

## 제주도 현무암의 공학적 특성 분석

### Analysis of Engineering Properties to Basalt in Cheju island

남 정 만<sup>1</sup> Nam, Jung-Man  
송 영 석<sup>3\*</sup> Song, Young-Suk

윤 중 만<sup>2</sup> Yun, Jung-Mann  
김 준 호<sup>4</sup> Kim, Jun-Ho

#### ABSTRACT

To investigate the engineering properties of basalt in Cheju Island, rock samples of Pyosenri basalt, trachy-basalt and scoria were taken from Seoguipo-Si Seongsan-Eup area. The laboratory tests such as absorption test, specific gravity test, permeability test, Schmidt hammer test, elastic wave test and uniaxial compressive test were carried out for the collected rock samples. The absorption, the specific gravity, the permeability, the elastic wave velocity and uniaxial compressive strength were investigated and analyzed as the results of these tests. As the result of regression analysis for the relationship between the rebound values from Schmidt hammer test and the uniaxial compressive strengths from uniaxial compressive test, especially, estimation equations were proposed using the rebound values from Schmidt hammer test. Therefore, the simple method to estimate the uniaxial compressive strength was provided.

#### 요 지

본 연구에서는 제주도 현무암에 대한 공학적 특성을 조사하기 위하여 서귀포시 성산읍 일대의 표선리 현무암, 조면암질 현무암 및 스크리아 시료를 채취하였으며, 채취된 시료를 대상으로 흡수율시험, 비중시험, 암반투수시험, 슈미트해머시험, 탄성파시험 및 일축압축시험을 시험을 실시하였다. 이들 시험결과를 토대로 표선리 현무암, 조면암질 현무암 및 스크리아의 흡수율, 비중, 투수계수, 탄성파속도, 일축압축강도를 조사 및 분석하였다. 특히, 슈미트해머 반발치와 일축압축시험으로 구한 일축압축강도의 관계를 회귀분석을 통하여 슈미트해머 반발치를 이용한 일축압축강도 산정식을 제안하였으며, 이를 통하여 간편하게 일축압축강도를 산정할 수 있는 방법을 마련하였다.

**Keywords :** Pyoseonri basalt, Trachy-basalt, Scoria, Uniaxial compressive strength, Rebound value of Schmidt hammer

#### 1. 서 론

최근 제주도는 제주특별자치도를 출범함으로써 세계 속의 국제자유도시로 거듭나기 위하여 대규모 토목공사가 진행중이거나 진행될 예정에 있다. 이와 같이 대규모 토목공사로 인하여 대형 건축구조물, 지하구조물, 대절토사면 등의 개설이 예상됨에 따라 대상지반에 대한 공학적 특성

연구가 요구되고 있는 실정이다. 그러나 제주도의 경우 현무암과 같은 특수한 지질학적 조건을 가지고 있어 공사 수행시 수많은 시행착오를 겪고 있다. 즉, 제주도에 주로 분포하고 있는 화산암인 현무암에 대한 물리적 및 역학적 거동 특성에 대한 다양한 조사결과가 요구되고 있다. 그러나 현재까지 제주도 현무암에 대한 공학적 특성 연구가 매우 미흡한 실정이므로, 대상지반의 공학적 특성을 조사 및 분

- 1 정회원, 제주대학교 해양과학부 토목환경공학전공 교수 (Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Cheju National University)
- 2 정회원, 안산공과대학 건설계열 건설전공 교수 (Member, Professor, Department of Civil Engineering, Ansan College of Technology)
- 3\* 정회원, 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 선임연구원 (Member, Senior researcher, Geological & Environ. Hazards Division, Korea Inst. of Geoscience and Mineral Res., E-mail: yssong@kigam.re.kr)
- 4 비회원, 제주대학교 해양과학부 토목환경공학전공 공학석사 (Non-Member, Master of Science, Department of Civil and Environmental Engineering, Cheju National University)

석하는 것이 매우 시급하다.

다양한 연구결과에 따르면 자연상태에서의 암석에 대한 특성은 지질시대를 거치면서 내외부적으로 크고 작은 영향을 받는 것으로 나타났다(Kranz, 1979; Reyes and Einstein, 1991). 즉, 암석을 구성하고 있는 입자의 배열상태, 방향성과 같은 구조, 암석내부에 존재하는 미세균열의 분포형태 등은 암석의 물리적 및 역학적 특성을 나타내는 중요한 인자로 보고된 바 있다(Kranz, 1979; 이상은 등, 1999). 암석의 공학적 특성을 나타내는 주요인자로는 흡수율, 비중, 공극율, 마모도, 투수계수, 탄성계수, 포아송비, 점착력, 내부마찰각 등을 들 수 있다.

따라서 본 연구에서는 제주도 현무암에 대한 공학적 특성에 대하여 살펴보고자 한다. 먼저 서귀포시 성산읍 일대에 대한 시추를 실시하여 표선리 현무암, 조면암질 현무암 및 스크리아 시료를 채취하였으며, 모든 시료는 동일한 구역 내에서 채취하였다. 이와 같이 채취된 시료를 대상으로 흡수율시험, 비중시험, 암반투수시험, 슈미트해머시험, 탄성파시험 및 일축압축시험을 시험을 실시하였다. 이들 시험결과를 토대로 표선리 현무암, 조면암질 현무암 및 스크리아의 흡수율, 비중, 투수계수, 탄성파속도, 일축압축강도를 조사 및 분석하였다. 현재까지 제주도 현무암의 공학적 특성에 대한 연구가 거의 없으므로 본 연구결과는 제주도 현무암에 대한 공학적 특성의 기본자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 2. 대상지역

Fig. 1은 본 연구에서 이용된 제주도 현무암의 시료채취

위치를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 시료채취지역은 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 일원에 위치하고 있으며 해발표고는 90.21m이다. 해안과의 직선거리는 약 3.4km 정도이며, 북동쪽에 독자봉(El. 159.3m)과 통오름이 말발굽 형태로 발달되어 있다. 특히 연구지역 바로 북쪽에 미천굴이 용암동굴 형태로 분포하고 있다.

Fig. 2는 시료채취지역에 대한 지질도를 나타낸 것이다. 시료채취지역의 지표지질은 침상장석감람석현무암이 대부분 피복되어있는 것으로 나타나고 있으며, 밑으로 반상휘석현무암과 장석현무암류가 분포하는 것으로 나타났다.

시료채취지역의 대부분을 피복하고 있는 침상장석감람

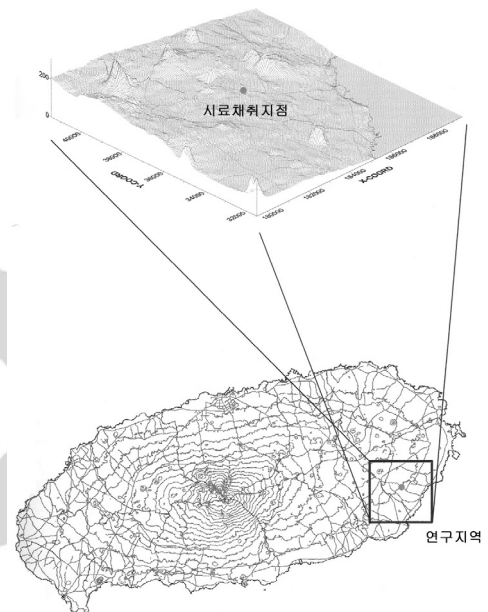


Fig. 1. Location map of the study area

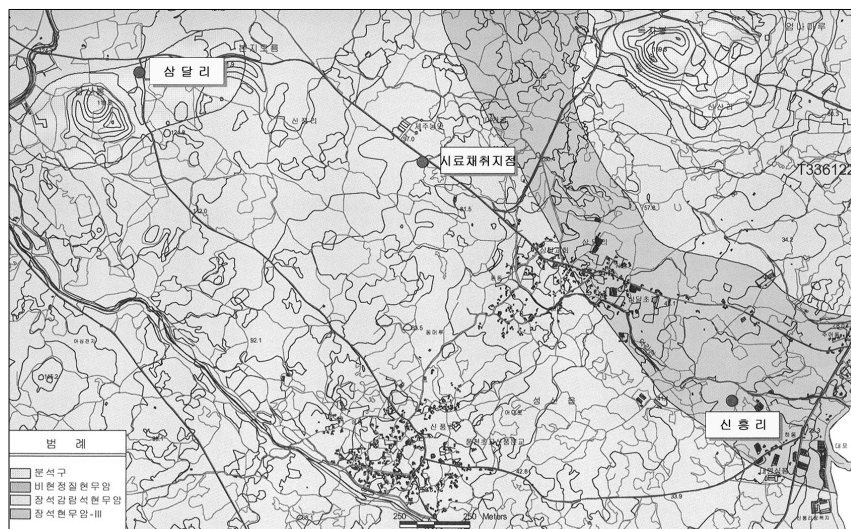


Fig. 2. Geologic map of the study area

석현무암(Acicular Feldspar Olivine Basalt ; FOB)은 일명 표선리 현무암으로 불리워지며 회색 내지 암회색의 다공질 또는 치밀질의 평탄한 대지상의 용암대지를 형성하고 있다. 이 암석은 감람석을 반정으로 함유하고 침상의 장석이 특징적이며 제주도 동부 및 서부지역에 광범위하게 분포하나 남부지역과 북부지역 그리고 중산간 이상의 지역에서는 후기에 분출한 암석에 피복되어 지표노출이 확인되지 않는다. 또한 본 암은 분출 및 고화될 시 점성이 낮아 파호이호이 용암류의 산상을 보이며 이들 용암류의 유로를 따라 다수의 용암동굴이 형성되었다. 침상장석감람석 현무암은 방사성동위원소(K/Ar) 연대측정 결과, 서귀포층의 퇴적시기부터 퇴적이 완료된 이후까지의 시기에 걸쳐 나타나며 대부분 서귀포층 퇴적 이후에 분출된 것으로 해석하고 있다.

시료채취지점에는 지표에서부터 GL(-)24m까지 치밀한 암회색의 침상장석감람석현무암이 분포하고 있다. GL(-)24~81m 구간은 매우 치밀한 조면암질 현무암이 분포하고 있으며 홍갈색의 스크리아층이 2~3매 협재되어 있다. GL(-)81~91m 구간은 홍갈색의 다공질 화산쇄설층이 분포하는데 화산쇄설물 중 소립자를 많이 포함한 채 용암이 굳은 상태이다. GL(-)91~157m 구간은 다공질의 침상장석감람석현무암이 분포하는데 하부로 갈수록 치밀해지는 경향을 보인다.

## 2.1 표선리 현무암

표선리 현무암은 침상장석감람석현무암(FOB)으로 이루어져 있으며, 약간 어두운 회색을 띠고 다공질이며, 반정으로 감람석과 침상 사장석이 나타는데, 반정은 감람석 반정과 소량의 사장석 반정 및 극소량의 단사휘석반정이 나타난다. 석기는 사장석 래쓰와 감람석, 단사휘석, 불투명 광물로 구성되어 있다. 그리고 이것들이 조립의 침상 사장석 사이를 충전하고 있는 입간조직을 보인다.

유동성이 큰 현무암질 용암으로 형성된 제주도에는 용암동굴의 발달이 현저하다. 세계 최장 동굴로 인정받는 만장굴을 비롯하여 빌레못굴 등 60여개의 용암동굴이 확인되고 있다. 용암동굴은 용암류의 유동 시 공기와의 접촉으로 표면이 냉각 고결된 후에도 용융상태에 있는 내부의 용암이 하류로 흘러 내려감으로써 형성된다. 따라서 현무암질의 파호이호이 용암이 잘 나타나며, 제주도에서도 제2분출기의 표선리 현무암으로 구성된 해안저지대에 집중적

으로 분포한다.

또한 제주도의 서부와 남부지역의 시추조사에 의하며, 현 해수면 하부의 60~70m 부근에서 패류화석을 다량 함유하고 있는 두께 약 20m의 해성층이 제1기의 현무암을 부정합으로 덮고 있다. 이 퇴적암류 상부로부터 적어도 10여회 이상의 화산분출로 현재의 해수면 상부까지 표선리 현무암이 형성하고 있다. 제주도에서의 제4기 화산활동은 플라이오세 말에서부터 시작된 것으로 믿어진다. 지표면 상에서 서귀포층(플라이오세)을 부정합으로 피복하고 있는 표선리 현무암의 분출시기를 플라이스토세에 속하는 것으로 생각할 수 있으나, 시추결과에 의하면 이와 유사한 현무암층이 서귀포층의 하부에서도 발견되고 있으며, 서귀포층 자체가 응회암질이고 현무암질 화산암괴를 함유하고 있는 것으로 보아 제주도에서의 화산활동은 제3기 말에서부터 시작되었던 것으로 생각된다. 제주도 화산분출에서 마그마 분화작용이 처음에는 현무암에서 차차 조면암질로 옮겨가고 있다.

분출순서에 의해 구분된 현무암류는 광물조성과 화학성분으로 보아 철강석, 감람석현무암, 반상휘석현무암, 비현정질현무암 등이다. 이들 암석은 전면적의 90%이상을 차지한다. 화산활동에 있어서의 각 분출기는 대체로 다량의 현무암의 유출로부터 시작하여 안산암질 또는 조면암질로 이화되며 용암의 유출은 양적으로 감소되는 것과 동시에 다량의 화산쇄설물을 방출하였다.

본 실험에 사용한 암석시료는 침상장석감람석현무암(일명 표선리 현무암)으로서 제주도의 지형을 해안저지대, 한라산체, 기생화산으로 구분할 때 해안저지대에 해당하는 성산을 지역에서 채취한 시료를 사용하였다. 제주도의 해안저지대를 형성하는 지역의 화산암 구성광물로는 감람석과 휘석이 주성분을 이루며, 불투명광물 티탄철광이 포함되어 있다.

## 2.2 조면암질 현무암

조면암질 현무암은 알칼리감람석현무암보다 이산화규소와 알칼리 성분을 많이 함유한 알칼리계열의 현무암으로 조면암과 비슷한 조면조직을 가진 경우가 많다. 육안으로 보면 치밀하고 담회색을 나타낸다. 구성광물은 알칼리감람석현무암과 거의 같고, 반정(斑晶)에 감람석, 보통휘석, 사장석, 티탄자철석, 티탄철석이 보인다. 알칼리감람석현무암과의 화학조성 차이는 알칼리장석의 양이 많다는

점이다. 본래는 사장석과 준장석을 포함한 현무암질암석에 대해 사용되어 온 암석명이다.

### 2.3 스코리아(scoria)

스코리아는 마그마가 대기 중으로 방출되어 그 속의 휘발성 성분이 빠져나가 많은 기공이 생긴 것으로 부석(浮石)보다 다소 무거우며, 염기성 또는 중성의 마그마에서 유래된 것이다. 이러한 암재를 제주도 방언으로 “송이”라 한다.

화산의 화구로부터 분출되는 암편과 화산회를 총칭하여 화산쇄설물이라고 하는데, 그 중 직경이 32mm 이상인 것이 화산암괴(volcanic block)라 하며, 이 중 어느 정도 둥글거나 방추형으로 생긴 것을 화산탄(volcanic bomb)이라고 하며 이는 용암이 공중에서 회전하면서 냉각되어 만들어진 것이다. 모양이 불규칙하고 직경이 4~32mm 사이에 있는 것을 화산력(lapilli) 또는 분석(cinder)이라고 하고, 4mm 이하의 세편을 화산회(volcanic ash), 0.25mm 이하의 가루를 화산진(volcanic dust)이라 하며 이러한 화산쇄설물이 낙하하여 퇴적되어 있는 지층을 스코리아층이라 한다. 스코리아로 구성된 분석구는 분출 퇴적 범위는 수 km이며, 분화구에서 3km 지점에는 1cm 크기의 스코리아가 10cm 두께로 층을 이룬다고 한다. 스코리아로 구성된 분석구 분포지역은 스코리아의 물성에 좌우된다. 스코리아는 기공의 함량이 높고 각력상으로 산출된다. 이러한 조립질층 상위에는 미립질 스코리아가 협재되어 층리를 형성하고 있다. 분석구 가까이 개설되어 있는 구조물(도로, 건물 등)은 지하에 분포해 있는 스코리아층의 물성으로 인하여 지반이 불안정하게 되기 쉬우며 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

## 3. 시료채취 및 시험방법

### 3.1 시료채취 및 공시체 제작

본 연구에서는 방향성을 잃지 않고 교란 및 훼손을 최소로 한 시료를 얻고자 하였으며, 오차를 최소로 하기 위하여 시료채취깊이를 표시하여 동일시험에는 1m 내의 동일깊이의 시료를 사용하였다. 전술한 바와 같이 시료채취지역에는 표선리 현무암, 조면암질 현무암, 비현정질 현무암, 감람석 현무암, 서귀포층, U층 등이 분포하고 있다.

Fig. 3은 시료채취지역에서 시추작업을 통하여 채취된 암석들을 나타낸 것이다. 이들 암석가운데 본 연구에서는 가장 많이 분포하고 있는 표선리 현무암과 조면암질 현무암을 선택하여 시험을 실시하였으며 비록 암석은 아니지만 중간에 협재되어 있는 스코리아층도 채취하여 시험을 실시하였다.

채취된 암석시료는 diamond thin-wall bit의 착탈이 가능한 코어링 기계를 이용하여 BX크기로 제작하였다. 그리고 공시체 제작에 적당한 크기로 자르는데 diamond cut-off saw를 사용하였으며, 공시체의 표면을 매끈하게 만들기 위하여 surface grinder를 사용하였다. 본 연구에 사용된 암석시편으로서 공시체의 직경은 43mm, 높이는 86mm로 제작하였다. Fig. 4는 표선리 현무암, 조면암질 현무암 및 스코리아에 대한 공시체를 각각 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 표선리 현무암의 경우 다공질이며, 조면암질 현무암의 경우 조직이 치밀함을 알 수 있다.

### 3.2 시험방법

본 연구에서는 표선리 현무암, 조면암질 현무암 및 스코리아의 흡수율, 비중, 투수계수, 탄성파속도 및 일축압축강도를 조사하기 위하여 흡수율시험, 비중시험, 암반투수시험, 슈미트해머시험, 탄성파시험 및 일축압축시험을 실시하였다. 비중시험은 일반적인 암석의 비중측정방법인 표면건조포화상태의 비중시험법을 이용하였다. 암반투수시험의 경우 강제투수방법의 외압식 암반투수시험기를 이용하였으며, Fig. 5는 암반투수시험을 위하여 공시체 중앙에 드릴비트를 이용하여 천공한 모습이다. 한편, 압축강도를 측정하기 위하여 슈미트해머시험과 일축압축시험을 실



Fig. 3. The collected rock cores



(a) 표선리 현무암



(b) 조면암질 현무암



(c) 스크리아

Fig. 4. Specimens according to rock type



Fig. 5. Hollow specimens for permeability test

시하였으며, Fig. 6은 일축압축시험기에 설치된 공시체의 모습을 나타낸 것이다.

## 4. 시험결과 및 고찰

### 4.1 흡수율 및 비중

암석의 흡수율은 암석 시료의 공극 중에 물의 흡수능력을 말하며, 암석의 비중은 시료의 질량과 시료의 동일체적인 물의 질량과의 비를 의미한다. 본 연구에서의 비중은 천연산 슬레이트를 제외한 모든 천연산 석재의 비중시험 방법인 표면건조포화상태의 비중시험법을 이용하여 측정하였다.

Fig. 7은 각각의 암석시료에 대한 흡수율시험 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 스크리아의 흡수율이 가장 크고, 조면암질 현무암의 흡수율이 가장 작은 것으로 나타났다. 그리고 흡수율은 표선리 현무암의 경우 2.523-3.446 범위(평균 2.973)에 있고, 조면암질현무암의 경우 0.782-0.917 범위(평균 0.866)에 있으며, 스크리아의 경우 7.428-8.930 범위(평균 8.284)에 있음을 알 수 있다.

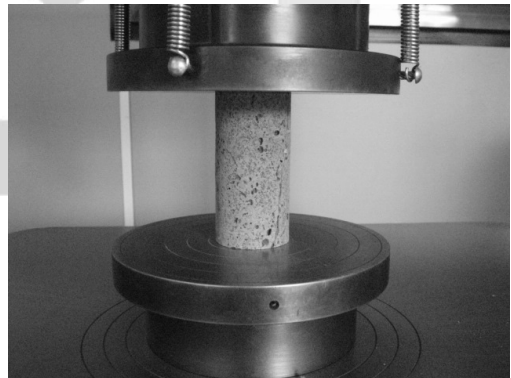


Fig. 6. Specimen installed in uniaxial compression test

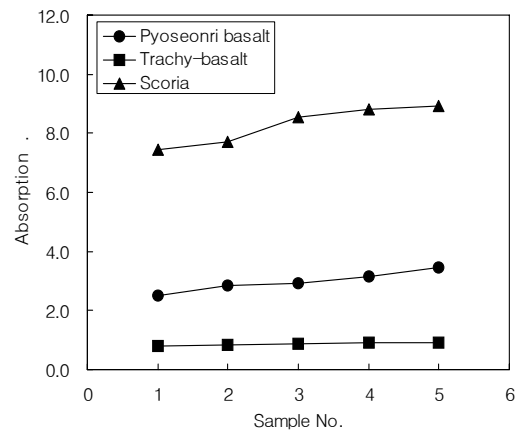


Fig. 7. Result of absorption test

일반적으로 암석에서 흡수율이 증가하면 강도는 저하되는데 이는 풍화가 진행될수록 공극대가 많아져서 흡수율은 증가하나 풍화로 인한 강도는 저하되기 때문이다.

Fig. 8은 각각의 암석시료에 대한 비중시험 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 조면암질 현무암의 비중이 가장 크고, 스크리아의 비중이 가장 작은 것으로 나타났다. 그리고 비중은 표선리 현무암의 경우 2.222-2.440 범위(평균 2.337)에 있고, 조면암질현무암의 경우 2.829-2.870 범위(평균 2.849)에 있으며, 스크리아의 경우 2.009-2.123 범위(평균 2.051)에 있음을 알 수 있다.

한편, Fig. 9는 각각의 암석시료에 대한 흡수율과 비중과의 상관관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 암석에서 비중이 클수록 흡수율은 작아지는 경향을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 암석의 종류와 상관없이 흡수율이 작을 경우 비중은 큰 것으로 나타났다.

## 4.2 투수계수

암석의 투수계수를 산정하기 위하여 강제 투수가 가능한 외압식 투수시험기를 이용하였다. Table 1은 각각의 암석에 대한 투수시험결과를 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 스크리아의 투수계수는  $3.04 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 로 가장 크고, 조면암질 현무암의 투수계수는  $5.47 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 로 가장 작은 것으로 나타났다. 그리고 표선리 현무암의 투수계수는  $1.21 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 인 것으로 조사되었다.

## 4.3 탄성파속도

암석 시험편을 탄성파가 통과하는데 소요되는 시간을 측정함으로써 각각의 암석에 대한 탄성파 속도를 산정하

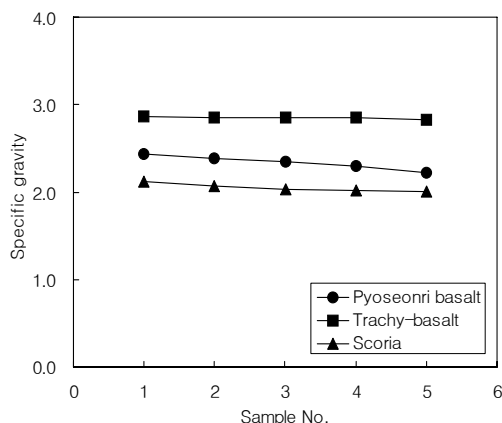
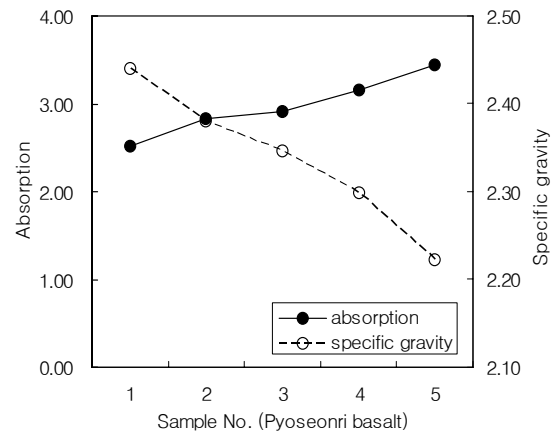
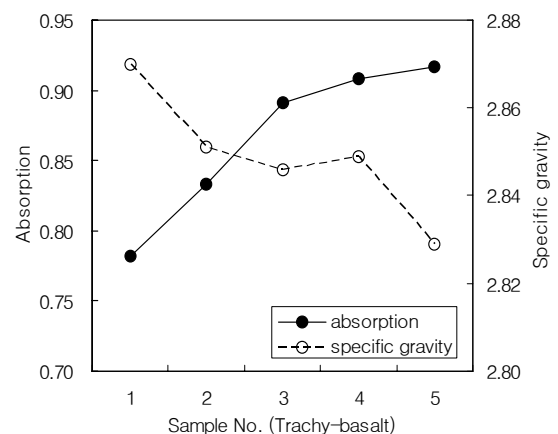


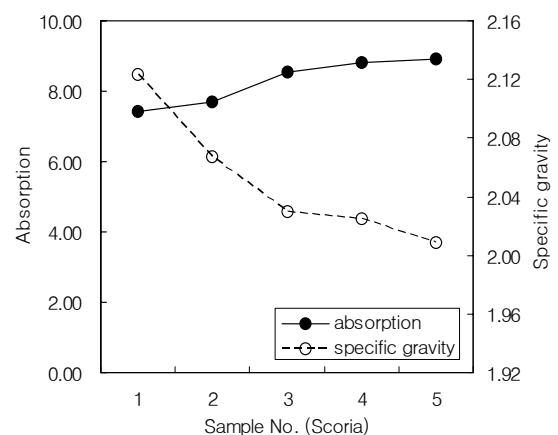
Fig. 8. Result of specific gravity test



(a) Pyoseonri basalt



(b) Trachy-basalt



(c) Scoria

Fig. 9. Relationship between absorption and specific gravity

Table 1. Result of permeability test

| Rock type                            | Pyoseonri basalt      | Trachy-basalt         | Scoria                |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Coefficient of permeability (cm/sec) | $1.21 \times 10^{-5}$ | $5.47 \times 10^{-7}$ | $3.04 \times 10^{-3}$ |

여 암석의 강도, 종류 등을 예측할 수 있다. Table 2는 각각의 암석에 대한 탄성과 속도를 측정한 결과의 평균값을 나타낸 것이다. 측정된 탄성과 속도는 표선리 현무암의 경우 3.91-4.02km/sec범위에 있고, 조면암질 현무암의 경우 4.18-4.32km/sec범위에 있으며, 스코리아의 경우 2.62-2.70 km/sec에 범위에 있는 것으로 나타났다. 탄성과 속도는 조면암질 현무암이 가장 크고, 스코리아가 가장 작은 것으로 나타났다. 건설표준품셈(한국지반공학회, 2003)의 분류기준에 의하면 표선리 현무암 및 조면암질 현무암은 보통암으로 구분할 수 있으며, 스코리아는 풍화암으로 분류할 수 있다.

#### 4.4 압축강도

암석의 압축강도를 측정하기 위하여 일축압축강도시험과 슈미트해머시험을 실시하였다. 일축압축시험은 암석시료에 축방향으로 압축력을 가한 후 파괴될 때의 하중을 측정하여 일축압축강도를 측정하는 것이며, 슈미트해머시험은 비파괴시험으로서 암석에 부딪칠 때 반발력을 측정하여 강도를 추정하는 것이다.

Fig. 10은 건조상태에서 일축압축시험결과를 나타낸 것으로서 각각의 암석에 대하여 10회 시험을 실시하였다. 시험결과 일축압축강도는 표선리 현무암의 경우 30.00-54.57 MPa 범위에 있고 평균 41.19MPa이며, 조면암질현무암의 경우 170.43-193.22MPa 범위에 있고 평균 183.08MPa이다. 그리고 스코리아의 경우 16.84-27.34MPa 범위에 있으며, 평균 20.79MPa이다. 따라서 조면암질 현무암의 일축압축강도가 가장 크고, 스코리아의 일축압축강도가 가장 작은 것으로 나타났다.

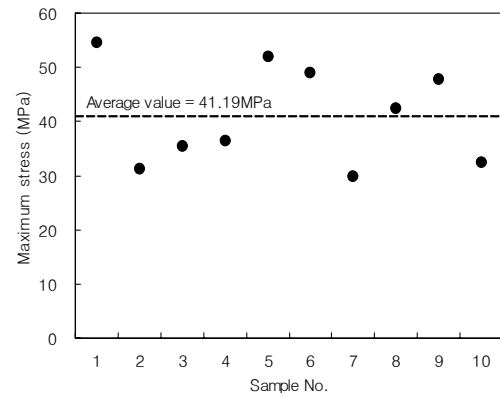
한편 Table 3은 슈미트해머의 반발치를 측정하기 위하

Table 2. Result of elastic wave velocity test

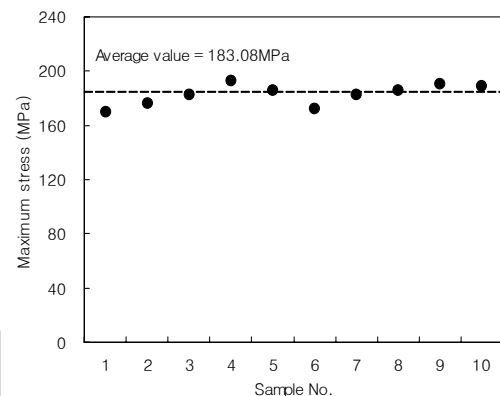
| Rock type                      | Pyoseonri basalt | Trachy-basalt | Scoria |
|--------------------------------|------------------|---------------|--------|
| Elastic wave velocity (km/sec) | 3.95             | 4.24          | 2.67   |

Table 3. Result of schmidt hammer test

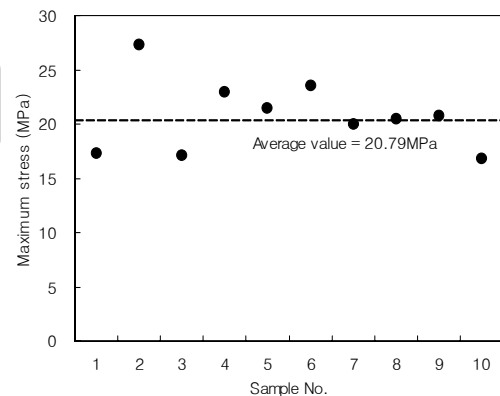
| Rock type        | Rebound value |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Average | Unit weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Converted strength (MPa) |
|------------------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------|----------------------------------|--------------------------|
| Pyoseonri basalt | 44            | 54 | 50 | 45 | 42 | 38 | 46 | 40 | 34 | 42 | 42.3    | 21.5                             | 63                       |
|                  | 42            | 44 | 38 | 34 | 43 | 48 | 45 | 32 | 37 | 50 |         |                                  |                          |
| Trachy-basalt    | 59            | 63 | 60 | 56 | 56 | 58 | 55 | 64 | 60 | 60 | 60      | 27.8                             | 299                      |
|                  | 59            | 63 | 60 | 61 | 63 | 58 | 60 | 62 | 58 | 64 |         |                                  |                          |
| Scoria           | 24            | 36 | 37 | 18 | 30 | 22 | 30 | 30 | 32 | 16 | 27.7    | 18.6                             | 30                       |
|                  | 14            | 37 | 33 | 18 | 24 | 16 | 30 | 36 | 30 | 38 |         |                                  |                          |



(a) Pyoseonri basalt



(b) Trachy-basalt



(c) Scoria

Fig. 10. Results of uniaxial compression test

여 동일한 위치에서 20회 타격을 실시한 결과이다. 이 가운데 최대 및 최소값을 제외하고 평균값을 산정하여 강도를 추정하였다. 슈미트해머의 평균 반발치는 표선리 현무암의 경우 42.3, 조면암질 현무암의 경우 60, 스코리아의 경우 27.7로 나타났다. Fig. 11은 슈미트해머 반발치를 이용하여 일축압축강도를 환산하는 곡선을 나타낸 것이다 (Hudson and Harrison, 2000). 이를 이용하여 일축압축강도를 환산하면 표선리 현무암의 경우 63MPa, 조면암질 현무암의 경우 299MPa, 스코리아의 경우 30MPa로 나타났다. 따라서 일축압축강도와 동일하게 조면암질 현무암의 강도가 가장 크고, 스코리아의 강도가 가장 작음을 알 수 있다.

Fig. 12는 일축압축시험결과로부터 측정된 일축압축강도와 슈미트해머를 이용하여 추정된 일축압축강도를 비교한 것이다. 슈미트해머의 반발치로 추정된 일축압축강도는 Table 3의 결과와 Fig. 11의 슈미트해머 환산곡선을 이용하여 산정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 슈미트해머의 반발치로 추정된 일축압축강도가 일축압축시험으로 측정된 일축압축강도보다 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 슈미트해머 반발치로 추정된 일축압축강도는 실제 일축압축강도보다 과대산정됨을 알 수 있다.

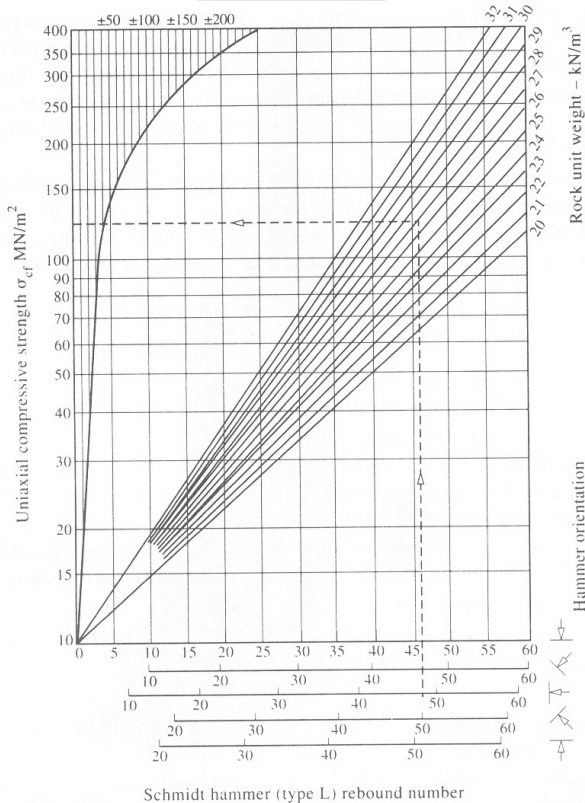
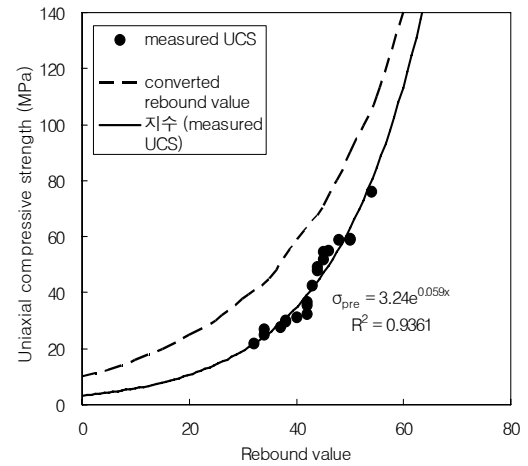
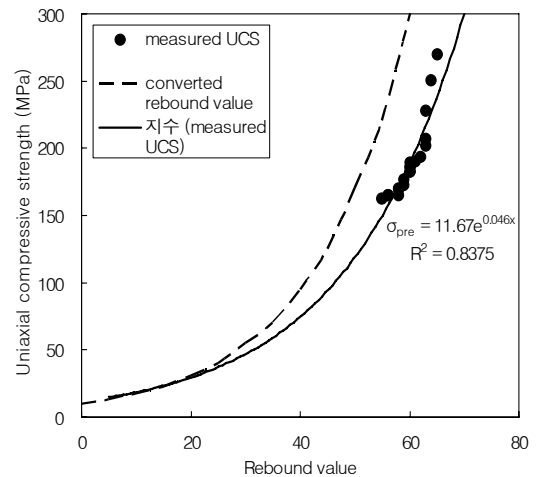


Fig. 11. Schmidt hammer calibration curve

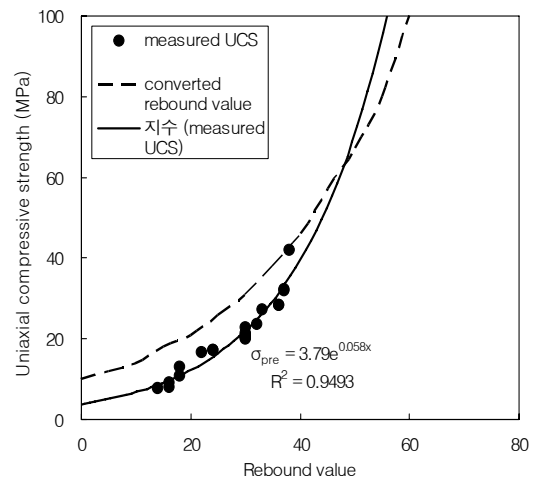
한편, 각각의 암석별 슈미트해머 반발치를 이용하여 일축압축강도 산정식을 제안하였다. 즉, 슈미트해머 반발치



(a) Pyoseonri basalt



(b) Trachy-basalt



(c) Scoria

Fig. 12. Comparison between the measured uniaxial compressive strength and the converted rebound value

Table 4. Parameter according to rock type

| Rock type        | <i>a</i> | <i>b</i> | Reliability |
|------------------|----------|----------|-------------|
| Pyoseonri basalt | 3.24     | 0.059    | 93.6%       |
| Trachy-basalt    | 11.67    | 0.046    | 83.7%       |
| Scoria           | 3.79     | 0.058    | 94.9%       |

와 일축압축시험으로 구한 일축압축강도의 관계를 회귀분석을 통하여 지수함수로 표현하였다. 암석의 일축압축강도 산정식은 식 (1)과 같이 기본형태로 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{pre} = a \cdot e^{b \cdot R} \quad (1)$$

여기서,  $\sigma_{pre}$  : 일축압축강도 추정값,  $R$  : 슈미트해머 반발치,  $a$ ,  $b$  : 암종별 변수

Fig. 12에서 보는 바와 같이 슈미트해머 반발치와 일축압축시험결과를 토대로 암종별 변수를 산정할 수 있다. Table 4는 본 연구에서 산정된 암종별 변수를 나타낸 것으로, 이들 결과의 신뢰도는 약 84-95%정도로서 매우 높은 편이다. 이를 통하여 슈미트해머 반발치를 이용하여 간편하게 일축압축강도를 산정할 수 있는 방법을 제안할 수 있다.

## 5. 결론 및 요약

본 연구에서는 제주도 현무암에 대한 공학적 특성을 조사하기 위하여 서귀포시 성산읍 일대의 표선리 현무암, 조면암질 현무암 및 스크리아 시료를 채취하였으며, 채취된 시료를 대상으로 흡수율시험, 비중시험, 암반투수시험, 슈미트해머시험, 탄성파시험 및 일축압축시험을 시험을 실시하였다. 이들 시험결과를 토대로 표선리 현무암, 조면암질 현무암 및 스크리아의 흡수율, 비중, 투수계수, 탄성파 속도, 일축압축강도를 조사 및 분석하였으며, 이들 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 표선리 현무암의 경우 다공질이고, 조면암질 현무암의 경우 조직이 치밀하며 각종 시험을 위한 공시체의 크기는 직경 43mm, 높이 86mm이다.
- (2) 암석의 흡수율은 스크리아가 가장 크고, 조면암질 현무암이 가장 작은 것으로 나타났으며, 암석의 비중은 조면암질 현무암이 가장 크고, 스크리아가 가장 작은 것으로 나타났다. 즉, 암석의 종류와 상관없이 흡수율

이 작을 경우 비중은 크게 나타나므로 암석의 흡수율과 비중은 서로 반비례관계가 있음을 알 수 있다.

- (3) 암석의 투수계수는 스크리아가 가장 크고, 조면암질 현무암이 가장 작은 것으로 나타났다. 그리고 탄성파 속도는 조면암질 현무암이 가장 크고, 스크리아가 가장 작은 것으로 나타났으며, 건설표준품셈의 분류기준에 의하면 표선리 현무암 및 조면암질 현무암은 보통암, 스크리아는 풍화암으로 구분된다.
- (4) 일축압축시험 및 슈미트해머를 이용한 일축압축강도 산정결과 조면암질 현무암이 가장 크고, 스크리아가 가장 작은 것으로 나타났다. 일축압축시험결과로부터 측정된 일축압축강도와 슈미트해머를 이용하여 측정된 일축압축강도를 비교한 결과 슈미트해머 반발치로 추정된 일축압축강도가 과대산정됨을 알 수 있다.
- (5) 슈미트해머 반발치와 일축압축시험으로 구한 일축압축강도의 관계를 회귀분석을 통하여 슈미트해머 반발치를 이용한 일축압축강도 산정식을 제안하였으며, 이를 통하여 간편하게 일축압축강도를 산정할 수 있는 방법을 마련하였다.

## 감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 ‘지질재해 피해평가기술 및 대응기술 실용화 사업’ 과제의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 이상은, 조상호, 양형식, 박흥민 (1999), “조사선을 이용한 화강암의 미세 불연속면 분포성상 평가”, *터널과 지하공간*, 제9권, pp.364-372.
2. 한국지반공학회 (2003), *토목기술자를 위한 암반공학*, 지반공학시리즈 11, 구미서관, pp.317-319.
3. Hudson, J. A. and Harrison, J. P. (2000), *Engineering Rock Mechanics - an Introduction to the Principles*, Pergamon, pp.177-181.
4. Kranz, R. L. (1979), “Crack-Crack and Crack-Pole Interactions in Stressed Granite”, *Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech.* Vol.16, pp.37-47.
5. Reyes, O. and Einstein, H. H. (1991), “Failure Mechanism of Fractured Rock - a Fracture Coalescence Model”, *Proc. 7th ISRM Congress*, Aachen, Germany, pp.333-340.

(논문접수일 2008. 2. 8, 심사완료일 2008. 2. 29)