

## 암반분류의 역사와 공학적 의미

박연준, Yeon-Jun Park

수원대학교 토목공학과 교수

### 1. 서론

국내에서 암반 분류의 중요성을 본격적으로 인식하게 된 시점은 도로 및 철도터널, 그리고 대규모 지하유류비축 공동의 건설이 활발해진 1980년대 이후로 볼 수 있다. 광산 공학 및 토목공학에서 굴착 설계에 이용되는 3가지 접근방법인 해석적 방법, 관찰(계측)에 의한 방법 및 경험적 방법 중 암반 분류는 경험적인 방법에 기초한다고 할 수 있다.

RMR 분류의 창안자인 Bieniawski 교수는 그의 저서 '*Engineering Rock Mass Classifications*'에서 암반 분류의 목적을 다음과 같이 정리하였다.

- 1) 암반 거동에 영향을 주는 가장 중요한 요소의 인지
- 2) 암반을 유사한 거동을 하는 group, 즉 암질 별로 구분
- 3) 각 부류의 암반 특성을 이해하는데 대한 기초 자료의 제공
- 4) 한 현장에서의 암반 조건에서 얻은 경험을 다른 현장에 관련지어 응용
- 5) 공학적 설계에 정량적인 자료와 함께 guideline 제시
- 6) (토목 및 광산)공학자와 지질학자간의 원활한 의견 교환을 위한 공통적인 토대 마련

이와 더불어 암반 분류의 결과로 얻을 수 있는 혜택을 다음의 3가지로 요약하였다.

- 1) 분류에 사용되는 요소를 최소화함으로써 지반조사의 질적 향상
- 2) 설계에 사용될 수 있는 정량적 자료의 제공
- 3) 당면 과제에 대하여 보다 효과적인 의견교환이 가능하므로 더 나은 공학적 판단이 가능

암반공학에서 최초의 체계적인 분류체계는 터널의 강지보 설계와 관련하여 1946년 Terzaghi에 의해 제안되었다. Terzaghi는 암석의 종류를 아는 것 보다 암반 내 결함의

형상이나 이의 많고 적음을 밝히는 것이 더 중요하다고 하였으며, 1959년 12월에 발생한 말파셋 댐(아치댐)의 붕괴 사고로 인하여 암반의 거동에서 불연속면이 차지하는 비중이 매우 큼을 재차 깨닫게 되었다.

## 2. 암반 분류의 역사

### 2.1 Terzaghi의 암반하중 분류법

Terzaghi는 1940년대 미국의 주요 터널 지보재인 steel set에 작용하는 암반 하중을 평가하는 수단으로 암반 하중 분류법을 제안하였다. 이 방법은 암반의 강도와 절리의 발달 정도, 심도(즉 지압)와 특수 지반 조건을 포함한 여러 인자를 기준으로 하여 steel set에 작용하는 하중을 그림 1과 같이 터널의 폭과 관련지어 계산할 수 있도록 하였다. 이는 1970년에 Deere, 1982년에 Rose에 의하여 각각 개선되어 사용되고 있다.

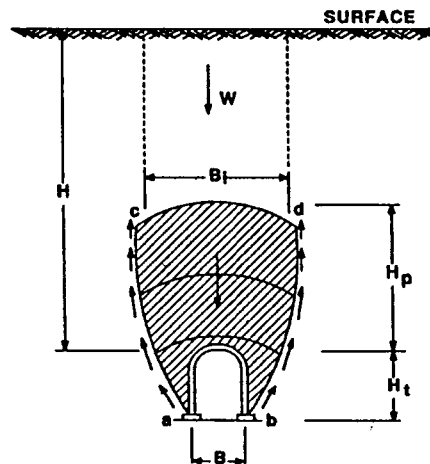


그림 1. Terzaghi의 암반하중 분류법의 개념도

### 2.2 자립시간에 따른 분류

Stini(1950)는 암반 내의 구조적 결함의 중요성에 대하여 역설하였으며, 이는 후에 Lauffer에 의하여 무지보 터널의 자립시간이 암반 등급과 관련이 있다는 이론의 기초가 되었다. 후에 많은 학자들에 의해 여러 차례 수정되어 Lauffer의 방법은 더 이상 사용되지 않으나, 이 이론은 NATM 개발의 기초가 되었다.

Acher에 의해 수정된 이 분류법의 가장 중요한 개념은 터널의 폭이 증가하면 자립시간이 현격히 줄어든다는 점이다.

## 2.3 RQD index

Deere는 1964년 core 회수율의 개념을 개선한 RQD 지수를 제안하였으며, 이를 1967년에 발표하였다. 즉 시추 core 중 길이 10cm 이상의 견실한 부분의 비율이 전체적인 암반의 질에 대한 지표가 될 수 있다는 이 단순한 개념은 불량한 암반 구간을 구분하는데 널리 사용되었다. ISRM은 RQD 결정을 위해서는 시추 core의 직경이 최소 NX 이상이어야 하며, core 회수를 위해서는 double-tube core barrel의 사용을 권장하고있다.

## 2.4 RSR concept

터널 지보 예측을 위해 개발된 RSR 개념은 1972년 미국의 Wickham, Tiedemann, 그리고 Skinner에 의해 공동으로 개발되었다. 이는 터널의 적정 지보 설계를 위하여 암반의 질을 정량적인 방법으로 평가하는 개념으로 Terzaghi(1946) 이후 최초의 완전한 암반분류 체계라 할 수 있다.

이 전 분류법과의 주된 차이점으로는

- 1) 정량적인 분류 기법
- 2) 많은 parameter의 도입(7개의 지질학적 parameter와 3개의 시공 관련 parameter)
- 3) 입력 자료와 출력 결과가 있다는 점
- 4) 암반을 점수화 하여 등급을 매긴다는 점

등을 들 수 있다.

이러한 parameter들은 다시 3개의 group으로 다음과 같이 분류된다.

Parameter A: 일반적인 암반 구조의 평가

- a. 암석의 성인
- b. 암석의 강도
- c. 지질구조

Parameter B: 터널 굴진 방향과 관련된 불연속면 발달 상황의 영향

- a. 절리 간격
- b. 절리의 방향성
- c. 터널 굴진 방향

Parameter C: 지하수 유입의 영향

- a. 상기한 A와 B에 의한 전체적인 암질
- b. 절리의 상태
- c. 지하수 유입 량

분류의 결과로 얻어지는 RSR 값은 상기한 parameter들이 암반 평가에 미치는 영향 정도를 고려한 점수의 합으로 계산된다.

또한 기계 굴착의 경우 암반의 손상이 적어 지보재의 필요량이 적어지므로, 터널 직경에 따라 adjustment factor(AF)를 곱하여 지보재 선택에 사용하도록 하고 있다. 그러나 이 방법을 실제 지보재 설치에 이용하기 위해서는 Rib Ratio(RR)라는 값을 계산하여 Terzaghi(1946)의 'Rock Tunnelling with Steel Support'의 기준조건(datum condition)과 비교하여 지보량을 계산하도록 되어있다. 따라서 RSR 개념은 steel rib support를 사용하는 터널에 그 적용이 국한되며, 단지 Terzaghi가 제안한 rib 설치 간격을 RSR값에 의하여 조절하는 정도이므로 Sinha(1988)는 RSR 개념을 독립적인 암반분류법이라기보다는 Terzaghi의 방법을 개선한 것에 불과하다고 비하하기도 하였다. 하지만 RSR법은 현재 가장 널리 이용되고 있는 RMR system 및 Q system의 개발에 가장 큰 영향을 주었다.

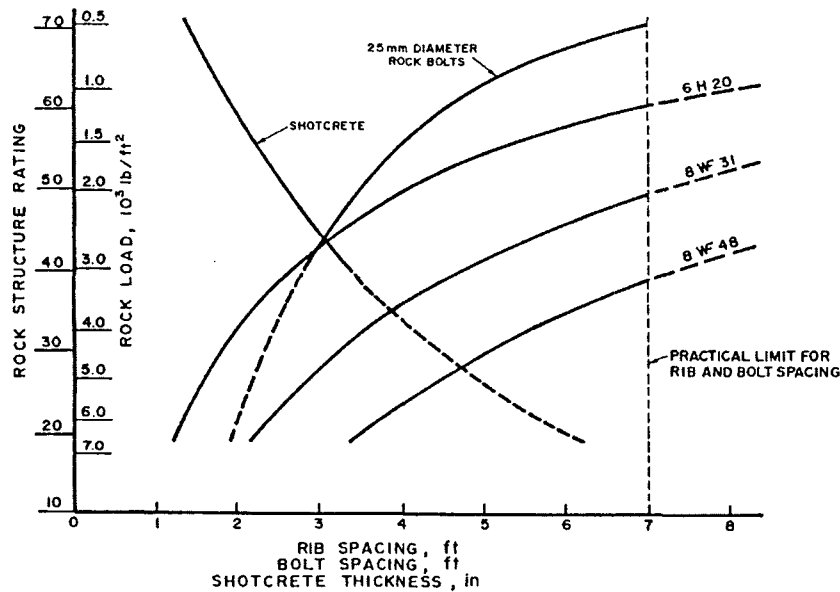


그림 2. RSR 개념: 직경 7.3m의 터널에 대한 지보 chart(Wickham et al., 1972)

## 2.5 RMR 및 Q-system

현재 지하 굴착과 관련하여 가장 많이 사용되고 있는 암반분류법은 1973년 Bieniawski가 발표한 RMR system과 Barton, Lien, Lunde가 1974년에 공동으로 발표한 Q system이다.

이 두 방법에 대해서는 별도의 논문이 발표되므로 본 고에서는 방법 자체에 대해서는 설명을 생략하고자 한다. 다만 두 방법의 적용성과 문제점을 열거하면 다음과 같다.

### RMR system

1) 분류를 위한 parameter의 평가 방법이 명확하여 지질공학을 전공하지 않은 civil

engineer도 비교적 쉽게 분류가 가능하며, 따라서 expert system, fuzzy theory 등을 사용한 code를 작성하면 주관적인 측면을 배제할 수 있어 자동 계산도 가능하다.

- 2) 각 배점을 합산하는 방식이므로 분류시 약간의 착오나 오차가 발생하여도 분류 결과에 미치는 영향은 크지 않다.
- 3) 이를 응용한 Slope Mass Rating(SMR) system을 이용하여 암반사면의 안정성 판단 및 보강 설계에도 활용이 가능하다
- 4) 암반을 5단계로 구분하나, 실제 적용 시 대부분의 암반은 3등급 및 4등급으로 분류되며, 1등급 및 5등급으로 분류되는 암반은 극히 드물다. 따라서 암반 분류 결과에 따른 지보 패턴이 2 내지 3개로 국한되어 암질 변화에 따른 지보재 투입량의 변화를 효과적으로 반영하기 어렵다.
- 5) 분류 결과는 전반적으로 안전 측면이어서 과지보 설계가 되기 쉽다.

#### Q-system

- 1) 분류를 위한 parameter의 평가 방법이 다소 복잡하여 지질공학 비전문가가 분류하기에는 다소 무리가 따른다.
- 2) 각 배점을 곱하고 나누는 방식이므로 배점 계산 시 오차나 착오가 발생하면 분류결과가 크게 달라질 수 있다.
- 3) 암반 상태에 따라 Q값의 차이가 크므로 암질 변화에 따라 지보재의 투입량을 효과적으로 반영할 수 있다.
- 4) 최근에 발표된 새로운 도표를 이용하면 steel fiber reinforced shotcrete(SFRS)을 적용한 터널의 지보량도 계산이 가능하다.
- 5) 국내에서는 아직 적용하지 않고 있는 Norwegian Method of Tunnelling(NMT)와 관련하여 발전하고 있어 NATM 터널 굴착에 적용하는 데에는 다소 불편함이 따른다.

### 3. 암반 분류의 공학적 의미

암반 공학 및 토질 역학을 포함한 지반 공학이 타 분야와 크게 다른 점은 자연 상태의 지반을 대상으로 설계를 수행하여야 한다는 점이다. 공학적인 견지에서 자연상태라 함은 일정한 규격에 맞추어 생산되지 못하였을 뿐 아니라 매우 불균질함을 의미한다. 여기에 더하여 암반 내부에 존재하는 여러 형태의 불연속면은 암반을 대상으로 하는 설계 자체가 무모한 시도로 보일 수도 있을 만큼 문제를 복잡하게 한다.

하지만 흙과 암반은 나무와 더불어 인류가 가장 오랫동안 사용해온 건축재료이기도 하다. 따라서 인류의 역사와 함께 전해 내려온 경험적인 지식들이 축적되고, 분석되고, 정리되어 암반 분류라는 형태로 표현되었다고 할 수 있다.

토목 공사의 여러 단계에서 암반 분류가 차지하는 위치를 도표로 나타내면 그림 3과 같다. 일반적인 암반분류 작업은 ②의 단계에서 실시되고, 그 결과의 사용방법은 [A], [B], [C]의 3가지로 대별된다.

[A]는 분류 결과를 설계에 직접 사용하는 순서이다. 현장의 지질이나 암반의 상황 변화가 심하고, 개개 현장의 설계를 해석하는 데는 적용하기 어려운 구조물, 혹은 소규모 구조물에서 이용된다. 여기서는 표준시방서나 설계 기준에 암반 분류와 설계 관계가 나타나 있다.

[B] 및 [C]는 해석 계산을 하여 설계가 이루어지는 경우이다.

[B]는 해석에 필요한 암반물성을 암반 분류와 기존 암반시험 결과의 데이터 관계, 검토 결과를 이용하여 정할 수 있는 경우이다. 특수한 지질상황, 혹은 대단면 터널, 장대 사면 등 중요성이 높은 사면 등이다.

[C]는 암반물성 평가를 위해 원위치 암반시험을 실시하는 경우이다.

[B] 및 [C]에서는 암반 분류와 물성평가 결과에 기초하여 다음 단계에서 실시하는 설계 해석을 위한 암반모델, 또는 해석용 지질단면을 작성한다.

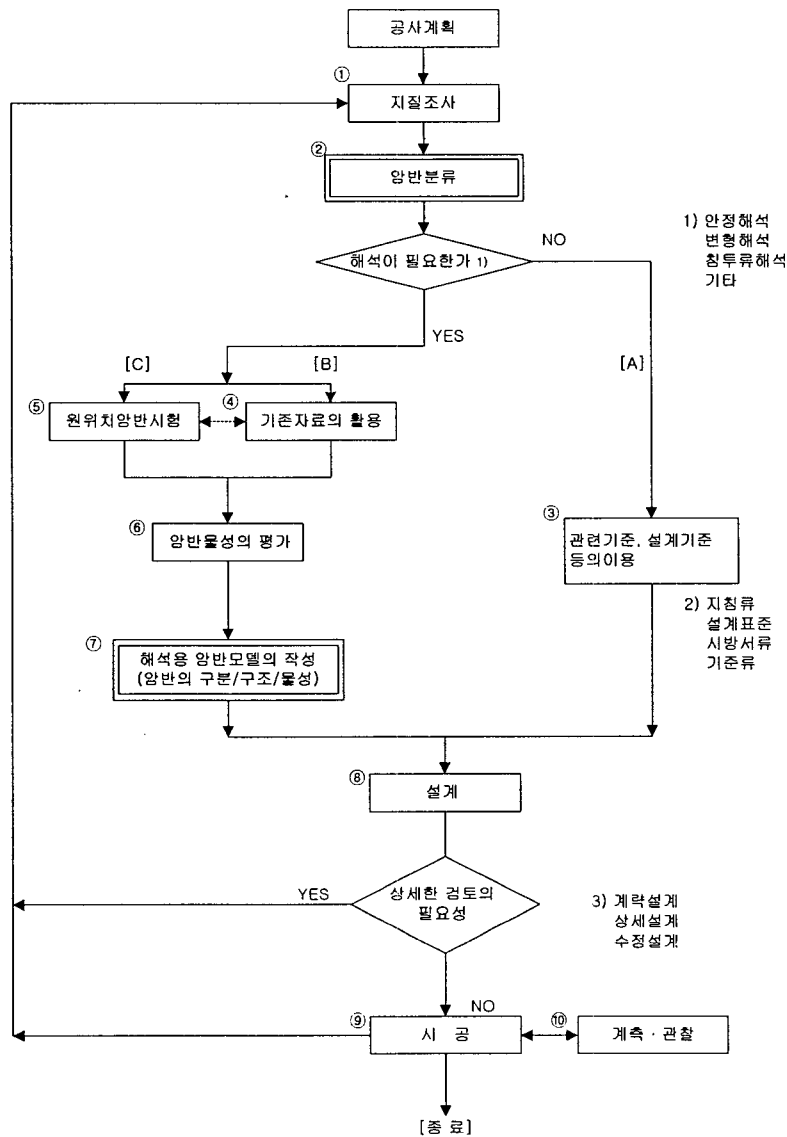


그림 3. 토목 공사에서 암반 분류의 위치(吉中龍之, 1989)

이러한 설계용 모델, 또는 지질단면은 해석 방법과 정밀도에 조화를 이루어야 한다. 따라서 ②단계의 암반 분류와 ⑦단계의 암반모델은 동일하지는 않으며 ⑦단계에서는 구조물 전체의 설계 관점에서 지반 조건에 대한 단순화가 필요하다.

이와 같이 타 분야에서의 분류와는 달리 암반 분류는 단순히 분류에 그치지 않고 암반 사면이나 지하 구조물의 안정성 평가 및 지보 설계에 대한 가이드라인을 제시하며 분류에 필요한 조사 및 시험법을 명시하고 있다. 암반 분류에 사용되는 조사 및 시험 결과는 실제 구조물 설계에 정량적인 자료로 활용되며, 설계 검증을 위한 안정성 해석의 입력자료 결정에도 사용된다. 즉 암반을 대상으로 하는 모든 구조물의 설계 과정에서 암반 분류는 매우 중요한 비중을 차지하고 있는 것이다.

#### 4. 맺음말

1970년대부터 국내 기간 시설의 확충이 활발하게 진행됨에 따라 지하철, 도로 및 철도 터널이 건설되면서 암반을 대상으로 하는 토목공사가 급격히 증가하였다. 거의 모든 대규모 토목 공사는 다소간의 차이는 있으나 암반과 관련이 있으며, 설계 및 시공 과정에서 암반 분류가 차지하는 비중은 매우 크다.

현재 국내에서 널리 사용되고 있는 RMR 및 Q system은 지질 구조가 비교적 단순한 스칸디나비아와 북미 대륙에서 제안된 것으로 지질구조가 매우 복잡하고 변화가 심한 국내 실정에 적합하다고 할 수는 없다. 주요 지반구조물의 건설을 담당하고 있는 국가기간과 학계, 업계가 협력하여 국내 지질조건 및 제도에 적합한 암반분류법의 개발에 힘써야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. 251 p. J.Wiley.
2. Wickham, G.E., H.R. Tiedemann, and E.H. Skinner. "Support determination based on geologic predictions." Proc. Rapid Excav. Tunnelling Conf., AIME, New York, 1972, pp.43-64.
3. 吉中龍之, 1989. 암반의 분류와 적용, (주)쏘일테크 엔지니어링 역, 창우출판, 2001