

## 화순 지역 세일 풍화토의 물리적·역학적 특성에 관한 연구

김종렬<sup>1)</sup> · 박정훈<sup>1)</sup> · 김해경<sup>\*2)</sup> · 강권수<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>전남대학교 공과대학 토목공학과, <sup>2)</sup>광주교육대학교 과학교육과, <sup>3)</sup>서남대학교 토목공학과

### The Physical and Mechanical Properties of the Weathered Shale Soils in Hwasun Area

Jong-Ryeol Kim<sup>1)</sup> · Jung-Hun Park<sup>1)</sup> · Hai-Gyoung Kim<sup>\*2)</sup> · Keon-Soo Kang<sup>3)</sup>

1)Dept. of Civil Engineering, Chonnam National University,

\*2)Gwangju National University of Education,

3) Dept. of Civil Engineering, Seonam University

본 연구는 전라남도 화순군에 분포하는 세일 풍화토를 대상으로 실험실에서 물성 및 역학 시험을 실시하여 풍화토의 물리적·역학적 특성을 파악하였다. 연구지역 세일 풍화토의 물리적 특성인 비중, 액성한계, 소성한계 및 소성지수는 각각 2.66~2.68, 36.39~36.92(%), 18.53~19.48(%), 17.44~17.86 이며, 흙의 분류는 CL에 해당된다. 다짐시험결과 최적함수비는 22.5~23%, 최대건조단위중량은 1.58~1.61t/m<sup>3</sup>으로 나타났다. 전단시험 결과 포화 및 불포화시료의 경우 건조단위중량이 커질수록 점착력은 증가하는 경향이 나타났고, 불포화 상태의 점착력이 포화 상태의 점착력의 약 2배 정도 크게 나타났다. 마찰각의 경우, 불포화 상태일 때는 건조단위중량이 증가할수록 증가하는 경향이 나타나지만, 포화 상태의 경우는 건조단위중량이 증가할수록 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 대구지역 세일 풍화토(김 등, 1995)의 공학적 특성과 비교할 때, 비중은 유사하지만 액성한계 및 소성한계는 약간 높은 것으로 나타났다.

**주요어:** 세일 풍화토, 물리적·역학적 특성, 액성한계, 소성한계

In this study, the physical and mechanical properties of the weathered shale soils distributed in the Hwasun area have been measured in the laboratory. The physical and mechanical properties of the weathered shale soils in the study area as follows: the specific gravity is 2.66 to 2.68, the liquid limit is 36.39 to 36.92(%), the plastic limit is 18.53 to 19.48(%), the plasticity index is 17.44 to 17.86 and soil classification is CL. The maximum dry unit weight and optimum moisture content as calculated by compaction test is 22.5 to 23% and 1.58 to 1.61t/m<sup>3</sup>, respectively. The result of direct shear testing show that cohesion in saturated and unsaturated conditions increases according to the increase of dry unit weight. Internal friction angle in an unsaturated condition increases with an increase of dry unit weight, but in a saturated condition, it increases after decreasing.

When compares with engineering characteristics of the weathered shale soils in the Daegu area ( Kim et al., 1995), specific gravity is found to be similar, but the liquid and plastic limit of soil samples in this study area is

\* Corresponding author : khg@gnue.ac.kr

slightly higher than those of soil samples in the Daegu area.

**Key words :** weathered shale soils, physical and mechanical properties, liquid limit, plastic limit

## 서 론

퇴적암은 지각의 최 외각부를 형성하며 육지 표면의 약 3/4을 덮고 있다. 대부분의 퇴적암은 기존 암석의 붕괴에 의해 유래한 2차적인 기원에 의해서 형성된 쇄설성 물질로 구성되며, 화학적 또는 생물학적 침전에 의해서도 형성된다. 셰일은 가장 일반적인 쇄설성 퇴적암으로 엽층리(lamination) 발달이 현저하며, 구성 입자의 크기 및 성분은 유사하지만 엽층리의 발달이 없으면 이암(mudstone)이라 한다. 점토 광물과 석영이 셰일과 이암의 주 구성 성분이며, 실트 크기의 입자를 상당량 함유하고 있다 (Bell, 1992). 셰일과 이암은 모든 퇴적암 중에 약 45~55%를 구성하며, 그 풍부성 때문에 토목 공사에 있어서 가장 빈번하게 접하게 되는 암종이다 (Ajalloeian & Lashkaripour, 2000). 우리나라의 지질은 반 이상이 화강암과 화강편마암으로 구성되어 있으며, 고생대의 퇴적암은 주로 강원도에 그리고 중생대의 퇴적암은 경상남·북도를 중심으로 광범위하게 분포하며 충남과 전남·북 지역에 작은 규모로 노출되고 있다. 신생대 제3기의 퇴적암은 동해안을 따라 소규모로 산포하고 있다 (정창희, 1993).

우리나라에는 화강암과 화강편마암이 반 이상을 차지하는 지질 형태지만, 일부 지역에 국한되어 나타나고 있는 퇴적암 중에 셰일 및 이암은 점토와 석영을 주성분으로 하며, 풍화작용을 받은 후에는 흙과 유사한 공학적 특징이 다른 암종에 비해 가장 치명적인 공학적 성질을 보이며, 간혹 절취 후 노출된 셰일 및 이암 암반이 쉽게 풍화되어 문제를 일으키는 경우가 보고되고 있다 (박형동, 2002). 따라서 국내에 분포 면적은 작지만 지역적으로 국한되어 노출되는 퇴적암 및 퇴적암 풍화토의 물리적·역학적 특성에 관한 자료들이 많이 필요한 상황이다 (김영수 등, 1995). 퇴적암 특히, 국내에 분포하는 셰일 및 이암의 공학적 특성에 관한 연구는 활발히 진행되어 왔다 (김영수 등, 2001; 정태중, 1996; 이승재 등, 2001; 이영휘, 1996). 또한 풍화토의 공학적 특성에 관한 연구는 주로 화강암 풍화토에 관해서 (도덕현 등, 1979; 이영수, 1983; 박병기,

1998) 진행되어 왔으며, 셰일 및 이암의 풍화토에 관한 공학적 특성에 관한 연구는 주로 대구 및 경북지역에 (이상복, 1994; 김영수 등, 1995; 김기영, 1995) 국한되어 왔다. 그러나 전라남도 지역에 분포하는 퇴적암 풍화토에 관한 공학적 특성에 관한 연구는 거의 수행되지 않은 실정이다.

본 연구는 전라남도에서 분포하는 중생대 퇴적암류 중, 가장 분포가 넓은 능주분지 (김봉균 등, 1966)의 중심지인 화순 지역에 분포하는 흑색 셰일의 풍화토를 대상으로 하였다. 따라서 본 연구에서는 전남 화순 지역에 분포하는 셰일 풍화토의 물리적, 역학적 특성 분석 및 대구·경북지역에 분포하는 셰일 풍화토와의 공학적 특징을 비교 하고, 각종 토목구조물의 설계 및 시공에 필요한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

## 연구지역의 지질

연구지역은 전라남도 화순군 북면 일대로 동북도폭 (김봉균 등, 1966)에 해당되는 지역으로 하부로부터 시대미상의 편마암류와 편암류 그리고 이를 부정합으로 덮는 고생대의 변성퇴적암류 그리고 상기 지층을 부정합으로 피복하고 있는 중생대 퇴적암류가 분포하고 있다 (Fig. 1). 연구지역의 지질은 중생대 퇴적암류 중, 장동응회암 층에 해당이 되며, 층후는 약 300~800m 정도로 변화가 크고, 화산쇄설성 퇴적암인 응회암을 주로 하여, 사이사이에 다양한 색상의 셰일, 사암 및 응회암질 사암이 협재된 지층으로 종적 및 횡적인 암상의 변화가 심하다 (이돈영 등, 1965; 김봉균 등, 1966). 화순군 북면 일대에 분포하는 장동응회암층내에 협재되는 셰일은 흑색 내지 암회색을 띠며, 엽층리의 발달로 인하여 풍화에 의한 바리성이 현저하다. 특히, 셰일 층에는 연흔(ripple mark) 및 건열(deccication mud crack) 등이 발달되어 퇴적 당시 대기의 노출이 있었던 것으로 추정된다 (고영구 등, 1996). 흑색 셰일 풍화토의 시료는 화순군 북면 외음리 남측(HS-A)과 옥리(HS-B)의 셰일 암반으로 구성된 도로 사면의 상단에 분포하는 풍화토의 교란 시료를 각각 채취하였다

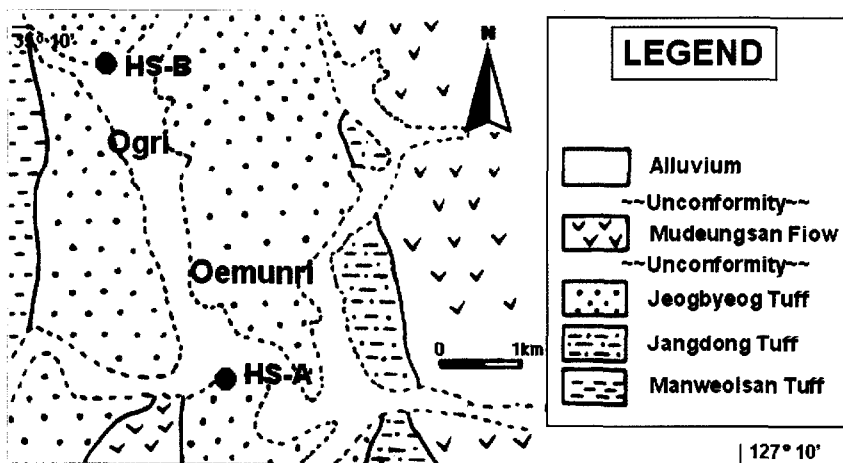


Fig. 1. Geologic map of the study area and sampling site.



Fig. 2. The weathered black shale soil in the study area (HS-A).

### 시험 방법

흑색 세일 풍화토의 입자 크기와 광물조성을 알아보기 위하여 SEM과 X-Ray 회절분석을 실시하였다. 시험에 사용된 시료는 4번체 (4.75mm)로 체가름을 실시하여 흙 입자의 파쇄정도, 교란정도를 동일하게 하였으며, 물리적 특성을 파악하기 위해 기본적인 토성 시험(비중: KS F2308, 입도: KS F2309, KS F2302, 액·소성시험: KS F 2303)을 실시한 후, 공학적 특성을 파악하기 위해 다짐을 실시하여 최대건조단위중량 ( $\gamma$

max) 과 최적함수비(OMC)를 구하였다. 액성한계 시험은 정적 액성한계시험법(Fall Cone Method)으로, 관입량 5~15mm 범위에서 4회 이상 실시하여 관입량과 함수량의 그래프에서 10mm 관입에서의 함수비를 액성한계로 정하였다. 본 시험에서 사용한 정적 액성한계 시험장치는 낙하 추의 선단각도가 60° 이고, 추의 무게가 60g 이었으며, 낙하시간은 5초, 관입 깊이는 10mm 이다. 다짐시험은 KS F 2312-91(96)에 의한 표준다짐시험과 함수비(최적함수비)를 일정하게 유지하고 다짐횟수(10회, 25회, 40회, 55회, 70회, 100회로 하

는 3층 다짐)를 변화시키는 방법으로 하였으며, 세일 풍화토의 전단거동을 살펴보기 위해서 인위적으로 건조단위중량(1.3t/m<sup>3</sup>, 1.5t/m<sup>3</sup>, 1.7t/m<sup>3</sup>)을 선정하여 직접전단시험(KS F 2343-92) 방법으로 불포화 직접전단 시험과 포화 직접전단시험을 실시하였다. 또한, 입자의 파쇄성을 알아보기 위해서 앞에서 실시했던 두 가지 방법의 다짐시험과 전단시험에서 얻어진 시료를 가지고 입도 분석을 실시하였고, 세일 풍화토의 압축 특성을 파악하기 위하여 표준압밀시험(KS F 2316-97)을 실시하여, 압밀 곡선, 시간 - 침하량 관계를 해석하여 선행압밀하중(Pc), 압축지수(Cc) 등을 구하였다.

**시험 결과 및 고찰**

**성분 및 물리적 특성**

세일 풍화토의 입자크기 및 광물 조성을 파악하기 위하여 SEM 분석 및 채취한 시료를 노건조 시켜 #200체를 통과한 시료에 대해 X-Ray 회절분석을 실시하였다. SEM 분석 결과 대부분의 입자가 점토 내지 실트 크기로 구성되어 있으며 (Fig.3), X-Ray 회절분석 결과에 의하면 석영, 장석류, 점토광물 등으로 구성되어 있으며(Fig.4), 대구·경북 지역에 분포하는 세일 풍화토의 광물 성분 (이승재 등, 2001; 김영수 등, 1995)과 유사하다.

입도분포는 Fig. 5와 같이 두 지역 모두 거의 비슷하게 나타났고, #200체 통과량이 두 지역 모두 70% 이상으로 조립분 보다는 세립분이 많이 함유 되어 있다. 통일분류법에 의해 두 지역 시료 모두 CL로 분류되어 대구지역 세일 풍화토의 SW (김영수 등, 1995)와는 다른 양상을 보인다.

함수비는 10.37~10.57(%)를 보이고, 액성한계 시험 결과는 Fig. 6과 같으며, 액성한계, 소성한계 및 비중은 Table 1과 같이 각각 36.92~36.39(%), 19.48~18.53(%) 그리고 2.66~2.68를 나타냈다. 이를 대구지역 세일 풍화토와 (김영수 등, 1995) 비교해 보면 비중은 2.67과 거의 일치하며, 액성한계는 32.68% 보다는 약간 큰 값 그리고 소성한계는 16.4% 보다는 약간 큰 값을 보인다.

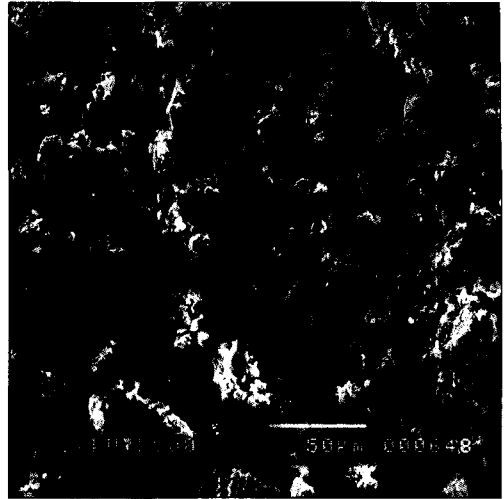


Fig. 3. Analysis of weathered shale soils by SEM (20KV, X500)

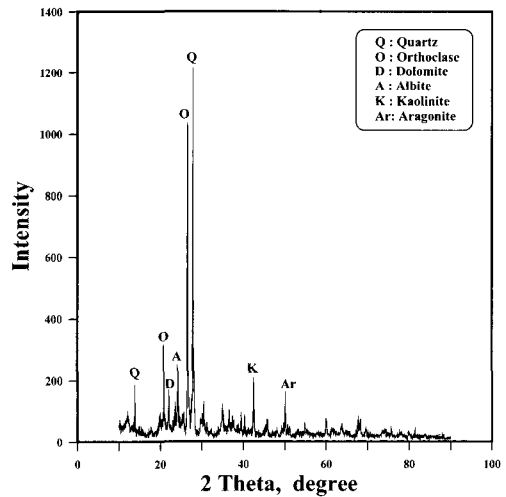


Fig. 4. The result of X-Ray diffraction analysis of soil

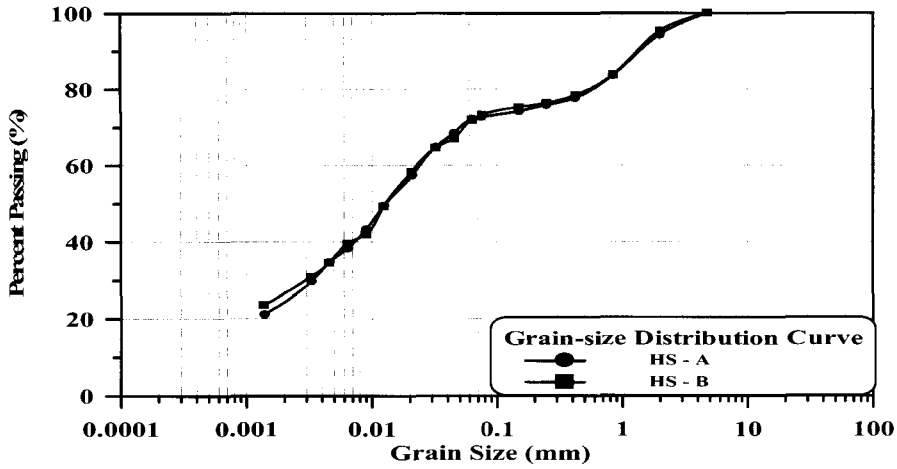


Fig. 5. Particle size distribution curves

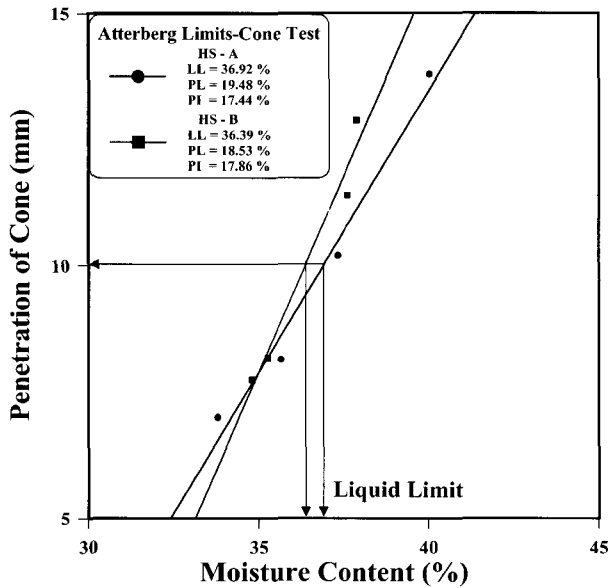


Fig. 6. Liquid limit curves

Table 1. Physical properties of weathered shale soils.

sample	$\omega$ (%)	G <sub>s</sub>	#200 (%)	LL (%)	PL (%)	PI	USCS
HS - A	10.37	2.66	72.75	36.92	19.48	17.44	CL
HS - B	10.57	2.68	73.25	36.39	18.53	17.86	CL

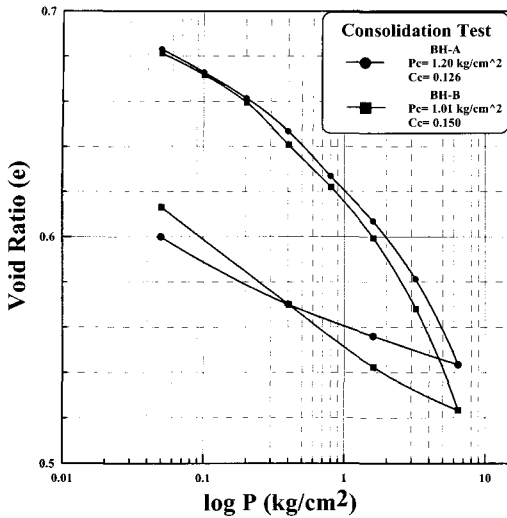


Fig. 7. e - log p curves

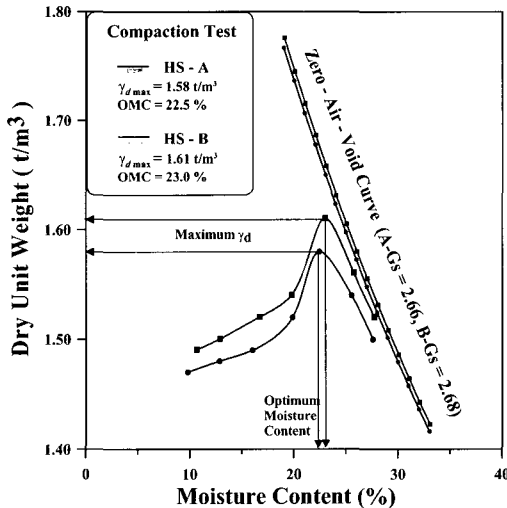


Fig. 8. Compaction curves

압밀특성

세일 풍화토의 압축특성을 파악하기 위하여 표준압 밀시험을 실시하여, 포화시킨 시료에 연직 정하중을 가해서 시간에 따른 침하량을 측정 한 후, 압밀 곡선, 시간 - 침하량 관계를 해석하여 선행압밀하중( $P_c$ ), 압

축지수( $C_c$ ) 등을 구하였다. 하중 재하 시 즉시침하가 발생하였으며, 시간이 경과할수록 침하량은 처음에 비해 현저하게 줄어들었다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 선행압밀하중( $P_c$ )은 1.01~1.20kg/cm<sup>2</sup>으로, 포항지역 이암풍화토의 선행압밀하중 0.55kg/cm<sup>2</sup> 보다는 (김영수 등, 2000) 높게 나타났으며, 압축지수( $C_c$ )는 0.126~0.150 범위 안에 있는 것으로 나타났다.

다짐특성

다짐시험은 표준다짐시험법으로 이 방법에 의해 구한 값은 Fig 8과 같으며, 일정 함수비 동안까지는 건조단위중량 증가비가 적으나, 함수비가 약 20%를 지나면 건조단위중량이 급격히 증가하는 양상이 나타나는데 이는 최적함수비까지 건조단위중량이 완만히 증가하는 일반적인 화강풍화토의 특성 (김찬기 등, 1999)과는 다른 양상을 보인다. 최대건조단위중량은 HS-A가 1.58t/m<sup>3</sup>, HS-B가 1.61t/m<sup>3</sup>으로 HS-B가 약간 높게 나타났다으며, 최적함수비(OMC)는 HS-A가 22.5%, HS-B가 23%로 거의 비슷한 값을 나타냈다. 대구지역 세일 풍화토 (김영수 등, 1995)와 비교해보면 표준다짐시험법에 의한 25회 층 다짐 시 최대건조단위중량은 1.645t/m<sup>3</sup>로 거의 유사한 값을 보인다. 또한 최적함수비는 21%로서 연구지역 세일 풍화토와 유사한 값을 나타낸다. 다음은 함수비(최적함수비)를 일정하게 유지시키고, 다짐에너지를 변화시켜 다짐에너지와 건조단위중량의 변화를 살펴보았다. 다짐 몰드와 래머는 다짐곡선을 구하기 위해서 사용했던 크기와 동일한 것을 사용하였다.

Fig. 9는 다짐에너지 증가에 따른 건조단위중량의 변화를 나타낸 것으로서, 다짐에너지가 증가할수록 건조단위중량이 증가하지만, 다짐횟수가 25회(5.63kg-cm/cm)를 지나게 되면 건조단위중량의 증가율이 감소하는 특징이 있으며, 이는 대구지역 세일 풍화토의 특성 (김영수 등, 1995)과 유사하다.

전단특성

세일 풍화토를 노건조 시킨 후 #4체(4.75mm)로 걸러진 시료를 건조단위중량을 변화(1.3t/m<sup>3</sup>, 1.5t/m<sup>3</sup>, 1.7t/m<sup>3</sup>)시켜가면서 동일한 조건하에서 포화 및 불포화 시료로 나누어 각각 수직하중 (3.24t/m<sup>3</sup>, 6.48t/m<sup>3</sup>, 9.72t/m<sup>3</sup>, 12.96t/m<sup>3</sup>)을 4단계로 나누어 직접전단시험을 실시하여 전단강도-전단변위 곡선에서 Peak 강도

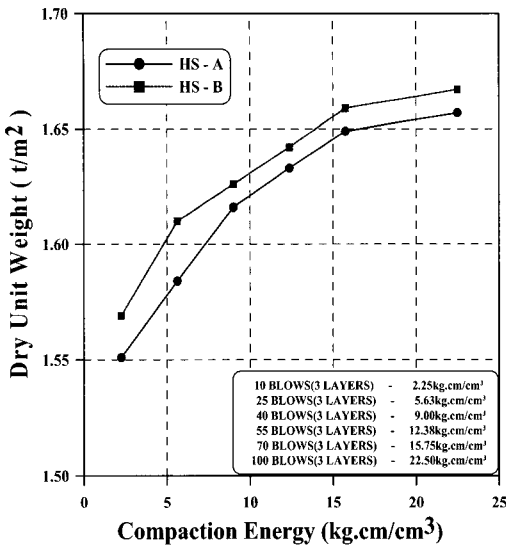


Fig. 9. Relationship between dry unit weight and compaction energy

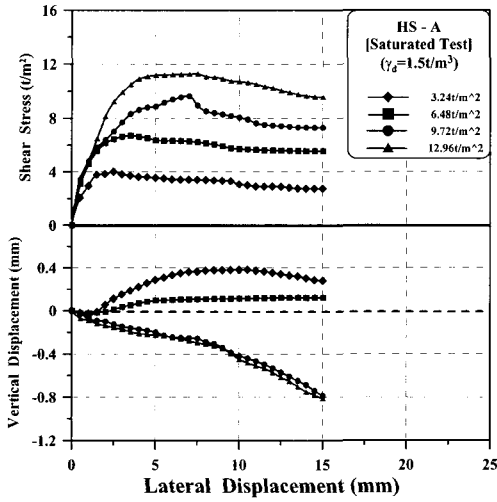
를 택하여 파괴포락선으로부터 전단정수를 결정한 값을 Table 2에 나타내었다. Fig. 10~13은 포화상태 및 불포화상태일 때 (건조단위중량:1.5t/m³) 수평변위-전단강도, 수평변위-체적변화의 값(a)과 전단응력-수직응력의 관계(b)를 나타내었다. 수평변위와 전단강도의 관계를 보면, 전체적으로 건조단위중량이 증가할수록 조밀한 모래나 과압밀 점토에서 볼 수 있는 파괴점이 뚜렷이 나타난다.

또한, 수평변위와 체적변화의 관계를 보면, 대부분의 경우가 전단 초기에는 부피가 일단 감소되다가 다시 증가하는 경향을 보이는데, 이는 토립자들이 전단되는 동안에 재배열되기 때문일 것으로 판단된다.

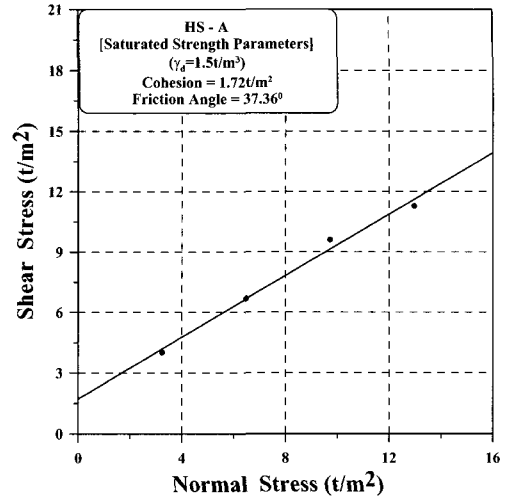
Table 2에서 보는 바와 같이 시료상태가 포화 및 불포화 두 경우 모두 건조단위중량이 커질수록 점착력은 증가하는 경향이 나타났고, 불포화 상태의 점착력이 포화 상태의 점착력의 약 2배 정도 높은 값을 보이는 경향이 있다. 마찰각의 경우는 건조단위 중량이 증가할수록 불포화 상태일 때는 증가하는 경향이 나타나지만, 포화 상태의 경우는 건조단위중량이 증가할수록 감소하다가 다시 증가하는 경향이 보였고, 두 경우(포화, 불포화)의 마찰각을 비교해 봤을 때, 마찰각은 거의 비슷한 것으로 나타났다.

Table 2. Shear strength of saturated and unsaturated soils

condition	sample	$\gamma_d$ (t/m³)	C (t/m²)	$\phi$ (°)
saturation	HS - A	1.3	1.28	39.21
		1.5	1.72	37.36
		1.7	3.64	45.84
	HS - B	1.3	1.37	37.83
		1.5	2.64	34.35
		1.7	3.30	47.55
condition	sample	$\gamma_d$ (t/m³)	C (t/m²)	$\phi$ (°)
unsaturation	HS - A	1.3	2.20	38.26
		1.5	4.61	39.16
		1.7	6.00	45.83
	HS - B	1.3	3.20	37.77
		1.5	4.79	42.25
		1.7	5.78	41.58

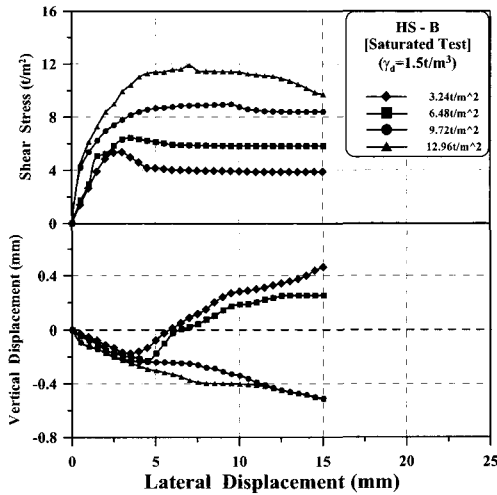


(a)  $\tau - \epsilon_v - Disp.$

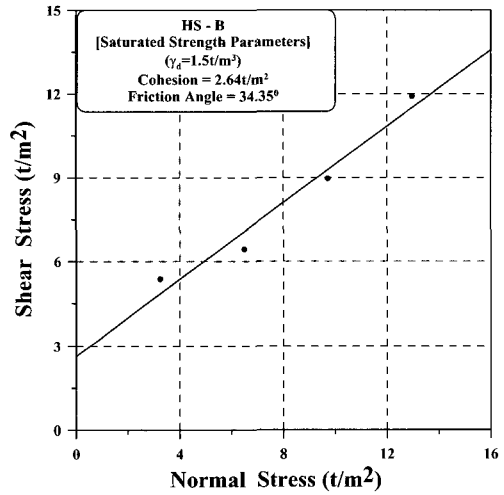


(b)  $\tau - \sigma$

Fig. 10. Results of saturated shear test at  $\gamma_d=1.5t/m^3$  (HS-A)



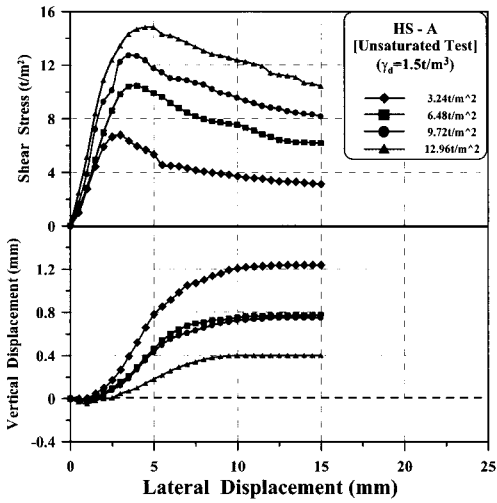
(a)  $\tau - \epsilon_v - Disp.$



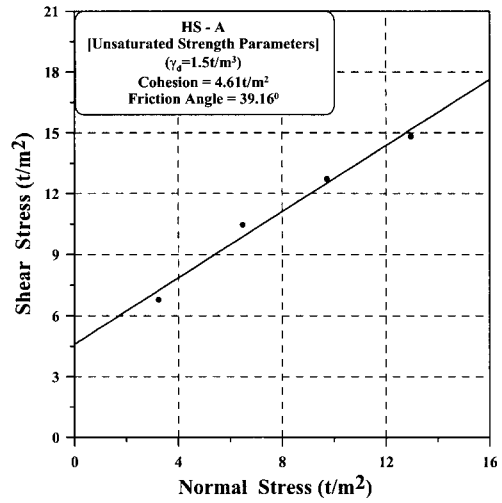
(b)  $\tau - \sigma$

Fig. 11. Results of saturated shear test at  $\gamma_d=1.5t/m^3$  (HS-B)



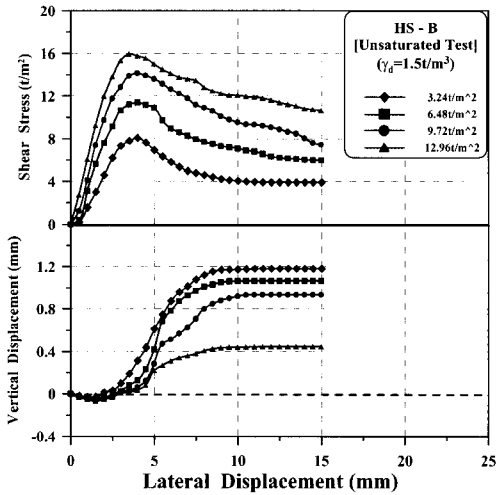


(a)  $\tau - \varepsilon_v - Disp.$

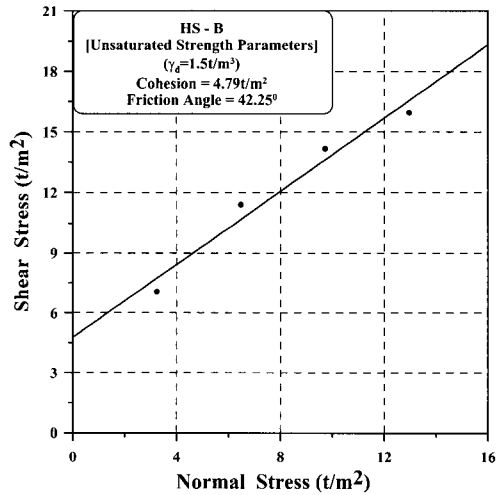


(b)  $\tau - \sigma$

Fig. 12. Results of saturated shear test at  $\gamma_d=1.5t/m^3$  (HS-A)



(a)  $\tau - \varepsilon_v - Disp.$



(b)  $\tau - \sigma$

Fig. 13. Results of saturated shear test at  $\gamma_d=1.5t/m^3$  (HS-B)

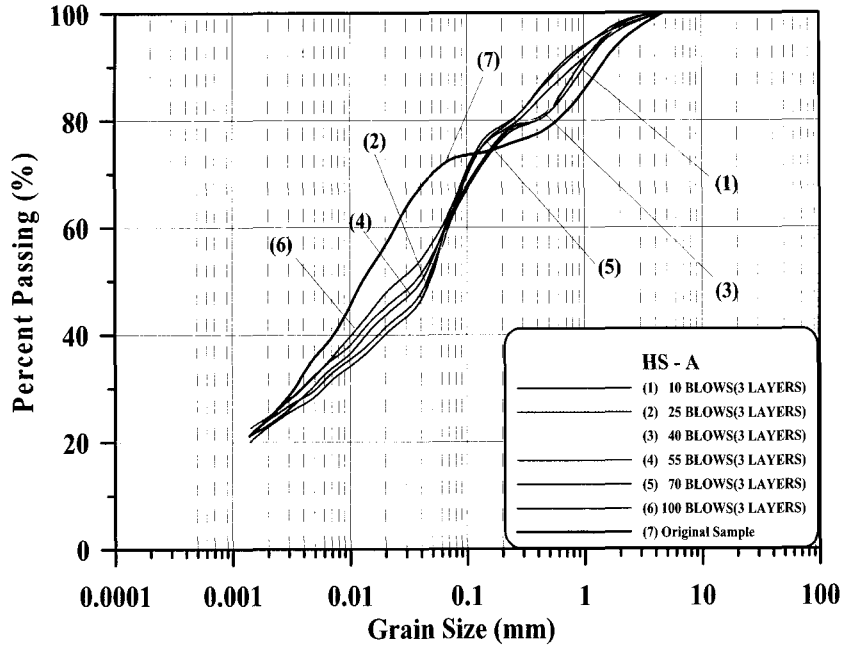


Fig. 14. Grain size distribution by compaction test (HS-A)

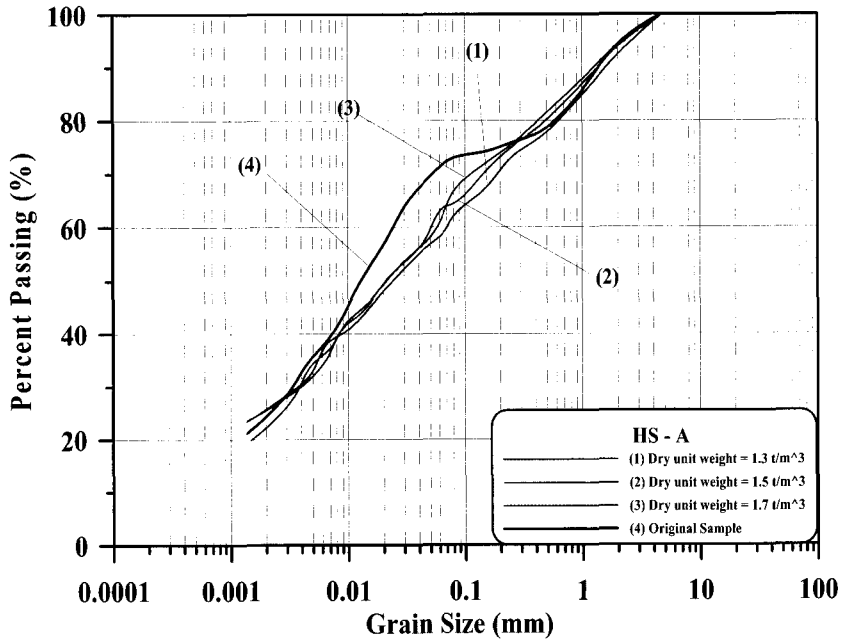


Fig. 15. Grain size distribution by shear test (HS-A)

**파쇄특성**

다짐 후 입자의 파쇄량을 변화 시키는 데는 여러 가지 요인이 있지만, 특히 다짐에너지 및 함수비에 따라서 상당한 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 최적 함수비에서 다짐에너지 증가에 따른 파쇄 전 후의 입도를 비교하면 다짐에너지가 클수록 입자의 파쇄량 및 #200체 통과율이 증가하는 양상을 보였으며 (Fig. 14), 전단시험에 의한 파쇄량 변화도 건조단위중량이 증가할수록 #200체 통과율이 증가하는 경향이 나타나지만 (Fig. 15), 입도분포는 거의 유사한 것으로 나타났다. 시험 (다짐, 전단)에 의해 나타난 입도분포곡선을 기존의 입도분포곡선에 비교해 보았을 때 전체적으로는 입도분포가 양호하게 나타났다.

**결론**

전라남도 화순군 북면 일대에 분포하는 세일 풍화토의 물리적·역학적 특성과약을 위한 실내 시험에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 세일 풍화토는 주로 석영, 점토광물 및 장석 등으로 구성되어 있으며, 비중, 액성한계, 소성한계 및 소성지수는 각각 2.66~2.68, 36.39~36.92(%), 18.53~19.48(%), 17.44~17.86 이며, 흙의 분류는 CL에 해당된다.
- 2) 세일 풍화토의 선행압밀하중과 압밀계수는 각각 1.01~1.20 (kg/cm<sup>2</sup>), 0.126 ~0.150이며, 다짐시험결과 최적함수비는 22.5~23(%), 최대건조단위중량은 1.58 ~1.61(t/m<sup>3</sup>)이다.
- 3) 포화, 불포화시료의 경우 모두 건조단위중량이 커질수록 점착력은 증가하는 경향이 나타났고, 불포화 상태의 점착력이 포화 상태의 점착력의 약 2배 정도 크게 나타났다. 마찰각의 경우는 건조단위중량이 증가할수록 불포화 상태일 때는 증가하는 경향이 나타나지만, 포화 상태의 경우는 건조단위중량이 증가할수록 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였다.
- 4) 대구지역 세일 풍화토 (김영수 등, 1995)의 공학적 특성과 비교할 때, 비중은 유사하며, 액성한계 및 소성한계는 약간 높은 것으로 나타났다.

**참고 문헌**

고영구, 김정길, 김주용, 김해경, 유경아, 1995, 전남

화순군 이서면 일대에 분포하는 백악기 퇴적암 류에 관한 연구, 한국지구과학회지, v.17(1), p. 64-74.

김기영, 1995, 혈암풍화토의 전단특성에 관한 연구, 경북대학교 석사학위논문

김봉균, 박병권, 1966, 동북도폭설명서, 국립지질조사소

김영수, 이상복, 정성관, 1995, 퇴적암 풍화토의 공학적 특성- 대구·경북지역을 중심으로-, 한국지반공학회지, v.11(4),p.63-74

김영수, 김기영, 이상웅, 2000, 재성형된 이암풍화토를 이용한 정규압밀영역의 압밀 및 투수 특성, 한국지반공학회지, v.16(2), p.61-70.

김영수, 허노영, 방인호, 이재호, 성언수, 2001, 세일 (혈암)의 이방성 특성, 한국지반공학회지, v.17(2), p.13-20.

김찬기, 이강일, 배기목, 1999, 풍화화강암과 풍화토의 공학적 성질과 응용, 창우출판.

도덕현, 강우목, 1979, 화강암 풍화토의 파쇄성에 관한 연구, 한국농공학회지, v.21(3), p.81-103.

박병기, 1998, 한국 화강토의 토목공학적 특성연구, 한국과학재단, p.10-54.

박형동, 2002, 이암과 세일의 지질공학적 특성, 2002년도 한국지반공학회 암반역학 위원회학술 세미나 논문집, 20-30.

이돈영, 정춘식, 최선근, 남원희, 이석중, 1965, 호남 탄전지질조사보고서, p.54

이상복, 1994, 혈암풍화토의 공학적 특성 연구 - 대구 앞산 지역을 중심으로-, 경북대학교 석사학위논문

이승재, 노상임, 윤지선, 2001, 포항지역 mudstone 및 대구지역 black shale의 물리적, 역학적 특성에 관한 연구, 한국자원공학회지, v.38(4), p.310-315.

이영수, 1983, 화강풍화토의 파쇄 및 다짐에너지가 투수성에 미치는 영향, 대한토목학회지, v.3(3), p.107-116.

이영희, 1996, 포항 이암층의 slaking, 팽창 및 전단 특성, 한국지반공학회지, v.12(2), p.33-8

정창희, 1993, 지질학개론, 박영사

정태중, 1996, 대구지역에 분포하는 백악기 세일의 역학적 특성, 한국지구과학회지, v.17, p.489-496.

Bell, F. G. 1992, Engineering in Rock Masses, Butterworth-Heinemann Ltd., p.5-10.

Ajalloeian, R. and Lashkaripour, G. R., 2000,  
Strength anisotropies in mudrocks, Bull. Eng.  
Geol. Env., v. 59, p.195-199.

투 고 일 2004년 4월 23일  
심 사 일 2004년 4월 24일  
심사완료일 2004년 5월 30일

---

김종렬  
전남대학교 토목공학과  
500-757, 광주광역시 북구 용봉동 300번지  
Tel : 062-530-1654  
Fax : 062-530-1651  
E-mail : jrkim@chonnam.ac.kr

박정훈  
전남대학교 토목공학과  
500-757, 광주광역시 북구 용봉동 300번지  
Tel : 016-684-1598  
Fax : 062-530-1651  
E-mail : parkgun97@hanmail.net

김해경  
광주교육대학교 과학교육과  
500-703, 광주광역시 북구 풍향동1-1번지  
Tel : 062-520-4157  
Fax : 062-520-4158  
E-mail : khg@gnue.ac.kr

강권수  
서남대학교 토목공학과  
500-711, 전라북도 남원시 광치동 720번지  
Tel : 063-620-0224  
Fax : 063-620-0211  
E-mail : kang212@seonam.ac.kr