

암반분류에서 RMR과 Q System의 상관성 분석

A Study on Relationship Between RMR and Q System in Rock Mass Classification

안종필¹⁾, Ahn, Jong-Pil, 박주원²⁾, Park, Ju-Won, 박상도³⁾, Park, Sang-Do

¹⁾ 조선대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chosun University

²⁾ 조선대학교 건설기술연구소 연구원, Researcher, Construction Technology Research Institute, Chosun University

³⁾ 조선대학교 산업대학원 토목공학과 석사, M. S., Dept. of Civil Engineering, Graduate School of Chosun University

SYNOPSIS : This paper resorts to rock mass rating and rock mass quality to draw value based on the evaluation of rock and to draw interrelation formula in relation to rock mass quality. A comparative analysis was given of survey values reported in the existing documents. This paper has tried to find out the relationship between RMR and Q System for the sake of choosing rational reinforcing patterns and of the safety of tunnels. The results run as follow: $RMR=8.25\ln(Q)+43.83$. This paper has also tried to find out the relationship between RMR and Q System by using Fuzzy Approximate Reasoning Concept. We suggest that those in charge should not depend on a single system only after evaluating the classification of rocks, and compare one result with another for the good of keeping track of the condition of base rocks in a better way.

Key words : the relationship between RMR and Q System, Fuzzy Approximate Reasoning Concept

1. 서 론

터널이나 암반사면 등을 포함한 토목공사에 있어 암반구조물의 효율적이고 안전한 설계와 시공 및 유지관리를 위해서는 굴착 대상인 암석과 암반의 공학적 특성 등을 명확히 파악하는 것이 매우 중요하며, 이 때 실시하게 되는 암반분류는 암반을 구성하는 암석의 강도, 풍화와 변질정도 및 암반의 불균질성과 불연속성 등에 관한 사항을 현장에서 조사하여 일정한 기준에 따라 암반을 몇 가지 등급으로 나누어 구분하는 것이다. 암반분류 기준은 객관적이고 간편해야 함과 동시에 대상으로 하는 모든 암반에 적용할 수 있어야 하며, 구조물의 설계와 시공에 필요한 정보를 충분히 제공하여야 한다.

그러나 현실적으로 암반사면이나 지하구조물의 설계 시에 현장 암반의 지질구조 및 역학적 조건에 대한 정보를 완벽하게 갖추기는 대단히 어렵기 때문에 대부분 분석 대상암반에 대한 자료가 결핍된 상황 또는 한정된 자료에 의존해야 하는 상황에 처하게 되며, 특히 현장 암반에 분포하는 절리나 층리와 단층 및 파쇄대 등 불연속면에 대한 자료는 설계단계에서 있어 항상 불충분한 상태에 있다고 볼 수 있다.

근래에 일반적으로 이용되어지고 있는 RMR분류법은 암반분류방법 중에서 암반의 중요특성 등이 고려된 실용성과 효율성이 높은 평가방법인 반면에 평가의 종합적인 결론을 유추하는 과정이 명확하지 않고, 전문기술자의 경험적 주관에 따른 정성적인 판단에 의존하여 객관적으로 평가하는 것이 어렵기 때문에 판단에 개인차를 수반하는 것이 현실이다. RMR분류법에 의해 개략적인 안정성의 파악이 이루어진 이후에는 필요한 보강패턴을 체계적으로 제시하는 방법으로 Q System이 이용되어 진다. 그러나 Q System은 절리와 지하수 및 현장응력과 같은 각 변수들의 등급이 지나치게 세분화되어 있으므로 Q값을 구하는 과정에서 사용자가 정확한 값을 선택하는 작업이 어렵게 되어 있다. 이러한 이유로 좀 더 일반

적인 선택기준을 가진 암반분류법인 RMR과 Q System간의 상관관계를 파악하려는 시도가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 암반구조물의 안정성 평가에 있어 실제 설계사례에 적용된 RMR분류법과 Q system의 결과치를 토대로 암반구조물의 설계과정에서 요구되는 안전성 예측 및 보강제시를 위한 RMR과 Q System 사이의 상관식 도출과 함께 상관관계를 면밀히 분석하여 보았다. 동시에 RMR과 Q System의 6가지 평가기준을 각각 퍼지이론에 의한 암반구조물의 안정성 평가요인으로 가정한 후에, 각 암반구조물의 평가요인에 대한 주관적 판단을 퍼지언어변수로 표현하는 퍼지근사추론법(Fuzzy Approximate Reasoning Concept)^{1,2)}을 이용하여 암반구조물의 안정성 평가를 수행 분석해 봄으로서 보다 합리적인 암반구조물의 안정성 평가방법을 제시해 보고자 한다.

2. 암반분류 및 평가방법

암반분류 및 평가법은 암반의 역학 성상에 관한 항목이나 안정성에 관한 모든 요인 즉 지형, 식생, 지하수 등에 대하여 육안관찰과 원위치시험 등에 의해 관찰을 하고 경험적·통계적 견지에서 종합적으로 구분 평점하는 것이다. 즉 암반사면이나 터널에 있어서는 암반분류결과로부터 사면의 절토구배나 터널의 시공방법 등이 직접 결정되며, 안정해석을 하는 경우에 있어서도 암반분류 등급별로 설계정수를 설정하여 해석을 하는 것이 일반적이다.

이러한 암반분류 및 평가법은 국내·외에서 많은 방법이 고안되고 있으나, 보통 이용되고 있는 것으로는 Biniawski⁸⁾(1979)에 의해 제안된 RMR(Rock Mass Rating for the Geomechanics Classification)분류법과 Barton, Line, Lunde⁷⁾(1974)에 의해 제안된 Q System 등이 있으며, 두 가지 모두 정성적인 방법으로서 Rock Bolt나 Shotcrete와 같은 암반구조물 보강재의 설계치를 결정할 수 있는 자료를 제공한다. 그 외에 암반구조물의 안정성 평가에 있어 두 가지 방법의 평가요인을 정량적으로 해석할 수 있는 평가법으로서 본 연구에서 다루고자 하는 퍼지근사추론법^{1,2)} 등을 들 수 있으며, 본 장에서는 위와 같은 암반분류 및 평가방법에 대해 기술하고자 한다.

2.1 RMR 분류법

RMR분류법은 신선암의 강도, 암질계수(RQD), 불연속면의 간격, 불연속면의 상태, 지하수의 상태 및 불연속면의 방향성 등 총 6가지 요인을 반영하여 산출되고, 산출된 RMR값은 5개의 암반등급으로 구분하여 평가하며, 표 1과 표 2에 의한다.

표 1. RMR분류법을 이용한 암반의 평가방법

평가요인	값의 범위							
	> 250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	<25	
1 일축압축강도	> 250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	<25	
점수	15	12	7	4	2	1	0	
2 RQD(%)	90~100	75~90	50~75	25~50	<25			
점수	20	17	13	8	3			
3 절리면의 간격	> 2m	0.6~2m	0.2~0.6m	0.06~0.2m	<0.06m			
점수	20	15	10	8	5			
4 절리면의 상태	매우 유리	유리	양호	불리	매우 불리			
점수	30	25	20	10	0			
5 지하수의 상태	완전 건조	습윤	젖음	물방울 떨어짐	물이 흐름			
점수	15	10	7	4	0			
6 주향과 경사	아주 유리함	유리	양호	불리함	아주 불리함			
점수	0	-2	-5	-10	-12			

표 2. RMR분류법에 의한 암반의 평가기준

등급	I	II	III	IV	V
점수	100~81	80~61	60~41	40~21	<20
구분	아주 우수	우수	양호	불량	아주 불량

2.2 Q System에 의한 분류방법

Q System에 의한 평가방법은 6개의 변수를 이용하여 암반의 암질을 정량적인 수치로 평가한다. 6가지 변수는 암질계수(RQD), 절리군의 수(J_n), 절리면의 상태(J_r), 절리면의 변질정도(J_a), 지하수의 상태(J_w) 및 응력조건(SRF) 등이며, 6가지 변수들을 3개의 그룹으로 나누어 종합적으로 암반의 암질 Q를 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

암질 Q는 각 요소의 최소 최대값을 조합했을 때 $10^{-3} \sim 10^3(0.001 \sim 1,000)$ 사이의 값으로 표시되며, 산출된 값을 기준으로 9개의 등급으로 구분하여 평가하며, 터널의 경우 폭과 Q값에 따라 지보방법을 제시하게 된다.

2.3 퍼지근사추론법

본 연구에서 다루고자 하는 퍼지근사추론법¹²⁾은 RMR분류법과 Q System에 의한 각각의 6가지 평가 요인에 대한 전문가의 주관적 판단을 퍼지언어변수로 표현하는 퍼지근사추론법을 이용하여 암반구조물의 안전성 평가를 수행하는 방법으로서 퍼지이론에 의한 암반구조물의 판정구분은 표 3 및 4와 같이 된다.

표 3. RMR분류법에 따른 퍼지근사추론 판정구분

분류	요인	판정구분				
		A	B	C	D	E
X1	시료의 일축압축강도(kg/cm ²)	매우 큼 (>2500)	큼 (1000~2500)	중간 정도 (500~1000)	적음 (250~500)	매우 적음 (250~0)
X2	암질표시율(RQD) (%)	매우 양호 (90~100)	양호 (75~90)	보통 (50~75)	불량 (25~50)	매우 불량 (25>)
X3	절리면 간격(cm)	매우 넓음 (>200)	넓음 (60~200)	중간 정도 (20~60)	협소함 (6~20)	매우협소함 (6>)
X4	절리면 상태	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량
X5	지하수 상태	건조	습윤	젖음	소량 유출	대량 유출
X6	절리면의 경사에 따른 조정	매우 유리	유리	양호	불리	매우 불리

표 4. Q System에 따른 퍼지근사추론 판정구분

분류	요인	판정구분				
		A	B	C	D	E
Y1	암질계수(RQD) (%)	매우 양호 (90~100)	양호 (75~90)	보통 (50~75)	불량 (25~50)	매우 불량 (25~0)
Y2	절리군의 수(J_n)	0~1개의 절리군	(1개+산발적인절리)~2개의 절리군	(2개+산발적인절리)~3개의 절리군	(3개+산발적인절리)~4개의 절리군	심하게 파쇄
Y3	절리면의 상태(J_r)	불연속적인 절리	거칠거나 불규칙	부드럽고 기복이 있음	평활면으로 기복이 있음	평활면으로 판상
Y4	절리면의 변질정도(J_a)	변질이 없고 불투수층	비연화광물의 피복	연화광물 혹은 점토의 피복	비연화성 점토광물의 충전	연화성 점토광물의 충전
Y5	지하수의 상태(J_w)	건조 혹은 소량 유출	약간의 충전물과 약간의 유출	충진물이 없고 대량의 유출	충진물이 있고 대량의 유출	극히 많은 유출
Y6	응력계수(SRF)	낮은 응력, 지표 부근	중간 응력	매우 견고하나 높은 응력	약간의 암반 파열	심한 암반 파열

본 연구에서는 퍼지집합에 필요한 각 요인별 판정구분의 소속도함수(membership function)를 각각 $\mu_{A_i}(A)=0.5/4.5+1.0/5.0$, $\mu_{A_i}(B)=0.5/3.5+1.0/4.0+0.5/4.5$, $\mu_{A_i}(C)=0.5/2.5+1.0/3.0+0.5/3.5$, $\mu_{A_i}(D)=0.5/1.5+$

1.0/2.0+0.5/2.5 및 $\mu_{A_i}(E)=1.0/1.0+0.5/1.5$ 의 5단계로 설정하였고, 각 요인별에 대한 비율을 중요도계수로 하는 가중치평균개념을 이용한 종합적 판정의 근사화과정에 있어 Kaufmann의 해밍거리(hamming distance)^{1,2)}의 개념을 도입하였다. 이 때 중요도계수는 원위치암반의 성상에 기초하여 암반분류자의 경험이나 지식과 통계적 자료에 의해 정해지는 계수로서 본 연구에서 적용한 각 요인별의 판정구분에 대한 중요도계수는 표 5와 같다.

표 5. 각 요인별 판정구분에 대한 중요도계수

구 분	RMR 분류법						Q System법					
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
중요도계수	0.5	0.5	1.0	1.0	0.7	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.7	0.5

RMR 및 Q System의 암반상태분석은 암반평가에 의한 수치등급의 평점합계를 분류하여 평가하는 반면에 퍼지근사추론법에 의한 방법은 각각의 6가지 인자에 대한 표현을 하나의 특정한 인자로 변형시키는 것이 아니고 중요도계수와 퍼지언어변수를 이용하고 각 인자의 퍼지언어변수값은 근사추론법에 의해 합성하므로써 종합적인 결론을 도출하게 된다. 퍼지근사추론으로 해석한 암반구조물의 평가기준은 표 6과 같이 된다.

표 6. 퍼지근사추론에 의한 암반구조물의 평가기준

평가등급	평가기준 및 유지관리사항		
	평가기준	파괴가능성	보수·보강
A	완전히 안정	없음	필요없음
B	안정	일부 불력	때때로 필요
C	부분적 안정	일부 절리 혹은 썩기파괴	체계적인 보강
D	불안정	평면 또는 대규모 썩기파괴	중요/보완
E	완전히 불안정	대규모 썩기파괴 토층과 유사한파괴	재굴착

3. 설계사례의 정리 및 회귀분석

본 연구에서는 RMR분류법과 Q system의 상관성 분석을 위하여 광주광역시 소재 4개소와 전라남도 화순군 소재 15개소 터널설계 사례 중 총 66개소 암반구간을 이용하였으며, RMR분류법과 Q System을 동시에 적용하여 도출한 결과치를 정리하면 표 7과 같다.

표 7. 66개소 터널 암반구간의 RMR분류법과 Q System에 의한 결과치

구 간	RMR값	Q System값	구 간	RMR값	Q System값	구 간	RMR값	Q System값
TB-1	56	10.692	TB-23	57	3.663	TB-45	51	2.233
TB-2	55	9.9	TB-24	61	11.616	TB-46	49	1.4
TB-3	50	3.3	TB-25	55	4.488	TB-47	53	5
TB-4	59	5.016	TB-26	61	11.748	TB-48	57	2.333
TB-5	55	9.768	TB-27	40	0.348	TB-49	62	25.5
TB-6	32	0.528	TB-28	52	2.31	TB-50	78	15
TB-7	61	3.652	TB-29	64	6.27	TB-51	77	24.534
TB-8	50	1.238	TB-30	37	0.319	TB-52	78	9.7
TB-9	61	5.28	TB-31	59	2.64	TB-53	78	10
TB-10	59	8.316	TB-32	37	0.759	TB-54	61	5.85
TB-11	50	3.3	TB-33	69	19.8	TB-55	84	17.334
TB-12	34	0.875	TB-34	61	4.059	TB-56	23	0.325
TB-13	61	5.544	TB-35	61	4.604	TB-57	33	0.5
TB-14	40	0.99	TB-36	42	1.155	TB-58	34	0.55
TB-15	56	4.158	TB-37	61	8.188	TB-59	54	11.625
TB-16	55	2.409	TB-38	43	0.438	TB-60	58	13.312
TB-17	64	19.8	TB-39	41	0.233	TB-61	60	18.25
TB-18	55	1.155	TB-40	33	0.333	TB-62	54	9.75
TB-19	55	9.768	TB-41	28	0.208	TB-63	38	0.178
TB-20	32	0.396	TB-42	33	0.333	TB-64	28	1.2
TB-21	45	4.663	TB-43	33	0.458	TB-65	30	0.194
TB-22	34	0.308	TB-44	31	0.125	TB-66	46	1.075

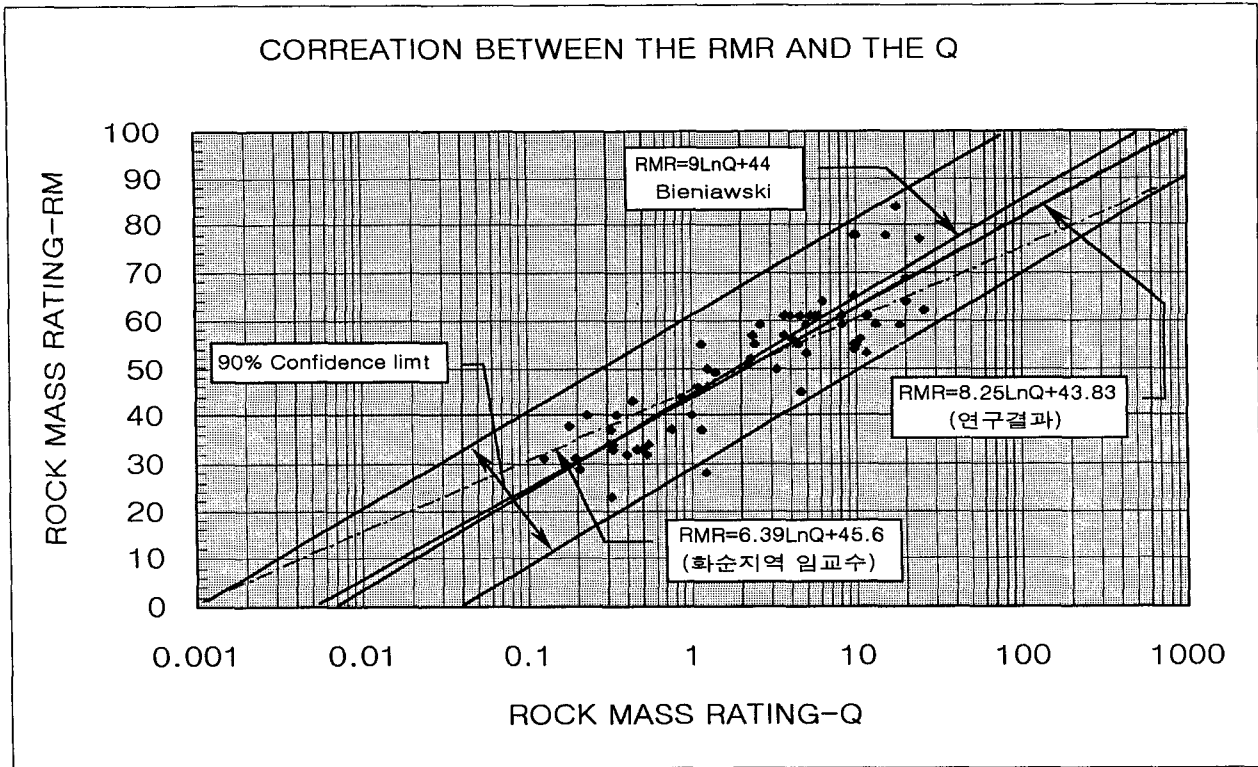


그림 1. RMR과 Q System의 상관관계

표 7의 자료를 이용하여 RMR분류법과 Q System의 상관성을 위의 그림 1과 같이 회귀분석한 결과 다음의 식 (2)와 같은 상관관계식이 도출되었다. 지금까지 연구된 RMR분류법과 Q System 사이의 상관식을 정리해 보면 다음의 표 8과 같으며, 본 연구에서 도출된 식은 Bieniawski(1976)의 식과 가장 근접함을 알 수 있다.

$$RMR=8.25\ln Q+43.83 \quad (2)$$

표 8. RMR분류법과 Q System의 상관식

개발시기	개발자	개발대상	상관식
1979	Bieniawski ⁸⁾	62가지 스칸디나비아반도 사례 28가지 남아프리카공화국 사례 21가지 미국 사례(토목용 터널)	$RMR=9\ln Q+44$
1978	Rutledge and Preston	7가지 뉴질랜드 터널 프로젝트	$RMR=5.9\ln Q+43$
1984	Abad et al	187가지 스페인 석탄광산 사례	$RMR=10.5\ln Q+41.8$
1986	Keiser	캐나다 철도터널 프로젝트	$RMR=8.7\ln Q+38$

4. 퍼지근사추론법에 의한 분석

본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 암반구조물의 안정성 평가에 있어 퍼지근사추론에 의한 평가분석기법을 적용해 보았으며, 이 때 RMR분류법과 Q System에 따른 암반구조물의 안정성 분석평가를 구성하고 있는 각각의 요인들에 대해서 전문가의 주관적 판단을 기초로 하여 언어학적 판단을 정량적으로 평가할 수 있는 퍼지집합의 개념을 응용하여 수행하였다. 퍼지근사추론에 의한 암반구조물의 안정성 평가에 있어 전철의 분석절차를 통해 도출한 판정결과는 표 9 및 그림 2와 같다.

표 9. 퍼지근사추론에 의한 RMR분류법과 Q System의 분석결과

구 간	평가등급		구 간	평가등급		구 간	평가등급	
	RMR분류법	Q System		RMR분류법	Q System		RMR분류법	Q System
TB-1	C	B	TB-23	C	D	TB-45	C	D
TB-2	C	C	TB-24	B	B	TB-46	C	D
TB-3	C	D	TB-25	C	C	TB-47	C	C
TB-4	C	C	TB-26	B	B	TB-48	C	D
TB-5	C	C	TB-27	D	E	TB-49	B	B
TB-6	D	E	TB-28	C	D	TB-50	B	B
TB-7	B	D	TB-29	B	C	TB-51	B	B
TB-8	C	D	TB-30	D	E	TB-52	B	C
TB-9	B	C	TB-31	C	D	TB-53	B	C
TB-10	C	C	TB-32	D	E	TB-54	B	C
TB-11	C	D	TB-33	B	B	TB-55	A	B
TB-12	D	E	TB-34	B	C	TB-56	E	E
TB-13	B	C	TB-35	B	C	TB-57	D	E
TB-14	D	E	TB-36	C	D	TB-58	D	E
TB-15	C	C	TB-37	B	C	TB-59	C	B
TB-16	C	D	TB-38	C	E	TB-60	C	B
TB-17	B	B	TB-39	C	E	TB-61	C	B
TB-18	C	D	TB-40	D	E	TB-62	C	C
TB-19	C	C	TB-41	D	E	TB-63	D	E
TB-20	D	E	TB-42	D	E	TB-64	C	D
TB-21	C	C	TB-43	D	E	TB-65	D	E
TB-22	D	E	TB-44	D	E	TB-66	C	D

THE RMR AND THE Q by FARC

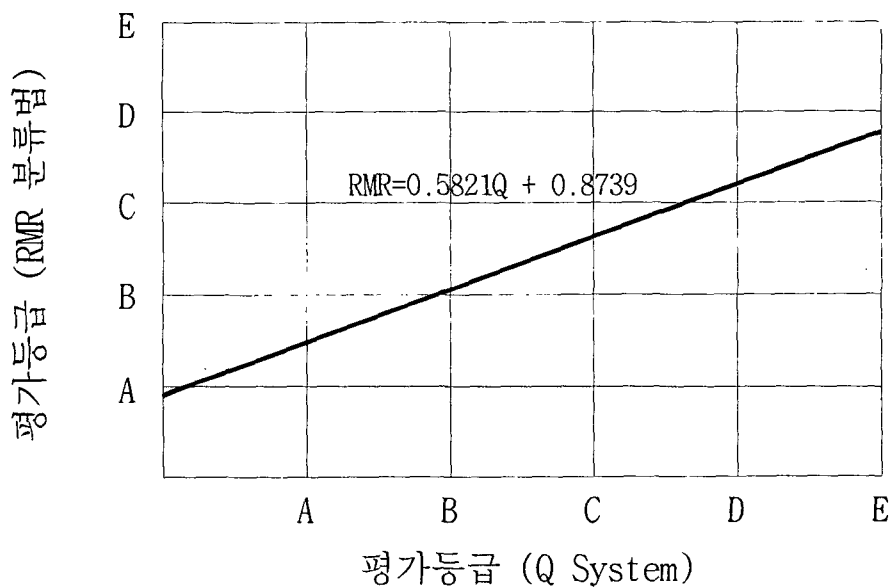


그림 2. 퍼지근사추론에 의한 RMR분류법과 Q System의 상관 직선식

퍼지근사추론에 의해 RMR분류법과 Q System의 상관성을 분석해 본 결과 그림 2에서와 같이 전반적으로 Q System에 비해 RMR분류법의 평가 결과가 좀 더 안정측으로 나타난 것을 알 수 있다. RMR분류법에서의 분석과정을 살펴보면 판정에 영향을 미치는 인자 중 암석코어의 일축압축강도와 RQD값이 차지하는 비중이 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 이로부터 암석코어실험의 정확도나 보편성에 따라 RMR분류법에 의한 암반구조물의 안정성 평가 결과가 크게 달라질 수 있음을 알 수 있다.

이에 반해 Q System은 RMR분류법에 비해 암반의 전단강도에 보다 주안점을 두었고, 현장응력을 고려하였으며, 절리의 방향성은 고려하지 않았다. 특히 터널공사 시 절리군의 수와 취약 절리면의 거칠기 및 충전물 또는 변질정도가 절리의 방향보다 그 영향이 훨씬 크며, RMR분류법에 비해 보다 세밀하고 구체적이며 체계적인 평가과정을 반영하고 있다. 그러나 대부분의 구간에서 상대적으로 유사한 결과를 나타내고 있는 점으로 미루어 보아 암반구조물의 평가에 있어 두 가지 방법의 비교를 통한 평가결과의 보다 정확한 검증이 가능할 것으로 판단되었다.

대부분의 암반분류 및 평가법은 특정한 지질조건에 적합하게 개발되었으므로 암반분류법의 개발환경과 유사한 조건을 가진 암반공사를 수행하는 경우에는 유익하나, 이러한 접근방법은 경험적 측면에 너무 치우치기 때문에 기금까지 이러한 단점을 해결하기 위해 암반분류법들 사이의 상관관계를 정의함으로써 각 분류법이 지니고 있는 지역성을 극복하려는 노력들이 있었다. 이와 같은 배경을 두고 본 연구에서는 현재 가장 널리 사용되고 있는 RMR분류법과 Q System의 상관식을 실제 설계자료의 회귀분석을 통해 도출해 보았고, 퍼지근사추론을 이용하여 상호 연관성을 고찰해 보았다. 본 연구에서 분석 고찰한 방법을 실제 암반구조물의 안정성을 평가에 적용하는 경우 토목구조물로서의 암반의 특수성을 종합적으로 고려하는 동시에 평가과정을 좀더 객관적으로 받아들일 수 있다는 점에서 유효한 것으로 사료되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 암반구조물의 평가기법 중 현재 가장 널리 사용되고 있는 RMR분류법과 Q System의 상관식을 실제 설계자료의 회귀분석을 통해 도출해 보았고, 퍼지근사추론을 이용하여 상호 연관성을 고찰해 보았으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 암반구조물의 합리적인 평가와 보강 대책의 수립에 참고가 되도록 RMR과 Q값의 상관식을 도출해 본 결과 Bieniawski(1976)의 식에 근접하는 $RMR=8.25\ln(Q)+43.83$ 으로 나타났다.
2. 퍼지근사추론에 의해 RMR분류법과 Q System의 상관성을 분석해 본 결과 전반적으로 Q System에 비해 RMR분류법의 평가 결과가 좀 더 안정측으로 나타났다.
3. RMR분류법에서 판정 인자 중 암석코어의 일축압축강도와 RQD값이 차지하는 비중이 상대적으로 큰 것으로 나타났으며, 암석코어실험의 정확도나 보편성에 따라 RMR분류법에 의한 암반구조물의 안정성 평가 결과가 크게 변화하는 것으로 나타났다..
4. Q System에서 판정인자 중 절리군의 수와 취약 절리면의 거칠기 및 충전물 또는 변질정도가 절리의 방향보다 그 영향이 비교적 큰 것으로 나타났다.
5. 대부분의 구간에서 상대적으로 유사한 결과를 나타내고 있는 점으로 미루어 보아 암반구조물의 평가에 있어 두 가지 방법의 비교를 통한 평가결과의 보다 정확한 검증이 가능할 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 안중필, 이증빈, 박경환, 박주원(1998), "퍼지근사추론을 이용한 암반사면의 안전성 평가모형", 한국 구조물진단학회 가을학술발표회 논문집, 제2권 제2호, pp.113~118
2. 안중필, 박주원, 오수동(1999), "암반사면의 안정성 평가 및 적용에 관한 연구" 한국지반공학회 99 가을학술발표회 논문집, pp. 177~184.
3. 한국암반공학회(1999), "건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술" 과학기술, pp. 483~597.
4. 한국지반공학회(2000), "토목기술자를 위한 암반공학." 구미서관, pp. 265~357.
5. 西 邦正·古川浩平·中川浩二(1992), "ファジィ理論を用いたのり面崩壊要因および崩壊可能性の評価について",土木學會論文集, 第445号/III-18, pp.109~118
6. Abdullatif, O, M, and D. M. Cruden(1983), "The Relationship between Rock Mass. Quality and Ease of Excavation." Bull. Int. Assoc. ENG.
7. Barton N(1974), "Engineering classification of rock for the desion of tunnel support Rock Mech. and Rock Eng" .
8. Bieniawski, Z. T.(1979), "The geotechnics classification in rock engineering applications",pro. 4th Int. Cong.on Rock Mech(Montreux), ISRM, Balkema,Vol.2, pp.41~48
9. Cundall, p.(1975), "Computerized design of rock slopes using interactive graphics", 16th US Rock Mechanics Symposium.
10. Deere, D. U, and D. W. Deere(1988), "The RQD Index in Practice." Proc Symp Tock Clssif Eng Purp, ASTM Special Technical Publication 984, Philadelphia.
11. Duncan, N.(1969), "Engineering geology and Rock mechanics", Vol. I, Leonard Hill,
12. Goodman, R. E.(1978), "不連続巖盤の地質工學", pp.41~46.
13. Lauffer, H(1958), "Gebirgdklassifizierung für drn Dtollrnbau." Geol Bauwesen 74.
14. Romana, M.R.(1993), "A geomechanical classification for slope: SMR, in Comprehensive Rock Eng, Pergamon Press, Vol3.
15. Skinner, E. H(1988), "A Ground Support Prediction Concept - the RSR Model." Procypm. Rock Class. Eng. Purp, ASTM Specoal Technical Publication 984, Phiadelphia.
16. Terzaghi, K(1946), "Rock Defectc and Loads on Tunnel Support." Rock Tunneling with Steel Suport, ed. R. V. Proctor and T. White, Commercial Shearing Co. Youngstown, OH.