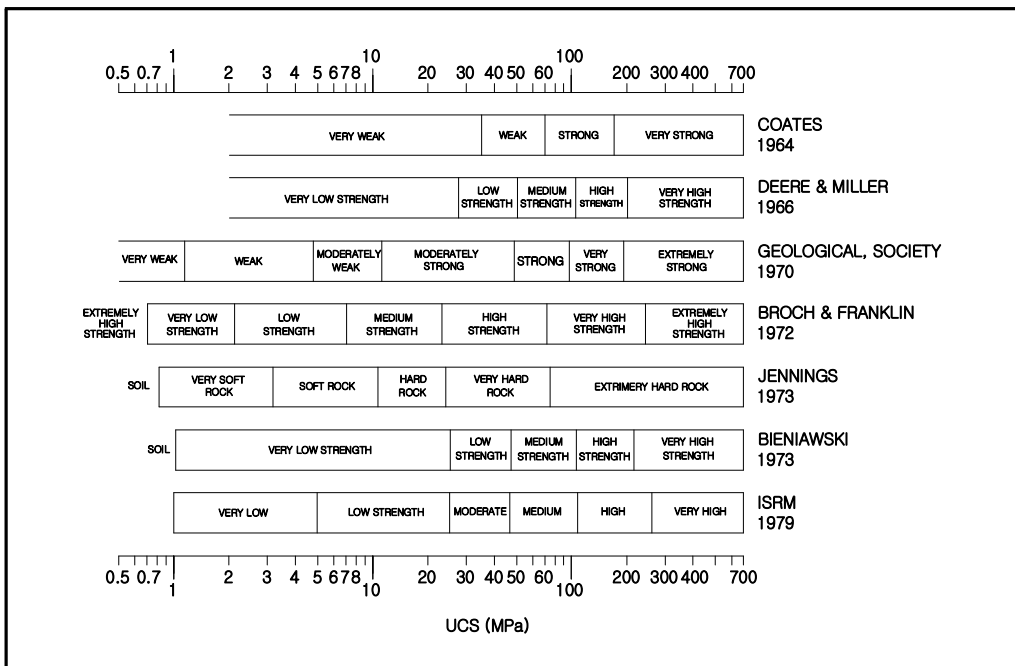


Figure 3.3 Strength classification of intact rock

현재 국내의 많은 암반분류기준에서도 암석의 일축압축강도를 이용하여 분류를 실시하고 있다. 국내의 암반분류기준 중 서울특별시 표준지반분류, 한국고속철도건설공단 지반분류기준, 서울지하철공사 지반분류기준, 한국도로공사 지반분류기준에서 일축압축강도의 적용은 Table 3.1과 같다.

Table 3.1 Rock mass classification by uniaxial compressive strength (Home)

기관 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	-						

일축압축강도에 따른 국내 암반분류 기준을 살펴보면 각 기관별로 상이한 기준치를 적용하고 있음을 알 수 있다. 특히 한국고속철도공단은 상대적으로 상당히 낮은 값의 기준을 사용하고 있고, 한국도로공사 지반분류 기준은 타 분류기준의 동일등급 암반의 일축압축강도 값보다 매우 높은 기준을 제시하고 있어 상대적으로 보수적임을 알 수 있다.

국외의 많은 암반분류법에서도 암석의 일축압축강도는 중요한 분류변수로서 사용되고 있다. 국외의 ISRM분류기준(1978)에서 암석의 일축압축강도에 따른 분류는 Table 3.2와 같다. 또한 RMR분류법(Z. T. Bieniawski, 1989)과 영국지질공학회의 'Description of Rock and Soils(1972)'에서 일축압축강도의 적용과 그에 따른 암반분류기준을 살펴보면 Table 3.3과 같다.

Table 3.2 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 3.3 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

ISRM분류기준(1978), RMR분류법(1989), 영국지질공학회의 ‘Description of Rock and Soils(1972)’의 일축압축강도에 의한 분류에서 등급별 경계값의 적용을 살펴보면 등급별로 매우 유사한 값을 적용하고 있음을 알 수 있으며, 특히 RMR분류법에

서의 일축압축강도 적용에 대한 등급별 경계값은 ISRM에서 제시한 분류기준과 동일하다.

국내외 암반분류기준에서 일축압축강도에 대한 국내 기준의 평균값과 국외 기준의 평균값은 Table 3.4와 같다.

Table 3.4 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

본 연구의 암반분류에서는 현장에서 신속한 강도변수 산출을 위하여 점하중 강도지수를 이용한다. 일반적으로 표준시험법에 따라 시료를 성형하여 일축압축시험을 실시하는 것이 곤란한 상황이거나 암반의 공학적 분류를 목적으로 단지 암석의 대략적인 압축강도만 알고자 하는 경우에는 점하중강도시험(point load test)를 통하여 현장이나 실험실에서 간단히 일축압축강도를 추정할 수 있다. 점하중강도와 일축압축강도와는 상당히 좋은 직선의 상관관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 암편정을 정량적으로 쉽고 빠르게 현장에서 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 일축압축강도를 비교적 신뢰성 있게 추정할 수 있는 방법으로서 국내의 토목현장에서는 보편적으로 사용되고 있다.

점하중강도시험은 ISRM suggested method(Franklin, 1985)에 따라 실시하며 NX 규격의 원주형 시험편을 지름방향으로 가압하여 파괴시켰을 때, 이 시료의 점하중 강도지수(Point load strength index), I_s 는 식 (3.1)로 나타 낼 수 있다.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (3.1)$$

여기서 P 는 시료에 가해진 파괴하중이고, D_c 는 등가코어 직경이며, 직경방향시험의 경우는 $D_c^2 = D^2$ 에 의한다.

직경방향으로 시험의 경우 $D = 50\text{mm}$ 코어를 사용했을 때의 점재하강도를 기준으로 한다.

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s, \quad (F = (\frac{D_c}{50})^{0.45}) \quad (3.2)$$

시험편의 일축압축강도 σ_c 와 점하중강도지수($I_{s(50)}$)사이에는 식 (3.3)과 같은 상관관계가 있다(Franklin, 1985).

$$\sigma_c \approx (20 \sim 25) \cdot I_{s(50)} \quad (3.3)$$

본 연구에서는 강도변수로 점하중 강도 지수를 사용하기 위하여 국내·외 암반분류기준에서 적용된 일축압축강도의 평균값에 $\sigma_c = 24 \cdot I_{s(50)}$ 을 적용하여 점하중 강도지수로 변환 하였다.

Table 3.5 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

본 연구에 적용된 강도변수는 국내 각 기관의 암반분류기준의 압축강도 기준과 국외 암반분류기준의 압축강도를 종합적으로 검토하였으며, 이들의 평균값을 점하중지수로 변환한 값으로 재분류하였다. 본 연구에 적용된 등급별 점하중지수 범위와 그에 따른 배점은 Table 3.6과 같다.

Table 3.6 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

3.1.2 절리면 상태

암반의 강도특성을 결정하는 두 번째 변수로서 절리면의 상태를 고려하였다. 절리면의 상태를 결정하는 인자는 절리의 연장성, 거칠기, 충전물, 분리간극, 풍화도 등으로 세분되나 본 분류법에서는 현장에서 쉽게 육안 관찰이 가능 한 풍화도를 이용하여 절리면의 상태를 평가하였다.

암석재료의 풍화도는 일축압축강도와 상당한 상관관계를 가지고 있다. 특히 Iliev(1966)에 의해 제안된 풍화상수(K)는 탄성파속도에 영향을 미치는 밀도, 공극률, 미세균열의 확장, 구성물질, 입자의 크기, 고결정도 등 풍화의 심화에 따라 민감하게 변하는 인자들의 영향을 종합적으로 내포하고 있으므로 비교적 간단한 방법임에도 불구하고 그 적용성은 대단히 크다. Table 3.7에서 제시된 바와 같이 풍화가 심화될수록 K값은 일정하게 증가하는 양상을 보이고 있다. 또한 밀도, 공극률, 미세균열의 확장, 구성 물질, 입자의 크기, 고결정도 등은 일축압축강도에 상당한 영향을 미치는 인자들이므로 Fig 3.4와 같이 일축압축강도와 뚜렷한 직선식의 상관관계를 나타내고 있다(F. G. Bell, 1992).

Table 3.7 Coefficient of weathering(K) value by weathering grade

Rock type	Originator	Weathering				
		F	SW	MW	HW	CW
Andesite	Pasamehmetoglu et al. (1981)	0.0	0.21	0.31	0.55	-
Monzonite	Iliev (1966)	0.0	0.19	0.41	0.53	0.72
Granite	Duncan and Dunne (1967)	0.0	0.58	0.74	0.78	-
Granite	Kossev (1970)	0.0	0.04	-	0.18	0.61
Granite	Gupta and Rao (2001)	0.0	0.38	0.69	-	0.97
Basalt	Gupta and Rao (2001)	0.0	0.24	-	0.79	-
Quartzite	Gupta and Rao (2001)	0.0	0.07	0.69	0.77	0.83

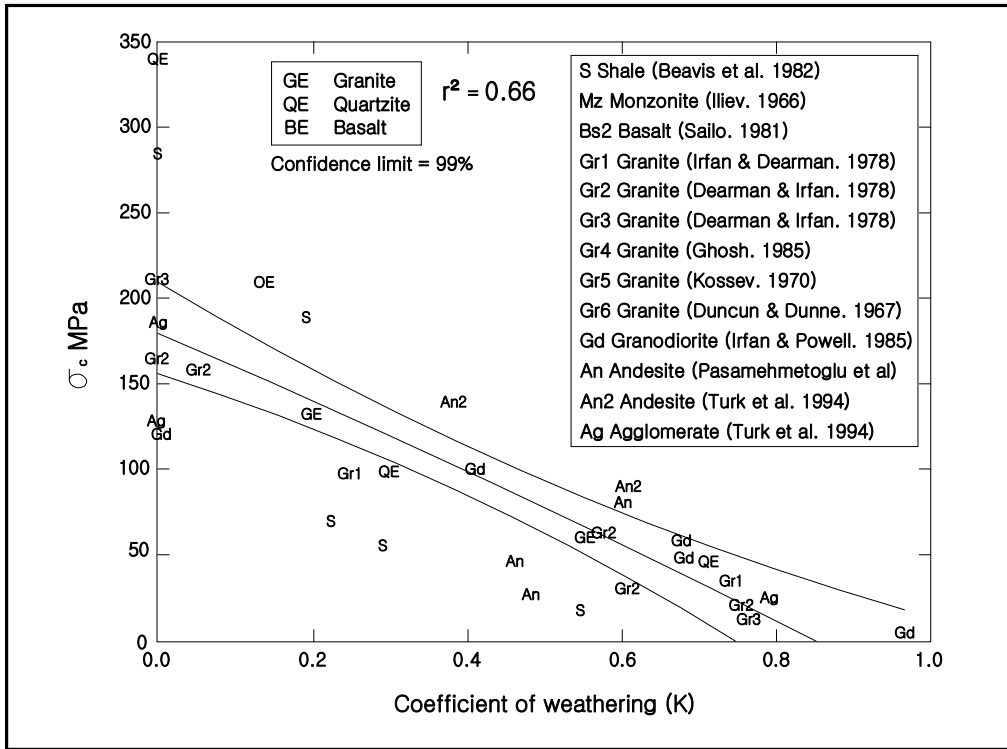


Figure 3.4 Correlation between coefficient of weathering(K) and UCS(σ_c)

암석재료는 풍화와 변질의 결과로 질적으로 떨어지는 경향을 가진다. 또한 풍화와 변질작용이 비록 암석재료에 일어날지라도 그 과정은 암반의 불연속면에 집중된다. 풍화의 초기 단계는 암석의 변색으로 나타난다. 풍화의 정도가 증가함으로써 변색의 정도가 더욱 심화된다. 풍화에 의해 암석의 공학적 성질이 변하기 때문에 (주로 부피(공극)의 증가로 인한 밀도와 강도의 저하) 이러한 공학적 성질의 변화는 변색의 정도로 나타난다. 즉 약간 변색된 암석의 공학적 성질은 심하게 변색된 암석의 공학적 성질과는 많은 차이를 보일 수 있다(Dearman, 1986).

그러나 Martin과 Hencher(1986)가 지적한 바와 같이 풍화의 진행은 일정하지 않아 풍화의 양상에 따라 암석의 공학적 성질의 변화는 점진적이지 않고 예측 또한 거의 불가능하다. 원래 신선한 암석의 물리적 분산과 화학적 조성변화의 평가와 묘사에 바탕을 둔 정량적인 분류법은 풍화의 정도를 평가하기 위해 자주 사용되어 왔다.

일반적으로 풍화도는 정성적인 분류방법으로서 대부분 현장에서의 육안 관찰에 의하여 이루어진다. 국내에서는 ISRM의 분류방법(1978) 및 American Institute of Professional Geologist(AIPG, 1977)에서 제시한 방법을 많이 사용하고 있다. ISRM 분류방법 및 AIPG에서 제시한 풍화도에 대한 분류기준은 Table 3.8, Table 3.9와 같다.

Table 3.8 Weathering description of International Society for Rock Mechanics, ISRM(1978)

Term	Description	Grade
Fresh	No visible sign of rock material weathering; perhaps slight discolouration on major discontinuity surfaces.	I
Slightly weathered	Discoloured by weathering of rock material and discontinuity surfaces. All the rock material may be discoloured by weathering and may be somewhat weaker externally than in its fresh condition.	II
Moderately weathered	Less than half of the rock material is decomposed and/or disintegrated to a soil. Fresh or discoloured rock is present either as a discontinuous framework or as corestones.	III
Highly weathered	More than half of the rock material is decomposed and/or disintegrated to a soil. Fresh or discoloured rock is present either as a discontinuous framework or as corestones.	IV
Completely weathered	All rock material is decomposed and/or disintegrated to soil. The original mass structure is still largely intact.	V
Residual soil	All rock material is converted to soil. The mass structure and material fabric are destroyed. There is a large change in volume, but the soil has not been significantly transported.	VI

Table 3.9 Weathering description of American Institute of Professional Geologist, AIPG (1977)

구 분	지 층 상 태
D - 1	신선한 암반
D - 2	약간 변질된 암반, 절리면이 산화됨
D - 3	중간정도로 변질된 암반, matrix가 부분적으로 약해짐
D - 4	매우 변질된 암반, matrix가 약해짐
D - 5	풍화산류토, 흙과 같은 saprolite

ISRM의 분류방법 및 AIPG에서 제시한 분류방법 외에 다른 분류방법으로는 영국지질공학회 암반기술의 풍화도기술, Rock Core Evaluation Manual(2006)에 제시된 방법들이 있다. 영국지질공학회의 암반 기술은 토층 및 암반 기재를 위한 분류 기준으로 현재 시추주상도 작성기준으로 널리 사용되고 있으며, Rock Core Evaluation Manual(2006)은 미국에서 제시된 시추코어 평가에 관한 기준이다. 각 기준에서 풍화도에 관한 기술은 Table 3.10, Table 3.11과 같다.

Table 3.10 Weathering description of The Geological Society of London

풍 화 도	상 태
잔류토 Residual Soil	암석이 변색되어 있고 모암 조직이 완전히 파괴되어 있다. 부피가 상당히 변화되어 있다.
완전풍화 Completely Weathered	암석이 변색되어 있고 흙처럼 변해있기는 하나 모암 조직이 그대로 남아있다. core stone을 다수 포함하기도 한다. 모든 특성이 모암 상태에 직접적인 영향을 받는다.
심한풍화 Highly Weathered	암석이 변색되어 있다. 불연속면 대부분이 개구성이며 표면이 변색되어 있고 불연속면 주변 조직까지 변질되어 있다. 불연속면에서 상당히 깊은 곳까지 변질되어 있다. 가끔 core stone을 포함하기도 한다.
중간풍화 Moderately Weathered	암석이 변색되어 있다. 불연속면 대부분이 개구성이며 불연속면에서 안쪽으로 어느 정도까지 변질되어 있다. 신선한 암석에 비해 강도가 현저하게 저하되어 나타난다.
약간풍화 Slightly Weathered	암석이 약간 변색되어 있다. 불연속면을 따라 변질되어 있다. 불연속면이 개구성일 경우 불연속면 표면이 변색되어 있다. 신선한 암석에 비하여 강도는 별 차이를 보이지 않는다.
신선 Fresh	모암 색을 그대로 유지한다. 모암강도를 그대로 유지하며 어떠한 풍화 흔적도 나타나지 않는다.

Table 3.11 Weathering categories in Rock Core Evaluation Manual(2006)

DEGREE OF WEATHERING	DETAILED DESCRIPTION
Residual Soil	Advanced state of decomposition resulting in plastic sols. Rock fabric and structure completely destroyed. Large volume change.
Completely Weathered	Minerals decomposed to soil but fabric and structure preserved (sapolite). Specimens easily crumbled or penetrated.
Highly Weathered	Most minerals somewhat decomposed. Specimens can be broken by hand with effort or shaved with knife. Core stones present in rock mass. Texture becoming indistinct but fabric preserved.
Moderately Weathered	Discoloration throughout. Strength somewhat less than fresh rock but cores cannot be broken by hand or scraped with knife. Texture observed.
Slightly Weathered	Slight discoloration inwards from open fractures.
Fresh	No visible sign of decomposition or discoloration. Rings under hammer impact.

본 연구의 분류법에서는 풍화도에 의한 절리면 상태 평가를 위하여 ISRM의 분류방법, American Institute of Professional Geologist(1997)에서 제시한 방법, 영국 지질공학회 암반기술의 풍화도기술, Rock Core Evaluation Manual(2006)을 참고하여 적용하였으며 25점의 배점을 할당하였다. 본 연구에서 암반분류를 위하여 적용한 풍화도에 대한 분류기준과 그에 따른 배점은 Table 3.12와 같다.

Table 3.12 Joint condition(weathering) rating in this study

구 분	분류기호	상 태	배점
신선 Fresh	W1	<ul style="list-style-type: none"> · 암색의 변화가 없음 · 풍화의 영향을 받지 않음 · 절리면은 잘 밀착되어 있음 	25
약간풍화 Slightly Weathered	W2	<ul style="list-style-type: none"> · 대체로 신선함 · 약간의 암색 변화가 관찰됨 · 절리면을 따라 약간의 풍화진행 · 절리면이 개구성일 경우 절리표면의 변색 발생 · 절리 주변부가 다소 변색 · 90% 이상이 암석으로 구성됨 	17
보통풍화 Moderately Weathered	W3	<ul style="list-style-type: none"> · 다소 많은 암색 변화가 관찰됨 · 절리면을 따라 다소 풍화진행 · 절리면은 개구성으로 절리면 안쪽으로 풍화 진행 · 대부분의 장석이 변질됨 · 50~90%가 암석으로 구성됨 	13
심한풍화 Highly Weathered	W4	<ul style="list-style-type: none"> · 심한 암색 변화가 관찰됨 · 석영을 제외한 대부분의 입자가 변색됨 · 절리면의 대부분이 개구성을 보임 · 절리면에서 비교적 깊은 곳까지 변질됨 · 암석의 구성은 50%이하 	8
완전풍화 Completely Weathered	W5	<ul style="list-style-type: none"> · 전체적으로 분해되어 쉽게 부스러짐 · 입자들이 부분적으로 존재함 · 시추코어의 회수가 불가능함 	2

3.1.3 RQD(Rock Quality Designation)

공학적인 목적으로 암반을 분류할 때 자주 사용되고 있는 암질지수(RQD, Rock Quality Designation)의 개념은 Deere(1964)에 의하여 불연속면의 간격을 정량화 할 목적으로 도입되었으며 RQD는 시추 시 회수되는 코어로부터 계산된다.

RQD는 널리 사용되는 시추코어 회수율인 TCR(Total Core Recovery)을 발전시킨 개념으로 다이아몬드비트, 더블코어베럴을 사용하는 NX size 이상의 시추구경으로 규정되어 있고 채취된 코어 중 길이가 10cm이상인 코어들의 길이 합으로 다음과 같이 정의되며 TCR보다 코어의 질에 더욱 민감한 지표이다.

$$RQD = \frac{\text{sum of pieces} \geq 10\text{cm}}{\text{total core run}} \times 100(\%) \quad (3.4)$$

$$TCR = \frac{\text{recovery core length}}{\text{total core run}} \times 100(\%) \quad (3.5)$$

RQD에 의한 암반의 양호도는 Table 3.13과 같이 5단계로 구분하는 것이 제안되어 있다(Deere, 1968).

Table 3.13 Correlation between RQD and rock mass quality (Deere, 1968)

S. No.	Rock Quality Designation(RQD)	Description of rock mass
1	< 25	Very poor
2	25 ~ 50	Poor
3	50 ~ 75	Fair
4	75 ~ 90	Good
5	90 ~ 100	Excellent

RQD 산정 시 시추구간 길이는 1.5m보다 크지 않게 해야 하며 외국의 경우는 시추구간 길이 1m마다 측정한다. RQD 측정 시에 10cm는 코어직경의 약 2배를 의미하며 암질이 양호할수록 RQD값은 커지고 풍화된 암석의 경우는 0의 값을 갖게 된다. RQD를 측정하는 정확한 방법은 Fig 3.5에 나타내었다. RQD는 풍화에 의한 코어 손실 등의 암반특성을 내포하고 있는 변수로 시추 코어의 절리빈도를 규정하는데 가장 많이 쓰이는 방법이다(Bieniawski, 1989).

시추코어나 노두에 나타나는 불연속면의 간격을 측정함으로써 RQD를 계산하는 식은 식 (3.6)과 같다(Hudson and Priest, 1979).

$$RQD = 100 \cdot e^{-0.1\lambda} \quad (3.6)$$

그러나 위의 식으로 나타나는 곡선은 절리빈도를 나타내는 $\lambda = 6 \sim 16/m$ 인 경우 측정된 RQD는 선형관계가 있는 것으로 나타나므로 RQD는 식 (3.7)과 같이 산정할 수 있다.

$$RQD = -3.68\lambda + 110.4 \quad (3.7)$$

Palmstrom(1982)은 시추가 불가능하여 코어를 이용할 수 없을 때 체적절리계수 (Volumetric joint count, J_V) 로부터 RQD를 평가 할 수 있는 식 (3.8)과 같은 경험식을 제안하였다.

$$RQD = 115 - 3.3J_V \quad (J_V < 4.5, RQD = 100) \quad (3.8)$$

체적절리계수(J_V)는 Palmstrom(1982, 1985, 1986)과 Sen and Eissa(1992)에 의해 기술되었는데 암반의 단위 체적당 절리의 숫자로 측정된다.

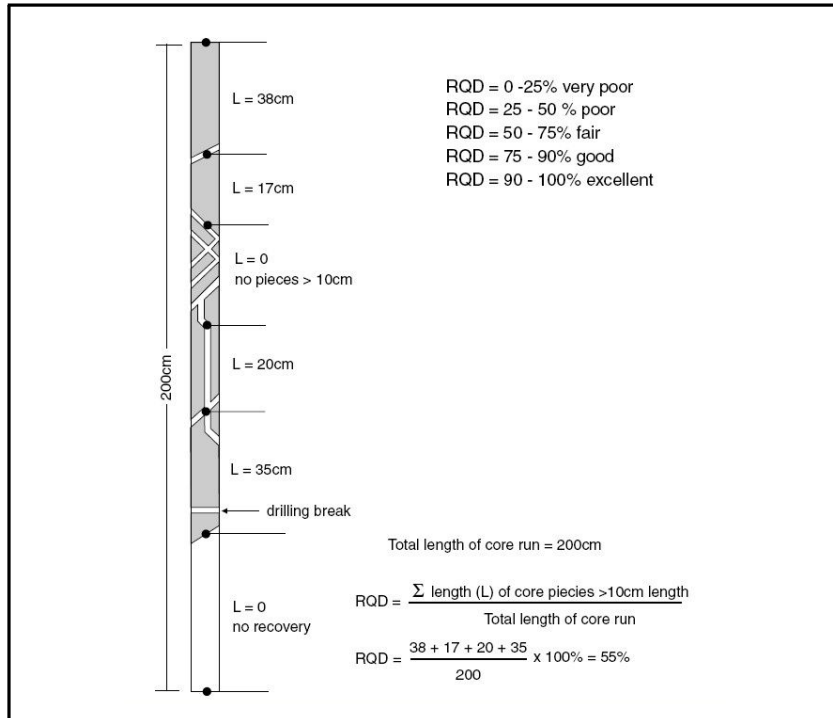


Figure 3.5 Procedure for measurement and calculation of RQD (Deere, 1989)

RQD는 암반의 양호도를 판단하는 기준으로 사용되며 암반 내 절리빈도를 나타내는 척도이다. RQD는 시추코어의 logging에서 표준요소인 동시에 많은 분류법에서 분류를 위한 기본 요소로 사용되고 있으며, 적용성과 편리성이 매우 우수하다. 그러나 RQD는 절리의 간격과 대비되는 특성으로 인하여 블록의 규모를 나타내는 지수로 활용 될 수는 있지만, 절리의 과다만을 포함하는 지수로서 합리성이 결여되어 대상암반을 적절하게 묘사하기 어려운 단점이 있다.

현재 국내의 여러 기관에서도 RQD를 이용하여 암반분류를 실시하고 있으며 그 중 서울특별시 표준지반분류, 한국고속철도 건설공단, 서울지하철공사, 한국도로공사 지반분류기준에서 RQD값에 따른 암반분류는 Table 3.14와 같다.

Table 3.14 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 3.14에서 보는 바와 같이 현재 국내 각 기관은 RQD에 의한 암반분류에 있어서 기관별로 각각 상이한 기준치를 적용하고 있다.

각 기관에서 RQD에 의한 암반분류를 살펴보면 서울시 표준지반분류와 서울지하철공사 지반분류는 유사한 기준치를 제시하고 있다. 서울특별시 표준지반분류의 경우 풍화암, 풍화토, 퇴적토의 제시되어 있지 않고 한국고속철도 건설공단의 중경암의 분류기준은 10~70%로 상당히 넓은 범위를 차지하고 있는 특징이 있다. 그리고 한국도로공사 지반분류기준은 극경암의 분류기준이 존재하지 않는다.

또한 대표적인 암반분류법인 RMR분류법(1989)과 , Q-system(1974)에서 RQD의 적용범위를 살펴보면 Table 3.15와 같다.

Table 3.15 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

Table 3.15에서 보는 바와 같이 RMR(1989)과 Q-System(1974)에서 RQD에 의한 평가는 Deere(1968)가 제안한 RQD에 따른 암반양호도 기준을 그대로 적용하고 있다.

국내 각 기관별 분류기준에서 적용된 RQD의 평균값과 국외 기준에 적용된 RQD의 평균값은 Table 3.16과 같다.

Table 3.16 Average of RQD for classification (Home and abroad)

구 분		국내 기준 평균값	국외 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%

국내 분류기준에서 적용된 RQD 평균값은 극경암 80%이상, 경암 50~80%, 보통암 20~50%, 연암 10~20%, 풍화암 0~10%로 나타났다. 국외기준에서 RQD 평균값은 매우 좋음 90%이상, 좋은 90~70%, 보통 50~75%, 나쁨 25~50%, 매우 나쁨 0~25%로 국외기준의 평균값이 국내기준에 비하여 보수적으로 적용되고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 국내 및 국외의 암반분류에서 적용된 RQD의 평균값을 참고하여 분류기준을 도출하였으며 25점의 배점을 할당하였다. 본 연구에서 도출된 결과는 Table 3.17과 같다

Table 3.17 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

3.1.4 절리간격

절리간격은 RQD와 함께 암괴의 크기를 판단하는 기준이 되며 암괴의 크기는 암반거동의 매우 중요한 척도가 된다.

절리간격은 인접분리면간의 최단거리로 표시되며 일반적으로 암반을 구성하는 각 암괴의 크기를 규제하고 분리면의 연장성에 의존적이다.

절리간격이란 하나의 절리군에서 인접한 절리군간의 수직거리이다. 그러나 지표노두에서는 절리군의 수선방향으로 측선을 설치할 수 없는 경우가 대부분이다. 결국 야외에서 측정하는 간격이라는 것은 외견 간격치가 되므로 실 간격치를 얻기 위해서는 측선의 trend/plunge와 절리군의 대표적 방향선 간의 사잇각을 알아야 한다. 대상지역내에 분포하는 평균 간격치를 얻기 위한 최소한의 측선길이와 측정수의 연구는 ISRM(1978), Sen and Kazi, 그리고 Priest and Hudson(1976)등이 행하였다.

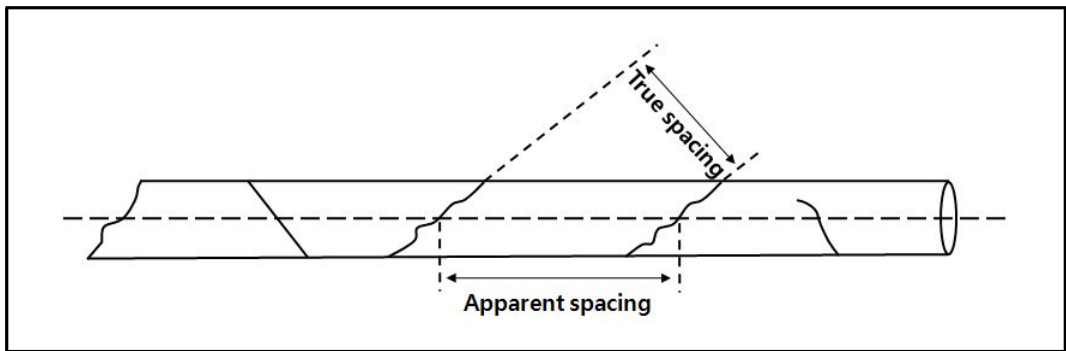


Figure 3.6 Comparison between apparent spacing and true spacing

절리간격에 있어서 보통 조밀한 간격은 암괴간의 점착력을 저하시키며 비교적 넓은 간격은 암괴의 맞물림 조건을 양호하게 한다. 또한 이는 암반 투수도와 누수 특성에 커다란 영향을 미치고 암반의 풍화진행속도에도 영향을 주기 때문에 암반의 양호도에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 국내외의 많은 암반분류법에서도 절리간격을 중요한 평가요소로 사용하고 있다.

현재 국내 암반분류기준인 서울특별시 표준지반분류, 한국고속철도 건설공단 분류기준, 서울지하철공사 분류기준에서 절리간격에 따른 암반분류 기준은 Table 3.18과 같다.

Table 3.18 Rock mass classification by joint spacing (Home)

기관 분류	서울특별시 표준지반분류		한국고속철도 건설공단		서울지하철공사	
	분 류	절리간격 (cm)	분 류	절리간격 (cm)	분 류	절리간격 (cm)
극경암	극경암층	300 이상	극경암	20 이상	극경암층	300 이상
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	5 이하	연암층	100이하
풍화암 (풍화토)	풍화암층	20 이하	풍화암	-	풍화암층	-
	풍화토층				풍화토층	-
	퇴적토층				풍화토층	-

절리간격에 따른 국내 각 기관별 암반분류의 기준을 살펴보면 분류기관에 따라 절리간격에 대한 평가가 매우 다르다는 것을 알 수 있으며 또한 절리에 대한 평가 기준에 불량한 암반상태로 갈수록 많은 차이를 보인다. 한국고속철도 건설공단 지반분류 기준의 경우 타 기관의 분류와 비교할 때 동일 암반분류에서 절리간격의 경계값이 매우 보수적으로 평가되고 있다. 그리고 서울 지하철공사 분류 방법은 다른 방법에 비하여 절리간격에 대한 기준치가 매우 크게 제시되어 있다.

국외의 암반분류기준에서도 절리간격을 평가변수로 사용하고 있다. 국외 암반분류기준 중 RMR분류법(1989)에서 절리간격의 적용, ISRM(1978)의 절리간격에 대한 기술, AIPG(1977)의 절리간격에 대한 기술은 Table 3.19, Table 3.20과 같다.

Table 3.19 Joint space rating of RMR (Z. T. 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 3.20 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

위 표에서 보는 바와 같이 국외의 각 분류법에서 절리간격 평가에 대한 등급별 기준은 비교적 유사한 값을 보인다. 또한 RMR분류법에서 절리간격에 대한 적용과 ISRM의 절리간격에 대한 기술에서 등급별 기준은 동일했으며 AIPG의 절리간격에 대한 기술은 '넓음(Wide)'등급을 초과하는 상위 기준이 존재하지 않는다.

국내 암반분류기준에서 절리간격에 의한 분류기준의 평균값과 국외기준의 평균값은 Table 3.21과 같다. 국내분류기준에서 절리간격의 평균값은 극경암은 207cm 이상, 경암은 137~207cm, 보통암은 55~137cm, 연암은 55cm 이하 이다. 국외 기준의 경우 'Very wide'의 평균값은 200cm 이상, 'Wide'의 평균값은 70~200cm, 'Moderate'의 평균값은 20~70cm, 'Close'의 평균값은 7.3~20cm, 'Very close'의 평

균값은 7.3cm 이하 였다.

본 연구의 분류법에서는 절리간격의 평가를 위하여 상기 서술한 국내의 서울특별시 표준지반분류, 한국고속철도 건설공단 분류기준, 서울지하철공사 분류기준, 국외의 RMR분류법, ISRM의 절리간격에 대한 기술, 미국 전문지질기술자회(AIPG)의 절리간격에 대한 기술에 적용된 등급별 절리간격의 평균값을 참고하여 적용하였으며 25점의 배점을 부여하여 정량화 하였다. 본 연구에 적용된 절리간격과 배점은 Table 3.22와 같다.

Table 3.21 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

Table 3.22 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

3.2 도출된 분류 변수 및 배점

본 연구에서는 현장에서 적용이 가능한 암반분류법의 도출을 위하여 변수의 평가를 위한 지표를 기존의 국내외 암반분류법에서 획득하여 이용하였으며, 이를 통하여 암반의 강도 특성과 구조적 특성을 모두 내고자 하였다. 그리고 각각의 분류 변수에는 25점의 배점을 할당하였다. 본 연구에서 도출된 암반분류법(편의상 이하 X-Method로 칭함)의 분류변수와 변수별 배점은 Table 3.23에 나타내었고, 평점에 따른 암반등급을 Table 3.24에 나타내었다.

Table 3.23 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

Table 3.24 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

4. 기존 암반분류법과의 비교

4.1 시료의 획득

연구지역은 ○○~○○간 도로 확·포장공사 구간으로서 터널구간, 교량구간, 비탈면 구간으로 구성되어 있다. 연구지역의 과업구간 내에서 총 83공의 시추가 이루어 졌으며, 이 중 ○○ 터널구간에서 54개의 코어 샘플을 획득하였다(Fig 4.1).



< SN-2 (TH-2) >



< SN-8 (TH-12) >



< SN-12 (TH-16) >



< SN-14 (TH-18) >



< SN-28 (TH-5) >



< SN-35 (TH-10) >

Figure 4.1 Photograph of core samples

4.2 RMR분류

획득한 코어샘플에 대하여 RMR분류법을 이용하여 암반분류를 실시하였다. RMR분류는 Z. T. Bieniawski의 RMR(1989)에 의하여 RMR_{basic}과 수정 RMR을 평가하였으며, 본 연구에 사용된 코어샘플에 대한 RMR분류 결과는 Table 4.1, Table 4.2과 같다.

Table 4.1 Result of RMR classification (RMR_{basic})

비 고 분류등급	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 4.2 Result of RMR classification (RMR*)

비 고 분류등급	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

Note) RMR* : Adjusted RMR for joint orientation

RMR_{basic}에 의한 분류결과 54개 샘플에 대하여 각각 I 등급 암반은 4개소, II 등급 암반은 12개소, III 등급 암반은 28개소, IV 등급 암반은 9개소, V 등급 암반은 1개소로 평가되었으며 III 등급인 암반의 비율이 전체 대비 51.85%로 가장 높았다. 가장 양호한 암반은 SN-30에서 평점 86점으로 I 등급 암반으로 평가되었고, 가장 불량한 암반은 SN-52에서 평점 15점으로 V 등급으로 평가되었다. 또한 전체 54개 샘플에 대한 RMR_{basic} 평균 평점은 54점으로 III 등급의 양호한 암반으로 평가되었다.

RMR_{basic}에 의한 분류결과를 절리의 방향성에 대한 보정을 실시하여 수정 RMR 값을 산출하였다. 터널구간의 절리 방향성을 고려할 때 터널 진행방향과 경사방향과의 관계는 'fair(보통)'로 나타났으며, 이에 따라 RMR_{basic}에 -5점을 보정하였다.

수정 RMR에 의한 분류결과 54개 샘플에 대하여 각각 I 등급 암반은 1개소, II 등급 암반은 13개소, III 등급 암반은 23개소, IV 등급 암반은 16개소, 5 등급 암반은 1개소로 평가되었으며 III 등급의 비율이 42.60%로 가장 높았다. 가장 양호한 암반은 암반은 SN-30에서 평점 81점으로 I 등급 암반으로 평가되었고, 가장 불량한 암반은 SN-52에서 평점 10점으로 V 등급으로 평가되었다. 전체 54개 샘플에 대한 수정 RMR 평균 평점은 49점으로 III 등급의 암반으로 평가되었다.

본 연구에서 사용된 샘플의 RMR분류 변수별 평가 점수와 그에 따른 RMR 평점 및 암반등급을 Table 4.3에 나타내었다.

Table 4.3 Rock mass classification list by RMR(1989) for each sample

NO.	심도 (m)	압축강도 (Mpa)	RQD (%)	절리간격 (cm)	절리면상태					지하수 상태	RMR Basic		절리 방향성 보정	수정 RMR	
					연장성 (m)	틈새 (mm)	거칠기	충진물 (mm)	풍화도		평점	등급		평점	등급
SN-1	16.1~17.8	24	22	7	10~20	1~5	약간거침	건고(<5)	심한풍화	습윤	33	IV	보통	28	IV
		2	3	8	1	1	3	4	1	10			-5		
SN-2	11.0~14.0	81	84	38	1~3	0.1~1.0	거침	없음	약간풍화	습윤	68	II	보통	63	II
		7	17	10	4	4	5	6	5	10			-5		
SN-3	20.0~22.3	67	50	15	3~10	0.1~1.0	거침	건고(<5)	보통풍화	습윤	56	III	보통	51	III
		7	13	8	2	4	5	4	3	10			-5		
SN-4	17.3~18.7	133	69	18	1~3	0.1~1.0	거침	없음	약간풍화	완전건조	72	II	보통	67	II
		12	13	8	4	4	5	6	5	15			-5		
SN-5	89.7~92.8	178	79	47	1~3	0.1~1.0	거침	없음	약간풍화	완전건조	78	II	보통	73	II
		12	17	10	4	4	5	6	5	15			-5		
SN-6	98.5~101.6	126	89	31	1>	<0.1	약간거침	건고(<5)	신선	습윤	73	II	보통	68	II
		12	17	10	6	5	3	4	6	10			-5		
SN-7	135.6~138.6	105	93	75	1>	<0.1	거침	건고(<5)	신선	습윤	83	I	보통	78	II
		12	20	15	6	5	5	4	6	10			-5		
SN-8	57.3~60.3	155	83	108	1~3	0.1~1.0	거침	없음	약간풍화	완전건조	83	I	보통	78	II
		12	17	15	4	4	5	6	5	15			-5		
SN-9	42.7~44.9	198	85	12	3~10	0.1~1.0	거침	없음	보통풍화	습윤	67	II	보통	62	II
		12	17	8	2	4	5	6	3	10			-5		

Note) SN : Sample number

Table 4.3 continued

NO.	심도 (m)	압축강도 (Mpa)	RQD (%)	절리간격 (cm)	절리면상태					지하수 상태	RMR Basic		절리 방향성 보정	수정 RMR	
					연장성 (m)	틈새 (mm)	거칠기	충진물 (mm)	풍화도		평점	등급		평점	등급
SN-10	12.4~15.2	133	84	34	3~10	0.1~1.0	거칠	없음	보통풍화	습윤	69	II	보통	64	II
		12	17	10	2	4	5	6	3	10			-5		
SN-11	20.6~23.6	133	83	65	1~3	0.1~1.0	약간거칠	없음	약간풍화	습윤	76	II	보통	71	II
		12	17	15	4	4	3	6	5	10			-5		
SN-12	6.5~9.5	114	90	34	3~10	0.1~1.0	거칠	건고(<5)	보통풍화	습윤	70	II	보통	65	II
		12	20	10	2	4	5	4	3	10			-5		
SN-13	12.5~15.5	89	46	37	3~10	0.1~1.0	거칠	건고(<5)	보통풍화	습윤	53	III	보통	48	III
		7	8	10	2	4	5	4	3	10			-5		
SN-14	6.0~8.8	142	79	30	1~3	0.1~1.0	거칠	없음	약간풍화	습윤	73	II	보통	68	II
		12	17	10	4	4	5	6	5	10			-5		
SN-15	9.7~12.8	177	55	27	1~3	1~5	거칠	건고(>5)	약간풍화	습윤	62	II	보통	57	III
		12	13	10	4	1	5	2	5	10			-5		
SN-16	10.2~13.0	228	36	11	3~10	1~5	거칠	없음	보통풍화	습윤	55	III	보통	50	III
		12	8	8	2	1	5	6	3	10			-5		
SN-17	13.0~15.0	63	44	12	3~10	1~5	거칠	없음	보통풍화	습윤	50	III	보통	45	III
		7	8	8	2	1	5	6	3	10			-5		
SN-18	25.4~27.0	194	41	6	1~3	1~5	거칠	없음	약간풍화	습윤	59	III	보통	54	III
		12	8	8	4	1	5	6	5	10			-5		

Table 4.3 continued

NO.	심도 (m)	압축강도 (Mpa)	RQD (%)	절리간격 (cm)	절리면상태					지하수 상태	RMR Basic		절리 방향성 보정	수정 RMR	
					연장성 (m)	틈새 (mm)	거칠기	충진물 (mm)	풍화도		평점	등급		평점	등급
SN-19	41.0~44.0	77	47	19	1~3	0.1~1.0	거침	견고(<5)	약간풍화	습윤	55	III	보통	50	III
		7	8	8	4	4	5	4	5	10			-5		
SN-20	55.1~58.0	171	68	12	1~3	0.1~1.0	거침	견고(<5)	약간풍화	습윤	65	II	보통	60	III
		12	13	8	4	4	5	4	5	10			-5		
SN-21	50.0~52.8	140	11	10	10~20	>5	거침	연약(>5)	심한풍화	습윤	40	IV	보통	35	IV
		12	3	8	1	0	5	0	1	10			-5		
SN-22	31.4~33.1	86	55	10	10~20	1~5	거침	연약(<5)	심한풍화	완전건조	53	III	보통	48	III
		7	13	8	1	1	5	2	1	15			-5		
SN-23	8.3~9.6	16	0	2	10~20	>5	거침	없음	심한풍화	완전건조	38	IV	보통	33	IV
		2	3	5	1	0	5	6	1	15			-5		
SN-24	4.5~7.0	18	10	7	10~20	1~5	거침	견고(<5)	심한풍화	완전건조	40	IV	보통	35	IV
		2	3	8	1	1	5	4	1	15			-5		
SN-25	11.6~12.9	13	0	4	10~20	>5	거침	견고(>5)	심한풍화	완전건조	34	IV	보통	29	IV
		2	3	5	1	0	5	2	1	15			-5		
SN-26	19.0~21.1	44	43	11	3~10	1~5	거침	견고(<5)	보통풍화	젓음	42	III	보통	37	IV
		4	8	8	2	1	5	4	3	7			-5		
SN-27	7.0~8.8	62	36	8	3~10	1~5	거침	없음	보통풍화	습윤	50	III	보통	45	III
		7	8	8	2	1	5	6	3	10			-5		

Table 4.3 continued

NO.	심 도 (m)	압 축 강 도 (Mpa)	RQD (%)	절 리 간 격 (cm)	절리면상태					지하수 상 태	RMR Basic		절 리 방향성 보 정	수정 RMR	
					연장성 (m)	틈새 (mm)	거칠기	충전물 (mm)	풍화도		평점	등급		평점	등급
SN-28	11.2~14.2	111	80	N/A	1~3	0.1~1.0	거칠	없음	약간풍화	습윤	68	II	보통	63	II
		12	17	5	4	4	5	6	5	10			-5		
SN-29	6.8~8.0	26	29	11	10~20	1~5	거칠	견고(<5)	심한풍화	완전건조	47	III	보통	42	III
		4	8	8	1	1	5	4	1	15			-5		
SN-30	14.8~17.8	183	100	114	1~3	0.1~1.0	거칠	없음	약간풍화	완전건조	86	I	보통	81	I
		12	20	15	4	4	5	6	5	15			-5		
SN-31	10.0~10.6	16	38	5	10~20	1~5	매우거칠	없음	심한풍화	습윤	40	IV	보통	35	IV
		2	8	5	1	1	6	6	1	10			-5		
SN-32	13.6~15.0	15	26	11	10~20	1~5	매우거칠	연약(<5)	심한풍화	습윤	39	IV	보통	34	IV
		2	8	8	1	1	6	2	1	10			-5		
SN-33	13.9~17.0	98	0	4	3~10	1~5	거칠	없음	보통풍화	완전건조	47	III	보통	42	III
		7	3	5	2	1	5	6	3	15			-5		
SN-34	8.5~10.0	73	23	18	3~10	1~5	거칠	견고(<5)	보통풍화	습윤	43	III	보통	38	IV
		7	3	8	2	1	5	4	3	10			-5		
SN-35	4.3~7.0	146	62	40	3~10	0.1~1.0	거칠	견고(<5)	보통풍화	완전건조	68	II	보통	63	II
		12	13	10	2	4	5	4	3	15			-5		
SN-36	9.6~11.4	40	20	7	10~20	0.1~1.0	매우거칠	없음	심한풍화	습윤	43	III	보통	38	IV
		4	3	8	1	4	6	6	1	10			-5		

Table 4.3 continued

NO.	심도 (m)	압축강도 (Mpa)	RQD (%)	절리간격 (cm)	절리면상태					지하수 상태	RMR Basic		절리 방향성 보정	수정 RMR	
					연장성 (m)	틈새 (mm)	거칠기	충진물 (mm)	풍화도		평점	등급		평점	등급
SN-37	11.4~13.0	40	64	12	1~3	0.1~1.0	매우거침	없음	약간풍화	습윤	60	III	보통	55	III
		4	13	8	4	4	6	6	5	10			-5		
SN-38	4.2~7.0	12	35	32	1~3	1~5	거침	없음	약간풍화	습윤	51	III	보통	46	III
		2	8	10	4	1	5	6	5	10			-5		
SN-39	1.5~4.5	44	62	33	3~10	0.1~1.0	거침	없음	보통풍화	습윤	57	III	보통	52	III
		4	13	10	2	4	5	6	3	10			-5		
SN-40	12.0~13.5	22	52	5	3~10	1~5	매우거침	건고(<5)	보통풍화	습윤	46	III	보통	41	III
		2	13	5	2	1	6	4	3	10			-5		
SN-41	13.5~14.5	22	82	20	3~10	1~5	매우거침	건고(<5)	보통풍화	습윤	55	III	보통	50	III
		2	17	10	2	1	6	4	3	10			-5		
SN-42	12.0~15.0	11	67	32	3~10	1~5	매우거침	없음	보통풍화	습윤	53	III	보통	48	III
		2	13	10	2	1	6	6	3	10			-5		
SN-43	7.0~10.2	106	15	23	3~10	1~5	거침	건고(<5)	보통풍화	습윤	50	III	보통	45	III
		12	3	10	2	1	5	4	3	10			-5		
SN-44	7.3~10.3	106	28	10	3~10	1~5	거침	건고(<5)	보통풍화	습윤	53	III	보통	48	III
		12	8	8	2	1	5	4	3	10			-5		
SN-45	4.8~8.3	71	36	20	3~10	1~5	거침	없음	보통풍화	습윤	52	III	보통	47	III
		7	8	10	2	1	5	6	3	10			-5		

Table 4.3 continued

NO	심도 (m)	압축강도 (Mpa)	RQD (%)	절리간격 (cm)	절리면상태					지하수 상태	RMR Basic		절리 방향성 보정	수정 RMR	
					연장성 (m)	틈새 (mm)	거칠기	충진물 (mm)	풍화도		평점	등급		평점	등급
SN-46.	4.9~7.7	142	24	13	3~10	0.1~1.0	거침	연약(<5)	보통풍화	습윤	49	III	보통	44	III
		12	3	8	2	4	5	2	3	10			-5		
SN-47	15.4~17.5	228	5	5	10~20	>5	거침	연약(>5)	심한풍화	젖음	34	IV	보통	29	IV
		12	3	5	1	0	5	0	1	7			-5		
SN-48	17.3~18.2	105	23	7	3~10	1~5	약간거침	연약(<5)	보통풍화	습윤	44	III	보통	39	IV
		12	3	8	2	1	3	2	3	10			-5		
SN-49	18.5~21.0	135	20	10	3~10	1~5	거침	견고(<5)	보통풍화	습윤	48	III	보통	43	III
		12	3	8	2	1	5	4	3	10			-5		
SN-50	31.0~34.0	26	35	18	3~10	1~5	거침	견고(<5)	보통풍화	습윤	45	III	보통	40	IV
		4	8	8	2	1	5	4	3	10			-5		
SN-51	24.6~26.0	41	41	17	3~10	1~5	거침	견고(<5)	보통풍화	습윤	45	III	보통	40	IV
		4	8	8	2	1	5	4	3	10			-5		
SN-52	20.0~23.3	15	0	1	>20	>5	매끄러움	연약(>5)	완전풍화	소유출	15	V	보통	10	V
		2	3	5	0	0	1	0	0	4			-5		
SN-53	18.7~19.7	12	16	5	10~20	>5	매우거침	연약(>5)	심한풍화	습윤	28	IV	보통	23	IV
		2	3	5	1	0	6	0	1	10			-5		
SN-54	42.0~45.0	61	27	8	3~10	>5	거침	견고(>5)	보통풍화	습윤	45	III	보통	40	IV
		7	8	8	2	0	5	2	3	10			-5		

4.3 X-Method에 의한 암반분류

RMR분류법을 이용하여 분류한 코어샘플에 대하여 X-Method를 이용하여 암반분류를 실시하였다. 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 4.4와 같다.

Table 4.4 Result of rock mass classification by X-Method

비 고 분류등급	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

암반분류결과 54개 샘플에 대하여 각각 I 등급 암반은 1개소, II 등급 암반은 9개소, III 등급 암반은 25개소, IV 등급 암반은 16개소, V 등급 암반은 3개소로 평가되었으며 III 등급 암반의 비율이 전체 대비 46.30%로 가장 높았다. 가장 양호한 암반은 SN-30에서 평점 85점으로 I 등급 암반으로 평가되었고, 가장 불량한 암반은 SN-52에서 평점 11점으로 V 등급 암반으로 평가되었다. 또한 전체 54개 샘플에 대한 평균 평점은 46점으로 III 등급의 암반으로 평가되었다.

X-Method의 분류변수와 변수별 배점을 이용하여 평가한 변수별 평가 점수와 그에 따른 평점 및 암반등급을 Table 4.5에 나타내었다.

Table 4.5 Rock mass classification by X-Method

NO.	점하증강도			절리상태			RQD			절리간격			평균점	등급
	(Mpa)	기호	배점	구분	기호	배점	(%)	기호	배점	(cm)	기호	배점		
SN-1	1.03	P4	6	심한풍화	W4	8	22	R4	7	7	S4	8	29	IV
SN-2	3.44	P3	13	약간풍화	W2	17	84	R2	17	38	S4	8	55	III
SN-3	2.86	P4	6	보통풍화	W3	13	50	R3	13	15	S4	8	40	IV
SN-4	5.66	P2	16	약간풍화	W2	17	69	R2	17	18	S4	8	58	III
SN-5	7.55	P1	25	약간풍화	W2	17	79	R2	17	47	S3	12	71	II
SN-6	5.36	P2	16	신선	W1	25	89	R1	25	31	S4	8	74	II
SN-7	4.47	P2	16	신선	W1	25	93	R1	25	75	S3	12	78	II
SN-8	6.60	P2	16	약간풍화	W2	17	83	R2	17	108	S2	18	68	II
SN-9	8.43	P1	25	보통풍화	W3	13	85	R2	17	12	S4	8	63	II
SN-10	5.64	P2	16	보통풍화	W3	13	84	R2	17	34	S4	8	54	III
SN-11	5.64	P2	16	약간풍화	W2	17	83	R2	17	65	S3	12	62	II
SN-12	4.84	P2	16	보통풍화	W3	13	90	R1	25	34	S4	8	62	II
SN-13	3.79	P2	16	보통풍화	W3	13	46	R3	13	37	S4	8	50	III
SN-14	6.02	P2	16	약간풍화	W2	17	79	R2	17	30	S4	8	58	III

Table 4.5 continued

NO.	점하증강도			절리상태			RQD			절리간격			평점	등급
	(Mpa)	기호	배점	구분	기호	배점	(%)	기호	배점	(cm)	기호	배점		
SN-15	7.50	P1	25	약간풍화	W2	17	55	R3	13	27	S4	8	63	II
SN-16	9.70	P1	25	보통풍화	W3	13	36	R3	13	11	S4	8	59	III
SN-17	2.69	P3	13	보통풍화	W3	13	44	R3	13	12	S4	8	47	III
SN-18	8.23	P1	25	약간풍화	W2	17	41	R3	13	6	S5	3	58	III
SN-19	3.28	P2	16	약간풍화	W2	17	47	R3	13	19	S4	8	54	III
SN-20	7.28	P1	25	약간풍화	W2	17	68	R2	17	12	S4	8	67	II
SN-21	5.94	P2	16	심한풍화	W4	8	11	R5	3	10	S4	8	35	IV
SN-22	3.64	P2	16	심한풍화	W4	8	55	R3	13	10	S4	8	45	III
SN-23	0.68	P5	3	심한풍화	W4	8	0	R5	3	2	S5	3	17	V
SN-24	0.78	P5	3	심한풍화	W4	8	10	R5	3	7	S4	8	22	IV
SN-25	0.56	P5	3	심한풍화	W4	8	0	R5	3	4	S5	3	17	V
SN-26	1.89	P4	6	보통풍화	W3	13	43	R3	13	11	S4	8	40	IV
SN-27	2.64	P3	13	보통풍화	W3	13	36	R3	13	8	S4	8	47	III
SN-28	4.71	P2	16	약간풍화	W2	17	80	R2	17	N/A	S5	3	53	III

Table 4.5 continued

NO.	접하중강도			절리상태			RQD			절리간격			평점	등급
	(Mpa)	기호	배점	구분	기호	배점	(%)	기호	배점	(cm)	기호	배점		
SN-29	1.12	P4	6	심한풍화	W4	8	29	R4	7	11	S4	8	29	IV
SN-30	7.79	P1	25	약간풍화	W2	17	100	R1	25	114	S2	18	85	I
SN-31	0.68	P5	3	심한풍화	W4	8	38	R3	13	5	S5	3	27	IV
SN-32	0.65	P5	3	심한풍화	W4	8	26	R4	7	11	S4	8	26	IV
SN-33	4.16	P2	16	보통풍화	W3	13	0	R5	3	4	S5	3	35	IV
SN-34	3.12	P3	13	보통풍화	W3	13	23	R4	7	18	S4	8	41	III
SN-35	6.22	P2	16	보통풍화	W3	13	62	R2	17	40	S4	8	54	III
SN-36	1.71	P4	6	심한풍화	W4	8	20	R4	7	7	S4	8	29	IV
SN-37	1.71	P4	6	약간풍화	W2	17	64	R2	17	12	S4	8	48	III
SN-38	0.52	P5	3	약간풍화	W2	17	35	R3	13	32	S4	8	41	III
SN-39	1.87	P4	6	보통풍화	W3	13	62	R2	17	33	S4	8	44	III
SN-40	0.94	P5	3	보통풍화	W3	13	52	R3	13	5	S5	3	32	IV
SN-41	0.94	P5	3	보통풍화	W3	13	82	R2	17	20	S4	8	41	III
SN-42	0.49	P5	3	보통풍화	W3	13	67	R2	17	32	S4	8	41	III

Table 4.5 continued

NO.	접하중강도			절리상태			RQD			절리간격			평점	등급
	(Mpa)	기호	배점	구분	기호	배점	(%)	기호	배점	(cm)	기호	배점		
SN-43	4.52	P2	16	보통풍화	W3	13	15	R5	3	23	S4	8	40	IV
SN-44	4.52	P2	16	보통풍화	W3	13	28	R4	7	10	S4	8	44	III
SN-45	3.00	P3	13	보통풍화	W3	13	36	R3	13	20	S4	8	47	III
SN-46	6.04	P2	16	보통풍화	W3	13	24	R4	7	13	S4	8	44	III
SN-47	9.69	P1	25	심한풍화	W4	8	5	R5	3	5	S5	3	39	IV
SN-48	4.45	P2	16	보통풍화	W3	13	23	R4	7	7	S4	8	44	III
SN-49	5.75	P2	16	보통풍화	W3	13	20	R4	7	10	S4	8	44	III
SN-50	1.12	P4	6	보통풍화	W3	13	35	R3	13	18	S4	8	40	IV
SN-51	1.75	P4	6	보통풍화	W3	13	41	R3	13	17	S4	8	40	IV
SN-52	0.65	P5	3	완전풍화	W5	2	0	R5	3	1	S5	3	11	V
SN-53	0.52	P5	3	심한풍화	W4	8	16	R4	7	5	S5	3	21	IV
SN-54	2.60	P3	13	보통풍화	W3	13	27	R4	7	8	S4	8	41	III

Table 4.6 Example of rock mass classification table (SN-18)

ROCK MASS CLASSIFICATION TABLE					
Location	SN-18	Depth	25.4~27.0	Date	. .
Parameter		Value/Description	Section	Rating	
(A)	Point load strength (MPa)	8.23	P1	25	
(B)	Joint condition	약간풍화	W2	17	
(C)	RQD (%)	41	R3	13	
(D)	Joint spacing (cm)	6	S5	3	
(A)+(B)+(C)+(D) = 58			CLASSIFICATION	III	
<p>< Rating Diagram ></p>					

Table 4.7 Example of rock mass classification table (SN-30)

ROCK MASS CLASSIFICATION TABLE					
Location	SN-30	Depth	14.8~17.8	Date	. .
Parameter		Value/Description	Section	Rating	
(A)	Point load strength (MPa)	7.79	P1	25	
(B)	Joint condition	약간풍화	W2	17	
(C)	RQD (%)	100	R1	25	
(D)	Joint spacing (cm)	114	S2	18	
(A)+(B)+(C)+(D) = 85			CLASSIFICATION	I	
<p>< Rating Diagram ></p>					

Table 4.8 Example of rock mass classification table (SN-23)

ROCK MASS CLASSIFICATION TABLE					
Location	SN-23	Depth	8.3~9.6	Date	. .
Parameter		Value/Description	Section	Rating	
(A)	Point load strength (MPa)	0.68	P5	3	
(B)	Joint condition	심한풍화	W4	8	
(C)	RQD (%)	0	R5	3	
(D)	Joint spacing (cm)	2	S5	3	
(A)+(B)+(C)+(D) = 17			CLASSIFICATION	V	

< Rating Diagram >

The diagram is a circular target with four axes: PLSI (top), RQD (bottom), JS (right), and JC (left). Concentric circles are drawn at intervals of 5, labeled 5, 10, 15, 20, and 25. A red diamond is drawn with its vertices at the 5 mark on each axis.

Table 4.9 Example of rock mass classification table (SN-47)

ROCK MASS CLASSIFICATION TABLE					
Location	SN-47	Depth	15.4~17.5	Date	. .
Parameter		Value/Description	Section	Rating	
(A)	Point load strength (MPa)	9.69	P1	25	
(B)	Joint condition	심한풍화	W4	8	
(C)	RQD (%)	5	R5	3	
(D)	Joint spacing (cm)	5	S5	3	
(A)+(B)+(C)+(D) = 39			CLASSIFICATION	IV	

< Rating Diagram >

The diagram is a circular radar chart with four axes: PLSI (top), RQD (bottom), JS (right), and JC (left). Concentric circles represent rating values from 5 to 25. A red line connects the data points for each parameter: PLSI at 25, RQD at 3, JS at 3, and JC at 3. The diagram is divided into 'Strength Parameter' (left) and 'Structural Parameter' (right) regions.

Table 4.6, Table 4.7, Table 4.8, Table 4.9는 X-Method를 이용하여 암반분류를 하기위한 암반분류평가표의 예이다. 암반분류평가표는 시추주상도 상의 기술내용 및 자료만을 이용하여 암반의 분류가 가능하도록 구성되어 있으며, 평가표에 변수별 평점도표를 작성하여 피분류암반과 분류 평점 및 등급과의 개연성을 도시화하였다.

Table 4.6은 SN-8의 평점 58점으로 III등급으로 분류된 암반분류평가표이고, Table 4.7은 평점 85점으로 I 등급으로 분류된 SN-30의 암반분류평가표이다. 암반분류 평가표와 변수별 평점도표에서 볼 수 있듯이 두 샘플은 X-Method 에서 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 때문이라는 것을 확인할 수 있다.

또한 Table 4.8은 SN-23의 평점 17점으로 V등급으로 분류된 암반분류평가표이고 Table 4.9는 SN-47의 평점 39점으로 IV등급으로 분류된 암반분류평가표이다. 두 샘플의 암반분류평가표에서 변수별 평점도표를 살펴보면 두 샘플이 강도변수인 점하중 강도를 제외한 다른 분류변수는 동일하지만, 점하중 강도의 차이에 의하여 평점과 등급이 달라졌다는 것을 알 수 있다.

4.4 RMR분류법과 X-Method와의 비교

본 연구에서는 X-Method를 이용하여 평가된 암반등급과 RMR분류법을 이용하여 평가된 암반등급과의 비교를 실시하였다. X-Method를 이용하여 분류한 암반등급과 RMR분류법을 이용하여 분류한 코어샘플의 분류결과의 비교는 Table 4.10에 나타내었다.

Table 4.10 Comparison of rock mass classification grade

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

Note) RMR* : Adjusted RMR for joint orientation

X-Method와 RMR_{basic}을 이용하여 코어샘플을 분류한 결과, X-Method를 이용하여 평가된 암반등급과 RMR_{basic}에 의해서 평가된 암반등급이 일치하는 코어샘플의 수는 총 54개의 코어샘플 중 35개로 64.81%로 나타났다. 반면에 X-Method를 이용하여 평가된 암반등급과 RMR_{basic}에 의해서 평가된 암반등급이 일치하지 않는 코어샘플의 수는 19개로 35.19%로 나타났다. X-Method에 의한 암반등급과 RMR_{basic}에 의한 암반등급이 일치하지 않는 19개의 샘플은 X-Method에 의한 암반등급이 RMR_{basic}에 의한 암반등급보다 보수적으로 평가되었다.

또한 X-Method에 의해 평가된 암반등급과 절리의 방향성에 대한 보정을 실시한 수정 RMR에 의한 암반등급이 일치하는 코어샘플의 수는 36개로 66.67%로 나타났다. 반면에 X-Method를 이용하여 평가된 암반등급과 수정 RMR에 의해서 평가된 암반등급이 일치하지 않는 코어샘플의 수는 18개로 33.33%로 나타났다. X-Method에 의한 암반등급과 수정 RMR에 의한 암반등급이 일치하지 않는 18개의 샘플도 대부분 X-Method에 의한 암반등급이 수정 RMR에 의한 암반등급보다 보수적으로

평가되는 경향을 보였으나, SN-15, SN-20, SN-34, SN-48, SN-54에서는 수정 RMR에 의한 분류등급이 더 보수적으로 평가되었다. SN-15, SN-20, SN-34, SN-48, SN-54는 RMR_{basic} 에 의한 분류평점이 절리방향성에 대한 보정에 의해 등급이 변할 수 있는 범위의 평점(+5점 이내)을 가지고 있는 경우로 RMR_{basic} 에 절리방향성에 대한 보정(-5점)을 실시하면 수정 RMR등급은 RMR_{basic} 에 의한 분류등급보다 한 등급 아래의 등급으로 평가된다. 그러나 X-Method에서는 절리 방향성에 대한 보정을 실시하지 않으므로 수정 RMR에 의한 분류등급이 X-Method에 의한 분류등급보다 보수적으로 평가된 것으로 사료된다. 즉 이는 X-Method에서 절리방향성에 대한 고려의 부재와 암반분류법에서 등급간경계의 모호성이 그 원인이라고 할 수 있다.

X-Method와 RMR분류법을 이용한 코어샘플별 분류결과의 비교는 Table 4.11, Table 4.12에 나타내었다.

Table 4.11 Comparison of rock mass classification grade (RMR_{basic})

NO.	X-Method	RMR _{basic}	Estimate	Remark	NO.	X-Method	RMR _{basic}	Estimate	Remark
SN-1	IV	IV	☉		SN-28	III	II	●	
SN-2	III	II	●		SN-29	IV	III	●	
SN-3	IV	III	●		SN-30	I	I	☉	
SN-4	III	II	●		SN-31	IV	IV	☉	
SN-5	II	II	☉		SN-32	IV	IV	☉	
SN-6	II	II	☉		SN-33	IV	III	●	
SN-7	II	I	●		SN-34	III	III	☉	
SN-8	II	I	●		SN-35	III	II	●	
SN-9	II	II	☉		SN-36	IV	III	●	
SN-10	III	II	●		SN-37	III	III	☉	
SN-11	II	II	☉		SN-38	III	III	☉	
SN-12	II	II	☉		SN-39	III	III	☉	
SN-13	III	III	☉		SN-40	IV	III	●	
SN-14	III	II	●		SN-41	III	III	☉	
SN-15	II	II	☉		SN-42	III	III	☉	
SN-16	III	III	☉		SN-43	IV	III	●	
SN-17	III	III	☉		SN-44	III	III	☉	
SN-18	III	III	☉		SN-45	III	III	☉	
SN-19	III	III	☉		SN-46	III	III	☉	
SN-20	II	II	☉		SN-47	IV	IV	☉	
SN-21	IV	IV	☉		SN-48	III	III	☉	
SN-22	III	III	☉		SN-49	III	III	☉	
SN-23	V	IV	●		SN-50	IV	III	●	
SN-24	IV	IV	☉		SN-51	IV	III	●	
SN-25	V	IV	●		SN-52	V	V	☉	
SN-26	IV	III	●		SN-53	IV	IV	☉	
SN-27	III	III	☉		SN-54	III	III	☉	

Note) ☉ : Matched ● : Unmatched

Table 4.12 Comparison of rock mass classification grade (RMR*)

NO.	X-Method	RMR*	Estimate	Remark	NO.	X-Method	RMR*	Estimate	Remark
SN-1	IV	IV	☉		SN-28	III	II	●	
SN-2	III	II	●		SN-29	IV	III	●	
SN-3	IV	III	●		SN-30	I	I	☉	
SN-4	III	II	●		SN-31	IV	IV	☉	
SN-5	II	II	☉		SN-32	IV	IV	☉	
SN-6	II	II	☉		SN-33	IV	III	●	
SN-7	II	II	☉		SN-34	III	IV	●	
SN-8	II	II	☉		SN-35	III	II	●	
SN-9	II	II	☉		SN-36	IV	IV	☉	
SN-10	III	II	●		SN-37	III	III	☉	
SN-11	II	II	☉		SN-38	III	III	☉	
SN-12	II	II	☉		SN-39	III	III	☉	
SN-13	III	III	☉		SN-40	IV	III	●	
SN-14	III	II	●		SN-41	III	III	☉	
SN-15	II	III	●		SN-42	III	III	☉	
SN-16	III	III	☉		SN-43	IV	III	●	
SN-17	III	III	☉		SN-44	III	III	☉	
SN-18	III	III	☉		SN-45	III	III	☉	
SN-19	III	III	☉		SN-46	III	III	☉	
SN-20	II	III	●		SN-47	IV	IV	☉	
SN-21	IV	IV	☉		SN-48	III	IV	●	
SN-22	III	III	☉		SN-49	III	III	☉	
SN-23	V	IV	●		SN-50	IV	IV	☉	
SN-24	IV	IV	☉		SN-51	IV	IV	☉	
SN-25	V	IV	●		SN-52	V	V	☉	
SN-26	IV	IV	☉		SN-53	IV	IV	☉	
SN-27	III	III	☉		SN-54	III	IV	●	

Note 1) RMR* : Adjusted RMR for joint orientation in this case (-5)

2) ☉ : Matched ● : Unmatched

Table 4.13 Comparison of rock mass classification evaluation (RMR_{basic})

NO.	X-Method	RMR_{basic}	Balance	Remark	NO.	X-Method	RMR_{basic}	Balance	Remark
SN-1	29	33	-4		SN-28	53	68	-15	
SN-2	55	68	-13		SN-29	29	47	-18	
SN-3	40	56	-16		SN-30	85	86	-1	
SN-4	58	72	-14		SN-31	27	40	-13	
SN-5	71	78	-7		SN-32	26	39	-13	
SN-6	74	73	1		SN-33	35	47	-12	
SN-7	78	83	-5		SN-34	41	43	-2	
SN-8	68	83	-15		SN-35	54	68	-14	
SN-9	63	67	-4		SN-36	29	43	-14	
SN-10	54	69	-15		SN-37	48	60	-12	
SN-11	62	76	-14		SN-38	41	51	-10	
SN-12	62	70	-8		SN-39	44	57	-13	
SN-13	50	53	-3		SN-40	32	46	-14	
SN-14	58	73	-15		SN-41	41	55	-14	
SN-15	63	62	1		SN-42	41	53	-12	
SN-16	59	55	4		SN-43	40	50	-10	
SN-17	47	50	-3		SN-44	44	53	-9	
SN-18	58	59	-1		SN-45	47	52	-5	
SN-19	54	55	-1		SN-46	44	49	-5	
SN-20	67	65	2		SN-47	39	34	5	
SN-21	35	40	-5		SN-48	44	44	0	
SN-22	45	53	-8		SN-49	44	48	-4	
SN-23	17	38	-21		SN-50	40	45	-5	
SN-24	22	40	-18		SN-51	40	45	-5	
SN-25	17	34	-17		SN-52	11	15	-4	
SN-26	40	42	-2		SN-53	21	28	-7	
SN-27	47	50	-3		SN-54	41	45	-4	

Table 4.14 Comparison of rock mass classification evaluation (RMR*)

NO.	X-Method	RMR*	Balance	Remark	NO.	X-Method	RMR*	Balance	Remark
SN-1	29	28	1		SN-28	53	63	-10	
SN-2	55	63	-8		SN-29	29	42	-13	
SN-3	40	51	-11		SN-30	85	81	4	
SN-4	58	67	-9		SN-31	27	35	-8	
SN-5	71	73	-2		SN-32	26	34	-8	
SN-6	74	68	6		SN-33	35	42	-7	
SN-7	78	78	0		SN-34	41	38	3	
SN-8	68	78	-10		SN-35	54	63	-9	
SN-9	63	62	1		SN-36	29	38	-9	
SN-10	54	64	-10		SN-37	48	55	-7	
SN-11	62	71	-9		SN-38	41	46	-5	
SN-12	62	65	-3		SN-39	44	52	-8	
SN-13	50	48	2		SN-40	32	41	-9	
SN-14	58	68	-10		SN-41	41	50	-9	
SN-15	63	57	6		SN-42	41	48	-7	
SN-16	59	50	9		SN-43	40	45	-5	
SN-17	47	45	2		SN-44	44	48	-4	
SN-18	58	54	4		SN-45	47	47	0	
SN-19	54	50	4		SN-46	44	44	0	
SN-20	67	60	7		SN-47	39	29	10	
SN-21	35	35	0		SN-48	44	39	5	
SN-22	45	48	-3		SN-49	44	43	1	
SN-23	17	33	-16		SN-50	40	40	0	
SN-24	22	35	-13		SN-51	40	40	0	
SN-25	17	29	-12		SN-52	11	10	1	
SN-26	40	37	3		SN-53	21	23	-2	
SN-27	47	45	2		SN-54	41	40	1	

Note) RMR* : Adjusted RMR for joint orientation

Table 4.13은 X-Method를 이용한 분류 평점과 RMR_{basic}을 이용한 분류 평점을 나타내고 있다. 두 분류법간의 평점차는 -21점~5점으로 나타났으며 평점차에 대한 평균은 -8점으로 X-Method에 의한 분류평점이 RMR_{basic}에 비하여 대상 암반을 보수적으로 평가했다.

Table 4.14는 X-Method를 이용한 분류 평점과 수정 RMR의 분류 평점을 나타내고 있다. 두 분류법간 평점을 비교해 볼 때 X-Method와 수정 RMR과의 평점차는 -16~10점으로 나타났으며 평점차에 대한 평균은 -3점으로 본 연구와 RMR_{basic}을 비교한 경우보다 보수적 경향이 약하게 나타났다.

X-Method의 평가변수와 배점을 이용하여 분류한 암반의 평점과 RMR을 이용하여 분류한 평점과의 상관관계에 대하여 검토하였다.

Fig 4.2은 전체 54개 코어시료에 대하여 X-Method와 RMR_{basic}과의 상관관계를 나타내고 있으며 두 분류법간 상관관계에 따른 회귀식은 식 (4.1)과 같다.

$$RMR_{basic} = 0.86(X - Method) + 14.47 \quad (R^2 = 0.84) \quad (4.1)$$

또한 위의 식 (4.1)에서 결정계수 $R^2 = 0.84$ 로 양호한 상관성을 보이고 있다.

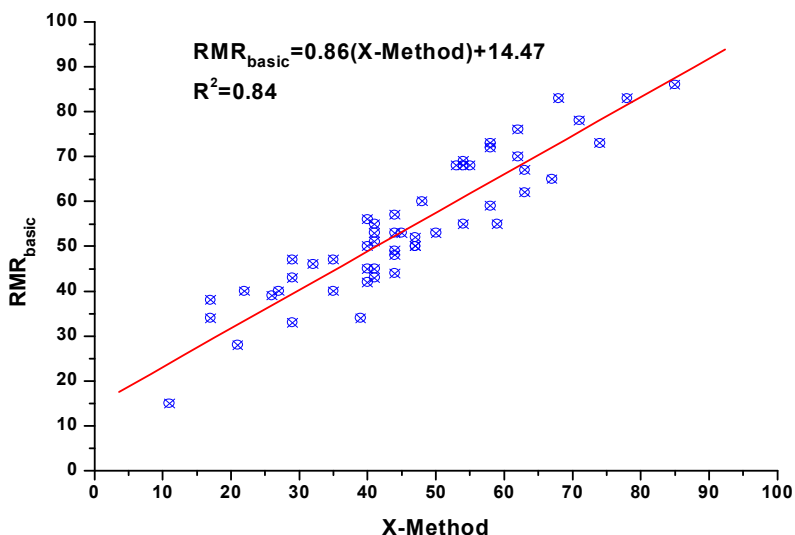


Figure 4.2 Correlation between RMR_{basic} and X-Method

절리방향에 따른 보정을 실시한 수정 RMR과 X-Method 사이의 관계는 Fig 4.3과 같다.

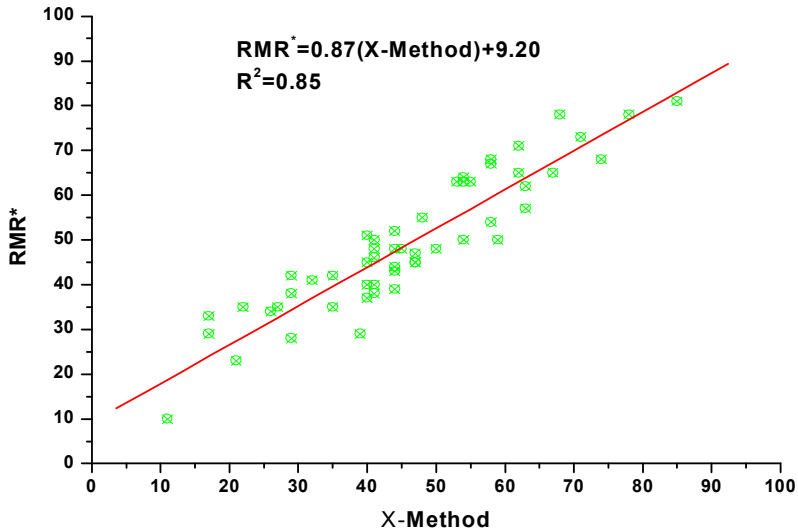


Figure 4.3 Correlation between RMR* and X-Method

수정 RMR과 X-Method 사이의 상관관계에 따른 회귀식은 식 (4.2)와 같다.

$$RMR^* = 0.87(X - Method) + 9.20 \quad (R^2 = 0.85) \quad (4.2)$$

Table. 4.15 Statistical value of regression analysis (Fig 4.2, Fig 4.3)

	Correlation	R ²	Standard Deviation (SD)
RMR _{basic} & X-Method (Fig 4.2)	$RMR_{basic} = 0.86(X - Method) + 14.47$	0.841	6.023
RMR* & X-Method (Fig 4.3)	$RMR^* = 0.87(X - Method) + 9.20$	0.846	5.948

Note) RMR* : Adjusted RMR for joint orientation

또한 수정 RMR과 X-Method의 회귀식인 식 (4.2)에서 결정계수 $R^2 = 0.85$ 로 나타났다.

X-Method와 RMR_{basic} , X-Method와 수정 RMR간의 회귀분석에 대한 통계량은 Table 4.15와 같다. 두 경우 모두 결정계수는 양호하게 나타났으며 표준편차 값 또한 각각 6.023, 5.948로 낮게 나타나 상관관계가 양호한 것으로 나타났다

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, 지하수 상태에 대한 배점을 제외하면 약 18%의 비중을 차지하고 있다. X-Method에서 절리에 대한 평가요소의 비중은 RQD 25점, 절리상태 25점, 절리간격 25점으로 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.

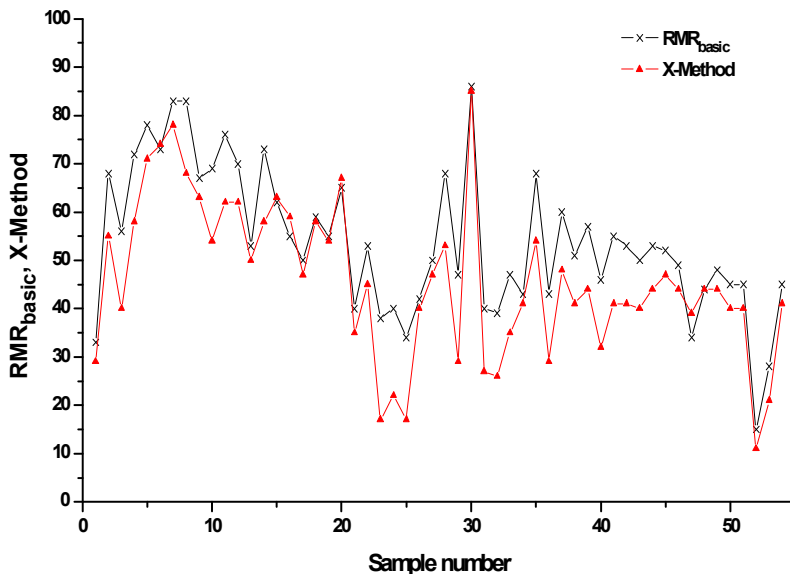


Figure 4.4 Difference between RMR_{basic} and X-Method

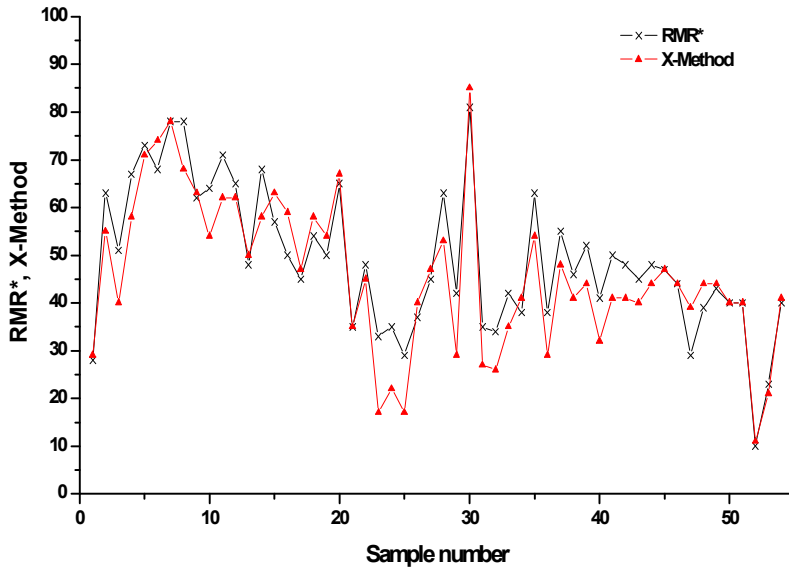


Figure 4.5 Difference between RMR* and X-Method

X-Method와 RMR_{basic}, 수정 RMR과의 평점에 대한 경향을 Fig 4.4와 Fig 4.5에 도시하였다. Fig 4.4와 Fig 4.5에서 볼 수 있듯이 X-Method가 동일 암반을 RMR분류법에 비하여 대부분 보수적으로 평가하였다. 그러나 강도변수의 평점이 비교적 낮은 SN-23, SN-24, SN-25, SN-29 등에서는 다른 샘플들보다 평점의 차이가 크게 나타났다. 이 결과로 비추어볼 때 X-Method에서는 강도변수에 대한 배점이 과다하게 적용된 것으로 사료된다. 따라서 X-Method를 상대적으로 강도가 낮은 암반에 대한 평가에 적용하는데 있어서는 정확성이 떨어질 것으로 판단된다. 그러나 RMR분류법에 의한 평점과 X-Method에 의한 평점사이에서 지하수 상태에 따른 두드러지는 상관관계는 발견되지 않았다.

본 연구에서는 암반분류에서 중요한 절리특성 반영요소인 RQD와 RMR분류법, 그리고 X-Method간의 상관관계에 대하여 검토하였다.

먼저 RMR과 RQD와의 관계를 살펴보면 RQD의 값은 0~100%까지 넓은 범위로 분포되어 있지만, RMR의 값은 대부분 약 20에서 80정도까지의 값을 나타내며 그보다 상위 값을 갖는 우수한 암반 또는 하위 값을 갖는 불량한 암반은 거의 존재하지 않는다(Fig 4.6).

RMR과 RQD의 상관관계에 관한 연구로서 선우춘 등(2001)은 식 (4.3)과 같은 상관관계를 도출하였다.

$$RMR = 0.46 RQD + 25.20 \quad (R^2 = 0.85) \quad (4.3)$$

본 연구에서 RMR_{basic} 과 RQD의 상관관계를 도기한 결과는 Fig 4.6과 같다. 또한 Fig 4.6에서 RMR_{basic} 과 RQD의 상관관계에 따른 회귀식은 식 (4.4)와 같다.

$$RMR_{basic} = 0.46 RQD + 32.32 \quad (R^2 = 0.79) \quad (4.4)$$

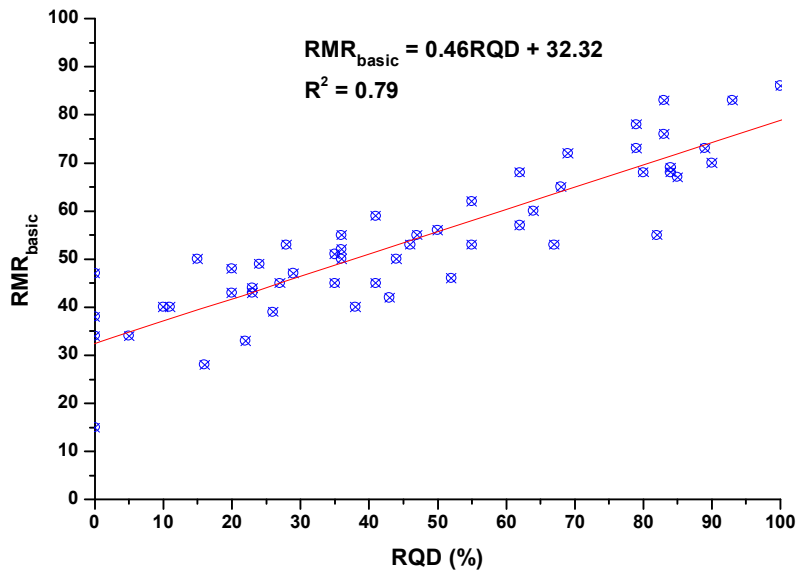


Figure 4.6 Correlation between RMR_{basic} and RQD

식 (4.4)에서 결정계수는 $R^2 = 0.79$ 로 양호한 것으로 나타났으며 선우춘(2001) 등의 회귀식과 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

또한 X-Method와 RQD와의 상관관계를 도시한 결과는 Fig 4.7과 같고 이때의 회귀식은 식 (4.5)와 같다.

$$(X-Method) = 0.45RQD + 24.88 \quad (R^2 = 0.66) \quad (4.5)$$

식 (3.5)에서 회귀식의 결정계수는 $R^2 = 0.66$ 으로 비교적 양호한 상관성이 나타났다.

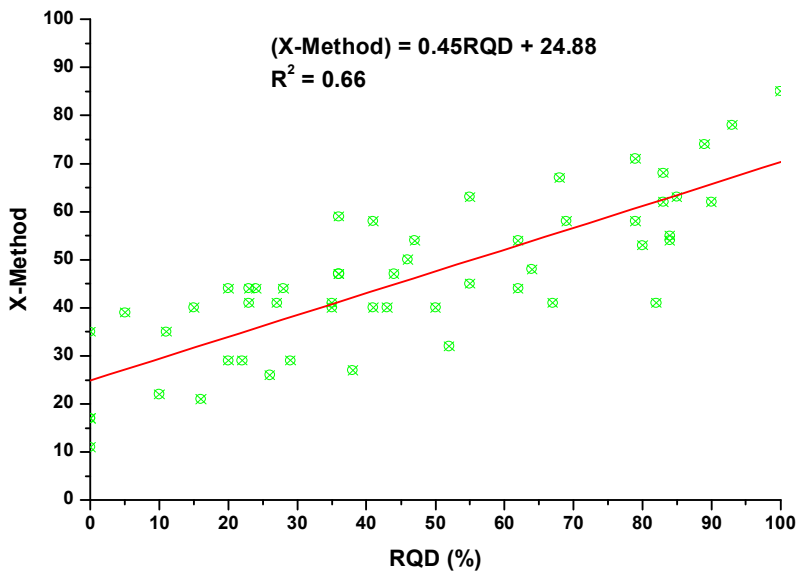


Figure 4.7 Correlation between X-Method and RQD

Table 4.16 Statistical value of regression analysis (Fig 4.6, Fig 4.7)

	Correlation	R^2	Standard Deviation (SD)
RMR _{basic} & RQD (Fig 4.6)	$RMR_{basic} = 0.46 RQD + 32.32$	0.788	6.952
X-Method & RQD (Fig 4.7)	$(X-Method) = 0.45RQD + 24.88$	0.661	9.367

RMR_{basic}과 RQD, X-Method와 RQD간의 회귀분석에 대한 통계량은 Table 4.16과 같다. 두 경우 모두 결정계수는 양호하게 나타났으며, 표준편차 또한 각각 6.952, 9.367로 상관관계가 비교적 양호한 것으로 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 RQD에서는 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.

5. 결 론

본 연구는 현장암반에 대하여 신속한 적용이 가능한 암반분류법(X-Method)을 도출하고, 기존 분류법과의 상관관계를 알아보기 위함이다. 이를 위하여 본 연구의 변수에 적용하기 위하여 국내·외 암반분류기준에 대한 검토 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 현장에서 신속한 측정 또는 시추주상도상에서 바로 획득이 가능한 정보를 이용하였다. 또한 각 분류변수는 5개의 범위로 세분하고 각각의 범위에 배점을 할당하여, 정량화 하였으며 합산점수를 이용하여 이에 따른 등급의 부여와 분류가 가능하도록 하였다.

2. X-Method는 국내 각 기관별로 다른 분류기준 값에 대한 평균치와 국외 분류기준과의 비교를 통하여 다음과 같은 분류기준과 배점을 설정하였다.

분류변수		분류기준 및 배점				
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
	암절지수(%)	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

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 SN-15, SN-20, SN-34, SN-48, SN-54에서는 수정 RMR에 의한 암반등급이 더 보수적으로 평가되었으나, 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 $RMR^* = 0.87(X-Method) + 9.20$ 로 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 RMR 과의 상관관계는 $RMR_{basic} = 0.46RQD + 32.32$ 로 나타났고, X-Method와 RQD의 상관관계는 $(X-Method) = 0.46RQD + 24.88$ 로 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.

참 고 문 헌

강병무, 박인식, 오대열, 이수곤(2004) 암반의 조사와 적용(암반분류에 대한 토의), (사)대한지질공학회, 부록 1, pp. 1-16

김경수(2004) 암반의 조사와 적용(불연속면 조사), (사)대한지질공학회, 1.1, pp. 6

노병돈(2002) 공학적 지질조사의 정량화와 암반분류, 지질공학 단기실무강좌, (사) 대한지질공학회. pp. 5-41

박철환, 박찬, 신중호(2006) 암반등급 분류법들의 비교연구, 한국암반공학회지, 제 16권 제 3호, pp. 203-208

선우춘 외(2001), 암반분류방법간의 상관관계에 대한 고찰, 한국지반공학회논문집, 제 17권 4호, pp. 127-134

선우춘, 정용복(2006) 기존의 암반분류법의 조합에 의한 새로운 암반평가법의 제안, 대한화약발파공학회, 제 24권 1호, pp. 21-28

신방웅, 송평현, 채현식, 오세욱(1995) 암판정 기법에 관한 실험적 연구, 건설기술연구소 논문집, 제 14권, 제 1호, pp. 39-49

신희순 외(2002), 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, 구미서관, pp. 136-137, 138-139, 184-186, 221-258

양훈재(2007), 지하채굴공동 안정성 해석을 위한 암반등급 분류법의 비교연구, 조선대학교 석사학위논문, pp. 3-9

이상돈, 박연준(2002) 암반등급에 따른 도로터널 지보체계 개선 연구, 한국도로공사 교통기술원, pp. 6-23

이수곤, 이송(1995) 점하중강도(Point Load Test)를 이용한 일축압축강도 추정방법, 대한토목학회, Vol. 15, NO. 4, pp. 1015-1027

이수곤(2004) 암반의 조사와 적용(풍화조사), (사)대한지질공학회, 1.2, pp. 12-23

정남수(2003) 암질지수(RQD)에 관한 고찰, Seminar for Rock Mass Classification, pp. 37-48

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

Bhawani singh & R. K. Goel(1999) Rock Mass Classification A Practical Approach in civil Engineering, Elsevier, pp. 3, 17-24, 34-46, 62-83

C. O. Aksoy(2008) Review of rock mass rating classification : Historical developments, applications, and restrictions, Journal of Mining Science, Vol. 44, No. 1, pp. 51-63

D. Miline, J. Hadjigeorgiou, R. Pakalnis(1998) Rock mass characterization for underground hard rock mines, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 4, pp 383-391

D. Kolymbas(2005) Tunnelling and tunnelling mechanics a rational approach to tunnelling, Springer, pp. 64-72

E. Hoek, P. K. Kaiser, W. F. Bawden(1995) Support of Underground Excavation in Hard Rock, A.A.Balkema, Rotterdam, pp. 29-31, 33-45

F. G. Bell(1992) Engineering in Rock Masses, Butterworth-Heinemann, pp. 33-35, 54-77, 60-63

Geotechnical Engineering Bureau(2006) ROCK CORE EVALUATION MANUAL

J. A. Franklin(1985) Suggested method for determining point load strength, ISRM Commission on Testing methods, Int. J. Rock. Mech. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 22. pp. 51-60

Ming Cai, P. K. Kaiser(2006) Visualization of rock mass classification systems, Geotechnical and Geological Engineering, 24, pp. 1089-1102

N. Barton, R. Lien, J. Lunde(1974) Engineering Classification of Rock masses for Design of Tunnel Support, Rock Mechanics 6, pp. 189-236

Richard E. Goodman(1989) Introduction to rock mechanics, John Wiley & Sons, New York, pp. 36-37, 42-53

R. Rahmamejad and Mohammadi(2007) Comparison of Rock mass classification systems, Journal of Mining Science, Vol. 44, No. 4, pp. 404-408

Z. T. Bieniawski(1989) Rock mechanics design in mining and tunnelling, A.A.Balkema, Rotterdam, pp. 97-135

감사의 글

어느덧 2년간의 대학원 생활을 마치려는 이 시점에서 제가 이 자리에 있기까지 항상 힘이 되어 주신 모든 분들께 감사의 마음을 전하려고 합니다.

학부 생활부터 대학원 생활까지 항상 웃음과 정으로 이끌어주신 지도교수님이신 강추원 교수님께 정말 진심으로 고개숙여 감사드립니다. 그리고 학부 때부터 많은 애정과 관심으로 지도해 주신 박영석 교수님, 한오형 교수님, 고진석 교수님, 박천영 교수님, 강성승 교수님께도 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

항상 저희 암석역학실험실에 따뜻한 관심과 가르침을 주시는 원우회 선배님이신 원연호 선배님, 김영희 선배님, 추영래 선배님, 한남철 선배님, 조영동 선배님, 노영배 선배님, 이호 선배님, 박정봉 선배님, 문창일 선배님, 최태홍 선배님, 김재웅 선배님, 이장복 선배님, 황남순 선배님, 안기호 선배님, 김연수 선배님, 이창원 선배님, 이창훈 선배님, 이수연 선배님, 유기정 선배님, 오현 선배님, 정순오 선배님, 최강일 선배님, 김영석 선배님, 김윤택 선배님께 감사드립니다.

실험실이라는 울타리 안에서 많은 시간을 함께 한 우리 암석역학실험실의 선후배님들께도 감사의 말을 전하고 싶습니다. 항상 큰 형처럼 든든한 바람막이가 되어주시는 호민이형, 항상 냉정하게 평가해주시고 조언과 충고를 아끼지 않으시는 복현이형 정말 감사합니다. 그리고 실험실에서 생활하는 2년 동안 선배로서 또 든든한 친구로서 함께 해준 동조, 요즘 정말 고생 많은 청신이에게도 고맙다는 말을 꼭 전하고 싶습니다.

그리고 조교업무에 실험실 일에 항상 바쁜 장원이, 암석역학실험실의 일꾼 하림이, 이제 제법 의젓해진 승은이, 막둥이 형주에게도 고마운 마음을 전합니다.

오랜 시간을 함께 하지는 못했지만 항상 건강한 웃음으로 저를 대해준 지우형, 그리고 이제는 사회인으로서 당당히 나아가고 있는 태철이에게도 감사의 말을 전합니다.

같은 실험실에서 생활하지는 않았지만 언제나 저를 반겨주셨던 김종균 선배님, 강현호 선배님, 승욱이형, 대학원 입학 동기들인 태진이와 영의, 그리고 계민이, 승희, 우경이, 정재, 승한이에게도 고마움을 전합니다.

대학생활의 많은 추억을 선물해 준 우리 동기모임의 승현, 택준, 도정, 성은, 학중, 하나, 덕애, 미영이에게도 고마움을 전합니다.

마지막으로 제가 세상을 향해 설 수 있는 힘을 주는 우리 가족, 저를 위해 항상 헌신하시는 아버지, 어머니, 저를 항상 믿고 따라주는 동생 흥진이, 무뚝뚝하고 못난 아들

이, 형이, 마음속에 담아두고 하지 못했던 말을 해봅니다. 항상 사랑합니다. 그리고 감사합니다.

저작물 이용 허락서

학 과	자원공학과	학 번	20087099	과 정	석 사
성 명	한글 : 김 홍 표		한문 : 金 洪 杓	영문 : Kim, Hong Pyo	
주 소	광주광역시 광산구 우산동 주공연립 64동 103호				
연락처	E-mail : karismahp@hanmail.net				
논문제목	한글 : 현장암반 평가에 관한 제안				
	영문 : A suggestion of in situ rock mass evaluation				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억 장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의() 반대()

2010 년 2 월

저작자 : 김 홍 표



조선대학교 총장 귀하