

효율관점에서 흙/토목섬유 접촉면에서의 마찰특성

Friction Behavior at the Soil/Geosynthetic Interface in Respect of Efficiency

안 현 호¹ Ahn, Hyun-Ho

이 석 원² Lee, Seok-Won

심 성 현³ Shim, Seong-Hyeon

심 재 범⁴ Shim, Jai-Beom

Abstract

Large-scale direct shear tests were conducted in order to investigate both the shear strength of soil itself and the friction behavior at the interface of soil/geosynthetics in respect of efficiency in this study. Sand, crushed stone and three types of geotextile (i.e. one woven geotextile and two nonwoven geotextiles) were used in the experimental program. The considered interfaces for the evaluation of interface shear strength in this study included sand/sand, crushed stone/crushed stone, sand/woven geotextile, crushed stone/woven geotextile, crushed stone/nonwoven geotextile-A and crushed stone/nonwoven geotextile-B. The results showed that the efficiency of 84% was obtained at the interface of sand/woven geotextile compared with the shear strength of sand itself (i.e. sand/sand interface). The efficiencies of 74%, 83% and 72% were obtained at the interface of crushed stone/nonwoven geotextile-A, crushed stone/nonwoven geotextile-B and crushed stone/woven geotextile, respectively compared with the shear strength of crushed stone itself (i.e. crushed stone/crushed stone interface).

요 지

본 연구에서는 효율의 관점에서 흙 자체의 전단강도 및 흙/토목섬유 상호간의 접촉면 마찰특성을 조사하기 위하여 대형직접전단시험을 수행하였다. 모래와 쇄석, 3종류의 지오텍스타일(즉, 2종류의 부직포와 1종류의 직포)을 시험에 사용하였다. 접촉면에서의 전단강도를 산정하는데 고려한 접촉면은 모래/모래, 쇄석/쇄석, 모래/직포, 쇄석/직포, 쇄석/부직포-A 그리고 쇄석/부직포-B 등이다. 연구결과, 모래/직포의 접촉면에서는 모래자체의 전단강도(즉, 모래/모래 접촉면)와 비교하여 84%의 효율을 얻었다. 쇄석/부직포-A, 쇄석/부직포-B, 쇄석/직포의 접촉면에서는 쇄석자체의 전단강도(즉, 쇄석/쇄석 접촉면)와 비교하여 각각 74%, 83%, 72%의 효율을 얻었다.

Keywords : Efficiency, Friction behavior, Interface shear strength, Large-scale direct shear test

1. 서 론

최근 지오텍스타일(geotextile), 지오멤브레인(geomembrane)과 같은 토목섬유(geosynthetic)의 사용이 급격히 증가하면서, 이러한 토목섬유들 간의 접촉면만이 아니라 토

목섬유와 흙과의 접촉면에서의 마찰특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 마찰특성을 연구하기 위하여 초기의 연구들은 대부분 흙의 전단강도를 산정하기 위하여 사용되었던 소형의 직접전단시험기를 개조하여 사용하였으나, 이는 접촉면 전단강도를 정확히 측

1 정희원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 (Members, Graduate Student, Civil and Environ. System Engrng., konkuk Univ.)

2 정희원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 조교수 (Members, Assistant Prof., Civil and Environ. System Engrng., konkuk Univ., swlee@konkuk.ac.kr, 교신저자)

3 정희원, 삼성물산 건설부문 토목 ENG팀 차장 (Members, Deputy General Manager, Civil ENG Team, Samsung Corporation)

4 정희원, 삼성물산 건설부문 토목 ENG팀 상무 (Members, Vice President, Civil ENG Team, Samsung Corporation)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 4월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

정하기에는 크기영향(size effect)등으로 인하여 많은 문제점을 발생시키고 있다고 밝혀졌다. 따라서 미국 ASTM International에서도 토목섬유가 포함된 마찰특성을 시험하기 위해서는 최소 전단상자의 크기를 본 연구에서 처럼 300×300mm로 추천하고 있다.

최근 영종도, 부산, 광양, 군산 등의 지역에서 대규모 연약지반 관련공사가 설계·시공되고 있으며 연약지반 처리를 위한 각종 지반개량공법이 적용되고 있다. 특히 영종도 신공항, 양산물금지구, 남악신도시 등 대규모 현장에서 모래의 대체 재료로 쇄석을 적용한 바 있으며 적용 빈도가 증가 추세이나 쇄석 재료의 공학적 특성 및 쇄석층의 마찰특성 등에 대한 연구는 미비한 상태이다.

이러한 의미에서 본 연구에서는 흙 자체의 전단강도 및 흙/토목섬유 상호간의 접촉면 전단강도(interface shear strength)를 측정하기 위하여 대형직접전단시험을 수행하였다. 모래와 쇄석을 사용하였으며, 토목섬유로는 3 종류의 지오텍스타일, 즉 2종류의 부직포와 1종류의 직포를 각각 사용하였다. 이러한 토목섬유를 사용하여 접촉면 전단강도를 산정하는데 고려한 접촉면은 모래/모래, 쇄석/쇄석, 모래/직포, 쇄석/직포, 쇄석/부직포-A 그리고 쇄석/부직포-B 등이다. 다만, 본 연구에서 수행된 흙/토목섬유간의 마찰특성은 특정 흙과 토목섬유를 사용하고 한정된 범위의 실험 조건에서 수행한 연구결과로서, 본 연구의 목적은 향후 다른 토목섬유간의 접촉면 마찰특성 연구에 기본 자료를 제공하고 대형직접전단 시험 이외의 방법으로 수행하는 마찰특성과 비교할 수 있는 연구결과를 제시하는데 있다.

2. 이론적 배경

본 연구에서는 기존에 수행된 다양한 흙/토목섬유 접촉면 전단시험 중에서 본 연구에서 수행한 흙/지오텍스타일 사이의 접촉면에 관한 시험결과를 중심으로 문헌 고찰을 수행하였다. Martin et al.(1984)은 여러 종류의 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰각을 표 1에 제시하였다. 사용한 수직응력(normal stress)은 13.8kPa에서 103.4 kPa에 이른다. Williams and Houlihan(1987)은 여러 종류의 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰각을 표 2에 제시하였다. 사용한 수직하중은 0.44, 1.11, 2.22 kN이다. Eigenbrod and Locker (1987)는 여러 종류의 부직포(nonwoven geotextile)과 직포(woven geotextile)를 사용하여 모래 및 점토와의 마찰각을 측정하였다. 평균 마찰각을 정리

하면 표 3과 같다. 주재우 등(2003)은 전단시험 방법을 고정법(본 연구에서 수행한 방법)과 자유법으로 나누어 모래와 부직포간의 마찰각을 표 4에 제시하였다. 사용한 수직응력은 50, 100, 150kPa이다.

본 연구에서 수행한 문헌 고찰 결과 다음과 같은 사항들을 확인할 수 있었다. 흙과 토목섬유를 포함한 토목 재료간의 전단강도는 흙의 조밀도 등에 따라 그 값이 변화하므로 같은 흙이라도 시험자에 따라 많은 변화를 보여주고 있다. 위에서 제시된 여러 결과들은 이러한 연유로 같은 모래에서도 값이 변화할 수 있으며, 따라서 본 연구에서 수행한 시험결과와는 직접적으로 결과를 비교할 수 없다. 다만 아래에서 서술된 것처럼 다른 시험과의 비교분석은 접촉면에서의 효율성을 상대비교

표 1. 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰각(Martin et al., 1984)

| Soil / Geotextile | Concrete sand ($\phi = 30^\circ$) | Ottawa sand ($\phi = 28^\circ$) | Mica schist ($\phi = 26^\circ$) |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| CZ 600 | 30° (1.00) | 26° (0.92) | 25° (0.96) |
| Tyvar 3401 | 26° (0.84) | - | - |
| Polyfilter X | 26° (0.84) | - | - |
| 500 X | 24° (0.77) | 24° (0.84) | 23° (0.87) |

※ ()안의 숫자는 접촉면에서의 마찰계수를 흙의 마찰계수로 나눈 값($=\frac{\tan \text{흙과 섬유와의 마찰각}}{\tan \text{흙 자체의 마찰각}}$)을 의미하며 접촉면의 효율을 표시함.

표 2. 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰각(Williams and Houlihan, 1987)

| Soil / Geotextile | Concrete sand ($\phi = 36^\circ$) | Ottawa sand ($\phi = 38^\circ$) | Sand-5% clay ($\phi = 36^\circ$) |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Tyvar 3401 | 27° (0.70) | 25° (0.60) | 22° (0.56) |
| Trevira 1155 | 34° (0.93) | 28° (0.68) | 27° (0.70) |
| Nicolon 900-M | 35° (0.96) | 35° (0.90) | 31° (0.83) |

표 3. 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰각(Eigenbrod and Locker, 1987)

| Soil / Geotextile | Concrete sand ($\phi = 36^\circ$) | Silica sand ($\phi = 33^\circ$) | Clay, CH-MH ($\phi = 25^\circ$) | Clay, CL ($\phi = 34^\circ$) |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Nonwoven geotextile | 34° (0.93) | 32° (0.96) | 16° (0.61) | 27° (0.76) |
| Woven geotextile | Direction of warp | 32(0.86) | - | - |
| | Direction of weft | 29° (0.76) | - | 16° (0.61) 23° (0.63) |

표 4. 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰각(주재우 등, 2003)

| 시험종류 | 마찰각, ϕ (°) |
|--------------|-----------------|
| 모래 | 28° |
| 부직포/모래 (고정법) | 30° |
| 부직포/모래 (자유법) | 27° |

함으로써 수행된 시험결과와의 타당성을 검토할 수 있을 것으로 판단된다.

앞의 표 1~3에서 제시한 ()안의 값은 흙/토목섬유 접촉면에서의 마찰계수와 흙 자체 마찰계수의 비율을 나타내는 효율, $E (E = \tan \delta / \tan \phi)$, 여기서, δ : 흙과 토목섬유와의 마찰각, ϕ : 흙 자체의 마찰각)을 의미한다. 즉 다른 재질과 접하고 있는 흙 자체의 강도와 비교해서 접촉면에서의 강도의 비(효율)를 표시한다. 따라서 흙과 다른 토목섬유가 접하여 있는 경우, 접촉면에서의 전단강도는 항상 흙 자체의 전단강도보다 작고 접촉면에서 충분한 마찰력을 발휘하는 경우에는 흙에서 파괴가 일어남을 알 수 있다. 흙 자체에서 파괴가 일어나는 경우는 접촉면 근처의 흙에서 전단파괴가 발생한다. 이러한 연유로 효율은 항상 100% 이하로 산정된다. 만약 어떠한 시험결과와 효율이 100% 이상을 보이는 경우는 접촉면이나 흙에서 파괴가 일어나는 것이 아니라 본 연구에서는 고려하고 있지 않는 토목섬유의 인장력이 발생하고 있음을 암시한다.

3. 실험

3.1 토목섬유의 선정

본 연구를 위하여 사용된 모래는 그림 1과 같이 일반적인 바다모래를 채취하여 사용하였으며, 쇄석 또한 그

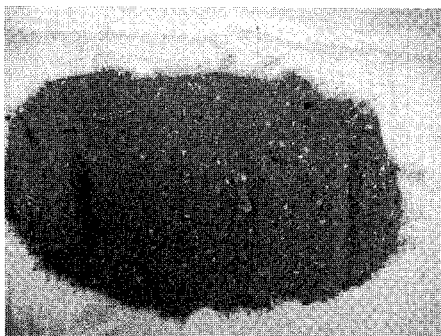


그림 1. 실험에 사용한 모래

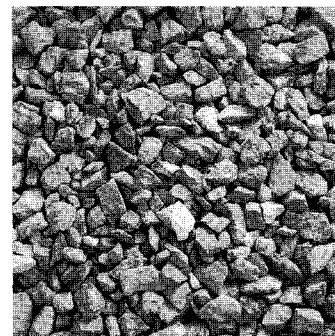


그림 2. 실험에 사용한 쇄석

표 5. 지오텍스타일의 물성

| 구 분 | 단 위 | 부직포-A | 부직포-B | 직포 | 시 험 방 법 |
|------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------|
| 재 질 | | Polyester | Polyester | Polyester | |
| 중 량 | g/m ² | 600 | 1,000 | 540 | KSK ISO 9864 |
| 인장강도 | kgf/in | 127(5t/m) | 254(10t/m) | 381 | KSK 0743 |
| 인장신도 | % | 50 이상 | 50 이상 | 30 이상 | KSK 0743 |
| 투수계수 | cm/sec | (1~9)×10 ⁻¹ | (1~9)×10 ⁻¹ | (1~9)×10 ⁻⁴ | KSK ISO 11058 |
| 봉합강도 | kgf/in | 127(5t/m) | 254(10t/m) | 381 | KSK 0530 |

림 2와 같이 40mm 이하의 현장 시공 시 사용가능한 일반적인 쇄석을 채취하여 사용하였다. 사용한 지오텍스타일인 부직포 및 직포의 제조회사에서 제시한 물성 값을 표 5에 나타내었다. 단, 접촉면에서의 마찰특성은 시험에 사용하는 재료의 입도, 다짐도 및 함수비 등에 따라 변화하는 것이 사실이나, 본 연구에서는 시험과정의 한계로 인하여 단위중량에 따른 전단 저항각의 변화를 구하여 추후 다른 유사한 연구결과들과의 상대 비교에 한계가 있음을 밝힌다.

3.2 전단 시험

본 연구의 전단시험에 사용된 대형직접전단시험기는 그림 3과 같이 전단상자가 300×300×200mm로 구성되어 있고, 수직하중은 공기압으로 가해진다. 수평하중은 로드 셀(load cell)의 전기신호를 데이터 로거(data logger)를 통해 읽어 들인 후 프로그램을 통해 하중으로 해석한다. 수평변위와 3곳의 수직변위는 LVDT를 이용하여 측정한다. 전단변형율은 별도의 콘트롤 박스(control box)를 통하여 임의의 속도로 조절이 가능하며, 본 연구에서는 모든 시험에 일괄적으로 1mm/min을 적용하였다.

모래 및 쇄석 자체의 전단시험은 가로×세로×높이가 각각 300×300×100mm인 2 개(상, 하)의 전단박스를 사용하여 시험하였으며, 모래의 경우는 현장에서 수집된 모래를 2~3일 자연건조하고 강사기를 사용하여 전단

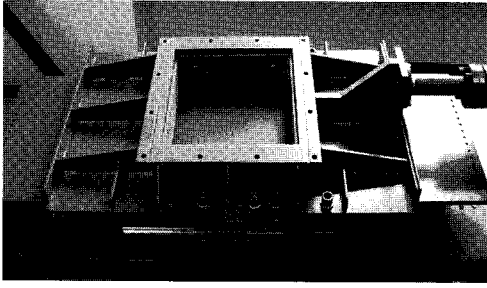


그림 3. 대형직접전단시험기

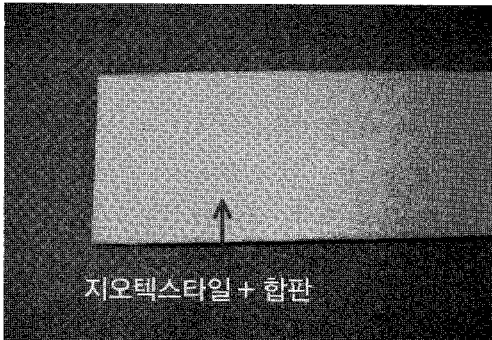


그림 4. 지오텍스타일 인장 억제 장치



그림 5. 전단시험기에 고정된 지오텍스타일

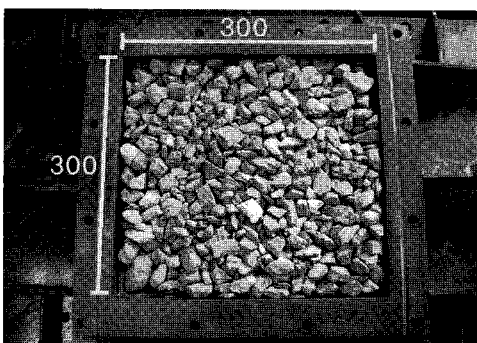


그림 6. 전단상자에 채워진 쇄석

상자로부터 2m 상부에서 자유낙하 시켜 16kN/m^3 단위 중량으로 시험하였다. 쇄석의 경우는 14kN/m^3 와 15kN/m^3 단위중량을 목표로 설정하여 미리 전단상자에 들어갈 쇄석의 양을 정하여 놓고 이를 채워 넣어 전단시험을 수행하였다. 그리고 흙(모래 및 쇄석)과 지오텍스타일

접촉면 전단시험에서는 하부에 지오텍스타일을 설치하고 상부에 가로×세로×높이가 $300\times 300\times 100\text{mm}$ 인 전단 박스에 모래는 강사방법으로 쇄석은 상기에 서술한 동일한 방법으로 채우고 시험하였다.

특히 본 연구에서 흙(모래 및 쇄석)과 지오텍스타일 접촉면 전단시험은 먼저 전단시험 중에 발생할 수 있는 지오텍스타일 자체의 인장을 억제하기 위해 그림 4와 같이 지오텍스타일을 나무판 위에 본드로 고정시킨다. 그 이유는 지오텍스타일이 바닥하부에 고정이 되어 있지 않는 경우, 전단력에 의하여 흙과 지오텍스타일에서 전단력이 발생하는 것이 아니라 지오텍스타일 자체가 늘어나는 상황이 발생하기 때문이다. 그러나 지오텍스타일의 인장변형은 본 연구와 부합하지 않으므로, 지오텍스타일 자체의 인장강도가 아닌 지오텍스타일의 표면 거칠기만을 변수로 하고 다른 조건은 제한하기 위하여 합판에 지오텍스타일을 부착, 고정하는 형태를 취하였다. 따라서 본 연구에서는 정확한 흙/지오텍스타일 간의 전단강도를 측정하고자 시험장비 바닥부인 steel 위에 나무판을 설치하고 그 위에 부드러운 재질인 PE 지오텍스타일(geomembrane)을 본드로서 고정시키고 다시 그 위에 본 연구의 대상인 지오텍스타일을 본드 및 상하부에 볼트로 고정하여 전단시험 중 지오텍스타일의 늘어짐을 방지하였다.

고정된 지오텍스타일은 그림 5의 하부에 볼트와 너트 그리고 지지대를 사용하여 고정시키고, 그림 6과 같이 전단박스에 흙을 채운다. 콘트롤 패널(control panel)을 조작하여 공기압과 수평하중을 작용시키면서, 프로그램을 통해 저장한 데이터를 정리하고 엑셀을 사용하여 최종 하중-변위 양상을 산정하였다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서 수행한 접촉면은 1.의 서론에서 소개한 바와 같이 총 6가지 경우이다. 시험 횟수는 모래자체의 대형직접전단시험은 16kN/m^3 단위중량으로 수직응력을 달리하여 3회, 쇄석자체의 대형직접전단시험은 14kN/m^3 , 15kN/m^3 단위중량에서 수직응력을 달리하여 각각 3회씩 6회 실시하였으며, 모래와 직포의 접촉면에서는 수직응력을 달리하여 3회, 쇄석과 지오텍스타일(3종류)의 접촉면에서는 쇄석의 단위중량을 14kN/m^3 로 고정하고 수직응력을 달리하여 각각 3회씩 9회를 실시하여 총 21회의 대형직접전단시험을 수행하였다.

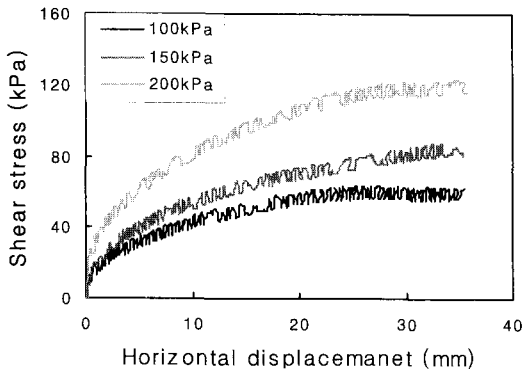


그림 7. 모래/모래의 전단응력-수평변위 곡선

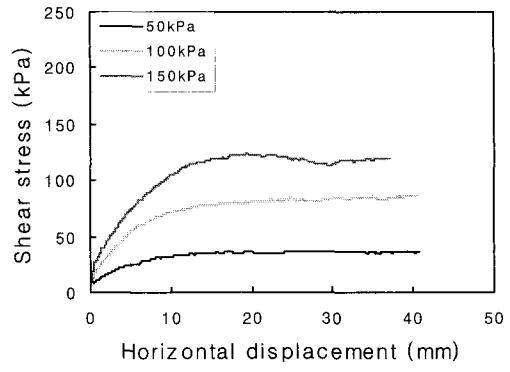


그림 11. 쇄석/부직포-A의 전단응력-변위 곡선

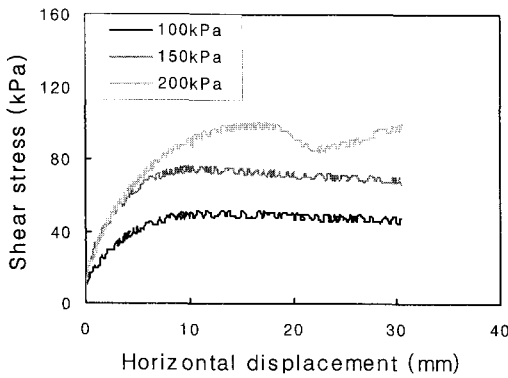


그림 8. 모래/직포의 전단응력-수평변위 곡선

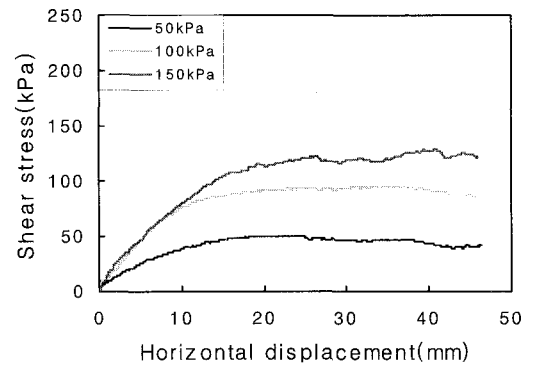


그림 12. 쇄석/부직포-B의 전단응력-변위 곡선

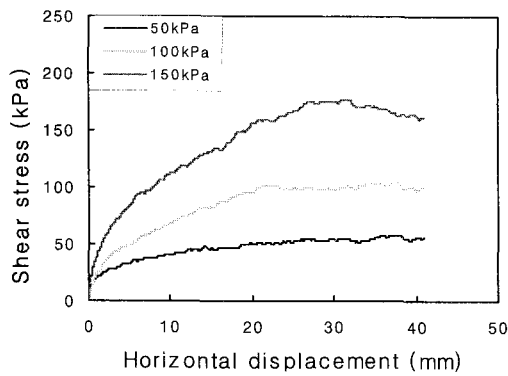


그림 9. 단위중량 14 kN/m³ 쇄석에서의 전단응력-수평변위 곡선

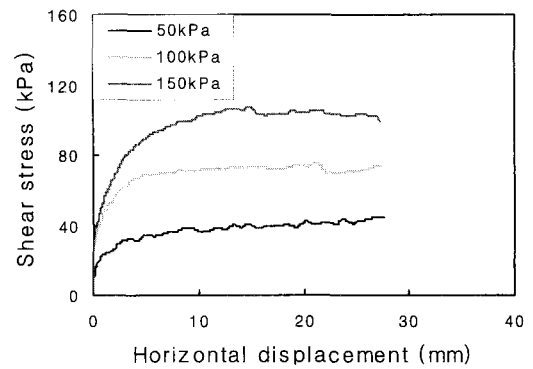


그림 13. 쇄석/직포의 전단응력-수평변위 곡선

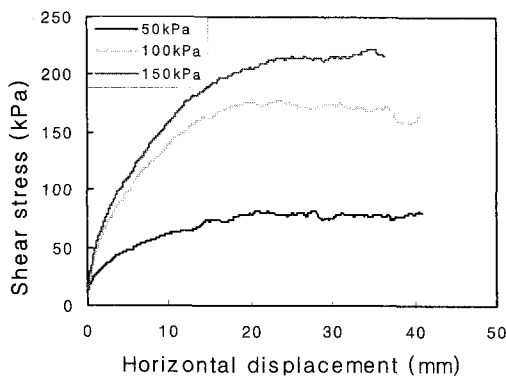


그림 10. 단위중량 15 kN/m³ 쇄석에서의 전단응력-수평변위 곡선

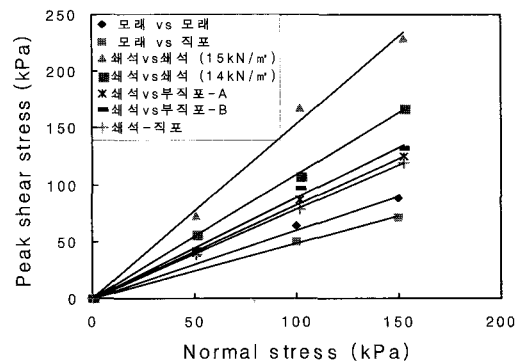


그림 14. 토목섬유 접촉면에서의 파괴 포락선(failure envelope)

4.1 전단강도와 수평변위와의 관계

본 연구에서 각각의 시험조건에서 흙의 재료로서 모래를 사용하여 수행한 전단응력-수평변위와의 그래프가 그림 7과 8에 각각 나타나 있다. 그림 7은 수직응력이 각각 100, 150 및 200kPa에서 모래 자체를 시험하였을 경우를 나타내고, 그림 8은 수직응력이 각각 100, 150 및 200kPa에서 모래와 직포의 결과를 나타내고 있다. 이때 모래의 단위중량은 16kN/m³이다. 각각의 그림에서 알 수 있듯이 높은 수직응력 하에서 높은 전단응력을 유발하고 시험을 수행한 35mm 변위까지는 잔류강도에 도달하지 않음을 알 수 있다. 따라서 진정한 잔류강도를 얻기 위해서는 링 전단시험기와 같은 장비가 필요함을 알 수 있다. 단, 그림 8에서 수직응력이 200kPa인 경우 다른 곡선과 다소 경향이 다르게 나타났으나 전체적인 경향이 유사하여 재시험을 수행하지 않았다. 시험 중에 다른 조건의 시험과 특별히 차이점을 발견하지 못한 것을 미루어 기계적인 문제라 추측되며 추후 비슷한 결과를 다시 얻을 경우 이에 대한 면밀한 연구가 필요하다고 판단된다.

또한 흙의 재료로서 쇄석을 사용하여 수행한 전단응력-수평변위와의 그래프가 그림 9~13에 각각 나타나 있다. 그림 9와 10은 쇄석을 각각 단위중량 14kN/m³ 및 15kN/m³으로 시험하였을 경우를 나타내고, 그림 11과 12는 각각 쇄석과 부직포-A 및 부직포-B의 결과를 나타내고 있다. 또한 그림 13은 쇄석과 직포의 경우를 나타낸다. 이때 쇄석의 단위중량은 14kN/m³이다. 모래의 경우와 마찬가지로 높은 수직응력 하에서 높은 전단응력을 유발하고 본 연구의 시험에서 수행한 수평 변위까지는 잔류강도에 도달하지 않음을 알 수 있다. 모래와 비교해서는 같은 수직응력 하에서 높은 전단강도를 유발함을 알 수 있다.

4.2 파괴포락선을 이용한 전단 마찰각

본 연구에서 수행한 각 조건에 대한 모든 전단시험의 파괴 포락선을 종합하여 도시하면 그림 14와 같다. 즉, 각 직선의 기울기가 그 접촉면에서의 전단 마찰각(friction angle)을 의미하며 이를 정리하면 표 6과 같다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 수행한 대형직접전

표 6. 전단 마찰각

| | 모래 (16 kN/m ³) | 쇄석 (14 kN/m ³) | 쇄석 (15 kN/m ³) | 부직포-A | 부직포-B | 직포 |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 모래(16 kN/m ³) | 30.0° | - | - | - | - | 26.0° |
| 쇄석(14 kN/m ³) | - | 47.4° | - | 39.0° | 42.1° | 38.0° |
| 쇄석(15 kN/m ³) | - | - | 57.4° | - | - | - |

표 7. 흙(모래 및 쇄석)의 전단강도 및 마찰각

| 시험조건 수직응력 | 모래 (단위중량 16 kN/m ³) | | 쇄석 (단위중량 14 kN/m ³) | | 쇄석 (단위중량 15 kN/m ³) | |
|--------------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) |
| 50 kPa | - | - | 56.5 | 48.5 | 79 | 57.7 |
| 100 kPa | 59 | 30.5 | 108.6 | 47.4 | 171.7 | 59.8 |
| 150 kPa | 82 | 28.7 | 167.5 | 48.2 | 223.0 | 56.1 |
| 200 kPa | 120 | 30.9 | - | - | - | - |

표 8. 흙과 지오텍스타일간의 전단강도 및 마찰각

| 시험조건 수직응력 | 쇄석 vs 부직포-A | | 쇄석 vs 부직포-B | | 쇄석 vs 직포 | | 모래 vs 직포 | |
|--------------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) |
| 50 kPa | 37.2 | 36.6 | 50.8 | 45.5 | 39.0 | 37.9 | - | - |
| 100 kPa | 86.3 | 40.8 | 95.9 | 43.8 | 78.0 | 37.9 | 52.0 | 27.5 |
| 150 kPa | 124.0 | 39.6 | 128.5 | 40.6 | 120.0 | 38.6 | 76.0 | 26.9 |
| 200 kPa | - | - | - | - | - | - | 98.0 | 26.1 |

표 7. 흙(모래 및 쇄석)의 전단강도 및 마찰각

| 수직응력 | 모래 (단위중량 16 kN/m ³) | | 쇄석 (단위중량 14 kN/m ³) | | 쇄석 (단위중량 15 kN/m ³) | |
|---------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) |
| 50 kPa | - | - | 56.5 | 48.5 | 79 | 57.7 |
| 100 kPa | 59 | 30.5 | 108.6 | 47.4 | 171.7 | 59.8 |
| 150 kPa | 82 | 28.7 | 167.5 | 48.2 | 223.0 | 56.1 |
| 200 kPa | 120 | 30.9 | - | - | - | - |

표 8. 흙과 지오텍스타일간의 전단강도 및 마찰각

| 수직응력 | 쇄석 vs 부직포-A | | 쇄석 vs 부직포-B | | 쇄석 vs 직포 | | 모래 vs 직포 | |
|---------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) | 최대전단강도 (kPa) | 마찰각(°) |
| 50 kPa | 37.2 | 36.6 | 50.8 | 45.5 | 39.0 | 37.9 | - | - |
| 100 kPa | 86.3 | 40.8 | 95.9 | 43.8 | 78.0 | 37.9 | 52.0 | 27.5 |
| 150 kPa | 124.0 | 39.6 | 128.5 | 40.6 | 120.0 | 38.6 | 76.0 | 26.9 |
| 200 kPa | - | - | - | - | - | - | 98.0 | 26.1 |

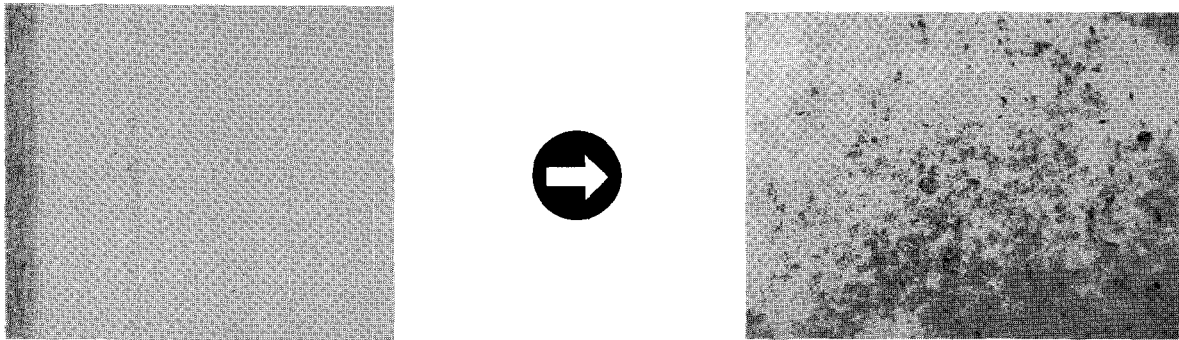


그림 15. 전단시험 전·후 부직포 비교

단시험의 결과를 종합하면 표 7 및 8과 같다. 여기에서 각 수직응력에 따른 마찰각은 사용된 시료가 모래와 쇄석을 감안하여 점착력을 '0'이라 가정하고 최대 전단강도가 수직응력에 대하여 이루는 각도로 산정되었다.

시험결과에서 알 수 있듯이 모래 자체의 전단 저항각은 30.0°로 나타났다. 또한 모래와 직포 사이의 전단각은 26.0°를 나타냈다. 따라서 전술한 효율관점에서 분석하여 보면 모래와 직포 사이의 접촉면은 모래 자체의 전단저항각의 약 84%가 발현됨을 알 수 있다.

쇄석을 사용하는 경우 쇄석의 단위중량이 14kN/m³의 경우 전단 저항각은 47.4°이고, 단위중량이 15kN/m³의 경우 전단저항각은 57.4°로 나타났다. 쇄석과 지오텍스타일 사이의 전단각은 부직포 A의 경우는 39.0°를 부직포 B의 경우는 42.1° 그리고 직포의 경우는 38.0°를 나타냈다. 같은 단위중량인 14kN/m³일 경우에 쇄석 자체와 쇄석과 부직포간의 접촉면 전단저항각을 비교하여 보면, 부직포-A의 전단저항각은 쇄석에 비해 8.4°, 부직

포-B의 전단저항각은 5.3° 그리고 직포의 전단저항각은 9.4° 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 즉 전술한 효율 관점에서 분석하여 보면 부직포-A의 경우는 접촉면에서 쇄석전단강도의 약 74%가 부직포-B의 경우는 83% 그리고 직포의 경우는 72%가 발현됨을 알 수 있다. 부직포-A와 부직포-B를 비교하여보면 기존의 연구결과(Frost and Lee, 2001)와 동일하게 상대적으로 중량이 큰 부직포-B가 큰 접촉면 전단강도를 유발하였으며, 두 제품 모두 상당부분 강도발현을 유도하는 것으로 나타났다.

또한 쇄석과 부직포간의 전단시험 전·후에 부직포의 변화 양상을 관찰하여 본 결과, 그림 15와 같이 쇄석이 부직포 구성섬유 속으로 관입되어 부직포 구성섬유를 절단시키는 것으로 나타났다. 그러나 쇄석과 직포간의 전단시험 전·후에 직포의 표면을 관찰하여 본 결과, 상대적으로 단단하게 조직되어 있는 직포 구성섬유의 절단은 부직포와 비교하여 적었으며 굽힘 현상이 다수 관찰되었다. 이는 상대적으로 매끄러운 표면을 갖는 직포

에서는 쇄석의 미끄러짐(sliding)이 지배적이고 따라서 다소 낮은 전단강도를 유발한다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 두 종류의 흙(모래 및 쇄석)과 두 종류의 부직포 그리고 한 종류의 직포를 사용하여 모래/모래, 쇄석/쇄석, 모래/직포, 쇄석/직포, 쇄석/부직포-A 그리고 쇄석/부직포-B의 접촉면전단시험을 총 21회에 걸쳐 수행하였다. 이러한 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 모래 자체의 전단저항각과 모래/직포간의 접촉면 전단저항각을 비교하여 보면, 모래와 직포 접촉면의 전단저항각은 26°를 나타내어 30°의 전단저항각을 보이는 모래에 비하여 약 84%의 효율을 보이고 있음을 알 수 있다.
- (2) 쇄석을 사용하는 경우 쇄석의 단위중량이 14kN/m³의 경우 전단저항각은 47.4°이고, 단위중량이 15kN/m³의 경우 전단저항각은 57.4°로 나타났다. 쇄석과 부직포사이의 전단각은 부직포 A의 경우는 39.0°를 부직포 B의 경우는 42.1°를 나타냈다. 또한 쇄석과 직포사이의 전단각은 38.0°를 나타내었다.
- (3) 같은 단위중량인 14kN/m³일 경우에 쇄석 자체와 쇄석과 지오텍스타일간의 접촉면 전단저항각을 비교하여 보면, 부직포-A의 전단저항각은 쇄석에 비해 8.4°, 부직포-B의 전단저항각은 5.3° 그리고 직포의 전단저항각은 9.4° 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 즉 부직포-A의 경우는 접촉면에서 쇄석전단강도의 약 74%가, 부직포-B의 경우는 83% 그리고 직포의 경우는 72%가 발현됨을 알 수 있다.
- (4) 부직포-A와 부직포-B를 비교하여보면 상대적으로 중량이 큰 부직포-B가 큰 접촉면 전단강도를 유발하였으나, 두 제품 모두 상당부분 강도발현을 유도하는 것으로 나타났다.
- (5) 쇄석과 부직포간의 전단시험 전·후에 부직포의 변화 양상을 관찰하여 본 결과, 쇄석이 부직포 구성섬유속으로 관입되어 부직포 구성섬유를 절단시키는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 삼성물산 건설부문 및 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(04핵심기술C01)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

1. 주재우, 박종범, 장용채(2003), “전단시험방법에 따른 토목섬유/모래 접촉면에서의 마찰특성”, *한국토목섬유학회논문집*, 제2권, 제1호, pp.39-45.
2. Eigenbrod, K. D., and Locker, J. G. (1987), “Determination of friction values for the design of side slopes lined or protected with geosynthetics”, *Canadian Geotechnical Journal*, 24, pp.509-519.
3. Frost, J. D. and Lee, S. W. (2001), “Microscale Study of Geomembrane-Geotextile Interactions”, *Geosynthetics International*, Vol.8, No.6, pp.577-597.
4. Martin, J. P., Koerner, R. M., and Whitty, J. E. (1984), “Experimental friction evaluation of slippage between Geomembranes, Geotextiles and soils”, *Proceeding of the International Conference on Geomembranes*, Denver, USA, pp.191-196.
5. Williams, N. D., and Houlihan, M. F. (1987), “Evaluation of interface friction properties between Geosynthetics and soils”, *Proceedings of Geosynthetics' 87*, New Orleans, LA, USA, pp.616-627.

(접수일자 2007. 3. 26, 심사완료일 2007. 10. 16)