



## 풍화도와 포화도에 따른 화강토의 역학적 특성

### Mechanical Characteristics of Weathered Granite Soils for Degree of Weathering and Saturation

임성윤\* · 송창섭\*\* · 김명환\*<sup>†</sup>

Seongyoon Lim · Changseob Song · Myeonghwan Kim

#### Abstract

The object of this paper is to study the shear characteristics of the weathered granite soil. To this end, a series of consolidated undrained triaxial compression tests are carried out to investigate the shear parameters-cohesion and internal friction angle-for the degree of saturation and degree of weathering.

From the results, it is found that the shear parameters of weathered granite soil are influenced on the degree of saturation, degree of weathering and disturbance. Especially, internal friction angle is more influenced on the upper factors than cohesion. And shear parameters are more acted on the degree of saturation than the degree of weathering in the test range. It is, therefore, recommended that must be considered the conditions of granite soil- degree of saturation, degree of weathering and disturbance etc-in case of the calculation of bearing capacity, stability analysis and other designs with shear parameters.

**Keywords:** Degree of weathering, Degree of saturation, Shear strength

#### 1. 서론

화강토는 화강암 또는 화강편마암 등이 원지반에서 물리적, 화학적 풍화작용을 받아 풍화되어 잔적된 흙으로서, 주된 조암광물은 석영, 장석, 운모와 기타 유색광물 등이다. 채취장소 및 심도에 따라 광물의 구성성분비와 풍화도가 달라진다. 지리적 조건에 따라서도 물리적, 공학적 성질이 매우 다양하여 모암의 성질을 띠는 것에서부터 사질토와 점성토의 중간성질을 나타내는 화강토가 있는 반면, 풍화가 상당히 진행된 것은 점토에 가까운 성질을 보이기도 한다. 또한, 일반 흙과는 달리 입자의 파쇄성이 커서 도로의 노반에 사용되었을 때, 자중, 충격 및 교통하중에 의하여 내구성이 저하되어 안전상의 문제점을 보이기도 한다. 불포화 상태에서는 외관상 단단해 보이고 수직에 가까운 사면도 유지될 수 있으나, 강우 등에 의하여 물과 접촉하게 되면 강도가 현저하게 감소하여 쉽게 붕괴되고, 계속 진행되면 산사태까지도 유발시킬 수 있는 잠재

적 문제성을 지니고 있다. 또, 화강토는 공학적 분류상 한 종류로 분류되지 못하고 풍화도 등에 따라 공학적 분류가 달라지며, 안전성에 많은 문제점을 내포하고 있기 때문에 특수토로 간주되고 있다.

화강토는 우리나라 전역에 분포되어 있으며, 함수상태와 풍화정도에 따라 특성이 다르게 나타난다. 또한, 조성상태와 지역적인 조건 등에 따라서도 그 특성이 달라지므로 화강토에 대한 연구는 오래 전부터 이루어졌으며, 현재에도 계속 진행되고 있다.

화강토의 투수계수가 최적함수비의 건조측에서 저하되기 시작하여 최적함수비에 약간 못 미치는 습윤측에서 최소가 되었고 그 이후에는 다시 증가한다고 하였으며 (Do, 1979), 1970년대에 걸쳐 광주지역 화강토를 대상으로 물리적 특성 및 다짐, 압축 전단특성에 대해 고찰하였으며, 파쇄효과는 최적함수비 부근에서 크게 작용한다고 하였고, 다짐에 의한 파쇄성이 가장 크다고 하였다 (Park, 1974).

화강토는 지하수위 이하에서는 전단강도가 급격히 저하되기 때문에 지지력은 대단히 작아지고 함수비가 20%일 때의 전단강도는 함수비가 8%일 때 보다 약 1/4로 저하하며, 지지력과 기초의 크기는 상관이 없으며 침하에 대하여는 점성토와 사질토의 중간성질을 가진다고 하였다 (Lim, 1974).

화강토는 불포화시에는 점착력을 나타내지만 완전히 포화시에는 점착력이 0에 가까워진다고 했으며 전단저항각이 높은 것은 토립자의 모양에 주된 원인이 있다고 하였다 (Lumb,

\* Dept. of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

\*\* Dept. of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

† Corresponding author

Tel.: +81-43-261-2572 Fax: +81-43-271-5922

E-mail: mhkim3306@cbnu.ac.kr

Received: May 7, 2015

Revised: May 13, 2015

Accepted: May 18, 2015

1962).

불교란 화강토의 CU시험은 고구속압에서는 변형율-연화 거동을 보이며, 저구속압에서는 변형율-경화일정거동을 보인다고 했으며, 고구속압에서는 전형적인 정규압밀점토와 같은 거동을 보이고 저구속압에서는 과압밀 점토와 같은 거동특성을 보인다고 하였다. 또한 불교란 화강토와 다짐 화강토의 직접전단시험에 의한 전단정수는 각각 최대값이 전단변위에 따라 다르기 때문에 최대값만 합산하는 통상의 시험법에서는 점착력이 과대평가 되고 내부마찰각은 다소 과소평가 되는 경향이 있다고 하였다. 포화도에 따른 강도변화는 포화도가 100%에 근접시 불교란 및 교란 시료의 강도차이가 미비하나 포화도가 낮아질수록 교란시료가 불교란 시료에 비하여 강도가 1/2까지 감소한다고 발표하였다 (Lee, 1998).

풍화토는 광물조성과 풍화도에 따른 파쇄성과 수분영향의 정도를 밝히고, 단입자 강도에 의한 압축특성에 대해 조사하여 입자에 따라 강도가 달라지며, 수침에 의한 함수상태에 따라 압축성이 변화한다고 하였다 (Ham, 2004).

풍화토의 풍화도에 따른 다짐시 입자파쇄 결과는 최적함수비 부근에서 입자파쇄가 최대치를 보였고 풍화가 진행됨에 따라서 비표면적 증분비가 감소하는 것으로 보아 풍화지수가 높을수록 입자파쇄에 둔감한 것으로 나타난다고 하였다 (Lee et al., 2013).

따라서, 화강토는 성인, 조성상태, 풍화도, 함수상태, 교란 정도 등에 의하여 압축특성이 다르기 때문에 각각의 요인이 강도에 미치는 영향을 파악하여, 설계 및 시공시 이에 대한 검토를 선행 할 필요가 있다.

본 연구에서는 화강토의 포화도에 따른 변화와 풍화정도에 따른 역학적 특성을 분석하였다. 교란 및 불교란 화강토의 포화도 및 풍화도에 따른 전단특성을 분석하여 화강토를 사용한 구조물의 안정성, 기초지반의 지지력 및 절성토 사면 안정계산에 적용할 수 있는 전단상수를 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 실험방법

### 1. 재료

풍화도에 따른 전단특성을 규명하기 위하여 풍화정도가 다른 세 지역의 시료를 채취하였다. A시료는 깊이 2m에서 채취하였으며, 밝은 빛을 띠며 표면에 흑운모 성분이 많았으며, 손으로 만지면 쉽게 부스러지고 불규칙한 질리로 인하여 물과 접촉시 쉽게 붕괴하는 성질을 보였으며, 풍화도 2.9%로 중풍화의 흙인 것으로 나타났다. B시료는 풍화도 8.1%로 강풍화로 진행된 시료로 A 시료와 유사한 특징을 보였다. C시

Table 1 Physical properties of samples used

Samples	Li (%)	Gs	Grain size distribution (%)				USCS
			No.4	No.10	No.40	No.200	
A	2,9	2,61	100	99,9	82,0	42,8	SM
B	8,1	2,70	99,7	98,8	76,8	32,7	SM
C	10,7	2,70	100	100	98,9	70,2	ML

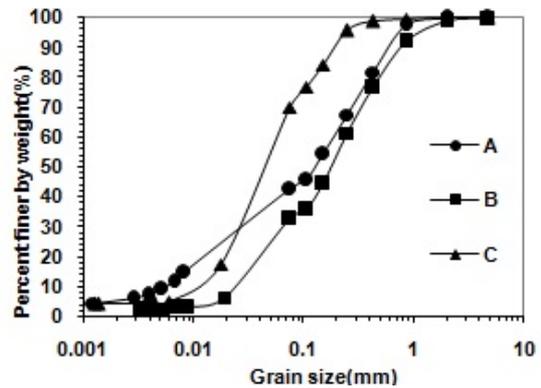


Fig. 1 Grain size distribution curves

료는 심도 8m에서 채취하였으며, 연갈색을 띠고 입자가 상당히 가늘고 풍화도 10.7%로 강풍화된 시료인 것으로 나타났다.

A와 B시료는 #200 통과량이 50% 이하로 통일분류법상 SM이며, C 시료는 #200 통과량이 50% 이상으로 통일분류법상 ML인 것으로 나타났다.

강열감량과 풍화도의 관계는 미풍화 (<2%), 중풍화 (2~4%), 강풍화 (>4%)로 구분이 가능하며, 본 시험에서 사용된 시료는 A의 경우 중풍화, B와 C 시료는 강풍화로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 표층의 풍화도가 일반적인 경향과 다르게 나타나고 있는데, 풍화토의 생성과정상 물리적·화학적 풍화로 인한 분해와 변질에 의한 외부작용보다는 유기질 및 동식물과 같은 생물학적 원인에 의해 풍화도가 심도가 깊어짐에 따라 크게 나타난 것으로 사료된다.

물리적 및 역학적 특성은 Table 1과 같으며, 사용된 흙의 입도분포는 Fig. 1과 같다.

### 2. 시험방법

#### 가. 불교란 시료

불교란 화강토의 시료채취 방법에는 채취지반을 동결시키거나, 가능한 교란의 조건을 피하기 위해 처음부터 큰 블록으로 잘라내는 방법과 못을 이용한 채취방법 등이 주로 사용되고 있다.

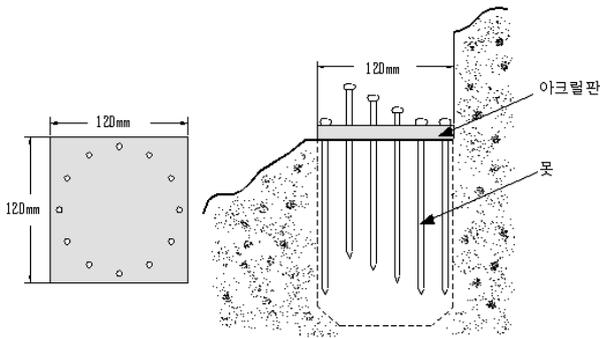


Fig. 2 Sampler of undisturbed sample



Photo 1 Trimming process of undisturbed samples

본 연구에서는 못을 이용한 방법과 큰 블록으로 채취하는 두 가지 방법을 병용하였으며, 두께 약 10 mm의 아크릴판 (120×120 mm)과 못을 이용하였다. 시료채취 후의 시료의 직경이 100 mm 이상이 될 수 있도록 아크릴판에 구멍을 내고 못 (길이:140 mm, 직경:5 mm)을 정적으로 관입 시킨 후 채취한 즉시 랩으로 봉하여 함수비의 변화를 방지하였다. 이를 실험실로 반입한 후 핸드 트리밍법을 이용하여 성형하였다. Fig. 2는 불교란 시료의 채취 모식도이다.

실험실로 반입한 시료는 주의하여 못을 제거하고 줄톱으로 조심스럽게 삼축시험용 공시체 크기 (D=35 mm, H=70 mm)에 맞도록 트리밍하였다. Photo 1은 불교란 화강토의 공시체 제작 모습을 보인 것이다.

#### 나. 교란 시료

교란 시료는 공시체의 제작 방법에 따라 최대응력의 크기가 변화하며, 다짐방법에 따라 밀도가 달라진다고 하였다 (Day, 1989).

따라서, 본 실험에서는 각 시료의 자연 함수비와 불교란 시료의 단위중량과 동일한 조건으로 제작하였다. 교란시료는 건조로에서 건조한 시료를 계량하여 불교란 시료와 동일한

함수비에 달하는 물을 가수하면서 혼합하고, 습포를 덮어 약 30분가량 방치한 후 몰드에 3층으로 나누어 넣고 정압을 가하여 불교란 시료의 건조단위 중량과 동일하게 제작하였다. 각 시료의 자연함수비는 A 시료 12.3 %, B 시료 16.8 %, C 시료 23.4 %이며, 단위중량은 A 시료 18.1 kN/m<sup>3</sup>, B 시료 17.5 kN/m<sup>3</sup>, C 시료 16.9 kN/m<sup>3</sup>의 상태로 제작하였다.

제작된 공시체는 25 ~ 26℃로 유지한 실내에서 포화도를 조절하였다.

#### 다. 강열감량시험

화강토의 포화도를 판정하는 방법으로는 강열감량법을 실시하였으며, 자연상태 시료를 노건조하여 분쇄 후 No.10체 (2 mm이하) 통과시료를 사용하였다.

통과시료를 다시 건조로에서 105 ℃로 항온이 될 때 (약 24 시간)까지 가열한 뒤 전기로에서 800 ℃상태로 3시간 동안 강열하였으며, 50 ℃ 이하로 전기로 내에서 방치 후 데시케이터에서 상온과 같은 상태일 때의 무게를 측정하였다.

#### 라. 삼축압축시험

불교란 시료와 교란시료의 공시체는 정적 다짐을 실시하여 제작 후 구속압력과 배압을 가하여 포화를 유도한 CU 시험을 실시하였다.

공시체의 전단시 재하장치의 전단속도는 2 mm/min (0.03 %/min)으로 하였고, 구속압 단계는 10 kPa, 20 kPa, 40 kPa로 하였다.

##### 1) 포화방법

공시체의 포화는 배압을 주는 방법과 진공압을 가하는 방법을 병행하여 사용하였다. 포화도는 간극수압계수 (B)를 측정하여 0.97이상이면 포화된 것으로 간주하였다.

##### 2) 포화도 조절

포화도의 조절법에는 공시체 제작시 시험상 요구되는 포화도의 일정 단위중량과 함수비로 제작하는 방법과 일정한 건조단위중량과 함수비로 제작 후 원하는 포화도가 될 수 있도록 일정한 시간을 두고 건조시키는 방법이 있으며 본 연구에서는 후자를 택하였다.

불교란 시료의 함수비 상태로 공시체를 제작한 후 포화도 100 %로 조절할 공시체를 삼축셀에 정치한 후 포화를 유도했으며, 공시체 제작시보다 낮은 포화도가 요구되는 공시체는 항온건조실에서 온도를 25~26 ℃로 유지시키고 부피와 무게를 측정하여 포화도를 확인 후 시험을 실시하였다. Fig. 3은 건조시간에 따른 성형 공시체의 포화도 변화를 나타낸

것이다.

조립의 불교란 공시체는 아무리 주의하여 트리밍을 한다면 특성상 지름이 불규칙하게 되므로 이를 보완하기 위하여 지름 측정 시 상부에서 하부까지 9회 측정하여 평균값을 사용하였다.

포화도가 공시체 제작시보다 높고 100 % 이하일 때는 미세한 수분입자의 분무가 가능한 분무기를 이용하여, 특히 공

시체 중심부위를 중심으로 분무하여 포화도를 조절한 후 시험을 실시하였다.

### 3) 실험 방법

삼축압축시험은 공시체의 설정 포화도에 도달하면 삼축셀에 설치하여, 축압을 가하여 등방압밀시킨 후 압밀 비배수 삼축압축 시험을 수행하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 응력-변형을 특성

Fig. 4는 A시료의 포화도가 35 %일 때, Fig. 5는 A시료의 포화도가 100 %일 때의 교란 및 불교란 공시체에 대한 축차 응력-변형을 곡선을 도시한 것이다.

불교란 시료와 교란시료는 축차응력이 증가함에 따라 간극비가 점차 감소하는 체적변화를 보이고 있다.

축차응력은 전체적으로 불교란 시료가 교란 시료보다 크게 나타났으며, 교란시료의 경우, 이미 공시체의 제작과정에

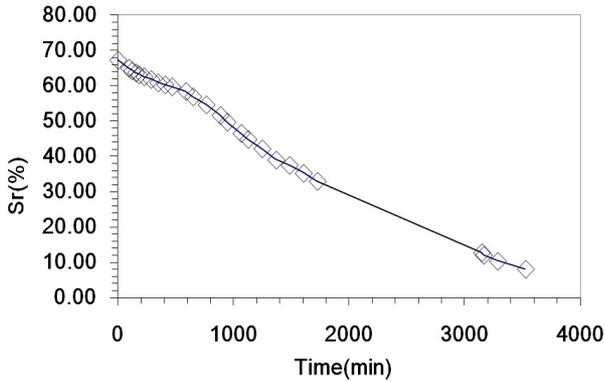
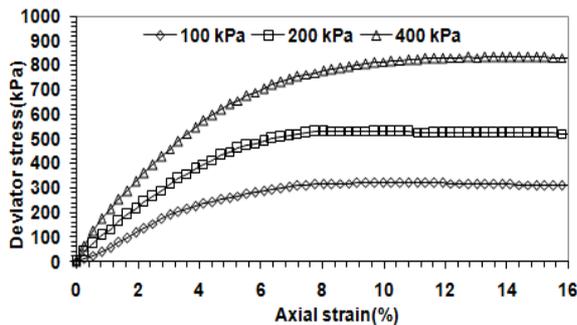
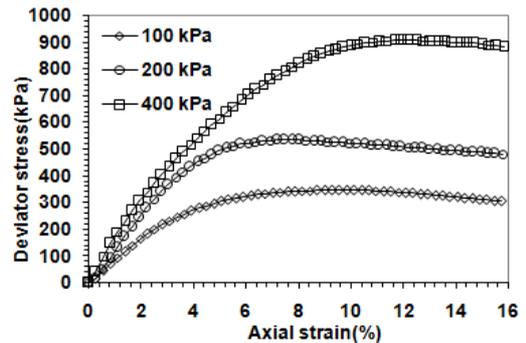


Fig. 3 Relationship of degree of saturation and time

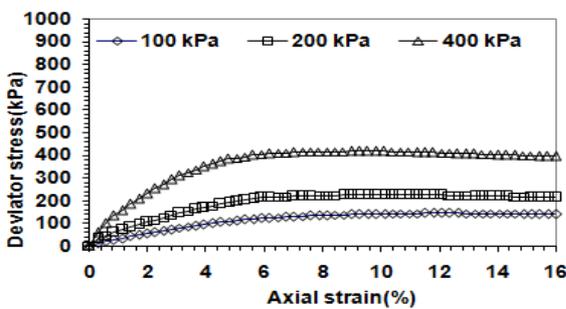


(a) Disturbed

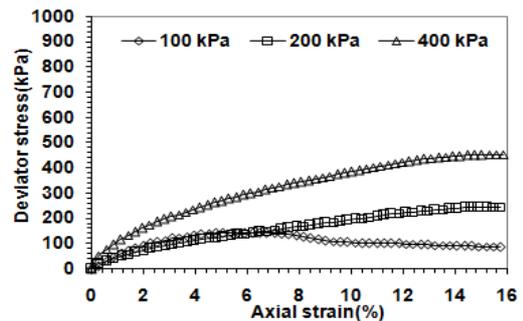


(b) Undisturbed

Fig. 4 Saturation degree of 35 % on the sample A



(a) Disturbed



(b) Undisturbed

Fig. 5 Saturation degree of 100 % on the sample A

서 입자가 파쇄되어 입자의 크기가 미세해졌기 때문에 사료된다. 이러한 현상은 풍화도가 다른 시료에서도 같은 경향을 나타내었다.

2. 화강토의 전단상수

삼축압축시험 결과에서 도출된 각각의 구속응력에 대한 최대축차응력을 사용하여 Mohr 응력원으로부터 점착력과

Table 2 Cohesion and internal friction angle

samples		C (kPa)	$\phi$ (deg.)	Li	
A	undisturbed	Sr = 35%	47.3	29.2	2.9%
		Sr = 65%	30.4	25.2	
		Sr = 100%	14.0	20.2	
	disturbed	Sr = 35%	69.6	26.0	
		Sr = 65%	36.6	22.4	
		Sr = 100%	17.8	18.1	
B	undisturbed	Sr = 35%	70.6	23.0	8.1%
		Sr = 65%	47.6	18.8	
		Sr = 100%	29.8	13.1	
	disturbed	Sr = 35%	78.1	19.0	
		Sr = 65%	55.6	15.8	
		Sr = 100%	34.6	10.6	
C	undisturbed	Sr = 35%	82.1	17.1	10.7%
		Sr = 65%	60.1	13.9	
		Sr = 100%	39.8	7.9	
	disturbed	Sr = 35%	90.6	14.5	
		Sr = 65%	69.2	10.6	
		Sr = 100%	43.7	5.6	

내부마찰각을 산정하여 Table 2에 정리하였다.

화강토의 점착력 및 마찰각은 풍화도가 낮아짐에 따라 증가함을 알 수 있다. 따라서, 전단상수를 이용한 전단강도, 지지력, 사면안정 등을 계산할 경우에는 반드시 화강토의 풍화도를 고려해야 할 것으로 사료된다.

Fig. 6은 C시료의 풍화도에 따른 교란 및 불교란 시료의 점착력과 내부마찰각을 Mohr 원으로 표현하여 비교한 것이다.

3. 풍화도에 따른 전단상수의 변화

가. 점착력

Fig. 7은 불교란 및 교란 시료의 풍화정도에 따른 점착력의 변화를 도시한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 많이 풍화된 흙일수록 점착력은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 시료의 풍화도가 감소함에 따라 점착력이 증가하는 것을 알 수 있다. 동일한 조건일 경우에는 교란시료가 불교란 시료에 비하여 점착력은 크게 나타난다.

풍화도에 따른 불교란 시료의 점착력과 파괴포락선의 기울기가 교란 시료보다 크게 나타나고 있으며, 이는 불교란 시료가 교란시료보다 풍화도의 영향을 더 받는다는 것을 의미한다. 이러한 현상은 불교란 시료의 풍화도가 낮을수록 더 크게 나타났다. 따라서, 전단상수를 사용하여 지반을 해석하는 경우에는 반드시 풍화도에 대한 검토가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

나. 내부마찰각

Fig. 8은 불교란 및 교란 시료의 풍화정도에 따른 내부마찰각의 변화를 도시한 것이다.

점착력 성분과는 반대로 풍화가 진행되면서 교란정도에

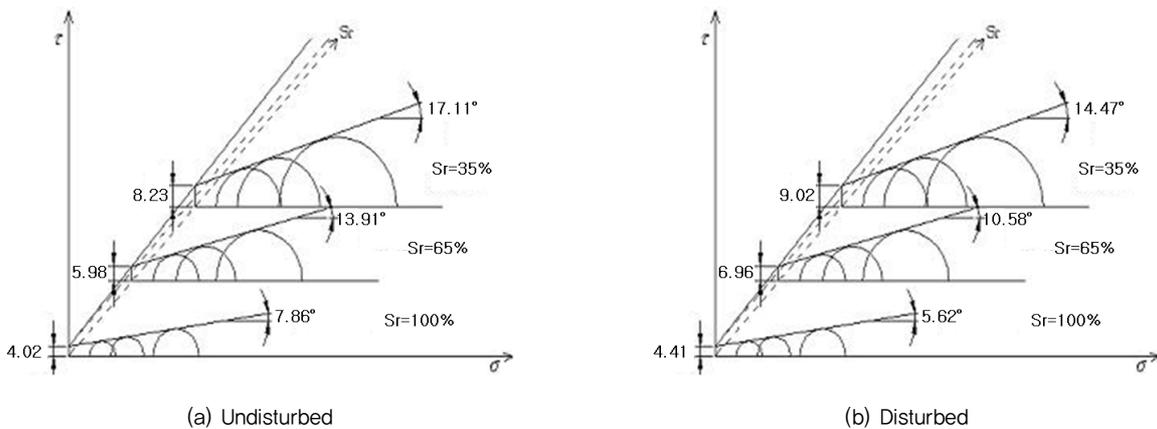


Fig. 6 Cohesion and internal friction angle on the sample C

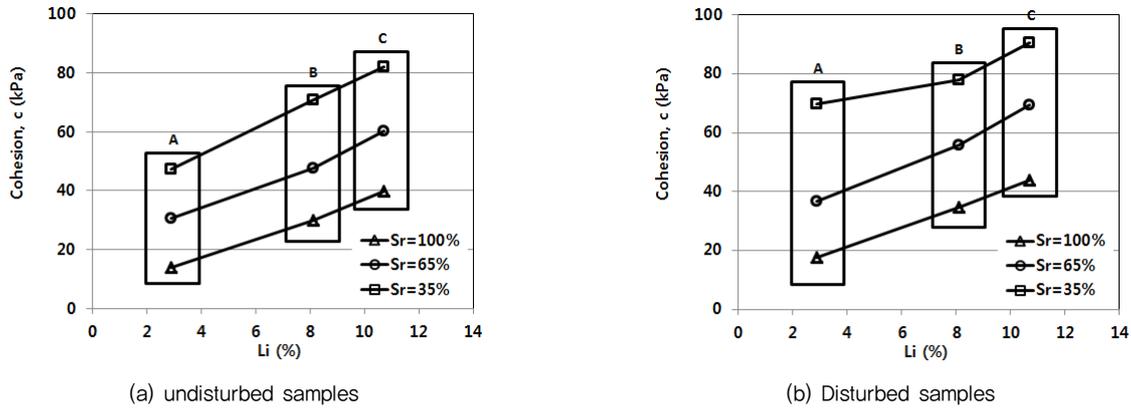


Fig. 7 Cohesion according to weathering on the sample

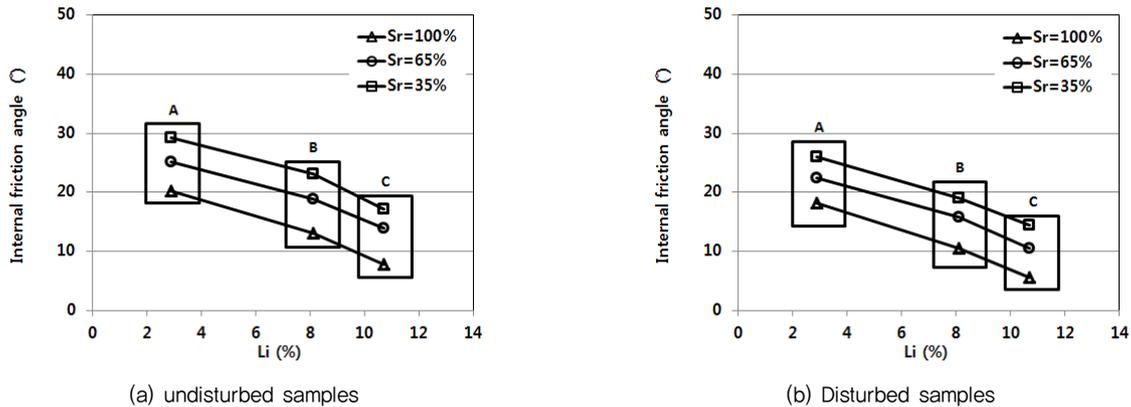


Fig. 8 Internal friction angle according to weathering

관계없이 내부 마찰각은 감소하는 것을 볼 수 있다. 마찬가지로 시료의 함수비가 증가함에 따라 급격하게 마찰각이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 교란시료와 불교란 시료의 경우에는 풍화도에 따라 거의 선형적으로 마찰각이 감소하는 것으로 나타났다. 풍화도에 대한 예민성은 교란시료의 기울기가 불교란 시료의 기울기보다 크게 나타나고 있으므로 점착력과는 반대의 경향을 보인다.

점착력과 내부마찰각의 변화가 서로 상반되게 나타나는 이유는 교란시료의 경우 공시체 제작 시 다짐에 인한 입자파쇄로 인하여 역학적 특성이 달라졌기 때문인 것으로 사료된다.

#### 4. 포화도에 따른 전단상수의 변화

##### 가. 점착력

Fig. 9는 교란 및 불교란 시료의 점착력을 포화도에 따라 도시한 것이다.

Fig. 9(a)는 강열감량값(Li)이 2.9%인 A 시료, Fig. 9(b)는 B 시료, Fig. 9(c)는 C 시료의 점착력 변화를 포화도에 따라 교

란 및 불교란 시료에 대하여 도시한 것이다.

교란된 흙보다 불교란 상태에 있는 화강토의 점착력이 작을 것이라는 것은 쉽게 예측할 수 있으며, 이를 실험으로 입증한 것이라 할 수 있다. 또한, 포화도의 증가에 따라 점착력은 감소하게 되는데, 이는 흙의 수분이 증가함에 따라 시료의 강도가 저하되기 때문으로 사료된다.

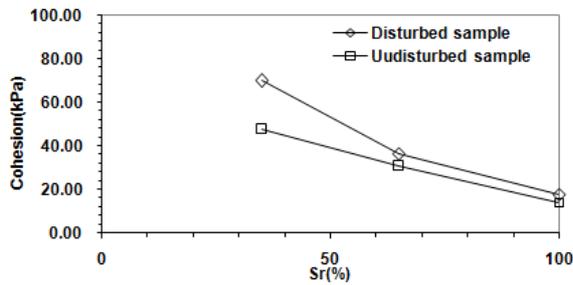
따라서, 전단상수를 이용한 지지력 또는 사면안정을 계산할 경우에는 강우나 강수 등의 상태를 반드시 고려하여 검토하여야 할 것이다.

##### 나. 내부마찰각

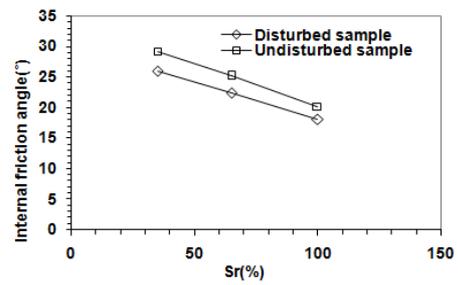
Fig. 10은 교란 및 불교란 시료의 내부마찰각을 포화도에 따라 도시한 것이다.

Fig. 10(a)는 A 시료의 내부마찰각 변화를 포화도에 따라 교란 및 불교란 시료에 대하여 도시한 것이며, Fig. 10(b)는 B 시료, Fig. 10(c)는 C 시료의 내부마찰각을 도시한 것이다.

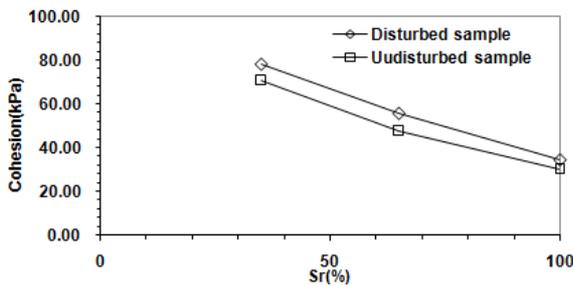
교란된 화강토는 입자간의 결합력 파괴와 입자의 재배열로 인하여 불교란 화강토의 마찰각이 클 것이라는 것은 쉽게



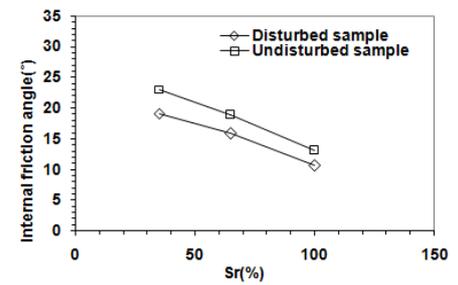
(a) Sample A



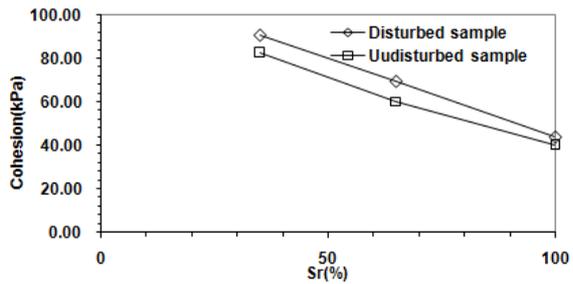
(a) Sample A



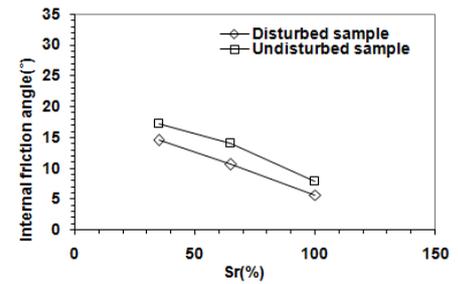
(b) Sample B



(b) Sample B



(c) Sample C



(c) Sample C

Fig. 9 Cohesion according to saturation degree

Fig. 10 Internal friction angle according to saturation degree

예측할 수 있다. 또한, 불교란 시료는 교란시료보다 포화도가 증가할수록 내부마찰각은 감소하게 되는데, 이는 흙 속의 수분증가에 따라 역물립 등 구조적 저항이 감소하고 입자를 피복한 수분이 윤활작용 등에 기인한 것으로 사료된다.

## VI. 결론

화강토의 포화도와 풍화도에 따른 전단특성을 규명하기 위하여, 충북지역의 풍화도가 서로 다른 세 곳의 시료를 채취하여 불교란 및 교란상태의 공시체를 제작하여 압밀 비배수 삼축압축시험을 수행하여 축차응력, 응력-변형률 곡선 및 점착력과 내부 마찰각 등 전단상수를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 불교란 시료의 축차응력은 교란 시료보다 높게 나타나는 데, 이는 화강토가 모암에서 풍화되어 잔적된 흙이기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다.
2. 불교란 시료의 응력-변형률 곡선은 저구속압 상태에서는 축차응력이 최대값을 보인 후 감소하는 현상을 보이나, 고구속압 상태에서는 응력-변형률이 일정거동을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 교란시료의 응력-변형률 곡선에서도 나타나는데, 이는 공시체의 제작과정에서 입자 파쇄 등의 영향으로 사료되며, 점착력과 내부마찰각의 크기에도 영향을 미치는 것으로 판단된다.
3. 화강토의 점착력은 풍화도에 따라 선형적으로 증가하며, 포화도에 따라서는 선형적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 교란 시료의 점착력이 불교란 시료보다 크게 나타났다. 또한, 점착력의 변화는 불교란 시료의 경우 풍화도, 교란 시

료인 경우 포화도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

4. 화강토의 내부 마찰각은 풍화도 및 포화도에 따라 선형적으로 감소하며, 불교란 시료의 내부 마찰각이 교란 시료의 내부 마찰각보다 크게 나타났다. 또한, 내부 마찰각의 변화는 불교란 시료인 경우 포화도, 교란 시료인 경우 풍화도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
5. 화강토의 전단특성은 포화도, 풍화도 및 교란상태에 따라서 크게 달라지고 있음을 실험을 통하여 입증하였다. 따라서, 화강토의 전단특성을 고려한 지지력 계산, 사면안정, 강도 등의 설계 또는 시공에서는 반드시 화강토가 분포하는 주변여건, 함수상태, 교란정도 등을 고려한 전단상수(점착력, 내부마찰각)를 산정하여 적용해야 할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

1. Do, D. H. and Y. M. Kang. 1979. A Study on Crushability of Weathered Granite Soil. *Journal of the Korean society of agricultural engineers* 21(2): 81-103 (in Korean).
2. Park, B. K., 1974. A Study on Shear Characteristics of Weathered Granite Soil. *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 22(3): 12-20 (in Korean).
3. Lee, K. C. 1998. Geotechnical Characteristics of Decomposed Granite Soils Related to the Degree of Weathering. Ph.D diss., Chonnam National University (in Korean).
4. Lim, B. C. 1974. On the Effect of Water on the Engineering Properties of the Decomposed Granite Soil - Especially on the Change of Shear Characteristics. *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 22(2): 75-81 (in Korean).
5. Lumb, P. 1962. The Properties decomposed granite. *Geotechnique* 12(3): 226-243.
6. Ham, T. G., Cho, Y. S. and Kim, Y. S. 2004. A Study on the Compression Characteristics of Decomposed Granite Soil Based on Single Particle Crushing Property. *Journal of the Korean geotechnical society* 20(8), pp. 103-111.
7. Lee, K. I., Yoon, Y. G. and Lee, J. W. 2013. Particle Crushing Properties of Decomposed Granite Soil due to Changes in the Degree of Weathering. *J. Korean Geosynthetics Society* 12(1), pp. 1-10.
8. Day, J. 1989. The brachiopods succession of the late Givetian-Frasnian of Iowa. *Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir* 14(3), pp. 303-326.