

## 암반분류법에 근거한 터널 특성 연구

### A Study on the Characteristics of Tunnel Based on the Rock Mass Classification

이 송<sup>1</sup> Lee, Song

안 태 훈<sup>2</sup> Ahn, Tae-Hun

#### Abstract

A tunnel that uses the RMR method or the Q-system is called a 'modern tunnel' because the New Austrian Tunneling Method (NATM) is not employed, even though shotcrete and rock bolts are used as support. It is known that the modern tunnel, which is supported by shotcrete, is basically different from the conventional tunnel, which is supported by steel ribs. In order to preserve the load-carrying capacity of the rock mass, loosening and excessive rock deformations must be minimized. Although it is known that this can be achieved by applying shotcrete in the case of the modern tunnel, this has not been clearly demonstrated. In order to inspect the distinctions between the conventional tunnel and the modern tunnel, their support characteristics and the rock loads of the rock mass classifications are compared. Terzaghi's rock load classification was used as the conventional tunnel's representative rock mass classification. The RMR method and the Q-system were adopted as the modern tunnel's representative rock mass classification. The study's results show that the load-carrying capacity of shotcrete, when used as the main support in the modern tunnel, is greater than the load-capacity of the steel ribs used in the conventional tunnel. Because it has been verified that the rock loads of their rock mass classifications are not different, then, according to the rock mass classifications, the load-carrying capacity of the rock mass of the modern tunnel, which uses shotcrete, is not greater than that of the conventional tunnel.

#### 요 지

-shotcrete와 록볼트를 지보재로 사용한다고 해서 NATM을 채택한 것은 아니므로 RMR과 Q-system에 의해 설계된 터널은 현대식 터널로 명명하였다. 강지보재로 지보되는 재래식 터널과 shotcrete와 록볼트로 지보되는 현대식 터널은 근본적으로 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 현대식 터널은 암반의 하중지지력을 유지하기 위하여 shotcrete 지보를 사용하여 암반의 이완과 과도한 변형을 최소화 시킨다고 하나 이에 대한 증명은 명확히 이루어지지 못하고 있다. 재래식 터널과 현대식 터널의 차이점을 살펴보기 위하여 사용되는 암반분류의 지보재 특성과 암반하중을 상호비교하였다. 재래식 터널은 Terzaghi의 암반하중분류를 대표 암반분류로 채택하고, 현대식 터널은 RMR과 Q-system을 대표 암반분류로 채택하였다. 연구결과 현대식 터널의 주지보재인 shotcrete는 재래식 터널의 주지보재인 강지보 보다 지지력이 우수하였으며 암반분류에서 제시하는 암반하중은 재래식 터널과 현대식 터널의 차이는 없는 것으로 확인되었다. 따라서, 암반분류법에 의하면 shotcrete를 사용하는 현대식 터널의 암반의 하중지지력이 재래식 터널 암반의 하중지지력 보다 크다고 볼 수는 없다.

**Keywords** : NATM, RMR, Rock mass classification, Shotcrete, Tunnel

<sup>1</sup> 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (Member, Ph.D. Prof., Dept. of Civil Engrg., The Univ. of Seoul, scugeo@uos.ac.kr)

<sup>2</sup> 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정 (Member, Ph.D. Candidate, Dept. of Civil Engrg., The Univ. of Seoul)

## 1. 서론

터널의 지보재로 슛크리트와 록볼트를 사용한다고 해서 반드시 NATM이 채택된 것은 아니다. NATM은 기존에 정립된 많은 굴착기술과 터널시공 방법의 적절한 조합을 의미하고 가장 안정하고 경제적인 라이닝 설치를 위해 암반 거동에 대한 지속적인 계측과 이를 바탕으로 하여 지보방법을 수정하는 것이다.

그러나 적절한 조합과 계측을 바탕으로 지보방법을 수정하는 것은 현실적으로 모호하며 국내에서는 슛크리트와 록볼트를 지보재로 채택하는 터널을 NATM 터널이라 지칭하고 있다. 슛크리트와 록볼트를 사용한다고 해서 NATM을 채택한 것은 아니므로 RMR과 Q-system에 의해 설계된 터널은 재래식 터널과 구분하여 현대식 터널이라고 명명하는 것이 바람직 할 것이다 (Bieniawski, 1984).

재래식 터널에서는 Terzaghi의 암반하중을 적용하여 지보를 산정하였으나, 현대식 터널에서는 설계시 터널 지보재가 지지하여야 하는 터널하중을 정량적으로 고려하지 않고 있다. 현대식 터널에서 지보재 설계는 단순히 암반분류에 따른 표준지보패턴을 적용하는 경험적 설계 방법을 사용하며 이는 터널 설계의 실제적 근거를 제시하는 유일한 방법으로 사용되고 있다(한국지반공학회, 1998).

스�크리트와 록볼트를 지보재로 채택하는 암반분류인 RMR과 Q-system에서는 개념적으로 Terzaghi의 암반하중과 유사한 지보하중을 제시하고 있다. 따라서, 위의 3가지 암반분류에서 제시하는 암반하중이 서로 유사하다면 터널설계 방법은 주지보재가 강지보재에서 슛크리트로 변화되고 암반분류가 Terzaghi의 암반하중분류에서 RMR과 Q-system으로 발전된 것으로 재래식 터널과 현대식 터널의 근본적인 차이는 없는 것으로 추정할 수 있을 것이다.

현대식 터널에서 대표적으로 사용되는 RMR의 지보패턴별 지보력을 산정하고 지보력과 암반하중에 대하여 재래식 터널과 현대식 터널의 차이점을 분석해 보았다.

추가로 암반하중과 지보력 관계에서 RMR 지보패턴의 안전율을 검토하였으며, 지보에 대한 안전율 분석을 통하여 경제성을 고려한 공학적인 터널설계 방안 제시에 대한 가능성을 모색하였다.

## 2. 연구 기본 가정

터널은 지하에 설치되는 선형구조물로 지반조건과 사용 목적에 따라 매우 다양한 특성을 보인다. 따라서, 본 연구에서는 대상 지반조건을 일반적인 지반조건으로 제한하였다. 우선 본 연구는 심도 1,000m 이하의 지중응력상태로 제한하였다. 이것은 RMR 지보패턴 조건과 같다.

터널이 시공되는 심도가 깊어 지중응력이 커지게 되면 경암반도 암반의 강도에 따라 거동이 변화하게 된다. 이 경우 록버스팅(rock bursting) 이나 스펀링(spalling)이 발생하며 지중응력이 암반강도를 초과하므로 터널지보에 대한 다른 접근 방법이 필요하다. 본 연구에서는 일반적인 도로터널이나 지하철터널 등 토목공학에서 적용되는 터널을 주대상으로 한정하며 지중응력이 암반강도를 초과하는 대심도 터널은 배제하였다.

또한, 압착성 및 팽창성 암반을 제외하였다. NATM이 적절히 적용될 수 있는 지반인 압착성 및 팽창성 암반은 국내에서는 찾아 보기 힘들다. 따라서, 국내 지반여건에 맞추어 특수 조건의 암반은 배제하였다.

## 3. RMR 지보패턴의 지보력 분석

재래식 터널은 강지보재가 주지보재이며 현대식 터널에서는 슛크리트와 록볼트가 주지보재이다. 현대식 터널에서도 강지보재가 사용되거나 보강재 개념으로 사용되므로 수치해석에서는 고려하지 않고 있다. 재래식 터널과 현대식 터널의 주된 차이점 중의 하나는 지보재의 종류라고 볼 수 있다.

재래식 터널의 주지보재인 강지보는 재료특성 및 지지력을 쉽게 파악할 수 있다. 강지보로 사용되는 강재는 대부분 공장 기성제품으로 규격에 따라 강도 및 공학적 제원을 파악하기 용이하므로 지지력을 쉽게 구할 수 있다. 그러나, 현대식 터널에 사용되는 슛크리트와 록볼트는 복합재료로서 사용되며, 슛크리트는 시간이 경과함에 따라 강도가 증가하므로 단편적인 접근이 불가하며 굴착면이 불규칙하므로 정확한 지지력 분석은 매우 어렵다.

RMR에서 제안하는 지보패턴은 폭 10m 정도의 마제형이며 발파굴착공법을 적용한 터널로서 국내의 도로터널이나 철도터널의 표준지보패턴의 기본이 되고 있다. 그러나, 연구에서는 슛크리트의 지보력을 산정하기

위하여 터널은 원형으로 등방압축상태로 가정하며 지보재는 압축력을 지지하는 구조로 가정하였다.

쏿크리트 라이닝의 지지력과 변형계수는 다음 식으로 계산된다(Hoek 등, 1980). 식 (1), (2)에서  $\sigma_{c,conc}$ ,  $r_i$ ,  $t_c$ ,  $E_c$ ,  $\nu_c$ 는 각각 쏿크리트의 일축압축강도, 터널반경, 쏿크리트 두께, 쏿크리트 탄성계수 및 포아송비 이다.

$$P_{smax} = \frac{1}{2} \sigma_{c,conc} \left[ 1 - \frac{(r_i^2 - t_c^2)}{r_i^2} \right] \quad (1)$$

$$k_c = \frac{E_c \{ r_i^2 - (r_i - t_c)^2 \}}{(1 + \nu_c) \{ (1 - 2\nu_c) r_i^2 + (r_i - t_c)^2 \}} \quad (2)$$

강지보재의 지지력과 변형계수는 강지보의 폭( $W$ ), 높이( $X$ ), 단면적( $A_s$ ), 단면이차모멘트( $I_s$ ), 탄성계수( $E_s$ ), 강재 강도( $\sigma_{ys}$ ), 배치간격( $S$ ), 압괴지지블록각도( $\theta$ ), 블록두께( $t_B$ ), 블록의 탄성계수( $E_B$ )에 의해 식 (3), (4)와 같이 계산된다.

$$\frac{1}{k_s} = \frac{S \cdot r_i}{E_s A_s} + \frac{S \cdot r_i^3}{E_s I_s} \left[ \frac{\theta(\theta + \sin\theta \cos\theta)}{2\sin^2\theta} - 1 \right] + \frac{2S \cdot \theta t_B}{E_B W^2} \quad (3)$$

$$P_{ssmar} = \frac{3A_s I_s \sigma_{ys}}{2S \cdot r_i \cdot \theta \left[ 3I_s + X A_s (r_i - (t_B + \frac{1}{2} X))(1 - \cos\theta) \right]} \quad (4)$$

록볼트의 변형계수와 지지력은 록볼트 길이( $l$ ), 직경( $d_b$ ), 탄성계수( $E_b$ ), 두부변형계수( $Q$ ), 인발력( $T_{bf}$ ), 록볼트 설치간격( $S_c, S_l$ )에 의해 식 (5), (6)과 같이 산정된다.

$$\frac{1}{k_b} = \frac{S_c S_l}{r_i} \left[ \frac{4l}{\pi d_b^2 E_b} + Q \right] \quad (5)$$

$$P_{sbmar} = \frac{T_{bf}}{S_c S_l} \quad (6)$$

지보재는 암반등급별 최소 지보재를 적용하였다. RMR 지보패턴에 대한 지보력은 록볼트와 쏿크리트만을 고려하였으며 계산은 Rocscience사의 Rocsupport 프로그램을 사용하여 계산하였다.

본 프로그램은 암반-지보반응곡선법(CCM, Convergence Confinement Method)을 위해 개발된 것이다. 암반-지보반응곡선법은 터널 현장에서 지보재 설치시기 및 지보량 산정방법 가운데 이론해석에 의해 암반-지보 상호특성 곡선을 활용한 개략 설계법으로 수치해석법에 비해 계산방법이 간단하다는 장점이 있다. 암반-지보반응곡

선법의 주요한 특징은 지지하여야 할 터널하중과 지보재의 지지력을 정량적으로 제공한다는 것이다. 그림 1은 RMR 암반등급 II 지보패턴에 대한 지지력 계산 결과이다.

현대식 터널에서 대표적으로 사용되는 RMR에 의한 지보패턴 및 지보력은 표 1과 같다. 표 1에서 암반등급 I에 대한 지지력은 킨블럭에 대한 분석에 의해 구하며 일반적인 지보하중과는 다소 차이가 있으므로 본 검토에서 제외하였다.

쏿크리트에 의한 지지력을 재래식 터널에서 주지보재로 사용된 강지보로 대체하였을 경우 어느 정도의 강

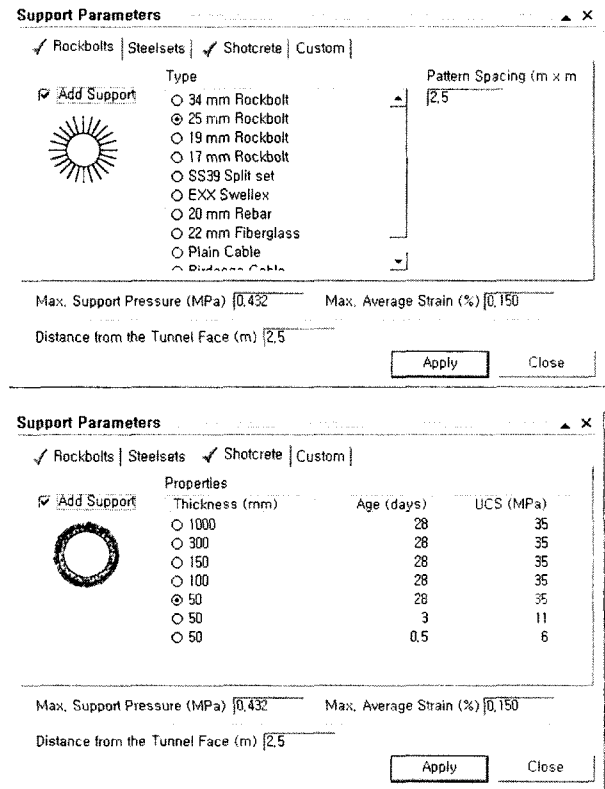


그림 1. Rocsupport 계산 결과

표 1. RMR 지보패턴 지지력

암반 등급	RMR	록볼트 길이 및 간격	쏿크리트두께 (mm)	지지력 (MPa)
I	81~100	국부적설치	-	-
II	61~80	L=3m C.T.C=2.5m	50	0.432
III	41~60	L=4m C.T.C=2.0m	50	0.456
IV	21~40	L=4m C.T.C=1.5m	100	0.883
V	<20	L=5m C.T.C=1.0m	150	1.403

지보가 필요한지 확인해 보았다. 표 2는 RMR 암반등급별 지보패턴에 대한 지지력을 구하고 상응하는 강지보 지보패턴을 산정한 것이다. 암반등급별 강지보의 규격을 증가시켰다. 강지보에 대한 지지력도 Rocsupport을 사용하여 계산하였다. 슛크리트와 록볼트에 의한 지보력은 상당히 많은 강지보 설치에 상응하고 있다.

Rocsupport을 사용하여 계산된 지보력은 단순히 압축력에 대한 지보력만을 계산한 것이다. 터널지보재의 안정성은 휨력에 의한 인장응력과 전단력에 의한 전단응력에 대한 검토도 필요하다. 그러나, 터널은 아치형 구조물로서 실제적으로 전단력 및 인장력에 의한 영향은 적을 것이므로 중요한 사항은 아니지만, 지보재의 인장과 전단에 대한 특성을 살펴보는 것은 의미가 있을 것이다. 재래식 터널에서는 강지보재가 주지보재이나 현대식 터널에서는 슛크리트 만을 주지보재로 정의하고 상호 특성을 살펴 보면 표 3과 같다.

표 3에 의하면 강지보를 1.0m 간격으로 배치하였을 경우 단면적은 슛크리트의 10% 미만이다. 강재에 대한 콘크리트의 압축강도의 비율이 10% 미만임을 고려할 때 압축력에 대한 부재력은 비슷하다고 볼 수 있다. 단

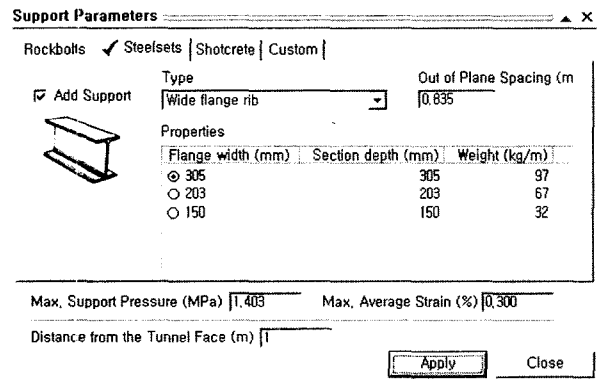


그림 2. Rocsupport을 이용한 강지보재의 지지력 계산 결과

표 2. RMR 지보패턴 지지력

암반 등급	RMR	지지력 (MPa)	재래식 터널
			강지보
I	81~100	-	-
II	61~80	0.432	H-150×150, 32kg/m C.T.C=0.5(0.645)m
III	41~60	0.456	H-150×150, 32kg/m C.T.C=0.5(0.611)m
IV	21~40	0.883	H-203×203, 67kg/m C.T.C=0.5(0.749)m
V	<20	1.403	H-305×305, 97kg/m C.T.C=0.5(0.835)m

면계수에 있어서는 20~50% 정도 차이를 보이거나 강재의 전단강도와 인장강도가 크므로 전단력과 휨인장력에 대해서는 강지보가 유리하다.

그러나, 아치형태의 터널은 지보재의 전단력과 휨모멘트가 중요하지 않으며 슛크리트에 철망 혹은 강섬유보강재를 첨가하여 전단력 및 휨모멘트에 대한 저항력을 증가시키고, 록볼트 및 강지보재도 같이 사용하므로 전단 및 인장응력에 대하여 충분히 대응할 수 있도록 하였다.

터널은 아치형 형태를 취하므로 터널 안정을 위한 지보재는 압축력을 주로 받게 되고 전단력이나 인장력은 압축력과 비교하여 작으므로 주지보재료를 콘크리트로 하고 전단력이나 인장력은 강재로 보강하는 것이 현대식 터널이라고 정의할 수 있을 것이다. 결국 재래식 터널의 지보재는 강구조물이고 현대식 터널의 지보재는 철근콘크리트 구조물로 볼 수 있다.

현대식 터널은 지보재가 부담하는 하중이 경감되어 경제적인 터널이라고 보기에는 다소 문제가 있을 수 있다. 슛크리트와 록볼트의 지보력을 강지보로 대체하기 위해서는 상당한 강지보가 필요할 경우 현대식 터널이 경제적이라고 주장하기 어렵다. 왜냐하면 경제적인 터널이란 지반의 지보력을 활용하여 지보재의 지지력을 감소시키는 것을 의미하기 때문이다.

따라서, 현대식 터널의 경제성은 단지 가격이 저렴한 재료의 지보재를 사용한다는 것을 의미할 뿐이다. 공학적 타당성도 압축력이 중요한 터널지보를 강재에서 콘크리트 위주로 변경한 것에서 찾는 것이 바람직할 것이다.

#### 4. 터널 설계 하중 분석

터널설계 방법 중 하나인 경험적 설계에서 사용되는 터널 암반분류는 자체적인 지보하중을 제안하고 있다.

표 3. 터널 지보 재료 특성

구분	치 수 (mm)	단면적 (cm <sup>2</sup> )	단면2차 모멘트(cm <sup>4</sup> )	단면계수 (cm <sup>3</sup> )
스�크리트	50	500	1,042	417
	100	1,000	8,333	1,667
	150	1,500	28,125	3,750
	200	2,000	66,667	6,667
강지보	150×150	40.14	1,640	219
	200×200	63.53	4,720	472
	250×250	92.18	10,800	867
	300×300	119.8	20,400	1,360

터널의 지보하중을 분석하는 방법은 수치해석이나 계측 등이 있을 수 있으나 본 논문에서는 서론에서 전제하였던 것과 같이 단순히 재래식 터널과 현대식 터널의 차이가 암반분류 시스템 차이라는 가정하에 대표적인 터널암반분류에서 제안하고 있는 암반하중에 대하여 살펴보았다.

우선 재래식 터널 설계에 적용되는 암반하중 분류법은 미국에서 35년 이상 활용되었으며 철재지보 터널에 성공적으로 적용될 수 있음이 입증되었다. Terzaghi 암반분류에서 Deere 등과 Rose에 의해 수정된 암반하중높이는 RQD에 따라 표 4와 같다(한국지반공학회, 1998).

수정된 암반하중은 RQD가 75% 이하일 경우 지하수 위면의 위치가 암반하중의 크기에 거의 영향을 미치지 않는다는 연구결과를 바탕으로 초기 Terzaghi의 암반하중에 비하여 약 50% 정도 낮춘 것이다.

숏크리트와 록볼트를 주지보재로 하는 RMR의 지보하중은 다음 식 (7), (8)로 구한다. 식 (7)은 암반하중 높이를 나타내며, B는 터널폭, r은 암반의 단위중량이다.

$$h_p = \frac{100-R}{100} B \quad (7)$$

$$P = \gamma \cdot h_p \quad (8)$$

Q-system에서 제시한 지보하중은 Q 값, 절리군 수 ( $J_n$ ), 절리면의 거칠기( $J_r$ )로 계산되며 다음 식과 같다.

$$\text{절리군수} \geq 3 : P = \frac{2.0}{J_r} Q^{-\frac{1}{3}} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (9)$$

$$\text{절리군수} < 3 : P = \frac{2J_n^2}{3J_r} Q^{-\frac{1}{3}} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (10)$$

대표적인 3가지 암반분류에서 제안하는 암반하중을 살펴보면 Terzaghi 암반하중은 단순히 RQD만 고려한

표 4. 수정된 Terzaghi 암반하중높이

RQD	최소	최대
95~100	0	0
90~99	0	0.5B
85~95	0	0.25B
75~85	0.25B	0.2C
30~75	0.2C	0.6C
3~30	0.6C	1.1C
0~3	1.1C	1.4C

주) B : 터널폭 C : 터널폭 + 터널높이

것이며, RMR은 RQD에 절리상태를 반영하였으나 암반분류된 값을 그대로 사용하였다. Q-system은 암반분류 값을 사용하였으나, 추가적으로 절리상태를 다시 고려하도록 되어 있다. 암반분류에서 제안된 터널하중은 지반조건만 반영되었으며 시공조건에 대한 고려는 발파굴착인지 기계굴착인지에 관한 차이만 있다.

각 암반분류법에서 제시하는 암반분류의 터널하중을 단순 비교해 보았다. 이 때, 다른 암반분류와 암반등급에 대한 대응기준이 문제가 될 수 있으나, 단순한 비교를 위하여 Q-system과 RMR은 Bieniawski가 제안한 식 (11)를 기준으로 대응시켰다. Terzaghi 암반등급은 낮은 등급부터 순차적으로 RMR 암반등급에 대응시켰다.

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (11)$$

터널 폭 10m, 높이 10m, 암반의 단위중량을 2.5 tonf/m<sup>3</sup>으로 가정할 경우 위 세가지 암반분류의 암반하중을 구하면 표 6과 같다. Q-system의 지보하중은 절리군수와 절리의 거칠기에 따라 달라질 수 있으나, 비교를 단순화시키기 위하여 절리군은 하나의 절리군과 부분적인 절리상태로  $J_n=3$ , 절리면의 양쪽이 접촉되었으나 부드럽고 판상인 조건으로  $J_r=1$ 를 적용하였다. 그림 3은 표 6을 그래프로 나타낸 것이다.

그림 3을 살펴보면 중간 구간에서 Terzaghi의 암반하중이 크나 각 암반분류에서 큰 차이는 없다고 볼 수 있다. 또한, Terzaghi의 암반하중에서 RQD 75% 이하의 경우 지하수가 없을 경우 하중을 50% 감소시킬 수 있으며, 절리가 발달된 암반 이하에서는 암반하중이 지하수 위면의 위치가 암반하중의 크기에 거의 영향을 미치지 않는다는 연구결과가 있으므로 암반하중을 그림 4에서 나타내어 비교해 보면 3가지 암반하중은 큰 차이가 없다고 볼 수 있다(Deere 등, 1970).

RMR과 Q-system은 현대식 터널에서 적용하는 암반분류이며 Terzaghi의 암반하중은 재래식터널에서 사용하는

표 5. 암반분류 비교

RMR 등급	Q 값	RMR 값	Terzaghi (RQD)
-	1000	100	-
I	100	85	85~
II	10	65	75~85
III	1	44	30~75
IV	0.1	23	3~30
V	0.01	3	0~3

암반하중임을 고려할 때 지보재가 부담해야 하는 하중은 재래식 터널과 현대식 터널 사이에 차이가 없다고 추론할 수 있을 것이다. 특히, RMR과 Terzaghi의 암반분류에서 제안하는 터널하중은 매우 유사하며 Q-system도 지반이 양호한 경우에는 터널하중이 다른 암반분류와 유사하나 지반이 불량할 경우 터널하중이 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

Cording 등은 Terzaghi의 암반하중 분류법을 수정하여 현대적인 지보시스템에 적합한 경험적인 지보압 산

표 6. 암반분류에 따른 지보하중(단위 kPa)

RMR 등급	Q-system	RMR	Terzaghi
-	20.0	-	-
I	43.1	50	63
II	92.8	100	100
III	200.0	150	300
IV	430.9	200	550
V	928.3	250	700

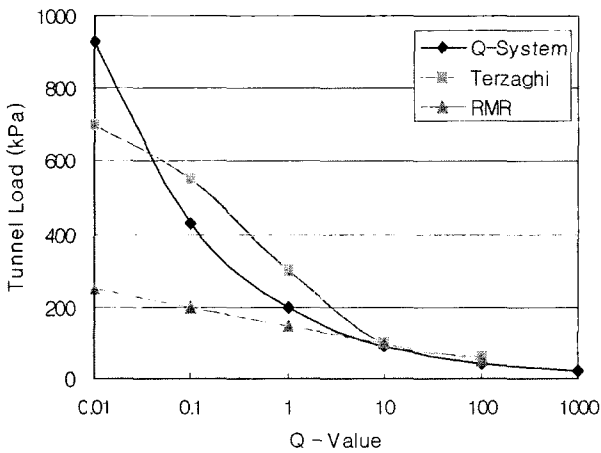


그림 3. 암반분류별 암반하중

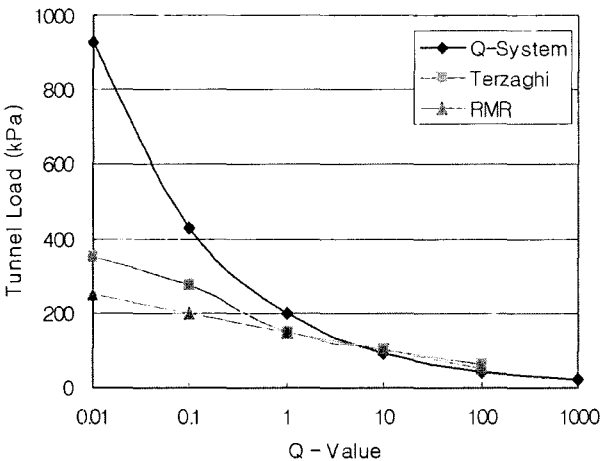


그림 4. 암반하중(지하수가 없을 경우)

정식을 제안하였다(한국지반공학회, 1998). 대형공동의 지보량과 계측변위의 관계를 사례를 통하여 분석 공동을 안정화시키는데 필요한 천장 및 측벽의 지보압을 터널의 폭(B), 높이(H), 단위중량의 함수로 다음과 같이 제안하였다.

$$P_v = nB\gamma \quad (12)$$

$$P_h = mH\gamma \quad (13)$$

위 식에서  $P_v$ 와  $P_h$ 는 각각 록볼트에 가해지는 천장 및 측벽에서의 지보압을 나타낸다. 여기서  $m, n$ 은 암반의 상태에 따라 결정되는 경험적인 상수로서  $n$ 은 0.1 ~ 0.3,  $m$ 은 0.05 ~ 0.15의 범위에 있다. 이 값들은 보통 정도의 블록상, 균열상의 암반하중이 0.25B 임을 감안하면 재래식 터널의 지보재인 강지보재를 사용할 때의 Terzaghi의 암반하중과 유사함을 알 수 있다.

지금까지의 연구에서 RMR 지보패턴의 지보력을 산정하였고 각 암반분류별 터널하중을 구하였다. 따라서, RMR 지보패턴에 대하여 각 암반분류의 암반등급별 안전율을 계산할 수 있다. 표 7은 안전율을 계산한 결과이다.

표 7에 의하면 각 암반등급에 적용되는 지보패턴의 안전율은 RMR 지보패턴을 적용시 각 암반분류에 대하여 안전율  $F_s=1.5$  이상을 만족한다. 안전율이 높은 경우에 대해서는 적용범위를 조정하므로 적절한 안전율로 낮출 수 있다. 또 안전율이 낮은 경우도 적용범위를 조정하여 안전율을 높일 수 있으나, 임시지보재에 대하여 안전율을 얼마 정도로 해야 하는지에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

표 7에서 주목하여야 할 것은 RMR에서의 안전율은  $F_s=3.0$  이상이라는 것이다. RMR에서 제안된 지보패턴은 영구지보 기준(Bieniawski, 1989)이므로 안전율  $F_s=3.0$  이상으로 제안할 필요가 있었을 것이다. 임시지보재 설

표 7. 암반분류별 RMR 지보패턴에 대한 안전율 (단위 : kPa)

RMR 등급	지보재 지보 능력	Q-system		Terzaghi		RMR	
		하중	안전율	하중	안전율	하중	안전율
-	-	20	-	-	-	-	-
I	-	43	-	63	-	50	-
II	432	93	4.65	100	4.32	100	4.32
III	456	200	2.28	300	1.52	150	3.04
IV	883	431	2.05	550	1.61	200	4.42
V	1,403	928	1.51	700	2.00	250	5.61

계에 적용된 Terzaghi의 암반하중은 지하수를 고려하지 않는 경우에는 RMR 암반하중과 유사하다.

그러나, 지하수를 고려할 경우에는 임시지보재의 안전율  $F_s=1.5$  수준으로 맞추기 위하여 하중을 크게 하여 제안하였을 가능성도 있을 것이다. 이러한 가정하에서 추론할 수 있는 것은 임시지보재 인지 영구지보재 인가에 따라 적절한 안전율을 갖추기 위하여 터널하중을 조절하여 제안하였을 뿐 각 지보재 작용하는 터널하중은 동일할 수 있다는 것이다.

토질역학에서 지하굴착시 토압은 변위가 증가함에 따라 정지토압에서 주동토압으로 변한다. 하지만 변위가 증가하면 토압은 감소하여 주동토압으로 수렴하는 것이다. 터널역학에서도 마찬가지로 개념을 도입하면 터널하중은 굴착상당력에서 이완하중으로 변위가 증가할수록 감소되며 결국은 이완하중으로 수렴된다고 볼 수 있다. 이 때 이완하중은 Terzaghi의 암반하중과 동일하다고 보면 RMR에서 제시한 터널하중이 지하수를 고려하지 않은 Terzaghi의 암반하중과 유사하므로 RMR의 암반하중도 이완하중으로 볼 수 있을 것이다. 결국 암반분류에서 제안한 암반하중은 다소 차이는 있겠지만, 터널의 이완하중을 제안한다고 추론할 수 있다.

## 6. 결론

재래식 터널과 현대식 터널의 차이점을 고찰하기 위하여 터널설계 및 시공에서 사용하는 대표적인 암반분류인 RMR 지보패턴의 지지력을 계산하고, 이에 상응하는 재래식 터널의 주지보재인 강지보량을 계산하였다. 또한, Terzaghi의 암반하중분류, RMR 및 Q-system에 대하여 터널하중을 비교하였으며, RMR 지보패턴의 지지력과 비교하여 안전율을 산정하였다.

현대식 터널은 슛크리트 지보를 사용하여 암반의 하중지지력을 유지하기 위하여 암반의 이완과 과도한 변형을 최소화 시키는 것으로 알려져 있다. 그러면 현대식 터널은 재래식 터널보다 터널하중은 작아야 하며 지보

패턴의 지보력도 작아야 경제적인 터널이라 주장할 수 있을 것이다. 그러나, 연구결과에서는 현대식 터널이 지반의 지보력을 활용한다는 측면에서 경제적이라는 증거는 확인할 수 없었으며 연구결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 슛크리트와 록볼트의 지보력을 강지보로 대체하기 위해서는 상당한 강지보가 필요하기 때문에 현대식 터널은 지보재가 부담하는 하중이 경감되어 경제적인 터널이라고 보기에는 다소 문제가 있을 수 있다.
- (2) 현대식 터널은 재래식 터널과 비교하였을 때 압축력이 주된 하중인 터널구조를 고려하여 경제적인 지보형식을 위하여 강구조에서 철근콘크리트 구조로 지보재를 변경한 것으로 추론할 수 있다.
- (3) 재래식 터널에 적용하는 Terzaghi의 암반하중분류와 현대식 터널에 사용하는 RMR 및 Q-system의 터널하중을 비교한 바로는 재래식 터널에 적용했던 Terzaghi의 암반하중이 크다고 볼 수 없다.
- (4) RMR 지보패턴에 대한 각 암반분류하중의 안전율은 1.51~5.61로서 일반적인 터널의 1차 지보재의 안전율은 1.50으로 적용이 가능할 것이다.
- (5) Terzaghi의 암반하중이 이완하중이라고 하면 RMR에서 제시한 터널하중이 지하수를 고려하지 않은 Terzaghi의 암반하중과 유사하므로 RMR의 암반하중도 이완하중으로 볼 수 있다.

## 참고 문헌

1. 한국지반공학회 (1998), 지반공학시리즈 7 터널, 구미서관, pp.65-66, pp.140-141.
2. Bieniawski. Z.T. (1984), *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, A.A.BALKEMA, pp.101-104, pp.152-154.
3. Deere, D.U., Peck, R.B., Parker, H., Monsees, J.E. and Schmidt, B. (1970), *Design of Tunnel Support Systems*, Highway Research Record, No. 339, 1970, pp.26-33.
4. Hoek E & E.T. Brown (1980), *Underground Excavations in Rock*, Institution of Mining and Metallurgy, pp.250-261.
5. Hoek. E (2000), *Rocsupport User's Guide*, Rocscience Inc., pp.12-26.

(접수일자 2004. 6. 24, 심사완료일 2005. 4. 23)