

탄성과 속도를 이용한 암반평가

황세호^{*1)} · 이태섭¹⁾ · 양승진²⁾

1. 서론

지반조사 분야에서 암반평가를 위한 방법은 매우 다양하며 조사 방법 중, 물리탐사법은 각종 물성, 즉 탄성과 속도나 전기비저항의 분포를 파악할 수 있는 장점이 있다. 특히, 암반평가에서 중요한 정보중의 하나인 불연속면에 대한 파악은 물리탐사가 지닌 강점이라 할 수 있다. 그리고, 탄성과 속도나 전기비저항과 같은 물성은 암반 평가를 위한 하나의 지표 또는 기준으로도 활용될 수 있다. 탄성과 속도의 경우, 풍화등급이나 굴착난이도 판정 등에 활용되며 건설교통부, 서울시 또는 도로공사 등의 표준품셈에서 암반분류를 위한 분류기준요소로도 많이 이용되고 있다(신희순 등, 2000). 특히, 일본의 경우, 탄성과 속도는 정량적인 암반분류 요소 중의 하나로 매우 세분화되어 활용되고 있다. 국내의 경우, 최근에 터널공사나 지하공간개발 등에서 탄성과 속도나 전기비저항을 이용한 암반평가의 필요성이나 활용성이 많이 요구되고 있지만 아직은 시작단계이다 (황세호와 이상규, 1999, 권형석 등, 2001, 선우춘 등, 2001, Hwang et al, 2002). 본 연구는 탄성과 속도가 약 3,000 m/sec 이상인 암반에서 음파검층을 이용한 탄성과 속도의 결정, 원위치 탄성과 속도와 실내 물성시험에 의한 탄성과 속도와의 비교, 정탄성과 동탄성계수와의 관련성, 탄성과 속도와 각종 역학적 시험 결과와의 관련성 파악을 통하여 암반평가에서 탄성과 P파 속도의 적용성을 검토하기로 한다.

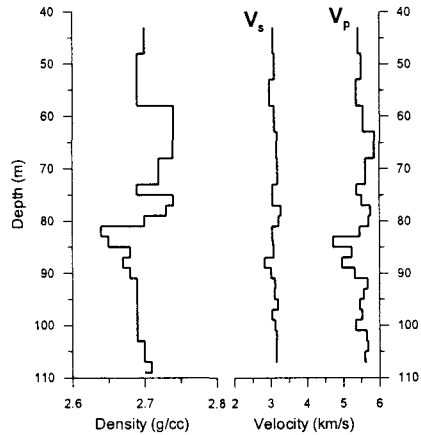
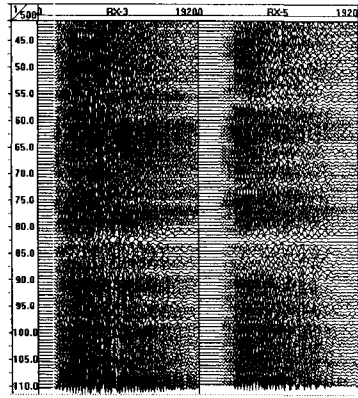
2. 탄성과 속도의 측정

시추공을 이용하여 탄성과 속도를 측정하는 방법 중에서 음파검층은 수십 cm의 높은 수직 분해능으로 탄성과 속도 측정이 가능하며 일반적으로 3~5 m/min의 속도로 측정하기 때문에 시추공의 심도가 깊은 경우에도 매우 신속하게 자료 취득이 가능하다. 반면에 측정반경은 음원 주 파장의 2~3 배 (보통 수십 cm) 정도이며 공내수가 있는 구간만 측정이 가능하다. 국내에서 암반평가에 이용하는 음파검층 장비는 주로 음원의 주 주파수가 15~30 kHz 인 축대칭음원을 이용하며 암반의 탄성과 P파 속도가 약 3,000 m/sec 이상인 경우에는 매우 효과적이다 (송윤호 등의 제 3장 참조, 2000). 그림 1은 국내 A 지역에 위치한 시추공에서의 음파검층과 밀도검층 결과를 나타낸 것으로, 전 구간에 대한 탄성과 속도의 측정이 가능한 것을 알 수 있다. 일본 OYO사의 음파검층기 (부유형 PS 검층기라고도 함)의 경우, 축대칭 및 축 비대칭의 음원을 이용하기 때문에 연약 지반에도 적용하기 좋다. 축비대칭음원을 이용하는 경우, 보다 정확하게 S파 속도의 측정이 가능한 반면에 음원 주 주파수대역이 약 1 kHz 정도로 낮은 주파수를 이용하기 때문에 초동 picking에 세심한 주의를 기울여야 한다. 원위치에서 측정한 탄성과 속도를 암반평가에 적용하기 전에 실내암석물성시험 결과와 비교할 필요가 있다. 표 1은 국내 B 지역에서 수행한 음파검층과 실내암석물성시험에 의한 탄성과 속도와 비교한 것이다. 탄성과 P파의 경우 3.2~5.5 %, S파의 경우 2.7~12.5 % 정도로 음파검층으로 측정한 탄성과 속도 값이 높으며 S파의 경우 오차가 더 크다. S파 속도의 경우, 오차가 P파 속도보다 큰 이유중의 하나는 속도분석과정의 오차가 P파 보다 높기 때문인 것으로 판단된다 (Paillet and Cheng, 1991).

주요어: 음파검층, 탄성과 P파 속도, 암반평가

1) 한국지질자원연구원 탐사개발연구부(hwangse@kigam.re.kr)

2) 한양대학교 지구시스템공학과



(a)

(b)

그림 1. A 지역에서의 완전파형음파검층 자료 (a)와 감마-감마 (밀도)검층 및 완전파형음파 검층자료에 대한 속도분석 결과인 탄성과 P파와 S파 속도의 심도별 분포 (b).

표 1. B 지역에서의 음파검층과 실내암석물성시험에 의한 탄성과 속도와의 비교.

측정방법	측정구간	종파속도 (km/sec)	횡파속도 (km/sec)
암석물성시험	80.7~82.3 m (1.5 m 구간 3개 시료 평균)	5.15	2.96
음파검층	81.0~83.0 m (2.0 m 구간 평균)	5.46	3.04
암석물성시험	94.0~95.4 m (1.4 m 구간 3개 시료 평균)	5.35	2.80
음파검층	93.0~97.0 m (4.0 m 구간 평균)	5.52	3.15

3. 탄성과 P파 속도와 실내암석역학시험 결과와의 상관성 검토

음파검층을 포함하는 시추공 탄성과탐사법이나 지표탄성과 탐사법에서 가장 많이 획득하는 물성은 탄성과 P파 속도이다. 특히, 음파검층은 시추공을 따라서 높은 분해능으로 탄성과 속도를 측정하기 때문에 공내에서 수행하는 각종 시험이나 시추코어를 이용하는 실내시험과의 비교가 용이하다. 따라서, 암상이 동일한 지역 내에서 획득한 탄성과 P파 속도와 각종 실내암석역학시험 결과와의 관련성이 존재하면 탄성과 탐사를 수행한 구간에 대한 탄성계수나 강도 등을 추정할 수 있다. 특히, 결정질 암반을 대상으로 하는 경우, 탄성과 속도가 대부분이 3,000 m/s 이상이기 때문에 동탄성계수와 정탄성계수와와의 상관성 분석이 가능해진다. 탄성과 P파 속도의 적용성을 검토하기 위하여 편마암으로 구성된 C 지역에서 취득한 음파검층 자료와 실내암석역학시험 결과를 비교, 분석하기로 한다. 그림 2와 3은 각각 P파 속도와 동탄성계수 및 정탄성계수와의 관계, P파 속도와 일축압축강도 및 인장강도와의 관계성을 나타낸 것으로 비교적 양호한 상관관계를 보이고 있다. 탄성과 속도가 구성물질, 밀도, 공극율, 이방성 및 절리의 수 등 많은 인자에 따라서 변하지만 위와 같은 결과는 시추공탐사 (음파검층이나 방향식 탄성과 탐사 등) 자료와 실내암석시험 결과에 대한 면밀한 분석을 통하면 탄성과 P파를 이용한 다양한 암반의 평가가 가능하다는 것을 보여 준다

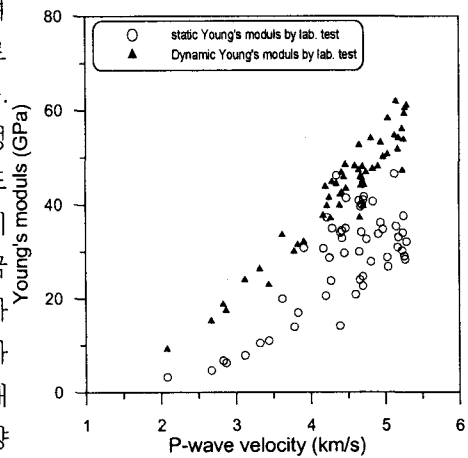


그림 2. C 지역에서의 탄성과 P파 속도와 동탄성 · 정탄성계수와의 관계.

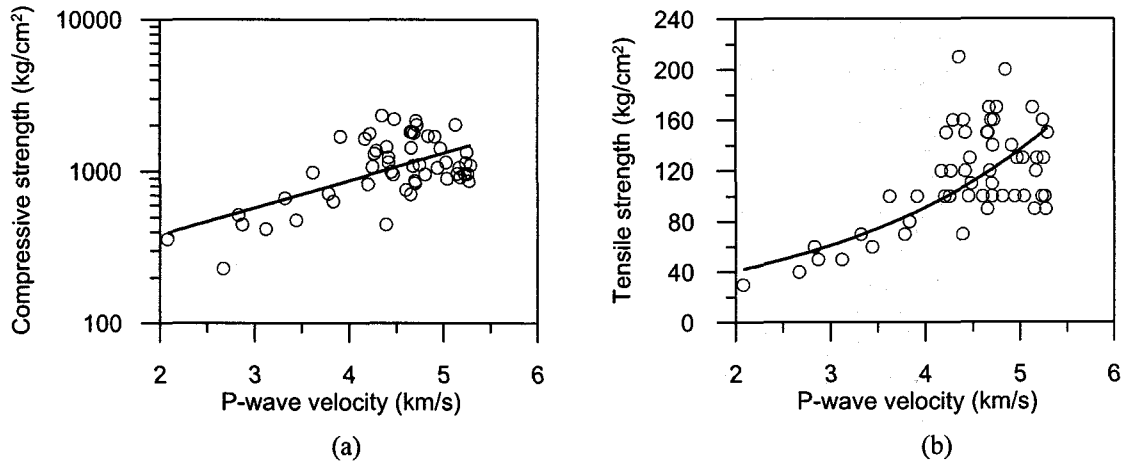


그림 3. C 지역에서의 탄성과 P 속도와 일축압축강도 (a) 및 인장강도와의 관계 (b).

4. 결론 및 향후 과제

탄성과 속도 P파 속도를 이용한 암반평가는 탄성과 속도가 3,000 m/sec 이상인 경우는 적용 가능성이 높은 것으로 판단된다. 현재, 국내에서 수행된 탄성과 P파 속도와 암석 역학적 특성과의 관련성에 대한 연구 결과는 매우 부족하지만 암상별 또는 지질시대별 등으로 세분화하여 상관성을 고찰한 필요가 있다. 특히, 암반공학 관련 전공자와의 교류를 통하여 물리탐사 결과의 활용에 대한 인식을 높일 필요가 있으며 앞으로 현재의 기술 수준보다 정확하고 분해능 높은 탄성과 속도를 측정하는 기술개발이 요구된다.

사 사: 본 연구는 한국지질자원연구원의 기관고유연구사업인 '지하 암반내 고온/저온 저장기술연구' 중의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 권형석, 김기석, 신중호, 황세호, 백환조, 김종수, 2001, 전기비저항과 암반등급의 상호관계에 대한 고찰, 한국지반공학회, 2001 봄 학술발표회 논문집, 81-88.
- 선우춘, 황세호, 정소걸, 이상규, 한공창, 2001, 암반분류법간의 상관관계에 대한 고찰, 한국지반공학회, 17, 127-134.
- 송윤호, 정승환, 이상규, 김정호, 황세호, 황학수, 이성곤, 조성준, 이명중, 설순지, 박인화, 2000, 지반 물리탐사 연구, 한국지질자원연구원 연구보고서 1999-R-TI02-P-01, 111p.
- 신희순, 선우춘, 이두화, 2000, 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, 구미서관, 491p.
- 황세호, 이상규, 1999, 물리검층에 의한 파쇄대 인식과 동적 지반정수의 산출, 건설현장에 필요한 물리탐사기술 심포지움, 1999년도 제2회 학술발표회, 한국지구물리탐사학회, 156-175.
- Hwang, S. H., Kwon, H. S., Park, I. H., Lee, S. K., and Kim, K. S., 2002, The investigation of the relationship between physical properties by geophysical well logging and parameters of rock mass, *Proc. on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP)*, CD-ROM, 10p.
- Paillet, F. L., and Cheng, C. H., 1991, *Acoustic waves in boreholes*, CRC Press, Inc.