

## 여수시 묘도 부근 퇴적암과 안산암에서 물리검층에 대한 자료해석

임국목<sup>1</sup> · 박종오<sup>2</sup> · 유영철<sup>1</sup> · 송무영<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 지질환경과학과, 305-764, 대전시 유성구 궁동 220

<sup>2</sup>대전대학교 지반설계정보공학과, 300-716, 대전시 동구 용운동 96-3

### Geophysical Well-log Analysis of Andesite and Sedimentary Rocks in Myodo-dong, Yeosu, Southern Korea

Kook-Mook Leem<sup>1</sup>, Jong-Oh Park<sup>2</sup>, Young-Chul Yu<sup>1</sup>, and Moo-Young Song<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2</sup>Department of Geotechnical Design Engineering, Daejeon University, Daejeon 300-716, Korea

**Abstract:** We carried out the Suspension PS log and gamma-gamma log in andesite and sedimentary rocks distributed near the area of Myodo-dong, Yeosu. The main purpose of this study was to find out the distribution of seismic velocities and densities and to analyze the correlation of the two rocks by comparing their geophysical well logs with rock cores. The distributions of P and S-wave velocities for two rocks represented in the study area showed a difference of about 2,000 m/sec and 1,500 m/sec with depth, respectively, while the distributions of densities had a discrepancy of about 0.35 g/cm<sup>3</sup> with depth. However, the results of geophysical well logs analysis were similar to the two rocks. Consequently, it is clear that these results are interpreted as a difference due to weathering rather than rock type. In particular, the RQD values showed a good correlation to geophysical well log data.

**Keywords:** Suspension PS log, gamma-gamma log, seismic velocities, densities, correlation, well logs

**요약:** 여수시 묘도 일대에 분포하는 안산암과 퇴적암 지역에서 물리검층 종류인 부유식 P·S파 속도검층과 밀도검층을 실시하였다. 연구목적은 이 지역에 분포하는 두 암상에 대해 깊이에 따른 탄성파속도 및 밀도분포를 찾아내어 시추조사를 통해 얻은 지반정보인 암상과 RQD 값을 비교하여 암석 종류에 따른 상호간에 상관관계를 파악하는 것이다. 연구지역에서 두 암상에 대한 탄성파 속도 분포는 깊이에 따라 P파가 약 2,000 m/sec 내외이며, S파가 1,500 m/sec 내외의 차이를 보였으며, 밀도는 깊이에 따라 약 0.35 g/cm<sup>3</sup>의 차이로 비교적 넓은 폭으로 나타났다. 이러한 결과는 암석 종류에 대한 차이보다 풍화 정도에 따른 것으로 해석된다. 그러나 RQD, 탄성파속도 및 밀도의 상관성 분석은 비교적 높은 관계를 보이므로 물리 검층자료의 결과를 이용하여 RQD에 관련된 불연속면의 빈도를 유추할 수 있다고 본다.

**주요어:** 부유식 P·S파 속도검층, 밀도검층, 탄성파속도, 밀도, 상관관계, 물리검층

## 서론

물리검층은 시추공을 이용한 물리탐사 기법으로 지하의 각종 물성 정보를 제공할 수 있다. 지하 매질의 물성측정을 위한 물리검층은 지반조사, 광물자원탐사, 공동탐지, 환경오염분야 등에 널리 응용되고 있다.

시추공 암추조사는 시추자료를 통해 많은 지질정보를 얻을 수 있으나 지하 매질의 물리적 특성을 자연 상태인 원지반에 대한 자료를 획득할 수 없다. 또한 실내시험은 원지반의 특성 자체 등을 반영하지 못한다. 그러므로 물리검층 기법을 이용할 경우 시추공내 자연 상태의 물리적 특성에 대한 정보를 효과적으로 얻을 수 있다.

물리검층에 대한 연구는 최근 국내에서 물성 파악을 위하여 활발히 진행되어 왔으며, 특히 여러 가지 물리검층 기법을 통하여 실제 연구지역에서 찾고자

\*Corresponding author: mysong@cnu.ac.kr

Tel: 82-42-821-6423

Fax: 82-42-823-3722

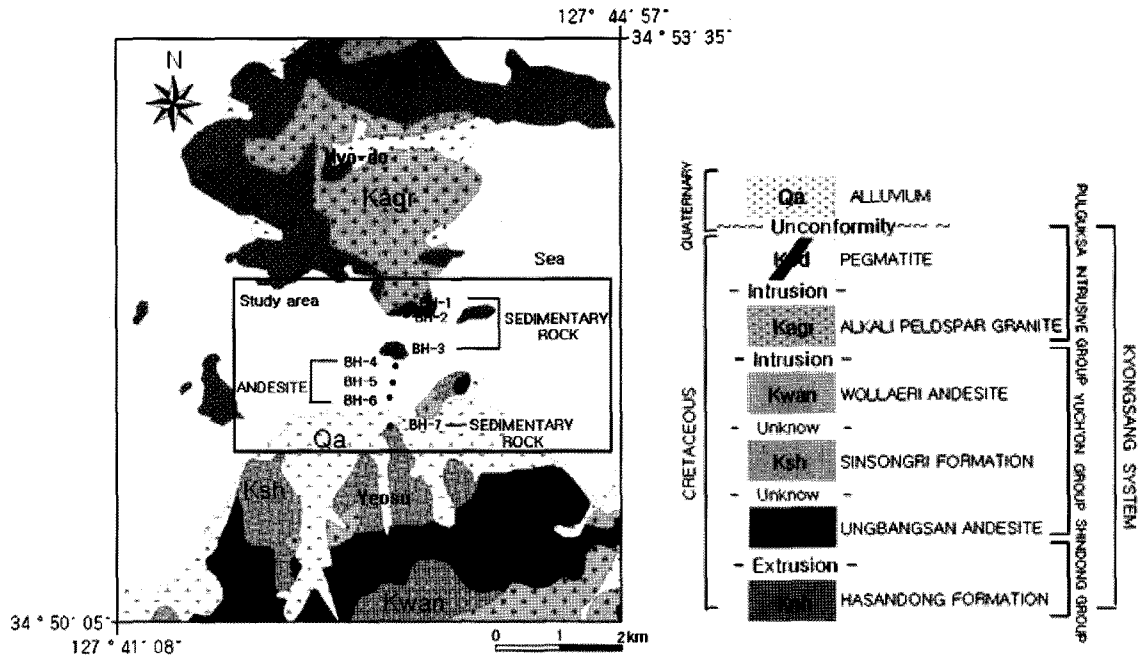


Fig. 1. Geological map of study area.

하는 지층의 구분, 불연속면의 물성 반응 및 암상이 복잡한 지질구성의 파악에 대하여 많이 수행해 왔다 (박삼규와 김희준, 1994; 김영화 외, 2001; 조진문 외, 2005). 또한 길준호(2003)는 해수 침투 지역에서 여러 종류의 물리 검층을 이용하여 침투대로 해석되는 사질층의 특성을 정량적으로 평가하였다. 물리검층으로부터 얻어진 탄성과 속도는 지반의 동적 물성을 파악하는 방법으로 동탄성계수, RQD 및 절리빈도수에 대한 관계를 해석할 수 있다(Sjogren et al., 1979; 유영철 외, 2007). 또한 Yoshikazu et al.(1997)은 탄성과 속도에 대한 각 암상의 밀도와 함수비에 높은 상관성을 제시하였다. 유근환과 장찬동(2006)은 현장 시험을 통하여 화강암과 변성암 지역에서 탄성과 속도 검층을 이용하여 암반의 탄성계수를 비교하였다.

본 연구 지역은 전라남도 여수시 묘도동으로 중생대 백악기 지층인 퇴적암과 안산암으로 구성되어 있으며, 이 모든 지층들을 부정합으로 덮고 있는 신생대 4기의 충적층으로 이루어졌다. 본 연구는 물리검층을 이용하여 탄성과속도 및 밀도 분포를 확인하고, 암추 자료로부터 RQD 등을 측정하여 지질구성에 따른 물성의 특성과 그들 상호간의 상관관계를 비교하기 위함이다.

### 지질 및 시추공 위치

본 연구지역의 지질은 여수시 묘도 부근으로 중생대 백악기 지층인 퇴적암, 화성암 및 신생대 4기 충적층으로 이루어져 있다(Fig. 1). 퇴적암에는 역암, 역질사암, 적색사암, 적색세일로 구성된 하산동층과 신성리층이 있으며, 화성암에는 용방산 안산암과 월내리 안산암 등으로 구분되어진다(박용안 외, 1989).

시추는 해상교량 건설을 위해 시공되었으며 퇴적암류의 하산동층과 신성리층에 4개의 시추공(BH-1, 2, 3, 7)과 월내리 안산암에 3개의 시추공(BH-4, 5, 6)이 위치한다. Fig. 2는 연구지역의 시추공자료이며 조사에서 얻어진 RQD 값은 전반적으로 안산암에서 5-95%, 퇴적암에서 0-100%로 나타나며 암종에 따른 큰 차이는 보이지 않았다.

### 물리검층 개요

본 조사에서 이용한 물리검층기기는 일본 OYO사의 Geologger-3, 영국 RG(Robertson Geologging)사의 RG Winlogger이며, 이 기기를 이용하여 연구지역에 위치한 7개 시추공에서 물리검층을 실시하였다. 물

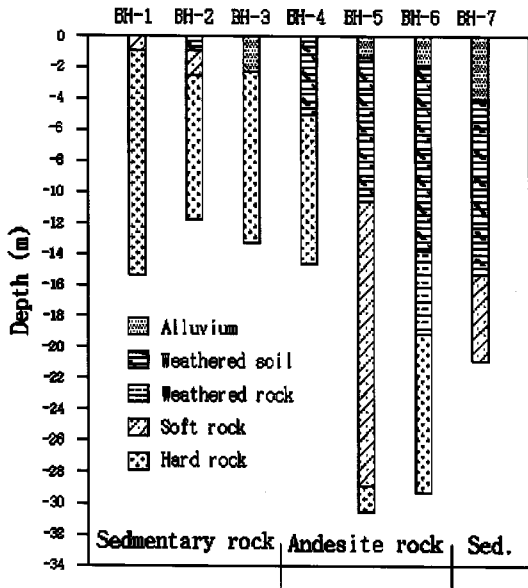


Fig. 2. The core log and rock classification confirmed in the boreholes.

리검층의 종류는 부유식 P·S파 속도검층(Suspension PS log: SPS)과 밀도 검층(Gamma-gamma log)이다.

부유식 P·S파 속도검층은 시추공 내에서 발전원을 통하여 전파된 파형의 기록으로부터 지반의 특성을 파악하는 방법으로 두 수신부에 도달하는 파의 시간차를 측정함으로써 파가 전파하는 구간의 P파 및 S파의 속도를 구하게 된다. 장비의 특징은 상부수진기와 하부수진기의 사이의 거리가 1m이며, 단극 음원과 쌍극자 음원을 이용하기 때문에 P파와 S파 속도를 동시에 측정이 가능하다. 측정된 자료는 심도별로 6개의 검층 트레이스에서 초동시간을 발췌한 후 상부수진기 거리 1m를 대입 속도를 구하여 해석한다. 일반적인 P·S파 속도검층에서 P파는 손쉽게 측정가능하나 S파는 어렵다. S파는 진원방향에 따라 극성변화(polarity change)로부터 구분하게 되는데 부유식 P·S파 속도검층은 쌍극자음원을 이용하여 S파 측정이 다른 속도검층에 비해 용이하다. Fig. 3은 BH-6호공 심도 22m에서 측정된 자료로 S파 극성변화(polarity change)가 잘 나타난다.

본 방식을 이용하여 보다 정확한 S파 구분을 위해서는 극성변화(polarity change), 파형간의 correlation, trace subtraction 등이 필요하다. trace subtraction의 경우 역전된 파형간의 차이를 구함으로써 P파와 잡음을 제거하고 S파를 극대화 시키는 장점이 있다. 그

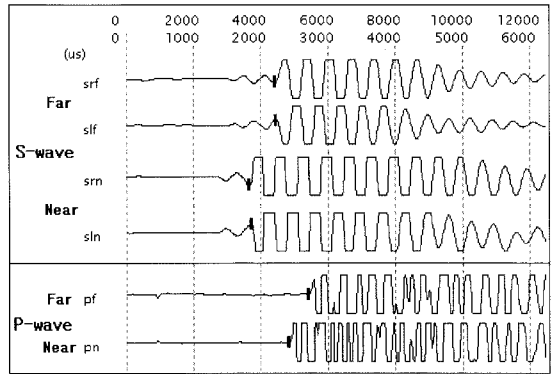


Fig. 3. Waveforms for Suspension-type P-S wave logs at a depth of 22 m of borehole BH-6.

러나 정확한 위상의 역전이 동일 시간에서 일어나지 않고 부분적으로 차이를 두고 발생하는 경우가 있으므로 주의를 요한다(유영철 외, 2007).

밀도의 측정 방법은 크게 밀도검층으로 구하는 방법과 실험실에서 코어 측정법이 있다. 이 중에서 밀도검층은 지층의 원위치 특성을 그대로 반영하는 매우 효과적인 방법이다. 밀도검층은 감마선의 컴프턴 산란효과를 이용하여 원지반의 원위치 체적밀도를 구하는 방법으로 밀도를 연속적으로 측정하여 지층의 구분과 암중에 따른 밀도변화를 산출 할 수 있다. 그러나 최근 들어 철 케이싱, PVC 관, 투명관 등 여러 형태의 케이싱 공에서 밀도검층이 이루어지는 경우가 있어, 정확한 밀도 산출에 있어서 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 문제해결을 위해 국내에서도 많은 선행연구가 이루어졌으며(김영화 외, 2006; 황세호, 이상규, 1999), 보정용 모형 시추공을 활용한 기초 밀도 보정식의 산출과 현장 자료의 비교 검토를 통한 연구(김영화 외, 2004) 등을 통해서 해결 방안이 제시된 상태이다. 본 연구에서는 정확한 밀도측정을 위해 케이싱 상태가 아닌 나공 상태에서 밀도를 측정하였다. 밀도검층 기기는 보통 Co와 Cs으로 감마선원이 한개 또는 두개로 구성되어지는데 본 연구에서 감마선원은 Co을 사용하였다.

### 물리검층 결과

부유식 P·S파 속도검층으로부터 얻어진 탄성과 속도는 우선적으로 7개의 시추공에서 암의 종류에 따라 퇴적암류와 안산암에서 얻어진 자료들로 구분하였다.

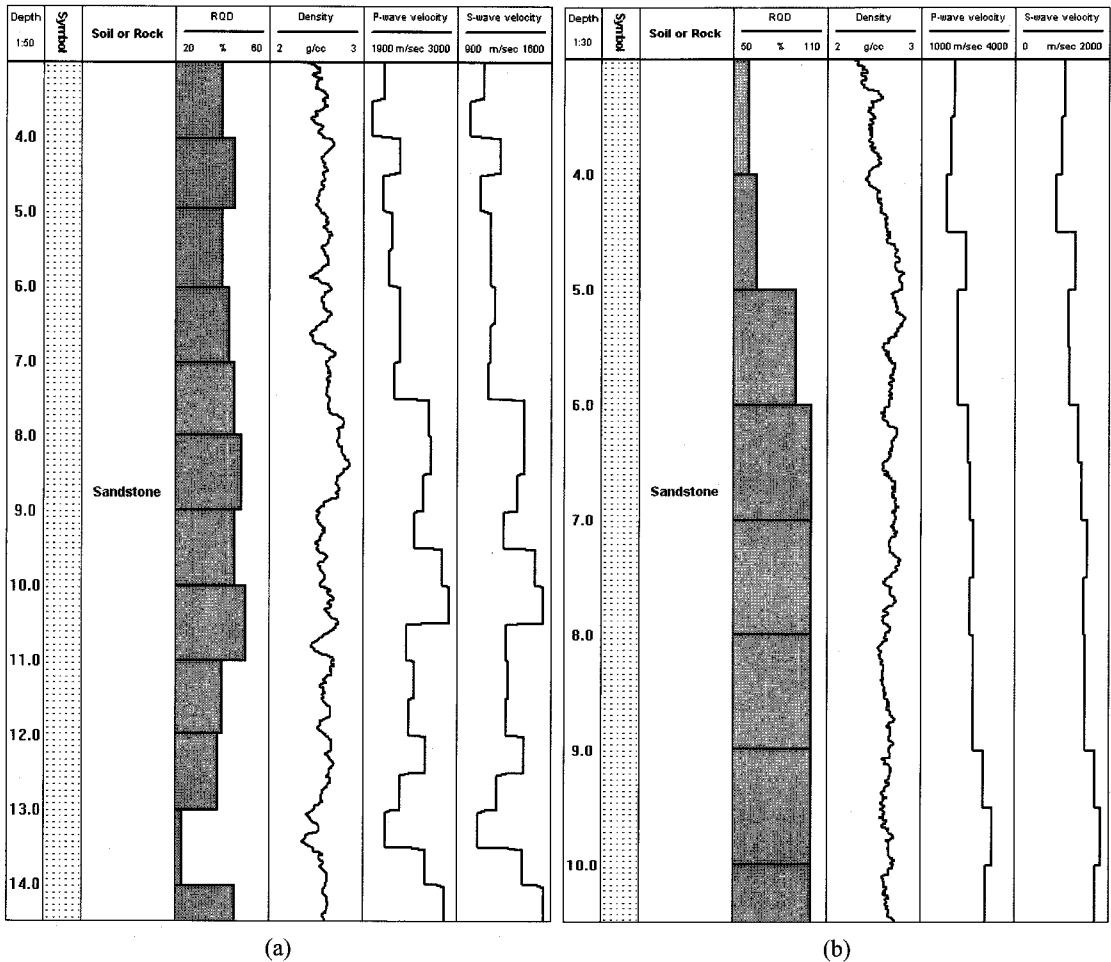


Fig. 4. The distributions for RQD, density and SPS log acquired from boreholes BH-1 (a) and BH-2 (b) located at the sedimentary rock.

여수시 묘도 일대 탄성파속도 분포를 보면, 퇴적암류에서 P파 속도는 2,092-3,962 m/sec이며, S파 속도는 849-2,260 m/sec의 분포를 보였으며(Fig. 4), 안산암에서 P파 속도는 1,921-4,071 m/sec이며, S파 속도는 890-2,395 m/sec의 분포로 나타났다(Fig. 5). 평균 속도는 퇴적암류의 P파 속도는 2,652 m/sec, S파 속도는 1,399 m/sec, 안산암의 P파 속도는 3,188 m/sec, S파 속도는 1,727 m/sec로 나타났다. 여수시 묘도부근의 연구지역에서 제시된 암석들에 대한 속도 분포는 거의 비슷한 값들로 나타났으나 평균속도 값은 안산암에서 퇴적암류보다 높은 속도값을 나타내고 있다. 위의 값과 같이 안산암과 퇴적암류에서 넓은 폭의 탄성파 속도의 분포를 보이는 것은 지반의 절리 등과 같은 불연속면에 기인된 것으로 파악된다(송무영 외, 2002).

밀도의 측정 방법은 시추공의 상부부터 하부 방향으로 10 mm 간격마다 측정하여 얻어진 결과를 0.5 m 구간으로 평균값을 내어 사용하였으며, 측정 구간은 연암과 경암의 암반구간 지층이다. 밀도검층은 본 연구지역에 위치한 7개의 시추공에서 안산암과 퇴적암류로 각각 분리하여 측정하였다. 각 암종에 따른 밀도 분포의 범위를 보면, 퇴적암류에서는 전반적으로 2.40-2.74 g/cm<sup>3</sup>의 분포를 나타냈으며, 안산암에서는 2.42-2.77 g/cm<sup>3</sup>의 값으로 비교적 비슷한 분포를 보이고 평균값은 안산암이 2.66 g/cm<sup>3</sup>, 퇴적암류가 2.57 g/cm<sup>3</sup>을 나타냈다(Fig. 4 and 5).

Fig. 4, 5를 보면 전체적으로 RQD, 밀도, 탄성파속도의 변화가 유사성을 가지고 변하는 것을 알 수 있다. 즉, 열린절리 등의 RQD에 영향을 줄 수 있는 불연속면들이 탄성파속도 및 밀도에 영향을 주는 것을

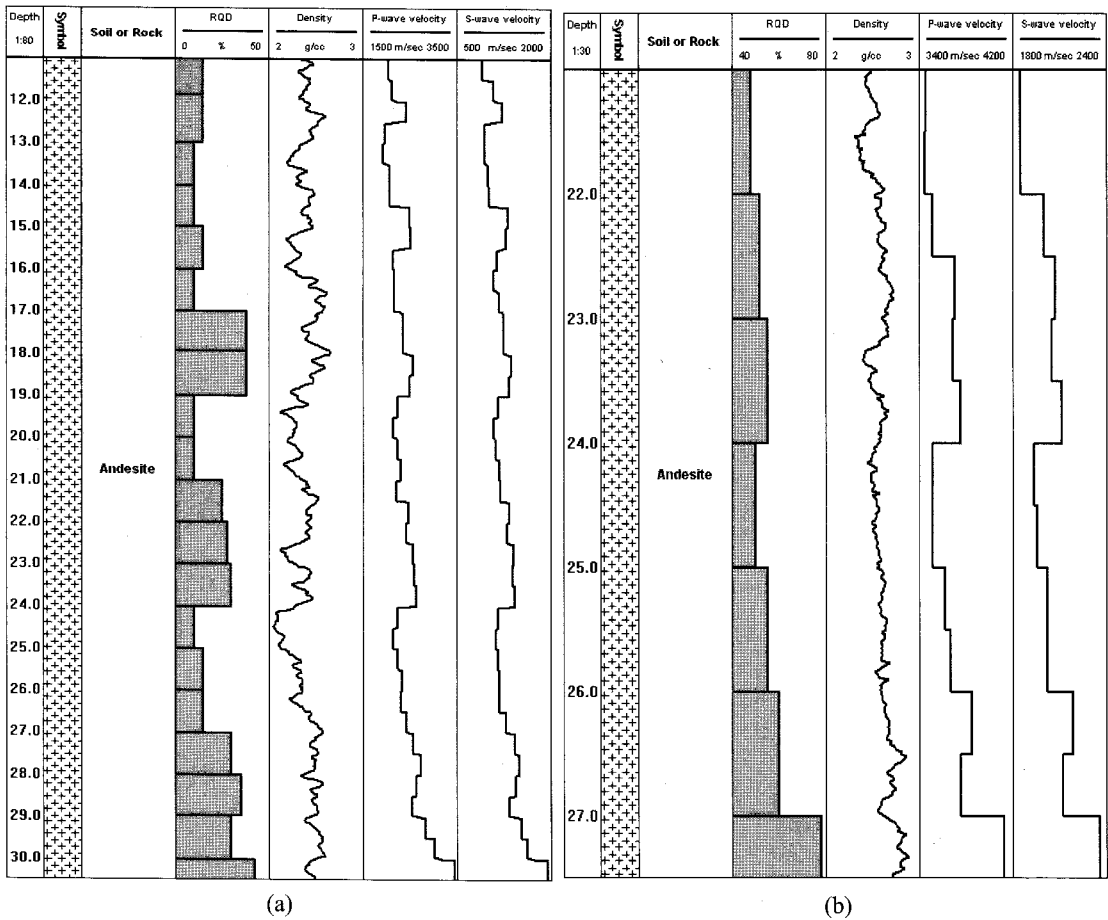


Fig. 5. The distributions for RQD, density and SPS log acquired from boreholes BH-5 (a) and BH-6 (b) located at the andesite rock.

확인할 수 있다. 이러한 상관관계 정도를 파악하기 위하여 7개 시추공에서 실시한 암추조사의 RQD 값과 물리검층으로 얻어낸 밀도와 탄성파속도의 상관성 분석을 실시하였다.

### 상관성 분석

지반의 물성은 밀도, 함수율 및 공극률 등의 기본적인 물성과 압축강도나 변형에 관한 역학적 성질 등을 말한다. 탄성과 속도는 지변형률 범위에 대한 지반의 동적인 성질을 파악하며 탄성과 속도의 변화로 지반의 물성간의 상관관계를 파악할 수 있다(송무영 외, 2002). 본 연구에서는 여수시 묘도일대 안산암과 퇴적암류에서 탄성과 속도와 RQD, 밀도와 RQD 및 밀도와 탄성과 속도의 상관성을 분석하였다.

Fig. 6은 여수시 묘도일대 안산암과 퇴적암류에서

탄성과 속도에 대한 RQD 분포를 그래프를 나타낸 것이다. RQD 값은 P파와 S파의 속도가 증가함에 따라 증가하는 상관관계를 보였다. 특히, 안산암은 퇴적암류보다 RQD 값에 따른 탄성과 속도의 증가가 비교적 높은 비율로 나타났다. 안산암에서 P파 속도에 대한 상관계수는 0.83이며, S파 속도에서는 0.80로 비교적 높은 상관성을 보인 반면, 퇴적암류에서 P파 속도는 0.46이며, S파 속도는 0.42로 안산암보다 낮은 상관성을 보였다.

Fig. 7은 RQD와 밀도와의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 안산암은 RQD 값의 증가에 따라 밀도가 증가하는 상관관계로 0.74의 값을 나타냈다(Fig. 6a) 반면, 퇴적암류는 상관계수가 0.43으로 안산암에 비해 낮은 상관성을 보여주고 있다(Fig. 6b). 이러한 결과를 비교하여 볼 때, 안산암에서 탄성파속도와 RQD 값의 관계는 RQD 값과 밀도값의 관계와 유사

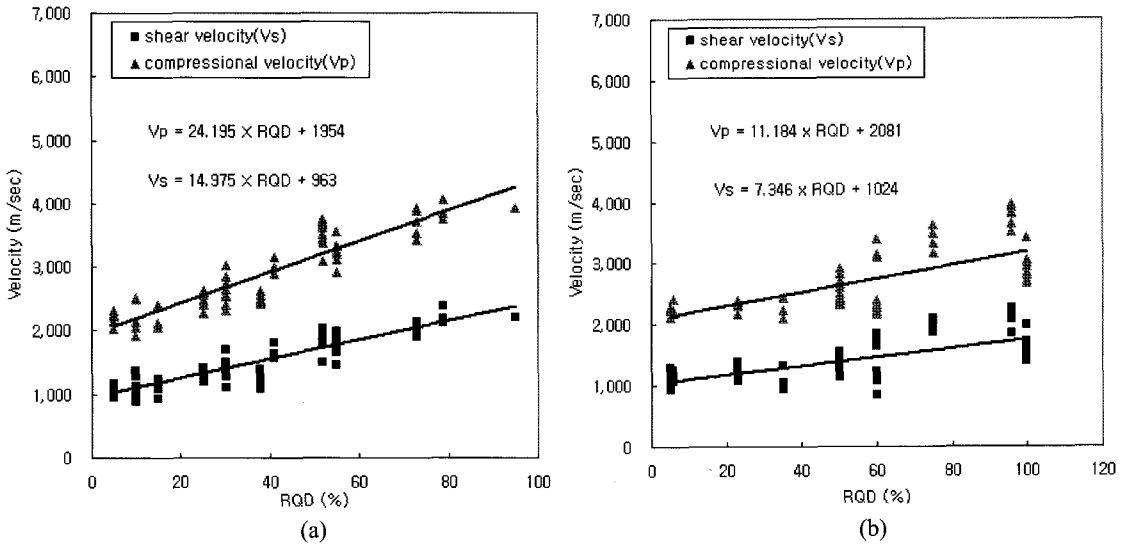


Fig. 6. Correlation between RQD and seismic velocities in andesite rock (a) and sedimentary rock (b).

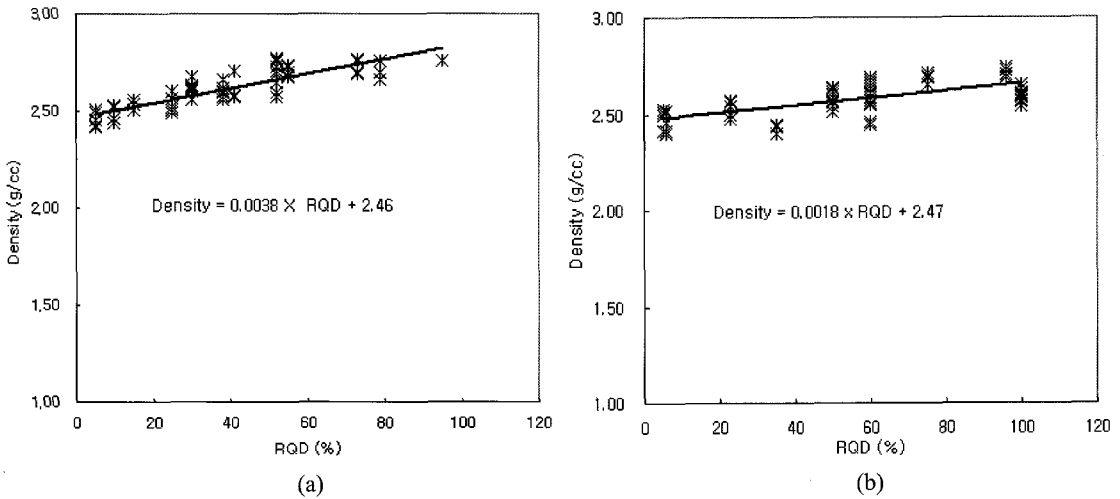


Fig. 7. Correlation between RQD and density in andesite rock (a) and sedimentary rock (b).

한 경향을 보이므로 탄성파속도의 증가에 따라 밀도 값 역시 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 탄성파속도와 밀도값의 상관성을 나타낸 그래프로 탄성파 P파 및 S파 속도의 증가에 따라 밀도값이 지수함수로 증가하는 관계를 보였다. 상관계수는 안산암에서 P파 속도가 0.67이며, S파 속도가 0.70의 값을 보였으며(Fig. 7a), 퇴적암에서 P파 속도가 0.58이며, S파 속도가 0.63의 값으로 나타났다(Fig. 7b).

위의 상관관계의 그래프에서 나타난 상관식은 다음과 같다.

- (1) 탄성파속도-RQD
  - $V_p=24.195 \times RQD + 1954$ ,
  - $V_s=14.975 \times RQD + 963$  . . . . . 안산암
  - $V_p=11.184 \times RQD + 2081$ ,
  - $V_s=7.346 \times RQD + 1024$  . . . . . 퇴적암류
- (2) 밀도값-RQD
  - $Density=0.0038 \times RQD + 2.46$  . . . . . 안산암
  - $Density=0.0018 \times RQD + 2.47$  . . . . . 퇴적암류

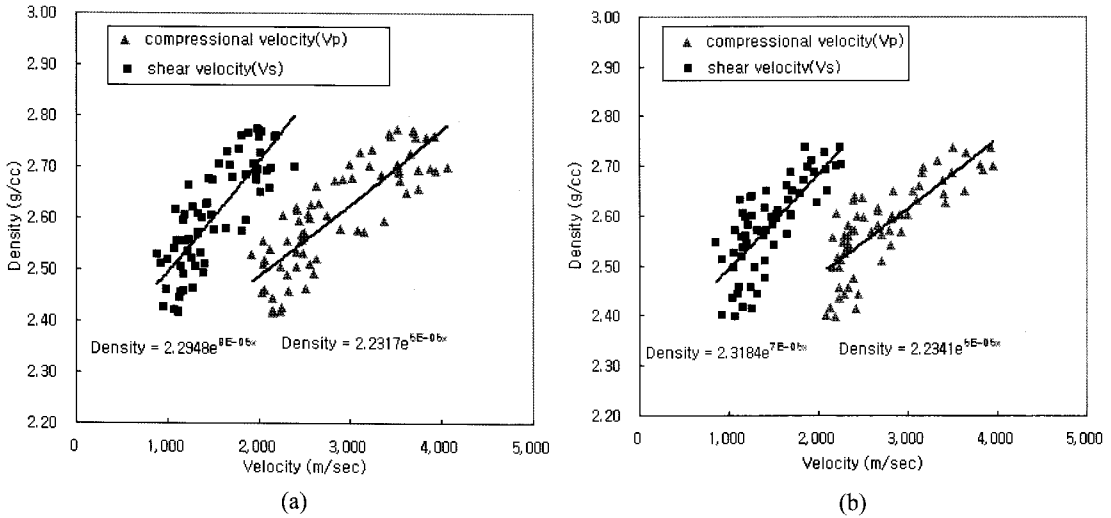


Fig. 8. Correlation between density and seismic velocities in andesite rock (a) and sedimentary rock (b).

(3) 밀도값-탄성파속도

- Density=2.2948e<sup>8E-05x</sup>,
- Density=2.2317e<sup>5E-05x</sup> . . . . . 안산암
- Density=2.3184e<sup>7E-05x</sup>,
- Density=2.2341e<sup>5E-05x</sup> . . . . . 퇴적암류

상관성 분석을 종합적으로 볼 때, 두 암상 모두에서 RQD와 탄성파속도, 밀도와와의 상관성은 선형적으로 증가하는 양상을 보인다. 또한 안산암이 퇴적암류보다 상관계수가 좀 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과를 보면, 퇴적암류는 RQD 값에 대한 영향과 시추조사에서 확인된 바와 같이 서로 다른 물성을 보이는 얇은 층들이 교호하면서 나타나는 영향이 있는 반면, 안산암은 퇴적암류보다 동일한 물성을 갖고 균질하게 구성되었기 때문으로 판단된다.

**결론**

본 연구에서는 시추자료를 통하여 얻어진 암질 및 RQD 값과 물리검층을 통해 얻은 암종별 탄성파 속도 및 밀도 분포에 대한 차이점 등을 고찰하였으며, 또한 RQD, 탄성파 속도 및 밀도값에 대한 상관관계를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 여수시 묘도 일대 탄성파속도 분포는, 퇴적암류의 P파 속도는 2,092-3,962 m/sec, S파 속도 849-2,260 m/sec, 안산암의 P파 속도는 1,921-4,071 m/sec, S파 속도 890-2,395 m/sec로 나타났다. 밀도값 분포는, 퇴

적암류는 2.40-2.74 g/cm<sup>3</sup>, 안산암에서는 2.42-2.77 g/cm<sup>3</sup>의 값을 보이고 평균값은 안산암이 2.66 g/cm<sup>3</sup>, 퇴적암이 2.57 g/cm<sup>3</sup>을 나타냈다.

2. 안산암 및 퇴적암류에서 탄성과 속도는 깊이에 따라 P파가 약 2,000 m/sec 내외, S파가 1,500 m/sec 내외의 속도 차이로 비교적 넓은 폭으로 나타났다. 그러나 두 종류의 암석에 있어서 속도 분포는 거의 비슷한 양상을 보였다. 즉, 속도 분포에 따른 각 암종의 RQD 자료와 비교하여 보면 탄성파속도가 RQD와 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 이러한 속도분포가 큰 차이를 보이는 것은 절리 등의 불연속면의 분포에 따른 영향으로 해석된다.

3. 안산암과 퇴적암류에서 탄성파속도와 RQD의 상관관계는 RQD의 증가에 따라 탄성과 속도가 증가하는 경향을 보였으며, 안산암이 퇴적암보다 좀 더 높은 상관성을 나타냈다. RQD와 밀도 및 탄성파속도와 밀도에 대한 상관관계 역시 탄성파속도와 RQD의 상관관계와 같이 안산암이 좀 더 높은 상관성을 보였다. 이러한 상관성 분석자료를 이용하여 여수시 묘대 일대 동일 암석 조건에서 탄성파속도, 밀도값, RQD를 이용하여 두 암석간의 값들을 유추할 수 있다.

**참고문헌**

길준호, 2003, 영광지역 해수침투 평가를 위한 물리검층의 적용. 충남대학교 이학석사학위논문, 66 p.  
 김영화, 김지훈, 이성진, 2006, 케이싱 환경에서의 밀도자료 보정을 위한 기초연구. 대한지질공학회, 16, 429-435.

- 김영화, 김기주, 임헌태, 김지훈, 공남영, 2004, 밀도검층 검출기 보정에 관한 기초연구. 지구물리, 7, 237-245.
- 김영화, 양영근, 김종열, 김유성, 2001, 석회암지역에서 불연속면의 물리검층반응. 지구물리학회, 4, 95-102.
- 박삼규, 김희준, 1994, 거제도지역 지질조사에 대한 물리검층의 적용성. 자원환경지질학회, 27, 289-294.
- 박용안 외, 1989, 한국지질도(1:5000). 여수도폭 및 설명서, 한국동력자원연구소.
- 송무영, 김환석, 박종오, 2002, 시추공물리탐사를 통한 지반물성과 암상과의 상관성 분석. 대한지질공학회, 12, 127-135.
- 유근환, 장찬동, 2006, 다양한 시험법으로 규명된 암반 단성계수 비교. 대한지질공학회, 16, 1-14.
- 유영철, 송무영, 임국목, 2007, 경기도 하남시 인근 호상편마암 지역에서 Suspension P-S 속도검층 자료분석. 대한지질공학회, 17, 623-632.
- 조진문, 송무영, 임국목, 유영철, 김명식, 2005, 지반물질에 대한 물리검층과 밀도값과의 상관성 분석. 2005년도 한국지구과학회 추계학술발표회 논문, 72-78.
- 황세호, 이상규, 1999, 물리검층에 의한 파쇄대 인식과 동적지반정수의 산출. 한국지구물리학회 1991년도 제2회 학술발표회, 161-162.
- Sjogren, B., Ofsthus A., and Sandberg, J., 1979, Seismic classification of rock mass qualities. Geophysical prospecting, 27, 409-442.
- Yoshikazu, K., Shigeru, M., Tadao, H., and Kiyoshi, M., 1997, Correlation between the results of geophysical prospecting and geotechnical properties. Soils and Foundations, The Japanese Geotechnical Society, 45, 11-14 (in Japanese).

---

2008년 6월 25일 접수  
2008년 7월 25일 수정원고 접수  
2009년 7월 20일 채택