

# 터널설계를 위한 지질자료 정량화와 지질위험등급도 작성 : 백악기 경상분지 지역에서의 사례연구

송철우<sup>1)\*</sup> · 이선갑<sup>1)</sup> · 김종선<sup>1)</sup> · 김송만<sup>2)</sup> · 손문<sup>1)</sup> · 김인수<sup>1)</sup>

## 1. 서론

암반을 대상으로 하여 터널이나 사면과 같은 구조물을 설계할 때 암반분류는 불연속적이고 불균질한 암반을 분류하고 각 그룹의 특성을 파악하게 함으로써 구조물의 설계에 필요한 정량적인 자료를 제공한다. RMR(Bieniawskik, 1973; 1976; 1989)은 암반평가에 대한 다양한 사례의 통계분석에 의해 제안되었으며 현재 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 이 방법은 자연 상태를 정량화하는 과정에서 조사자의 능력과 경험에 따라 오차가 최대 50%까지 날 수 있으며 시추가 이루어진 구간에 대해서는 직접적인 평가가 가능하지만 미시추구간에 대해서는 간접적인 평가만이 가능하다. RMR의 암반상태 묘사에 대한 한계는 이미 잘 알려진 바, 암반을 보다 정확하게 묘사하려는 다양한 시도가 진행되고 있다. 이러한 견지에서 볼 때, 보다 정확한 암반평가를 위해서는 공학적 요소뿐만 아니라 자연 상태를 직접적으로 묘사할 수 있는 지질학적 요인에 의한 평가도 필요하다. 이번 연구에서는 기존에 사용되어 왔던 공학적 요소와 더불어 암상, 단층과 같은 지질학적 요소를 정량화하여 암반의 구조물 설계에 대한 위험도를 평가하고자 한다.

## 2. 일반지질

### 2.1. 곤명 지역

경상남도 사천시 곤명면에 위치한 연구지역의 층서는 다음과 같다. 선캠브리아 변성암인 메타택틱편마암을 기반암으로 상부에는 경상분지 신동층군에 속하는 낙동층이 부정합으로 놓여있고 그 상부는 하산동층에 의해 정합적으로 피복되어있다(김남장과 강필중, 1965). 그리고 이들 모두는 석영반암에 의해 관입되어 있다. 낙동층과 하산동층에 분포하는 세일의 경우 쪼개짐(fissility)이 발달하며 해머타격 시 약한 강도를 보임과 더불어 물과 접촉했을 때 현저한 강도 저하를 보인다.

### 2.2. 한림 지역

경상남도 김해시 한림면에 속하는 연구지역은 유천층군 분포지에 속하며 하부로부터 주사산안암류에 해당되는 데사이트질 응회암, 응회질퇴적암, 데사이트, 안산암이 분포하며 상부에는 운문사유문암암류에 속하는 유문암질 응회암이 분포한다(김봉규와 황상구, 1988). 그리고 이들 모두는 불국사 화강암류에 의해 관입되어있다. 분포 암석은 대다수 높은 강도특성을 보이는데 반해 응회질 퇴적암의 상부는 세일 및 사암과 같은 퇴적기원 물질이 우세하며 층리를 따라 쪼개짐의 발달이 탁월하다.

---

주요어 : 암반분류, 지질자료의 정량화, 지질위험등급도, 터널설계, 경상분지

1) 부산대학교 지구환경시스템학부 (amphibole@pusan.ac.kr)

2) (주) 이제이텍 (smkim@cnu.ac.kr)

### 3. 연구방법

이 연구에서는 암반의 상태를 평가하기 위해 일축압축강도와 RQD, 물리탐사자료 뿐만 아니라 지질학적 요소인 암상과 단층으로부터의 거리를 평가요소로 사용하였다(Table 1). 각각의 평가요소는 0~20점의 배점구간을 가지며 위험도가 높을수록 높은 점수를 가지게 된다. 각 요소별 평가는 터널설계 구간의 수직단면도 상에서 이루어지며 지질단면도와 전기비저항탐사 및 대심도탄성파토모그래피로부터 암상과 물리탐사자료에 대한 연속적인 값의 분포를 구할 수 있었다. 이 밖의 불연속적인 값의 연속적인 분포를 얻기 위해 slope=1, anisotropy(1,0)의 linear variogram model에 의한 크리깅을 실시하였다. 크리깅 시에는 Golden software사의 Sufer(ver.8.0)를 사용하였다.

암상에 대한 정량화를 위해 우리나라와 다소 지질학적 특성이 유사한 일본국철의 절취 작업에 있어서의 암석의 경연분류를 사용하였다. 이는 암종과 풍화정도, 균열정도에 따라 6개로 등급을 나누고 있다. 단층으로부터의 거리에 대한 암반 상태의 정량화를 위해 비변형기반암과 단층대로 구분하였고 단층대는 다시 단층핵과 손상대로 구분하였다(Chester & Logan, 1986; Chester et al., 1993). 각 구간에 대한 영향범위는 단층과 교차하는 지역의 물리탐사 이상대 범위, 야외조사 결과 및 시추공에서 관찰되는 단층대의 크기를 고려하여 설정하였다. 일축압축강도에 의한 평가는 ISRM의 평가와 대동소이하며 RQD에 대해서는 단층으로부터의 거리에 의한 평가와의 중첩적용을 고려하여 다소 완화된 기준을 사용하였다. 물리탐사자료의 경우 시추공 RMR값과의 상관관계 분석에 의해 5개 구간으로 나누어 배점을 실시하였다. 각 요소별 배점은 Table 2.와 같다.

Table 1. Criteria for the rating of geohazard grade.

criteria	effect of fracturing		mechanical property of rock mass		lithology (L)
	distance from fault (F)	RQD (R)	uniaxial compressive strength(S)	resistivity or seismic velocity (E)	
range	20	20	20	20	20

$$(Gh) = F + R + S + E + L \dots \dots \dots (\text{equation} - 1)$$

Table 2. Parameters and their ranges for the assessment of geohazard grade.

criteria and rating	range				
	undeformed zone	damaged zone		fault core	
distance from fault	0	15		20	
RQD (%)	100~90	90~75	75~50	50~25	25~0
	0	5	10	15	20
uniaxial compressive strength (Mpa)	> 250	250~100	100~50	50~25	< 25
	0	5	10	15	20
resistivity or seismic velocity	Depending on analysis of RMR-geophysical survey				
	0	5	10	15	20
lithology	rock 5 and 6	rock 4	rock 3	rock 2	rock 1
	0	5	10	15	20

평가기준 중 암상을 통해 암상특성에 따른 위험도를 평가하였으며 단층으로부터의 거리와 RQD로 부터 단열발달에 의한 영향을 평가하였다. 그리고 일축압축강도와 전기비저항에 의해 암반의 고유물성에 대한 평가를 실시하였다. 세 개의 평가를 산술적으로 합산하여 최종 지질 위험등급도를 작성하였다. 최종 지질위험등급도는 5개 등급으로 나뉘며 1등급이 가장 높은 위험도를 나타낸다.

#### 4. 지질위험등급도

지질위험등급도는 곤명지역에서 두 개 터널, 한림지역에서 세 개 터널 구간에 대해 작성되었다(Fig. 1). 지질위험등급도와 RMR에 의한 등급도를 비교해 보면 전반적으로 유사하나 지질위험등급도가 공학적 방법에 의한 등급도에 비해 암상의 분포특성을 잘 반영하고 있다(a, b). 또한 공학적 방법에 의한 등급도가 지질위험등급도에 비해 다소 위험도가 높게 평가되었는데 이것은 미시추지역에 대한 상관관계분석에서 RMR값에 대한 물리탐사 자료의 표준화(normalizing)에 기인한 것으로, 이미 이러한 기법에 대해서는 많은 문제점이 제기된바 있다(최재화 외, 2003). 한편, 한림지역 B 터널의 경우 두 등급도가 매우 상이한 결과를 보여주고 있는데 이는 구간 내 전기비저항탐사의 오류로써 대심도 탄성과 토모그래피의 결과가 이를 반증하고 있다(c). 뿐만 아니라 한림지역 C 터널의 경우 탐사구간의 제약에 의해 터널 구간 내

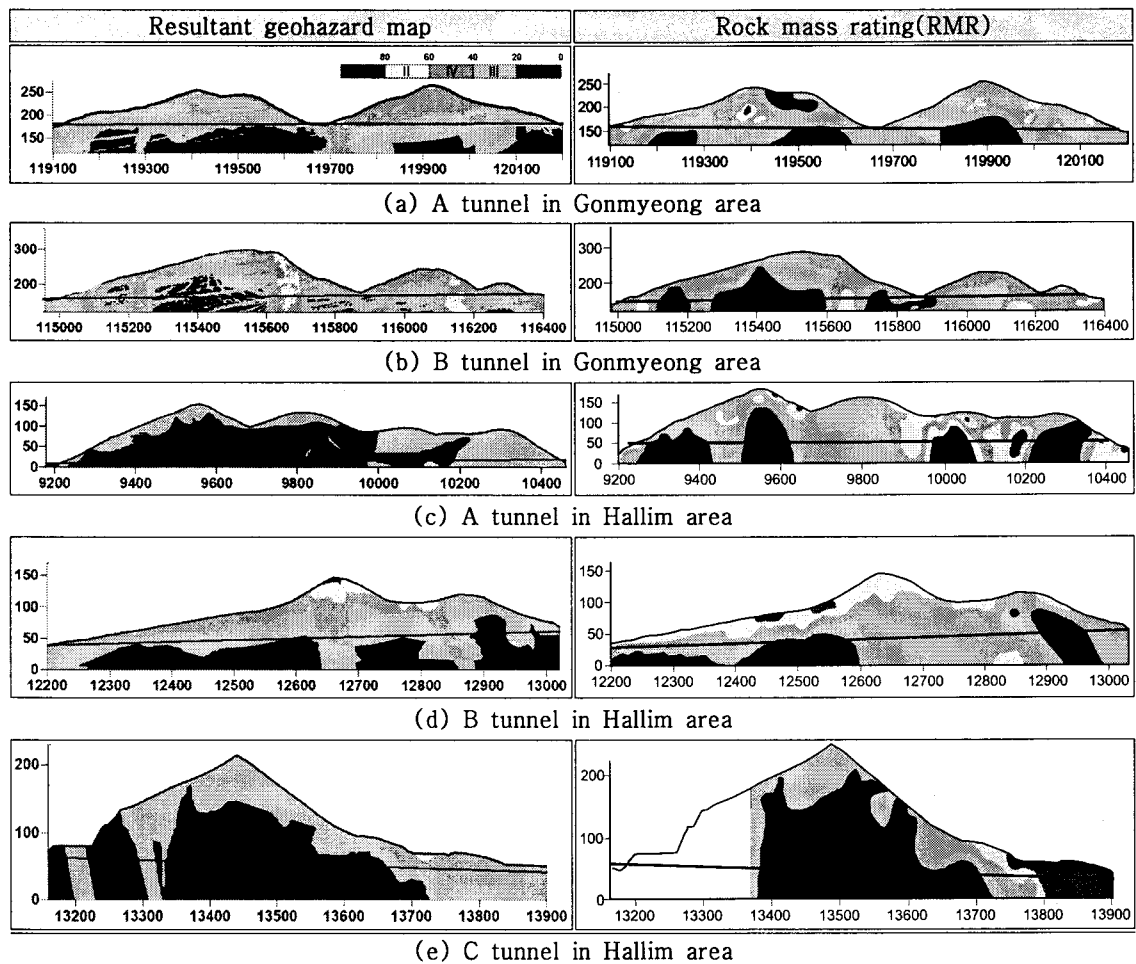


Fig. 1. Geohazard maps and Rock mass rating(RMR) in the study area.

암반등급 평가가 이루어지지 못한 반면 지질위험등급도의 경우 지질조사에 바탕을 둔 암상과 단층으로부터의 거리 자료를 토대로 평가가 가능하였다(e).

## 5. 결 론

이상의 결과로 볼 때 RMR에 의한 터널의 암반등급 평가는 미시추구간에 대한 평가에서 물리탐사에 맹목적으로 의존할 수밖에 없는 치명적인 약점을 가지고 있다. 이에 반해 지질위험등급도는 암상과 단층으로부터의 거리를 고려하여 미시추구간에 대해 보다 독립적인 평가가 가능하였다. 따라서 지질학적 자료를 직접 이용하는 지질위험등급도와 기존의 암반등급법이 병행되어 사용된다면 보다 정확한 암반의 묘사가 가능할 것으로 판단된다.

한편, 이 연구에서 제시하는 암상과 단층으로부터의 거리에 대한 정량화는 다소의 한계를 가지고 있음은 사실이다. 그러나 이러한 연구가 보다 직접적인 암반평가의 시발점이 될 수 있을 것으로 기대하며 보다 정확한 평가를 위해서는 지질학적 평가 요소에 대한 방대한 정보의 축적이 뒷받침 되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 김남장, 강필중, 1965, 진교지질도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 1-33.
- 김봉규, 황상구, 1988, 밀양지질도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소, 1-26.
- 최재화, 조철현, 류동우, 김훈, 오병삼, 강문구, 서백수, 2003, 전기비저항탐사결과와 터널막장 암반분류의 상관성 검토. 한국암반공학회지, 13, 276-286.
- Bieniawski, Z.T., 1973, Engineering classification of jointed rock mass. Trans. South Afr. Ins. of Civ. Eng., 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1976, Rock mass classification in rock engineering applications. Proc. Symp. on Exploration for Rock Eng., Balkema, Rotterdam, 12, 97-106.
- Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications. John Willy & Sons, 251.
- Chester F.M. and Logan J.M., 1986, Implications for mechanical properties of brittle faults from observations of the Punchbowl Fault Zone, California. PAGEOPH, 124, 79-106.
- Chester F.M., Evans J.P. and Biegel R.L., 1993, Internal structure and weakening mechanisms of the San Andreas Fault. Journal of Geophysical Research, 98, 771-786.