

정규화한 RMR 변수들의 평가 경향에 대한 고찰

이성민^{1*}, 이연희², 김선명³

Consideration for evaluation patterns of normalized RMR parameters

Seong-Min Lee, Yeon-Hee Lee, Sun-Myung Kim

ABSTRACT Due to the convenience, RMR has been widely applied in civil engineering works such as tunnel, slope, and so on. Many researchers have studied to suggest more simple and trustable RMR by modifying its parameters. However, those researches have just focused on looking for easy modified-RMRs by reducing number of parameters using various statistical analyses. Therefore, this research studied questions of modified-RMRs and gaps between RMR and its parameters. Approximately 2,000 parameters of 400 RMRs from various tunnel sites were normalized respectively and compared with one another to study their relations and divergences. The comparison results showed that there were common patterns among RMR and parameters. Data of uniaxial compressive strength and RQD, qualitative parameters, were located in upper side of RMR line. Discontinuity condition and ground water, quantitative oriented parameters, were opposite to them. It means if both qualitative and quantitative parameters can be properly combined then it can be easy to make simple and easy modified-RMRs without using difficult statistics. This results also show that the majority of field engineers used to estimate RMR conservatively when they did quantitative oriented parameters.

Keywords: RMR, normalized parameter, qualitative evaluation, quantitative evaluation

요약 RMR은 평가방법의 수월성으로 인해 터널과 사면 등 토목공사 현장에서 암반평가 방법으로 널리 활용되고 있는 만큼 좀 더 쉽고 신뢰성 있는 수정 RMR법을 찾기 위한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 그만큼 RMR에 대한 다수의 연구들이 여러 가지 통계적 분석 및 평가기법에 의해 변수의 개수나 배점을 조정한 수정 RMR법 제시에 치중된 측면도 있다. 따라서 본 연구에서는 정규화한 RMR 변수들의 평가 경향 분석을 통하여 기존 연구들에서 중요 평가 변수들을 공통적으로 포함하면서도 다양한 변수조합의 수정 RMR법들이 제안될 수 있었던 당위성에 대하여 고찰하였다. 나아가 변수들의 분포 경향으로부터 현장에서의 평가경향에 대해서도 역 추론 하였다. 약 2000개의 현장 측정 데이터들에 대해 정규화한 후 RMR과 각 변수들의 1:1 평가를 실시한 결과 일정한 패턴의 상관관계와 평가경향이 나타났다. 정량적 평가 변수인 일축압축강도와 RQD는 RMR 기준선 대비 항상 상향 분포 추세로 나타나 RMR 값을 평가절상 하는 역할을 하는 반면, 정성적 평가 성향이 큰 절리 상태와 지하수는 기준선 대비 대부분 하향 분포 추세로 나타나 RMR 값을 평가절하 하는 역할을 하는 것으로 판단된다. 이를 통해 정량적인 변수들과 정성적인 변수들을 적절히 조합하면 어려운 통계분석 없이도 수정 RMR법을 제시할 수 있음을 알 수 있다. 또한 정성적인 변수에 대한 현장 엔지니어의 보수적인 암반평가 경향도 추론할 수 있다.

주요어: RMR, 정규화 변수, 정량적 평가, 정성적 평가

접수일(2011.11.14), 수정일(2011.12.22), 게재확정일(2012.1.11)

¹정희원, 영동대학교 토목환경공학과 교수

²영동대학교 산학협력단

³한북대학교 에너지자원학과 교수

*교신저자: 이성민 (E-mail: sm-lee@yd.ac.kr)

1. 서론

터널, 댐, 지하공간, 암반사면, 교량 기초 등 암반을 대상으로 한 다양한 토목공사에서, 안전하고 합리적인 시공을 위해서는 암반 특성을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 따라서 복잡 다양한 현장 암반 조건에 대하여 대표 물성치들을 고려할 수 있는 암반분류법은 일선의 엔지니어들이 현장에서 암반을 쉽게 이해하고 빨리 적용할 수 있도록 하는 수단이 된다. 여러 암반분류법 중 평가 방법이 수월하여 토목 공사 현장에서 암반 평가 방법으로 널리 활용되고 있는 RMR(Rock Mass Rating)은 암반 상태를 등급별로 분류하여 암반의 전단강도정수와 변형계수를 추정하는데 사용된다. 또한 터널 막장의 최대 안정폭과 무지보 유지기간 판단 및 지보하중을 환산 하는데 활용되기도 한다. 그러나 암반평가의 간편성이라는 장점을 가진 RMR도 한편으로는 현장상태를 평가할 때 일부 정성적 성향이 있는 변수들에 대해서는 기술자의 경험적 판단에 의존하고 있는 것이 사실이다. 설계단계에서 이러한 점들이 간과되어 설계의 신뢰성을 잃을 수 있는 단점을 내포하고 있는 것이다.

RMR 암반분류는 Bieniawski에 의하여 최초로 제안된 이후 많은 연구자들에 의해 신뢰도를 높이고 보다 간편하게 산출할 수 있는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 구체적으로 경험적 방법 또는 통계적 분석을 통한 각 변수별 배점 변화, 가중치 부여, 새로운 변수 적용 등의 수정 RMR 암반 분류법이 다양하게 제안되고 있다. 실제로 시설물의 관리주체별로 한국철도시설공단, 한국도로공사, 서울특별시 등에서는 RMR 산정을 위한 변수들에 대해 각각의 기준을 적용하여 암반을 분류하고 있는 실정이기도 하다. 이러한 연구결과들을 분석해 보면, 각각의 수정 RMR들이 주요 변수들을 공통적으로 포함하고 있다는 사실을 발견할 수 있다. 그러나 기존 연구 결과들은 다양한 기법을 사용했음에도 불구하고 주로 RMR을 쉽고 단순하게 사용할 수 있도록 수정 또는 대체하는 기법에 치중하였지 왜 주요 변수들이 공통적으로 포함되는지에 대한 원인 분석은 부족한 것이 현실이다.

이에 본 연구에서는 우리가 당연한 결과처럼 생각하는 주요 변수들의 공통적 산출에 대하여 그 원인과 당위성에 대해 살펴보고자 한다. 아울러 원인분석 결과를 통해 실제 현장에서 평가된 RMR 결과와 기술자 평가 사이의 격차(gap)를 역으로 추론하여 그 이유 또한 고찰해 보고자 한다. 본 연구를 위하여 국내 터널 현장 약 400개소에서 실시한 RMR_b(방향성 보정인자 제외)평가 자료의 총 약 2,000개 데이터들(5개 변수 데이터)을 정규화(normalizing)하고 그 값들을 RMR_b 값과 비교하여 상관관계와 분산 편차에 대한 분석을 실시하였다.

2. 연구 동향

기존 연구 발표에서는 RMR 각 평가변수별 배점 수정, 가중치 수정, 엔지니어의 경험적 판단에 의존되는 평가항목에 대한 정량적 변수 선택, 지질 조건별 RMR 항목 추정 등 다양한 평가 및 분석 기법들이 제안되고 있다.

노상림과 윤지선(2003)의 연구와 위용곤 등(2000)의 연구에서는 다변량 분석을 통하여 RQD (Rock Quality Designation)→절리상태→지하수상태→일축압축강도→절리면 간격 순으로 RMR에 대한 설명력이 높은 변수를 구하고, 회귀분석을 통하여 RQD, 절리상태, 지하수로 구성된 간편한 RMR 모형을 제시하고 있다. 이송 등(2004)의 연구에서는 정량적인 데이터인 RQD와 암석강도 2개 만으로도 설계단계에서는 충분한 RMR 암반분류가 가능할 것으로 분석하고 있다.

김보현(2002)의 연구에서는 무결암 강도(25점), 불연속면 거칠기(20점), 불연속면 간격(25점), RQD(20점), 불연속면 연장성(10점) 으로 구성된 RMR의 재평가 기법을 제안하고 있다. 이상은 등(2005)의 연구에서는 몬테카를로 시뮬레이션(MCS)기법을 적용하여 20점인 기존 RMR 등급 간 점수를 신뢰수준별로 10~30점내외의 다양한 급간 점수를 가지는 수정 RMR 산정표를 제안하고 있다.

김광염 등(2007)의 연구에서는 지질 조건별로 RQD와 절리면 상태 추정을 위한 선형 회귀식을 각각 제안하며 RMR 평가변수에 없는 각 지질조건에 대해 무결암의 강도, 절리면 간격 변수가 공통적으로 높은 상관성을 나타낸다고 분석하고 있다. 김홍표 등(2010)의 연구에서는 변수들 간의 상관관계 분석을 통하여 점하중강도, 절리상태, RQD, 절리간격을 적용한 새로운 암반분류기법 (X-method)을 제안하고 있다.

그밖에 RMR과 다른 암반분류법들과의 비교분석에 관한 연구도 활발하게 이루어지고 있다.

국내 석회석 광산에서 RMR, Q-system, GSI 분류법을 적용한 암반특성 연구(선우 춘 등, 2004), 터널전문지에 게재된 RMR, Q-system, RMI 암반분류법에 대한 비교 평가 사례 소개(박철환 등, 2006), RMR 분류법과 Q-system 각각에 대한 구성 변수들 간의 상관관계분석과 두 분류법간의 상관관계 분석을 통한 친숙도 관계 네트워크활용(신중호 등, 2008), 심부 광산 또는 터널 굴착시 rockburst 발생구간에 대한 RMR, 일축압축강도, RQD 분포 비율 도출(이성민 등, 2003)등이 있다. 기 연구결과들을 보면, 상황에 따라 약간의 차이는 있지만 RMR 5개의 변수들이 연구 상황에 따라 적절히 혼합되어 적용되고 있음을 알 수 있다.

3. 정규화한 변수와 RMR_b 분포의 통계적 분석

3.1 변수의 정규화

본 연구에서 RMR_b과 변수들을 비교분석하기 위해, 영천댐 도수터널 현장에서 현장 터널기술자에 의해 실시한 수년간의 현장 작업일지로부터 취득한 약 400개소 총 2,000여개의 RMR_b 변수 데이터들을 사용하였다. RMR_b의 5가지 변수인 암석의 일축압축강도, RQD, 절리 간격, 절리 상태 및 지하수 상태에 대해서 각 변수별 현장 측정값들을 변수의 최대값으로 나눈 후 100을 곱하여 정규화(normalizing)하였다(식 1).

$$\text{정규화한 변수} = (\text{변수의 측정값}) / (\text{변수의 최대 배점값}) \times 100 \quad (1)$$

예를 들어 15점 배점인 일축압축강도 값이 12점으로 측정되었다면 $12/15 \times 100 = 80$ 으로 변수 값을 재 표현하였다. 본 연구에서 이렇게 변수값에 대한 정규화를 실시한 이유는 첫째, 변수들의 최고 배점이 다르게 표현된 바와 같이 RMR에 대한 기여도나 영향력이 동일하지 않은 각 변수들 사이에 데이터에 대한 왜곡이 없도록 동일한 기준으로 재배열하여 분석하기 위함이고 둘째, RMR_b 값은 RMR_b내의 다른 변수들과 밀접한 관계가 있으므로 변수들의 정규화를 통해 RMR_b과 변수들의 1:1 비교도 가능할 것이기 때문이며 셋째, RMR_b 값은 각각의 변수 값의 합이면서 그 총점이 100이기 때문이다. RMR_b 값과 각각의 변수들에 대한 1:1 평가를 통하여 일반 PC에서 Excel 등 간단한 통계 프로그램으로도 RMR_b과 변수들 사이의 상관관계를 쉽게 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 RMR_b과 정규화한 단독 변수들 간의 상관관계

약 2,000개의 RMR_b 변수들에 대해 정규화 과정을 거친 후 RMR_b과 각 정규화 변수들 간의 상관관계를 살펴본 결과 그림 1과 같이 나타났다. 정량적인 변수인 일축압축강도와 RQD 변수에 관하여서는 RMR_b 기준선(실선) 대비 대부분의 변수 값들이 상향 분포되는 추세를 나타내고 있는 반면, 정성적 성향이 큰 변수인 절리상태와 지하수의 경우는 기준선 대비 대부분 하향 분포하는 추세를 나타내고 있다. 다만, 절리간격의 경우는 기준선과 매우 유사한 추세선(점선)을 나타내고 있다.

상향 추세를 나타내는 변수들 중에서 일축압축강도는 기준선과 거의 유사한 기울기를 갖고 있지만 기준선을 y축으로 양의 절편값을 가지도록 평행 이동한 것과 같은 경향을 나타낸다(그림 1(a)). 특히 기준선 보다 한 등급 상향 구간에서 표현되는 분포 경향에서 실제 RMR_b 값보다 일축압축강도가 대부분 약 한 등급 과대값으로 표현되고 있음을 유추할 수 있다. 즉, RMR_b 등급으로 예를

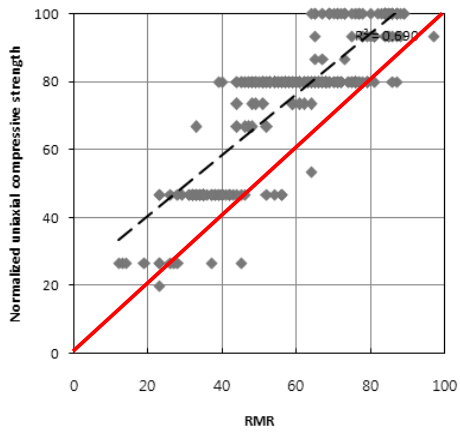
들어 살펴보면, 기준선이 지나는 RMR_b IV등급 구간을 보면 동일한 RMR_b 등급 구간 내에서 일축 압축강도는 대체로 한 등급 상향한 구간에서 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 RMR_b IV등급 산출 암반에서 일축압축강도는 III등급 암반으로 판단되어 암반에 대한 일축압축강도 평가는 실제 RMR_b 보다 평가 절상되었음을 나타낸다.

RQD의 분포는 기준선과 대비해 볼 때, RMR_b 값이 커질수록 기준선에 대해 상향 발산하는 분포 양상을 나타내고 있다(그림 1(b)). 특히 RMR_b 40점(RMR_b IV)이하 일 때는 동일한 등급 구간 내에서 주로 분포 양상을 나타내다가 40점 이상의 구간에서는 값이 커질수록 약 한 등급씩 상향 구간 내에서 주로 분포하는 양상을 나타내고 있다. 그래프를 살펴보면, RMR_b II등급 산출 암반에서 RQD는 대체로 I등급 암반 구간에 분포하고 있어 실제 RMR_b 보다 암반에 대해 평가 절상되었음을 나타낸다.

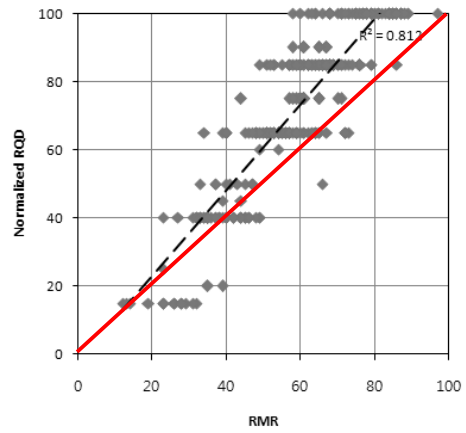
절리간격의 분포 추세는 기준선과 유사한 기울기를 나타내며 기준선에 거의 근접한 경향을 나타내고 있다(그림 1(c)). 다만 RMR_b 60점~80점(RMR_b II등급)에서 오차범위(RMR_b 한 등급구간)를 벗어나 상향 또는 하향 분포하는 일부 구간이 관찰되기도 한다. 그림 1에서 알 수 있듯이 절리간격 값은 다른 변수들에 비하여 단일변수로는 RMR_b 값을 대표할 수 있을 정도로 기준선과 RMR_b 기준 등급 구간 내에 분포하는 경향을 나타내고 있다.

앞서 살펴본 정량적 변수인 일축압축강도와 RQD가 평가 절상 되어 반영되고 있고, 절리 간격은 실제 RMR_b 값과 대체로 동등한 평가가 반영되고 있는데 비해, 정성적인 변수인 절리 상태와 지하수는 평가 절하 되어 반영되는 경향을 나타내고 있다. 기준선 대비 하향 분포 추세를 나타내는 변수들 중에서 절리상태는 RMR_b 점수값이 커질수록 기준선에서 하향 발산하는 분포 양상을 나타내고 있다(그림 1(d)). 특히 RMR_b 점수값 40점 이상인 구간(RMR_b I~III 등급)에서는 기준 RMR_b 보다 한 등급씩 불량한 암반 구간에 분포하고 있어 암반에 대한 절리상태는 실제 RMR_b 보다 평가절하되었음을 나타낸다.

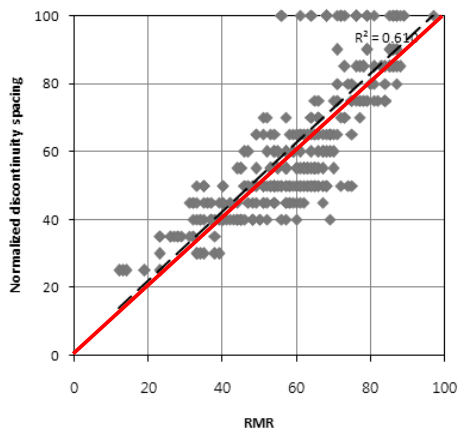
지하수는 기준선에 대비하여 RMR_b 점수값이 낮을수록 하향 발산하는 분포 경향을 나타내고 있다(그림 1(e)). 특히 매우 광범위한 범위에서 분산되어 나타나는 지하수의 분포는 RMR_b 평가요인 중 가장 주관적이고 경험적 판단이 많이 반영될 수 있음을 증명하는 것으로 판단할 수 있다. 이렇듯 다른 변수들의 분포 양상에 비해 매우 넓게 분포하고 있는 지하수는 암반 평가시 실제 RMR_b 보다 평가 절상 또는 평가 절하 되는 등 일정하지 않은 평가가 이루어지고 있어 분석 자료로 사용하기에 매우 어려운 점이 있다. 이는 지하수 배점이 RMR_b 산출시 가장 큰 오차 요인으로 작용하며 다른 변수 값들과의 조합에 따라 RMR_b 오차에 큰 영향을 끼칠 수 있는 변수임을 나타내는 것으로 판단할 수 있다.



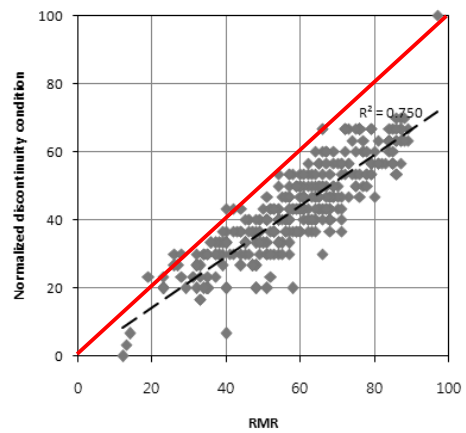
(a) 정규화한 일축압축강도



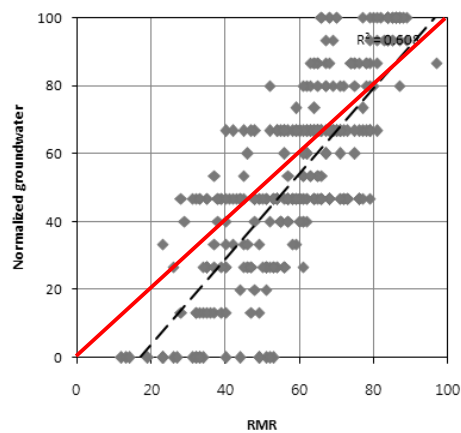
(b) 정규화한 RQD



(c) 정규화한 절리 간격



(d) 정규화한 절리 상태



(e) 정규화한 지하수

그림 1. RMR_b에 대한 정규화한 RMR_b 변수 분포

3.3 RMR_b과 정규화한 단독 변수들 간의 차이 분석

측정된 RMR_b값과 정규화한 변수들 사이의 차이(gap)를 알아보기 위해 약 400개의 RMR_b 자료들에 대한 평균값을 구하고 그 결과를 그림 2에 나타냈다. 그림 2(a)는 RMR_b의 5개 변수별 최고 배점, 변수별 측정된 평균값(그림 상에 표시된 수치, 점선), 평균 RMR_b값에 대하여 역으로 산출한 변수별 예상 평균값(표 1의 EP, 파선)을 비교하여 나타냈다. 그림에 의하면, 정량적 변수인 일축압축강도와 RQD에서는 측정값이 예상 값보다 크고, 반대로 정성적인 성향의 값인 절리상태와 지하수의 경우는 측정값이 예상 값보다 확연히 작은 것을 알 수 있다. 따라서 몇 개의 변수만으로 쉽게 RMR_b을 예측하고자 할 때는 그림 2(a)의 변수 사이에 나타난 차이를 잘 보정할 수 있는 회귀방정식을 찾아야 할 것이다. 그림 2(b)는 RMR_b 평균과 정규화한 RMR_b 변수들 각각의 평균값을 비교한 것이다. 분석 데이터의 RMR_b 평균값을 중앙에 다각형의 면적으로 표현하여 정규화한 RMR_b 변수들의 평균값과 비교하였다. 이를 통해 각 변수 간 차이와 평균 RMR_b 값에 대한 각 변수의 차이도 쉽게 인지할 있다. 다만 실제 변수 값의 차이를 얻기 위해서는 각 변수별 최대 배점을 곱해야 하는 번거로움이 있다.

표 1은 그림 2의 (a)와 (b)에 도시한 그래프의 RMR_b 변수 값들을 수록하여 단독 변수들과 RMR_b 값 간의 차이(gap)를 다각도로 분석한 것이다. 표 1에서 평균배점(AP)은 분석대상 데이터들의 측정 평균값을 나타냈고, 평균배점 정규화(NP)는 평균배점(AP)들을 정규화 하여 나타낸 것이다. 예상 평균배점(EP)은 측정데이터로부터 산출된 RMR_b 평균값에 변수별 최고점의 백분율을 곱하여 각 변수들의 예상 평균배점을 역산하여 나타낸 것이다. 이를 통해 실제로 측정된 변수별 측정 평균값과 이들로부터 산출된 실측 RMR_b 평균값이 도출되기 위한 이상적인(ideal) 변수별 예상 평균값을 비교해 볼 수 있다.

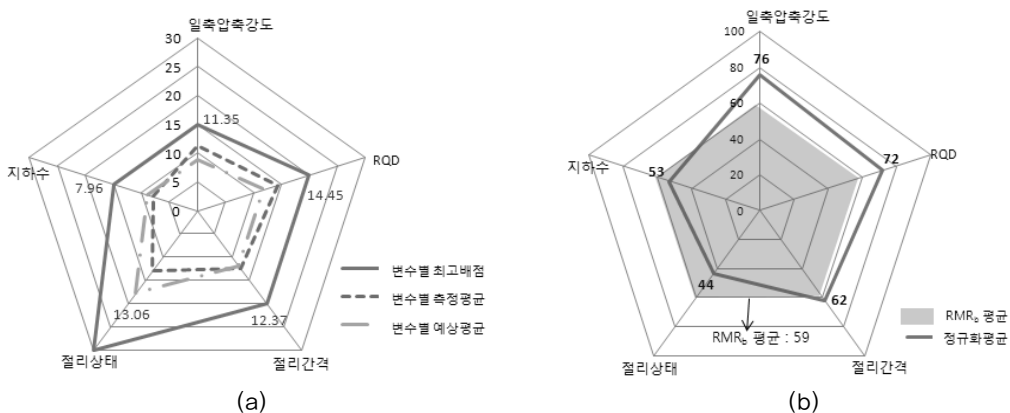


그림 2. 변수별 최대 배점기준에서 실측평균과 예상평균 비교(a), 측정된 RMR_b평균과 정규화한 변수값 비교(b)

표 1. RMR_b 변수들의 배점에 대한 다각도 분석

	최대 배점 (MP)	평균 배점 (AP)	평균배점 정규화 (NP)	예상 평균배점 (EP)	변수 간 배점 차이(Gap)		
					Gap 1	Gap 2	Gap 3
U.C.S.	15	11	76	9	2	16	28
RQD	20	14	72	12	3	13	22
D.S.	20	12	62	12	1	3	4
D.C.	30	13	44	18	-5	-16	-26
G.W.	15	8	53	9	-1	-6	-10
RMR _b	100	59	-	59	0	-	-

- 1) U.C.S.:일축압축강도, RQD:암질지수, D.S.:절리간격, D.C.:절리상태, G.W.:지하수
- 2) 배점은 소수점이하 반올림하여 나타냄.
- 3) $NP=AP/MP*100$, $EP=RMR_b*MP/100$, $Gap1=AP-EP$, $Gap2=NP-RMR_b$, $Gap3=NP/RMR_b-100$

Gap 1은 각 변수들의 측정된 평균배점과 예상 평균배점의 차이에 대한 분석이다. 일축압축강도와 RQD는 예상배점보다 높게(양(+))의 값, 절리간격은 예상배점과 유사하게, 절리상태와 지하수는 예상배점보다 낮게(음(-))의 값 측정값이 산출되었음을 알 수 있다. Gap 1의 결과를 통해 각 변수들은 RMR_b 평균값을 높이거나(+) 낮추는데(-) 기여하는 특성을 가지며 그 기여 정도는 절리상태, RQD, 일축압축강도 순으로 RMR_b에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Gap 2는 정규화한 평균배점(NP)과 RMR_b의 차이를 비교한 것이고, Gap 3은 RMR_b에 대한 각 변수들의 정규화한 평균배점 비율을 백분율로 비교하여 나타낸 것이다. Gap 2와 Gap 3의 결과로부터 일축압축강도, 절리상태, RQD 순으로 RMR_b에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 지하수도 Gap 2와 Gap 3에서 -6%와 -10% 차이를 나타내며 절리상태와 더불어 RMR_b 평균값을 낮추는데 기여하고 있음을 알 수 있다.

한편, 절리 간격의 경우는 실제 측정평균값과 예상 배점값이 1차이(Gap 1)가 있고, 측정값 정규화와 정규화 백분율 비교에서는 각각 3(Gap 2), 4(Gap 3)로 상대적으로 다른 변수들보다 적은 오차 범위를 나타내며 RMR_b과 상당히 유사한 결과를 보이고 있다. 이는 그림 1의 분포경향에서 기준선에 근접한 추세선을 나타내며 단일변수로는 RMR_b 값을 대표할 수 있을 정도의 분포 양상이 관찰되는 것과 같은 맥락이다.

3.4 RMR_b과 정규화한 혼합 변수들 간의 상관관계

3.2와 3.3에서 실시한 각 변수들에 대한 분석결과를 이용하여 정규화한 변수들 중 정량적 변수와 정성적 변수를 조합하여 RMR_b과의 상관 경향을 분석하였으며 그 결과는 그림 3과 같다. 그림 3의 X축, Y축에서 각 변수들은 표 1과 동일한 영문 약자로 표시하여 나타냈다.

정규화한 각 변수들을 두 개의 변수씩 조합하여 분석한 결과는 그림 3(a)~그림 3(c)로 나타났다. RMR_b에 대해 일축압축강도와 RQD 변수 조합을 나타낸 경우, 대체로 기준선에 상향 분포 경향이 나타나는데 이는 두 변수 모두 정규화 백분율 차이(Gap 3)가 28%, 22%를 나타내고, 배점 차이(Gap 1)에서도 각각 2, 3 씩 높게 측정되어 나타나는 것에 따른 결과이다(그림 3(a)).

일축압축강도와 절리상태 변수조합의 경우는 기준선에 대비하여 전반적으로 하향 분포추세를 나타내고(그림 3(b)), 표 1의 분석에서 배점차이(Gap 1)에 따르면 이러한 추세를 나타내는 것이 타당함을 알 수 있다. 또한 그림 1에서 일축압축강도는 대체로 상향 분포 추세를 나타내고 절리상태는 RMR_b 값이 커질수록 하향 발산하는 분포 추세를 나타내고 있는 것도 위와 같은 결과를 뒷받침해주는 것으로 볼 수 있다.

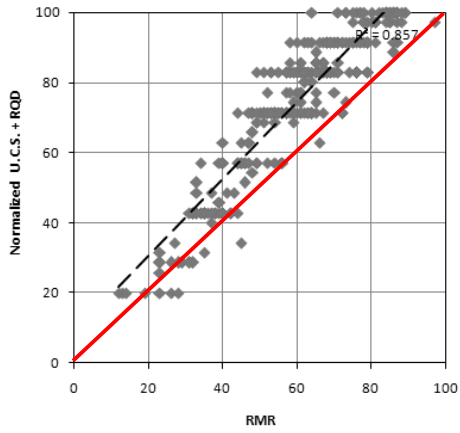
RMR_b에 대해 RQD와 절리 상태를 조합한 경우 기준선과 평행한 추세선을 나타내면서 RMR_b 기준 등급 구간 내에 대부분 분포하는 경향을 나타내고 있다(그림 3(c)). 이러한 결과는 표 1의 정규화백분율 비교(Gap 3)시 RQD는 22%, 절리상태는 -26%로 나타나는 결과에 따르면 당연한 것이다.

세 개의 변수를 조합하여 상관경향을 살펴본 결과는 그림 3(d)~그림 3(f)로 나타났다. RMR_b에 대해 일축압축강도, RQD, 절리상태 조합일 때 기준선과 거의 동일한 추세선을 나타내면서 RMR_b 기준 등급 구간 내에 대부분 분포하는 경향을 나타내고 있다(그림 3(d)). 이러한 결과는 표1의 배점 차이(Gap 1)에 따르면 일축압축강도, RQD, 절리상태가 각각 2, 3, -5의 차이를 나타내면서 RMR_b 평균값을 높이거나 낮추는데 기여하는 서로의 영향을 상쇄하여 나타난 결과로 볼 수 있다.

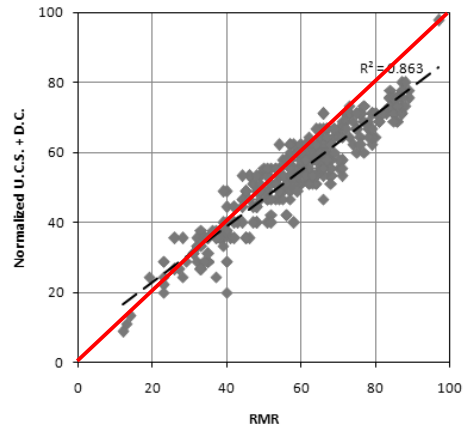
일축압축강도, RQD, 절리 간격 조합에서는 대체로 기준선에 상향 분포 추세를 나타내고 있는데 이는 표1의 분석 결과에서도 확연하게 나타난다(그림 3(e)). 배점 비교와 정규화 백분율 비교 등 모든 차이(Gap) 비교에서 세 변수 모두 기준 값보다 높게 배점되어 나타나며 그림 1에서도 모두 상향 분포하므로 당연한 결과로 볼 수 있다.

RQD, 절리 상태, 지하수 조합에서는 전반적으로 기준선에 하향 분포 추세를 나타내면서 대체로 RMR_b 기준등급 구간 내에 분포하고 있는 것으로 나타난다(그림 3(f)). 표 1의 분석결과에서 정규화 백분율 비교(Gap 3)시 RQD, 절리상태, 지하수는 각각 22%, -26%, -10%를 나타내고 있어 세 변수 조합 시 하향 분포 추세를 나타내는 것은 당연한 결과로 볼 수 있다. 다만, 일축압축강도, RQD, 절리간격 조합에 비해 분포 범위가 넓지 않은 경향을 나타내고 있는 것이 특징적인데, 이는 그림 1의 지하수 분포가 광범위하게 나타나고 있어 여러 변수 조합 시 이러한 상향 또는 하향 평가 오차가 서로 상쇄되어 표현되었기 때문인 것으로 판단된다.

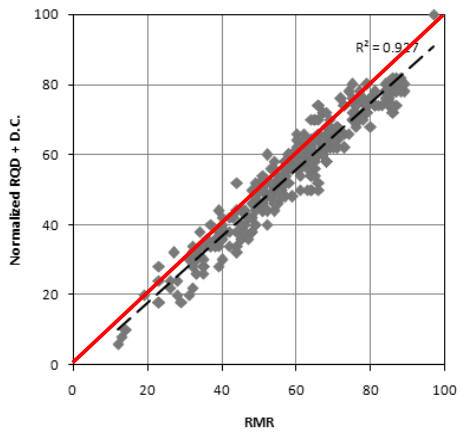
이렇게 정규화한 혼합 변수들과 RMR_b의 상관성에 대해 살펴본 결과, RQD와 절리상태의 최소 조합 또는 일축압축강도, RQD, 절리상태 조합만으로도 RMR_b에 의한 암반분류를 대표할 수 있는 간편한 암반분류가 가능할 것으로 판단된다.



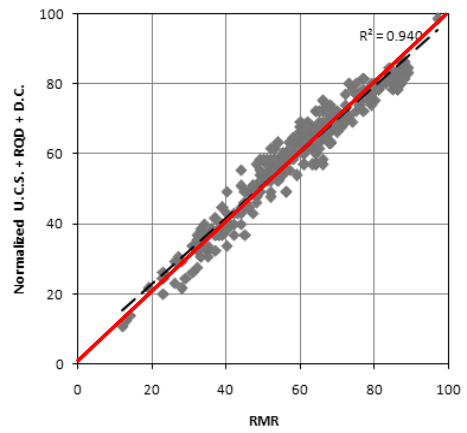
(a) 정규화한 U.C.S. + RQD



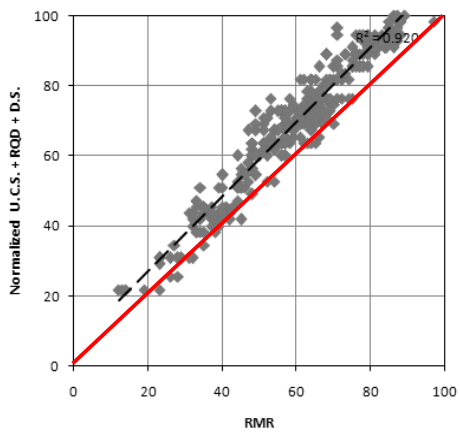
(b) 정규화한 U.C.S. + D.C.



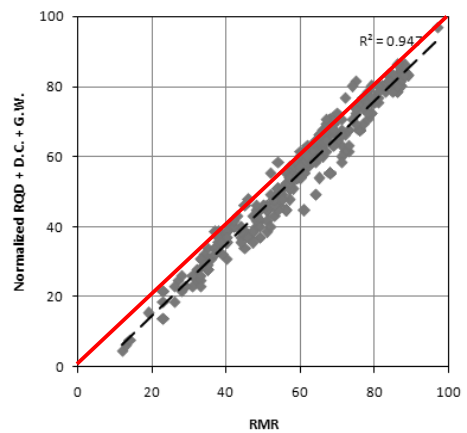
(c) 정규화한 RQD + D.C.



(d) 정규화한 U.C.S. + RQD + D.C.



(e) 정규화한 U.C.S. + RQD + D.S.



(f) 정규화한 RQD + D.C. + G.W.

그림 3. RMR_b과 정규화한 RMR_b 변수조합들의 비교

지금까지의 분석결과들을 종합하여 살펴보면, RMR_b 평가 변수 5가지는 산출된 RMR_b에 비해 상향 평가되는 변수인지 하향 평가되는 변수인지에 따라 구분해 볼 수 있고, 이러한 평가 영향을 고려한 간단한 변수조합만으로도 기존의 연구들에서 제안된 어려운 통계방법을 적용하지 않고도 쉽고 간편한 수정 RMR_b법을 제시할 수 있음을 알 수 있다. 다시 말하면, 지금까지의 연구결과들에서 중요 변수들이 공통적으로 포함된 수정 RMR_b 법들이 제안될 수 있었던 것도 이러한 각 변수별 RMR_b 평가 경향에 기인한 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 약 400개소 터널 시공 현장의 RMR_b 평가자료(총 약 2,000개의 데이터)를 대상으로 각 변수별 데이터에 대한 정규화과정을 거친 후 RMR_b 과 각 정규화 변수들 간의 분산 및 상관관계 분석을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. RMR_b에 대하여 정량적 평가 변수인 일축압축강도와 RQD의 분산 관계는 기준선 대비 상향 분포 추세를 나타낸다. 절리 간격은 기준선과 거의 유사한 분포 추세를 나타내고, 정성적 평가 성향이 큰 변수인 절리 상태와 지하수는 전반적으로 기준선 대비 하향 분포 추세를 나타낸다.
2. RMR_b 기준 등급(기준선 통과 구간)에 대한 분포 경향은 일축압축강도와 RQD는 기준 등급보다 한 등급씩 상향 구간에 분포하여 실제 RMR_b보다 평가 절상되는 경향을 나타낸다. 절리간격은 다른 변수에 비해 상대적으로 오차범위 내에서 분포하는 경향을 나타내고 있어 단일 변수로는 RMR_b 값을 대표하는 것으로 평가되는 경향을 나타낸다. 절리상태의 경우는 RMR_b 기준 등급보다 한 등급 씩 하향 구간에서 분포하여 실제 RMR_b보다 평가 절하되는 경향을 나타낸다. 가장 넓은 분산 범위를 나타내는 지하수의 경우는 실제 RMR_b 보다 평가절상 또는 평가절하 되는 등 일정하지 않은 경향성을 나타낸다.
3. RMR_b과 정규화 된 혼합변수간의 상관성 분석결과 RQD와 절리상태의 최소 조합 또는 일축압축강도, RQD, 절리상태 세 변수 조합만으로 RMR_b 암반분류를 대변할 수 있는 간편한 암반분류가 가능할 것으로 판단된다. 이는 정량적 평가 변수와 정성적 평가 경향이 큰 변수들의 적절한 조합만으로 기존 연구에서 제안한 복잡한 통계기법과 분석을 실시하지 않고도 쉽고 간편한 수정 RMR_b 방법을 제시할 수 있음을 보여주는 것이다. 또한 기존의 연구결과들에서 중요 변수들을 공통적으로 포함한 수정 암반분류법들이 제안될 수 있었던 것도 RMR_b에 대한 각 변수들의 이러한 경향성에 기인한 것으로 판단할 수 있다.

-
4. 분석결과 일축압축강도와 RQD는 평가 절상되어 현장의 RMR_b 값이 상향 표현되는 역할을 하고, 절리상태와 지하수는 평가 절하되어 현장의 RMR_b 값이 하향 표현되는 역할을 하는 것으로 나타났다. 이는 대부분의 엔지니어들이 현장에서 암반 평가시 정성적 평가경향이 큰 변수에 대해서는 보다 보수적인 평가를 내리는 경향이 있는 것으로 판단할 수 있다.

위와 같은 분석결과는 광산의 업무연속성을 위한 계획(mining business continuity plan)수립 시 리스크 분석, 가중치 및 중요도 산정 등에 주요 인자로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원의 에너지자원융합원천기술개발사업 (2011-T100200108)지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김광염, 임성빈, 김성권, 김창용, 서용석 (2007), “지질 조건을 고려한 RMR 인자값 추정을 위한 선형회귀식 제안”, 대한지질공학회지, 제17권 제4호, pp. 547-558.
2. 김보현 (2002), “다변량 분석을 이용한 암반분류 재평가와 터널 지보량 산정에 관한 연구”, 공학 박사학위논문, 전남대학교, pp. 108-109.
3. 김홍표, 장호민, 강추원, 고진석 (2010), “현장암반 평가에 관한 제안 및 암반분류법들간의 상관관계 고찰”, 대한화약발과공학회지, 제28권, 제2호, pp.133-147.
4. 노상림, 윤지선 (2003), “통계적 기법을 이용한 터널에서의 암반분류에 관한 연구”, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 4635-4640.
5. 박철환, 박찬, 신중호 (2006), “암반등급 분류법들의 비교연구”, 터널과 지하공간, 제16권, 제3호, pp. 203-208.
6. 선우춘, Karanam U. M. Rao, 정소걸, 전양수 (2004), “석회석 광산에서의 GSI 분류법에 의한 암반특성 연구”, 터널과 지하공간, 제14권, 제2호, pp. 86-96.
7. 신중호, 박철환, 선우춘 (2008), “RMR 및 Q 암반분류법의 평가 요소간 친숙도 관계 분석”, 터널과 지하공간, 제18권, 제6호, pp. 408-417.
8. 위용곤, 노상림, 윤지선 (2000), “다변량 분석을 이용한 터널에서의 효율적인 암반분류에 관한 연구”, 한국터널공학회 논문집, 제2권, 제2호, pp. 41-49.

9. 이상은, 전성권, 강상진 (2005), “RMR 암반분류법의 불확정성에 관한 연구”, 터널과 지하공간, 제15권, 제6호, pp. 441-451.
10. 이성민, 박부성, 이성원 (2003), “산악 TBM 터널굴착 중 발생한 Rockburst 분석”, 한국터널공학회 2003년 정기학술발표회 논문집, pp. 228-241.
11. 이송, 안태훈, 유오식 (2004), “다변량 판별분석을 통한 터널 설계시의 암반분류 연구”, 한국터널공학회 논문집, 제6권, 제3호, pp. 237-245.