

## 가

# Evaluation of interface shear strength between geosynthetics using three kinds of testing methods

<sup>1)</sup>, Min-Woo Seo,      <sup>2)</sup>, Jun-Boum Park,      <sup>3)</sup>, Inn-Jun Park

<sup>1)</sup> , Research Fellow, School of Civil Urban & Geosystem Engineering Department, Seoul National University

<sup>2)</sup> , Associate Professor, School of Civil Urban & Geosystem Engineering Department, Seoul National University

<sup>3)</sup> , Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanseo University

**SYNOPSIS :** In this research, the shear behavior of four different interfaces consisting of 4 types of geosynthetics was examined, and both static and dynamic tests for the geosynthetic interface were conducted. The monotonic shear experiments were performed by using an inclined board apparatus and large direct shear device. The interface shear strength obtained from the inclined board tests were compared with those calculated from large direct shear tests. The comparison results indicated that direct shear tests are likely to overestimate the shear strength in low normal stress range where direct shear tests were not performed. Curved failure envelopes were also obtained for interface cases where two static shear tests were conducted. By comparing the friction angles measured from three tests, i.e. direct shear, inclined board, and shaking table tests, it was found that the friction angle might be different depending on the test method and normal stresses applied in this research. Therefore, it was concluded that the testing method should be determined carefully by considering the type of loads and the normal stress expected in the field.

**Key words :** geosynthetics, interface, large direct shear tests, inclined board tests, shaking table tests

## 1. 서 론

토목섬유 차수재 사이(interface)의 마찰특성은 1988년에 미국의 Kettleman Hills 매립지의 파괴사례가 보고되면서 그 중요성이 부각되었다. 선진외국의 경우 이 시기를 전후로하여 최근까지 토목섬유 사이의 마찰특성에 대하여 많은 연구를 수행되었다(Jones와 Dixon, 1998a; Jones와 Dixon, 1998b). 국내에서도 이광열(1997)과 신은철과 오영인(2000)이 대형 직접전단 시험을 통해 흙/토목섬유, 토목섬유/토목섬유 사이의 전단 특성에 관한 연구를 수행한 바 있지만 아직도 보다 포괄적이고 우리나라 조건에 맞는 연구는 미흡한 실정이다. 이러한 토목섬유/토목섬유 혹은 토목섬유/흙 사이의 정적 접촉 전단 강도 측정법으로는 (1) 직접전단 시험 (direct shear test) (2) 링전단 시험 (ring shear test) (3) 경사판 시험 (inclined board test) 등이 수행되고 있다(Jones과 Dixon, 1998a). 직접전단 시험은 흙의 전단강도 측정에 사용되는 직접전단 시험기를 변형한 것으로 제한된 범위 내-일반적으로 100mm 이하-에서 시험이 실시되기

때문에 잔류 전단강도를 정확히 평가할 수 없다는 점과 비교적 큰 연직응력 상태에서 시험을 수행해야 하는 단점이 있다. 그러나, 시험기의 구조가 간단하고 시험방법 등이 연구자들에게 익숙하다는 장점 때문에 현재 가장 널리 이용되고 있다. 한편 링전단 시험기를 이용하면 매우 큰 변형에서의 잔류 전단강도를 비교적 정확하게 측정할 수 있다. 이 방법의 장점으로는 변위의 제약이 없어 비교적 정확한 잔류 전단 강도를 측정할 수 있고, 전단 도중 접촉면이 동일하게 유지되며, 기계적 마찰이 거의 없는 것 등을 들 수 있다. 반면에 시험시 전단 방향이 실제 현장에서 이루어지는 방향과 같지 않고, 시료의 크기가 작다는 점 등은 이 시험기의 한계라고 할 수 있다. 마지막으로 경사판 시험을 이용하면 낮은 연직 하중 상태에서 접촉면의 전단 특성을 비교적 정확하게 평가할 수 있다. 유럽에서 널리 사용되는 방법으로 시험기의 구조상 비교적 낮은 상재 하중에 대하여 시험을 수행해야 하는 제약이 있으나, 토목섬유 사이의 전단특성을 평가하는데 세가지 방법 중 가장 정확하다고 알려져 있다(Jones과 Dixon, 1998a).

이상의 세가지 시험법을 이용하면 정적 하중 상태에서의 접촉면 전단 강도를 평가할 수 있지만, 접촉면의 동적 마찰특성을 평가하기 위해서는 이상의 방법 외에 진동대(shaking table)를 이용하는 시험을 수행해야 한다. 본 연구에서는 동일한 토목섬유 접촉면을 대상으로 대형 직접전단 시험과 경사판 시험을 수행하여 정적 전단 특성을 평가하고, 진동대 시험을 통해 동적 마찰각을 측정한 후, 측정된 정적 및 동적 전단 강도와 마찰각을 상호 비교하여 시험 종류에 따른 강도 특성을 비교 분석하였다.

## 2 토목섬유와 전단 시험기

### 2.1 토목섬유

본 연구에서는 세 종류의 토목섬유, 즉 부직포 지오텍스타일(nonwoven GT), 표면이 매끄러운 HDPE (high-density polyethylene) 지오멤브레인(GM), 두 종류의 GCL(geosynthetic clay liner)을 이용하여, 지오멤브레인과 다른 3종류의 토목섬유 접촉면에 대한 전단 실험을 수행하였다. 비교적 최근에 널리 사용되기 시작한 GCL 중에서 본 연구에서는 두 종류의 지오텍스타일 사이에 과립형 벤토나이트를 넣어 needle punching한 형태, GCL(A)와 벤토나이트를 토목섬유에 부착시킨 형태, GCL(B) 형태의 GCL을 이용하였다(그림 1). 본 연구에 사용된 토목섬유의 두께와 구성 성분은 표 1에 제시되어 있다.

표 1. 토목섬유의 구성 및 물리적 특성

기 호	설 명	두께(mm)	재료 및 구성
S-GM	Smooth Geomembrane	2.0	HDPE
GT	Geotextile	9.0	staple fiber PP*
GCL(A)	Geosynthetic Clay Liner	7.0	GT+벤토나이트+GT
GCL(B)	Geosynthetic Clay Liner	8.0	벤토나이트+GM

\* PP : poly propylene

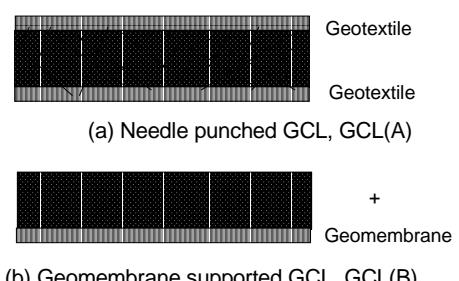


그림 1. 사용된 GCL의 단면

표 2. 시험 대상 접촉면의 종류 및 설명

접촉면의 유형	설 명
GT/S-GM	부직포 지오텍스타일(GT)이 S-GM과 접촉함
GCL(A)NW/S-GM	GCL(A)의 부직포 부분(GCL(A)NW)이 S-GM과 접촉함
GCL(A)W/S-GM	GCL(A)의 직포 부분(GCL(A)W)이 S-GM과 접촉함
GCL(B)/S-GM	GCL(B)의 벤토나이트 부분이 S-GM과 접촉함

본 연구에서는 표 1에 제시된 토목섬유들로 이루어진 4가지 유형의 접촉면에 대하여 전단시험을 수행하였다. 이 4가지 유형의 접촉면은 지반환경 구조물에서 흔히 나타나는 접촉면들로 각기 다른 연직하중 상태에서 어떠한 전단 강도 특성을 보이는지 살펴보았다. 본 연구에서 시험 대상이 된 접촉면의 종류와 접촉면에 대한 설명은 표 2에 제시하였다.

## 2.2 전단 시험기

본 연구에서는 앞서 설명한 실험기 중에서 대형 직접전단 시험기, 경사판 시험기, 진동대 시험기를 이용하여 각각 높은 연직응력에서의 정적 전단강도, 낮은 연직응력에서의 정적 마찰각, 동적하중에서의 동적 마찰각 등을 평가하였다.

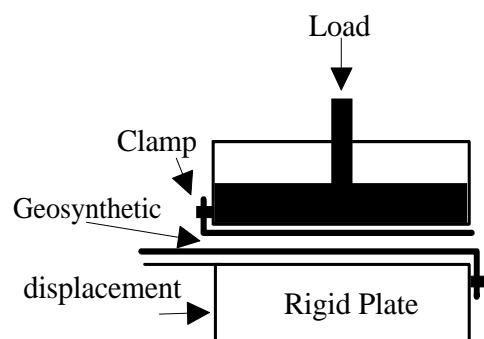
### 2.2.1 대형직접전단 시험기

본 연구에 이용된 대형 직접전단 시험기의 개략적인 모습은 그림 2와 같다. 상부와 하부 상자의 단면 크기는  $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 이며, 다른 시험(경사판 시험과 진동대 시험)에서도 동일한 크기의 단면을 가지는 상자에 이용하여 시험을 수행하였다. 하부 상자 내부에는 단단한 재료를 채워 전단 시험 수행시 전단면이 평평하게 유지되도록 하였으며, 시험기의 구성과 전체적인 시험 과정은 ASTM D 5321(1998)에 제시된 방법을 따랐다.

시험순서는 다음과 같다. 먼저 토목섬유를 각각 적당한 크기로 절단하고, 고정핀을 이용하여 전단시험기의 상·하부 상자에 고정시킨다. 그리고 상·하부 상자에 고정된 토목섬유를 서로 접촉시킨 후, 연직 응력을 가한다. 가해진 연직하중이 안정되면 전단을 가하였으며, 이 때 전단 속도는  $1\text{mm/min}$ 였다. 본 연구에서는  $31\text{kPa}$ 에서  $147\text{kPa}$  사이 4가지 연직응력에 대하여 전단시험을 수행하였다. 전단 응력과 전단 변위는 변위가  $80\text{mm}$ 에 이를 때까지 일정한 시간간격으로 측정되었으며, 시험을 통해 최대값과  $80\text{mm}$ 에서의 값을 측정한 후, 이를 값을 이용하여 각 접촉면의 최대 및 대변형율 전단강도를 평가하였다.



(a) 대형 직접전단 시험기 사진



(b) 대형 직접전단 시험기의 개략적인 모식도

그림 2. 본 연구에서 이용한 대형 직접전단 시험기 (서민우 등, 2002)

### 2.2.2 경사판 시험기

두 번째로 경사판 시험기를 통해 낮은 연직응력 수준에서 접촉면의 전단 특성을 평가하였다. 본 연구에 이용한 경사판 시험(inclined board test)기의 개략적인 모습은 그림 3과 같다. 시험기는 모터와 경사판 등으로 구성된 본체, 변위 및 인장력을 측정하는 계측기, 계측기를 본체에 고정시켜주는 장치, 그리고 상자와 연직응력을 가하기 위한 철판으로 구성된다. 본 시험기의 하부에는 경사판을 일정한 각속도로 회전시키는 기능을 하는 모터가 달려있으며, 상자가 놓이는 경사판은 하부 모터와 봉(rod)으로 연결되어 있다. 본 시험기의 용량, 즉 경사판 위에 최대로 올려놓을 수 있는 무게는  $100\text{kg}$ 이며, 경사판 오른

쪽에는 2개의 하중계(loadcell) 고정장치를 설치하여 동시에 두 개의 토목섬유에서 발생하는 인장력을 측정할 수 있도록 하였다. 즉, 본 시험기는 상자 하부에 최대 두 개의 토목섬유까지 설치할 수 있도록 제작되었다.

경사판 시험에서 각 접촉면의 마찰각은, 일정한 속도로 경사판을 기울이다가 하부에 토목섬유가 부착된 상자가 미끄러지는 순간을 측정하여 이 때 기울기를 이용하여 구하게 된다. 본 연구에서는 시험기의 기계적 용량 한계로 인하여 상대적은 작은 크기의 연직응력, 즉 10kPa 이하에 연직응력에 대하여 시험을 수행하였다. 경사판 시험기는 실제 현장과 유사한 상태를 모사할 수 있기 때문에, 앞서 언급한 바와 같이 비교적 낮은 연직응력에서의 전단 거동을 비교적 정확하게 평가한다고 알려져 있다. 본 연구에서도 대형 직접전단 시험기의 기계적 한계로 인해 측정이 어려웠던 낮은 연직응력 범위에서의 전단 특성을 본 시험기를 통해 비교적 정확하게 측정할 수 있었다. 경사판 시험을 통해 측정한 각 접촉면의 전단강도는 그림 4과 같으며, 그림 4에서 직선 파괴포락선의 기울기는 각 접촉면의 마찰각을 의미한다.

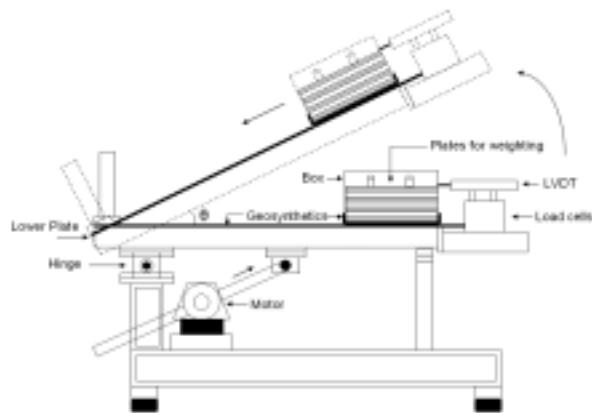


그림 3. 경사판 시험기의 개략도 (신준수 등, 2003)

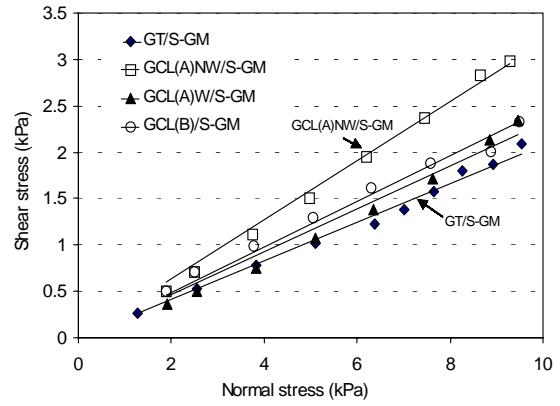


그림 4. 각 접촉면에 대한 경사판 시험 결과

### 2.2.3 진동대 시험기

세 번째로 본 연구에서는 진동대를 이용하여 토목섬유 사이의 동적 접촉 마찰 특성을 평가였다(그림 5). 진동대는 마찰력이 없는 수평방향으로 움직이는 두 개의 바퀴 위에 놓여진 알루미늄판으로 진동을 유발시키는 가진기(vibration exciter)와 연결되어 있으며, 진동수와 가속도를 임의로 지정할 수 있다. 시험 방법은 다음과 같다. 먼저 진동대 위에 지오멤브레인 토목섬유를 부착시키고 하부에 토목섬유가 설치된 상자를 진동대 위에 위치시킨 후, 진동대의 진폭을 증가시키는 방법으로 가속도를 최대 0.40g(g는 중력가속도)까지 증가시켜 각 단계에서 가속도와 상자의 변위를 측정한다. 상자 내에 하중판(plate)을 삽입하는 방법으로 다양한 연직 하중을 가하였으며, 동시에 진동수(2, 5, 10 Hz)도 변화시키면서 실험을 수행하였다. 2개의 가속도계를 통해 상부 상자와 진동대 테이블의 가속도를 측정하였으며, 진동대에 LVDT를 부착시켜 상자와 진동대 사이의 상대적인 변위를 측정하였다. 본 연구에 이용된 진동대의 크기는 1,000×1,000(mm)였으며, 가해진 연직응력 각각 1.6, 3.6, 6.8 kPa였다.

실험 결과(그림 6)를 통해 가속도가 상대적으로 작은 단계에서는 상자의 가속도는 테이블의 가속도와 거의 일치하나, 가속도가 상대적으로 클 때 즉 접촉면에서 상대적인 변위가 발생한 후에는 접촉면을 통해 상부의 상자로 전해지는 가속도가 감소함을 확인할 수 있었다. 즉, 가해지는 가속도가 일정 수준을 초과하면 상자에 전달되는 최대 가속도가 테이블의 최대 가속도보다 작아짐을 확인하였다. 전달되는 가속도가 감소하기 시작하는 지점을 측정하여 각 접촉면의 동적 마찰각( $\phi_d$ )을 산정하였으며, 접촉면에 이 크기 이상의 가속도가 가해지면 상대변위가 발생하면서 접촉면 상부로 전달되는 동적힘이 감소되게 된다. 동적 마찰각은 상자에서 측정되는 가속도가 진동대의 가속도보다 작아지기 시작하는 점( $a_b$ )을 아래식 (1)에 대입하여 구하게 된다.

$$\tan \phi_d = a_b / g \quad (1)$$

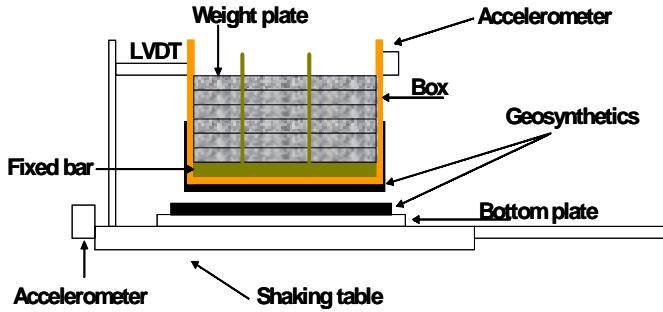


그림 5. 진동대 시험기 모식도 (김동진 등, 2003)

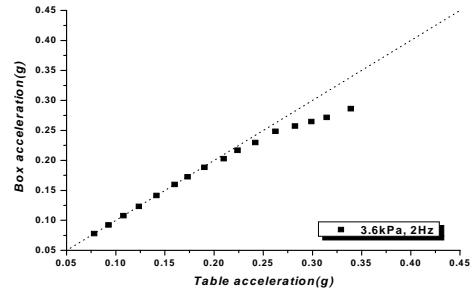


그림 6. 진동대 시험의 대표적인 실험 결과

### 3 시험 결과와 분석

#### 3.1 전단시험을 통해 측정한 전단 강도 특성

표 3은 대형 직접전단 시험, 경사판 시험, 진동대 시험을 통해 측정한 전단강도(마찰각과 점착력)를 정리하여 보여주고 있다. 각 시험법에 따라 전단강도를 산정하는 방법이 조금씩 다르며, 또한 경사판 시험과 진동대 시험에서는 점착력 성분이 없는 것으로 나타나지만 직접전단 시험에는 점착력 성분이 구해지기 때문에, 강도 정수(마찰각과 점착력)를 이용하여 시험법에 따른 각 접촉면의 전단강도를 상호 비교하기에는 무리가 있었다. 하지만 일단 점착력 성분은 무시하고 마찰각 성분만을 비교해보면 경사판시험에서 가장 큰 마찰각이 구해짐을 확인할 수 있었다(표 3). 이는 낮은 연직응력 상태에서의 정적 마찰각이 다른 조건에 비해 더 크다는 것을 의미한다. 그러나, 이는 점착력 성분을 고려하지 않은 상태에서 비교한 결과이기 때문에, 각 시험을 통해 측정된 전단특성을 전단강도와 연직응력 관계, 마찰각과 연직응력의 관계 등을 통해 좀더 상세하게 비교하였다(그림 7, 그림 8). 한편 유사한 연직응력에서 수행된 경사판 시험과 진동대 시험을 비교한 결과, 경사판 시험을 통해 측정된 정적 마찰각이 동적 마찰각보다  $1.6^\circ \sim 7.4^\circ$  크게 측정됨을 관찰하였다.

표 3. 세가지 전단시험을 통해 측정된 정적 및 동적 전단 특성 비교

Interface	대형 직접전단 시험		경사판 시험		진동대 시험	
	마찰각 (점착력)	연직응력	마찰각 (점착력)	연직응력	동적 마찰각	연직응력
GT/S-GM	6.6° (3.1kPa)	31kPa ~ 147kPa	11.8° (0kPa)	1kPa ~ 10kPa	10.2°	1.6kPa, 3.6kPa, 6.8kPa
GCL(A)NW/S-GM	11.6° (0.2kPa)		17.6° (0kPa)		10.2°	
GCL(A)W/S-GM	6.7° (10.0kPa)		13.0° (0kPa)		10.8°	
GCL(B)/S-GM	13.4° (5.1kPa)		13.8° (0kPa)		10.2°	

#### 3.2 정적 전단 강도 특성 비교 (대형 직접전단 시험과 경사판 시험)

그림 7는 정적하중에서 수행된 두가지 시험, 즉 대형 직접전단 시험과 경사판 시험을 통해 측정된 전단강도를 함께 보여주고 있다. 두가지 시험 결과를 비교해보면, 접촉면에 따라 일관되지 않은 경향을 보였다. 즉 GCL(A)NW/S-GM 접촉면의 경우, 직접전단 시험에서는 작은 점착력(0.2kPa)과 함께 경사판 시험보다  $6^\circ$  작은 마찰각인 측정된 반면, GCL(A)W/S-GM 접촉면에서는 직접전단 시험에서 산정된 마찰각은 GCL(A)NW/S-GM 접촉면과 동일하게 경사판시험보다  $6^\circ$  정도 작게 측정된 반면 상당히 큰 점착력(10kPa)이 구해졌다. 또한 GCL(B)/S-GM 접촉면에서는 마찰각의 경우 서로 비슷한 반면 직접전단

시험에서는 5kPa 정도의 접착력이 산정되었다.

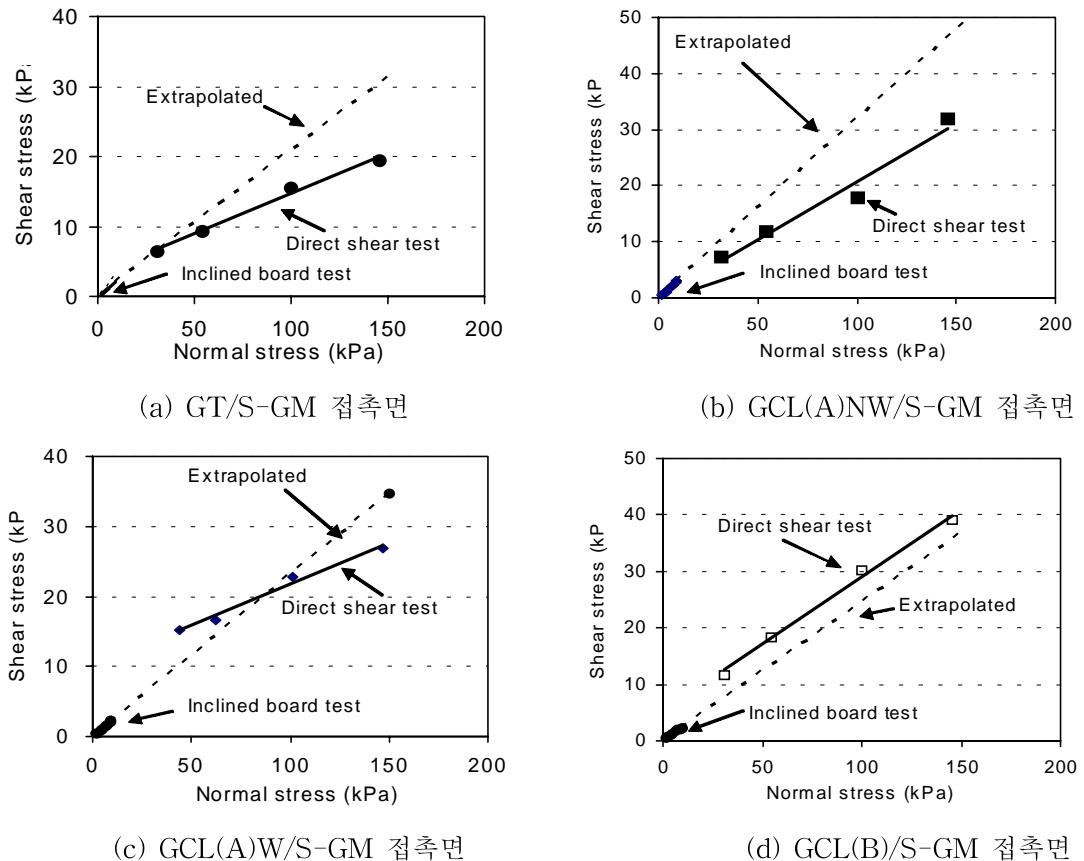


그림 7. 직접전단 시험과 경사판 시험을 통해 측정한 전단강도 비교

하지만, 몇가지 일관된 경향, 즉 경사판 시험에서 가장 큰 마찰각(기울기가 큼)을 보이며, 연직응력이 증가할수록 마찰각이 감소함, 즉 파괴포락선의 기울기가 감소함을 확인할 수 있었다. 이를 통해 경사판 시험에서 구현되는 시험조건이 보다 실제에 가깝다는 사실을 고려할 때, 낮은 연직응력에서는 직접전단 시험결과가 전단강도를 실제보다 과대평가할 가능성이 높음을 확인할 수 있었다. 이러한 직접전단 시험을 한계를 보완하기 위해서는 본 연구에서와 같이 낮은 연직응력에서는 경사판 시험을 실시하여 낮은 연직응력 단계에서의 전단강도를 보다 정확하게 측정한 후, 직접전단 시험결과와 함께 파괴포락선을 구하는 것이 필요하다. 본 연구에서도 두가지 시험을 통해 구한 전단강도를 동시에 근사키시는 파괴포락선식을 구하였으며, 그 결과 곡선(curved) 형태의 파괴포락선을 구할 수 있었다. 상관계수,  $r^2$  값을 통해 이 곡선모양의 추세선이 모든 실험자료를 비교적 잘 모사하는 것을 확인하였으며, 이렇게 구해진 곡선모양의 파괴포락선식과 상관계수를 표 4에 제시하였다.

표 4. 정적 시험을 통해 구한 곡선 형태의 파괴포락선 식 ( $\tau$  : 전단응력,  $\sigma_n$  : 연직응력, 단위 : kPa)

Interface	곡선 형태의 파괴 포락선 식	상관 계수 ( $r^2$ )
GT/S-GM	$\tau = -0.0005\sigma_n^2 + 0.2057\sigma_n$	0.999
GCL(A)NW/S-GM	$\tau = -0.0011\sigma_n^2 + 0.2822\sigma_n$	0.997
GCL(A)W/S-GM	$\tau = -0.0007\sigma_n^2 + 0.3677\sigma_n$	0.997
GCL(B)/S-GM	$\tau = -0.0011\sigma_n^2 + 0.3444\sigma_n$	0.991

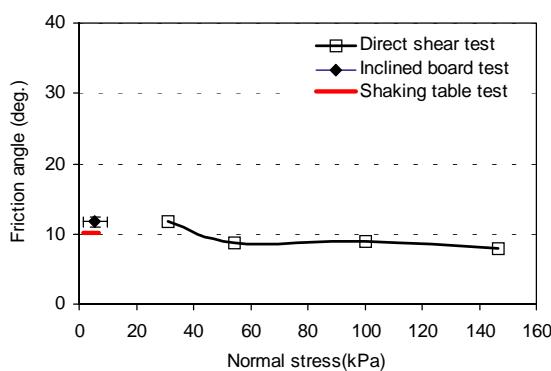
### 3.3 마찰각 비교 (대형 직접전단 시험, 경사판 시험, 진동대 시험)

본 연구에서 측정한 연직응력에 따른 마찰각의 범위를 표 4에 정리하여 제시하였다. 경사판 시험의 경우 각 연직응력별로 마찰각을 구한 후 그 범위와 평균 마찰각을 제시하였으며, 직접전단 시험에서는 각 연직응력에서 측정된 최대 전단 강도와 연직응력 비의  $\tan^{-1}$  값, 즉 secant 마찰각을 구하여 그 범위와 평균값을 제시하였다. 진동대 시험에서 구해진 동적 마찰각은 연직응력에 따라 그 값이 큰 차이를 보이지 않기 때문에 대표값만을 제시하였다. 표 5에 제시된 마찰각의 범위와 평균 마찰각은 동일한 접촉면이 포함된 구조물의 안정성 평가시 참고자료로 활용될 수 있다.

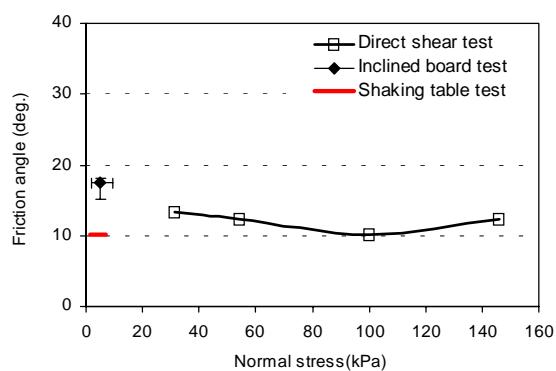
표 5. 3가지 전단 시험을 통해 측정한 마찰각의 범위와 평균 마찰각

접촉면	대형 직접전단 시험		경사판 시험		진동대 시험	
	마찰각 (°)	연직응력 (kPa)	마찰각 (°)	연직응력 (kPa)	동적 마찰각 (°)	연직응력 (kPa)
GT/S-GM	8.0~11.8 (9.4)	31 ~ 146	10.9~12.4 (11.6)	1 ~ 10	10.2	1.6kPa, 3.6kPa, 6.8kPa
GCL(A)NW/S-GM	10.1~13.3 (12.0)	31 ~ 146	15.1~18.2 (16.9)	2 ~ 9	10.2	
GCL(A)W/S-GM	15.3~23.7 (18.6)	44 ~ 147	10.5~13.9 (12.1)	2 ~ 10	10.8	
GCL(B)/S-GM	15.0~20.6 (17.8)	31 ~ 146	12.7~15.8 (14.4)	2 ~ 10	10.2	

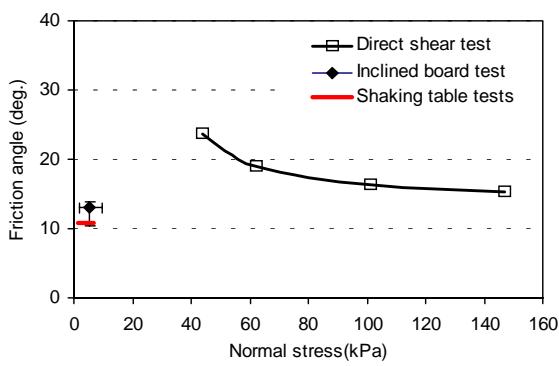
( ) : 평균 마찰각



(a) GT/S-GM 접촉면



(b) GCL(A)NW/S-GM 접촉면



### (c) GCL(A)W/S-GM 접촉면

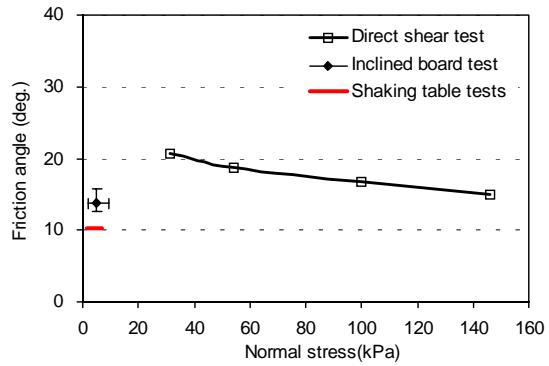


그림 8. 3가지 전단 시험에서 측정된 마찰각

표 5에 제시된 마찰각과 연직응력의 관계를 도시하여 보았다(그림 8). 표 5의 결과와 동일하게 모든 접촉면에 있어서 진동대 시험을 통해 측정된 동적 마찰각이 가장 작은 값을 보이고 있었다(GT/S-GM 접촉면 제외). 또한 대형 직접전단 시험 결과에서는 연직응력이 증가함에 따라 secant 마찰각이 감소하는 모습을 보였는데, 이는 표 4에서 제시된 바와 같이 전단강도가 연직응력이 증가함에 따라 감소하는,

즉 곡선(curved) 형태의 파괴포락선이 존재함을 의미한다.

이상의 비교분석을 통해 접촉면이 달라지면 각 시험법이 접촉 전단 특성에 미치는 영향도 조금씩 다르게 나타남을 확인하였으며, 또한 접촉 전단 강도가 연직응력에 영향을 받아 연직응력이 증가할수록 파괴포락선이 직선에서 곡선 형태로 격이는 곡선형태의 파괴포락선을 구할 수 있었다.

결론적으로 접촉면의 전단강도를 정확하게 평가하기 위해서는, 현장에 예상되는 하중의 유형과 크기를 정확히 파악하여 이에 알맞은 시험법을 선정한 후(낮은 연직응력 : 경사판 시험, 높은 연직 응력 : 대형 직접전단 시험, 동적 하중 : 진동대 시험), 샐레 현장에 설치되는 재료를 대상으로 시험을 수행하여야, 실제 현장에서 보이는 거동을 보다 정확하게 실험실에서 구현할 수 있을 것으로 판단된다.

## 4 결론

지반 및 지반환경 분야에서 널리 사용되는 4가지 토목섬유, 즉 지오멤브레인, 지오텍스타일, 2종류의 GCL(GCL(A), GCL(B))로 이루어진 4가지 유형의 접촉면을 대상으로 전단시험을 실시하여 시험법에 따른 전단특성을 살펴보았다. 대형 직접전단 시험과 경사판 시험을 통해서 정적 마찰 특성을 진동대 시험을 통해서는 동적 마찰 특성을 평가하였다. 3가지 시험법을 통해 측정한 전단 특성을 마찰각과 점착력, 연직응력에 따른 마찰각의 변화, 연직응력과 전단강도의 관계를 이용하여 비교하였다. 시험법에 따른 일반적은 경향을 찾기는 어려웠지만, 경사판 시험을 통해 측정된 마찰각이 다른 시험에서 측정된 마찰각 보다 크게 산정됨은 확인할 수 있었다. 또한 경사판 시험과 직접전단 시험에서 측정된 전단강도를 동시에 모사할 수 있는 곡선형태의 파괴포락선식을 구할 수 있었다. 세가지 시험을 통해 측정된 전단 특성을 상호 비교한 결과, 접촉면이 달라지면 각 시험법이 접촉 전단 특성에 미치는 영향도 조금씩 다르게 나타나기 때문에, 접촉면의 전단강도를 정확하게 평가하기 위해서는 현장에 예상되는 하중의 유형과 크기를 정확히 파악하여 이에 알맞은 시험법을 선정한 후(낮은 연직응력 : 경사판 시험, 높은 연직 응력 : 대형 직접전단 시험, 동적 하중 : 진동대 시험), 실제 현장에 설치되는 재료를 대상으로 시험을 수행하여야 현장에서 예상되는 거동을 실험실에서 보다 정확하게 구현할 수 있을 것이라 판단된다.

## 참고문헌

1. 김동진, 서민우, 박준범, 박인준 (2003), “토목섬유의 동적 경계면 마찰특성 평가”, *한국지반공학회논문집*, 제19권, 제4호, pp.265~275
2. 서민우, 박준범, 김운영 (2002), “지오멤브레인/지오텍스타일의 접촉 전단강도 평가”, *한국지반공학회논문집*, 제18권, 제1호, pp.79~89
3. 신은철, 오영인 (2000), “폐기물 매립장에 사용되는 토목섬유 마찰특성 및 안정해석에 관한 연구”, *한국폐기물학회지*, 제17권, 제7호, pp.862~874
4. 신준수, 서민우, 박준범, 박인준 (2003), “경사판 시험을 통한 토목섬유와 흙의 접촉 전단 특성 평가”, *한국지반공학회논문집*, 제19권, 제6호
5. 이광열 (1997), “폐기물 매립지 사면차수구조의 HDPE 인장강도에 관한 연구”, *한국폐기물학회지*, 제14권, 제7호, pp.832~840
6. ASTM D 5321 (1998), "Standard test method for determining the coefficient of soil and geosynthetic and geosynthetic and geosynthetic friction by the direct shear method", *American society for testing and materials*, Philadelphia, Pennsylvania
7. Jones, D.R.V., and Dixon, N. (1998a), “The stability of geosynthetics landfill lining systems , Geotechnical Engineering of Landfill, *Proceedings of the symposium at the Nottingham Trent university*, Department of civil and structural engineering on 24 September, pp.99~117
8. Jones, D.R.V., and Dixon, N. (1998b), "Shear strength properties of geomembrane/geotextile interfaces", *Geotextiles and Geomembranes*, 16, pp.45~71