

국내 암반분류 사례를 통한 싱글셸 터널 지보량 산정 연구

김학준^{1*} · 이성호² · 신휴성² · 배규진²

¹대전대학교 지반설계정보공학과

²한국건설기술연구원 국토지반연구부

Evaluation of Support Requirements for the Single Shell Tunnels from the Case Study of Rock Mass Classifications

Hak-Joon Kim^{1*}, Seong-Ho Lee², Hyu-Seong Shin², and Gyu-Jin Bae²

¹Daejeon University, Dept. of Geological Engineering

²Korea Institute of Construction Technology

기존의 NATM 터널에서는 숏크리트가 임시적인 지보재로 사용되었으나 싱글셸에서는 영구적인 구조물의 역할을 담당하게 된다. 따라서 숏크리트에 작용하는 하중과 변위를 신뢰성 있게 예측하는 것이 터널의 안정성을 확보하기 위한 필수조건이므로 지반정수 산정의 정확성이 매우 중요하다. 특히, 국내의 지질상태는 외국과 다르므로 싱글셸 공법을 국내에 적용하기 위해서는 국내 지질상태를 고려한 지반정수 산정기법의 기술 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 국내 25개 터널 현장에서의 암반분류 사례 및 지반정수 사례를 조사하였다. 국내 싱글셸 터널공법을 위한 지보 패턴안을, Q분류에서 수정된 NMT방법과 국내 암반상태를 고려하여 제안하였다. 또한 사례연구를 통한 Q시스템과 RMR값의 상관성을 이용하여 RMR을 이용한 지보량을 제시하였다.

주요어 : 싱글셸 터널, 지반정수 산정, 암반분류인자, 지보 패턴

Shotcrete is used as a permanent lining in single shell tunnels even though shotcrete has been used as a temporary lining in NATM tunnels. Therefore, the accurate evaluation of strength parameters is very crucial because the reliable estimation of loads acting on the shotcretes is necessary to maintain the stability of tunnels. The evaluation of strength parameters of the ground for the single shell tunnels should be investigated to adapt the method in Korea because the geological condition of Korea is different from that of other country. Rock classification and strength parameters obtained from 25 tunnel sites were investigated for this study. Support types for the different rock classes are suggested for the single shell tunnels in Korea based on the NMT because Q-system has been widely used in Korea. The support types in terms of both Q and RMR values are given based on the correlation of Q and RMR values obtained from the case studies.

Key words : single shell tunnel, evaluation of strength parameters, parameters of rock classification, support types

서 론

1980년대 초 지하철 3·4호선 건설을 시점으로 국내에서 발파를 하고 굴착과 숏크리트 및 록볼트를 이용한 일차지보 그리고 이차 콘크리트 라이닝을 타설하는 2층 구조인 NATM 공법이 소개되면서 현재까지 대부분의 터널공사에서 적용되고 있다. 국내의 경우에는 암반상태

가 매우 양호한 경우에도 이차 콘크리트 라이닝을 반드시 타설하고 있다. 그러나 노르웨이, 스웨덴, 핀란드, 스페인과 브라질 등 일부 국가에서는 경암에 건설되는 도로터널의 경우 숏크리트와 록볼트가 최종 라이닝으로 허용되는 싱글셸 터널공법을 활발히 적용하고 있다. 국내에서는 암반상태가 양호하더라도 싱글셸 터널에 대한 연구가 매우 부족하여 적용을 하지 못하고 있으므로 국내

*Corresponding author: hakkim@dju.ac.kr

에 싱글셀 공법을 도입하기 위해서는 이에 대한 연구가 필요하다.

싱글셀 터널의 국내 적용을 위한 연구를 위하여 국내 25개 터널현장에서 암반분류 및 지반정수 산정 사례를 분석하였다. 분석결과로부터 국내 암반의 특성 및 등급별 지반 설계정수의 범위를 조사하였다. 또한 외국의 싱글셀 터널공법을 위한 암반분류 및 국내 암반분류 사례 조사를 이용하여 국내의 싱글셀 터널공법 적용을 위한 암반분류안 및 지보재 산정 방안을 제안하고자 한다. 국내 싱글셀 터널공법을 위하여 제안된 암반분류 방법과 이를 이용한 지보재의 산정방법은 국내의 싱글셀 터널 설계에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

국내 터널의 암반분류 사례

터널에 대한 암반분류는 Terzaghi(1946)에 의하여 처음 제안되었으며 1970년 전후부터 RQD, 접하중강도 지수, 탄성파속도, 불연속면의 상태 등이 포함되어 암반분류 방법이 제안되었다. 많은 암반분류들 중 RMR 법, Q 시스템 등이 가장 대표적이며 분류인자에 따라 평점의 합 또는 곱으로 암반을 평가한다. 이들 각 방법들은 신희순 등(2000)의 여러 문헌에서 상세히 기재되었다.

본 연구의 사례분석을 위하여 14사업명의 25개 터널 현장에서 암반분류 및 지반정수 산정 사례를 분석하였다. 본 연구에 사용된 25개 터널 현장의 위치는 Fig. 1

과 같으며 사례분석 결과는 다음과 같다.

심도 및 암종별 RMR 및 Q분포

본 사례지역에서의 시추 코아를 이용한 심도별 RMR 분포를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에 의하면 전반적으로 심도가 깊어질수록 RMR 값이 증가하는 경향은 있으나 일부 터널의 경우 RMR 값은 심도에 따른 뚜렷한 경향을 보이지 않는다. 또한 일부 터널에서는 심도가 깊은 지점이라도 파쇄대와 단층대의 발달로 인하여 오히려 RMR 값이 감소함을 나타내었다. 심도별 Q 분포의 결과는 Fig. 2와 유사한 양상을 보인다.

본 사례지역의 터널구간은 주로 화강암, 편마암, 석회암으로 구성되었다. 이들 각각의 암종별로 암반분류값이

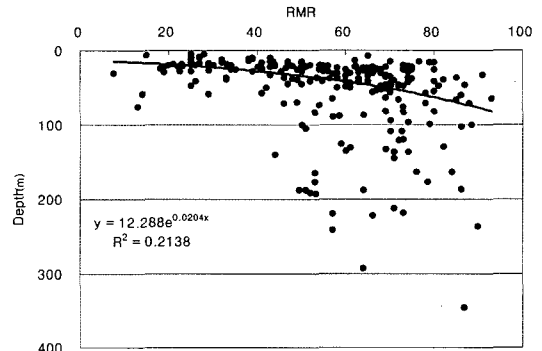


Fig. 2. Distribution of RMR with depth.

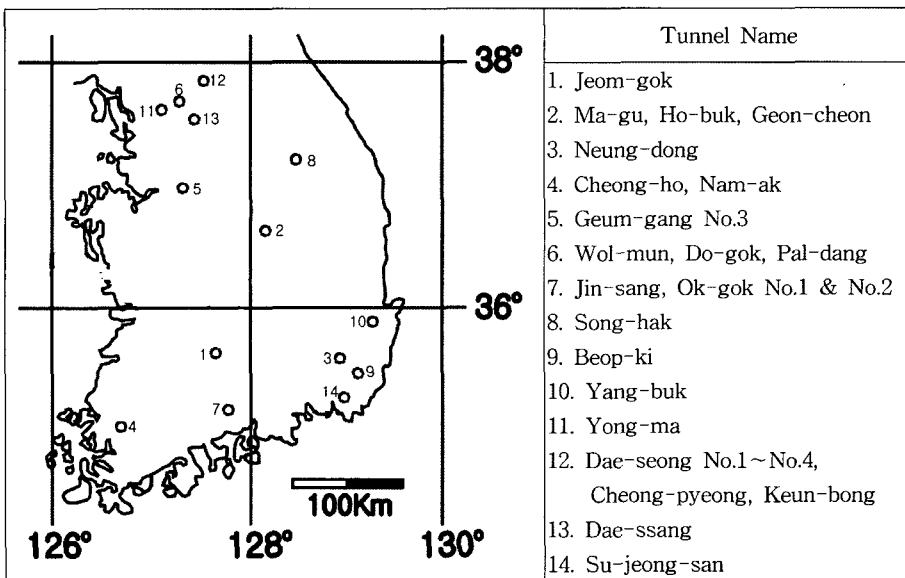


Fig. 1. Location of tunnels used for this study.

어떤 범위를 나타내지를 알아보기 위해서 터널별로 비교하였다. 조사결과, 대체적으로 같은 터널 구간에 위치한 암석은 암종에 관계없이 비슷한 분포 범위(RMR 평균값 50-70)를 나타내고 있다. Q값의 경우도 RMR과 유사한 결과를 보인다. 결론적으로, 암종과 RMR, Q값의 상관성은 관찰되지 않았다.

RMR과 Q-system의 상관관계

Q값과 RMR값과의 상관관계는 여러 연구자에 의해 Table 1과 같이 보고되고 있는데 비교적 양 분류법간의 상관성은 신뢰성이 낮다. 실제로 Q-RMR의 상관성을 구하는데 무시되고 있는 점은 두 시스템이 실질적으로 서로 다른 분류인자를 사용하고 있다는 점이다. 그러나 본 사례지역에서 터널구간에 대해서 측정된 값을 분석한 결과 RMR과 Q-system의 상관관계식은 Fig. 3과 같이 $RMR = 7.40 \ln(Q) + 39.5$ 로 도출되었으며 상관계수는 0.81로 비교적 높은 값을 나타내었다. 이러한 상관관계식은 Geol *et al.*(1995)의 제안식과 가장 유사하다.

RMR과 변형계수(Em)의 상관관계

19개 현장에서 공내재하시험을 실시하여 측정된 255개의 변형계수와 시추코어를 이용하여 분류한 RMR 값의 상관관계를 Fig. 4와 같이 도시하였다. Bieniawski (1978)는 RMR 값을 이용하여 $RMR > 58$ 에서는 $Em = 2 \times RMR - 100$ 의 직선 관계식을 제시하였고, Serafim &

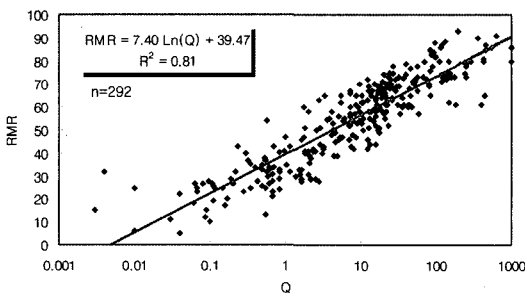


Fig. 3. Correlation between RMR and Q in the study area.

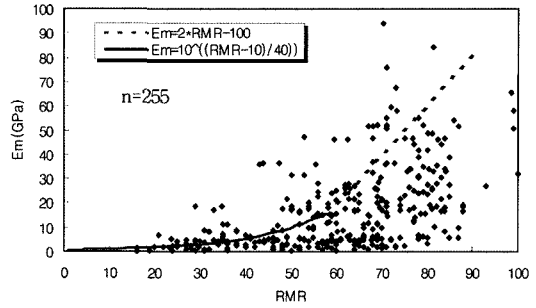


Fig. 4. Correlation between RMR and the deformation modulus.

Pereira(1983)는 $Em = 10^{((RMR-10)/40)}$ 의 지수 관계식을 제시하였다.

본 사례지역의 경우 RMR 범위가 $20 < RMR < 50$ 에서는 내략적으로 $Em = 10^{((RMR-10)/40)}$ 의 제안식과 일치하는 경향을 나타내었으나 그 이상의 RMR 범위에서는 전반적으로 분산이 심하여 신뢰성 있는 상관관계를 보이지 않는다.

암반등급별 지반정수 분포

25개 터널현장에서 지반정수로 사용된 값들을 RMR의 암반등급별로 분류하여 그 범위를 조사하였다(Fig. 5). Fig. 5에 의하면 변형계수와 점착력은 같은 암반등급에서도 상당히 넓은 분포를 보이고 있으며 내부마찰각, 포아송비, 단위중량은 비교적 좁은 범위의 분포를 보인다.

변형계수는 I등급에서 V등급으로 갈수록 감소하고, 암반등급간 분포범위는 큰 폭으로 감소한다. 변형계수의 암반등급별 평균값은 I등급(23.34 MPa), II등급(12.16 MPa), III등급(5.49 MPa), IV등급(1.71 MPa), V등급(0.36 MPa)을 나타냈다.

점착력은 I등급에서 V등급으로 갈수록 감소하고, 암반등급간 분포범위는 큰 폭으로 감소한다. 점착력의 암반등급별 평균값은 I등급(5.32 MPa), II등급(2.88 MPa),

Table 1. Correlation between RMR and Q.

Correlations	References
$RMR = 9 \ln Q + 44$ ($r = 0.77$)	Bieniawski (1974)
$RMR = 5.9 \ln Q + 43$ ($r = 0.85$)	Rutledge & Preston (1978)
$RMR = 5.4 \ln Q + 55.2$ ($r = 0.55$)	Moreno (1982)
$RMR = 5.0 \ln Q + 60.8$ ($r = \text{very scattered}$)	Cameron-Clarke & Budavari (1980)
$RMR = 10.5 \ln Q + 41.8$ ($r = 0.66$)	Abad <i>et al.</i> (1983)
$RMR_{mod} = 8 \ln N + 30$ ($r = 0.92$)	Goel <i>et al.</i> (1995)

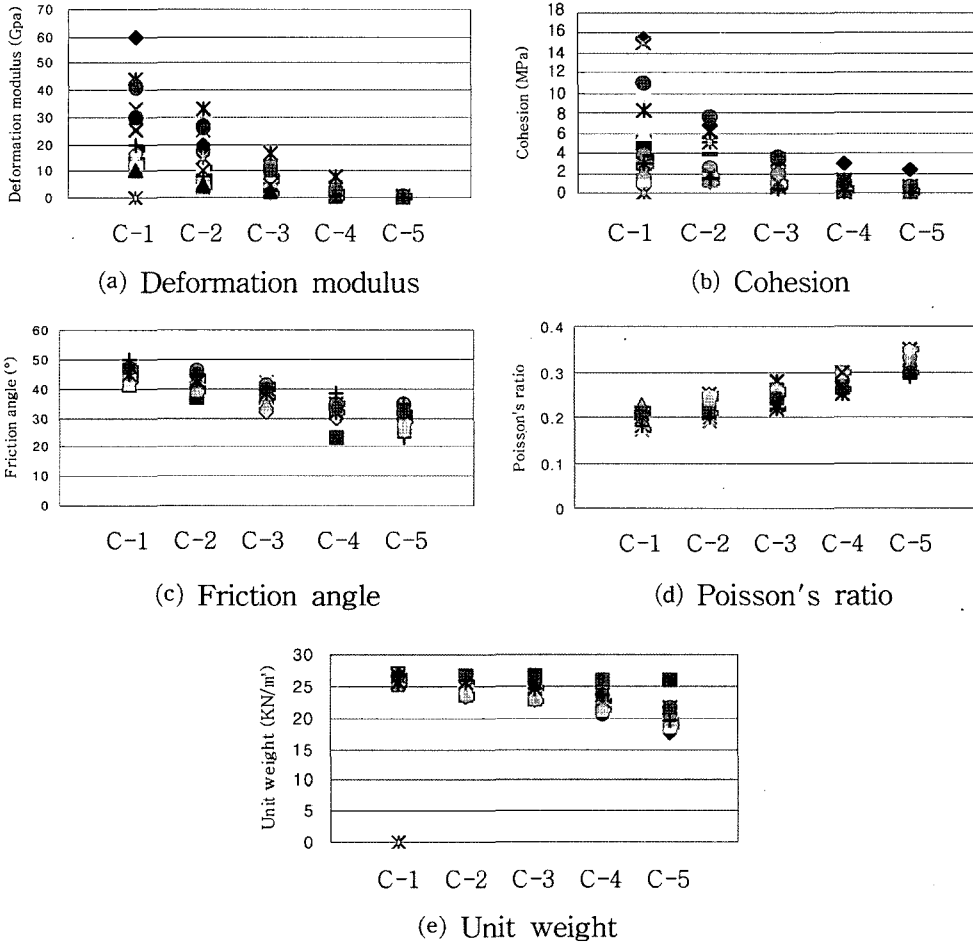


Fig. 5. Distribution of strength parameters with respect to rock classes(C).

III 등급(1.47 MPa), IV 등급(0.60 MPa), V 등급(0.26 MPa)을 나타냈다.

내부마찰각은 I등급에서 V등급으로 갈수록 감소하는 경향을 나타냈다. 내부마찰각의 암반등급별 평균값은 I 등급(43°), II 등급(42°), III 등급(38°), IV 등급(33°), V 등급(30°)이다.

포아송비는 I등급에서 V등급으로 갈수록 증가하는 경향을 나타냈다. 포아송비의 암반등급별 평균값은 I등급(0.20), II 등급(0.22), III 등급(0.24), IV 등급(0.28), V 등급(0.30)을 나타냈다.

단위중량은 I등급에서 V등급으로 갈수록 값은 약간씩 감소하는 경향을 보이며 암반등급간 분포범위는 증가하는 경향을 나타내었다. 단위중량의 암반등급별 평균값은 I등급(26.1 KN/m³), II 등급(25.0 KN/m³), III 등급

(23.9 KN/m³), IV 등급(22.3 KN/m³), V 등급(20.0 KN/m³)이다.

본 연구를 통해서 조사된 국내의 암반등급별 지반정수 값은 터널 예비 설계시 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

싱글셸 터널공법을 위한 암반분류

국의 싱글셸 터널공법 암반분류 산정 현황

Barton *et al.* (1974)에 의하여 노르웨이에서 발표된 Q-시스템은 1973년 이전의 사례 연구를 토대로 개발되었는데 이 터널들은 록볼트와 슛크리트 혹은 록볼트와 와이어메쉬 보강 슛크리트가 주로 사용되었다. 그렇지만 이미 1978년까지 강섬유를 함유한 습식 슛크리트가 상

업적으로 확립되어, 노르웨이에서는 도로터널과 수력발전터널에서 사용되었다.

노르웨이인들이 주요 도로 터널, 철도 터널, 1991-1992년에 걸쳐 건설된 62m 폭의 Gjøvik Olympic 공동에서 영구적 지보재로서 록볼트와 강섬유보강 슛크리트를 광범위한 사용은 1992년에 NMT 개념의 출발로 이어졌다. 근본적으로 NMT는 Q-시스템특성, Q-시스템영구지보 설계와 록볼트-강섬유보강 슛크리트를 종합하였다. Barton *et al.*(1992)은 NMT의 방법, 개념, 재료 등에 대하여 발표하였다.

Grimstad와 Barton(1993)은 NMT의 본질적 요소인 습식 강섬유보강 슛크리트를 적용하기 용이하도록 Q시스템의 분류기준을 Fig. 6과 같이 수정하여 제안하였다.

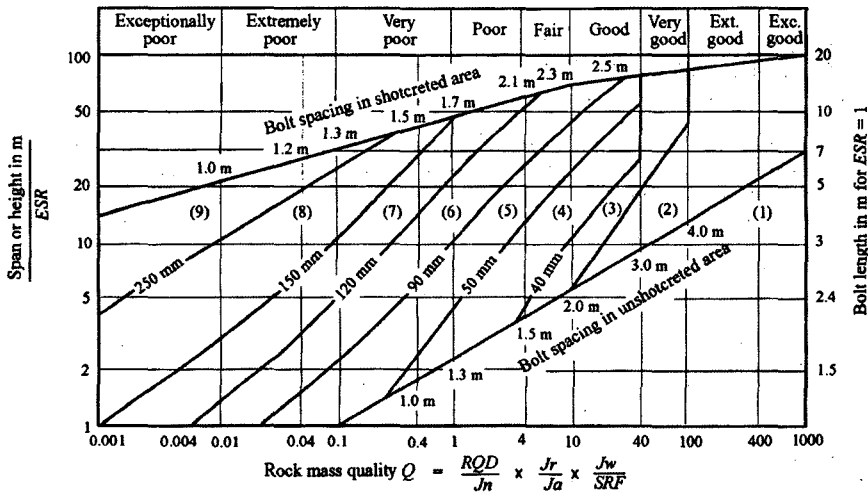
일본의 싱글셀 터널을 위한 암반분류는 지오프론트(2000)에 의하여 제시되었다. 지오프론트(2000)에 의하면 일본에서는 Q값을 이용한 설계실적이 많지 않아 명확하게 Q값과 일본 지반과의 관계를 나타내기가 어려우며 차후에 터널 현장 막장에서 관찰된 Q값 자료 및 채택된 NATM의 실시지보 패턴 등이 축적 될 때마다 수정하는 것이 바람직한 것으로 결론지었다. 또한 Q분류법이 경암을 위주로 제안된 방법이므로 지반의 변화

가 심한 지반 특성을 갖는 일본에서는 Q 방법을 그대로 이용하거나 혹은 NMT 방법을 곧바로 적용하여 시공하는 것은 곤란함을 지적하였다.

일본에서는 Q System에 의한 지반평가를 주체로, 별도 보조적인 지반 평가지표를 포함하여, 설계 카테고리 선정의 개선 및 지보의 추가를 고려하는 방법을 적용한다. 지오프론트(2000)에 의하면 암석의 습윤일축압축강도가 30 N/mm² 이하 이거나 흡수율이 5% 이상의 지반 시료 시험결과가 얻어지게 되면, 대개 연암 이라고 판단한다. 이러한 지반의 경우에는 싱글셀 공법만으로는 터널의 안정성이 충분하지 않고 휨 부재나 Invert 콘크리트를 설계상 고려하는 개념으로 대체한다.

일본 싱글셀터널의 슛크리트 강섬유 혼입량은 용수량에 따라, 용수가 없거나 또는 50 l/min/km 이하의 경우에는 30 kg/m³를 사용하고 이 용수량 이상인 경우에는 40 kg/m³를 사용할 것으로 결정하였다. 단, 현장의 상황에 따라 50 kg/m³를 한도로 강섬유 혼입량을 늘리는 것으로 하고 사전설계에서는 30 kg/m³ 사용을 표준으로 한다.

다음의 경우에 싱글셀 공법에서도 NATM에서의 같이 보조공법을 사용할 것을 제안하였다.



- 1) Unsupported
- 2) Spot bolting
- 3) Systematic bolting
- 4) Systematic bolting with 40-100mm unreinforced shotcrete
- 5) Fibre reinforced shotcrete, 50-90mm, and bolting
- 6) Fibre reinforced shotcrete, 90-120mm, and bolting
- 7) Fibre reinforced shotcrete, 120-150mm, and bolting
- 8) Fibre reinforced shotcrete, >150mm, with reinforced ribs of shotcrete and bolting
- 9) Cast concrete lining

Fig. 6. Estimated support categories based on Q for NMT.

- (i) 굴착 후 막장 자립시간이 짧거나 지반의 소규모 붕락이 있어 막장의 안정이 대단히 불량
- (ii) 갱구부, 계곡부에 해당되어 충분한 토피가 확보되지 않고 사면붕괴나 큰 편토압이 예상됨
- (iii) 중요 구조물이나 민가 등에 대한 영향을 최대한도로 억제 할 필요가 있음.
- (iv) 터널 굴착에 지장을 줄 것 같은 지하수의 존재가 확인됨
- (v) 취약한 파쇄대가 존재 하거나 또는 지반의 팽창성에 의하여 현저한 지압 발생이나 터널 변형이 생김
- (vi) 터널의 변형이 수렴되지 않고 붕락 위험이 염려됨

일본의 경우에도 싱글셀 공법의 지보설계를 위해서 Fig. 6의 Q시스템을 채택하였는데 그 이유는 Q시스템이 기존 일본의 분류법에 비해 객관성이 높은 지반 평가가 가능하고, 광범위한 지반조건에서 시공실적을 기초로 검증되었으며 타 국가에서 널리 사용되고 있어 정보 공유화가 가능하다는 것이다.

일본의 지오프론트 연구회에서 제시한 싱글셀 슛크리트의 지보패턴은 Fig. 6을 기초로 한다. 즉, 싱글셀의 지보층은 기존 NATM에서의 슛크리트 층 두께는 그대로 적용하였고 기존 2차 복공의 두께는 슛크리트의 고성능화를 고려해 NATM에서의 2차 복공의 두께에 상응한 지보보강층 두께를 싱글셀 지보층과 독립적으로 산정하여 적용하였다.

국내 싱글셀 터널공법을 위한 암반분류

암반분류는 다수의 터널시공사례를 통하여 검증되는 과정이 필요한데 싱글셀 터널의 국내사례가 없으므로 새로운 분류방법을 제안하더라도 제안된 분류방법을 바로 검증하기는 어렵다. 따라서 국내의 암반상태가 노르웨이와 크게 차이가 나지 않으며 국내에서 Q시스템을 널리 사용해 왔으므로 Q분류를 기초로 국내 싱글셀 터널공법에 대한 암반분류를 제안하는 것이 타당할 것으로 사

료된다.

Q시스템은 광범위한 지반조건에서 시공실적을 기초로 검증되었으며 타 국가에서 널리 사용되고 있어 정보 공유화가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 싱글셀 터널에서는 사전지반조사에 의하여 지보량이 결정되는데 상대적으로 노두발달이 적은 국내에서는 Q시스템 적용에 필요한 절리 관찰이 유럽 알프스나 스칸디나비아 반도 등에 비하여 용이하지 않을 수 있다. 따라서 막장에서 관찰되어야 하는 분류 항목에 대한 신뢰성이 문제가 될 수 있다. 본 연구에서는 Q분류법에 비해 국내에서 비교적 쉽게 사용되고 있는 RMR방법을 이용한 지보량 산정방법을 Q시스템과 함께 제안하고자 한다.

국내의 경우, 싱글셀에 대한 시공실적이 거의 없으므로 시행 초기에는 터널의 안정성을 위하여 싱글셀 터널 공법의 적용범위를 양호한 지반으로 제한하는 것이 이상적이다. 그러나 국내의 암반상태는 일정하지 않고 한 터널현장에서도 여러 등급의 암반이 분포하는 것이 일반적이다. 본 연구에서 조사된 6개 현장, 11개 터널에서의 전체 터널구간에 대한 암반등급 분포는 Table 2와 같다. Table 2에 의하면 전체 터널구간에 대해서 I~III 등급이 87%를 차지하고 있어 암반 상태가 양호하지만 IV, V 등급도 13%를 차지하고 있다. 따라서 싱글셀 공법 적용시 암반이 불량한 구간에 대한 고려를 해야 할 것으로 판단된다.

싱글셀 공법의 시행 초기에는, 터널 구간의 대부분이 Q시스템의 J_w 값이 B등급($J_w=0.66$) 이상인 지하수 유입량이 적고, Q값이 1 이상인 비교적 양호한 암반조건인 산악 도로 및 철도터널에 한정하는 것이 바람직하다. 지하수 유입량에 제안을 둔 이유는 싱글셀 터널이 일반 터널에 비하여 지하수 처리에 어려움이 있기 때문이다. Q값이 1 이상인 지반으로 제한을 둔 이유는 유럽식과 일본식 싱글셀 터널공법의 적용범위는 360 kN/m^2 이상 품질기준을 갖는 고성능 슛크리트 및 방부식 록볼트의 적용을 전제조건으로 전 지반조건을 대상으로 하고 있

Table 2. Distribution of rock mass classes along the tunnel section.

Tunnel	Class I	Class II	Class III	Class IV	Class V	Total
Jeom-gok	29.1%	25.2%	24.3%	10.9%	10.4%	100%
Ma-gu, Ho-buk, Geon-cheon	13.1%	21.2%	45.2%	17.3%	3.2%	100%
Neung-dong	39.4%	42.1%	10.9%	1.4%	6.4%	100%
Cheong-ho, Nam-ak	34.4%	54.0%	6.9%	3.4%	1.4%	100%
Geum-Gang No.3	21.0%	36.5%	29.4%	9.6%	3.5%	100%
Wol-mun, Do-gok, Pal-dang	50.7%	27.6%	10.9%	9.8%	1.0%	100%
Average	31%	35%	21%	9%	4%	100%

지만 현재 국내 고성능 지보재의 품질기준과 활용실적이 저조함을 고려하였다. 그러나 국내에서 시공되는 대부분의 터널구간이 Table 2와 같이 여러 등급의 암반이 함께 나타나므로 암반등급이 낮은 암반에 대해서도 지보 패턴을 고려해주어야 한다. 전체 터널 구간 중 몇 %의 암반이 위 조건(지하수 B 등급, Q값 1 이상)을 만족해야 싱글셸 공법을 적용할 것인가는 경제성을 검토하여 결정해야 한다. 차후에 싱글셸 터널의 시공 실적과 터널 계측자료가 충분히 확보된다면 적용 암반대상을 더 확대해 나갈 수 있을 것으로 판단된다.

국내 싱글셸 터널공법을 위한 지보재 및 라이닝 산정

국내의 경우, 싱글셸에 대한 시공실적이 거의 없으므로 시행 초기에는 터널의 안정성을 위하여 싱글셸 터널 공법의 적용범위를 제한하는 것이 이상적이다. 즉, 터널구간의 대부분이 Q시스템의 Jw 값이 B등급(Jw=0.66) 이상인 경우인 지하수 유입량이 적고 Q값이 1 이상의 경우인 비교적 양호한 암반조건인 산악 도로 및 철도터널에 한정하는 것이 바람직하다.

본 연구를 위한 6개 사례지역(11개 터널)에서 각 터널구간별로 지하수에 의한 저감계수가 B등급 이상과 Q값이 1 이상인 터널구간에 대한 분석 결과는 Table 3과

같다. 즉, 11개의 터널 현장에서 Jw가 B등급 이상인 평균값은 82.1%, Q값이 1 이상인 평균값은 72.5%이며 앞의 두 경우를 모두 만족하는 평균값은 63%에 해당된다.

최소한의 지보를 필요로 하는 암반상태를 구하기 위해 무지보가 가능한 암반상태를 살펴보면 Table 4와 같다. 이러한 암반은 실제적으로 약간의 록볼트만으로 지지가 가능한 암반이다.

일본의 지오프론트 연구회에서 제시한 싱글셸 슛크리트의 지보패턴은 Fig. 6의 NMT를 기초로 작성하였으므로 국내의 싱글셸 지보패턴안도 Fig. 6과 일본의 지보패턴 및 Table 4를 참고로 Table 5와 같이 제안하고자 한다. Table 5는 폭 12m의 이차선 도로를 기준으로 작성하였으므로 일반적인 경우는 Fig. 6을 이용해도 무방하다.

싱글셸에 대한 분류체계가 원래 Q시스템으로 제안되었으나, 국내 사용자들의 편의성을 높이기 위하여, RMR와의 상관성을 이용하여 RMR값으로도 지보량을 제시하였다. Q값과 RMR값의 상관관계를 나타내는 Table 1에서 비교적 상관성이 좋은 Bieniawski(1974)와 Rutledge와 Preston(1978)가 제안한 식과 본 사례 연구지역에서 터널구간에 대해서 측정된 상관식($RMR=7.40\ln(Q)+39.5$)을 분석하였다. Q값과 RMR의 상관관계를 구한

Table 3. Percent distribution of Jw and Q suitable for single shell tunnels.

Tunnel	(Jw ≥ Class B)	(Q ≥ 1)	Jw ≥ Class B & Q ≥ 1
Jeom-gok	100%	83.3%	83.3%
Ma-gu, Ho-buk, Geon-cheon	57.1%	61.9%	33.3%
Neung-dong	66.7%	66.7%	41.7%
Cheong-ho, Nam-ak	100%	100%	100%
Geum-Gang No.3	68.8%	75%	68.8%
Wol-mun, Do-gok, Pal-dang	100%	48%	48%
Average	82.1%	72.5%	62.5%

Table 4. Rock mass conditions for tunnels without support requirement.

Rock mass classifications	Rock mass classes
Rock Load	Class I(Hard and intact), Terzaghi(1946)
RQD	For a 6 m wide tunnel: RQD 75-100, Deere <i>et al.</i> (1970) RQD 82-100, Cecil (1970) RQD 72-100, Merritt (1972)
RSR	(Wickham <i>et al.</i> , 1972) : RSR = 80
RMR	RMR(No Support)=22 ln(Equivalent dimension)+25, Kaiser <i>et al.</i> (1986) ex) For a 12 m wide tunnel RMR = 80 Class I(RMR = 81) : No support required except for occasional spot bolting
Q system	Maximum unsupported span=2 ESR Q ^{0.4} ex) Equivalent dimension 10 m tunnel, Q > 60, Barton <i>et al.</i> (1974) Unsupported span=2 Q ^{0.66} , Barton <i>et al.</i> (1980)

Table 5. Guidelines for the support of 12 m wide single shell tunnels in Korea.

(units: cm)

Q	RMR	NATM Support types		Shotcrets for single shell tunnels			
		Category	Total thickness of lining	Inner layer	Intermediate layer	Outer layer	Total thickness of lining
> 60	> 81		30	5		5 (30)	10
> 10	65-80	A	30-35	5	5	5 (30)	15
3-10	55-65	B	35	5	10	5 (30)	20
1-3	45-55	CI	40	10 (30)	10 (30)	5 (30)	25
0.1-1	30-45	CII	40	10 (30)	10 (30)	5 (30)	25
0.01-0.1	15-30	DI	45	15 (40)	10 (40)	5 (30)	30
< 0.01	< 15	DII	50	25 (50)	10 (50)	5 (30)	40
(Tunnel portal)		DIII	55	25 (50)	10 (50)	10 (30)	45
3-10		BL	50	10 (30)	10 (30)	5 (30)	25

Note: () is contents of steel fibers in shotcrets in kg/m³.

Table 6. Correlation between Q and RMR used for the support requirements of single shell tunnels.

Q	RMR (Bieniawski, 1974)	RMR (Rutledge & Preston, 1978)	RMR (This study)	RMR (Chosen)
10	65	57	57	65
3	54	49	48	55
1	44	43	40	45
0.3	33	36	31	35
0.1	23	29	22	30
0.01	3	16	5	15

결과는 Table 6과 같으며 가능한 여러 값들 중 보수적인 RMR값을 선정하였다.

NMT에서는 원칙적으로 계측을 수행하지 않으나 국내의 경우 싱글셀 터널에 대한 자료가 없으므로 초기 단계에서는 계측을 활발히 수행해야 할 것으로 판단된다. 계측 자료가 계속 축적된다면 국내의 지질상황을 고려한 더욱 신뢰성 있는 지보패턴 설계가 가능할 것이며 싱글셀 터널공법이 국내에서 더욱 활발히 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

결 론

본 연구에서는 국내의 터널 암반분류의 특성 및 장단점을 조사하였다. 또한 국내 25개 터널 현장에서의 암반분류 사례 및 지반정수 사례를 조사하였다. 암반분류 사례 연구로부터 각 암반등급별 지반정수를 제시하였다.

국내 싱글셀 터널공법을 위한 지보 패턴안을 Q분류에서 수정된 NMT방법을 기초로 제안하였다. 이것은 Q분류법이 국내에서 널리 사용되어 왔으며 광범위한 지반조건에서 시공실적을 기초로 검증되었으며 타 국가에

서 널리 사용되고 있어 정보공유화가 가능하다는 장점이 있기 때문이다. 또한 국내 암반의 Q와 RMR의 상관성을 이용하여 RMR을 이용한 지보량을 제시하였다.

싱글셀 터널의 지보체계는 국내에서 싱글셀에 대한 시공실적이 거의 없으므로 시행 초기에는 터널의 안정성을 위하여 싱글셀 터널공법의 적용범위를 제한하는 것이 이상적이다. 즉, 터널 구간의 대부분이 Q시스템의 Jw값이 B등급(Jw=0.66) 이상인 경우인 지하수 유입량이 적고 Q값이 1 이상의 경우인 비교적 양호한 암반조건인 산악 도로 및 철도터널에 한정하는 것이 바람직하다. 그러나 국내에서 시공되는 대부분의 터널구간이 여러 등급의 암반이 함께 나타나므로 암반등급이 낮은 암반에 대해서도 지보 패턴을 고려해주어야 한다. 전체 터널 구간 중 몇 %의 암반이 위 조건(지하수 B등급, Q값 1 이상)을 만족해야 싱글셀 공법을 적용할 것인가는 경제성을 검토하여 결정해야 한다.

현재로서는 국내에서 싱글셀 공법의 실제 예가 없으므로 외국사례와 국내암반상태를 고려하여 보수적으로 지보안을 제안하였으나 제안된 방법에 대한 구체적인 검증 및 평가가 어렵다. 차후에 싱글셀 터널의 시공 실적과 터널 계측자료가 충분히 확보된다면 지보패턴안에 대한 검증 및 평가가 가능하며 적용 암반대상도 더욱 확대해 나갈 수 있을 것으로 판단된다. 싱글셀 공법이 국내의 암반에 활발히 적용될 경우 경제적인 터널시공에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2005년 건설교통부가 출현하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005년도 건설핵심연구개

발사업(과제번호: 03산학연A01-06)의 지원으로 이루어졌으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 신희순, 선우춘, 이두화, 2000, 토목기술자를 위한 지질 조사 및 암반분류, 구미서관, 491p.
- 지오프론트, 2000, 쏫크리트 복공에 의한 싱글셀의 설계에 관한 검토보고서, 일본 싱글셀 분과회, 쏫크리트 설계위원회.
- Abad, J., Celada, B., Chacon, E., and Gutierrez, V & Hidalgo, E., 1983, Application of Geomechanical Classification to Predict the Convergence of Coal Mine Galleries and to Design Their Supports, Proc. 5th Int. Congr. Rock Mech., ISRM, Melbourne, Vol. 2, pp. E15-E19.
- Barton, N., Grimstad, E., Aas, G., Opsahl, O. A., Bakken, A., Pedersen L., and Johansen, E. D., 1992, Norwegian Method of Tunnelling, WT Focus on Norway, World Tunnelling.
- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J., 1974, Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mech., Vol. 6, pp. 183-236.
- Barton, N., Loset, f., Lien, R., and Lunde, J., 1980, Application of Q-system in Design Decisions, Sub-surface Space, ed. M. Bergman, Pergamon, New York, pp. 553-561.
- Bieniawski, Z. T., 1974, Estimating the Strength of Rock Materials, J. S. Afr. Inst. Min. Metall. Vol. 74, No. 8, pp. 312-320.
- Bieniawski, Z. T., 1978, Determining Rock Mass Deformability -Experience from Case Histories, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 15, pp. 237-247.
- Cameron-Clarke, I. S. and Budavari, S., 1980, Correlation of Rock Mass Classification Parameters Obtained from Borehole and In Situ Observations, Eng. Geol., Vol. 17, pp. 16-53.
- Cecil, O. S., 1970, Correlation of Rockbolts -Shotcrete Support and Rock Quality Parameters in Scandinavian Tunnels, Ph. D. Thesis, University of Illinois, Urbana, 414 p.
- Deere, D. U., Peck, R. B., Parker, H., Monsees, J. E., and Schmidt, B., 1970, Design of Tunnel Support Systems, High. Res. Rec., no. 339, pp. 26-33.
- Goel, R. K., Jethwa, J. L., and Paithankar, A. G., 1995, Indian experiences with Q and RMR systems, Tunnelling and underground space technology, Vol. 10, No. 1, pp. 97-109.
- Grimstad, E. and Barton, N., 1993, Updating of the Q-System for NMT, Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete -Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Fagernes, pp. 46-66.
- Kaiser, P. K., Mackay, C., and Gale, A. D., 1986, Evaluation of Rock Classifications at B. C. Rail Tumbles Ridge Tunnels, Rock Mech. Rock Eng. 19, pp. 205-234.
- Merritt, A. H., 1972, Geological Prediction for Underground Excavations, Proc. Rapid Excav. Tunneling Conf., AIME, New York, pp. 115-132.
- Moreno Tallon, E., 1982, Comparison and Application of the Geomechanics Classification Schemes in Tunnel Construction, Proc. Tunneling '82, Institute of Mining and Metallurgy, London, pp. 241-246.
- Rutledge, J. C. and Preston, 1978, Experience with Engineering Classifications of Rock, Proc. International Tunnelling Symposium, Tokyo, pp. A 3.1-A 3.7.
- Serafim, J. L. and Pereira, J. P., 1983, Considerations of the Geomechanics Classification of Bieniawski, Proc. Int. Symposium on Engineering Geology and Underground Construction, A. A. Balkema, Rotterdam, Vol. 1, pp. II. 33-II. 42.
- Terzaghi, K., 1946, Rock Defects and Loads on Tunnel Supports; In: Rock Tunneling with Steel Supports by Proctor, R. V. and White, T. L., Commercial Shearing Co., Ohio, pp. 17-99.
- Wickham, G. E., Tiedemann, H. R., and Skinner, E. H., 1972, Support Determination Based on Geologic Predictions, Proc. Rapid Excavation and Tunneling Conference, AIME, New York, pp. 43-64.

2006년 8월 30일 원고접수, 2006년 9월 13일 게재승인

김학준

대전대학교 공과대학 지반설계정보공학과
300-716, 대전시 동구 용운동 96-3
Tel: 042-280-2574
E-mail: hakkim@dju.ac.kr

이성호

한국건설기술연구원 국토지반연구부
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311
Tel: 031-910-0230
E-mail: senm2000@kict.re.kr

신휴성

한국건설기술연구원 국토지반연구부
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311
Tel: 031-910-0651
E-mail: hyushin@kict.re.kr

배규진

한국건설기술연구원 국토지반연구부
411-712, 경기도 고양시 일산구 대화동 2311
Tel: 031-910-0212
E-mail: gjbae@kict.re.kr