

국내 터널시공시 RMR과 Q를 이용한 암반분류사례

최시영, 박형동
서울대학교 지구환경시스템공학부

1. 서론

최근 국내 토목사업의 많은 부분이 일괄계약으로 이루어지고 있어 지반조사와 설계의 중요성이 크게 부각됨으로써 조사항목의 증가와 조사기법의 기술적 향상이 이루어지고 있다. 특히 도로의 경우 산악지형이 주를 이루는 국내 지형 특성상 직진성을 향상시키기 위해서는 터널과 교량이 증가할 것으로 예상된다. 터널의 경우 지표지질조사, 시추조사, 물리탐사 및 실내암석시험 등의 결과로부터 암질을 파악하고 암반분류법, 국내시공사례, 수치해석 등을 종합적으로 고려하여 암반등급을 구분하고 등급별 굴착방법, 표준지보패턴을 설계하게 된다.

개정된 터널설계기준(대한터널협회, 1999)에서는 터널설계를 위한 암반등급은 RMR을 바탕으로 5등급으로 구분할 것을 권장하고 있으며 필요할 경우 보다 세분화된 등급구분과 Q 분류법 적용을 허용하는 등 탄력적인 기준을 제시하고 있다. 이에 대부분 터널설계시 시추코아로부터 암반을 기본적으로 5등급으로 구분하고 갱구부나 팽창성지반과 같은 특수한 지반에 대한 등급을 추가하고 있다. 미시추구간에 대한 암반등급은 국내에서는 일반적으로 전기비저항탐사결과와 시추조사시 획득된 RMR 값과의 상관관계 또는 탄성파탐사결과와 Q 값과의 상관관계를 통해 판단하며 지구통계기법을 적용한 사례도 있다. 그러나 미시추구간에 대한 암반등급의 판단은 우선적으로 시추조사를 통해 산출되는 RMR 값과 Q 값 자체의 신뢰성에 좌우된다고 할 수 있다.

본 논문에서는 상이한 조사자에 의해 조사된 국내 도로터널 3곳의 암반분류사례를 분석하여 RMR 분류법과 Q 분류법의 국내적용상 특성을 파악하고 개선점이 존재하는지를 타진해보고자 한다.

2. 암반등급분류현황

2.1 분석방법

RMR 분류법은 일축압축강도, RQD, 절리간격, 절리상태, 지하수조건 등 5개 항목에 대한 가중치를 합한 후 터널방향에 대한 불연속면방향의 유효치를 보정하여 산출되는 값으로 대상암반을 "Very Poor"에서 "Very Good"까지 5등급으로 분류한다. Q 분류법 RQD, 절리군의 수, 절리면거칠기, 절리면변질정도, 지하수조건 및 현지응력상태 등 6개 항목의 가중치를 곱하거나 나누어서 구해지는 최종 점수로부터 "Exceptionally Poor"에서 "Exceptionally

Good" 까지 9등급으로 분류한다.

RMR 분류법과 Q 분류법에서 암반등급의 용어가 갖는 역학적인 의미는 상이할 수 있다. 그러나 Milne(1988), Goel 등(1995)등은 분류법에 포함된 항목들을 단축압축강도, 절리간격 및 절리특성 등은 암석(rock material)과 절리로 이루어진 암반자체의 특성으로, 지하수 항목과 현지응력 항목은 외부환경 특성으로 구분하여 파악하였으며 이러한 관점은 Palmstrom(1996)에 의해 제안된 RMi(Rock Mass index)에도 계승되었다. 물론 최종 암반등급의 판정을 위해 RMR 분류법은 터널과 불연속면의 방향을 보정하며, Q 분류법 역시 가장 불리한 방향으로 발달된 불연속면에 대해 평가하도록 되어 있으나 구체적인 지보패턴과 관련해서는 RMR 분류법은 터널폭과 자립시간(stand-up time), Q 분류법 역시 굴착지보비(ESR)을 고려한 유효터널폭(De)이 고려된다. 따라서 RMR과 Q 분류 시스템에서 산출되는 수치와 암반등급에 대한 용어상 의미는 터널이 위치하는 지반전체에 대한 평가라 할 수 있다. 따라서 세 지역의 RMR값과 Q값으로부터 암반을 "매우 불량(V등급)", "불량(IV등급)", "양호(III등급)", "우수(II등급)", "매우 우수(I등급)" 등 5등급으로 구분하여 암반등급의 분류 특성과 각 변수별 가중특성을 살펴보았다.

5 등급으로 구분하는 기준은 한국도로공사의 고속도로터널 암반분류기준(표 1)을 참고하였다. 한국도로공사의 암반분류기준 중 Q 분류에 의한 등급기준은 I등급은 Q 분류상 "Very Good", "Extremely Good", "Exceptionally Good" 등급을 포함하는 범위이며 II 등급은 "Good" 등급, III 등급은 "Fair"등급, IV 등급은 "Poor" 등급, V 등급은 "Very Poor", "Extremely Poor", "Exceptionally Poor" 등급과 일치한다. 실제 각 지역의 지반조사보고서상의 암반등급분류기준은 표 2와 같으며 A 지역과 C 지역은 선캠브리아기의 편마암류가 터널구간의 기반암을 이루며 B 지역은 중생대 백악기의 화강암류가 터널구간의 기반암을 이루고 있다.

표 1. 한국도로공사 암반분류기준(고속도로터널설계실무자료집, 1996;김성환, 김낙영, 2000)

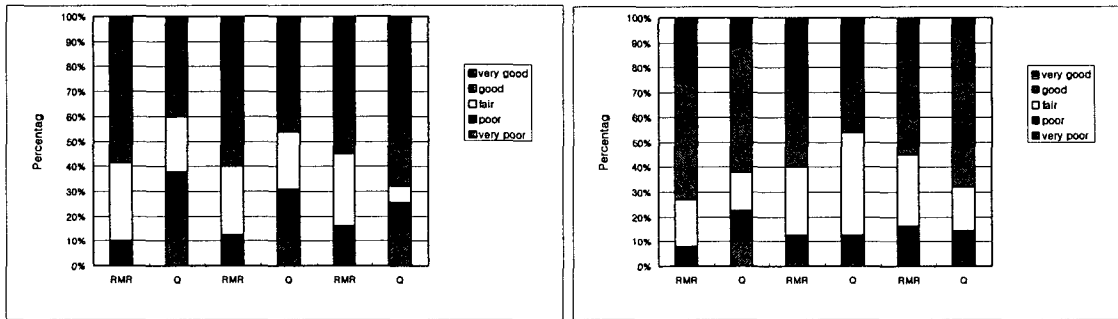
표준 단면	암질	특징	RMR	Q	RQD	탄성파속도 km/sec	일축압축강도 kg/cm2	TCR
I	경암	안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대피상의 암질	100-81	40이상	70이상	4.5이상	1200이상	90이상
II	보통암	균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적으로 절리가 존재하는 층상의 암질	80-61	40-10	40-70	4.0-4.5	800-1200	70-90
III	연암	층리, 절리 및 편리등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 소피상의 암질	60-41	10-4	20-40	3.5-4.0	600-800	40-70
IV	풍화암	물리적 화학적 영향으로 파쇄대가 불규칙적으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	40-21	4-1	20이하	3.5-2.0	250-600	40이하
V	풍화암(토)	풍화작용이 심하고 일부가 토괴화된 상태이며 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질	20이하	1이하	20이하 N>100 : IV N<100 : V	2.0이하	250이하	-

표 2. 지역별 암반분류기준

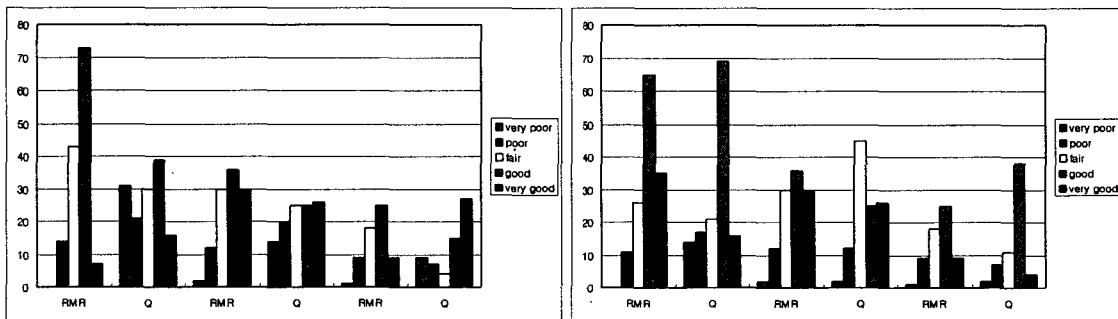
암반등급	A 지역		B 지역		C 지역	
	RMR	Q	RMR	Q	RMR	Q
I	73-100	>40	81-100	>40	81-100	>150
II	56-72	4-40	61-80	10-40	61-80	10-150
III	37-55	1-4	41-60	1-10	41-60	1-10
IV	20-36	0.1-1	21-40	0.1-1	21-40	0.1-1
V	<19	<0.1	<20	>0.1	<20	<0.1

2.2 암반등급별 판정 결과

도로공사의 기준을 이용해서 분류된 암반등급과 각 지역별 지반조사보고서 상의 기준에 따른 암반등급 판정결과는 그림 1 및 그림 2와 같다. RMR과 Q 분류상 세 지역 모두 II 등급 이상의 암반이 우세하게 나타나 양호한 지반특성을 보이고 있다.



(a) 도로공사기준 사용시 (b) 지역별 기준 사용시
 그림 1. 지역에 따른 암반등급별 상대적 분포



(a) 도로공사기준 사용시 (b) 지역별 기준 사용시
 그림 2. 지역에 따른 암반등급별 분포

도로공사 기준으로 암반등급을 판정하였을 경우, 세 지역 모두 Q 분류법에 의한 V등급

의 비율이 RMR 분류법에 비해 크게 증가하는 것이 특징적이다. 이는 등급판정에 대한 동일기준을 적용하였으므로 RMR 분류법과 Q 분류법상의 가중방법의 차이에 기인한 것으로 판단되며 Q 분류법이 불량한 조건의 암반을 판정하는 데 있어 RMR 분류법에 비해 민감하다는 것을 시사한다고 할 수 있다.

각 지역별로 상이한 기준으로(표 2) 암반등급을 판정하였을 경우에는, 세 지역 모두 Q 분류법을 보다 과감하게 적용함으로써 IV등급과 V등급의 비율이 도로공사 기준에 의한 판정에 비해 현저하게 감소하였다.

지역별로 RMR값과 Q 값의 분포를 도시한 결과(그림 3), 도로공사기준을 적용하였을 경우와 각 지역별 기준을 적용하였을 경우 모두 A 지역과 B 지역에서는 RMR 분류법이 Q 분류법에 비해 보다 양호한 암반등급으로 판정되는 경향이 있으며 C 지역에서는 Q 분류법에 의한 암반등급이 보다 양호하게 판정되는 경향이 있다. 또한 도로공사 기준에 비해 각 지역별 기준을 적용하였을 경우가 RMR 분류법과 Q 분류법에 의한 암반등급이 일치하는 정도가 크게 나타나고 있다. 또한 RMR 분류법과 Q 분류법 모두 I등급과 II등급으로 판정되는 경우가 III등급 이하의 암반에 비해 높게 나타난다. 이는 II등급 이상의 자료수가 많은 것에도 기인하나 양호한 암반에 대해서는 RMR과 Q 분류법 모두 적용성이 뛰어나다는 사실을 시사한다고 판단된다.

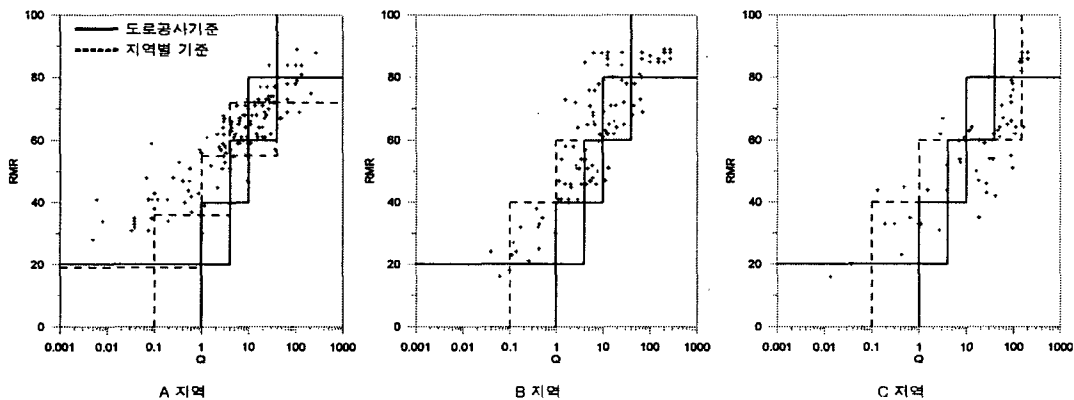


그림 3. 지역별 RMR 및 Q 값 분포

2.3 변수별 가중특성

Q 분류의 경우 (RQD/J_n)은 블록크기(Block Size), (J_r/J_a)는 절리마찰특성(Joint Friction Property)로 크게 간주할 수 있다(Barton et al., 1974). RMR 분류법 역시 RQD와 절리간격 가중치를 합하여 블록크기, 시추코아 상에서 파악하는 것이 힘든 절리연장성을 제외한 절리 거칠기, 틈새, 충전물, 풍화 점수를 합하여 절리마찰특성으로 간주하여 RMR과 Q 모두에 포함된 항목의 지역별 가중특성을 살펴보았다(그림 4, 5, 6).

동일 조사자의 판단오차와 상이한 조사자에 따른 오차를 고려하더라도 세 지역 모두 RMR 분류법 상 블록크기와 절리마찰특성 사이에 상관성이 뚜렷하게 나타나 양호한 암반일 수록 블록크기와 마찰특성에 대한 가중값이 높게 부여되는 특성이 있음을 알 수 있다. Q 분류법 역시 암반등급별로 어느 정도 구분되나 RMR 분류법에 비해 항목별 가중특성의 등급

간 분산이 RMR 에 비해 크게 나타난다. 이는 Q 분류법이 보다 암반특성에 보다 민감하게 반응한다는 사실과 그로 인해 조사자의 주관적 오차가 크게 발생할 소지가 있음을 알려준다고 판단된다.

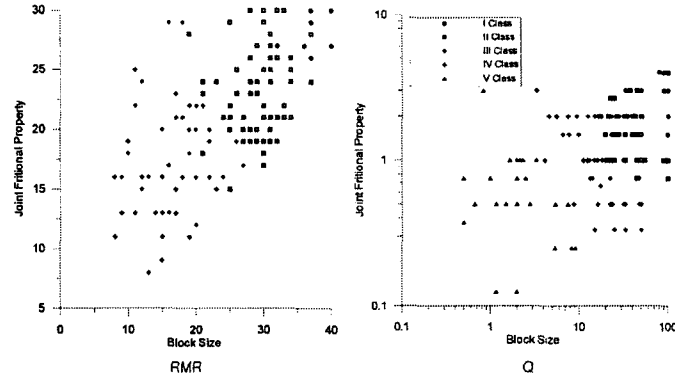


그림 4. A 지역의 블록크기와 절리마찰특성과의 관계

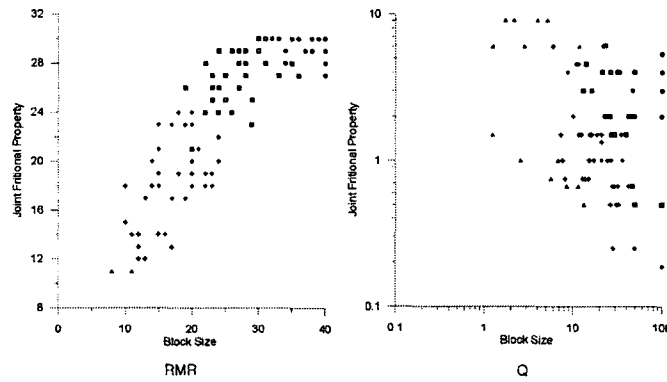


그림 5. B 지역의 블록크기와 절리마찰특성과의 관계

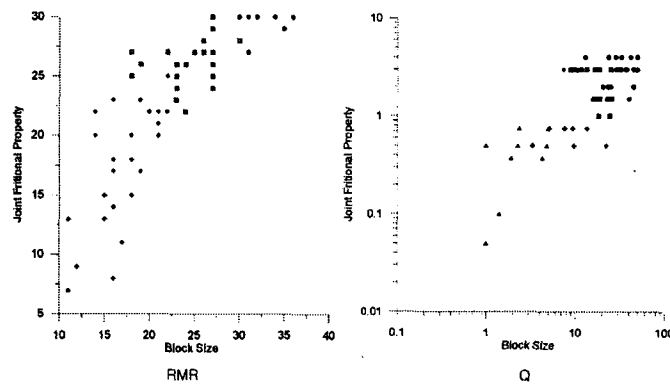


그림 6. C 지역의 블록크기와 절리마찰특성과의 관계

A 지역의 경우 RMR과 Q 분류법 모두 암반등급에 따라 블록크기의 차이가 절리마찰특성의 차이에 비해 뚜렷하게 나타나는데, 이는 블록크기는 RQD, 절리간격, 절리군의 수와 같

이 보다 정량적인 정보로부터 가중치가 부여되기 때문으로 판단된다. B 지역과 C 지역의 경우 이러한 양상이 뚜렷하게 관찰되지 않는다.

3. 결론

국내 도로터널설계를 위한 암반분류자료에 대한 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 화강암과 편마암 지질조건에서는 I등급, II등급과 같은 양호한 암반등급이 우세하게 판정되며, 한국도로공사기준을 적용하여 암반등급을 판정한 결과 Q 분류법이 IV등급 이하의 불량한 암반등급 판정비율이 높게 나타났으며 양호한 암반일수록 RMR과 Q 분류에 의한 등급판정의 일치율이 높게 나타났다.

둘째, 도로공사의 기준은 각 지역별로 제안된 기준보다 대체로 보수적인 등급판정을 보이고 있으며 지역별 기준을 통한 암반등급판정이 일치되는 비율이 더욱 높게 나타났다. 따라서 향후 보다 엄밀한 등급기준값에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 암반분류법에 투입되는 변수를 블록크기와 절리마찰특성으로 크게 구분하여 도시한 결과 RMR 분류법이 Q 분류법에 비해 암반등급간 차이가 뚜렷하게 나타났으며 블록크기에 비해 절리마찰특성의 가중특성에 주관적 오차가 개입될 소지가 더 큼을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 대한터널협회, 1999, 터널설계기준, 133p.
2. Milne, D.M., 1988, Suggestions for standardization of rock mass classification, Imperial College of Science and Technology B.C. Thesis., 123p.
3. Goel, R.K., Jetwa, J.L. and Paithankar, A.G., 1995, Indian experiences with Q and RMR systems, Tunnelling and Underground Space Technology, v.10(1), pp.97-109
4. Palmstrom, A., 1996, Characterizing rock masses by the R_{Mi} for use in practical rock engineering : Part 1 : The development of the rock mass index (R_{Mi}), Tunnelling and Underground Space Technology, v.11(2), pp.175-188
5. 고속도로터널설계 실무 자료집, 1996, 한국도로공사, 514p.
6. 김성환, 김낙영, 2000, 고속도로 터널 현황, 터널기술, v.2(1),
7. Barton, N. Lien, R. and Lunde, J., 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mechanics, v.6, pp.189-236