

제주도 표선리 현무암의 역학적 특성 및 강도에 관한 연구

남정만 · 김준호*

제주대학교 해양과학부 토목환경공학전공, *제주대학교 일반대학원 토목해양공학과

A Study on the Mechanical Characteristics and the Strength in Pyoseonri Basalt

Jung-Man Nam and Jun-Ho Kim*

Major of Civil and Environmental Engineering, School of Ocean Science, Cheju National University,
Jeju Special Self-Governing Province 690-756, Korea

*Dept. of Civil and Ocean Engineering, Graduate School, Cheju National University,
Jeju Special Self-Governing Province 690-756, Korea

Recently, as the scale of national and international construction has become bigger and also as Jeju island is named as Jeju Special Self-Governing Province, it is inevitable to build large scaled public works for it to be reborn as a free international city in the world. And also with the gathering of population into Jeju city, there will be enlargement of dwelling site and business area, so that skyscrapers will be built and the underground space will be used. As the city is enlarged, the skyscrapers will gradually go upward to the mount. Then it is expected of large scaled public works, big building structures, underground structures, and high earth cut slope therefore there will be a demand for study about earth foundation. At present in the case of Jeju, the study about soil is vivid, but it is not sufficient about rock mass. Therefore it needs mechanical data about basalt, the volcanic rocks, and other various data about engineering trait of the rock mass.

Key words : public work, skyscraper, high earth cut slope, basalt, volcanic rock

서 론

최근 건설공사의 규모가 국내외적으로 점점 대형화되어가고 있고 제주도도 제주특별자치도를 출범함으로써 세계 속의 국제자유도시로 거듭나기 위해서는 대규모의 토목공사는 피할 수 없을 것이다. 또한 제주도의 인구가 제주시로

집중되면서 주거지와 상업지역의 확대에 의해 점점 고층건물들이 들어서고 지하의 공간도 활용하게 될 것이다. 그리고 도시의 확장으로 점점 산으로도 건물들이 들어서게 될 것이다. 최근 육지에서는 대학가에 지하캠퍼스 시대가 열리고 있다고 한다. 확장할 땅은 부족하고 학교 공간은 확충해야하고 그래서 생각해낸 게 지하

공간을 이용하는 것이다. 최근 8천 500평 규모의 지하광장을 완공한 고려대에 이어 이화여대, 서강대가 착공을 갖는다고 한다. 이처럼 대규모 토목공사나 대형 건축구조물, 지하구조물, 대철토사면 등이 예상됨으로 이에 지반에 대한 연구가 필요하게 될 것이다.

그래서 본 연구에서는 제주도 지역에 분포하고 있는 일명 표선리 현무암인 침상장석감람석현무암에 관해 물리적·역학적 특성을 다루어 추후에 제주도 화산암에 관한 연구에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

연구대상지역

본 연구지역은 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 일원에 위치하고 있으며 해발표고는 90.21m이다. 해안과의 직선거리는 약 3.4km 정도이며, 북동쪽에 독자봉(El. 159.3m)과 통오름이 말밭굽형 형태로 발달되어 있다. 특히 연구지역 바로 북쪽에 미천굴이 용암동굴 형태로 분포하고 있다.

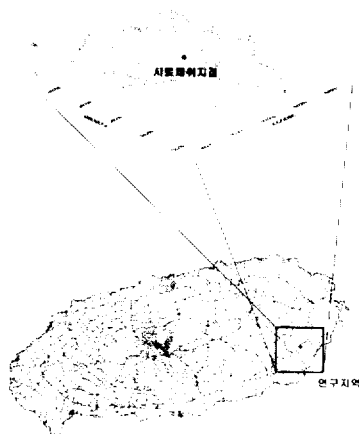


Fig. 1. Location map of the study area

연구지역의 지표지질은 침상장석감람석현무암이 대부분 피복되어있는 것으로 나타나고 있으

며, 밑으로 반상회석현무암과 장석현무암류가 분포하는 것으로 나타났다.

대부분을 피복하고 있는 침상장석감람석현무암(the Acicular Feldspar Olivine Basalt ; FOB)은 서해길(1965)에 의해 표선리 현무암으로 명명되었으며 회색 내지 암회색의 다공질 또는 치밀질의 평탄한 대지상의 용암대지를 형성하고 있다. 이 암석은 감람석을 반정으로 함유하고 침상의 장석이 특징적이며 제주도 동부 및 서부 지역에 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. 침상장석감람석현무암은 방사성동위원소(K/Ar) 연대측정 결과, 서귀포층의 퇴적시기부터 퇴적이 완료된 이후까지의 시기에 걸쳐 나타나며 대부분 서귀포층 퇴적 이후에 분출된 것으로 해석하고 있다.

실험내용

시료채취 및 준비

본 연구에서는 방향성을 잃지 않고 훼손이 최소한 시료를 얻고자 최근에 시추조사한 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 일대의 시추공에서

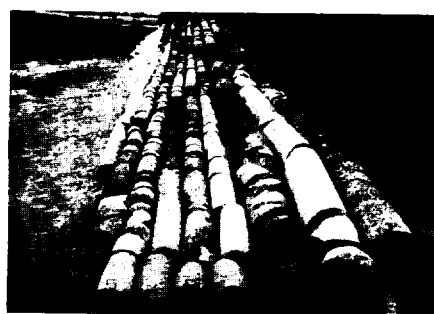


Fig. 2. Photograph of collected cores

시료를 채취하였다. 그리고 오차를 최소로 하고자 시료의 깊이를 표시하여 동일시험에는 1m 내의 동일깊이의 시료를 사용하였다.

채취된 시료는 diamond thin-wall bit의 착탈이 가능한 coring machine(Fig. 3)을 이용하여 BX 크기인 직경 43 mm로 제작하였다. 공시체 제작에 사용되는 모터의 마력(horse power)은 충분한 것을 이용하였으며 냉각제로서 물을 사용하였다.



Fig. 3. Coring machine

그리고 공시체 제작에 적당한 크기(직경의 2배, 86 mm)로 자르는데 diamond cut-off saw를 사용하였으며, 공시체의 표면을 매끈하게 만들기 위하여 surface grinder를 사용하였다.

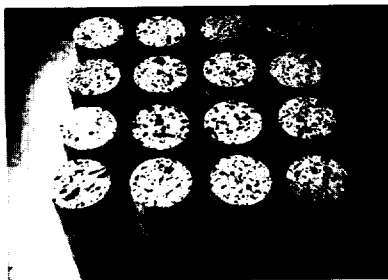


Fig. 4. Specimen of the Pyoseonri Basalt

흡수율 및 비중시험

흡수율이란 암석 시료의 공극 중에 물의 흡수 능력을 말한다.

이때의 공시체의 흡수율 w' 은 다음 식(1)에 따라 계산한다.

$$w' = \frac{W_w}{W_s} \times 100(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \quad (1)$$

여기서, W_1 : 침수 후의 공시체의 질량(g)

W_2 : 건조 공시체의 질량(g)

비중이란 시료의 질량과 시료의 동일체적인 물의 질량과의 비이다. 비중의 종류로는 진비중과 가비중, 부피비중 등이 있다.

한편, 한국산업규격(KS F 2518)에서는 천연산 슬레이트를 제외한 모든 천연산 석재의 비중 시험 방법을 표면건조포화상태의 비중시험법으로 사용하고 있다. 여기서 표면건조포화상태의 비중은 다음 식(2)에 따라 계산되어진다.

$$\text{표면 건조 포화 상태의 비중} = \frac{A}{B - C} \quad (2)$$

여기서, A : 공시체의 건조 질량(g)

B : 공시체의 침수 후 표면 건조 포화 상태의 질량(g)

C : 공시체의 물 속 질량(g)

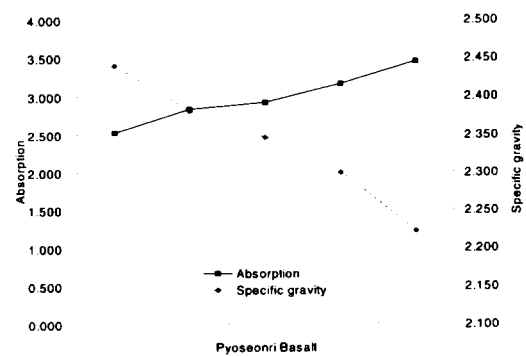


Fig. 5. Absorption and Specific gravity of the Pyoseonri Basalt

암반투수시험

암반투수시험은 투수계수가 아주 낮아 강제 투수를 시키는 외압식 암반 투수시험기를 이용한다. Fig. 6은 암반투수시험기를 나타낸 그림이다. 이 시험기는 가압펌프, 투수시험용기, 측정부분 이렇게 3개 주요 부위로 나눌 수 있다.

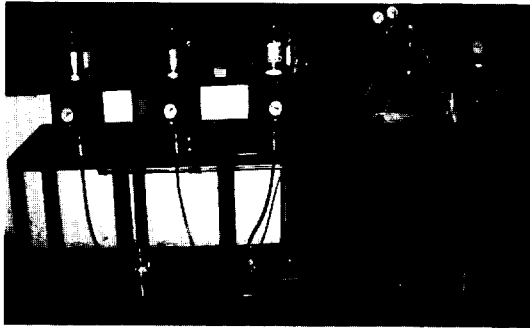


Fig. 6. Apparatus for Permeability test

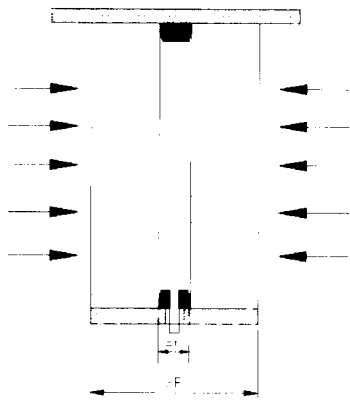


Fig. 7. Sectional view of specimen

이때, 투수계수는 다음의 식(3)으로 계산되어진다.

$$k = \frac{Q\mu \ln(R/r)}{2\pi h \Delta p} \quad (3)$$

여기서 R은 외부반경, r은 내부반경, $\Delta p = p - p_0$, p 는 내부 압력, p_0 는 외부 압력으로 대기압과 같다.

Schmidt hammer test

Schmidt hammer는 원래 콘크리트의 압축강도나 탄성계수를 현장에서 간단히 측정하기 위하여 고안된 비파괴 시험기이다. 해머를 스프링의 힘 즉, 미리 압축한 스프링에 축적된 힘을 방출함으로써 해머가 암반의 표면에 부딪칠 때 그 반발력을 측정함으로써 구하는 일종의 경도인데 신선하고 단단한 암반일수록 해머의 반발되는 거리는 크게 된다. 반발되는 해머가 충격을 가하기 전에 스프링의 힘에 의하여 움직인 거리에 대한 백분율을 나타내며 이것을 Schmidt hammer의 반발치라고 한다.

Table 1. Result of Schmidt hammer test

	Rebound value					Average	Unit weight (kN/m ³)	Strength (MPa)
	44	45	42	38	40			
Pyoseonri						42.5	21.5	63
Basalt	42	42	44	43	45			

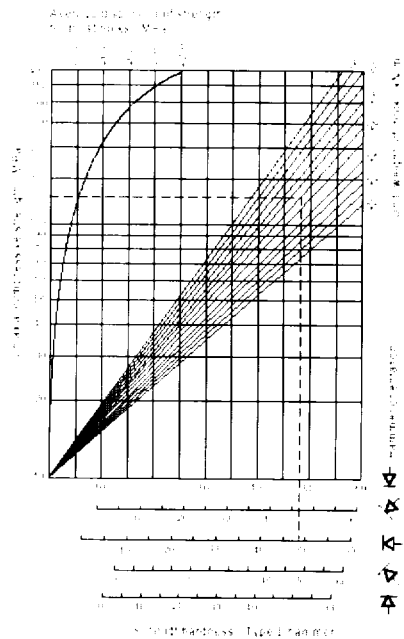


Fig. 8. Conversion diagram of Uniaxial compressive strength

일축압축시험

일축압축시험은 가장 간단한 시험이며 암석 강도의 지표로서 널리 사용되고 있다. 암석 시험편의 축방향으로 압축력을 가한 후 파괴 될 때의 하중을 측정하여 일축압축강도를 구할 수 있다.

일축압축시험에서 파괴하중을 P kg, 압축력을 받는 시험편의 단면적을 A 라 할 때, 일축압축강도 σ_c 는 다음식으로 계산된다.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (4)$$

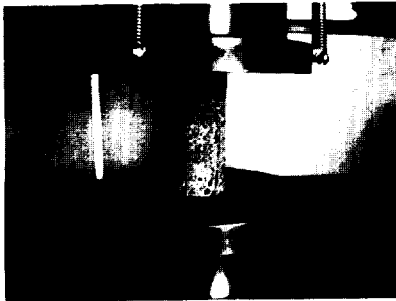


Fig. 9. Uniaxial compression test

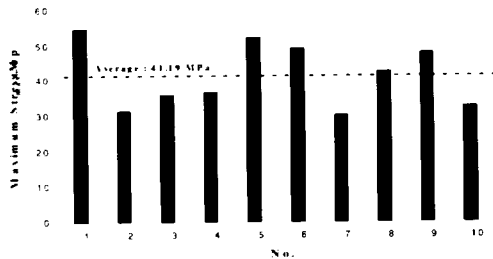


Fig. 10. Compressive strength of the Pyoseonri Basalt in the dry state

Brazilian test

인장강도는 암석과 같은 취성재료에 있어 파괴에 가장 큰 영향을 미치는 주요한 요소이다. 암석의 인장강도시험법에는 직접인장시험, 압열인장시험(Brazilian test), 압인시험(Indentation

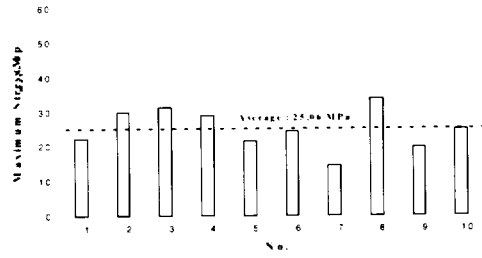


Fig. 11. Compressive strength of the Pyoseonri Basalt in the wet state

test)의 세 가지 방법이 있으나 시험편의 성형이나 시험장치 및 방법이 비교적 간단한 간접인장 시험법인 압열인장시험이 주로 사용되고 있다. Fig. 12는 압열인장시험의 모습을 보여주고 있다.

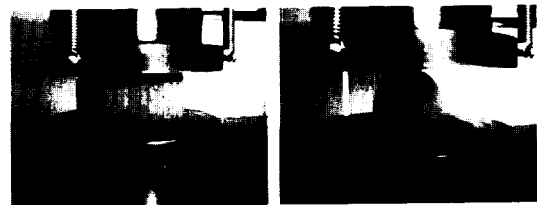


Fig. 12. Brazilian test

압열인장시험에서 인장파괴가 발생할 때의 하중을 P 라 하면 인장강도 σ_t 는 다음 식(5)에 의하여 구한다.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot L} \quad (5)$$

여기서, P = 파괴하중

D = 시험편의 직경

L = 시험편의 길이

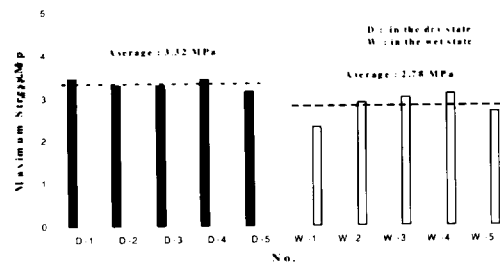


Fig. 13. Tensile strength of the Pyoseonri Basalt

삼축압축시험

삼축압축시험은 암석의 역학적 특성을 명백히 하기 위한 기본적인 시험이며 삼축압축응력하의 응력-변형률관계나 강도 정수로서 길보기 점착력(c) 및 내부마찰각(Φ)을 구하기 위해 실시된다.

본 연구에 사용된 공시체는 일축압축시험에서 사용한 것과 같은 크기이며 삼축압축시의 변형 거동은 축변형에 대해서만 측정하였고 chamber 내의 봉압력은 5, 10, 20 MPa를 사용하였으며, 기타조건은 ISRM 기준에 준하였다.

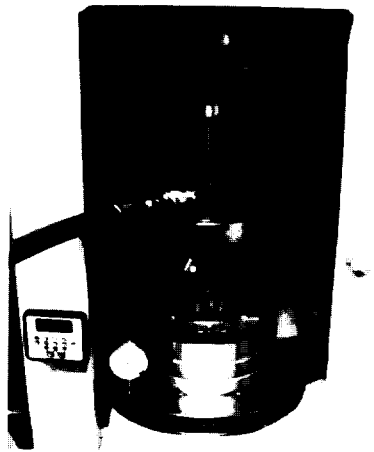


Fig. 14. Triaxial compression test

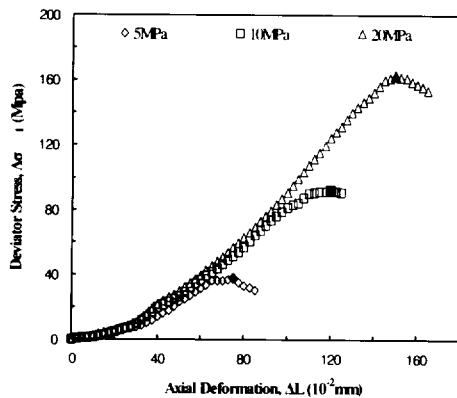


Fig. 15. Stress-strain behavior of the Pyoseonri Basalt

실험결과의 분석

역학적 특성

표선리 현무암의 암석 시험한 결과를 Table 2에 나타내었다. 이는 이전에 조사한 유공질 현무암(엄관용, 2002)과 흡사한 특징을 갖고 철원 지역의 현무암(민경원, 1999)보다 강도가 약한 것으로 판단된다. 하지만 일반적인 현무암(이인모, 2005)의 특징과는 조금 거리가 멀다.

Table 2. Comparison with each Basalt

	Basalt	Pyoseonri Basalt	Porous Basalt	Cheolwon Basalt
Unit weight (kN/m ³)	27.1	21.5	-	-
Absorption (%)	-	2.973	2.0	6.53
Specific gravity	2.896	2.337	2.444	2.89
Permeability (cm/s)	1.0×10^{-12}	1.21×10^{-5}	-	-
Compressive strength (MPa)	148.0 ~ 355.0	41.19	40.305	52.563
Tensile strength (MPa)	11.3 ~ 14.5	3.32	3.138	5.266
reference	Lee, 2005		Eum, 2002	Min, 1999

Schmidt hammer 반발계수와 일축압축강도의 상관관계

Schmidt hammer test에서 얻은 추정강도와 일축압축시험에서 측정된 강도를 비교한 결과, Schmidt hammer test에 의한 추정강도가 다소 높은 것으로 판단되었다. 그래서 식(6)과 같이 Schmidt hammer 반발계수와 일축압축강도의 관계를 지수함수로 표현하였다.

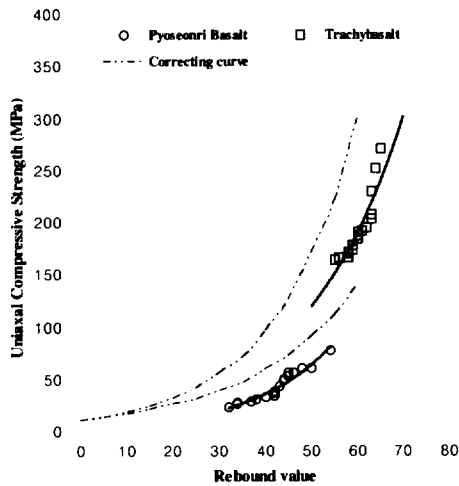


Fig. 16. Diagram showing relationship between Rebound value and Uniaxial compressive strength

추정치를 σ_{pre} 라고 한다면,

$$\sigma_{pre} = a \cdot e^{b \cdot R} \quad (6)$$

여기서, R : Schmidt hammer 반발계수

a, b : 암종에 따른 변수

Table 3. Parameter of each samples

	a	b	Reliability
Pyoseonri Basalt	3.24	0.059	93.6%
Trachybasalt	11.67	0.046	83.7%

암석 강도에 미치는 영향요소-①가압속도

암석의 압축강도는 하중속도가 증가함에 따라 커진다. 그리고 파괴양상도 하중속도가 빨라지면 파괴하중에 이르러 갑작스럽고 격렬하게 일어난다. 본 연구에서는 표선리 현무암과 조면암질 현무암에 대하여 하중속도 변화에 따른 파괴강도를 측정하였는데 그 결과는 Fig. 17과 같다. 여기서 높은 하중속도는 60MPa이고, 낮은 하중

속도는 0.06MPa이다. 전체적으로 하중속도가 증가하면 강도도 증가하지만, 그 증가 정도는 암종에 따라 차이가 있음을 볼 수 있다.

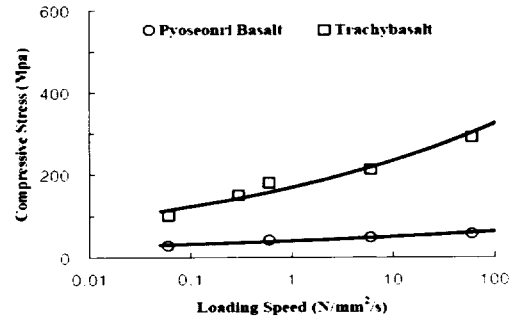


Fig. 17. Change of compressive strength by loading speed

암석 강도에 미치는 영향요소 - ②수분 함유량

암석에 수분이 많아지면 강도는 저하된다. 공극 중에 포함된 물은 압축에 의하여 공극이 축소되면 췌기와 같은 작용을 해 입자의 틈이나 공극을 넓히며 입자표면에 부착된 물은 입자의 표면에너지에 영향을 미쳐서 입자의 결합력을 작게 한다.

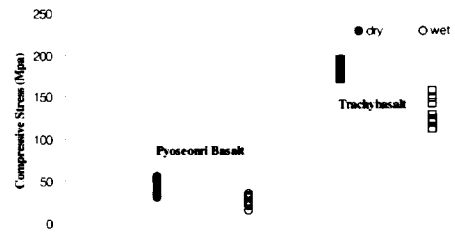


Fig. 18. Influence of moisture on compressive strength

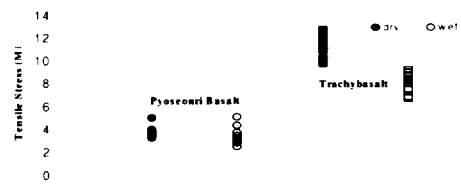


Fig. 19. Influence of moisture on tensile strength

암석 강도에 미치는 영향요소-③암석의 이방성

암석이나 암반은 대부분 이방성의 특성을 보이기 때문에 강도시험을 실시할 경우 가압방향과 층리방향과의 각도에 따라 특이한 변형과 강도특성을 보인다. Fig. 20은 수평면과 하중방향과의 관계에 따른 강도 변화 양상을 나타낸 것이다. 그림에서 수평면의 경사각은 최소주응력 방향 즉, 가압방향과 직각인 방향과 이루는 각으로 표시된 것인데, 이 경사각이 0°와 90°일 때는 강도가 거의 비슷한 반면, 45°인 경우에는 최소로서 다른 강도에 비해 12~26%까지 저하되는 것을 볼 수 있다.

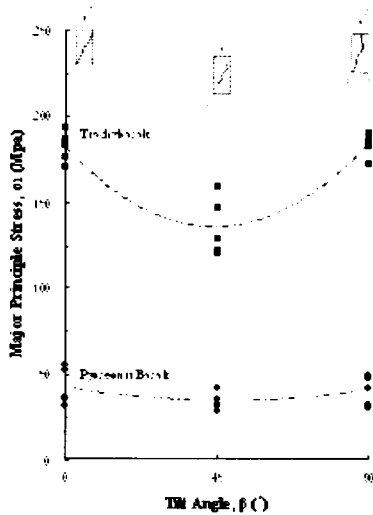


Fig. 20. Relationship between Tilt angle and Compressive strength

암반의 파괴규준

암의 파괴상태를 표현하기 위하여 파괴규준이 사용되고 있다. 이 파괴규준으로 여기서는 Mohr-Coulomb의 파괴규준, Hoek Brown의 파괴규준 및 Lade의 파괴규준에 대하여 설명하고자 한다.

Mohr-Coulomb의 파괴규준

Fig. 21은 Mohr-Coulomb의 암 파괴규준을 도시한 그림이다. 즉 파괴포락선은 전단응력과 수직응력의 관계를 나타내는 Mohr-Coulomb 파괴선과 인장강도를 표시하는 최대인장규준선의 두 선으로부터 구성되어있다. 이 중 전단응력과 수직응력의 Mohr-Coulomb 관계선은 다음식과 같다.

$$\tau_p = S_i + \sigma \tan \phi \quad (7)$$

여기서, τ_p = 접두전단응력 혹은 전단강도

ϕ = 내부마찰각

S_i = 전단강도 절편

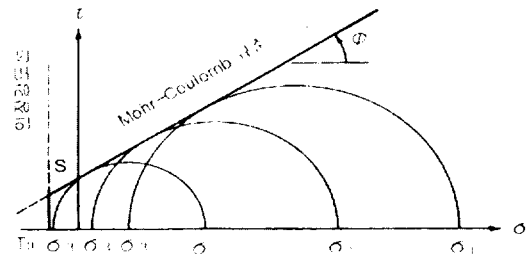


Fig. 21. Mohr-Coulomb failure criterion

따라서, 표선리 현부암에 대하여 인장강도와 일축압축강도 그리고 삼축압축시험 결과를 바탕으로 Mohr응력원을 작도하고 접선을 그은 결과, Fig. 22와 같이 나타났다. 이때의 점착력은 5.35 MPa이고, 내부마찰각은 50.25°이다.

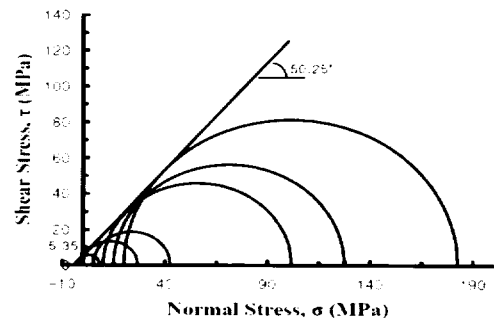


Fig. 22. Mohr's circles and Failure envelope for the Pyoseonri Basalt

Hoek-Brown의 파괴규준

Hoek와 Brown(1980, 1988)은 절리군을 포함하는 암반의 경험적 파괴규준에 대한 평가식을 제안한 바 있다. Hoek-Brown의 파괴이론(1980, 1988)은 Griffith(1921, 1924)가 제안하고 McClintock and Walsh(1962)가 수정한 이론을 토대로 암석의 거동에 관한 이론적 및 실험적 측면에서의 많은 시행착오를 통해 도출한 경험식으로서 암석파괴와 주응력들 사이에 관한 실험적 관계를 식 (8)과 같이 제시하였다.

$$\sigma_{1f} = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (8)$$

여기서, σ_{1f} : 파괴시의 최대주응력

σ_3 : 공시체에 작용하는 최소주응력

σ_c : 공시체의 일축압축강도

m_b, s, a : 암석의 성질과 응력을 가하기 전 암석의 파쇄정도에 관련된 상수

여기서, m_b 및 s 값을 구하기 위하여 식 (8)은

$$\left(\frac{\sigma_{1f} - \sigma_3}{\sigma_c} \right)^2 = m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \quad (9)$$

로 표시할 수 있다. 여기서 $GSI > 25$ 이므로 $a = 0.5$ 로 놓고, $\sigma_3 \approx 0 \sim 20\text{MPa}$ 를 취하여 σ_3/σ_c 와 $((\sigma_{1f} - \sigma_3)/\sigma_c)^2$ 관계식을 나타내면 Fig. 23과 같다.

Fig. 23으로부터 $m_b = 31.839$ (기울기), $s = 0.9226$ (절편)이다.

따라서, 위의 값들을 식(8)에 대입하여 Hoek-Brown 파괴규준을 완성시킨다.

$$\sigma_{1f} = \sigma_3 + 25.06 \times \left(31.839 \times \frac{\sigma_3}{25.06} + 0.9226 \right)^{\frac{1}{2}}$$

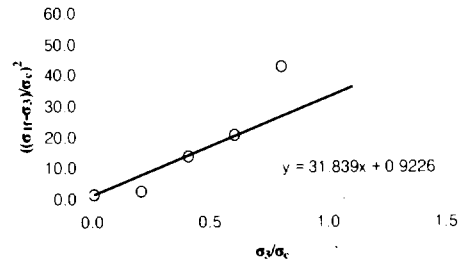


Fig. 23. Relationship between $\frac{\sigma_3}{\sigma_c}$ and $\left(\frac{\sigma_{1f} - \sigma_3}{\sigma_c} \right)^2$ in the Pyoseonri Basalt

위의 Hoek-Brown의 파괴규준을 $0 < \sigma_3 < 0.25 \sigma_c$ 범위 안에 있는 임의의 σ_3 값들에 대하여 σ_{1f} 값을 구하여 $\sigma_{1f} - \sigma_3$ 그래프 상에 Fig. 24와 같이 그린다. Fig. 24에 표시된 (σ_3, σ_{1f}) 값들에 대하여 선형회귀 분석법으로 직선식을 구하면, 이 직선식의 기울기가 k , 절편이 σ_{cm} 이 된다. 여기서 구한 k, σ_{cm} 값을 식 (10)과 (11)에 대입하여 ϕ, c 값을 구한다.

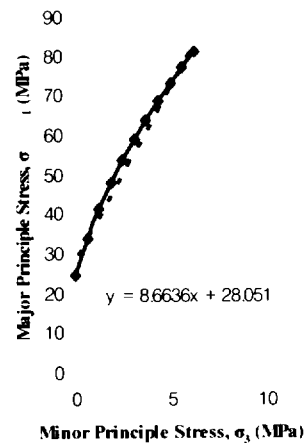


Fig. 24. Estimation of failure criterion in the Pyoseonri Basalt by liner regression method

$$\sin \phi = \frac{k-1}{k+1} \quad (10)$$

$$c = \frac{\sigma_{cm}}{2\sqrt{k}} \quad (11)$$

위의 Hoek-Brown 파괴규준으로부터 예측한 점착력(c)은 4.77MPa이고, 내부마찰각(ϕ)은 52.47°이다. 이는 Mohr-Coulomb 파괴규준의 점착력($c=5.35$ MPa)보다는 작은 값이고 내부마찰각($\phi=50.25^\circ$)보다는 큰 값을 보이고 있다(Fig. 25 참조).

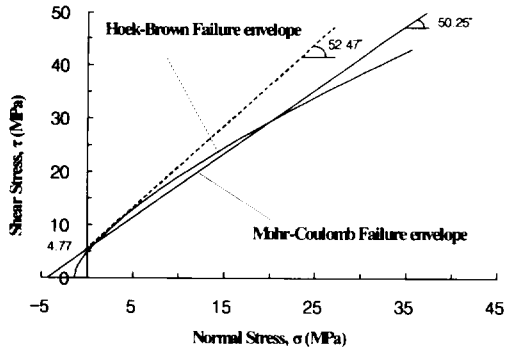


Fig. 25. Hoek-Brown failure envelope of the Pyoseonri Basalt

Lade의 파괴규준

Lade(1977)는 흙의 파괴규준으로 곡선파괴포락선에 대한 3차원 파괴규준을 제안한 바 있다. 이 파괴규준을 콘크리트나 암의 파괴규준으로 활용시킬 수 있도록 확장시킨바 있다(Lade, 1982 ; Kim & Lade, 1984).

흙의 파괴규준은 응력 제1불변량과 제3불변량의 향으로 다음과 같이 제안하였다.

$$(I_1^3/I_3 - 27)(I_1/P_a)^m = \eta_1 \quad (12)$$

여기서,

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$I_3 = \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3$$

$$= \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z + \tau_{xy} \cdot \tau_{yz} \cdot \tau_{zx} + \tau_{yx} \cdot \tau_{zy} \cdot \tau_{xz} - (\sigma_x \cdot \tau_{yz} \cdot \tau_{zx} + \sigma_y \cdot \tau_{zx} \cdot \tau_{xz} + \sigma_z \cdot \tau_{xy} \cdot \tau_{yx})$$

P_a = 응력의 단위와 동일단위로 표현된 대기압

암의 경우도 흙과 같이 마찰재료이기 때문에 위 식과 유사한 파괴규준의 형태로 표현할 수 있을 것이다. 다만 암의 경우는 점착력과 인장강도를 가질 수 있기 때문에 이 부분에 고려가 필요하다. 따라서, 주응력 공간을 Fig. 26에 도시된 바와 같이 정수압축을 따라 음의 방향으로 이동시켜 조정하여야 한다. 이때 수직응력 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 에 Fig. 26의 일정응력 aP_a 만큼 더하여 파괴규준식에 대입하여야 한다.

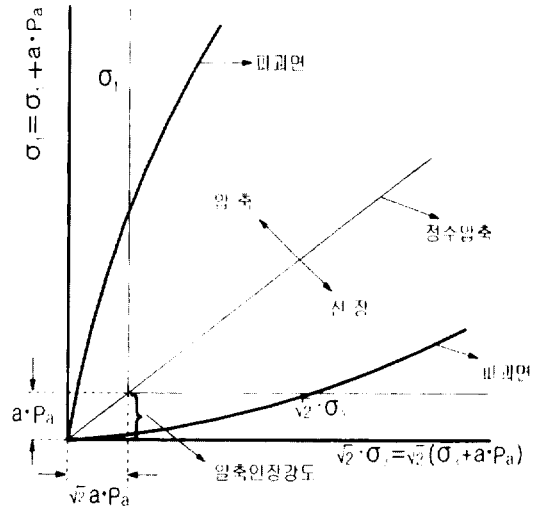


Fig. 26. Lade failure criterion

$$\overline{\sigma_x} = \sigma_x + aP_a \quad (13a)$$

$$\overline{\sigma_y} = \sigma_y + aP_a \quad (13b)$$

$$\overline{\sigma_z} = \sigma_z + aP_a \quad (13c)$$

여기서 a 는 무차원 정수이며 aP_o 는 암의 인장강도효과를 반영하게 된다.

세 정수 m , η_1 및 a 의 크기에 따라 파괴면의 형상이 달라지나 이들은 서로 상호작용을 한다.

Fig. 27은 m , η_1 값의 실험결과를 정리한 것이고 Fig. 28은 표선리 현무암의 파괴규준을 작도한 것이다.

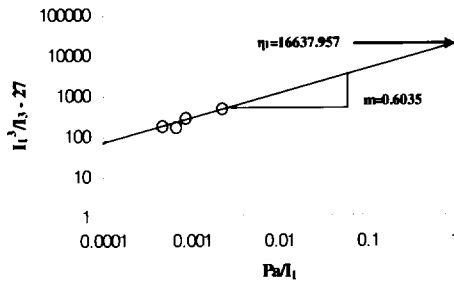


Fig. 27. Estimation of m and η_1 in the Pyoseonri Basalt

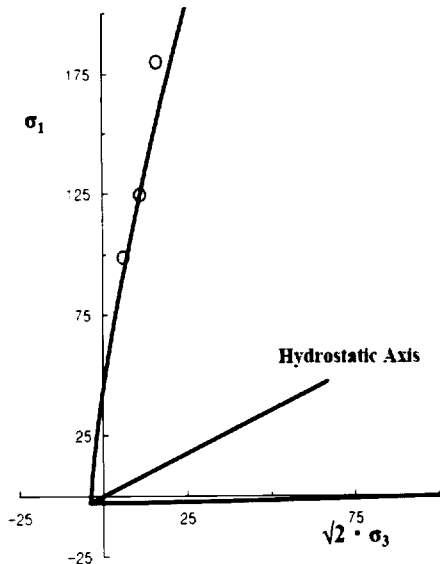


Fig. 28. Lade failure criterion of the Pyoseonri Basalt

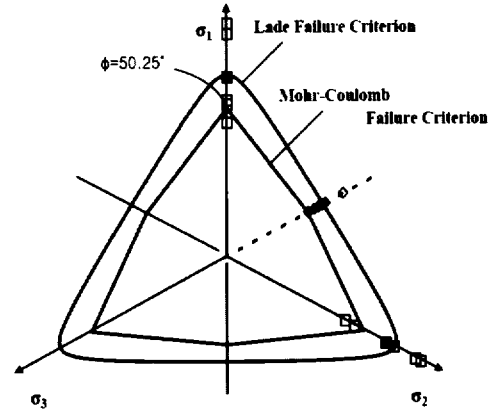


Fig. 29. Failure surfaces for the Pyoseonri Basalt shown in Octahedral plane. Mohr-Coulomb failure surfaces shown for comparison

각 파괴규준의 비교

표선리 현무암에 대하여 Mohr-Coulomb의 파괴규준, Hoek-Brown의 파괴규준 및 Lade의 파괴규준을 각각 적용하여 점착력과 내부마찰각을 산출하여 보았다. 그 결과, Table 4와 같다. 그리고 Fig. 30에서 보듯이 암반 실험치들을 $\sigma_1 - \sigma_3$ 그래프 상에 나타내었을 때 작은 압력하에서는 Hoek-Brown 파괴규준이, 높은 압력하에서는 Mohr-Coulomb 파괴규준이 더 잘 들어맞는 결과를 보여줌을 알 수 있다.

Table 4. Comparison with failure criterion estimated by each method

	cohesion, c	Internal fric. angle, ϕ
Mohr-Coulomb Failure criterion	5.35MPa	50.25°
Hoek-Brown Failure criterion	4.77MPa	52.47°
Lade Failure criterion	5.57MPa	53.14°

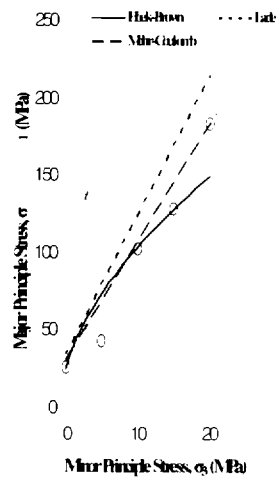


Fig. 30. Plot of failure criterion estimated by each method in the Pyoseonri Basalt

결 론

본 연구에서는 일명 표선리 현무암인 침상장석감람석현무암에 대해 물리적·역학적 특성을 다루고 암반 강도에 미치는 영향과 암반의 파괴규준에 대해서도 분석해 보았다. 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 표선리 현무암은 일명 침상장석감람석현무암으로 회색 내지 암회색의 다공질이며, 감람석을 반정으로 함유하고 침상의 장석이 특징적이다. 그리고 암반시험 결과, 흡수율은 2.973%이고, 비중은 2.337, 투수계수는 $1.21 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$, 압축강도와 인장강도는 각각 41.19 MPa, 3.32 MPa 으로 나타났다.
2. Schmidt hammer test에서 얻은 추정강도와 일축압축시험에서 얻은 측정강도는 다소 차이를 보이고 있으며 강도가 높은 암일수록 그 차이는 심하다. 그래서 $\sigma_{pc} = a \cdot e^{b \cdot R}$ 와 같은 지수함수로서 표현하였다. 여기서 a와 b는 암종에 따른 변수로서 표선리 현무암인

경우 $a=3.24$, $b=0.059$ 이다.

3. 암석의 강도는 여러 가지 요인에 의해서 강도가 좌우되는데, 본 연구에서는 가압속도가 빠를수록, 수분 함유량이 적을수록 강도는 높아지는 경향을 보이고 있다.
4. 암석의 이방성 시험결과, 수평면의 경사각이 0° 와 90° 일 때는 강도가 거의 비슷하여 수평방향과 연직방향에 대해서는 등방성을 보이는 반면, 45° 인 경우에는 최소로서 다른 강도에 비해 12~26%까지 저하되는 것을 알 수 있다.
5. 표선리 현무암에 대하여 각 암반의 파괴규준을 적용한 결과, Hoek-Brown의 파괴규준은 Mohr-Coulomb의 파괴규준보다 점착력은 대체로 낮게 평가되는 반면, 내부마찰각은 크게 평가되고 있고 Lade의 파괴규준은 Mohr-Coulomb의 파괴규준보다 점착력과 내부마찰각이 크게 나오고 있다. 이처럼 암반의 파괴규준이 서로 다른 결과를 나오기 때문에 암반의 파괴규준을 선정시에는 신중한 결정이 필요하겠다.

참 고 문 헌

김광일, 2005, 현무암 석분 슬러지를 이용한 차수재의 적합성에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp.12-13, pp.37-40.
 김용필, 1997, 지반공학 시험법 및 응용, 세진사, pp.515-539.
 마상준, 1992, Schmidt Hammer에 의한 岩石의 壓縮強度 比較 研究, 인하대학교 석사학위논문, pp.7-11.
 민경원·전호일, 1999, 철원지역 현무암의 암석학적 및 물리적·화학적 특성, 강원대학교 부설 석재복합신소재 제품연구센터, 석재연 논문집, Vol. 4, pp.258-259.

- 박 현, 2004, 층서에 따른 표선리 현무암 내의 철이온에 관한 연구, 동국대학교 석사학위논문, pp.17-19.
- 엄관용, 2002, 제주도 화산암의 역학적 특성에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문, pp.22-23, p.53.
- 윤지선, 1990, 岩石破壞力學과 그 應用, 구미서관, pp.1-60.
- 윤지선, 박종관, 2003, 토목기술자를 위한 암반 역학, 구미서관, pp.169-242.
- 이인모, 2005, 암반역학의 원리, 도서출판 새론, pp.89-122.
- 이창원, 2000, 암반의 점착력과 마찰각의 산정방법에 따른 적용성에 관한 연구, 조선대학교 석사학위논문, pp.5-17.
- 최한규, 2004, 마천석재의 물리적 특성에 관한 연구, 조선대학교 석사학위논문, pp.11-16.
- 홍원표, 1999, 기초공학특론(I), 얇은 기초, 중앙대학교 출판부, pp.129-134.
- Alfreds R. Jumikis, 1983, Rock Mechanics, 2nd. ed., Trans Tech Publications, pp.191-206.
- Hoek, E and Brown, E.T., 1997, Practical Estimates of Rock Mass Strength, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 34, No. 8, pp.1165-1186.
- Jaeer, J.C. and Cook, N.G.W., 1969, Fundamentals of Rock Mechanics, Chapman & Hall, London
- Moonkyum Kim, Poul V. Lade, 1985, A Study of Constitutive Models for Frictional Materials, Report to the National Science Foundation Grant No. CEE 8211159, UCLA, pp. 38-75.
- Richard E. Goodman, 1980, Introduction to Rock Mechanics, John Wiley & Sons, pp.50-90.