

시추공 물리탐사를 통한 지반물성과 암상과의 상관성 분석

Relationship between lithology and rock physical property using borehole prospecting

송 무 영(Moo Young Song)	충남대학교 지질학과
김 환 석(Hwan Suk Kim)	충남대학교 지질학과
박 종 오(Jong Oh Park)	대전대학교 지구시스템공학과

요약 / ABSTRACT

시추공영상자료와 시추조사에서의 RQD자료 및 완전파형음파검층에 의해 측정된 탄성파속도를 이용하여 각 암상에서의 탄성파속도와 RQD와의 상관관계를 검토하였다. 탄성파속도와 절리틈과의 상관관계는 유성일대의 화강암과 팔당일대의 호상 편마암에서 높은 상관성을 보인 반면, 사북일대 퇴적암에서 상관성이 없는 것으로 나타났다. 사북지역의 퇴적암에서는 상관성이 없고, 특히 누적 절리틈이 0~20mm구간에서 탄성파속도 분포의 분산이 크게 나타 나며, 이는 탄질 셰일의 파쇄구간이 넓게 분포하여 절리틈 크기의 측정에 무리가 있었을 것으로 추측된다.

주요어 : 시추공영상자료, RQD, 완전파형음파검층, 탄성파속도, 암상, 절리틈

The relationship between the seismic velocity and RQD was estimated using the RQD data obtained from the optical borehole image processing and drill core logs and the seismic velocity measured from the PS logging. The seismic velocity and crack aperture show a high correlation in the granite in Yuseong area and banded gneiss in Paldang area. However, such a relationship cannot be found in the sedimentary rock in Sabuk area. In the sedimentary rock of Sabuk area, the seismic velocity shows widespread distribution especially in the 0~20mm range of accumulated crack aperture probably because the wide distribution of fracture zone in coaly shale results in the inaccurate measurements of the crack aperture.

Key words : Optical borehole image processing, RQD, PS logging, seismic velocity, lithology, crack aperture

서 론

연구 지역

터널의 굴착이 증가함에 따라 지하 지질구조의 파악에 관심이 높아지고 있으며, 특히 지층구조, 파쇄대 위치 및 암반에 대한 물성치가 지반조사에 중요한 관건이 되었다. 암반에 대한 물성치는 지질공학적 암반분류나 암반의 거동에 중요한 기준치로 제시되며 설계 및 시공 단계를 위해 사전에 수행되어야 할 중요한 요소이다.

지반의 물성을 산출하는 방법에는 실내시험 및 현장시험이 있다. 실내시험에서의 암석물성시험은 가장 정확한 측정법이지만 측정대상이 전체 시추공 중에서 일부이고 대부분의 경우 무결암을 대상으로 하기 때문에 현지지반의 특성을 반영하기가 어렵다. 시추공 물리탐사법 중에서 완전파형음파검층법은 구간별 P파와 S파의 속도 측정이 가능하여 현지 지반의 동적인 특성을 정량적으로 획득할 수 있는 장점이 있으며, 시추공내에 발전원과 수신기를 동시에 설치하여 탄성과 속도를 측정하기 때문에 S파 측정에 효과적이다(Kitsunesaki, 1980). 시추공영상촬영은 광학영상을 이용하여 영상의 수치화 촬영(Tanimoto et al., 1995), 암상구분(Sakari, 1994), 공간적 좌표를 알 수 있도록 방위측정(Keys, 1997), 절리틈 크기를 산정하여 암반의 이완영역을 파악(Kamewada et al., 1990)할 수 있으나 지반의 탄성과 속도와 동적 탄성계수와 같은 물성을 측정할 수 없다는 단점이 있다.

본 연구는 강원도 정선군 사북일대 퇴적암, 경기도 남양주시 팔당일대 호상 편마암, 대전 유성일대 화강암지역에서 시추공영상촬영 및 완전파형음파검층을 실시하였다. 시추공영상을 통해 이들의 암상을 구분하고 각 암상에서 나타나는 절리빈도 및 절리틈 크기를 분석하여 암상과 절리특성이 탄성과 속도와 어떠한 상관성이 있는가를 파악하였다.

따라서 본 연구의 목적은 시추공영상자료, 시추조사에서의 RQD자료 및 완전파형음파검층에 의해 측정된 탄성과 속도를 이용하여 각 암상에서의 탄성과 속도와 RQD관계, 탄성과속도와 절리틈크기와의 상관관계를 밝히고 물성치를 정량화하여 지질공학적 암반분류에 중요한 기준치로 제시하는데 있다.

본 연구지역은 강원도 정선군 사북일대 퇴적암 지역에 5개의 시추공, 경기도 남양주시 조안면 팔당일대 호상 편마암지역에 5개의 시추공, 대전 유성북부 화강암지역에 1개의 시추공 지역이다(Fig. 1). A 지역은 경기도 남양주시 조안면 팔당리부근으로 경기편마암복합체가 분포하는 지역으로서 선캠브리아기의 호상 편마암이 대부분을 차지하며 일부에 규암 및 편암이 분포한다. B 지역은 강원도 정선군 사북읍 부근으로 폐렴기의 장성층, 함백산층, 도사곡층, 고한층이 분포하는 지역으로 흑색 세일, 중조립사암, 세립질 사암으로 수매의 석탄층이 협재되어 있다(대한지질학회, 1999). C 지역은 대전 유성구 덕진동 일대로 선캠브리아기의 변성암류와 옥천층군의 변성퇴적암류이며, 이를 관입한 시대 미상의 심성암류, 상부 중생대의 화강암류 및 백암 등으로 구성되어 있으며(박희인 외, 1977), 시추공이 위치하는 지역은 중생대의 화강암류로 분포되어 있다.

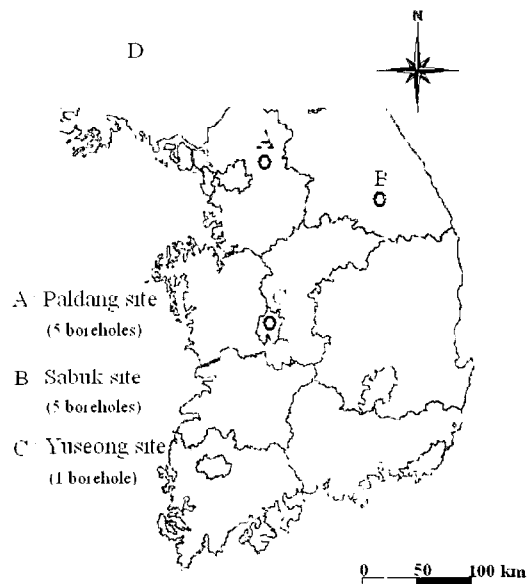


Fig. 1. Location map of study area.

시추공 물리탐사를 통한 지반물성과 암상과의 상관성 분석

연구지역에서 얻어진 자료는 75.4mm의 NX크기의 시추공으로 사북지역에서 심도103~300m 깊이의 5개 시추공, 팔당지역에서 심도 26~67m 깊이의 5개 시추공, 유성지역에서 심도 500m 깊이의 1개 시추공을 이용하였다(Table 1).

Table 1. Description of borehole in study area.

Site	Borehole No.	Hole diameter (mm)	Depth(m)	Range of prospecting (m)
Sabuk	BH-1	75.4(NX)	300	32.4~241.6
	BH-2	75.4(NX)	300	44.8~95.8
	BH-3	75.4(NX)	200	34.0~144.8
	BH-4	75.4(NX)	300	30.2~86.9
	BH-5	75.4(NX)	103	43.3~81.5
Paldang	TB-2	75.4(NX)	33	13.4~28.6
	TB-4	75.4(NX)	26	6.5~22.9
	TB-21	75.4(NX)	30	13.2~26.7
	TB-27	75.4(NX)	67	7.3~23.5
	TB-32	75.4(NX)	38	13.3~25.7
Yuseong	KI302-00	75.4(NX)	500	17.9~301.8

연구 방법

시추공영상촬영

시추공영상촬영 기법은 빛을 이용하여 시추공 벽을 디지털로 촬영하고 화면에 나온 공벽 상황으로 암반 성상 및 공내의 불연속면에 대한 정보를 자세히 해석한다. 또한 시추공영상촬영은 균열내의 충전물의 유무 및 균열면의 풍화상태, 균열의 거칠음 정도 및 두께를 정확하게 분석할 수 있으며 암상의 변화, 암맥의 관입상태 및 암석이 가지는 일차구조와 구성광물의 입자크기까지 파악할 수 있다는 점에서 다양한 지하정보를 제공받을 수 있으며(구민호 외, 1999), 광학 영상을 이용하여 시추공벽을 영상촬영하고, 심도 및 방위별로 2차원의 상세한 측정자료를 화상 처리하여 시추공 주변의 암상 변화와 절리분포 및 절리틈을 정확히 측정할 수 있다(송무영 외, 2000).

완전파형음파검층

탄성과 속도로부터 얻어지는 동탄성 계수는 지

진과 같은 외부의 진동이 지반이나 구조물에 미치는 반응특성을 예측하여 원자력 발전소, 대형교량, 지하유류 비축기지 및 터널과 같이 진동에 민감한 구조물을 시공할 때 필요하다. 또한 동탄성 계수는 지반의 동적 분석에 있어서 가장 중요한 변수 가운데 하나로 현장에서 P파, S파 속도를 측정함으로써 구할 수 있으며(한국암반공학회 외, 1999), 시추공에서 완전파형음파검층을 통해서 측정된 파형 기록으로부터 지반의 특성을 파악하며 다른 시추공탐사보다 높은 분해능으로 측정한다.

탄성과 속도 측정에 이용한 완전파형음파검층 장비인 일본 OYO사의 PS검층기는 음원과 수신기 사이의 거리가 1m 이며, 축대칭(또는 단극음원)과 축비대칭(또는 쌍극자음원)의 음원을 이용하기 때문에 탄성과 P파는 물론 S파 속도의 측정이 가능하다(Ogura, 1988). 또한 음원과 수신기가 하나의 sonde에 있기 때문에 심도가 깊은 경우에도 측정이 가능한 장점이 있다. 단점으로는 수신기가 진동에 매우 민감하기 때문에 일반적인 음파검층과는 달리 정지 상태에서 측정하기 때문에 측정에 시간이 많이 소요되는 점과 음원과 수신기 사이의 거리가 기존의 음파검층 검층보다 크기 때문에 수직 분해능이 상대적으로 작은 점이다.

구간별 탄성과 속도의 결정은 각 수신기에 측정된 파형기록의 초동을 선택한 후, 각 수신기의 시간차와 거리를 이용하여 구간별 탄성과 속도를 결정하며, S파의 경우는 위상의 반전을 확인하면서 탄성과 속도를 결정한다. Fig. 2는 팔당지역에 위치한 시추공 TB-4호공에서 일본 OYO사의 PS검층 장비를 이용하여 취득한 완전파형음파검층 자료의 초동을 나타낸 것이다.

연구결과 및 해석

시추공영상촬영과 암상구분 및 절리분석

본 연구지역의 시추공영상촬영은 암상경계와 파쇄구간의 분포 및 심도를 보여 준다(Fig. 3). 영상촬영 결과에서 팔당일대의 암상은 호상 편마암으로 파쇄 구간과 틈새들이 잘 발달되어 있으며(Fig. 3(A)), 사북일대의 암상은 파쇄가 심한 단질세일 구간으로 조립사암, 세립사암과 흑색 세일

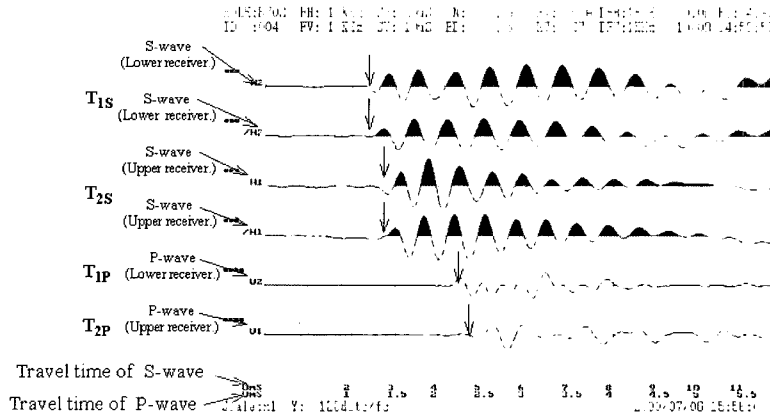
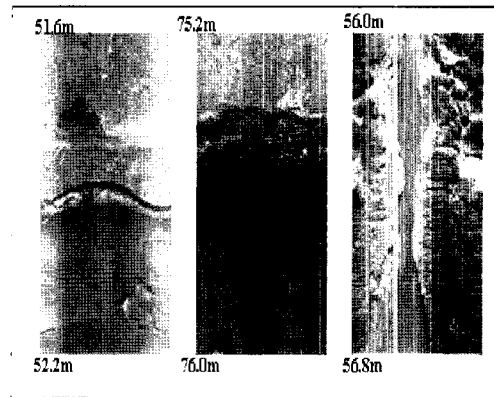


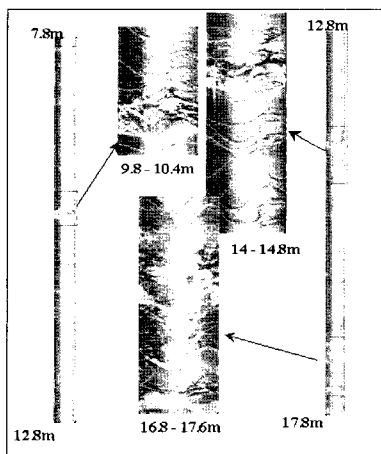
Fig. 2. An example of full waveform sonic logs and first arrival picking at Paldang site(TB-4).

로 구분되며(Fig. 3(B)), 유성 일대의 암상은 전 구간이 화강암으로 구성되어 있다(Fig. 3(C)). 이러한 영상 촬영으로부터 얻어진 자료를 이용하여 각 시추공에 따른 심도별로 나타나는 절리 빈도와 절리 틈을 파악하여 암상의 특성들을 분석하였다.

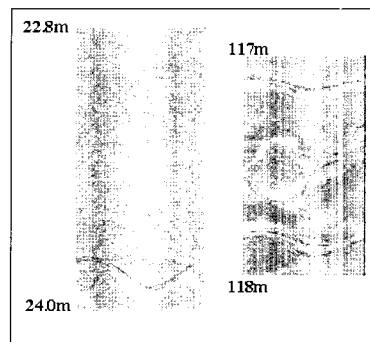
분석결과에서 팔당일대의 호상 편마암은 전반적으로 깊이에 따른 절리수가 고르게 분포하며, 절리 틈이 심도가 깊어 질수록 작게 나타난다(Fig. 4(A,B)). 사북지역의 흑색 세일과 석탄층에서는 절리수가 전반적으로 많이 분포하며, 절리 틈이 특정 심도에 매우 발달한다(Fig. 4(C,D)).



(B)



(A)



(C)

Fig. 3. Optical borehole images showing lithology and crack properties, (A) fracture zone of banded gneiss at Paldang site(TB-2), (B) lithology boundaries and fracture zone of sedimentary rock at Sabuk site(BH-2), (C) granite at Yuseong site(KB02-00).

시추공 물리탐사를 통한 지반물성과 암상과의 상관성 분석

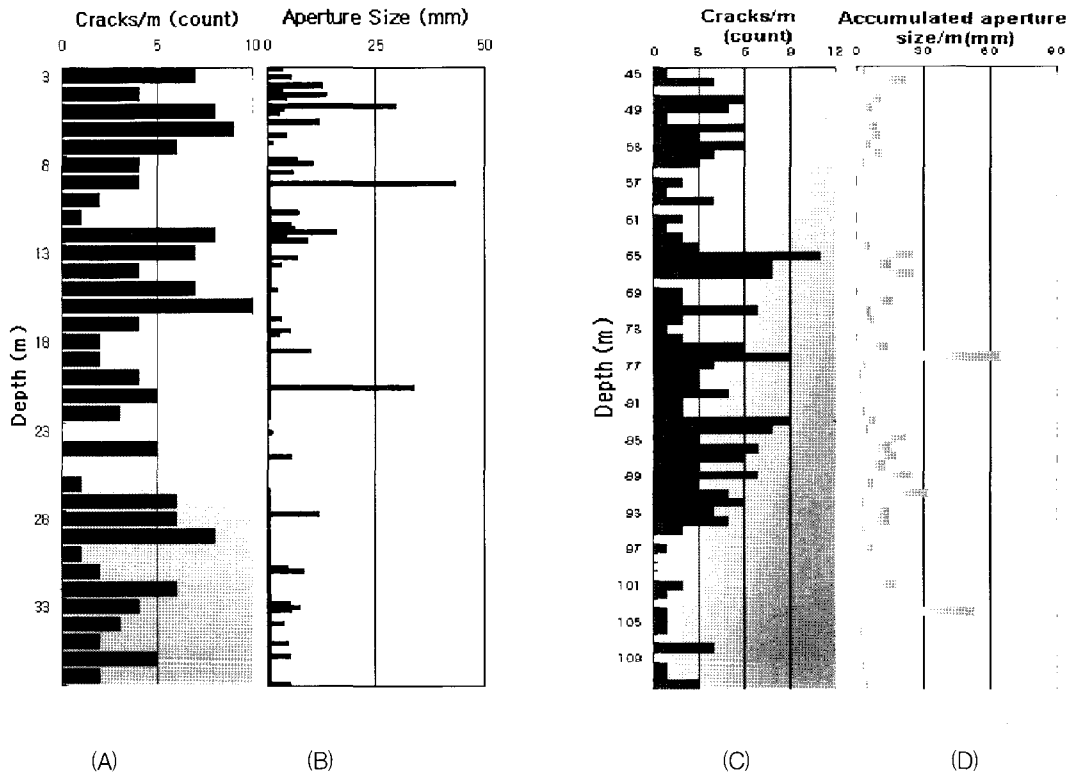


Fig. 4. Result of crack distributions (A) Crack frequencies-depth graph and (B) Aperture size-depth graph at Paldang site(TB-32), (C) Crack frequencies-depthgraph and (D) Accumulated aperture size-depth graph at Sabuk site(BH-2).

탄성파속도와 RQD의 상관관계

지반의 물성은 밀도, 함수율 및 공극률 등의 기본적인 물성과 압축강도나 변형에 관한 역학적 성질 등을 말한다. 탄성파 속도는 저 변형률 범위에 대한 지반의 동적인 성질을 파악하며 탄성파 속도의 변화로 지반의 물성간의 상관관계를 파악할 수 있다. 시추공 물리탐사를 통하여 탄성파 속도 측정으로 현지 지반내의 지질조건과 절리 등을 포함한 역학적 성질을 동시에 파악할 수 있다. 탄성파 속도에 영향을 미치는 요소에는 암종, 조직, 밀도, 공극률, 수분함유량 및 온도 등으로 보며, 절리 빈도보다 절리틈이 더 큰 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

본 연구지역에서의 탄성파 속도는 사북일대의 흑색 셰일에서 P파 속도가 2,058~5,275m/sec, S파 속도가 946~3,305m/sec의 범위이며, 조립사암과 세립사암에서 P파 속도가 2,330~5,166m/sec, S파 속도가 642~2,664m/sec 범위이다. 또한 팔당 일대의 호상 편마암지역에서 P파 속도가 2,780~5,882m/sec, S파 속도가 940~3,270m/sec 범위이며, 유성일대의 화강암에서 P파 속도가 3,310~5,180m/sec, S파 속도가 1,480~2,800m/sec의 분포값을 보인다. 이러한 넓은 폭의 탄성파 속도의 분포를 보이는 것은 각 암상의 변화와 심도별 절리틈새의 크기의 변화에 기인된 것으로 파악된다. 또한 시추공영상분석으로 연구 지역별 암상을 구

분한 후 시추에서 얻어진 RQD자료와 암상분포와 절리분포에 따른 탄성과 속도의 상관관계를 분석하였다.

RQD와 탄성과 속도의 관계는 유성일대 화강암 지역에서 RQD가 50~100%의 범위를 나타내며, 탄성과속도에 대한 RQD의 관계가 선형적으로 증가하는 경향을 보인다(Fig. 5). 직선회귀식을 이용한 상관관계는 P파 속도에서 0.6975, S파 속도에서 0.6374의 높은 값을 보인다. 또한 연구지역의 화강암에서 RQD와 탄성과 속도의 관계식은 P파 속도가 3,310m/sec 이상, S파 속도가 1,480m/sec 이상인 화강암에서 적용이 가능하다.

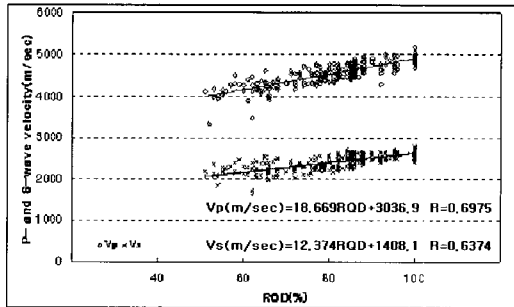


Fig. 5. Relationship between RQD(%) and seismic wave velocity in granite at Yuseong site.

팔당일대의 호상 편마암에서의 RQD와 탄성과 속도의 상관 관계는 P파 속도에서 0.6943, S파 속도에서 0.678의 높은 값을 나타낸다(Fig. 6).

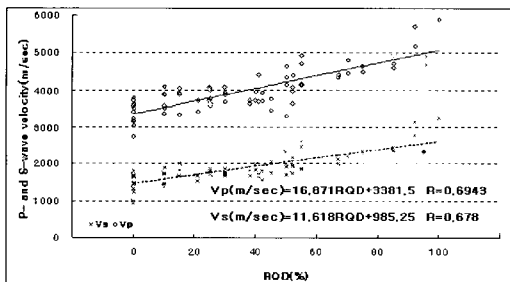


Fig. 6. Relationship between RQD(%) and seismic wave velocity in banded gneiss at Paldang site

사북일대의 흑색 셰일에서의 RQD와 탄성과 속

도의 상관관계는 P파 속도에서 0.5355, S파 속도에서 0.5194의 값을 보이는데 암상의 변화 및 절리틈새로 인하여 탄성과 속도 분산이 크게 나타나므로 유성일대의 화강암 및 팔당일대의 호상 편마암보다 상관관계가 전반적으로 낮게 나타났다(Fig. 7).

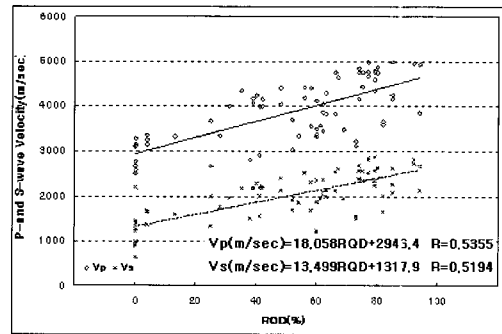


Fig. 7. Relationship between RQD(%) and seismic wave velocity in black shale at Sabuk site.

탄성과 속도와 RQD와의 직선회귀식을 통한 결과를 종합적으로 볼 때, 모든 암상에서의 탄성과 속도는 RQD와 높은 상관성을 나타낸다. 또한 RQD의 증가에 따른 탄성과 속도는 전반적으로 선형적 증가 양상을 보이므로 지질조건이 동일한 지역에서 지반의 암상에 따른 탄성과속도로 RQD를 추정할 수 있다. 유성일대의 화강암 지역은 암상 및 RQD의 변화 범위가 적으므로 다른 지역보다 속도값 분포범위가 작게 나타남을 알 수 있다. 팔당일대의 호상 편마암지역은 유성지역의 화강암 지역과 유사한 상관관계를 나타낸 반면, 사북일대의 흑색 셰일 지역에서는 낮은 상관관계를 보였다.

탄성과속도와 절리틈 크기의 상관관계

본 연구에서는 시추공 영상에서 절리 빈도수를 확인하고 누적 절리틈의 크기와 탄성과 속도의 관계를 분석하였다. 절리빈도와 P파 속도의 관계는 이론 및 실험을 통하여 확인한 결과 이론적 계산과 실험치의 오차 범위가 미터당 0.5 틸새보다 작게 나타났으며, RQD와 P파 속도 및 절리대의 상관관계를 파악할 수 있다

탄성과 속도와 누적 절리틈 크기에 대하여 회귀

분석한 결과 유성일대의 화강암과 팔당일대의 호상 편마암은 높은 상관성을 보이지만 사북일대의 퇴적암에서는 상관성이 전혀 없는 것으로 확인되었다. 절리틈에 대한 탄성과 속도의 관계는 유성일대의 화강암 지역에서 P파 속도가 0.6472, S파 속도가 0.4973의 상관관계 값(Fig. 8), 팔당일대 호상 편마암지역에서 P파 속도가 0.5173, S파 속도가 0.5065의 상관성을 보이며(Fig. 9), 전반적으로 절리의 틈이 커질수록 탄성과 속도가 감소하는 경향으로 나타났다. 화강암과 호상 편마암에서의 절리틈에 대한 탄성과 속도의 관계는 틈새에 따른 속도 변화의 기울기가 유사한 관계를 보이므로 상호 물성이 비슷하다고 볼 수 있다.

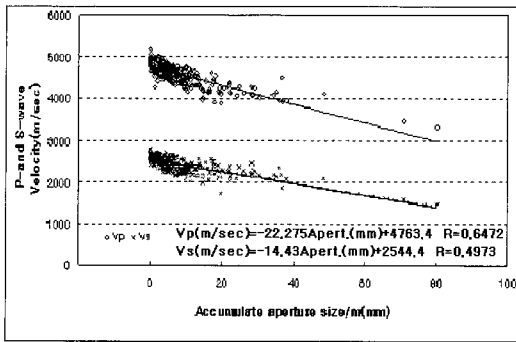


Fig. 8. Relationship between accumulated aperture size per meter and seismic velocity in granite at Yuseong site.

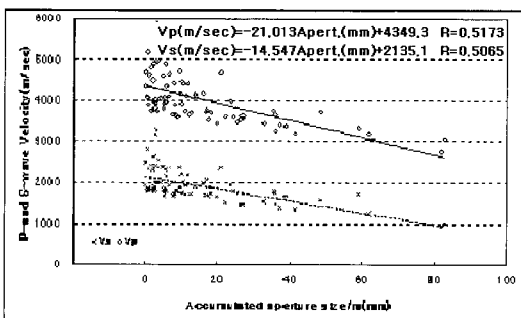


Fig. 9. Relationship between accumulated aperture size per meter and seismic velocity in banded gneiss at Paldang site.

사북일대의 퇴적중 흑색세암에서의 누적 절리 틈 크기와 탄성과 속도의 관계는 누적 절리 틈 크기의 증가에 따라 탄성과속도의 변화가 선형적 관계를 보이지 않으며 속도 분포의 분산이 크게 나타난다(Fig. 10). 이러한 이유는 누적 절리틈이 0~20mm인 구간에서 탄성과 속도 분포의 분산이 크게 나타나는데 시추공영상촬영을 통하여 확인한 결과 탄질 세일의 파쇄구간이 넓게 분포하여 절리틈 크기를 산정할 수 없기 때문이라고 판단된다.

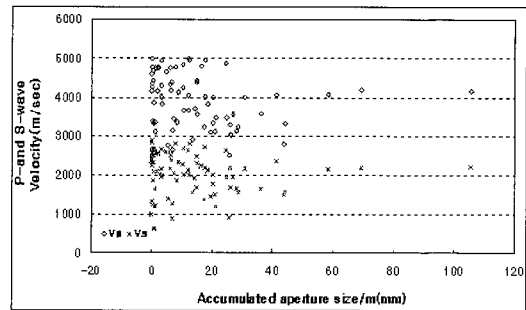


Fig. 10. Relationship between accumulated aperture size per meter and seismic velocity in black shale at Sabuk site.

토 의

본 연구는 강원도 정선군 사북일대 퇴적암, 경기도 남양주시 팔당일대 호상 편마암, 대전 유성일대 화강암지역에서 시추공영상촬영 및 완전파 형음과검층을 실시하여 암상구분과 불연속면의 분포심도 및 양상에 따른 탄성과 속도에 대한 RQD와 누적 절리틈의 상관관계를 분석하였다.

팔당일대는 호상 편마암으로 구성되어 있으며, 탄성과 속도에 대한 RQD 및 절리틈에 대한 관계는 상관성이 좋으므로 탄성과 속도를 가지고 RQD나 절리틈의 추정에 유용하게 이용될 수 있다고 판단된다.

유성일대는 전구간이 화강암의 단일 암상으로 구성되어 있으며, RQD와 탄성과속도의 상관관계는 P파 속도가 0.6975, S파 속도가 0.6374이며, 절

리튬에 대한 탄성과 속도의 관계는 P파 속도가 0.6472, S파 속도가 0.4973 이다. 전반적으로 볼 때, 탄성과 속도에 대한 RQD 및 절리틈의 상관성은 대표성이 작지만 암상 및 RQD의 변화가 적으므로 단일암상으로 제시된 지역에서 상관성이 양호하게 나타날 것으로 판단된다.

사복일대는 퇴적암으로 전구간에 탄질 셰일로 넓게 분포하며 입자구성으로 조립사암과 세립 사암 및 흑색 셰일로 구성되어 있다. RQD와 탄성과 속도에 대한 상관관계는 P파 속도가 0.5355, S파 속도가 0.5194의 값을 나타낸 반면, 누적 절리틈 크기에 따른 탄성과 속도는 상관성이 없게 나타나는데, 이는 퇴적암 지역의 탄질 셰일의 파쇄 구간이 현저하게 분포하여 절리틈을 산정할 수 없기 때문으로 보인다. 이러한 탄질 셰일 구간의 탄성과 속도자료를 제거하고 분석한 결과는 상관성을 보였으나 현지 지반 상태를 그대로 반영하여 측정하였으므로 상관성이 없게 나타났다. 즉, 탄성과 속도와 절리틈의 상관관계는 풍화대나 점토성분이 많은 구간에서 상관성을 도출하기가 어렵다고 판단된다.

이와 같은 결과는 일반화된 상관식은 아니지만 동일한 조건에서 탄성과 속도를 이용하여 RQD나 절리틈을 추정할 수 있으므로 경험식을 현지 지반물성 산출에 적용할 때 반드시 신뢰성이 있는 자료를 비교 검토한 후에 적용이 바람직 하다.

결 론

본 연구에서는 시추공영상촬영자료의 화상처리를 통하여 암상구분과 불연속면의 분포심도 및 양상등을 파악한 후 완전파형음파검층으로 탄성과 속도와 RQD와의 관계 및 절리틈에 따른 탄성과 속도의 관계를 회귀분석 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 시추공영상자료의 분석결과에서 팔당일대의 호상 편마암은 전반적으로 깊이에 따른 절리수가 고르게 분포하며, 절리틈이 심도가 깊어 질수록 작게 나타난다. 사복지역의 흑색 셰일과 석탄층에서는 깊이에 따른 절리수가 전반적으로 많이 분포하며, 절리틈이 특정 심도에 매우 발달한다.

2. 탄성과 속도는 사복일대의 흑색 셰일에서 P파 속도가 2,058~5,275m/sec, S파 속도가 946~3,305m/sec의 범위이며, 조립사암과 세립사암의 P파 속도가 2,330~5,166m/sec, S파 속도가 642~2,664m/sec범위로 나타났다. 팔당일대의 호상 편마암지역에서 P파 속도가 2,780~5,882m/sec, S파 속도가 940~3,270m/sec 범위이며, 유성일대의 화강암에서 P파 속도가 3,310~5,180m/sec, S파 속도가 1,480~2,800m/sec의 속도 분포값을 보인다. 이러한 넓은 폭의 탄성과 속도 분포를 보이는 것은 각 암상의 변화와 심도별 절리의 크기의 변화에 기인된 것으로 파악된다.

3. 탄성과속도와 RQD와의 직선회귀식을 통한 결과를 종합적으로 볼 때, 모든 암상에서의 탄성과 속도는 RQD와 높은 상관성을 보이며, RQD의 증가에 따른 탄성과 속도가 전반적으로 선형적 증가 양상을 나타내므로 지반의 암상에 따른 탄성과속도로 RQD를 추정할 수 있다. 직선회귀식을 이용한 RQD와 탄성과 속도의 상관관계는 유성일대 화강암 지역에서 RQD에 대한 P파 속도가 0.6975, S파 속도가 0.6374이며, 팔당일대의 호상 편마암에서 RQD에 대한 P파 속도가 0.6943, S파 속도가 0.678이며, 사복일대의 흑색 셰일에서 RQD에 대한 P파 속도가 0.5355, S파 속도가 0.5194의 값을 나타낸다.

4. 누적 절리틈 크기에 따른 탄성과 속도의 변화에 대한 회귀 분석 결과는 절리틈의 크기에 따라 탄성과 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 유성일대의 화강암과 팔당일대의 호상 편마암에서 높은 상관성을 보인 반면, 사복일대 퇴적암에서 상관성이 없는 것으로 나타났다. 절리틈에 대한 탄성과 속도의 관계는 유성일대의 화강암 지역에서 P파 속도가 0.6472, S파 속도가 0.4973, 팔당일대 호상 편마암지역에서 P파 속도가 0.5173, S파 속도가 0.5065의 상관성을 보이며, 전반적으로 절리 틈이 커질수록 탄성과 속도가 감소하는 경향으로 나타났다. 사복지역의 퇴적암에서는 풍화대나 점토성분이 많은 구간으로 상관성이 없게 보인다. 특히 누적 절리틈이 0~20mm구간에서 탄성과속도 분포는 분산이 크게 나타 나는데, 이는 탄질 셰일의 파쇄구간이 넓게 분포하여 절리틈 크기의 측정에 무리가 있었을 것으로 추측된다.

사 사

이 연구는 충남대학교 당국의 지원에 의하여 이루어 졌으며, 현장측정은 대덕공영(주)의 지원에 힘입었으므로, 이 두기관에 감사드립니다. 또한 현장 측정 및 자료처리에 많은 도움을 준 신광수, 서기황, 유영철, 빈석범에게 감사를 드립니다.

Foundations, The Japanese Geotechnical Society, Vol. 42, No. 5, 13-18.

Tanimoto, C., Kishida, K., Ando, T., Murai, S., and Matsumoto, T., 1995, Immediate image and its analysis of fractured/jointed rock mass through the borehole scanner in Fractured and Jointed Rock Masses Myer, Cook, Goodman & Tsang(eds.). Balkema, Rotterdam, 219-227.

참 고 문 헌

구민호, 이동우, 원경식, 1999, 시추공 텔레뷰어 및 BIPS의 영상자료 해석을 통한 파쇄매질의 투수율텐서 계산 프로그램 개발 및 현장 적용, 대한지질공학회지, Vol. 9, No. 3, 187-206.

대한지질학회, 1999, 한국의 지질, 시그마프레스, 890.

박희인, 이준동, 정지곤, 1977, 1:50,000 한국지질도 유성도폭, 한국자원연구소.

송무영, 고희재, 2000, 시추공 영상 분석을 통한 지반구조 및 암상 해석 원리와 그 사례, 대한지질공학회지, Vol. 10, No. 2, 175-194.

한국암반공학회, 한국지구물리탐사학회, 한국자원연구소, 1999, 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술, 799.

Kamewada, S., Gi, H. S., Taniguchi S., and Yoneda, H., 1990, Application of borehole image processing system to survey of tunnel, in Rock Joint, Barton & Stephansson (eds.), Balkema, Rotterdam, 51-58.

Keys, W. S., 1997, Borehole Geophysics in Environmental Investigations, Lewis Publishers, 176.

Kitsunesaki, C., 1980, A new method for shear-wave logging, Geophysics, Vol. 45, 1489-1506.

Ogura, K., 1988, Expansion of Applicability for Suspension P-S Logging, OYO Technical Report, No.10, 69-98

Sakari, 1994, Visualization of Boreholes Soils and

송무영, 김환석
 충남대학교 자연과학대학 지질학과
 대전광역시 유성구 궁동 220
 Tel : 042-821-6423

박종오
 대전대학교 지구시스템공학과
 300-716 대전광역시 동구 용운동 96-3
 Tel : 042-280-2575
 E-mail : jopark@dju.ac.kr