

터널구간 암반분류를 위한 탄성과 기준속도비의 제안

고광범¹⁾, 하희상¹⁾, 임해룡¹⁾

A proposal of seismic reference velocity ratio for the rock mass classification in tunnel area

KwangBeom Ko¹⁾, HeeSang Ha¹⁾ and HaeRyong Lim¹⁾

요약: 우리나라 지형 여건 상 도로나 철도의 시공에는 터널이 포함되는 경우가 많다. 이 경우 터널의 미시추 구간에 대한 암반분류 도출에는 물리탐사가 유력한 수단이 된다. 탄성과 속도에 근거한 암반분류는 터널의 계획고가 깊을 경우 지표 및 시추공을 동시에 이용하는 대심도 토모그래피 기법이 적합하나 대심도 토모그래피 결과는 현재 국내에서 적용되고 있는 암반분류 기준으로 하면 통상 실제보다 암질을 양호하게 평가하는 경향이 있다. 본 연구에서는 암반상태와 탄성과 속도와의 상관관계를 보다 합리적으로 결정하기 위한 방법의 일환으로 썸블런스에 근거한 탄성과 기준속도비를 이용하는 암반분류 방법을 제안하고 아울러 현장자료를 이용하여 그의 적용성을 고찰하였다.

주요어: 암반분류, 대심도 토모그래피, 상관, 탄성과 기준속도비

Abstract: Remote seismic tomography is regarded as one of the most valuable geophysical technique for the estimation of the rock mass classification in the tunnel area where hard data information such as drill logs are absent. But the results of rock mass classification based on the remote seismic tomography tend to be overestimated in practice. In this study, we propose the effective method to implement the seismic reference velocity ratio based on semblance for the improvement of rock mass classification. Also, to verify its feasibility, proposed technique was tested by using the real field data.

Keywords: remote seismic tomography, rock mass classification, correlation, seismic reference velocity ratio

1. 서론

현재 국내 도로나 철도터널의 설계에서 터널구간의 암반분류는 거의 RMR이나 Q 분류법을 이용한다. RMR 및 Q 분류법은 기본적으로 시추에 의한 각종 현장시험 및 실내시험으로 구한 여러 물성값을 종합하여 산정한다. 시추자료가 없는 구간의 경우 간접자료(soft data)로서 물리탐사 결과를 종합하여 상관분석 및 지시크리깅 기법(Deutch and Journel, 1998)으로 암반분류를 수행함이 일반적이다.

터널구간의 암반분류에 이용될 수 있는 물리탐사 기법은 가탐심도를 고려하였을 때 국내에서는 전기비저항, 전자탐사 및 탄성과 대심도 토모그래피로 압축된다. 이들의 적용빈도를 살펴보면 전기 및 전자탐사에 자료를 이용한 경우가 많은 반면(김기석 등, 2003), 상대적으로 탄성과 속도를 이용하는 대심도 탄성과 토모그래피 결과는 적용사례가 미미하다. 이는 전기비저항

1) ㈜지오맥스 기술연구소(GeoMax Research Institute, Co. Ltd.)
E-mail: kkb@geomax.co.kr

및 전자탐사법에 의한 전기비저항 분포는 절리 및 파쇄 등 암질의 변화와의 상관관계가 양호하기 때문이다. 반면 탄성과 속도를 이용하는 대심도 탄성과 토모그래피 적용사례가 적은 이유는 암질을 실제보다 높게 평가하기 때문이며 이는 파동의 전파 시 탄성적 특성을 강하게 반영하는 탄성과 탐사 방법 자체의 특성과 공대공 토모그래피와 비교하여 상대적으로 긴 파동경로의 평균값으로 속도단면을 재구성하는 토모그래피 기법적 특성에 기인한다.

본 연구에서는 위의 문제점을 극복하고 합리적인 탄성과 속도에 기초한 암반분류를 수행하고자 썸블런스에 근거한 탄성과 기준속도비를 이용하는 암반분류 방법을 제안하였다. 또한 이의 적용성을 살펴보고자 현장자료에 적용하여 그 결과를 고찰하였다.

2. 대심도 토모그래피 결과를 이용한 암반평가 및 문제점

암반의 탄성과 속도는 암종, 암석의 강도, 불연속면(절리) 및 풍화의 발달정도, 투수특성 등 다양한 요인에 의해 좌우되나 일반적으로 암질과 탄성과 속도는 양호한 상관관계를 가진다고 알려져 있다(신희순 등, 2001). 그럼에도 불구하고 터널구간의 지보패턴을 결정하기 위한 암반분류에서 탄성과 속도를 이용하는 대심도 탄성과 토모그래피의 국내 적용사례는 미미하다. 이는 대심도 토모그래피 결과에 의한 탄성과 속도값이 이상대 구간에서 실제보다 높게 평가되기 때문이며 결과적으로 터널구간에서 암반분류에 많이 적용되는 RMR이나 Q 값과 대비하였을 때 상관성이 낮게 나타난다.

Fig. 1은 국내 ○○ 터널 구간의 대심도 탄성과 탐사 일례이다. 지표지질 및 시추조사를 통하여 확인된 단층(F1)과 구조적 이상대(L1, L2 및 L3)를 함께 도시하였다.

Fig. 2는 대응하는 대심도 토모그래피의 터널 계획고에서의 탄성과 속도의 변화 양상과 상관성 분석을 통한 RMR 값을 도시한 것이다.

속도 변화 양상으로부터 단층(F1) 및 구조선(L1, L2 및 L3)의 존재는 인지된다. 그러나 이상대 구간의 탄성과 속도값이 거의 전 구간에서 4800 m/sec 이상으로 상당히 높게 나타나고 있다. 상관성 분석을 통하여 탄성과 속도를 RMR로 변환한 결과가 Fig. 2(b)이다. 이상대 구간에서도 RMR은 75 이상으로서 암반분류 기준 중 탄성과 속도에 의한 분류를 명시한 건설교통부 표준품셈이나 한국도로공사 분류기준에 의하면 보통암 이상의 암반에 해당한다.

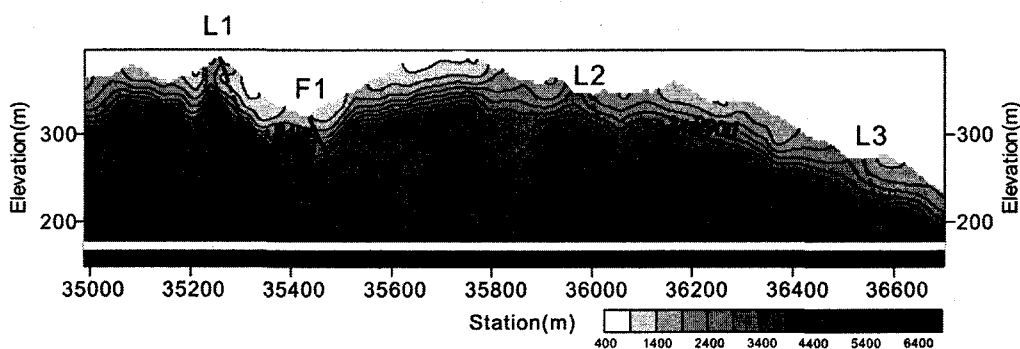


Fig. 1. Velocity distribution by remote seismic tomography in domestic area.

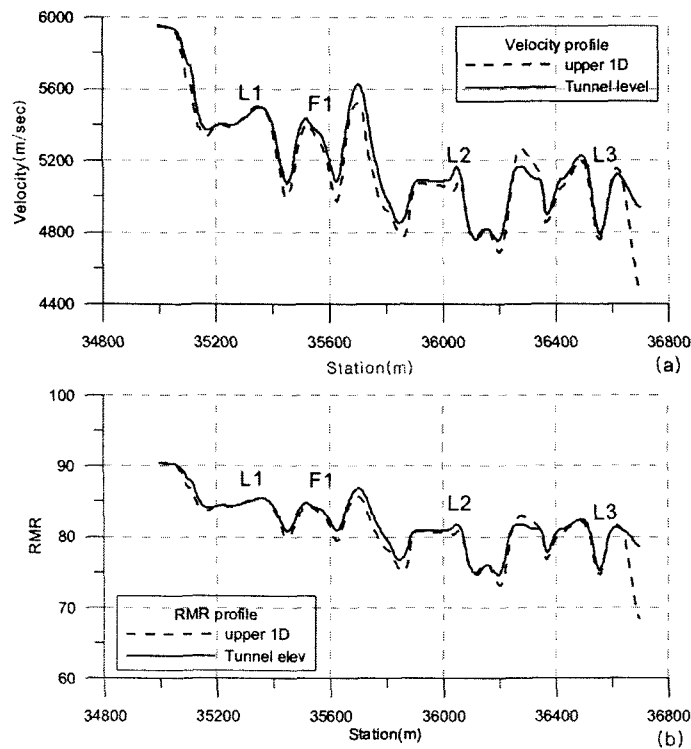


Fig. 2. Velocity (a) and RMR profile (b) at the tunnel and upper 1D level.

이와 같이 대심도 토모그래피에 의한 탄성과 속도가 실제보다 높게 평가되는 이유는 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째 탄성과 탐사법 자체의 특성에 기인한 요인으로서 탄소성을 가지는 암반은 미소변형에 의한 파동의 전파에는 탄성적 특성을 강하게 반영하기 때문이다. 둘째는 토모그래피 기법상의 요인으로서 파동의 전파경로는 상대적(공대공 토모그래피)으로 길다. 이는 파선경로의 평균값으로 속도단면을 재구성하는 토모그래피 기법의 특징상 재구성되는 탄성과 속도값은 탄성과 속도의 배경 평균값에 수렴하려는 경향을 보인다. 결과적으로 암반의 배경속도가 높을수록 조사구간에 포함된 저속도 이상대는 실제보다 높은 탄성과 속도값을 나타내며 결과적으로 암질을 실제보다 양호하게 평가하는 경향을 나타낸다. 이중 두 번째 요인은 만일 시추공 간격이 넓어(경험적으로 계획고까지의 심도의 2배 이상) 충분한 아우름(coverage)을 가지는 현장자료를 획득하지 못할 경우 분해능 저하와도 맞물려 더욱 두드러진다.

3. 탄성과 기준속도비의 제안 및 적용사례

Coon and Merritt (1970)는 암질을 나타내는 하나의 지표로서 실험실에서 측정된 초음파 속도 (V_l) 및 현장에서 측정한 탄성과 속도(V_f)의 함수로서 식 (1)과 같은 속도지수(velocity index) 및 속도비(velocity ratio)를 정의한 바 있다.

$$velocity\ index = \left(\frac{V_f}{V_l} \right)^2, \quad velocity\ ratio = \left(\frac{V_f}{V_l} \right) \quad (1)$$

두 속도의 차이는 암반 내 불연속면에 의해 결정되며 실내시험에 의해 측정된 값이 항상 현장에서 탄성과 속도보다 크다. 불연속면의 정도에 따라 속도지수 및 속도비는 [0,1] 사이에 존재하게 되며 Coon and Merritt는 이를 5개의 등급으로 구분하는 암반분류 기법을 제안하고 암반의 탄성계수와 상관성을 고찰하였다.

본 연구에서는 이상대 구간의 암질을 실제보다 양호하게 평가하는 대심도 토모그래피의 문제점을 극복하기 위해서 Coon and Merritt 속도비와 유사한 다음의 기준속도비 백분율을 제안한다.

$$\text{reference velocity ratio} = \left(\frac{V_{est} - V_{ref}}{V_{ref}} \right) \times 100 \quad (2)$$

여기서 V_{est} 는 대심도 토모그래피로 재구성된 조사구간의 탄성과 속도값이고 V_{ref} 는 조사구간의 전반적 암질을 대표하는 평균 배경속도이다. 본 연구에서는 이를 기준속도(reference velocity)로 정의하고 또한 조사구간 내 신선한 암반을 대표하는 속도로 간주한다. 즉, 식 (2)는 암반의 배경속도가 높을수록 조사구간에 포함된 저속도 이상대의 탄성과 속도를 실제보다 높게 평가하는 문제점을 탄성과 기준속도로 정규화함으로써 극복될 수 있음을 지시한다. 다시 말하면, 음의 값을 가지는 기준속도비는 파쇄가 있는 암질 불량 구간을 지시하게 된다.

한편 탄성과 기준속도를 결정하는 것은 다음의 순서에 따른다.

- ① 조사구간 시추자료를 참조하여 연암 이상의 기반암이 출현하는 심도를 결정한다.
- ② 기반암 하부 속도를 변화시키면서 송수신 배열에 따른 초동을 수치적으로 계산한다.
- ③ 계산된 초동을 이용하여 상관도(셈블런스)를 계산한다(Neidell and Taner, 1971).
- ④ 탄성과 자료처리의 속도분석과 동일한 방법으로 적절한 속도범위 및 속도증분에 따라 ②와 ③을 반복하여 셈블런스 곡선을 작성한다. 이때 셈블런스가 최대값을 가질 때의 속도가 탄성과 기준속도가 된다.

Fig. 3은 △△ 지역 대심도 탄성과 토모그래피 현장자료에 대하여 셈블런스를 이용한 속도분석 결과로서 탄성과 속도는 4400 m/sec에서 최대의 상관도를 나타내며 이 값이 탄성과 기준속도임을 보여주는 일례이다. Fig. 4는 Fig. 3의 기준속도를 기반암을 대표하는 상속도(constant velocity)로 상정하였을 때의 이론적으로 구한 초동 값을 현장자료와 함께 나타낸 일례이다. 결과의 도시에는 MaxTomo(정상원 등, 2004)를 이용하였다. 탄성과 기준속도는 조사구간 전체의 암반상태를 대표하므로 초동의 이론값 이후 시간대에 관찰되는 실제 초동은 저속도 구간의 존재를 지시한다. 따라서 탄성과 기준속도는 토모그램 작성에 앞서서 개략적인 이상대 해석에도 유용하게 적용될 수 있다. Fig. 5(a)는 Fig. 1의 탄성과 대심도 토모그램으로부터 구한 탄성과 속도비 단면이다. 속도분석으로부터 구한 탄성과 기준속도비는 5200 m/sec이다. Fig. 5(b)의 이상대 구간에서의 탄성과 기준속도비는 대략 0 ~ -10 범위에 걸쳐 있으며 축선 중앙부 이후는 음의 기준속도비를 보여주며 이는 곧 암반이 파쇄가 보다 진전되었음을 지시한다.

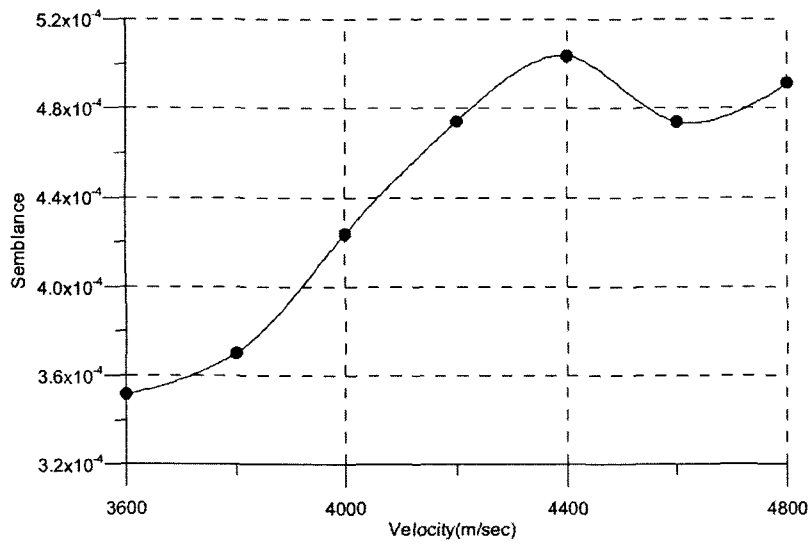


Fig. 3. Determination of the reference velocity from the velocity analysis.

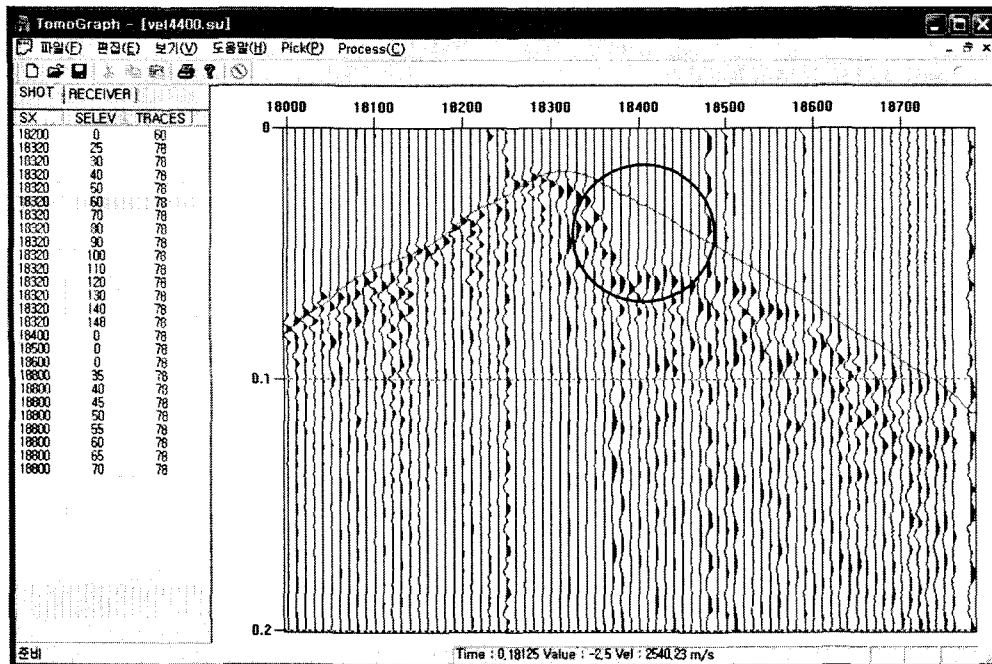


Fig. 4. Display of theoretical first arrival by using the reference velocity 4400m/sec. Anomalous zone is recognized in the middle station (circle).

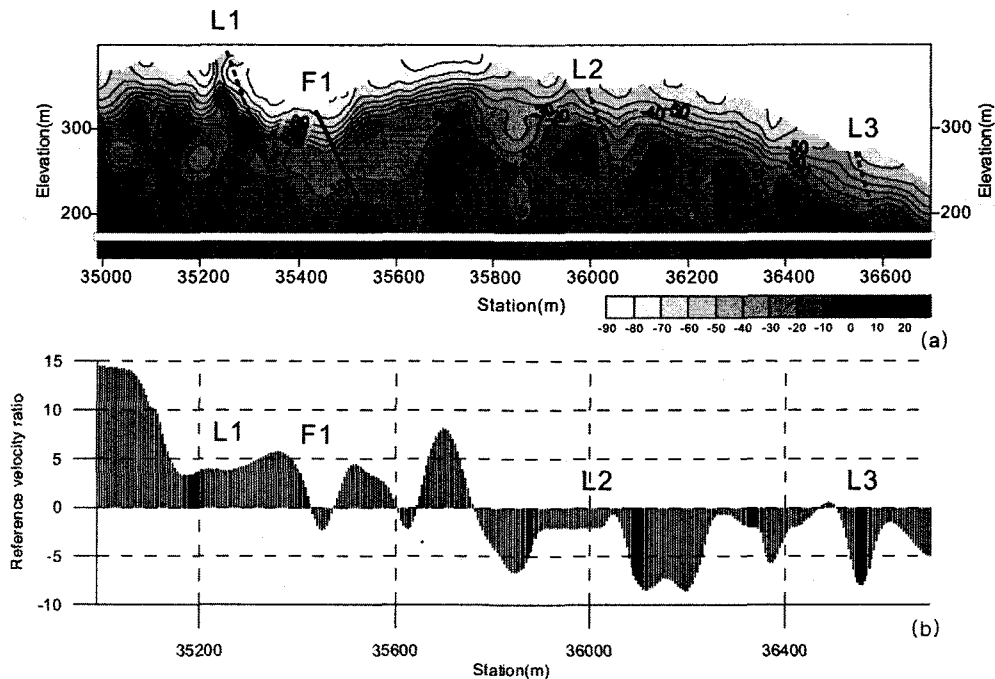


Fig. 5. Reference velocity ratio section (a) and profile at the tunnel level (b).

4. 결론

본 연구에서는 암질과 탄성과 속도와의 상관관계를 합리적으로 결정하기 위한 방법의 일환으로 쉘블런스에 근거한 탄성과 기준속도비를 이용하는 암반분류 방법을 제안하였다. 조사구간에 포함된 저속도 이상대의 탄성과 속도를 실제보다 높게 평가하는 대심도 탄성과 토모그래피의 문제점을 극복하고자 탄성과 기준속도 개념을 도입하였으며 이의 결정을 위한 방법으로서 탄성과 자료처리에서의 쉘블런스 속도분석 기법을 이용하였다. 제안한 기법을 국내 현장자료의 처리를 통하여 기준속도를 이용한 이상대 구간의 일차적 파악 및 RMR과의 상관성을 고찰함으로써 제안한 기법의 적용성을 확인하였다.

참고문헌

- 김기석, 권형석, 김중훈, 2003, 물리탐사에 의한 터널구간의 암반등급 산정, 2003년 암반분류에 관한 학술세미나 논문집, 한국지반공학회 암반역학위원회, 서울대학교, 2003년 6월 27일, 119-137.
- 신희순, 선우춘, 이두화, 2001, 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, 구미서관.
- 정상원, 하희상, 고광범, 2004, 탄성과 토모그래피 자동화 처리 소프트웨어 개발 및 적용성 검토, 물리탐사, 7, 157-163.
- Coon, R. F., and Merritt, A. H., 1970, Predicting in-situ modulus of deformation using rock quality indexes, *ASTM Special Technical Publication 477*, Philadelphia, 154-173.
- Deutch, C. V., and Journel, A. G., 1998, *GSLIB Geostatistical Software and User's Guide*, Oxford Univ. Press, New York.
- Neidell, N. S., and Taner, M. T., 1971, Semblance and other coherency measures for multichannel data, *Geophysics*, 36, 482-497.