

RMR 및 Q 암반분류법의 평가 요소간 친숙도 관계 분석

신중호¹⁾, 박철환²⁾, 선우춘^{2)*}

Analysis of Acquaintance Relations Between Parameters of RMR and Q Rock Mass Classification System

Joong-Ho Synn, Chulwhan Park and Choon Sunwoo

Abstract Rock mass classification methods such as RMR and Q system have different characteristics each other in parameters considered and applications, and so it is very important to prescribe the relationship between parameters for the analysis of correlativity of these methods. With the field data of RMR and Q estimation in road construction sites, the acquaintance relations between RMR and Q of rock mass classifications are analyzed. The correlation equations between parameters of RMR and Q, matrix of correlation coefficients and the generalized form of acquaintance relation matrix are derived. This acquaintance relation matrix can be further extended to the form of generalized acquaintance relation network, and could be used to analyze the correlativity and to enhance the utility of common rock mass classification methods.

Key words Rock mass classification, RMR and Q, Correlativity, Correlation coefficient matrix, Acquaintance relation network

초 록 RMR, Q 등의 암반분류법들은 평가 요소 및 적용에 있어 특징적인 차이를 가지고 있어서 이들 암반분류법의 상관성 및 호환성 분석에 있어서는 평가 요소들의 특성별 그룹화 및 평가 요소간의 상관관계 즉, 친숙도 관계가 정확히 규정되어야 한다. 본 연구에서는 현장지반조사를 통해 획득한 RMR 및 Q 자료를 이용하여 암반분류법의 평가 요소 및 두 분류법 상호간의 상관관계를 분석하였다. 이로부터 평가 요소간 상관관계 매트릭스 및 평가 요소간 상관계수를 등급화한 친숙도 관계 매트릭스를 도출하였다. 이 친숙도 관계 매트릭스는 보다 다양한 지반 물성 요소를 포함하여 종합적 친숙도 관계 네트워크로 확장할 수가 있으며, RMR 및 Q 암반분류법의 평가 요소 상호간 밀접성이나 호환성을 파악하고 주어진 평가 요소 정보로부터 미 획득된 다른 요소의 추정 또는 변환 및 그 신뢰 정도를 파악하는데 이용될 수 있다.

핵심어 암반분류, RMR과 Q, 상관도, 상관계수 매트릭스, 친숙도 관계 네트워크

1. 서 론

사회적 관계 네트워크의 개념을 소개하면서 많이 인용되는 사례 중 하나로서 케빈 베이컨 게임(Kevin Bacon Game) 또는 케빈 베이컨의 6단계 법칙(Six Degrees of Kevin Bacon)이란 것이 있다(The Oracle of Bacon, <http://oracleofbacon.org>). 이 게임은 케빈 베이컨이라

는 미국의 영화배우를 중심으로 하여, 세계 모든 영화 배우들이 자기가 출연한 영화에서 함께 했던 배우들과 단계적 연결을 통해 최종적으로 케빈 베이컨과 어느 정도의 연결 관계 즉, 친숙도 관계를 가지고 있는가를 찾는 것이다. 조사 결과에 의하면, 세계의 많은 배우들 또는 영화에 출연한 적이 있는 유명인들이 최종적으로 케빈 베이컨에게 연결되는데 대부분이 6단계를 초과하지 않는 것으로 나타났고, 이에 따라 베이컨의 6단계 법칙 이라고도 한다. 우리에게도 흔히 좁은 세상이나 인간관계의 의미로서 소위 ‘한 다리 건너면 관계되지 않는 사람이 없다’는 말이 있다. 이러한 케빈 베이컨의 친숙도 관계 개념의 기본 원리는 ‘작은 세상 이론’ 또는 ‘작은 세상 네트워크’ 라는 통계분석학적 이론에 바탕을 두고

¹⁾ 정희원, 한국지질자원연구원 정책협력부 부장/책임연구원

²⁾ 정희원, 한국지질자원연구원 지구환경연구본부 책임연구원

* 교신저자 : sunwoo@kigam.re.kr

접수일 : 2008년 9월 25일

심사 완료일 : 2008년 11월 24일

게재 확정일 : 2008년 11월 24일

있다. 이 ‘작은 세상 이론’은 어떠한 집단 또는 조직내 구성 요소들의 상관관계를 규정하고 어느 두 요소간의 친숙도를 결정하는 통계분석학적 이론이다(Case 2001, Watts 1998).

이러한 친숙도 네트워크 관계 분석 개념은 각종 토목 건설공사의 구조물 안전성 평가 및 최적 설계에 있어서 대상 암반의 정밀 조사 평가 및 적정 지반정수 도출에서도 적용이 된다. 불균질성과 불연속성을 비롯하여 다양한 물리적, 역학적, 구조적 특성 요소들을 갖는 암반에 대하여 부분적 조사 자료로부터 전체 암반 특성의 대표성을 부여하는 것에는 많은 불확실성을 내포하고 있다. 이러한 불확실성 저감 또는 대표성 부여를 어떻게 하는가에 따라 다양한 암반분류법들이 제안되어 왔다. 현재 세계적으로 가장 보편적으로 이용되는 암반분류법으로는 RMR(Rock Mass Rating) 및 Q가 있으며, 그리고 RMR를 기반으로 하여 부분적 수정을 가미한 M-RMR(Modified RMR), L-RMR(Laubscher's RMR), RMi(Rock Mass index), GSI(Geological Strength Index) 등이 있다(Singh et al., 1999). 이 외에 RMR과 Q의 구성 요소 차이에서 오는 상호 호환성 제약을 줄이기 위하여 공통 요소들만을 추출하여 RMR로부터는 RCR (Rock Condition Rating), Q로부터는 N(Rock Mass Number)이라는 기법이 제안되고 있다(Goel et al., 1995 & 1996; Singh et al., 1999).

이들 각종 암반분류법들은 방법론적으로는 다양성을 가지지만 평가에 필요한 구성 요소에 있어서는 기본적으로 같은 암반물성 요소들을 가지고 있다. 즉, 지질조사, 시추조사, 물리탐사, 역학시험, 수리특성 등의 시험 조사를 통해 얻어지는 강도, 변형성, 불연속면, 지하수, 지압 등의 많은 물리적, 역학적, 구조적 특성 요소들이다. 각 암반분류법들은 나름대로 이들 구성 요소들의 가중치(중요도)를 고려하여 종합적 암반평가 결과를 산출하고 있는데, 이들 각 암반분류법들은 각각의 장단점 및 상호간의 차이점으로 인해 이용한 기법에 따라 결과에 차이를 보일 수 밖에 없다.

이와 같이 각 분류법간의 이용 요소 및 평가 결과의 차이로 인해 최근에는 각 분류법간의 상호 관계성을 찾아서 비교 보완하는 작업이 많이 이루어지고 있다(권형석 외, 2001; 박철환 외, 2006; 선우춘 외, 2001; 신중호 외, 2002; 이대혁 외, 2003; Goel et al., 1995; Marathe, 1999). 그리고 이러한 암반분류법에 의한 암반등급평가의 불확정성에 대한 연구도 이루어지고 있다(구청모 외, 2006; 이상은 외, 2005). 한편으로는 퍼지이론, 지구통계학적 방법 등을 이용하여 RMR, Q 등의 기존경험적 암반분류법과 비교 평가한 연구 보고들도 있다(배규진

외, 2001, 최성용 외 2004).

하지만, 상관관계 도출에 있어 각 기법들이 내포하고 있는 구성요소의 특성 차이를 고려하지 못하고 단순한 결과 비교는 상관도의 유용성 확보에 한계를 가질 수 밖에 없다. 암반평가에 필요한 기본 구성 요소들인 강도, 변형성, 불연속면, 지하수, 지압 등의 많은 물리적, 역학적, 구조적 특성들은 서로 성격이 다르고 상호간의 관계도 즉, 친숙도도 서로 다르다. 따라서 구성요소간 및 평가기법간 상관성 및 결과의 호환성에 있어 각 암반분류법들의 유용성과 신뢰성을 평가할 필요가 있으며, 이를 위해 우선적으로 다양한 물성 요소들이 그 특성별로 그룹화되고 같은 그룹내에서도 요소간 서로 다른 관계도가 규정되어야만 한다. 본 연구에서는 RMR 및 Q 암반분류법의 물성 요소들의 개별 요소 상호간, 특성별 그룹간 상관관계를 분석하고 상관계수를 이용한 친숙도 관계 매트릭스 및 일반화된 형태의 친숙도 관계 네트워크 확장 개념 설계를 도출하였다.

2. 친숙도 관계 네트워크의 개념

친숙도 관계 네트워크 개념의 기본 원리는 ‘작은 세상 네트워크 개념’ 또는 ‘작은 세상 이론’으로 연구 보고되고 있는 통계분석학적 이론이다(Case 2001, Watts 1998). 즉, Fig. 1과 같이 어떠한 집단 또는 조직을 구성하는 개별 요소 상호간의 관계 정도를 규정하고 임의의 두 개 요소간에 어떠한 관계도 즉, 친숙도가 어느 정도인가를 도출하는 것이다. ‘일정한 네트워크(regular network)’ 및 ‘무작위 네트워크(random network)’는 이론적으로 서로 상반된 극단적 형태이며, ‘작은 세상 네트워크(small-world network)’는 실제 현실적 형태로서 조직 형태와 구성 요소간 특성에 따라 규칙 및 무작위가 혼합된 적정 관계 네트워크를 규정하는 것이다.

이러한 개념을 암반분류법 및 그 구성 요소인 물성 요소에 적용하면 Fig. 2와 같다. ①, ②, ③ 등은 암반분

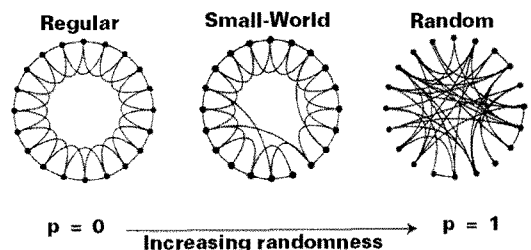


Fig. 1. Concept of small-world network theory(Watts, 1998)

류법들인 RMR, Q, RCR, N, M-RMR, GSI 등이 되며, ①, ②, ③ 등은 지반 물성 요소들인 강도, 변형성, 응력, 불연속면, 지하수, 각종 물리탐사 자료 등의 물리적, 역학적, 구조적 특성이다. 기존의 각종 암반분류법 및 구성 물성 요소들은 외형적으로는 Fig. 2(a)와 같이 서로 독립적 네트워크(일정한 또는 무작위 네트워크 개념)로 볼 수 있다. 한편으로 분류법 및 물성 상호간의 특성에 따른 적정 관계 네트워크를 규정하는 것은 Fig. 2(b)와 같은 친숙도 관계 네트워크(작은 세상 네트워크) 개념이다.

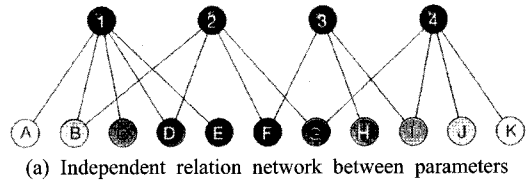
이 친숙도 관계 네트워크 개념은 암반평가 및 최적 설계자로 산정의 근본적인 자료가 되는 각종 물성 요소간의 상호 관계 정립, 기존 암반평가기법들의 상관관계 및 상호 결과 변환의 유용성 평가, 지반조사 요소의 종류 및 범위에 따른 적정 평가요소 조합을 통한 신뢰성 높은 평가기법 제시 등의 응용성을 가지고 있다.

3. 상용 암반분류법 및 평가 요소의 상관관계 비교

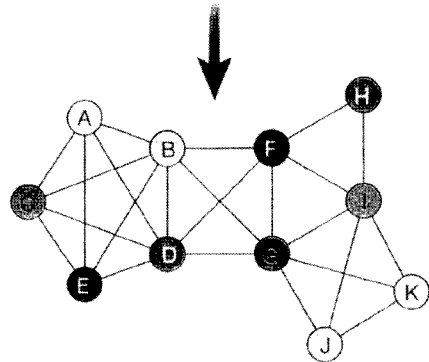
3.1 상용 암반분류법 비교

현재까지 가장 널리 이용되는 암반분류법으로는 1970 년대에 남아프리카공화국 CSIR의 Bieniawski 등이 개발한 RMR 시스템 및 노르웨이 NGI의 Barton 등이 개발한 Q 시스템이 있다. RMR의 특징은 각 구성 요소에 대한 평가 및 이용이 비교적 용이하고 터널 적용시에 불연속면과의 상대적 방향성을 고려할 수 있으며, 반면에 적용 결과가 다소 보수적이어서 지보설계가 과다하게 되는 경향이 있다. Q 시스템은 절리에 대한 평가 요소가 세부적이고 현장 응력조건을 고려함으로써 암반 분류가 세밀하고 체계적인 보강방안을 제시할 수 있으며, 반면에 평가 요소와 방법이 복잡하여 많은 시간과 경험이 필요하며 평가 요소들이 현장의 노출암반과 막장 관찰을 통해야만 정확히 조사될 수가 있어서 간편하게 시추코어를 대상으로 해서는 전체 요소를 신뢰성있게 판단하기 어려운 점이 있다.

이러한 RMR 및 Q 시스템의 상호 특징을 고려하여 두 방법을 함께 적용하거나, 상호간의 상관성을 이용하여 어느 한 방법으로부터 다른 방법으로 결과를 변환하여 이용하기도 한다. 이 경우에 RMR 및 Q 시스템의 각 평가 요소 차이로 인해 상호 호환성에 신뢰도가 떨어지는 경향을 보완하기 위하여 두 방법의 공통 요소들만 고려하는 것이 RCR(Rock Condition Rating) 및 N(Rock Mass Number) 기법인데, 이는 Goel(1995)에 의해 개발된 것이다. RCR은 RMR의 6개 요소에서 현장에서 직접 평가하기 어려운 압축강도요소와 터널-볼



(a) Independent relation network between parameters



(b) Acquaintance relation network between parameters

Fig. 2. Model of acquaintance relation network of parameters (Case, 2001)

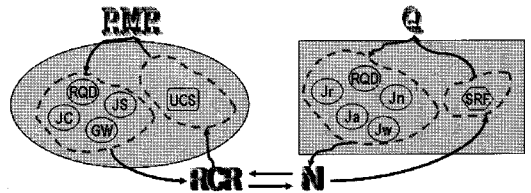


Fig. 3. Relationship between RMR - RCR and Q - N system

연속면간 상호 방향성 보정 요소를 제외한 것이며, N은 Q의 6개 요소에서 상대적으로 불확실성을 가지는 SRF 요소를 제외한 것이다. RMR - RCR 및 Q - N의 평가 요소 구성 및 상호 호환 관계는 Fig. 3과 같다. 여기서 GW(지하수상태), JC(절리상태), JS(절리간격), RQD(암질지수), UCS(일축압축강도)는 RMR 및 RCR의 요소들이며, Ja(절리변질계수), Jn(절리군수), Jr(절리거칠기계수), Jw(절리지하수저감계수), RQD(암질지수), SRF(응력저감계수)는 Q 및 N의 요소들이다.

이외에도 RMR 시스템의 구성 요소를 부분 수정 변형한 여러 가지 암반분류법으로서 Laubscher의 L-RMR (Laubscher's RMR), Unal의 M-RMR(Modified RMR), Palmstrom의 RMI(Rock Mass index) 등이 있다. 이들 암반분류법들의 구성 요소를 비교하면 Table 1과 같다. 여기서 (○) 표시는 각 암반분류법에서 암반평가를 위해 직접적으로 고려되는 구성 요소이며, (△) 표시는 간접적으로 어느 정도 평가에 고려되는 요소를 나타낸 것이다.

Table 1. Comparison of parameters between various rock mass classification systems

Parameter		Method	RMR	Q	M-RMR	L-RMR	RMi	RCR	N
Strength	Uniaxial comp. strength		○	△	○	○	○		
	Point load strength		○		○				
Discontinuity	Number	Set		○					○
	Dimension	RQD	○	○	○	○	○	○	○
		Spacing	○	△	○			○	△
		Length	○		○		○	○	
		Volume					○		
	Condition	Aperture	○	○	○			○	○
		Roughness	○	○	○	○	○	○	○
		Filling	○	○	○	○	○	○	○
		Weathering	○	○	○	○	○	○	○
	Orientation	Strike	○		○				
Dip		○		○					
Ground Water		○	○	○	○		○	○	
Stress			○						
Damage				○					

3.2 RMR - Q 및 RCR - N 상관관계 비교

상용 암반분류법중에서 가장 널리 이용되는 RMR과 Q 시스템, 그리고 이로부터 간편하게 도출할 수 있는 RCR과 N 등의 암반분류법들에 대한 상관관계를 조사 분석하였다. 상관도 분석을 위한 기본 자료로서 국내 도로터널 건설현장의 지반조사를 통해 획득한 RMR 자료 및 Q 자료를 이용하였다. 이 RMR 및 Q 자료는 경기도, 강원도, 경상도, 전라도의 4개 지역에서 각각 동일 조사자들에 의해 같은 판단 기준과 경험을 바탕으로 조사된 것으로 총 자료 수는 600여개이다.

Table 2 및 Fig. 4는 이들 국내 4개 지역의 RMR 및 Q 조사 자료(GC-Korea, JA-Korea, BU-Korea, JH-Korea)

를 이용한 상관관계로서, 이 국내 자료를 이용한 결과와 비교를 위하여 외국의 기존 보고 자료들도 함께 나타내었다. 각 연구자 및 이용 자료에 따라 약간의 차이는 보이지만, 전체적으로 RMR 및 Q 간의 상관계수는 0.7~0.9의 범위를 보였다.

Table 3 및 Fig. 5는 RMR 및 Q 조사 자료로부터 RCR 및 N 요소를 추출하여 상관관계를 분석한 것이다. RCR 및 N의 상관계수는 RMR 및 Q의 상관계수와 비슷하게 0.7~0.9의 범위를 보였다. RMR 및 Q에서 불확실성을 줄이고 상호 공통 요소 추출을 통해 상관성을 높이고자 한 것이 Goel이 RCR 및 N을 개발한 기본 배경이지만, 본 분석 결과로는 크게 상관성 향상 정도를 보이지는 않았다.

Table 2. Correlation equations between RMR and Q

Data source	Correlation equation	Correlation coefficient
Bieniawski(1976)	$RMR = 9.0 \ln Q + 44$	0.77
Rutledge(1978)	$RMR = 5.9 \ln Q + 43$	0.85
Moreno(1980)	$RMR = 5.4 \ln Q + 55.2$	0.55
Cameron(1981)	$RMR = 5.0 \ln Q + 60.8$	high deviation
Abad(1984)	$RMR = 10.5 \ln Q + 41.8$	0.66
Unal(1990)	$RMR = 7.79 \ln Q + 36.7$	0.81
GC-Korea	$RMR = 7.64 \ln Q + 57.21$	0.95
JA-Korea	$RMR = 7.16 \ln Q + 48.27$	0.86
BU-Korea	$RMR = 5.77 \ln Q + 46.19$	0.79
JH-Korea	$RMR = 5.95 \ln Q + 49.43$	0.80

Table 3. Correlation equations between RCR and N

Data source	Correlation equation	Correlation coefficient
Goel	$RCR = 8 \ln N + 30$	0.92
GC-Korea	$RCR = 7.612 \ln N + 41.29$	0.92
JA-Korea	$RCR = 8.247 \ln N + 33.84$	0.85
BU-Korea	$RCR = 6.185 \ln N + 33.47$	0.69
JH-Korea	$RCR = 6.490 \ln N + 35.08$	0.77

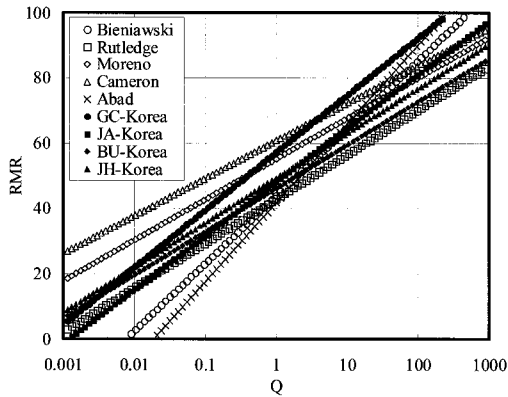


Fig. 4. Correlations between RMR and Q system

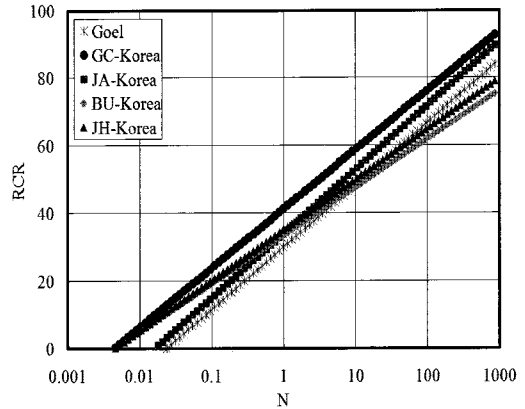


Fig. 5. Correlations between RCR and N system

4. RMR, Q 암반분류법 및 평가 요소간 상관도 분석

RMR 및 Q 암반분류법의 암반등급평가 점수 및 내부 구성 요소들의 비중과 상관도를 분석하였다. 앞의 국내 현장조사에서 획득한 RMR 및 Q 자료에서 평가 점수 및 이에 대한 각 구성 요소들이 차지하는 범위를 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6은 RMR 평가 점수별 5개 구성 요소들의 분포 범위이다. UCS는 일축압축강

도, RQD는 암질지수, JS는 절리간격, JC는 절리상태, GW는 지하수상태 요소이다.

Fig. 7은 RMR과 같은 현장에서 조사된 Q 평가 점수 별 6개 구성 요소들의 분포 범위이다. Jn은 절리군수, Jr은 절리거칠기계수, Ja는 절리변질계수, Jw는 절리지하수저감계수, SRF는 응력저감계수 요소이다. 어떤 구성 요소들은 평가 점수와 비례적인 관계성을 보이는 반면에 어떤 요소들은 큰 상관성을 보이지 않는 경우도

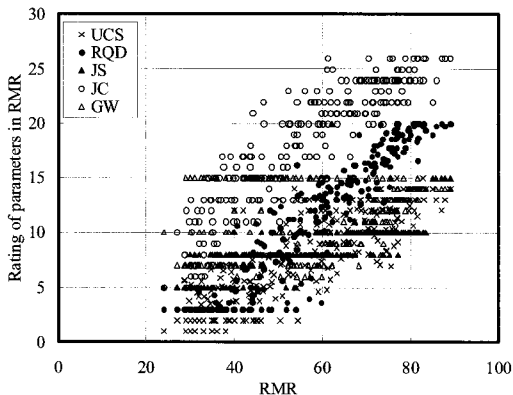


Fig. 6. Relations between RMR and its parameters using JA-Korea data

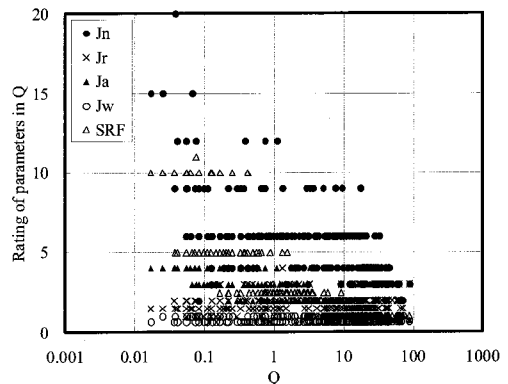


Fig. 7. Relations between Q and its parameters using JA-Korea data

있다. 이로부터 RMR, Q 평가 점수 및 구성 요소간의 상관도 또는 친숙도를 도출해 낼 수가 있다.

4.1 RMR 암반분류법의 평가 요소간 상관도

RMR 평가에 있어서 5개 세부 평가 요소들의 상대적 영향도를 파악하기 위하여 각 요소들간의 상관도를 분석하였다. Fig. 8은 JA-Korea의 RMR 자료를 이용한 분석 예로서, 기본적인 요소인 RQD와 다른 요소간의 상관도를 나타낸 것이다. 상관관계의 정량적 비교를 위하여 선형회귀분석을 통해 상관관계식 및 상관계수를 도출하였다. 이 경우의 결과에서 JC, JS, UCS는 RQD와 비교적 좋은 상관관계를 나타내었으며, 반면에 GW는 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않았는데 그림에 표시하지는 않았다. RMR 및 5개 평가 요소로부터 총 15 set의 상관관계식 및 상관계수를 획득하고 이를 친숙도 관계 네트워크 분석 자료로 이용하였다.

4.2 Q 암반분류법의 평가 요소간 상관도

Q 평가에 있어서 6개 세부 평가 요소들의 상대적 영향도를 파악하기 위하여 각 요소들간의 상관도를 분석하였다. Fig. 9는 JA-Korea의 Q 자료를 이용한 분석 예로서, 기본적인 요소인 RQD와 다른 요소간의 상관도를 나타낸 것이다. 마찬가지로 상관관계의 정량적 비교를 위하여 선형회귀분석을 통해 상관관계식 및 상관계수를 도출하였다. Q 요소의 분석 결과에는 서로 반비례하는 경우도 나타났다. Ja와 RQD는 반비례적이긴 하지만 비교적 좋은 상관관계를 나타내었으며, Jn 및 SRF는 중간 정도의 상관도였고 Jr 및 Jw는 RQD와 낮은 상관도를 보였다. 다른 요소들간의 상관도 분석에서는 Ja와 SRF간의 상관도가 높게 나타났다. Q 및 6개 평가 요소로부터 총 21 set의 상관관계식 및 상관계수를 획득하고 이를 친숙도 관계 네트워크 분석 자료로 이용하였다.

4.3 RMR 및 Q 암반분류법의 상관도

RMR 및 Q 암반분류법은 각각 평가 요소들의 구성 및 기중치에 있어서 차이가 있으며 그 조사 및 평가 결과 적용에 있어서 각각 특징적인 장단점으로 가지고 있다. 이를 고려하여 최근에는 각 분류법간의 상호 관계성을 도출하여 비교 보완하거나 어느 한 방법의 결과로부터 다른 방법의 결과로 변환하여 활용하기도 한다. 이러한 두 분류법간의 상호 비교 및 호환성을 보다 정량적으로 파악하기 위하여 두 분류법이 가지고 있는 평가 요소 상호간의 상관도를 분석하였다.

Fig. 10은 RMR 및 Q 시스템의 평가 요소간 상관도 분석 예로서, RMR의 기본적 요소인 RQD에 대한 Q 시

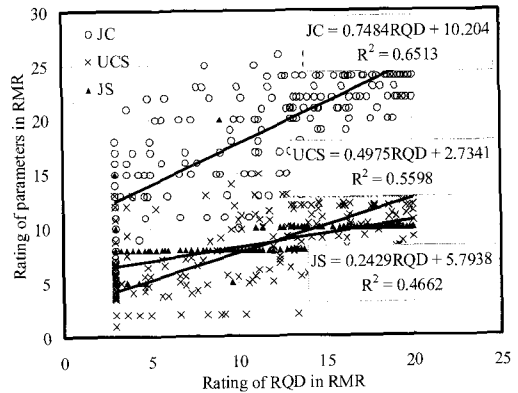


Fig. 8. Correlations between parameters in RMR

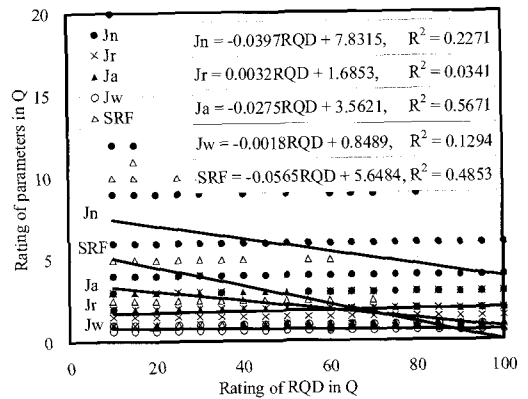


Fig. 9. Correlations between parameters in Q

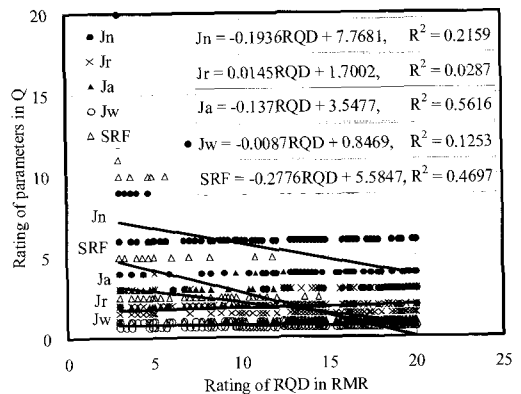


Fig. 10. Correlations between RQD in RMR and parameters in Q

스템의 6개 요소의 상관관계를 나타낸 것이다. 상관관계의 정량적 비교를 위하여 선형회귀분석을 통해 상관관계식 및 상관계수도 함께 나타내었다. Q의 Ja 및 SRF

요소는 반비례적 형태이지만 RMR의 RQD 요소와 비교적 좋은 상관관계를 보였다. 그리고 Q 평가 점수와 RMR의 평가 요소간의 상관도 및 RMR 평가 점수와 Q의 평가 요소간의 상관도는 Fig. 11 및 Fig. 12와 같다. 이 경우에도 평가 요소에 따라 상대적인 상관관계 차이를 나타내었다.

이상의 RMR과 Q 시스템의 자체적 평가 요소간 상관관계 및 분류법 상호간의 상관관계 분석 결과를 종합하여, 평가 요소간의 상관관계식 및 상관계수를 식 (1) 및 식 (2)에 종합 정리하였다.

$$\left. \begin{aligned} UCS &= 1.4399 \ln(Q) + 6.3795, R^2 = 0.5889 \\ RQD &= 2.5581 \ln(Q) + 7.7183, R^2 = 0.8217 \\ JS &= 0.6900 \ln(Q) + 7.5891, R^2 = 0.4724 \\ JC &= 2.3158 \ln(Q) + 15.514, R^2 = 0.7832 \\ GW &= 0.1417 \ln(Q) + 11.022, R^2 = 0.0096 \end{aligned} \right\} (1)$$

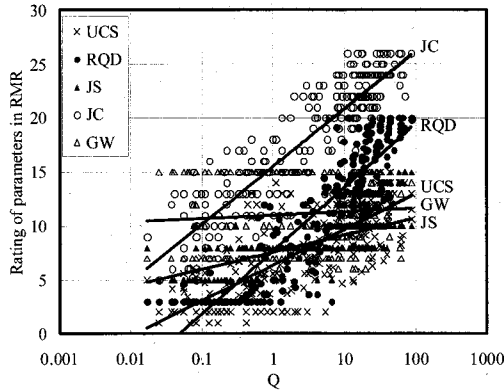


Fig. 11. Correlations between Q and parameters in RMR

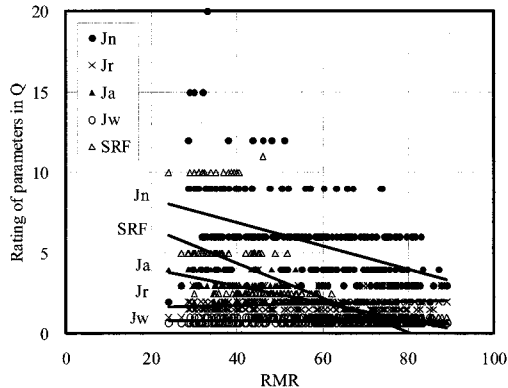


Fig. 12. Correlations between RMR and parameters in Q

$$\left. \begin{aligned} RQD &= 1.7334 \cdot RMR - 44.383, R^2 = 0.8994 \\ Jn &= -0.072 \cdot RMR + 9.7788, R^2 = 0.2240 \\ Jr &= 0.0064 \cdot RMR + 1.4960, R^2 = 0.0410 \\ Ja &= -0.0539 \cdot RMR + 5.1323, R^2 = 0.6498 \\ Jw &= -0.0025 \cdot RMR + 0.8982, R^2 = 0.0806 \\ SRF &= -0.1075 \cdot RMR + 8.7004, R^2 = 0.5269 \end{aligned} \right\} (2)$$

5. 친숙도 관계 네트워크 도출

앞의 식 (1) 및 식 (2)와 같이 얻어진 RMR 및 Q 암반 분류법의 자체 및 상호간의 평가 요소 상관관계 분석 결과를 종합하여 상관계수 매트릭스를 구성하였다. RMR 및 그 평가 요소의 상관계수 매트릭스는 식 (3), Q 및 그 평가 요소의 상관계수 매트릭스는 식 (4)와 같다. 그리고 RMR과 Q 암반분류법 및 그 평가 요소의 종합적 상관계수 매트릭스는 식 (5)와 같다. 여기서 음의 부호는 반비례적인 상관관계를 의미한다. 본 결과는 JA-Korea 자료 set를 이용한 것으로서, 상관계수의 정량적인 값은 이용 자료에 따라 약간은 달라질 수 있겠으나 상관관계의 상대적 경향은 대표할 수 있을 것이다.

	UCS	RQD	JS	JC	GW	RMR
UCS	1	0.560	0.279	0.598	-0.00	0.723
RQD		1	0.466	0.651	0.027	0.888
JS			1	0.384	0.010	0.542
JC			sym.	1	0.002	0.806
GW					1	0.059
RMR						1

	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
RQD	1	-0.227	0.034	-0.57	-0.13	-0.49	0.846
Jn		1	-0.01	0.178	0.040	0.153	-0.36
Jr			1	-0.01	-0.01	-0.01	0.068
Ja			sym.	1	0.127	0.562	-0.76
Jw					1	0.130	-0.10
SRF						1	-0.69
Q							1

	UCS	RQD	JS	JC	GW	RMR
RQD	0.578	0.987	0.485	0.678	0.024	0.899
Jn	-0.13	-0.22	-0.13	-0.22	-0.00	-0.22
Jr	0.016	0.029	0.020	0.082	0.001	0.041
Ja	-0.47	-0.56	-0.43	-0.68	-0.00	-0.65
Jw	-0.13	-0.13	-0.07	-0.20	0.421	-0.08
SRF	-0.45	-0.47	-0.25	-0.54	0.00	-0.53
Q	0.589	0.821	0.472	0.783	0.010	0.861

식 (3)~(5)로부터 RMR 및 Q 시스템의 평가 요소를 통합하고 평가 요소간의 상관계수를 등급화하여 매트릭스를 재구성함으로써 일반화된 형태의 친숙도 관계 매트릭스를 Fig. 13과 같이 도출하였다. 여기서 R1, R2, R3, R4, R5는 각각 RMR 시스템의 UCS, RQO, JS, JC, GW 요소를 일반화하여 표현한 것이며, Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6는 각각 Q 시스템의 RQD, Jn, Jr, Ja, Jw, SRF 요소를 일반화하여 표현한 것이다. 매트릭스 내의 각 수치는 도출된 상관계수를 정수 단위로 등급화한 것이다. 즉, 요소간 상관계수에서 요소 자신의 상관계수는 등급 1, 상관계수가 0.75~1.0 범위는 등급 2, 상관계수가 0.5~0.75 범위는 등급 3, 상관계수가 0.25~0.5 범위는 등급 4, 상관계수가 0~0.25 범위는 등급 5로 구분하였다. 그리고 음의 부호는 반비례적 관계를 의미한다. 이러한 1~5 등급은 친숙도 관계로 볼 때, 사람의 인척관계에서 직관적으로 이해되는 1촌~5촌 관계

의 의미로 받아들여질 수 있다. 이 친숙도 관계 매트릭스를 이용함으로써 RMR 및 Q 암반분류법에서 평가 요소 상호간의 밀접성이나 호환성을 파악하고 주어진 평가 요소 정보로부터 미 획득된 다른 요소의 추정 또는 변환 및 그 신뢰정도를 파악하는데 이용될 수 있다.

여기서는 가장 널리 이용되는 RMR 및 Q 암반분류법을 대상으로 친숙도 관계를 분석하였는데 이를 확장하여 강도, 변형성, 응력, 불연속면, 지하수 및 각종 물리탐사 자료 등을 포함하면, 다양한 지반 물성 요소 및 암반분류법들의 종합적인 상호관계 네트워크를 규정할 수 있을 것이다. 이러한 개념은 곧 Fig. 14의 친숙도 관계 네트워크로 확장될 수가 있다. 이를 통하여 현재의 두 평가 요소간의 직접적 상관관계를 도출하는 범위를 넘어서, 한 요소로부터 친숙도 관계 네트워크를 이용한 최적 루틴을 통해 몇 단계를 거치는 다른 평가 요소의 추출이 가능할 것이며, 이는 곧 서론에서 기술한 ‘작은

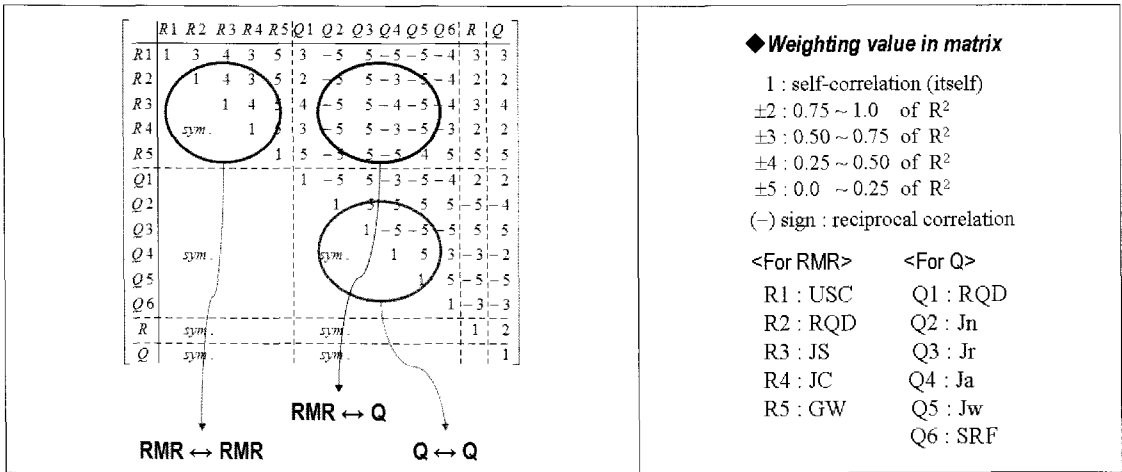


Fig. 13. Acquaintance relation matrix of RMR and Q system

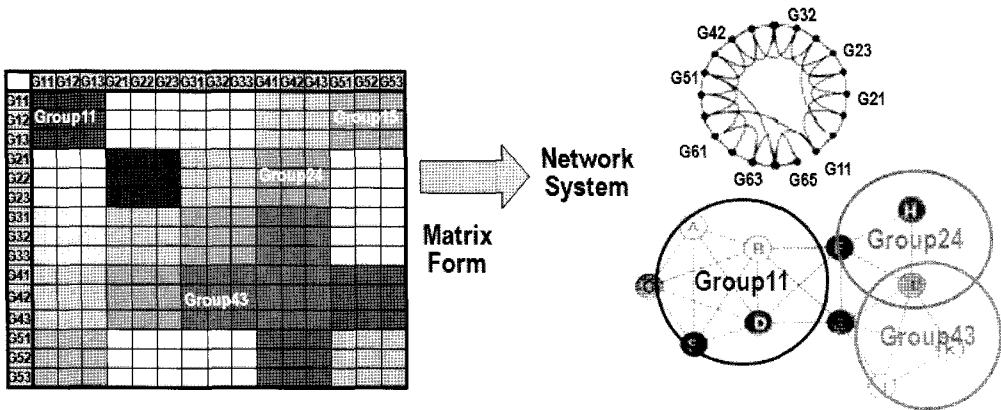


Fig. 14. Extension of acquaintance relation matrix to general acquaintance network system

세상 네트워크 이론'과 연결되는 것이다.

이러한 친숙도 관계 네트워크 개념은 암반평가 및 최적 설계자로 산정의 근본적인 자료가 되는 각종 물성 요소 간의 상호 관계 정립, 기존 암반평가기법들의 상관관계 및 상호 결과 변환의 유용성 평가, 지반조사 요소의 종류 및 범위에 따른 적정 평가요소 조합을 통한 신뢰성 높은 평가 결과 도출 등에 확장 응용될 수 있을 것이다.

6. 결 언

RMR 및 Q 시스템을 비롯한 암반분류법들은 각각 구성 요소 뿐만 아니라 평가 및 결과의 적용에 있어 특징적 차이를 가지고 있어서, 최근에는 몇 가지 암반분류법을 함께 적용하거나 분류법 상호간의 상관관계를 이용한 변환기법 등을 통해 원하는 평가 요소를 획득하기도 한다. 이러한 암반분류법 및 평가 요소간의 상관성, 호환성 분석에 있어서 다양한 물리적, 역학적, 구조적 평가 요소들은 그 특성이 다르므로 우선적으로 평가 요소들의 특성별 그룹화 및 그룹 내외 요소간의 상호 관계성이 정확히 규정되어야 한다. 본 연구에서는 국내 터널건설현장의 지반조사를 통해 획득한 RMR 및 Q 자료를 이용하여, 암반분류법에 있어서 평가 요소 및 분류법 상호간의 상관관계를 선형회귀분석을 통해 정량적으로 분석하고 이를 토대로 친숙도 관계 매트릭스를 도출하였으며 나아가 일반화된 친숙도 관계 네트워크로의 확장 개념 설계를 제시하였다.

국내 4개 지역의 지반조사로부터 600여 set의 RMR 및 Q 자료를 획득하였으며, 이를 이용하여 RMR과 Q 시스템 및 이로부터 간편하게 도출할 수 있는 RCR과 N 암반분류법들에 대한 상관관계를 분석하였다. RMR - Q 간의 상관계수 및 RCR - N 간의 상관계수는 전체적으로 0.7~0.9의 범위를 보였으며 상관관계에서 지역 및 암종 차이로 인한 상이성은 나타나지 않았다.

RMR의 5개 평가 요소 및 Q의 6개 평가 요소 상호간의 상관관계식 및 상관계수를 선형회귀분석을 통해 도출하였다. RMR 평가 요소에서 JC, JS, UCS 등은 RQD와 비교적 좋은 상관관계를 보였고, GW는 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았다. Q 평가 요소에서 Ja는 RQD와 반비례적이긴 하지만 비교적 좋은 상관관계를 보였고, Jn 및 SRF는 중간 정도 및 Jr 및 Jw는 RQD와 낮은 상관도를 보였다. Ja와 SRF간의 상관도도 높게 나타났다.

RMR 및 Q 암반분류법의 자체 및 상호간의 평가 요소 상관관계 분석 결과를 종합하여 상관관계 매트릭스를 구성하였으며, 평가 요소간의 상관계수를 등급화하

여 일반화된 형태의 친숙도 관계 매트릭스를 도출하였다. RMR의 5개 평가 요소 및 Q의 6개 평가 요소 상호간의 상관계수에서 요소 자신의 상관계수는 등급 1, 상관계수가 0.75~1.0 범위는 등급 2, 상관계수가 0.5~0.75 범위는 등급 3, 상관계수가 0.25~0.5 범위는 등급 4, 상관계수가 0~0.25 범위는 등급 5로 구분하였다. 이 친숙도 관계 매트릭스를 이용함으로써 RMR 및 Q 암반분류법에서 평가 요소 상호간의 밀접성이나 호환성을 파악하고 주어진 평가 요소 정보로부터 미 획득된 다른 요소의 추정 또는 변환 및 그 신뢰 정도를 파악하는데 이용될 수 있다.

본 분석에서는 RMR 및 Q 암반분류법의 평가 요소를 대상으로 하였는데 이를 다양한 지반 물성 정보를 포함하여 보다 일반화된 통합적 상관관계 네트워크로 확장할 수가 있다. 이를 통해 인접한 두 평가 요소간의 직접적 상관관계 뿐만 아니라 몇 단계를 거쳐야 하는 요소간의 상관도 파악 및 상호 변환 추출이 가능한 최적 루틴의 친숙도 관계 네트워크로 활용될 수 있을 것이다.

사 사

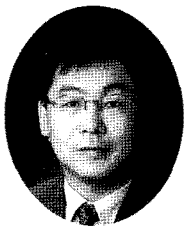
본 연구는 한국지질자원연구원의 기본사업인 '고심도 지하연구실험실 구축 및 실증실험 연구' 과제에 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 구청모, 홍창우, 전석원, 2006, 조건부 모사 기법을 이용한 암반등급의 예측 및 불확실성 평가에 관한 연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지) 16.2, 135-145.
2. 권형석, 신중호, 황세호, 백관조, 김기석, 김종수, 2001, 전기비저항과 암반등급의 상관관계에 대한 고찰, 한국지반공학회 불확실발표회 논문집, 81-88.
3. 박철환, 박찬, 신중호, 2006, 암반등급 분류법들의 비교연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지) 16.3, 203-208.
4. 배규진, 조만섭, 2001, 퍼지집합이론 및 뉴로-퍼지기법을 이용한 RMR 값의 추론, 터널과 지하공간(한국암반공학회지) 11.4, 289-300.
5. 선우춘, 정소결, 한공창, 황세호, 이상규, 2001, 암반분류방법간의 상관관계에 대한 고찰, 한국지반공학회 논문집 17.4, 127-134.
6. 신중호, 신희순, 2002, 지반정수 산정을 위한 경험적 암반평가기법과 상관성, 한국지반공학회 학술발표회 논문집, 79-86.
7. 이대혁, 이철욱, 김호영, 2003, RMR 및 Q 분류시 지하수 조건 평가방법에 관한 사례 연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지) 13.5, 353-361.
8. 이상은, 전성권, 강상진, 2005, RMR 암반분류법의 불확정성에 관한 연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지) 15.6, 441-451.

9. 최성용, 정소걸, 2004, Monte Carlo simulation 기법을 이용한 RMR의 역산 및 그에 의한 암반사면의 안정성 분석, 터널과 지하공간(한국암반공학회지) 14.2, 97-107.
10. Case, J., 2001, The continuing appeal of small-world networks, Community Lecture 2001 from SIAM News 34.9, 1-4.
11. Goel, R.K., J.L. Jethwa and A.G. Paithankar, 1995, Indian experience with Q and RMR systems, Tunneling and Underground Space Technology 10.1, 97-109.
12. Goel, R.K., J.L. Jethwa and A.G. Paithankar, 1996, Correlation between Barton's Q and Bieniawski's RMR - A new approach, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 33.2, 179-181.
13. Marathe, S.V., 1999, Limitations of RMR based geotechnical classification, Proc. Int. Conf. on Rock Engineering Techniques for Site Characterization, Bangalore, 81-88.
14. Singh, B. and R.K. Goel, 1999, Rock Mass Classification, Elsevier, 267p.
15. Watts, Duncan J. and Steven H. Strogatz, 1998, Collective dynamics of 'small-world' networks, Nature 393.4, 440-442.

신 중 호



1983년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1985년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1990년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학박사

Tel: 042-868-3242
E-mail: jhsynn@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 정책협력부 부장
/책임연구원

박 철 환



1979년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1981년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1987년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학박사

Tel: 042-868-3244
E-mail: cwpark@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지구환경연구
본부 책임연구원

선 우 춘



1978년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1984년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1988년 프랑스 파리VI대학교 지구구조
학과 공학박사

Tel: 042-868-3235
E-mail: sunwoo@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지구환경연구
본부 책임연구원