

ORIGINAL ARTICLE

## 직접전단시험에 의한 다양한 시료의 전단강도 특성

박춘식<sup>1\*</sup>, 정정근<sup>2</sup>

<sup>1</sup>창원대학교, <sup>2</sup>경상남도청

# Characteristics of Shear Strength Parameters of Various Soils by Direct Shear Test

Choonsik Park\* and Jeongeun Jeong

<sup>1</sup>School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon University

<sup>2</sup>Province of Gyeongsangnam-do

\*Corresponding author: [pcs@changwon.ac.kr](mailto:pcs@changwon.ac.kr)

Received: October 10, 2018

Revised: October 24, 2018

Accepted: October 26, 2018

### ABSTRACT

This study conducted direct shear test on about 290 sorts of materials such as sandy soil, clayey soil and gravelly soil to present proper standard on shear strength of soil. Shear strength of soil in large scale tends to show that angle of internal friction increases as sand contents grow and it ranges 23.5°~34.9° with cohesion of 2.0 kPa~15.7 kPa. Elastic modulus was visibly distinct by load, and which increased approximately 80% as vertical load grows. Angle of internal friction arranging 15.0°~28.6° on clayey soil decreased as clay contents rises and cohesion increase in regular scale. Elastic modulus tends to increase initial elastic modulus with almost same growing rate. While angle of internal friction on gravelly soil indicates 29.9°~36.7° which hardly shows distinctive features. According to test in detail, cohesion of SW (well-graded sand), SP (poorly-graded sand), SC (clayey sand) and SM (silty sand) indicates value by 94%, 78% and 59% comparing to SC, SW and SP respectively. Angle of internal friction of ML (low-liquid limit silt) and CL (low-liquid limit clay) appears almost same features, and MH (high-liquid limit silt) despite of 88% value of ML. Cohesion among them varies with similar growing rate.

**Keywords:** Direct shear test, Angle of internal friction, Cohesion, Sandy soil, Clayey soil, Gravelly soil, Elastic modulus

### 초록

흙의 전단강도의 적절한 기준을 제시하기 위해 모래질, 점토질, 자갈질의 약 290 여개의 재료에 대하여 직접전단시험을 수행하였다. 흙의 대분류에 의한 모래질 흙의 전단강도는 모래 함유율이 많은 흙일수록 내부마찰각은 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 그 범위는 23.5°~34.9°에 분포하고 있는 것으로 나타났고, 점착력은 2.0 kPa~15.7 kPa 사이에서 골고루 분포하는 것으로 나타났다. 탄성계수는 하중단계에 따라 뚜렷하게 구분할 수 있었으며, 수직하중이 증가할수록 약 80%씩 증가하였다. 점토질 흙의 내부마찰각은 15.0°~28.6°의 범위에서 점토성분 함유율이 많아질수록 감소하는 경향이 나타났고, 점착력은 일정한 범위로 증가하는 경향이 나타났다. 점토질 흙의 탄성계수는 거의 같은 증가비로 초기탄성계수만 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 자갈질 흙의 내부마찰각은 29.9°~36.7°의 범위로 뚜렷한 특성을 파악할 수 없었다. 세부분류에 따른 SW(입도분포가 좋은 모래), SP(입도분포가 나쁜 모래), SC(점토 섞인 모래), SM(실트 섞인 모래)의 점착력은 실트함유율이 가장 많은 SM 시료에 비해 SC는 약 94%,



SW는 약 78%, SP는 약 59% 정도 값을 나타내었다. 또한 내부마찰각은 ML(액성한계가 낮은 실트)과 CL(액성한계가 낮은 점토)이 거의 같은 거동 특성을 나타내었고, MH(액성한계가 높은 실트)는 ML의 약 88% 값을 나타내었다. 점착력에 대한 변화는 거의 비슷한 증가비를 나타내었다.

**핵심어:** 직접전단시험, 내부마찰각, 점착력, 모래질 흙, 점토질 흙, 자갈질 흙, 탄성계수

## 1. 서론

여러 여건상 토질시험을 수행하지 못할 경우 지반정수는 문헌 및 설계기준을 참고하고, 또 경험적인 요소에 비추어 지반정수를 결정한다. 이와 같이 개략적으로 결정된 지반정수는 주로 순수한 점토, 모래, 자갈에 기초로 하여 제시된 지반정수로 점토와 모래, 자갈 등이 혼합된 실제지반의 지반정수와는 차이가 발생할 수 있다. 혼합지반에 대한 지반정수를 고려하지 않고 개략적으로 제시된 지반정수를 적용하게 되면 초기 설계단계부터 부정확성을 내포하게 되어 그로 인해 예상치 못한 문제들이 종종 발생하게 된다.

흙의 전단강도에 대한 연구 중 Miura, O-hara(1979)는 사질토 내지 모래에 해당하는 화강풍화토의 직접전단시험에서 낮은 구속압에서는 Mohr-Coulomb 파괴포락선이 곡선형태로 나타나고, 높은 구속압에서는 입자파쇄가 누적되어 내부마찰각이 감소된다고 하였다. 또한 Murata 등(1988)은 풍화도가 다른 화강풍화토의 풍화도에 따른 stress-dilatancy 관계와 전단강도 특성을 연구하였으며, Onitsuka and Yoshitake(1985)는 화강풍화토의 파쇄성을 중심으로 전단특성에 대한 연구를 수행하였다.

국내에서는 Yang(1997)은 9개소의 불교란 화강토와 파쇄정도를 달리한 교란 화강토에 대해 실내전단시험을 통해 그 특성을 비교 분석하였고, Park 등(1996)은 3개소의 화강풍화토에 대하여 불교란화강토는 저구속압부에서는 파괴포락선이 곡선으로 변화하고, 교란토에 대한 직접전단시험결과 균등계수가 증가함에 따라 내부마찰각은 감소하지만 점착력은 증가하는 경향을 보여 입자파쇄가 전단강도에 영향을 미친다고 하였다. Lee 등(1999)은 6개소에서 채취한 교란 및 불교란 화강풍화토의 직접전단시험을 수행하여 연직하중 40kPa 이하에서는 Mohr-Coulomb의 파괴포락선이 직선이 아니고 곡선 내지 포물선 형태를 보이며 통상의 시험법에서 얻은 점착력보다 1/2정도가 작게 나타난다고 하였다. Choi 등(1999)은 화강토의 직접전단시험에서 전단강도 산정 시 저구속압 영역의 파괴포락선은 곡선으로 나타나 이를 고려한 강도결정이 합리적이라 하였으며, 입자파쇄, 풍화정도, 전단시험기의 메카니즘에 따른 전단강도에 대한 영향을 연구하였다. Jeong(2002)은 특정지역의 교란 화강토를 중심으로 직접전단시험과 등압전단시험을 실시하여 동일한 시료에 대한 수직응력의 차이에 의해, 즉 시험기의 메카니즘에 따라 점착력과 내부마찰각의 차이가 발생한다고 하였다. 하지만 이와 같은 많은 연구에도 불구하고 대부분이 다양한 시료에 대한 연구가 아니고 특정 재료에 대한 연구이면서 일정 조건 하에 대한 연구이기 때문에 일반적으로 참고할 수 있는 흙 종류에 따른 전단강도를 제안하기에는 무리가 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 문헌 및 설계기준에서 제시된 흙 종류별 전단강도에 대하여 실제 혼합지반의 전단강도특성을 알아보기 위하여 약 291개의 현장 채취 시료에 대하여 직접전단시험을 수행하여 전단강도 특성을 분석하였고, 실무에서 사용할 수 있는 전단강도 값을 제안하였다.

## 2. 시험시료 및 직접전단시험

### 2.1 시험시료

본 연구에서 사용된 시료는 점토질, 모래질, 자갈질의 토사 및 풍화토 지반의 입상체들로 Table 1과 같이 점토질 흙은 165개, 모래질 흙은 117개, 자갈질 흙은 9개로 총 291개의 시료에 대하여 기본물성시험과 직접전단시험을 실시하였다. Fig. 1에는 물리적 특성을 파악을 위한 소성도 결과를 나타내었다.

Table 1. Direct shear test of various soils

	Count of Sample	Remarks
Sandy soil	117	SW, SP, SC, SM
Clayey soil	165	CH, CL, MH, ML
Gravelly soil	9	GC, GM
Total	291	

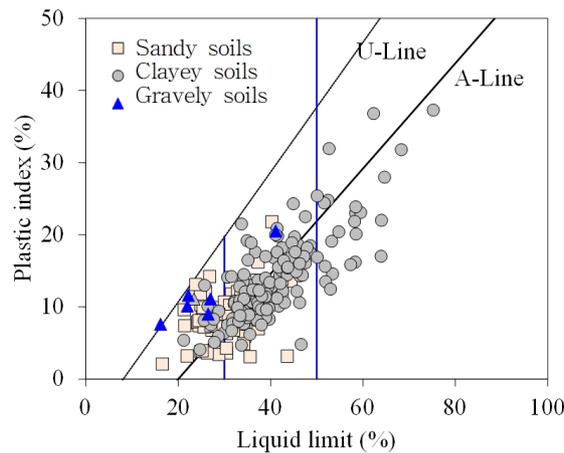


Fig. 1. Degree of plasticity

### 2.2 직접전단시험

직접전단시험기는 전단상자와 재하장치로 구성된다. 전단상자는 상하로 분리되어 있고, 아랫부분은 수침함에 고정되어 있다. 수직하중은 기압판의 중심에 있는 볼을 통해 전달되며, 윗부분은 검력계(proving ring)와 수평으로 연결되어 있어 흙이 전단될 때의 힘을 읽을 수 있다. 전단상자 속에 들어 있는 공시체는 대개 아래 상자가 이동하여 전단된다. 전단상자의 크기는 사질토에서 시료의 입경에 따라 토질정수의 결정에 상당한 영향을 끼친다. 흙입자의 최대치수가 크면 전단상자도 커야 한다. 재하장치는 수직력을 작용시키기 위한 것과 수평력을 작용시키기 위한 것의 두 가지가 있다. 일반적으로 수직방향은 응력제어, 수평방향은 변형제어 방식으로 힘을 가한다. 이때에 수평 방향으로로는 분당 0.0002~2.0 mm의 속도를 가할 수 있다. 시료제작 사진 및 시험사진은 Fig. 2~Fig. 3에 나타내었다.

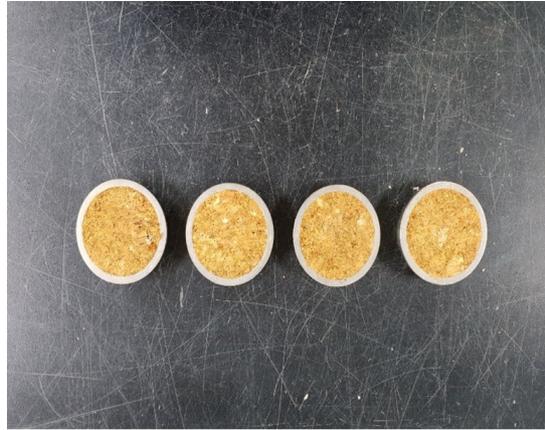


Fig. 2. Manufactured specimen



Fig. 3. Direct shear tester

### 2.2.1 사질토의 시험 방법

사질토의 직접전단시험 방법은 우선 3~4회 시험할 수 있는 충분한 양의 시료를 준비하고, 시료를 전단상자에 소정의 밀도가 되도록 다짐봉으로 다져넣고 시료의 표면을 평평하게 고른다. 이때 시료의 두께는 약 2 cm 정도 되게 한다. 그 후 충격이 가해지지 않도록 주의하여 소요 수직하중을 가한다. 이때 수직하중에는 재하판의 무게와 전단상자 상부무게를 포함시키며 처음은 보통 98.1 kPa을 가한다. 시료입자가 부서지는 것을 방지하기 위하여 최대 입경보다 조금 크게 상부 전단상자와 하부 전단상자의 수직간격을 조정하여 접촉면에서 마찰이 없게 한다. 포화상태 시험인 경우는 전단상자를 물로 채운 후 일정시간 방치하여 시료를 포화시킨다. 수평, 수직 변위를 측정할 다이얼 게이지를 부착한 후 고정못을 제거하여 상하 전단상자를 분리한 후 직접전단시험을 수행한다.

수평 하중을 0.25~1.9 mm/min의 속도로 시작하여 측정시간, 전단력, 수직변위, 수평변위를 동시에 측정한다. 처음 2분 동안은 15초마다 측정하고 그 이후는 수평변위 1 mm마다 측정한다. 측정은 전단응력이 피크점을 지나 일정한 값으로 떨어지거나 수평변위가 시료직경의 15%가 될 때까지 계속한다.

### 2.2.2 점성토의 시험 방법

압밀 시험과 같은 방법으로 공시체를 준비한다. 이 때 공시체는 전단상자에 올려놓고 시료압출기로 기울어지지 않도록 신중히 밀어 넣는다. 시료를 전단상자에 넣고 급속시험( $Q$ 시험)인 경우는 배수가 안되는 재하판, 압밀 급속시험( $Q_c$ 시험) 및 압밀 완속시험( $S$ 시험)인 경우는 다공석판에 부착된 재하판을 올려놓는다. 시료를 압밀시키는 경우는 증발을 막기 위해 전단상자를 물로 채운 후 충격이 가해지지 않도록 주의하여 예상되는 수직하중을 가한다.  $Q_c$ 시험 및  $S$ 시험인 경우 압밀을 시키기 위해 일정시간(시료 두께가 13 mm정도일 때 15분~25분 정도) 방치한다.

## 3. 시험결과 및 분석

### 3.1 흙의 대분류에 의한 전단강도 특성

#### 3.1.1 모래질 흙의 전단강도

SW, SP, SC, SM으로 분류되는 모래질 흙에 대한 전단시험 결과에 의한 전단강도 특성을 분석하였다. 모래 함유율에 따른 점착력과 내부마찰각의 특성을 Fig. 4~Fig. 5와 같이 분석하였다. 모래 함유율이 많은 흙일수록 내부마찰각은 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타나고, 그 범위는  $23.5^{\circ}$ ~ $34.9^{\circ}$ 에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 하지만 점착력은 뚜렷한 경향이 나타나지 않았고 2.0 kPa~15.7 kPa 사이에서 골고루 분포하는 것으로 나타났다. 이와 같은 경향은 모래질 성분이 증가할수록 맞물림(interlocking) 현상이 뚜렷하게 나타나기 때문인 것으로 그 원인을 추정할 수 있다.

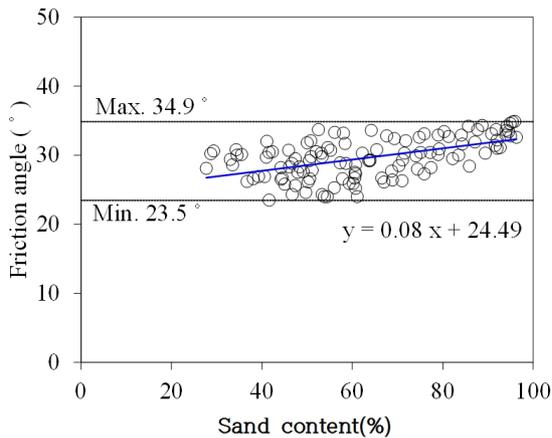


Fig. 4. Friction angle according to sand content

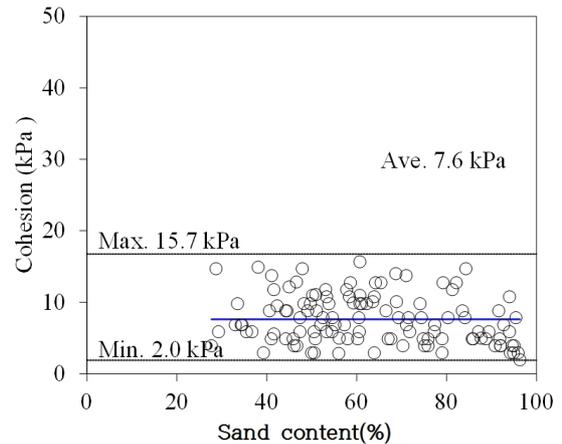


Fig. 5. Cohesion according to sand content

### 3.1.2 점토질 흙의 전단강도

CH, CL, MH, ML의 점토질 흙에 대한 전단강도 특성을 모래질 흙과 같이 분석하였다. Fig. 6~Fig. 7과 같이 200번체 통과율에 따른 점토의 전단특성을 분석하면 내부마찰각은 15.0°~28.6°의 범위에서 점토성분 함유율이 많아질수록 감소하는 경향이 나타났고, 점착력은 점토성분 함유율( $x$ 축)과 점착력( $y$ 축)의 관계가 평균적으로  $y = 0.16x$ 로 증가하는 경향이 나타났다. 점토성분 함유율이 증가할수록 점토광물의 함량이 증가하여 점착력이 증가하는 경향이 나타나고, 반면 모래질 성분의 감소로 인해 내부마찰각은 감소하는 것으로 나타난다고 할 수 있다.

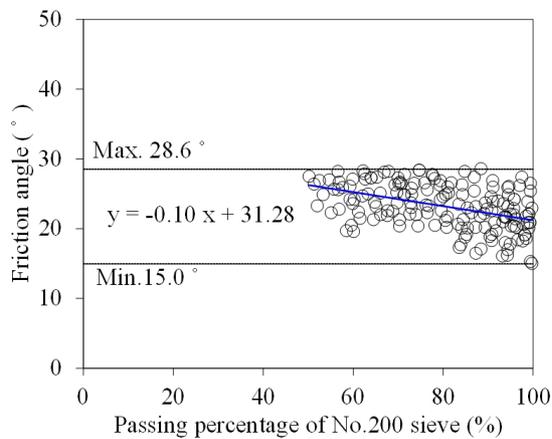


Fig. 6. Friction angle according to passing percentage of No.200 sieve

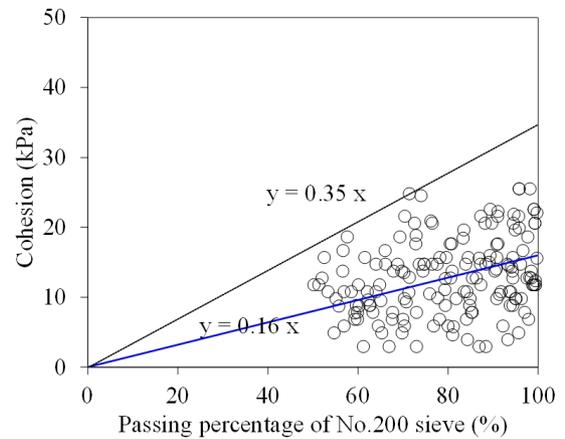


Fig. 7. Cohesion according to passing percentage of No.200 sieve

### 3.1.3 자갈질 흙의 전단강도

GC, GM으로 분류된 자갈질 흙에 대한 전단강도 특성을 분석하였다. Fig. 8~Fig. 9의 자갈질 함유량에 따른 강도특성에서 내부마찰각은 29.9°~36.7°의 범위에서 뚜렷한 특성을 파악할 수 없었고, 점착력은 최대 11.8kPa에서 자갈 함유율이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 이와 같은 특성은 시료의 수가 9개로 자갈질 시료의 전반적인 특성을 대표한다고 할 수는 없지만 자갈질 흙의 자갈성분의 입자크기에 따른 영향이라고 판단할 수 있다. 즉, 입자크기가 크고 함유량이 작은 경우와 입자크기가 작고 함유량이 많

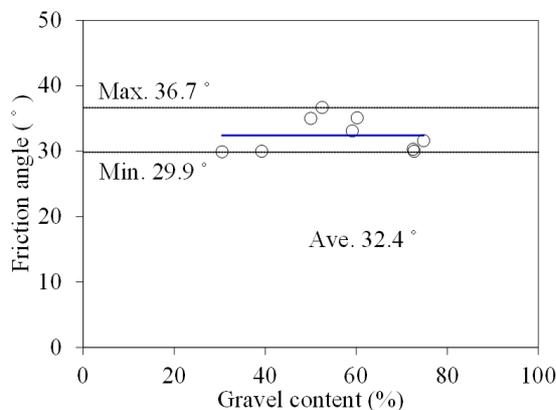


Fig. 8. Friction angle according to gravel content

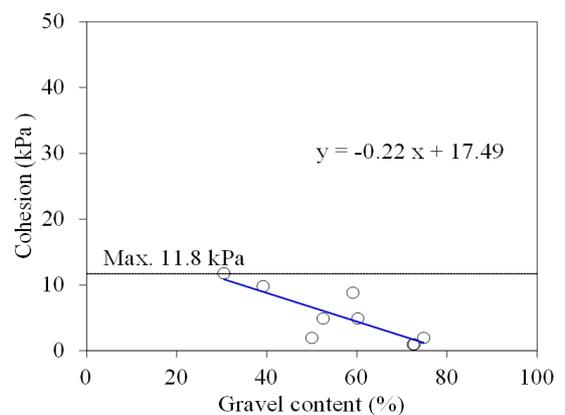


Fig. 9. Cohesion according to gravel content

은 경우가 내부마찰각이 유사하게 나타나서 자갈함유율에 따른 내부마찰각의 경향이 나타나지 않았다고 할 수 있다. 한편 자갈질 흙은 입자가 커서 직접전단시험 시 전단면에 자갈 입자가 존재할 수 있으므로 정확한 전단강도를 파악하기 어려워 많은 시험을 수행하기 힘들다는 단점이 있다.

### 3.1.4 정규화한 전단강도 특성

시험결과를 이용하여 모래질, 점토질, 자갈질 흙에 대한 점착력과 내부마찰각에 대한 최소, 최대, 평균값에 대한 전단특성을 모래질과 점토질 흙에 대하여 정규화하여 Fig. 10~Fig. 11과 같이 비교하였다. 내부마찰각은 모래질 흙에 비해 자갈질 흙은 약 10% 정도 증가하는 것으로 나타났고, 점토질 흙은 약 20%가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 점착력은 점토질 흙에 비해 모래질 흙은 40%, 자갈질 흙은 55% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

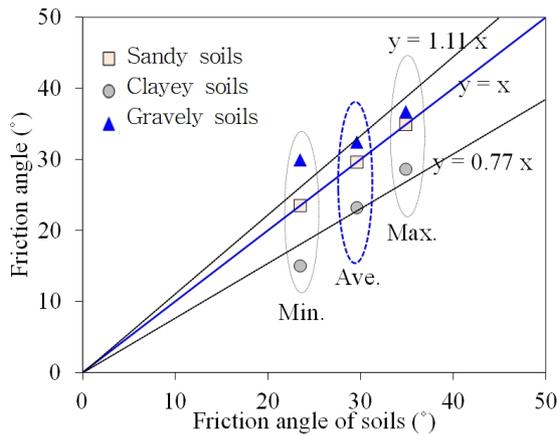


Fig. 10. Friction angle according to various soils

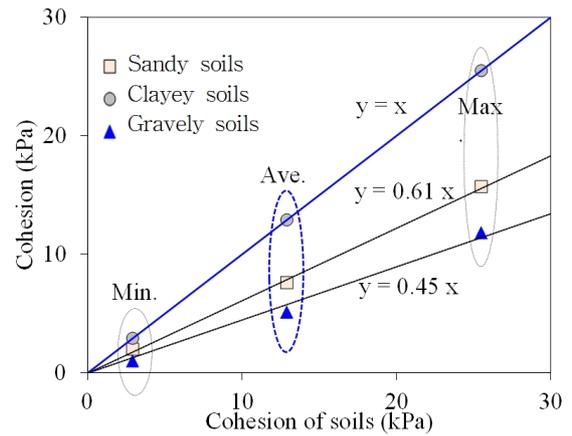


Fig. 11. Cohesion according to various soils

## 3.2 흙의 세부분류에 의한 전단강도 특성

통일분류법(USCS)에 의해 모래질, 점토질, 자갈질 흙을 세부 분류하여 각 흙 종류에 따른 전단강도특성을 파악하였다. 모래질 흙은 SW, SP, SC, SM으로 점토질 흙은 CH, CL, MH, ML로 분류하였으며, 자갈질 흙은 GC, GM으로 세부 분류하였다.

### 3.2.1 SW, SP, SC, SM의 전단강도

모래질 흙을 SW, SP, SC, SM으로 세부 분류하여 전단강도 특성을 알아보기 위해 SM에 대하여 SC, SW, SP를 정규화하여 Fig. 12~Fig. 13과 같이 최대, 최소, 평균값에 대한 전단특성을 나타내었다. Fig. 10에서 내부마찰각은 점차적으로 증가하여 최대 내부마찰각이 비슷한 값을 나타내었으며, SC와 SM, SW와 SP의 최소값, 평균값, 최대값에 대한 변화가 유사하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 하지만 Fig. 11에서 점착력은 내부마찰각의 변화와는 다르게 최소값에서 비슷한 값을 나타내었으며, 실트함유율이 가장 많은 SM 시료에 비해 SC는 약 94%, SW는 약 78%, SP는 약 59% 정도 값을 가지는 것을 알 수 있었다.

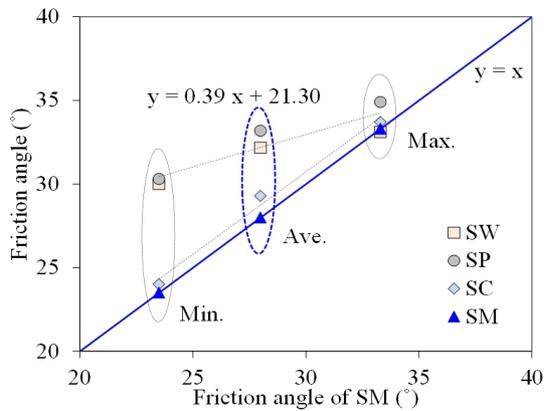


Fig. 12. Friction angle on SM specimen

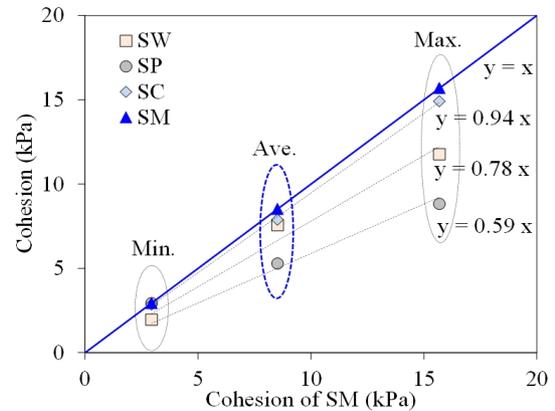


Fig. 13. Cohesion on SM specimen

### 3.2.2 CH, CL, MH, ML의 전단강도

통일분류법상 점토질 흙으로 분류되는 CH, CL, MH, ML에 대한 전단강도 특성을 알아보았다. Fig. 14~Fig. 15에는 전단강도에 대한 특성을 분석하기 위하여 ML에 대하여 정규화하여 나타내었다. 점토질 흙의 세부 분류 중 CH는 데이터 개수의 한정으로 인해 특성분석에서 제외하였다. Fig. 12에서 내부마찰각은 ML과 CL이 거의 같은 거동 특성을 나타내었고, MH는 약 88% 작은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 점착력에 대한 최소, 최대, 평균값에 대한 특성은 Fig. 13에 나타내었는데 CL, MH, ML가 거의 일정하게 같은 증가비를 나타내었다.

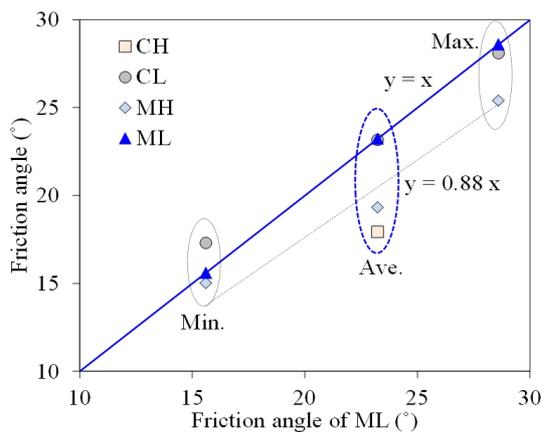


Fig. 14. Friction angle on ML specimen

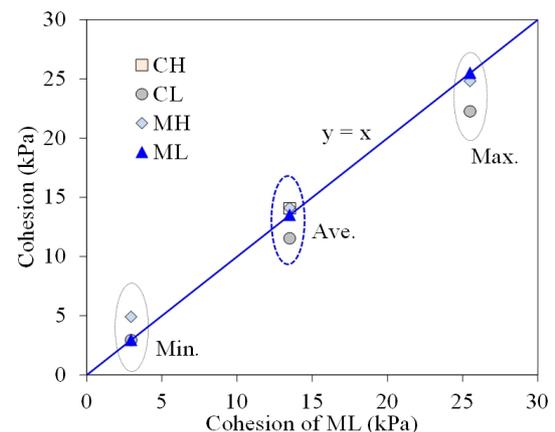


Fig. 15. Cohesion on ML specimen

### 3.2.3 GC, GM의 전단강도

자갈질 흙으로 분류되는 GC, GM에 대한 전단강도 특성을 알아보기 위하여 Fig. 16~Fig. 17와 같이 GM에 대하여 전단강도를 정규화하여 나타내었다. GC와 GM 흙은 거의 유사한 거동양상을 나타내는 것을 알 수 있었다.

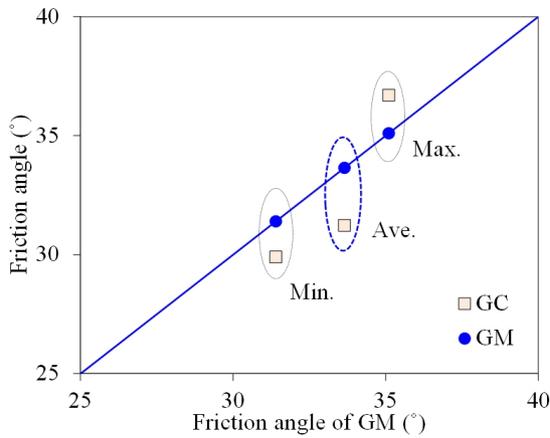


Fig. 16. Friction angle on GM specimen

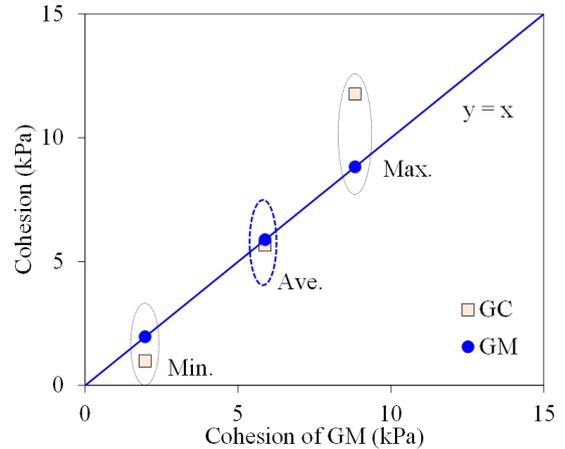


Fig. 17. Cohesion on GM specimen

### 3.3 흙의 분류에 따른 탄성계수 특성

직접전단시험에서 수직응력에 따른 탄성계수( $E_{50}$ )의 특성을 알아보기 위하여 각 하중단계에 따른 응력-변형률 곡선에서 모래질과 사질토와 점토질 흙에 대한 특성을 알아보았다.

#### 3.3.1 모래질 흙의 탄성계수

모래질 흙으로 분류된 SW, SP, SC, SM 흙에 대하여 하중단계에 따른 개략적인 탄성계수( $E_{50}$ ) 상한값을 Fig. 18에 나타내었다. 수직응력( $\sigma$ )에 따라 탄성계수( $E_{50}$ )는 1500 kPa, 2200 kPa, 3000 kPa로 각 하중단계별 탄성계수 상한 값을 제시할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 모래질 흙은 하중단계에 따라 뚜렷하게 구분할 수 있는 것으로 나타났다. Fig. 19는 수직응력( $\sigma$ ) 49.1 kPa에 대하여 각 하중단계에 대한 탄성계수를 정규화한 것으로 하중이 2배씩 증가할수록 약 80%씩 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 모래질 흙의 탄성계수 특성은 응력-변형률 곡선이 구성성분 중 비교적 함유율이 높은 모래성분에 의해 비교적 뚜렷한 피크(peak)를 갖는 파괴형상을 나타내기 때문에 발현되는 특성이라고 판단할 수 있었다.

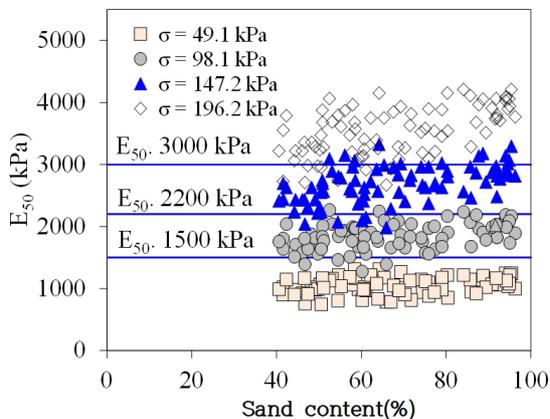


Fig. 18. Elastic modulus of sandy soils

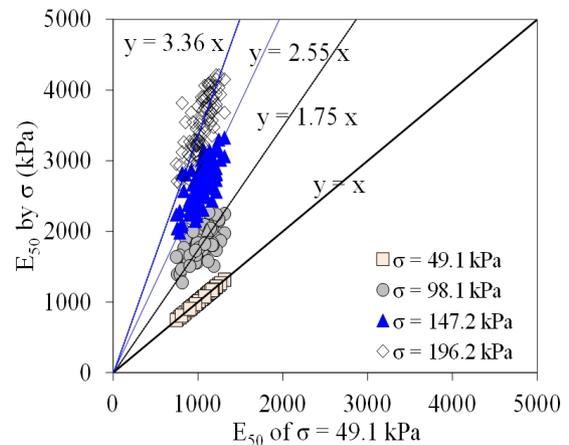


Fig. 19. Elastic modulus on  $\sigma=49.1$  kPa (sandy soils)

### 3.3.2 점토질 흙의 탄성계수

CH, CL, MH, ML로 분류되는 점토질 흙의 수직응력 19.6kPa, 39.2kPa, 58.9kPa, 78.5kPa에 대한 탄성계수( $E_{50}$ ) 특성을 Fig. 20에 나타내었다. 점토질 흙은 모래질 흙과는 다르게 각 하중단계에 따라 뚜렷한 경계가 발생되지 않는 것을 그림에서 확인할 수 있었다. 또한 수직응력( $\sigma$ ) 19.6kPa에 대하여 각 하중단계별 탄성계수( $E_{50}$ )를 Fig. 21과 같이 정규화하면 하중이 2배씩 증가할수록 탄성계수는 10%, 20%, 40%씩 증가하는 경향을 나타내지만 가장 낮은 단계의 수직응력 19.6kPa와 거의 같은 증가비를 나타내고 초기 탄성계수 값만 하중이 증가할수록 약 130.0kPa씩 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 점토질 흙의 탄성계수 특성은 전단할 때의 응력-변형률 곡선이 실트(silt)와 점토(clay)가 대부분을 차지하는 점토질 흙의 느슨한 응력-변형률 곡선의 특성을 반영한 것으로 판단할 수 있었다.

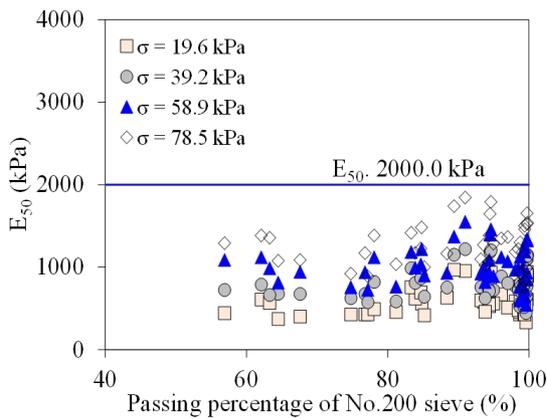


Fig. 20. Elastic modulus of clayey soils

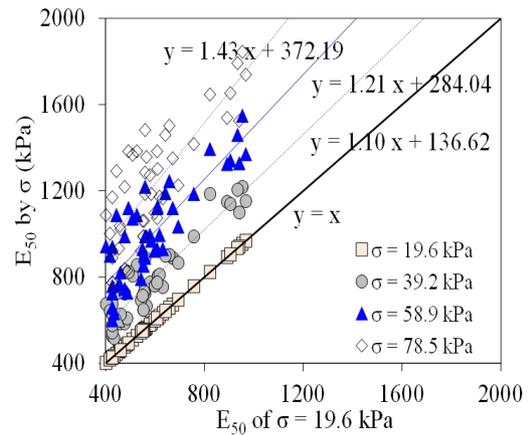


Fig. 21. Elastic modulus on  $\sigma=19.6$  kPa (clayey soils)

### 3.4 기존 설계기준과의 비교

본 연구에서 수행된 직접전단시험에 대한 연구결과의 적합성 여부를 판단하기 위하여 기존 설계기준과 비교를 실시하였다. 도로 설계요령에 제시된 흙에 대한 전단강도 특성을 Table 2와 같이 비교하였다. 이 때 직접전단시험 결과는 전단강도의 평균값을 적용하여 비교를 하였다. 개략적인 흙에 대하여 내부마찰각은 비교적 기존의 설계기준과 유사하게 산정된 것을 알 수 있었다. 하지만 점착력은 기존 설계기준에서는 점토질 흙의 종류에 따라서는 최대 50 kPa, 30 kPa, 15 kPa 이하로 제안하고, 모래질 흙은 점착력이 없는 것으로 제안하고 있지만 실제 직접전단시험 결과에서는 자갈질, 모래질, 점토질로 갈수록 점착력이 커지는 경향을 나타내었고, 최대 약 15 kPa의 평균값으로 제안할 수 있다. 따라서 기존 설계기준에 따른 흙의 점착력 적용은 비교적 안전 측으로 적용된다고 판단할 수 있다. 이와 같은 결과에 의해 직접전단시험에 의한 본문에서 제시된 전단강도를 흙의 종류에 따라 세부적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

**Table 2.** Shear strength of soils(compare with design gist of road)

ground	design gist of road			this study			
	unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	friction angle (°)	cohesion (kN/m <sup>2</sup> )	USCS	dry unit weight(kN/m <sup>3</sup> )	friction angle (°)	cohesion (kN/m <sup>2</sup> )
gravel	20	40	0	GC	13.9	31.2	5.7
(GW, GP)	18	35	0				
sand with grave	21	40	0	GM	15.7	33.7	5.9
(GW, GP)	19	35	0	SP	13.0	33.2	5.3
sand	20	35	0	SW	13.7	32.2	7.6
(SW, SP)	18	30	0				
sandy soil	19	30	30 <	SC	13.3	29.3	7.9
(SM, SC)	17	25	0	SM	12.3	28.0	8.5
	18	25	50 <				
clayey soil	17	20	30 <	CL	12.8	23.2	11.5
(ML, CL)	17	20	15 <	ML	12.6	23.2	13.5
	17	20	50 <				
clayey soil and silt	16	15	30 <	CH	10.6	17.9	14.1
(CH, MH, ML)	14	10	15 <	MH	10.0	19.3	14.1

## 4. 결론

각종 실제지반에 대한 전단강도의 적절한 기준을 제시하기 위해 모래질, 점토질, 자갈질의 실제지반 시료에 대한 직접전단시험을 수행하여 전단강도 및 탄성계수를 산정하여 그 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 모래질 흙의 전단강도 범위는 23.5°~34.9°에 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 점착력은 2.0kPa~15.7kPa 사이에서 골고루 분포하는 것으로 나타났다. 점토질 흙은 200번체 통과율에 따른 내부마찰각은 15.0°~28.6°의 범위에서 점토성분 함유율이 많아질수록 감소하는 경향이 나타났고, 점착력은 일정한 범위로 증가하는 경향이 나타났다. 자갈질 흙은 자갈 함유율에 따라 내부마찰각은 29.9°~36.7°의 범위에서 뚜렷한 특성을 파악할 수 없었다.
- 2) 입도분포가 좋은 자갈 및 모래의 경우 입도분포가 나쁜 자갈 및 모래의 경우보다 내부마찰각이 약 1.5° 증가하였으며, 실트성분 20~80% 범위내에서는 내부마찰각에 영향을 거의 미치지 않았으나, 점착력은 실트 성분 10% 증가할수록 약 2.8kPa 증가하였다.
- 3) 흙의 내부마찰각은 모래질 흙에 비해 자갈질 흙은 약 10% 정도 증가하였고, 점토질 흙은 약 20% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 점착력은 점토질 흙에 비해 모래질 흙은 40%, 자갈질 흙은 55% 정도 감소하는 것으로 나타났다.
- 4) SW, SP, SC, SM의 모래질 흙에 대한 내부마찰각은 SC와 SM, SW와 SP의 최소값, 평균값, 최대값에 대한 변화가 유사하게 나타났고, 점착력은 실트함유율이 가장 많은 SM 시료에 비해 SC는 약 94%, SW는 약 78%, SP는 약 59% 정도 값을 가지는 것으로 나타났다. 또한 CH, CL, MH, ML의 점토질 흙에 대한 내부마찰각은 ML과 CL이 거의 같은 거동 특성을 나타내었고, MH는 ML에 비해 약 88% 작은 값을 나타내었다. 점착력에 대한 변화는 거의 비슷한 증가비를 나타내었으며, GC와 GM의

자갈질 흙의 전단강도 거동은 거의 동일하였다.

- 5) 모래질 흙의 탄성계수는 하중단계에 따라 뚜렷하게 구분할 수 있었으며, 수직하중이 증가할수록 약 80%씩 증가하였고, 점토질 흙은 거의 같은 증가비로 초기탄성계수만 약간 증가하는 경향을 나타내었다.
- 6) 본 연구에서 제안된 지반정수에 대한 적용성을 위하여 기존 설계 자료와 비교하면 내부마찰각은 기존의 설계기준과 유사하게 나타났고, 점착력은 기존 설계기준에서 점토질 흙은 크게, 모래질 흙과 자갈질 흙에 대해서는 낮은 전단강도를 제시하여 비교적 안전측으로 제시된 것을 확인할 수 있었다.

## 사사

이 논문은 2015년 2월 창원대학교 박사학위 논문(정정근, 2015)에서 발췌하였습니다.

## REFERENCES

- Byung Ki Park, Moon Soo Lee, Gwon Su Kang, Jae Hyeok Yang, 1996, A Shear Properties of Decomposed Granite Soil, Journal of The Korean Society of Civil Engineers (Ⅲ) (In Korean).
- Ja Yeong Jeong, 2002, Comparison of Shear Parameters using Different Direct Shear Tests, Master's thesis. Jeonnam National University (In Korean).
- Jae Hyeok Yang, 1997, A Study on Shear Strength Properties of Decomposed Granit Soil, Master's thesis, Chonnam National University (In Korean).
- Jeong Geun Jeong, 2015, A Study on the Characteristics of Shear Strength Parameters of Various Soils, Doctoral dissertation, Changwon University (In Korean).
- Miura, N. and O-hara, S. 1979, Particle-crushing of a Decomposed Granite Soils under Shear Stresses, Soils and foundations, Vol, 19, NO. 3, pp. 1-14.
- Moon Soo Lee, Kwang Chan Lee, 1999, An Evaluation of Shear Strength Parameters ( $c$ ,  $\phi$ ) for Weathering Decomposed Granite Soil, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 15, No. 2, pp.181~194 (In Korean).
- Murata, H., Hyodo, M., & Yasufuku, N., 1988, Compression and Shear Characteristics of Undisturbed Weathered Residual Soil Masado, Proc. of Int. Conf. on Engineering Problems of Residual Soils, pp. 643-648.
- Onitsuka, K., & Yoshitake, S., 1985, Mechanical Properties and Strength Anisotropy of Decomposed Granite Soils, Soils and Foundation, Vol. 25, No. 2, pp. 14-30.
- Yong Hwan Choi, Kwang Chan Lee, Jong Ryeol Kim, Byeong Gi Park, 1999, Shear Strength Characteristics of Undisturbed Decomposed Granite Soil under Variations of Normal Stress, Journal of The Korean Society of Civil Engineers (Ⅱ) (In Korean).