

핵석 지반의 공학적 특성 연구

이수곤¹⁾ · 김동은²⁾ · 이천용³⁾ · 김재현⁴⁾ · 양홍석⁵⁾

^{1,5)} 서울시립대학교 토목공학과 · ²⁾ 한국종합기술개발공사 · ^{3,4)} 산림과학원

A Study on the Geotechnical Characteristics of Corestone Ground Mass

**Su-Gon Lee¹⁾ · Dong-Eun Kim²⁾ · Chun-Young Lee³⁾ · Jae-Heun Kim⁴⁾
and Hong-Suk Yang⁵⁾**

^{1,5)} Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul, ²⁾ Korea Engineering Consultants Corp,
^{3,4)} Korea Forest Research Institute(KFRI).

ABSTRACT

Corestone ground mass has complicated characteristics as it is made up of hard and stiff corestone in a relatively weak and soft matrix. Model corestone ground mass which is physically identical with the stiff corestone in weak matrix were tested in uniaxial compression. The tests show that the increase of the corestone proportion brought the gradual increase of the elastic modulus as well. The ground mass was weaker when the corestone proportion was low while it was stronger in higher corestone proportion. The size of the corestone had no influence on the strength and elastic modulus as long as the proportion of the corestone remains same.

Key Word : *Corestone weathering, Weathering, Geotechnical characteristics, Uniaxial compressive strength, Elastic modulus.*

I. 서 론

1. 연구목적

암석이 파괴되거나, 세분화되는 물리적 변질 과정과, 암석의 광물구조가 바뀌는 화학적 변질 과정을 통틀어서 변질작용(alteration)이라고 정의할 수 있는데, 이는 지표수가 지하로 침투하여 발생하는 풍화작용(weathering)과 지하의 뜨거운 지하수가 지상으로 침투하여 발생하는 열

수변질작용(hydrot-hermal alteration)을 모두 포함하는 내용이다. 변질작용이 일어남에 있어서 판상의 수평 및 수직절리가 서로 교차하는 암괴들이 지하나 지상에서 존재하게 되면 절리 틈새로 유동하는 지하수에 의하여 절리 주변의 암석이 변질되고 침식되어서 절리부근의 각이진 모서리 부분이 둥그런 모습으로 형태가 바뀌게 된다. 이런 지반을 핵석 지반(corestone ground)이라고 부르는데, 비교적 신선한 암석인 핵석이,

풍화가 심하여 풍화암이나 토사로 변질된 취약한 풍화층에 의하여 둘러싸여진 형태를 의미한다. 핵석지반은 강도 및 탄성계수를 포함한 기타 역학적 특성들의 차이가 발생하는 핵석과 풍화층이 같이 존재하기 때문에, 이와 같이 복잡한 핵석지반의 역학적 성질을 객관적으로 파악하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 핵석지반의 다양한 형태를 실내에서 축소 제작하고 일축압축시험을 수행함으로써 핵석 풍화지반의 지반공학적 특성을 연구하였다.

2. 연구방법

핵석지반의 거동 특성을 실내 시험을 통해 분석하기 위해서 가장 주의해야 할 점은, 두 개의 서로 다른 강도 및 변형 특성을 갖는 재료들이 일축압축시험이 가능하도록 성형되어야 한다는 점이다. 재료선정을 위해 석고나 일반 시멘트 등 여러 물질을 시도해 보았으나, 여러 가지 문제점이 발견되어 최종적으로 특수시멘트 중에서 초속경시멘트를 사용하였다. 이 초속경시멘트에 대한 물 배합비의 차이 및 모래의 첨가에 따른 강도변화를 이용하여 두 종류의 강도 및 변형성의 차이를 보이는 재료를 제작하였는데, 상대적으로 강도가 강한 재료군은 핵석을 제작하고, 강도가 약한 다른 하나는 핵석 주위를 감싸는 풍화층 물질 (매트릭스(matrix) : 본 논문에서는 핵석지반에서 상대적으로 약한 풍화층을 의미함)로 제작하였다.

본 연구에서는 핵석이 차지하는 체적비에 따른 강도 및 변형특성을 규명하기 위하여 하나의 시료군은 같은 크기의 핵석을 이용하여 체적비를 서로 다르게 하고, 또다른 시료군은 핵석의 체적비는 동일하지만, 핵석의 크기를 다르게 제작하였다. 즉, 첫 번째 경우는 동일한 크기의 핵석이 전체에서 차지하는 체적비(0%, 15% 30%, 45%, 65%)에 따라 달라지는 강도 및 탄성계수의 차이를 알아보고, 두 번째 경우에는 동일한 체적비일 경우에 핵석의 크기가 지반강도 및 탄성계수에 어떤 영향을 미칠 것인가를 알아보는 것이다.

II. 연구사례

핵석지반은 상대적으로 강한 핵석이, 상대적으로 약한 풍화층(matrix)에 내재되어 있기 때문에 적합한 지반공학적 특성을 명확하게 규명하기 쉽지 않다. 현장에서는 일단 시추의 어려움 때문에 교란되지 않은 시료를 채취하기가 어려울 뿐만 아니라, 교란되지 않은 시료를 채취했다 하더라도 그 시료가 그 지반을 대표할 가능성은 희박하다고 볼 수 있다. 물론 규모가 큰 현장시험이 가능하다면 핵석지반의 대표성을 떨 수도 있겠지만 이러한 시험은 현실적으로 어려운 실정이다.

그러므로 핵석지반에 대하여 정량적인 시험 결과는 거의 제시된 바가 없으나, 몇몇 연구자들이 경험적인 의견을 제안한 바 있다. Bedrossian (1978)과 A.G.I. (1979, 1985)는 매트릭스와 핵석이 혼재하는 지반에서는 두 가지의 물질 중에서 당연히 강도가 약한 매트릭스가 지반의 강도를 대표한다고 생각하고, 그 지반의 특징을 나타낼 때는 단지 매트릭스의 물성치만 언급하였다. 또한 Volpe *et al* (1991)은 핵석지반의 강도는 핵석과 매트릭스의 체적비에 기초한 두 물질의 강도의 평균값으로 나타낼 수 있다고 제안했지만, 자세한 이론적인 배경은 소개되지 않았다. 그리고 핵석지반과 개념이 비슷한 골재를 포함한 콘크리트에서 골재 체적비에 따른 콘크리트의 강도와 탄성계수의 특성에 대하여 연구된 사례가 간혹 있다(Stock 등, 1979; Hirsch, 1962; Counto, 1964; Hansen, 1965). 그러나 국내에서는 핵석지반인 절취사면의 안정성에 대한 경험적인 연구(이수곤, 1999)가 일부 수행된 적이 있으나 현재 까지도 핵석지반에 대한 이해부족으로 인하여 심도있는 연구가 미미한 실정이다.

III. 핵석지반의 공학적 특성 분석을 위한 실내시험

1. 재료의 선정

핵석지반을 모델링 하기 위해서는 강도와 변형특성의 차이를 갖는 핵석과 매트릭스를 제작

하는 것이 필요하므로, 적합한 재료를 선택하기 위하여 우선 석고와 일반포틀랜드 시멘트를 이용하여 시료를 제작하였다. 두 재료 모두 시료의 제작은 가능했으나 석고는 삼축압축강도시험시에 연성거동을 보였고, 일반 포틀랜드시멘트는 양생을 하는 기간이 너무 길고, 또한 그 양생기간에 따라 강도가 계속적으로 변하는 특성을 가지고 있어서 시험재료로 선택하기에 적합하지 않았다. 따라서 다양한 검토를 통하여 시료의 제작과 적정 강도의 발현에 문제가 없는 초속경 그라우트와 초속경 시멘트를 사용하였다. 먼저 핵석을 제작할 초속경 그라우트(JM)는 초속경 시멘트와 모래로 구성되어 있으며 사용자의 현장배합과 적절한 입도를 가진 골재선정의 어려움을 보완하기 위해 Grouting에 적합하도록 제조되었고, 2시간만에 실용강도를 발현하는 무수축, 초속경성 고강도 몰탈이다. 이 재료의 응결 시간에 따른 압축강도의 변화는 Table 1과 같다. Table 1과 같이 본 재료의 시험강도는 하루만 지나면 600kg/cm^2 정도의 강도를 나타내고 양생 기간의 증가에 따른 강도의 변화가 크게 없었지만, 일반 암석의 일축압축강도시험에 사용되는 직경 50mm, 길이 100mm의 코아시료로 제작하기 위해서는 15%의 표준수량으로는 성형이 불가능하였기 때문에 약 25%의 물과 섞어서 시료를 성형하고, 약 2주일 이상의 수중양생 후에 일축압축시험을 한 결과, 약 $350\sim 400\text{kg/cm}^2$ 정도의 강도를 나타내었다. 또한 매트릭스의 제작은 초속경시멘트와 물 25%를 섞어서 시료를 성형하였는데 강도시험결과 약 $120\sim 200\text{kg/cm}^2$ 정도의 강도를 나타내었다.

Table 1. Comparison of setting time and strength.

구분	standard water content (15%)						
	time of cure	2 hour	6 hour	1 day	3 day	7 day	28 day
JM	Uniaxial compression strength (kg/cm^2)	325	525	590	620	690	705

강도뿐만 아니라 두 물질의 거동 특성의 차이를 뚜렷하게 발생시키기 위해서는 무엇보다도 탄성계수의 차이가 발생하여야 하는데 핵석의 경우에는 $0.9 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$, 매트릭스의 경우에는 $0.4 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 로써 충분한 탄성계수 차이를 보였다. 이 정도의 강도 및 탄성계수의 차이를 가진 재료라면, 실제 핵석지반을 완벽하게 만족하는 상태는 아니지만 두 재료의 차이가 충분한 것으로 판단되었다. 따라서 최종적으로 매트릭스는 [초속경시멘트+물(25%)], 핵석은 [초속경 그라우트JM(초속경시멘트+모래)+물(25%)]로 선정하였다.

2. 핵석 모양결정

실제 지반에서 핵석의 형태는 보통 긴 타원형의 형태에서 구의 형태까지 다양하게 발견되는데 실제로 핵석의 모형 제작에서는 제작이 용이하며, 방향성 등의 다른 변수를 가지지 않는 구 형태를 갖는 핵석을 제작하였다.

3. 핵석의 크기결정

연구 목적중 하나는 두 가지 크기의 핵석을 똑같은 체적비로 시료를 제작하였을 때, 즉 직경 X mm의 핵석이 차지하는 체적비가 10%인 시료와 직경이 그 2배인 2X mm의 핵석이 차지하는 체적비가 10%인 시료의 강도 및 변형특성을 비교하는 것이다. 이러한 경우에 핵석은 두 가지 크기로 제작해야 하는데, 시험이 직경 50mm, 길이 100mm의 원통형 시료에서 이루어질 것을 감안하여 핵석의 직경을 10mm와 20mm로 결정하였다.

4. 핵석 및 시료의 제작

이렇게 모양과 크기가 결정된 후에 맨 먼저 [초속경시멘트+모래+물(+red수성잉크)]를 섞어서 핵석을 제작하였다. 수성잉크는 시험후 파괴형상을 쉽게 파악하기 위하여 첨가하였다. 핵석은 제작 후 실온에서 약 1시간정도 양생 후 사포를 이용하여 이물질 제거하고 수중에서 양생하였는데, 수중에서의 양생은 2주일 이상으로 하였다(Figure 1).

시료의 제작은 아크릴을 이용해서 특수제작한 내부가 직경 50mm, 길이 110mm인 몰더를 준비하고 접촉되는 부분에 grease를 발라 분리가 쉽도록 하였다. 핵석이 100%를 차지하는 시료를 제작하기 위해서, 핵석을 제작할 때와 똑같은 비율로 [물+초속경시멘트+모래]를 준비하여 섞은 후 몰더에 붓고 몰더 안에서 공극이 발생하지 않도록 잘 다져주었고, 몰더에 있는 상태로 약 1시간의 양생후 수중에서 양생을 실시하였다.

Table 2. Sample classification with corestone volume ratio %.

volume ratio	10mm		20mm	
	dry	wet	dry	wet
0%	S10D-0	S10W-0	S20D-0	S20W-0
15%	S10D-15	S10W-15	S20D-15	S20W-15
30%	S10D-30	S10W-30	S20D-30	S20W-30
45%	S10D-45	S10W-45	S20D-45	S20W-45
65%	S10D-65	S10W-65	-	-
100%	S10D-100	S10W-100	S20D-100	S20W-100



Figure 1. Preparation of corestone specimen. (a) corestone in various size (b) corestone in curing.

그리고 핵석이 0%(매트릭스 100%)를 차지하는 시료를 제작하기 위해서는 [초속경시멘트+물]을 준비하고 위와 똑같은 과정으로 시료를 제작하여 수중에서 양생하였다. 다음은 각 핵석의 체적비 별로 시료를 제작하였는데, 10mm의 핵석은 시료에서 차지하는 체적비가 15%, 30%, 45%, 65%, 20mm의 핵석은 15%, 30%, 45%의 체적비가 되도록 메스실린더를 이용하

여 핵석의 개수를 측정하였다. 그 후에 매트릭스로 제작할 물질[초속경 시멘트+물]을 혼합하고, 각 체적비에 따라 계산된 개수의 핵석을 매트릭스와 섞어 제작한 몰더를 이용하여 성형을 실시하였다. 이렇게 제작된 각 시료에 대한 손쉬운 분류를 위하여 핵석의 직경이 10mm인 시료군은 S10, 직경이 20mm인 시료군은 S20으로 명명하고, 습윤상태에 따라 다시 D와 W로 분류하였으며, 각각의 핵석 체적 % 별로 다시 분류를 실시하였다. 이와 같은 분류를 정리하면 다음 Table 2와 같다.

따라서 두 가지 크기의 핵석이 같은 체적비로 시료에 포함되었을 때의 강도특성의 비교는 체적비 15%, 30%, 45%에 대해서 행해졌다. 체적비에 따른 시험 개수는 건조상태와 습윤상태로 나누어 세 번씩 실시하였다. 제작된 시료는 핵석의 제작 후와 마찬가지로 1시간정도 실온에서 몰더에 있는 상태로 양생 후, 몰더에서 분리하여 2주 정도의 수중양생을 실시하였다.

5. 시험방법

2주정도의 수중양생을 거친 시료는 절단과 연마의 과정을 거친 후 암석의 일축압축강도 시험용 미국 SBEL사의 SERVO 제어 유압시험기(200ton 용량)를 이용하여 일축압축강도 및 변형특성을 측정하였다. 본 연구에 사용된 일축압축시험 장비는 기본적으로 closed-loop control(Figure 2)을 사용하고 있기 때문에 유압 servo-valve에 의한 feed-back control이 가능하며, 일정 응력 속도 방식뿐만 아니라 일정 변형률 속도 방식으로도 사용 될 수 있는데, 기본적인 시험 장비 모식도는 Figure 3과 같다. 핵석 체적비에 따른 일축압축강도비의 변화를 살펴 보기 위하여 Table 2와 같이 다양한 핵석 체적비에 따른 시료를 각각 총 6개씩 제작하였고, 또한 함수조건에 따른 영향을 파악하기 위하여 6개중 3개는 습윤상태(시료를 48시간 수침시킴)에서, 나머지 3개는 건조상태(시료를 105°C 건조기에서 24시간 건조시킴)에서 일축압축시험을 실시하였다.

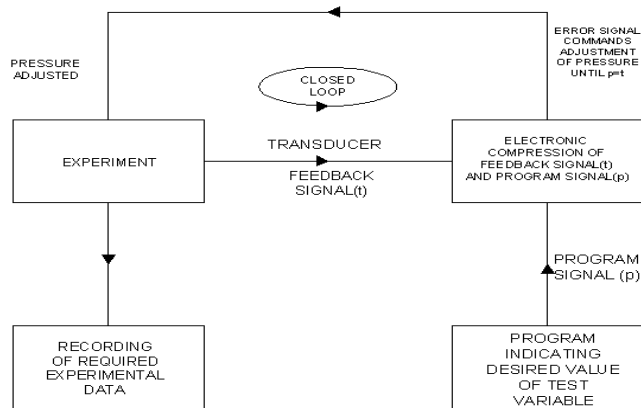


Figure 2. A basic theory of closed-loop control.

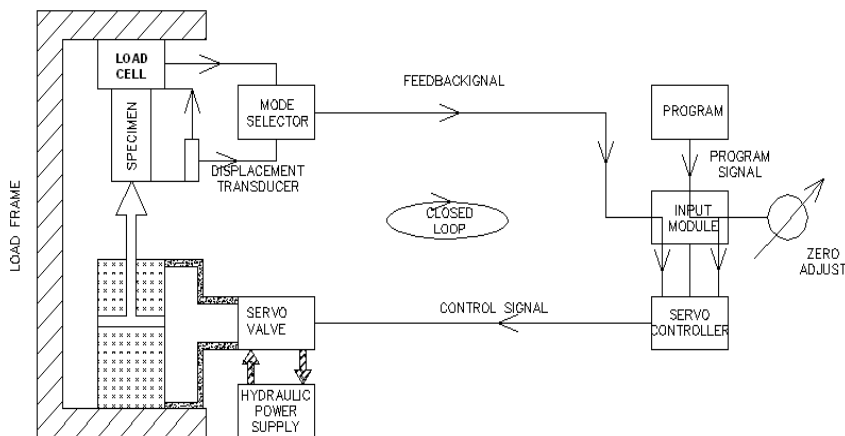


Figure 3. A procedure of closed-loop servo controlled hydraulic testing machine.

IV. 일축압축강도 시험결과

1. 핵석 체적비에 따른 일축압축강도비의 변화
 습윤조건과 건조조건에 따른 일축압축강도의 변화는 Figure 4와 5에 나타나 있다. 본 연구에서는 핵석의 체적비에 대한 일축압축 강도의 변화를 명확하게 표현하기 위하여 핵석 %별 강도와 핵석이 0%일때 강도의 비로 나타내었다.

$$\text{일축압축 강도비 } \alpha = \frac{\sigma_x}{\sigma_0} \quad (1)$$

여기에서, σ_x : 각 핵석 %별 일축압축강도
 σ_0 : 핵석 0%일때의 일축압축강도

완전건조상태의 시료는 표면건조포화상태의 시료와 비교해서 시험값의 오차 범위가 큰 것

으로 나타났는데, 이것은 수중양생을 거친 시료가 건조되는 동안 시료 외부에 발생한 미세 균열(micro cracks)이 암석의 일축압축강도 및 변형성에 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 두 그래프를 비교해보면 체적비에 따른 일축압축강도비의 변화경향은 비슷함을 알 수 있다. 특히 체적비가 낮은 15%와 30%일 때는 핵석이 전혀 없는 매트릭스만으로 구성된 시료보다 오히려 일축압축강도비가 약 30~50% 정도 감소하는 경향이 나타났는데, 이러한 결과는 핵석과 매트릭스의 경계면이 불연속면으로 작용하기 때문으로 판단된다. 그러나 체적비 45%인 시료에서부터 일축압축강도가 서서히 증가하는 경향을 보였다. 이런 특이한 변화양상은 Stock 등(1979)이 수행한 콘크리트의 일축압축강도시

험에서 골재 체적비가 증가함에 따라 처음에는 강도가 감소하지만 골재 체적비가 더 증가하면 강도가 증가하는 경향과 비슷하다. 이것은 핵석의 체적이 증가하면서, 미소 변형시에는 균열의 확장 및 병합시에 핵석에 의해 크랙의 전파가 지연되는 굴곡(tortuosity) 현상이 발생하고, 그 후에는 각 핵석들 간의 맞물림 현상(interlocking)이 발생하기 때문으로 판단된다. 이러한 맞물림 현상과 파단선의 굴곡의 영향은 파괴된 시료에서 확인이 가능하였다. 또한 건조와 습윤상태에 따른 일축압축강도비의 변화에는 큰 차이가 없는 것으로 나타나, 핵석의 포함 여부 및 체적비가 일축압축강도에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 판단된다.

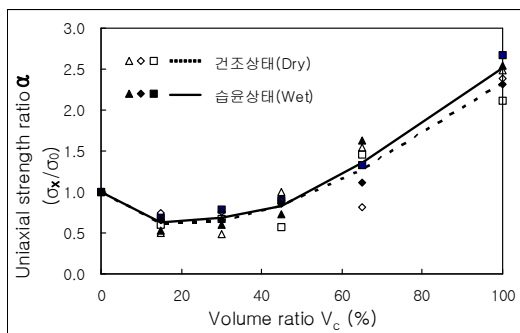


Figure 4. Uniaxial compressive strength ratio(α) vs Volume ratio(V_c) (S10 series).

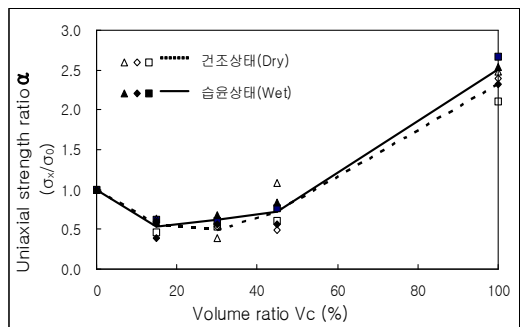


Figure 5. Uniaxial compressive strength ratio(α) vs Volume ratio(V_c) (S20 series).

2. 핵석함유 비율에 따른 탄성계수비의 변화

탄성계수 역시 핵석의 체적비에 대한 탄성계수 값의 변화를 명확하게 표현하기 위하여 각

핵석 %별 탄성계수와 핵석이 0%일때의 탄성계수의 비로 나타내었다.

$$\text{탄성계수비 } \beta = \frac{E_x}{E_0} \quad (2)$$

여기에서, E_x : 각 핵석 %별 탄성계수

E_0 : 핵석 0%일때의 탄성계수

각 핵석함유 비율에 따라 제작한 시료의 일축 압축시험 결과로 얻은 탄성계수의 변화는 Figure 6과 7에 나타나있다. 시험 결과를 살펴보면, 건조상태와 습윤상태에서 공통적으로 핵석의 체적이 증가하면 핵석의 탄성계수비도 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 체적비가 비교적 낮은 15%와 30% 일 때는 큰 변화가 없지만, 45%와 65% 일 때의 경우에는 탄성계수비가 서서히 증가함을 알 수 있었다. 이런 변화 양상은 콘크리트의 탄성계수는 골재 체적비가 증가함에 따라 같이 증가한다는 연구 결과들(Hirsch, 1962; Counto, 1964; Hansen, 1965)과 비슷한 경향을 보인다.

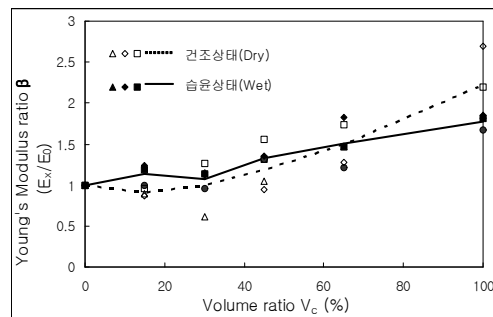


Figure 6. Young's modulus ratio(β) vs Volume ratio (V_c) (S10 series).

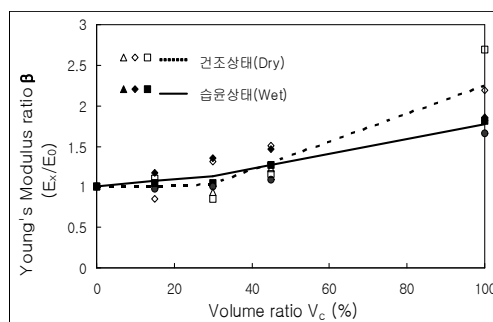


Figure 7. Young's modulus ratio(β) vs Volume ratio (V_c) (S20 series).

또한, 건조시와 습윤시에 따른 탄성계수비의 변화를 비교해 보면, 핵석 함유비율이 15~65% 사이에서는 건조시와 습윤시의 탄성계수비에 큰 차이가 없지만, 핵석 100%인 경우에는 비교적 큰 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 비교적 큰 차이가 발생하는 이유는 핵석이 포함될 경우에는 전체적인 변형이 핵석과 매트릭스의 경계부의 변형에 더 큰 영향을 받지만, 매트릭스와 핵석이 100%인 각각의 경우에는 재료 자체의 특성이 더 큰 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 즉, 본 연구에서 사용된 시멘트 페이스트의 특성상, 습윤시에는 매트릭스 100% 시료와 핵석 100% 시료에서 시멘트 페이스트가 주된 변형을 발생시키기 때문에, 습윤시에는 두 시료 사이의 탄성계수비의 변화가 적은 것으로 판단된다.

3. 핵석 크기에 따른 일축압축강도비와 탄성계수비의 비교

핵석의 직경이 약 2배의 차이가 나고, 시료에서 차지하는 체적은 같은 경우의 일축압축강도비와 탄성계수비의 차이를 파악하기 위하여 핵석의 체적비가 15%, 30%, 45% 일 경우에 대하여 Figure 8과 9 같이 시험 결과를 비교하였다. 시험 결과 핵석의 직경이 20mm일 때 일축압축 강도비는 핵석의 직경이 10mm인 경우에 비하여 0.1~0.2 정도 작게 나타났다. 이는 핵석 크기의 증가로 인하여 불연속면으로 작용하는 핵석과 매트릭스의 접촉면의 길이가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

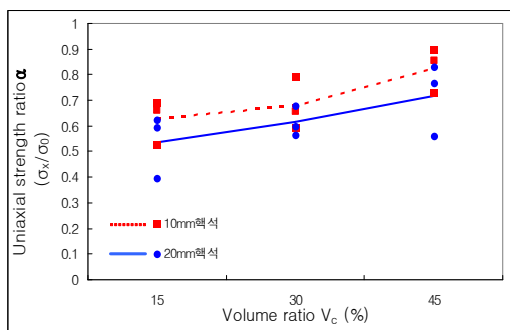


Figure 8. Uniaxial compressive strength ratio(α) vs Volume ratio(V_c) with various size of corestone in wet condition.

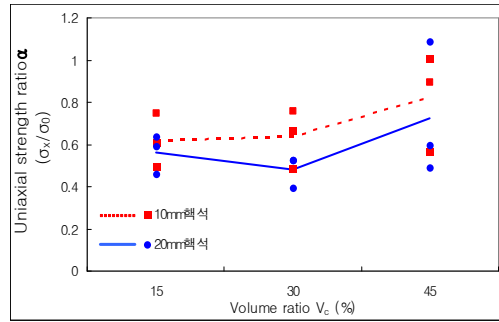


Figure 9. Uniaxial compressive strength ratio(α) vs Volume ratio(V_c) with various size of corestone in dry condition.

또한, 탄성계수비는 Figure 10과 11 같이 핵석의 체적비에 따라서는 결과에 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이는 핵석의 크기가 클 경우 일축압축강도가 감소하는 경향을 보이지

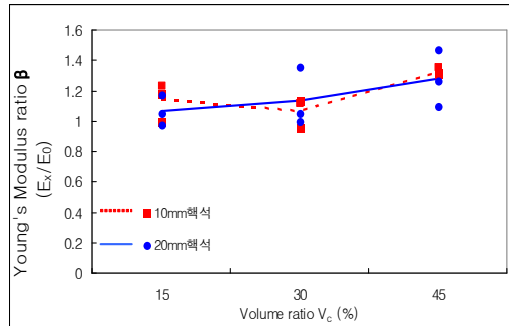


Figure 10. Young's modulus ratio(β) vs Volume ratio (V_c) with various size of corestone in wet condition.

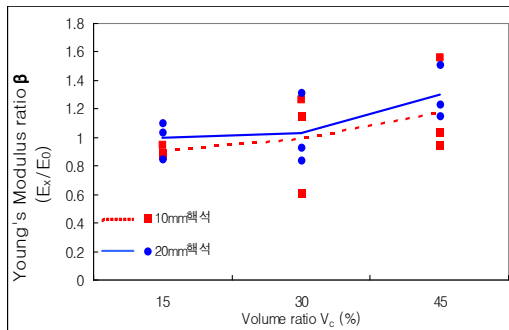


Figure 11. Young's modulus ratio(β) vs Volume ratio (V_c) with various size of corestone in dry condition.

만 상대적으로 핵석의 개수가 적기 때문에 핵석과 매트릭스 경계부에 의해서 주로 발생하는 전체적인 수직변형은 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 핵석 크기의 변화에 따른 지반의 일축압축강도와 탄성계수의 변화특성에 관한 연구는 현재까지 수행된 적이 없으므로 다른 연구 결과와 비교검토 할 수가 없다.

V. 결론 및 고찰

본 연구는 핵석 기반에서의 지반공학적 특성을 파악하고자 수행되었다. 우선 실내시험이 가능하도록 실제 핵석지반의 특성을 고려한 형태의 시료를 제작하고 일축압축강도시험을 수행하여 일축압축강도비와 탄성계수비의 변화를 살펴보았다.

1. 실내시험을 통한 핵석의 체적에 따른 일축압축강도비는 핵석이 차지하는 체적비가 작을 경우(15~45%)에는 감소하다가 핵석의 체적비가 45%에서 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과는 핵석의 체적비가 작을 경우에는 핵석과 매트릭스의 경계가 일축압축강도를 감소시키는 불연속면으로만 작용하지만, 핵석의 체적비가 증가하면서 핵석 상호간의 맞물림 현상과 굴곡 현상이 발생하여 일축압축강도를 증가시키는 것이라고 판단된다.

2. 핵석의 체적비에 따른 탄성계수비는, 일축압축강도의 변화와 약간 다른 양상을 보였는데, 핵석이 차지하는 체적이 작을 경우에도 탄성계수비가 $\beta=1$ 과 비슷하거나 약간 큰 값을 나타냈다. 그리고 체적비가 증가할수록 그 탄성계수비가 서서히 증가하는 경향을 보였다.

3. 핵석의 크기에 따른 일축압축강도비 및 탄성계수비를 비교해 본 결과, 핵석 크기의 증가는 불연속면으로 작용하는 핵석과 매트릭스의 접촉면의 길이를 증가시키기 때문에, 핵석의 크기가 커지면 강도가 감소하는 것으로 판단되었다. 그러나 탄성계수비는 핵석의 크기에 따라서 결과에 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이는 핵석의 크기가 클 경우 일축압축강도가 감소하는 경향을 보이지만 상대적으로 시

료내에 존재하는 핵석의 개수가 적어 핵석과 매트릭스 경계부에 의해서 주로 발생하는 전체적인 수직변형은 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 핵석의 크기보다는 핵석이 시료 전체에서 차지하는 체적비가 시료의 변형 특성에 더 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구과제는 2001년도 서울시립대학교 학술연구조성비 지원사업의 도움으로 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.

인용 문헌

이수곤. 1999. 청암-시천간 도로개설공사 대절취 사면 안정성 검토. 서울시립대학교 산업기술연구소 p.89.

A. G. I. 1979. Some Italian experiences on the mechanical characterization of structurally complex formations. Proc., 4th International Congress on Rock Mechanics, Vol.1. Montreux. pp.827-846.

A. G. I. 1985. Geotechnical properties and slope stability in structurally complex clay soils. in Geotechnical Engineering in Italy, An Overview, Associazione Geotechnica Italian. pp. 189-225.

Bedrossian, T. L. 1978. Geology and slope stability in the Geysers Geothermal Resources area. California Geology. vol.31, pp. 151-159.

Counto, M. 1964. The effect of the elastic modulus of the aggregate on the elastic modulus, creep and creep recovery of concrete. Magazine of Concrete Research. 16. pp. 129-138.

Hansen, T. C. 1965. Theories of multi-phase materials applied to concrete, cement mortar and cement paste. in Brooks. A.E. and Newman. K., eds. The Structure of Concrete (and Its Behavior Under Load), Cement and

- Concrete Association. London. pp. 16-23.
- Hirsch, T. J. 1962. Modulus of Elasticity of concrete affected by elastic moduli of cement paste matrix and aggregate. Journal of the American Concrete Institute. 59. pp. 427-447.
- Stock, A. F., Hannant, D. J. and Williams, R. I. T. 1979. The effect of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of concrete. Magazine of Concrete Research, 31. pp.225-234.
- Volpe, R. L., Ahlgren, C. S. and Goodman, R. E. 1991. Selection of engineering properties for geologically variable foundations. in Question 66. Proceeding of the 17th Int. Congress on Large Dams. Vienna. Paris. ICOLD. pp. 1087-1101.

接受 2003年 12月 29日