The Journal of Engineering Geology, Vol.17, No.3, September, 2007, pp. 435-443

실내모형실험에 의한 핵석 풍화대 지반 특성 산정

우 익*

군산대학교 해양과학대학 해양시스템공학전공

Characterization of Weathered Zone bearing Corestones through Scale Model Test

Ik Woo*

Ocean-System Engineering Major, Kunsan National University

본 연구에서는 풍화대에 분포하고 있는 핵석지반에 대한 지질공학적 조사와 실내모형실험을 통하여 핵석지반의 공학적 물성을 산정하였다. 핵석이 노출된 세 곳의 산사면에 대한 조사창 조사와 시추공 코어 관찰로 핵석의 분포도와 기하학적 모양을 분석하였다. 현장 핵석분포 및 크기에 대한 조사 자료와 모형실험용 공시체 시편의 크기를 바탕으로 산정된 축소율을 고려하여 5mm이하-평균 2mm의 분쇄-연마된 핵석시료를 실내핵석실험용으로 사용하였다. 핵석 체적함유비를 0%, 10%, 20%로 달리하면서 토양 직접전단시험 및 석고모형실험을 실시하였고, 이를 통하여 핵석지반의 특성을 구하고자 하였다. 핵석함유 토양의 직접전단실험에서는 핵석 함유량의 증가로 인하여 전단강도가 증가하는 경향을 보여주었다. 핵석함유비가 20%일 경우는 핵석 입자의 맞물림에 의한 점착력의 증가가 마찰각의 변화보다 더욱 전단강도의 상승을 유발시키는 요소로 작용하였다. 핵석 함유비를 달리한 석고모형실험에서는 핵석이 많아질수록 모형시료의 강도 및 탄성계수가 증가하는 경향을 보여주었다. 석고모형실험에서 얻어진 핵석 함유량에 따른 모형의 물성변화률을 현장에서 측정한 풍화대의 물성과 비교하여, 현장에서 핵석함유에 따른 물성을 예측한 결과, 핵석 함유가 0%에서 10%로 증가하면 18%의 일축압축강도 증가를, 핵석 함유가 20%로 증가되면 30%의 일축압축강도 증가를 유발하는 것으로 예측이 되었다.

주요어 : 핵석, 실내모형실험, 석고모형, 직접전단실험, 조사창 조사, 축소율

This study shows the prediction of the engineering properties of weathered zone bearing corestones through the engineering geological surveys and the scale model test in the laboratory. The window survey and the observation on the borehole core were peformed on three natural slopes in corestones area in order to analyse the distribution pattern and the geometrical properties of corestones. Natural corestones were crushed and abrased for the scale model test into less than 5 mm in maximum-2mm in average by the scale reduction ratio based on the size of natural corestones and the specimen size. Scale model tests were carried out on soil and plaster model specimens with different corestone content ratio - 0%, 10%, 20%. The direct shear test on soils shows that shear strength is increased by the increase of corestone content ratio. The increase of cohesion is, however, more important factor to the shear strength of soil for 20% corestone content ratio due to interlocking of crushed corestone particles. The plaster model test shows a tendance of increase of UCS and modulus of elasticity with increase of corestone content. The variation ratio of specimen property by change of corestone content ratio in plaster model test was applied to *in situ* properties in order to estimate the properties of weathered zone bearing corestones. So it could be predicted that the increase of corestone content to 10% and to 20% produce about 18% and 30% UCS's increase respectively.

Key words : corestone, scale model test, plaster model, direct shear test, window survey, reduction ratio

*Corresponding author: woo@kunsan.ac.kr

서 론

암반의 풍화 양상은 지질학적인 조건과 수리지질학적 환경 및 기후와 아주 밀접한 관계를 지니며 지형 요건을 반영하고 있다. 풍화에 관한 연구는 풍화 등급 분류 및 암석 종류에 따른 풍화 특성 분류 등 여러 측면에서 수행되어 왔다. 그렇지만 Hencher et al.(1995)이 지적하였듯이, 풍화 암반의 공학적인 성질을 예측하기란 어려운 점이 많다. 왜냐면 해당 암반의 지질구조에 따른 지하수의 흐름과 풍화에 대한 반응 속도를 서로 달리하는 암석의 불규칙한 분포 양상 등과 같은 많은 요소들로 인하여 어떠한 암반에서 지표면에서 지하로 내려갈수록 암석 풍화가 점진적으로 변할 것이라는 예측을 하기 어렵게 만들기 때문이다.

특히, 화강암류 암반에서 주로 관찰되는 핵석 지형에서는 풍화양상의 갑작스러운 변화가 발생할 수 있는데, 이는 화강암의 전형적인 절리 양상과 깊은 연관이 있다. 즉, 화강암이 지표면에 노출됨에 따라 상재하중 제거로 인한 응력 해방으로 수평 및 수직의 연장성이 좋은 절리가 발달하게 된다. 상대적으로 풍화에 강한 특성을 지닌 화강암반에 발달된 이들 절리들은 지하수 흐름의 주요한 통로가 되어 지하수 흐름으로 인한 절리 주변 암석의 풍화가 가속화된다. 그러므로, 지하수면 아래에 위치한 불연속면들로 둘러싸인 암석은 지하수의 영향으로 원형 풍화를 겪게 되고, 불연속면과 상대적으로 떨어진 암석 중심부는 지하수의 침투가 어려움으로 인하여 풍화 작용이 미약하여 최종적으로 핵석 구조가 형성이 된다. 또한, 규모가 큰 핵석은 열수변질작용에 의한 완전 풍화 등급(CW)의 수직풍화대의 발달에 따라 그 분포 양상이 좌우되는 경향을 지니고 있으며 이는 또한 tor의 발달과 연관이 있다(Fig. 1) (Fookes et al. 1971, Linton 1955).

최근에는 이러한 핵석지형과 같이 상대적으로 연약한 매질 속에 강도가 높은 블록들이 들어있는 지반인 Block-in-matrix rocks(bimrocks)의 물성을 구할려는 연구가 많이 진행되고 있다(Medley 1994, Medley et al. 1994, Sonmez et al. 2004). 왜냐하면 bimrocks의 전체적인 강도는 약한 재질자체의 강도보다는 높지만 (Lindquist et al. 1994), 블록과 매질과의 현격한 강도 차이로 지반의 품질이 저하되고, 물성예측을 하기에는 상당히 어려움이 따르기 때문이다(Sonmez et al. 2004).

국내에서는 이수곤 외(2003)가 모형실험 등을 통하여 핵석지대에 관한 특성에 대하여 연구한 바가 있다. 본

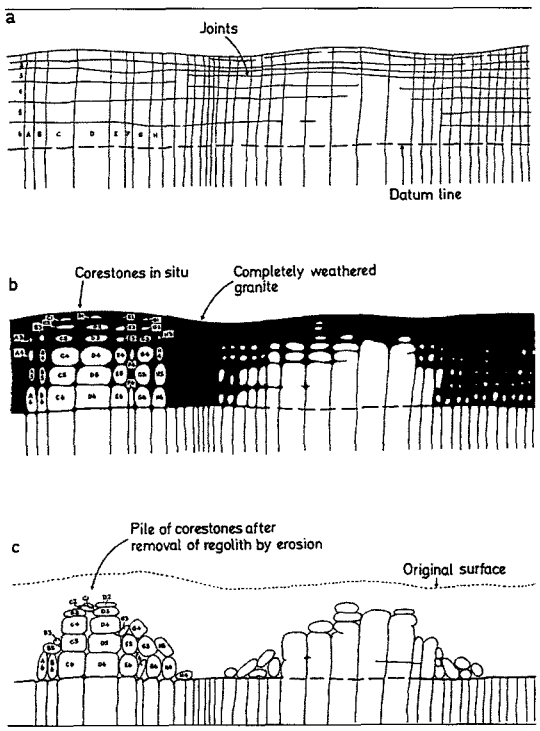


Fig. 1. Successive stages of the development of tors (after Linton 1955).

연구에서는 핵석지형에서의 실제 현장에서의 핵석 분포에 대한 지질공학적 조사를 실시하고, 이를 바탕으로 실험실 실내 모형실험을 통한 핵석지형에 대한 공학적 물성을 예측하고자 한다.

연구지역 국부지질

본 연구의 연구지역은 전라남도 광양시 진상면에 위치한 수어천 부근에 발달한 핵석 지형이다. 이 지역은 지질적으로는 화강기원 편마암이 광범위하게 분포되어 있고 화강암이 일부 지역에 분포되어 있다. 또한 염기성 암맥이 수 m의 폭으로 국부적으로 관입하고 있다. 화강기원 편마암으로는 반상변정질편마암과 화강암질편마암으로 구성되어 있고 미그마타이트질편마암은 화강암질편마암내에서 잔존암 형태로 일부 나타나고 있다.

특히, 수어천 주위에 분포하고 있는 반상변정질편마암은 3~5 cm의 미약한 방향성을 지닌 반상변정들을 함유하고 있으며 핵석 구조가 발달되어 있다(Fig. 2, Fig. 3). 지표에 노출되어 있는 핵석들은 완전풍화지대에서 약간풍화(SW)에서 보통풍화(MW)의 풍화등급을 지닌 채

Fig. 2. Porphyroblastic granite.

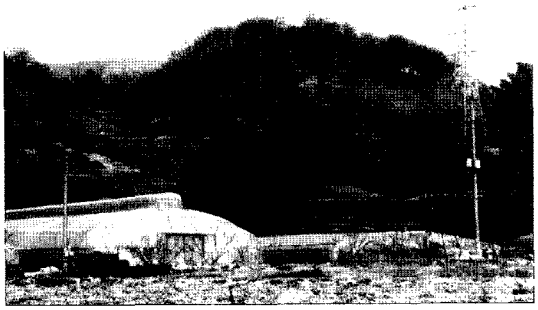


Fig. 3. Corestone area.

큰 블록으로 나타나고 있다.

본 연구지역에서는 경사가 80도 이상인 수직 절리가 주로 분포하고 있어 강우에 의한 지하수의 암반내로의 유입이 용이하다. 또한 핵석의 주 암종인 반상변정질편마암과 화강암질편마암은 높은 고온의 변성작용을 받아 풍화에 강한 특성을 지니고 암석 내 함수광물의 함량도 낮기 때문에 절리를 통한 지하수의 유동에 의한 수암반응과 열수변질 등에 의하여 핵석 형성에 좋은 조건을 지니고 있다.

핵석 분포 특성

우선 지표에 노출되어 있는 핵석의 평면적 분포 특성을 파악하기 위하여 조사창기법을 통해 지표에 노출된 세 곳의 사면에 대한 핵석 분포를 조사하였다. 핵석 분포량과 크기 등을 조사하기 위하여 5×5m 크기의 조사창을 만든 후 핵석 크기를 실측하였다(Fig. 4, Table 1, 2, 3). 조사 결과 WS-01지역은 핵석의 평면적 분포도가 22.7%정도로, 핵석의 평균크기 1.88 m×1.15 m, 최대크기 6.80 m×2.10 m, 최소크기 0.57 m×0.40 m 이며, 신장률은 1.77, 편평도는 0.36으로 반원형에 가까운 타원형을 이루고 있다. WS-02지역의 핵석은 13.3%의 평면

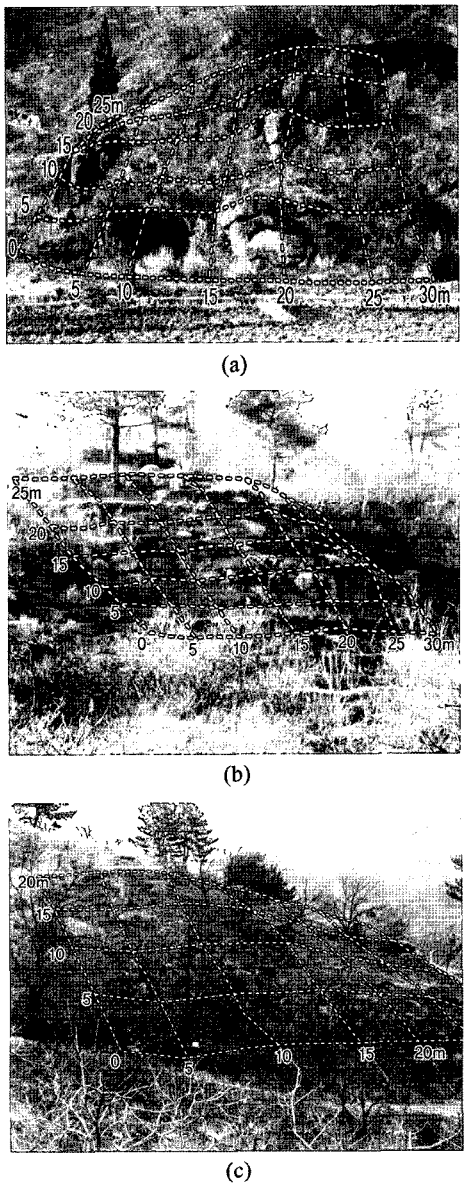


Fig. 4. Window surveys for corestone distribution analysis on (a)WS-01, (b)WS-02, (c)WS-03.

Table 1. Corestone distribution analysis for WS-01.

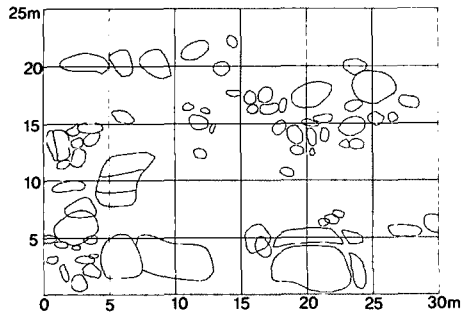
Corestone distribution map	survey area	750m^2 (30 m×25 m)
	number of corestone	77
	maximum size(m)	6.80×2.10
	minimum size(m)	0.57×0.40
	corestone area(m^2)	170.81
	content ratio of coresones(%)	22.7

Table 2. Corestone distribution analysis for WS-02.

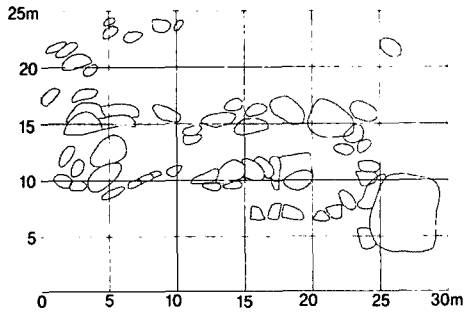
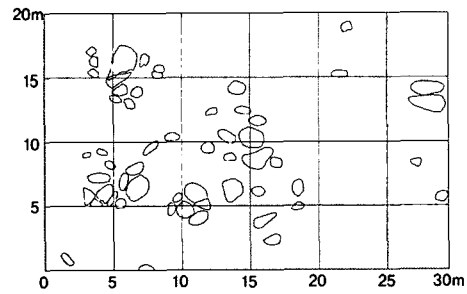
Corestone distribution map	survey area	750m^2 (30 m×25 m)
	number of corestone	70
	maximum size(m)	4.87×4.08
	minimum size(m)	0.45×0.30
	corestone area(m^2)	100.1 m^2
	content ratio of coresones(%)	13.3%

Table 3. Corestone distribution analysis for WS-03.

Corestone distribution map	survey area	600m^2 (30 m×20 m)
	number of corestone	56
	maximum size(m)	4.10×2.05
	minimum size(m)	0.40×0.39
	corestone area(m^2)	44.83
	content ratio of coresones(%)	7.47

분포도를 지니며 분포하고 있고, 핵석의 평균크기 1.51 m×0.97 m, 최대크기 4.87 m×4.08 m, 최소크기 0.45 m×0.30 m이고, 신장률은 1.63, 편평도는 0.33 으로 반원형에 가까운 타원형을 이루며 나타나고 있다. WS-03지역의 핵석의 평면분포도는 7.47%이고, 평균크기 1.14 m×0.73 m, 최대크기 4.10 m×2.05 m, 최소크기 0.40 m×0.39 m로, 신장률 1.62, 편평도 0.31로 반원형에 가까운 타원형을 이루고 있다.

따라서, 평면적인 분포양상을 분석한 결과, 풍화대에서의 핵석의 평면분포도는 7.47~22.7%로 풍화토 구간은 대략 20%이하의 비율로 핵석이 분포할 것으로 추정할 수 있다. 풍화암은 풍화토에 비해 핵석의 함량이 높을 것으로 추정되어 대략 20~30% 정도의 분포도를 가질 것으로 예상되어진다.

지하에서의 핵석분포 양상을 파악하기 위하여 조사지역부근에 있는 6개의 시추공 자료를 활용하였다. 시추코어에서 신선한 암석이 관찰되다가 급격하게 풍화암이 관찰되던지 혹은 코아의 손실이 발생한 경우 핵석구조로 판단하여 분석하였다. 그 결과 풍화대에서의 핵석 크기는 1.0 m~4.0 m 사이의 범위에서 나타나고 있다. 이는 조사창 기법을 이용한 조사에서 분석한 지표면에 노출된 핵석의 크기와 같은 범위에 속하고 있다.

실내실험

실험실에서 직접전단실험 및 일축압축실험을 실시하기 위하여, 야외 조사시에 얻은 핵석의 크기 및 핵석의 함유량을 바탕으로 실험실에서 축소된 모형으로 실험을 실시하였다.

실험 용 핵석 시료

핵석모형을 제작하기 위하여 이수곤외(2003)이 사용하였던 것과 유사한 방법으로 모형실험에 쓰이는 핵석시료를 제작하였다. 즉, 현장에서 핵석을 채취하여 분쇄한 후, 자연상태의 핵석과 유사한 모양으로 성형하기 위하여 LosAngeles 연마기에서 분쇄 및 연마를 시켰다(Fig. 5). 현장 조사시에 측정된 핵석 표면적 분포비 및 핵석 크기와 실험시편 (NX-size 공시체)을 바탕으로 산

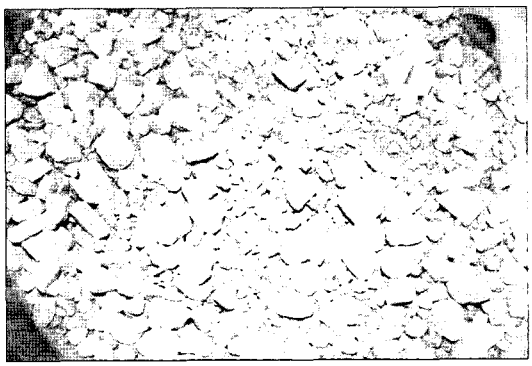


Fig. 5. Crushed corestones by LosAngeles Abrasion Tester.

Table 4. Estimation of scale reduction ratio.

window survey area	surface of specimen	scale reduction ratio
750 m^2	19.625 cm^2	2.62E-06

Table 5. Estimation of corestone size in scale model test.

surveysite	corestone size *in situ* (m^2)		corestone surface for test (m^2)	long axis of corestone for test (cm)
WS-01	max	14.28	3.74E-05	0.44
	min	0.228	5.97E-07	0.06
	avg	2.162	5.66E-06	0.17
WS-02	max	19.87	5.20E-05	0.52
	min	0.135	3.53E-07	0.04
	avg	1.465	3.83E-06	0.14
WS-03	max	8.405	2.20E-05	0.34
	min	0.156	4.08E-07	0.05
	avg	0.832	2.18E-06	0.11

정된 축소율에 따라 실험시편에 함유될 분쇄된 핵석은 체분석을 이용하여 알맞은 크기를 선택하였다.

즉, 축소율을 산정하기 위하여, 실내실험 모형크기인 NX-size의 표면적와 야외조사시의 조사창 면적 750 m^2을 고려하면 Table 4에 나타난 바와 같이 면적에 의한 축소율은 2.62×10^{-6}이 된다.

따라서, 연구지역의 핵석 분포도가 7~22%, 핵석의 평균크기는 1~2 m^2, 최대 및 최소 핵석의 크기는 각기 8~20 m^2, 0.14~0.23 m^2 이므로, 상기에서 산정된 면적 축소율로 모형실험에 사용될 핵석의 면적 크기를 계산할 수 있다.

그런데, 체분석에 의한 시료의 분류는 면적보다는 시료의 길이에 많이 좌우된다. 야외에서 관찰된 현장 핵석은 평균 신장률이 1.65인 타원형이므로, 이를 바탕으로 모형실험에 사용될 핵석의 장축을 계산하면 0.04 cm~0.52 cm 가 된다(Table 5).

실내모형실험에서는 최대길이가 5 mm 이고, 평균 길이가 2 mm 인 분쇄 시료를 모형 핵석으로 사용하여 실험을 실시하였다.

핵석 토양 전단 실험

실험실에서 직접전단실험을 하기 위하여, 현장 조사에서 얻은 핵석 크기 및 핵석 함유비를 토대로 실험실에서 축소된 모형으로 실험을 실시하였다. 핵석크기는 상기에서 기술된 석고모형에 사용된 핵석시료를 사용하였다. 토양은 현장에서 직접 채취하여 현장의 토양 함수비를 유지하도록 하였고, 핵석의 함유비를 0%, 10%,

20% 로 달리하면서 실험을 실시하여 그 결과를 비교하였다(Fig. 6. Fig. 7).

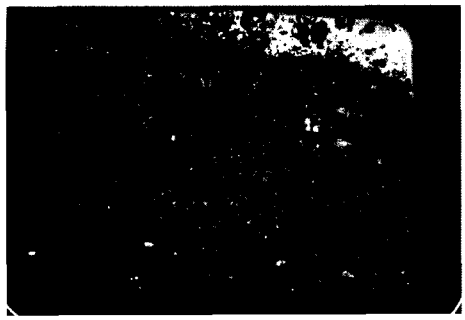


Fig. 6. Soil specimens with 10% corestone content.

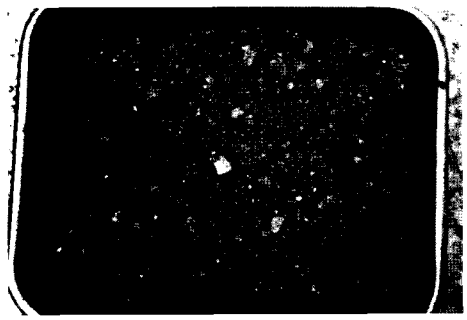


Fig. 7. Soil specimens with 20% corestone content.

또한 전단 실험시 토양시료의 밀도를 일정범위로 유지시켰으며(Table 8), 각 토양시료에 대하여 서로 다른 세 가지의 수직압력으로 구속하면서 그 결과를 비교할 수 있게 하였다.

Table 6의 실험 결과가 보여주듯이, 풍화토 시료의 핵석 함유량이 증가함에 따라 전단강도도 증가하였다.

대체적인 마찰각 및 점착력의 변화를 살펴보면, 핵석을 함유하지 않은 현장 함수비를 지닌 풍화토 시료의 마찰각은 대략 30°, 점착력은 20 kPa로 측정되었다. 실험의 정확도 및 해석시의 오차를 고려하면, 핵석 함유가 10% 일 경우 마찰각은 39°, 점착력은 12 kPa, 핵석 함유비가 20% 일 경우는 마찰각이 대략 37°, 점착력은 24 kPa로 10% 함유비의 전단실험 결과와 비교하여 마찰각이 약간 감소하였으나 점착력이 대폭 증가하여 전체적인 전단강도의 상승을 유발하였다. 핵석으로만 구성된 시료의 마찰각은 미약하지만 맞물림에 의한 점착력이 상대적으로 큰 값을 지닌다. 그러므로 핵석의 함유량이 어느 정도 증가하면, 본 연구에서는 20% 일 경우, 마찰각은 감소하고 함유되어 있는 핵석 입자들의 맞물림으로 인한 마찰각이 증가되는 핵석 물질의 전단 특성을 반영하고 있음을 관찰할 수 있다.

이는 이수곤외(2003)는 실내토양핵석모형실험을 통하여 핵석함유량의 증가는 마찰각의 증가를 유발한다는 결과와는 다른 결과를 나타내고 있다. 이는 입자의 원마도 및 크기 차이에서 기인한 결과로 사료된다.

Table 6. Direct shear test results for soil with corestones.

Core contents	Normal Stress (kPa)	Shear Stress (kPa)	Density (g/cm^3)	Friction angle (°)	Cohesion (kPa)
0%	40	41.0	2.25	29.9	21
	40	50.4	2.40		
	80	59.9	2.22		
	80	66.2	2.49		
	120	92.1	2.42		
	120	91.4	2.48		
10%	40	53.6	2.75	38.9	12
	40	37.8	2.78		
	80	69.4	2.84		
	80	75.7	2.76		
	120	113.5	2.79		
	120	107.2	2.81		
20%	40	63.1	2.90	36.8	24
	40	53.6	2.85		
	80	66.2	2.76		
	80	82.0	2.88		
	120	123.0	2.84		
	120	113.5	2.88		

실내 석고 모형 실험

상기에서 결정된 2차원적인 면적 함유비는 3차원에서도 동일한 체적비를 가진다고 가정하여 고강도의 석고와 분쇄-연마를 거친 핵석을 혼합하여 현장 조사시 측정된 핵석 함유면적비에 상응하는 체적비에 따라 석고모형을 제작하여 7일간의 양생한 후, 일축 및 삼축압축실험을 위하여 50 mm×100 mm의 원통형 공시체로 성형하였다(Fig. 8).

석고모형공시체에 대한 일축 및 삼축압축실험을 한 결과를 살펴보면, 핵석의 함유비가 증가하면 그에 따라 점착력 및 마찰각과 일축압축강도가 증가함을 알 수 있다. Table 7에 따르면, 핵석함유비가 증가하면 일축압축강도가 함유비가 10%일 경우 대략 20%로 그리고 20%일 경우 46%로 증가된 것이 측정되었다. Young's modulus 또한 핵석함유비가 10%일 경우 대략 15%증가되었고, 20%일 경우 30% 증가됨을 볼 수 있었으며, Poisson's ratio는 핵석함유비가 10% 일 경우 17%의 증가를 보이다가 체적비가20%일 경우에는 거의 변화가 보이지 않음을 볼 수 있다.

석고모형에 대한 삼축압축실험 결과는 핵석함유비가 증가하면 점착력 및 마찰각이 증가함을 보여주고 있다(Table 8). 즉, 핵석함유비가 10%로 증가하면 점착력이 10% 증가하였고, 함유비가 20%일 경우 50% 증가하였다. 인장강도 실험값은 핵석함유비와는 관계없이 대략 2 MPa 내외의 값을 보였다.

삼축압축실험의 결과를 바탕으로 인장강도의 변화를 고려하면 Table 8에 나타난 바와 같이 핵석함유비가 증가하면 인장강도가 증가함을 알 수 있다. 핵석함유비가 10%일 경우, 인장강도는 대략 2%의 증가를 보이고, 함유비가 20%일 경우에는 20%의 증가를 보인다.

석고모형실험에 의한 핵석 지반의 강도 정수 산정

석고모형실험은 핵석을 함유한 지반의 특성을 핵석 함유비에 따라 모형을 만들어 실험을 한 것으로 이 결과를 직접적으로 현장에 적용할 수 없다. 본 모형실험에서 나온 결과는 Table 10에 있는 현장 풍화토 및 풍화암의 여러 지반공학적 특성과 비교한 후, 현장에 적용할 수 있다.

연구지역의 지반의 교란되지 않은 풍화암에 대하여 실시된 기존의 실험은 연구지역의 풍화암은 점착력이 90 kPa 정도, 내부마찰각이 42° 임을 보여 주고 있다.

다음의 식(1)에 상기 물성 값을 대입하면 현장의 풍화암의 일축압축강도는 대략 400 kPa의 값을 가지게 된다.

$$UCS = 2c\tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right) \quad (1)$$

c : 점착력, ϕ : 마찰각

따라서, 풍화암의 현장 실험 결과와 기타 실내실험 결

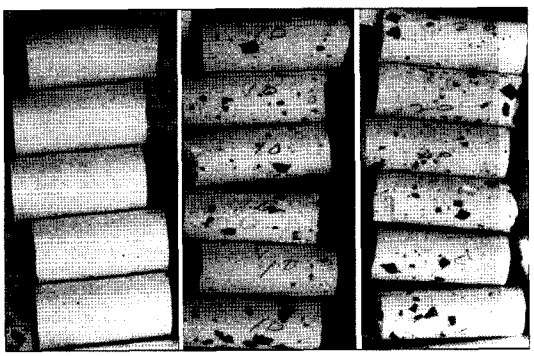


Fig. 8. Specimens for model test with corestone content ratio 0%, 10%, 20%.

Table 7. UCS(Uniaxial compressive strength) of scale models with different corestone content ratios.

content ratio	UCS (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio
0%	15	4.8	0.23
10%	18	5.5	0.19
20%	22	6.3	0.18

Table 8. Triaxial compressive test results.

content ratio	cohesion (MPa)	friction angle (°)	tensile stress (MPa)
0%	3.24	36	-2.5
10%	3.64	37	-2.6
20%	4.87	39	-3.1

Table 9. S-PS logging results on survey sites.

구 분	V_p (m/s)	V_s (m/s)	g_d (g/cm^3)	u_d	E_d (GPa)
alluvium	1513	595	1.700	0.408	1.73
weathered residual soil	1641-1793	595-767	1.950	0.391	1.96-3.32
weathered rock	1893-2008	804-902	2.04-2.080	0.375	3.75-4.87
soft rock	2498-2544	1240-1252	2.170	0.338	9.25-9.37

**Vp : P-wave velocity, Vs : S-wave velocity, gd : dynamic density, ud : dynamic Poisson's ratio, Ed : dynamic Young's modulus

Table 10. Estimation of engineering properties of in situ weathered rock with different corestone content ratio.

Corestones content ratio	E_d (GPa)	u_d	UCS (MPa)	Tensile stress (MPa)	density (g/cm^3)
0%	2.0-3.0	0.38-0.40	0.4	0.1	in situ: 2.06-2.17 dry : 1.80-2.9
10%	2.30-3.45	0.44-0.47	4.8	0.1	in situ: 2.15-2.25 dry : 1.92-2.01
20%	2.62-3.93	0.44-0.47	5.84	0.12	in situ: 2.25-2.34 dry : 2.04-2.12

과는 실내모형실험에서 구한 값과 비교하여 지반설계정수 값에 필요한 값을 제공할 수 있다(Table 11). 즉, 석고 모형 실험에서 얻은 핵석 함유비에 따른 일축압축강도 및 탄성계수 등의 증감률을 현장에서 얻은 지반정수와 비교하여 핵석 함유비에 따른 지반정수를 산정할 수 있다. Table 11에 나타난 바와 같이 핵석을 포함하지 않는 matrix의 물성을 구하기 위하여, 불교란 시료에 대한 삼축압축실험 결과에서 구하여진 점착력과 내부마찰각으로 일축압축강도 및 인장강도를 계산하였으며, SP 검층에서 측정된 탄성파속도를 이용하여 Dynamic Young's modulus와 Dynamic Poisson's ratio를 계산하여 탄성계수를 산정하였다. 그리고, 실내모형실험에서 구한 핵석 함유량에 따른 일축압축강도, 탄성계수, 인장강도 등의 증감율을 가산하여 핵석 함유비에 따른 현장에서의 핵석지반의 물성을 예측하였다.

연구지역의 핵석분포지역을 대상으로 지표에 노출된 핵석지형을 조사창기법을 통하여 핵석분포비율과 핵석의 크기 등을 조사하였으며, 시추를 통한 추가적인 지하에서의 핵석 분포 및 크기를 확인하였다.

핵석의 평면적 분포 분석 결과, 풍화대의 핵석 함유비는 7%~25% 정도로 추정이 되었다.

풍화암구간은 풍화토구간에 비해 핵석의 크기가 커서 기반암으로 오인하기 쉬우나 풍화대의 간격은 넓어 구조물 설치시 하부 풍화대로 인해 지반의 침하가능성이 있으므로 주의를 기울여야 할 것이다.

반면, 연암구간은 핵석의 규모가 상대적으로 크며 풍화대의 간격이 좁아 지반의 침하가능성이 낮을 것으로 사료되어진다.

직접전단실험에서는 핵석의 증가로 인하여 전단강도의 증가를 보여주고 있는데, 핵석 함유비가 20%일 경우는 점착력의 증가가 전단강도의 상승을 유발하는 것으로 관찰되었다.

핵석지반의 실내모형실험을 위하여 석고모형실험과 핵석함유 토양의 직접전단실험을 통하여 실험실에서 핵석함유비에 따른 물성치의 변화를 관찰하였다. 즉, 석고모형실험에서는 핵석 함유비가 증가할수록 일축압축강도 및 Young's modulus는 증가하고 Poisson's ratio는 감소하는 경향을 보여주었다.

그런데, 석고모형실험에서는 석고를 matrix로 사용하였고 분쇄된 핵석을 모형핵석으로 사용하였기 때문에, 실내실험결과를 현장 지반에 적용함에 있어서 많은 어려움이 따른다. 따라서, 석고모형실험에서 구한 핵석 함유비에 따른 물성치의 변화율과 현장 실험값들을 비교하여 핵석지반 물성을 예측하였다. 즉, 측정된 점착력 및 마찰각이 Mohr-Coulomb 파괴이론을 만족한다는 가정하에, 토양의 일축 및 인장강도를 구하여 핵석 함유비에 따른 변화율을 계산하였다. 핵석이 0%에서 10% 증가하게 되면 일축압축강도는 대략 18% 증가하게 되고, 핵석이 20%로 증가하면 30%의 일축압축강도 증가가 되는 것으로 예측이 되었다.

인장강도의 경우는 토양 직접전단실험의 결과에서 계산된 인장강도 변화율을 적용하여, 핵석 함유비가 10%로 증가하면 함유된 핵석에 의하여 인장강도가 감소하였고, 핵석이 20%로 증가하면 핵석을 함유하지 않는 토양의 인장강도와 유사한 값을 지니는 경향을 지니게 된다.

본 연구에서는 원 지반의 물성치를 현장 원위치 시험 및 실내역학시험에서 구하여 핵석이 포함된 실내모형실험을 통하여 현장에서의 핵석 함유율에 따른 지반 강도값의 변화를 예측할 수 있었다. 그러나, 현장에서 핵석의 분포는 핵석과 그 주변 풍화대에 대한 차별적 침식과 풍화작용에 의하여 사면과 같은 곳에서는 핵석이 주위 풍화대로부터 분리되어 낙석이 발생하는 위험성을 내포하고 있다. 또한 연약지반에서의 터널 굴착 또한 터널 천반부나 측벽에서 핵석 이탈에 의하여 안정성에 위협을 받을 수 있으므로 현장에서 구조물 건설 시에는 각별한 주의가 요망되어진다.

사 사

본 연구는 주)지오스캔의 자료 제공 및 연구비지원에 의하여 수행되었기에 감사드립니다.

참 고 문 헌

이수곤, 김동은, 황의성, 2003, 실내실험을 통한 핵석지반의 강도정수 산정연구, 한국지반공학회, 2003 봄 학술발표회, pp. 95-102.

Hencher, S. R., McNicholl, D. P., 1995, Engineering in weathered rock, Quarterly Journal of Engineerng Geology, 28, pp. 253-266.

Fookes, P. G., Dearman, W. R., Frankin, J. A., 1971, Some engineering aspects of rock weathering with field examples from Dartmoor and elsewhere, Quarterly Journal of Engineering Geology, 4, pp. 139-185.

ISRM, 1981, ISRM suggested method: rock characterization, testing and monitoring, London.

Linton, D. L., 1955, The problem of tors. Geo. Jl., 121, pp. 470-487.

Lindquist, E. S., Goodman, R. E., 1994, The strength and deformation properties of the physical model melange, Proceedings of the First North American Rock Mechanics Conference (NARMS), Austin, Texas.

Medley, E., 1994, Using stereologic methods to estimate the block volumetric proportion in melange, similar block-in-matrix rocks (bimrocks), Proceedings of the Seventh Congress of the International Association of Engineering Geology, Lisbon, Portugal.

Medley, E., Goodman, R. E., 1994, Estimating the block volumetric portion of melanges and similar block-in-matrix rocks (bimrocks), Proceedings of the First North American Rock Mechanics Coference (NARMS), Austin, Texas.

Sonmez, H., Tuncay, E., Gokceoglu C., 2004, Models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for Ankara Agglomerate, International Journal of Rock Mecanics & Mining Sciences, 41, pp. 717-729.

2007년 8월 4일 원고접수, 2007년 9월 14일 게재승인

우 익

군산대학교 해양과학대학 해양시스템공학전공

573-701 전라북도 군산시 미룡동 산68번지

Tel: 063-469-1863

Fax: 063-463-9493

E-mail: woo@kunsan.ac.kr