

HDPE 표면처리 지오멤브레인의 경계면 전단강도에 관한 연구

A Study on the Interface Shear Strength of HDPE Textured Geomembrane

김 세 진¹⁾ · 윤 희 정[†]

Sejin Kim · Heejung Youn

Received: December 16th, 2015; Revised: December 29th, 2015; Accepted: January 22nd, 2016

ABSTRACT : This paper evaluates the interface shear strength of HDPE textured geomembrane. The interface shear strength between textured geomembrane and marl, and textured geomembrane and woven geotextile were measured; and the smooth geomembrane was used to evaluate the effect of "texture" on the interface shear strength. The interface shear strength was measured using a large direct shear testing device under several conditions including the presence of water, and the normal stresses that were 12, 24, 45, 100, 500, and 1,000 kPa. From testing results, it was found that there was meaningful reduction in the interface shear strength in the presence of water, but the effect of normal stress was not clear. The interface shear strength was measured to be significantly different for smooth geomembrane, whose strength was measured to be as small as half that of the textured geomembrane.

Keywords : Textured geomembrane, Interface shear strength, Large direct shear test, Water condition, Smooth geomembrane, Marl

요 지 : 본 논문에서는 HDPE 표면처리(textured) 지오멤브레인의 경계면 전단거동을 파악하고자 하였다. 표면처리 지오멤브레인과 marl, 그리고 직포(woven geotextile)와의 경계면에서 발생하는 경계면 전단강도를 측정하였으며, 표면처리의 영향을 파악하기 위해 매끈한(smooth) 지오멤브레인과 직포와의 경계면 전단강도를 측정하여 비교·분석하였다. 경계면 전단강도는 대형직접전단 시험기를 이용하여 측정하였으며, 다양한 조건에 대해 거동 변화를 알아보기 위해 수침조건과 수직응력을 변화시켰다. 시험에 사용된 수직응력은 총 6단계로 저압(12, 24, 45kPa)과 고압(100, 500, 1,000kPa)으로 구분하여 적용하였다. 시험결과 수침에 의한 경계면 전단강도의 감소는 유의미한 수준으로 나타났으며, 수직응력의 영향은 불확실했다. 표면처리 여부에 따라 경계면 전단강도는 큰 차이를 보여주었는데 매끈한 지오멤브레인의 경계면 전단강도는 표면처리 지오멤브레인에 비해 절반까지 감소하는 것으로 나타났다.

주요어 : HDPE 표면처리 지오멤브레인, 경계면 전단강도, 대형직접전단시험, 수침상태, 매끈한 지오멤브레인, Marl

1. 서 론

토목섬유는 합성 고분자 재료를 써서 만들어진 합성수지 제품으로 보강토 옹벽 시공 시 지반강도를 높여주고 변위를 제어해주는 목적으로 많이 사용되고 있다. 보강토 옹벽에 사용되는 보강재로는 지오그리드(geogrid)와 지오텍스타일(geotextile), 지오셀(geocell)이 가장 많이 사용되고 있으며, 오염지반의 경우 오염물질이 유출되는 것을 방지하기 위한 차수재로 사용하는 GCL(Geosynthetic Clay Liner)이 있다. 지오텍스타일과 GCL은 서로 겹쳐서 사용하기도 한다. 지반 내에 토목섬유를 설치한 경우 지반과 경계면에서 지지력이 발생하게 되는데 토목섬유와 지반의 경계에서 발생하는 경계면 전단강도에 따라 보강토 옹벽이나 보강사면의 거동도 지배를 받는다. 일반적으로 경계면 마찰각은 지반의 내부

마찰각보다 작은 값으로 알려져 있으며, 경계면 마찰각이 작은 경우 경계면을 따라 파괴가 발생하게 되어 구조물의 안전성을 감소시키는 주요인자가 된다. 따라서 토목섬유가 사용되는 구조물에서는 시험을 통해 경계면 마찰각이나 부착력을 정확하게 산정하여 구조물 전체의 안전성을 검토해야 한다.

토목섬유의 경계면 전단강도에 대한 연구는 국내·외에서 활발하게 이루어졌다. 국외에서는 Concrete sand와 Ottawa sand, 그리고 토목섬유(CZ 600)와의 전단시험을 수행한 결과 23°~30°의 경계면 마찰각을 얻었다(Martin et al., 1984). 측정된 경계면 마찰각을 이용한 마찰계수는 지반 내부 마찰각을 이용한 마찰계수와 비교했을 때 0.8에서 1.0 사이의 값인 것으로 나타났다. 마찬가지로 Concrete sand와 Ottawa sand 등을 이용해서 Typer 3401 등의 토목섬유와의 시험결

1) Department of Civil Engineering, Hongik University

† Department of Civil Engineering, Hongik University (Corresponding Author : geotech@hongik.ac.kr)

과 22°~35°의 마찰각을 얻은 바 있다(Williams & Houlihan, 1987). 유사 지반에 대해 다른 종류의 토목섬유를 이용하여 마찰 계수를 구한 결과 작게는 0.61에서 크게는 0.97에 이르기까지 토목섬유에 따라 차이가 크게 나타났다. 국내에서는 직포(woven geotextile)를 모래와 점토로 전단시험을 한 결과 각각 26°, 그리고 7.7°의 결과를 얻은 바 있다(Youn et al., 2006). 점토에서의 경계면 마찰각은 모래에서의 값에 비해 크게 작은 것으로 나타났다. 또한 내부 마찰각 28°인 모래에서 부직포와 모래간의 마찰각은 토목섬유의 인장변형이 허용되는 자유조건일 때 27°로 측정되었으며, 인장변형이 억제되는 고정조건에서는 30°로 측정되어 동일한 보강지반이라 하더라도 고정법에 의해 더 큰 마찰각을 얻는 것으로 나타났다(Ju et al., 2003).

많은 연구들이 진행되었음에도 불구하고 수침상태나 수직응력의 크기에 대한 연구는 물론 표면처리의 영향에 대한 연구는 미흡하다. 본 연구에서는 HDPE(High Density Polyethylene) 표면처리(textured) 지오멤브레인을 이용하여 marl과 직포와의 경계면 전단강도를 대형직접전단시험기를 이용하여 측정하였으며, 표면처리의 영향을 보기 위해 매끈한(smooth) 지오멤브레인과 직포에 대한 시험을 수행하였다. 시험조건으로 건조상태와 수침상태로 나누어 수행했고, 12kPa에서 1,000kPa까지 총 6단계의 수직응력을 적용하였다. 저압과 고압에서의 거동이 상이할 것으로 예상되어 12, 24, 48kPa을 저압으로, 100, 500, 1,000kPa을 고압으로 구분하였으며 각 시험 조건에 따른 경계면 전단강도와 변위를 측정하고 경계면 마찰각 및 부착력을 제시하였다.

2. 시험장비 및 방법

2.1 토목섬유

Fig. 1은 본 시험에 사용된 토목섬유의 사진이다. Fig. 1(a)는 표면처리 지오멤브레인의 사진으로 두께가 약 1.5mm인 스페인 ATARFIL HD 제품이다. 사용된 지오멤브레인은 97.5%의 순수 폴리머(polymer)와 약 2.5%의 카본블랙(carbon black), 항산화물질(antioxidant)과 열안정제(thermal stabilizer)가 첨가되어 있다. 지오멤브레인은 표면처리에 따라 textured와 smooth로 나누어져 있는데 표면처리 지오멤브레인의 경우 접촉면에서 지반과의 경계면 마찰력을 증가시키기 위해 양면을 돌기모양으로 처리되어 있다(Fig. 1(a)). 매끈한 지오멤브레인의 경우 돌기가 없으나 그 이외의 물성은 표면처리 지오멤브레인과 동일하다(Fig. 1(b)). Table 1은 ATARFIL사에서 제공하고 있는 지오멤브레인의 물성값을 보여주고 있다. 표면처리 지오멤브레인의 항복 인장강도는 25N/mm이며 파괴 인장강도는 46N/mm이다. 지오멤브레인과 직포의 경계면 전단강도 측정에 사용한 직포는 Fig. 1(c)에 나타나 있으며 두께는 0.25mm, 인장강도는 20N/mm 이상으로 측정되었다.

2.2 사용지반

본 연구에서 사용된 시료는 사우디아라비아의 라스알카이르(Ras Al Khair) 지역에서 채취한 marl로 실내시험실에서 재성형되어 본 연구에 사용하였다. Fig. 2는 marl의 입도

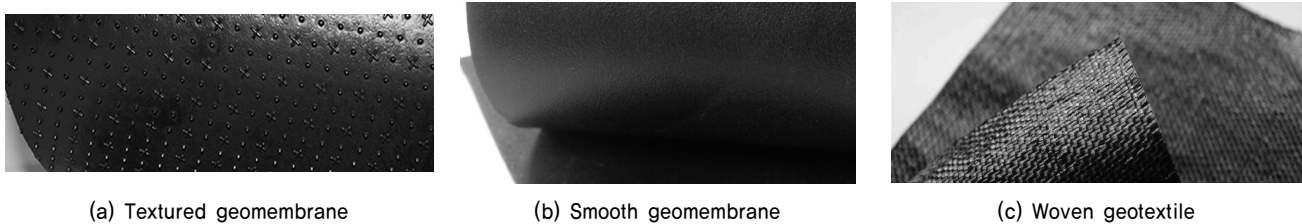


Fig. 1. Surface of tested geosynthetics

Table 1. Properties of HDPE textured geomembrane

Property	Unit	Test method	Value
Density	g/cm ³	ASTM D792-08 (2008)	0.946 (± 0.004)
Water permeability	m ³ /m ² day	AFNOR EN 14150 (2006)	< 10 ⁻⁶
Tensile strength at yield	N/mm	ASTM D638-08 (2008) (type 5)	25
Elongation at yield	%		12
Tensile strength at break	N/mm		46
Elongation at break	%		800
Tear resistance	N	ASTM D1004-08 (2008)	202
Puncture resistance	N	ASTM D4833-07 (2007)	4,000

분포곡선을 보여주고 있다. 시험에 사용된 marl의 입도 분포 곡선에 따라 입자크기에 의해 대부분 모래질로 구성되어 있으며 비중은 2.73, 균등계수는 2.293, 곡률계수는 1.241로 계산되었다. 그러나 marl은 주문진 표준사와 같이 입경이 큰 규사질 모래와는 구분되는 가는 모래이다. 본 시료는 ASTM D2487의 통일분류법(ASTM D2487-06, 2006)에 의해 빈입도 모래(SP)로 분류되었다.

2.3 시험장비 및 시험방법

경계면 전단강도 측정을 위해 대형직접전단시험기를 ASTM D5321-08(2008) 기준에 의한 경계면 마찰각을 측정할 수 있는 장비로 개조하였다. Fig. 3(a)는 경계면 마찰각 측정에 사용된 대형직접전단시험기이다. 전단상자의 크기는 상부와 하부가 각각 300×300×100mm이며 하부에 측정하고자 하는 시

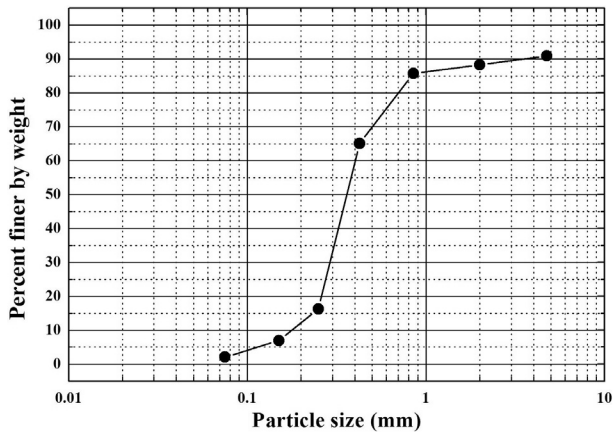


Fig. 2. Particle size distribution curve of marl

Table 2. Index properties of Saudi Arabian marl (Ras AL Khair, Saudi Arabia)

Index property	Value
G_s	2.73
C_u	2.293
C_g	1.241
USCS Classification	SP

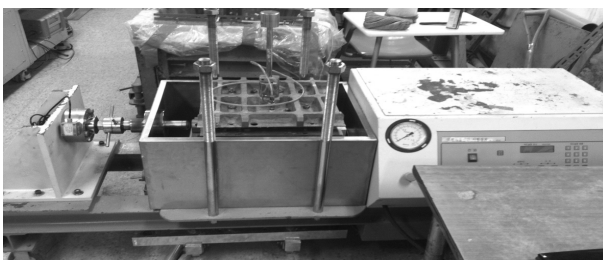
료(marl)를 채우고 상부 상자에 토목섬유를 고정하였다. 본 연구에서 사용하는 수직응력은 최대 1,000kPa까지 증가하기 때문에 전단력이 매우 크게 발생하게 되는데 이 때문에 고정 장치 부분에서 응력이 집중되는 부분이 있으면 토목섬유가 찢어지는 현상이 종종 발생하였다. 또한 토목섬유 자체가 늘어나는 경우가 발생할 수도 있기 때문에 클램프를 이용하여 토목섬유의 한쪽 끝단을 전체 고정시켰다. 이를 통해 고정된 토목섬유는 시험 중 훼손되는 현상을 방지할 수 있었다.

지반과 토목섬유가 접촉하게 되면 토목섬유 상부에 나머지 시료(marl)를 채우고 시료를 통해 수직응력이 전달되도록 설계하였다. 수직응력은 상단 박스 상부의 캡에 장착되어 있는 멤브레인을 통해 공기압을 이용하여 적용된다. 경계면에서의 전단강도는 전단속도에 의해 영향을 받기 때문에 ASTM D5321-08(2008)에서 제시하는 1mm/min(0.33%/min)으로 설정하였으며, 액추에이터가 하부 전단박스를 밀어내면서 하중과 변위가 측정되었다. Kim & Kim(2009)에 의하면 전단속도가 1.0%/min인 경우에 비해 0.1%/min으로 더 느린 경우에 마찰각은 1.9%에서 2.5% 정도 증가하는 것으로 보고되었다. Fig. 3(b)는 전단시험기의 측면도를 보여주고 있다. 전단변위는 경계면 잔류 전단강도를 측정할 수 있도록 75mm까지 전단하였다. 수직응력의 영향을 파악하기 위해 수직응력을 작게는 12, 24, 48kPa로부터 크게는 100, 500, 1,000kPa까지 증가시켜가며 수행하였다. 수침상태 모사를 위해서 marl 및 토목섬유는 24시간 이상 수침시킨 후 시험에 사용하였다.

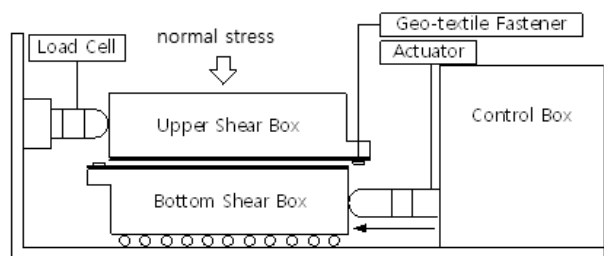
3. 시험결과 및 분석

3.1 표면처리 지오멤브레인과 marl의 전단특성

Fig. 4~5는 marl과 표면처리 지오멤브레인에 대해 여러 조건에 대해서 수행한 시험결과 값을 보여주고 있다. 총 12회의 전단시험을 통해 건조상태와 수침상태, 그리고 저압과



(a) Photo



(b) Schematic view

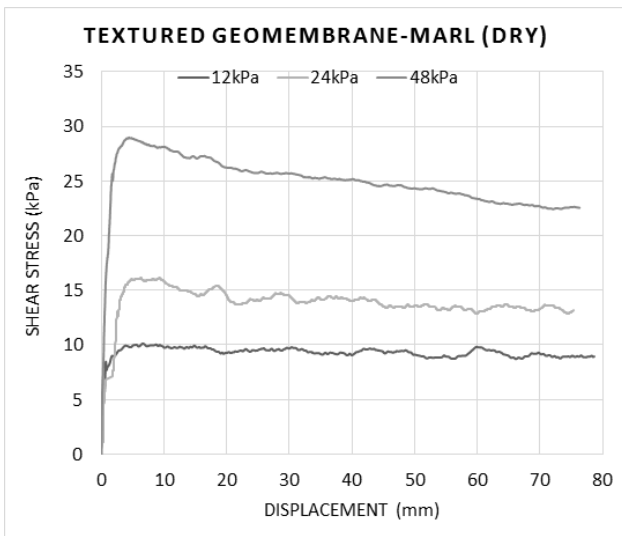
Fig. 3. Large direct shear testing machine

고압 구간에서의 전단특성을 알아보았다. 건조상태에서 지반과 경계면에 발생하는 전단응력은 전단변위가 작을 때 선형으로 증가하다가 최댓값을 지나 점차 감소하는 것으로 나타났다. 수침상태 및 저압상태에서는 전단응력이 선형으로 증가하지 않는 것으로 나타났으나 최대전단강도까지 증가하다가 이후 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 고압(100kPa 이상)에서 최대전단강도에 도달하는 전단변위는 10mm 내외로 판단되며, 저압(50kPa 이하)에 비해 천천히 최대전단강도에 도달하는 것으로 나타났다. 이런 현상은 경계면의 조건이 수침상태나 건조상태에서 공통적으로 발생함을 알 수 있었다. 경계면이 수침상태인 경우에는 최대전단강도는 건조상태보다 작게 나타나는 것으로 관찰되었으며, 이는 수침

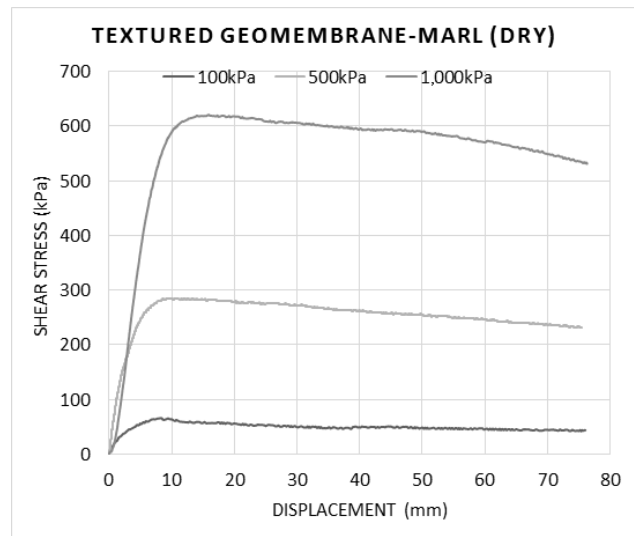
상태일 때 물의 수막작용에 의해 마찰력을 감소시키는 것으로 판단된다.

최대전단강도는 Kim & Kim(2009)에 의하면 1~5mm 사이에서 마찰 재료에 따라 다르게 나타나는 것으로 나타났으나 본 실험에서는 그보다 더 큰 값으로 나타났다. 이는 Kim & Kim(2009)에서 사용한 목재, 강재, 몰탈 등의 재료보다 본 실험에서 사용한 토목섬유가 더 유연하기 때문인 것으로 추측된다.

Fig. 6~7은 직접전단시험으로부터 구한 수직하중에 대한 경계면 전단강도를 보여주고 있다. 대부분의 전단시험에서 75mm의 전단변위까지 잔류강도에 도달하지 않은 경우가 많기 때문에 잔류강도 결과는 얻을 수 없었다. 최대전단강

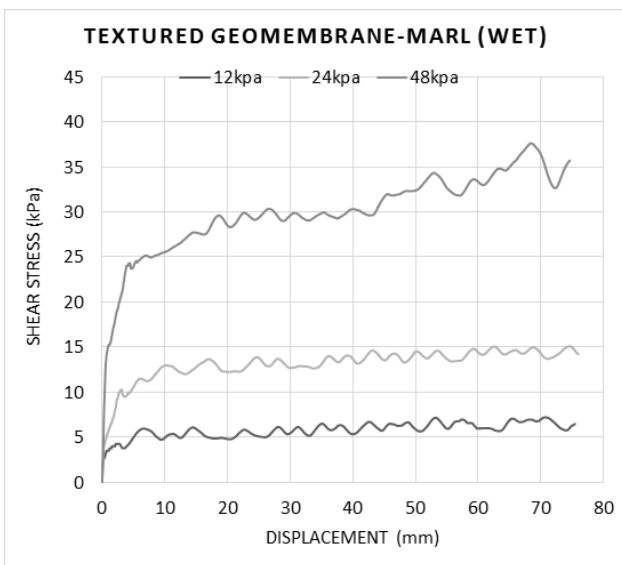


(a) At low normal stress

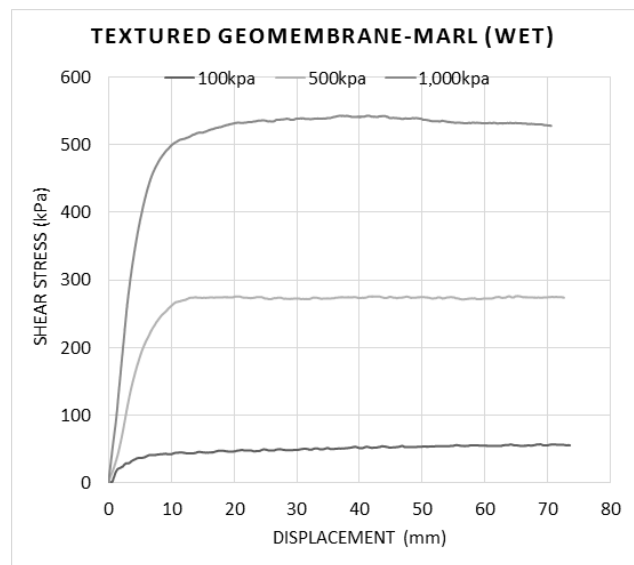


(b) At high normal stress

Fig. 4. Shear stress – displacement curve at the interface between textured geomembrane and marl under dry condition



(a) At low normal stress



(b) At high normal stress

Fig. 5. Shear stress – displacement curve at the interface between textured geomembrane and marl under wet condition

도는 선형 증가가 끝나는 지점에서 구하여 경계면 마찰각과 부착력 계산을 위한 파괴 포락선을 구하였다. 지반과 토목 섬유와의 전단강도는 경계면에 작용하는 수직응력과 경계면 전단강도의 관계로부터 규정할 수 있는데 일반적으로 선형적인 관계라고 가정하며 Eq. (1)로 정의한다.

$$\tau = a + \sigma_n \tan \delta \quad (1)$$

여기에서 τ 는 경계면 전단강도, a 는 경계면 부착력, σ_n 은 수직응력, δ 는 경계면 마찰각이다. Fig. 6에서 나타나듯이 건조상태에서 표면처리 지오멤브레인과 marl의 경계면 마찰각은 저압 구간에서 28.4°로 계산되었으나 고압 구간에서는 저압 구간에 비해 큰 값인 31.9°인 것으로 나타났다. 이러한 수직응력 증가에 따른 경계면 마찰각 증가현상은 건조상태와 수침상태에서 모두 동일하게 관찰되었다. 예상된 바와 같이 수침상태에서의 경계면 전단강도는 건조상태에 비해 감소하는 것으로 나타났다. 고압구간에서 건조상태의 부착력은 0kPa이 아니었으나 크기가 상대적으로 작아 없는 것으로 0kPa로 가정하여 파괴 포락선을 도출하였다. Table 3은 조건에 따라 도출된 경계면 마찰각과 부착력이다.

3.2 표면처리 지오멤브레인과 직포의 전단특성

지오멤브레인은 종종 GCL과 함께 오염물질 매립지역의

차수재로 사용되는데, GCL은 직포 혹은 부직포와 그 사이에 있는 점토층으로 이루어져 있다. 지오멤브레인과 GCL, 직포의 전단거동은 매립지역의 사면안정해석에 중요하게 사용된다. 표면처리 지오멤브레인과 marl과의 경계면 전단강도를 측정하는 것에 추가하여 표면처리 지오멤브레인과 직포(woven geotextile)의 경계면 전단강도를 총 12회 시험을 통해 측정하였다. Fig. 7~8은 수침조건과 수직응력 변화에 따른 표면처리 지오멤브레인과 직포의 수직응력-변위 곡선을 보여주고 있다. 직포와 접하는 경우 최대전단강도는 3.1절에서 관찰된 바와 같이 지반과 접하는 경우에 비해 큰 변위에서 발현하는 것으로 나타났으며, 대부분 시험에서 10mm 이후의 변위에서 발현되었다. 이는 직포의 신율(elongation rate)이 크기 때문으로 판단된다. 저압 구간에서는 수침조건에 상관없이 직포와의 경계면 전단강도가 marl과의 값보다 작게 측정되었으며 반면 고압 구간에서는 직포와의 경계면 전단강도가 더 크게 측정되었다.

표면처리 지오멤브레인의 경계면 전단강도는 직포나 marl에 관계없이 건조상태에서 더 큰 것으로 측정되었다(Table 4 참조). 반면 marl과의 경계면에서의 경계면 마찰각은 수직응력 증가에 따라 증가하는 추세를 보였으나 직포와의 경계면에서는 반대로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 수침에 의해 경계면 전단강도는 고압 구간에서 26.4°에서 24.8°로 저압 구간에서 30.1°에서 26.0°로 각각 감소하였다.

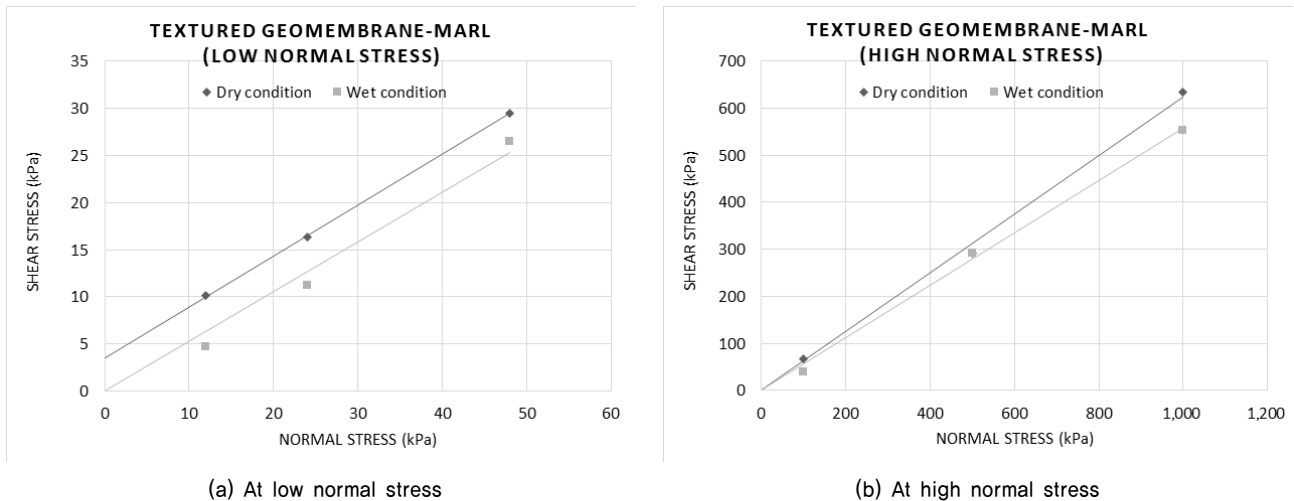
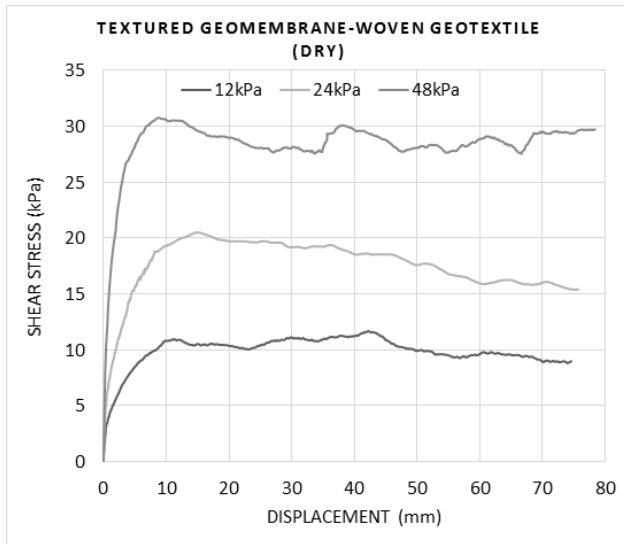


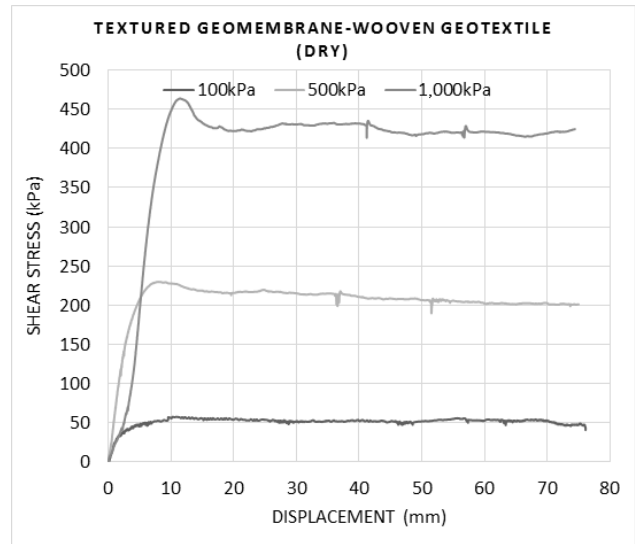
Fig. 6. Interface shear strength failure envelope of textured geomembrane and marl

Table 3. Interface friction angle and adhesion between textured geomembrane and marl

	Dry condition		Wet condition	
	Low normal stress	High normal stress	Low normal stress	High normal stress
Interface friction angle (°)	28.4	31.9	27.8	29.1
Interface adhesion (kPa)	3.5	0.0	0.0	0.0

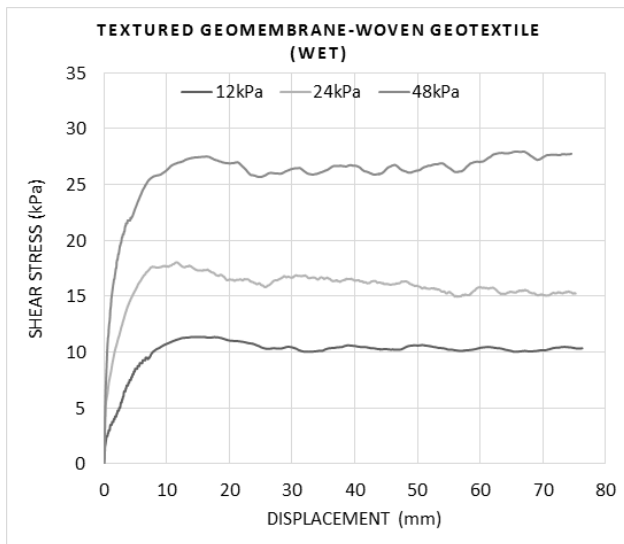


(a) At low normal stress

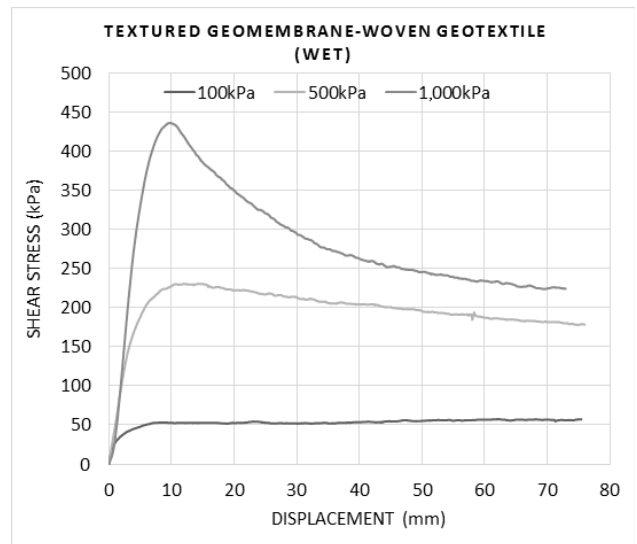


(b) At high normal stress

Fig. 7. Shear stress – displacement curve at the interface between textured geomembrane and woven geotextile under dry condition



(a) At low normal stress



(b) At high normal stress

Fig. 8. Shear stress – displacement curve at the interface between textured geomembrane and woven geotextile under wet condition

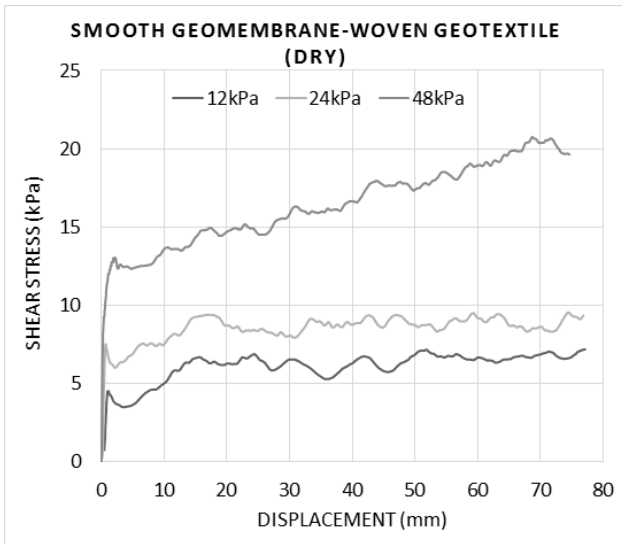
Table 4. Interface friction angle and adhesion between geomembrane and woven geotextile

	Dry condition				Wet condition			
	Low stress		High stress		Low stress		High stress	
	Textured	Smooth	Textured	Smooth	Textured	Smooth	Textured	Smooth
Interface friction angle (°)	30.1	14.4	26.4	14.9	26.0	13.0	24.8	12.7
Interface adhesion (kPa)	5.9	1.9	0	0	6.4	1.6	0	0

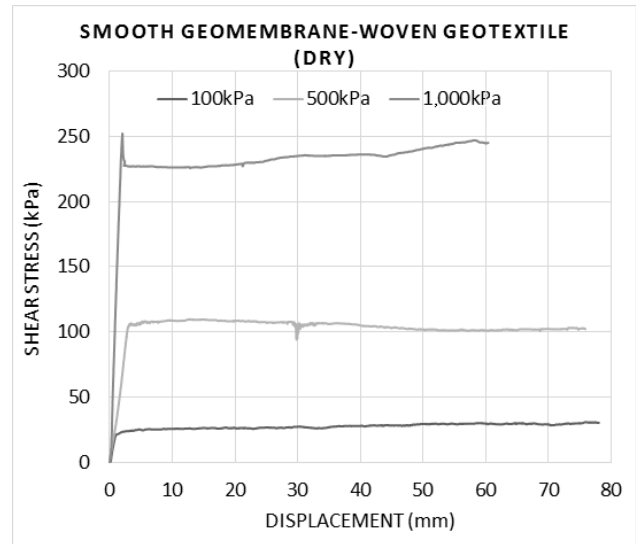
3.3 표면처리의 영향

지오멤브레인의 표면처리 여부에 따른 경계면 전단강도 변화를 알아보기 위해 매끈한 지오멤브레인과 직포의 경계면 전단강도를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 9~10에 나타내었다. Fig. 9는 표면이 처리되지 않아 매끈한(smooth) 지

오멤브레인과 직포의 경계면 전단강도를 측정한 결과를 보여주고 있다. 3.2절에 제시된 표면처리 지오멤브레인의 거동과 비교했을 때 매끈한 지오멤브레인의 경계면 전단강도는 매우 작은 변위에서 발현하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 측정된 전단강도는 표면처리 지오멤브레인에 비해 매우

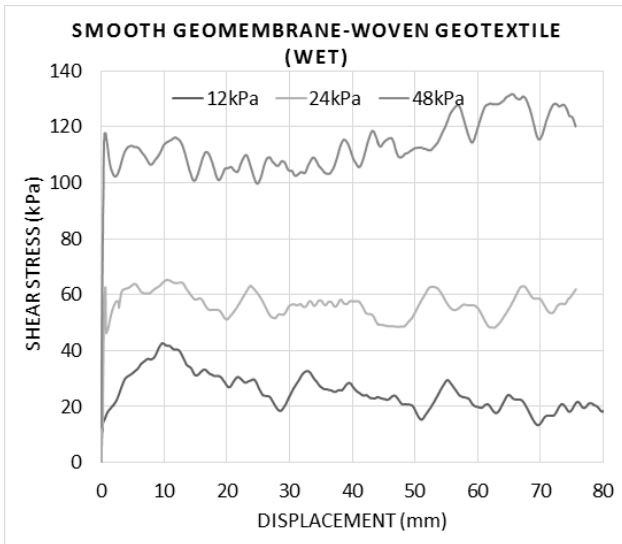


(a) At low normal stress

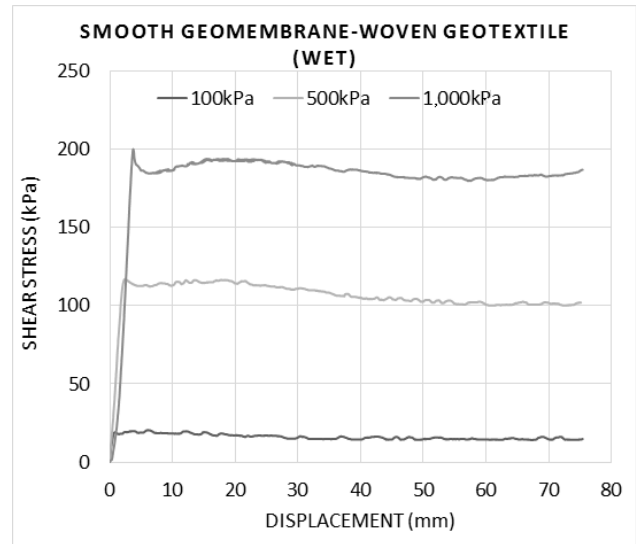


(b) At high normal stress

Fig. 9. Shear stress – displacement curve at the interface between smooth geomembrane and woven geotextile under dry condition



(a) At low normal stress



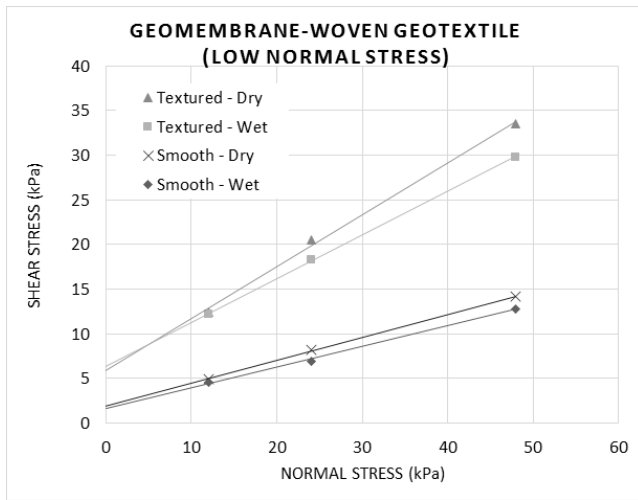
(b) At high normal stress

Fig. 10. Shear stress – displacement curve at the interface between smooth geomembrane and woven geotextile under wet condition

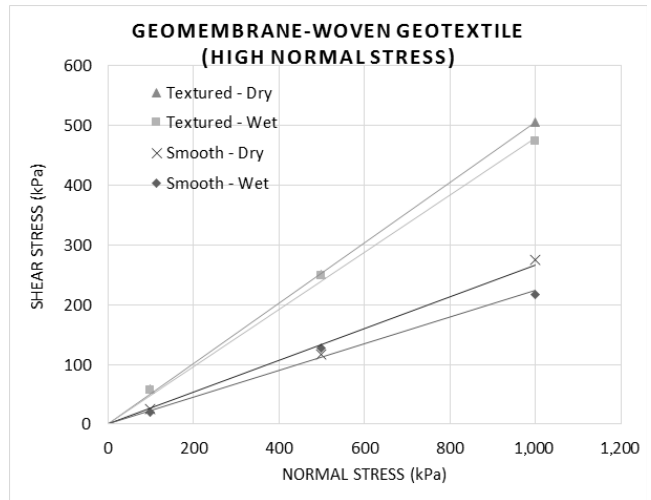
작은 것으로 나타났다. Fig. 11은 매끈한 지오멤브레인의 경계면 전단강도 측정값을 이용하여 구한 전단강도 파괴 포락선이다. 비교를 위하여 3.2절에서 구한 표면처리 지오멤브레인의 파괴 포락선과 함께 도식하였다.

Fig. 11에서 알 수 있듯이 표면처리 지오멤브레인의 경계면 전단강도는 매끈한 지오멤브레인의 값보다 매우 큰 것으로 나타났다. 또한 표면처리 지오멤브레인의 경우 저압 구간에서 부착력이 매끈한 지오멤브레인에 비해 큰 것으로 측정되었으며, 이는 표면처리 지오멤브레인 돌기의 영향인 것으로 추측된다. 고압 구간에서는 경계면 부착력이 경계면 전단강도에 비해 작은 것으로 나타나 다른 시험결과 분석과 같이 부착력을 0kPa로 가정하여 분석하였다. 고압 구간과 저압

구간에서는 부착력 존재 여부 이외에는 모두 유사한 거동을 보였다. Table 4는 지오멤브레인과 직포의 경계면 마찰각과 부착력을 조건에 따라 정리하여 보여주고 있다. 매끈한 지오멤브레인의 경계면 마찰각은 표면처리 지오멤브레인 값의 절반까지 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 또한 수침에 의해서도 30.1°에서 26.0°, 26.4°에서 24.8°, 14.4°에서 13.0°, 14.9°에서 12.7°로 각각의 조건에 따라 감소하는 것으로 확인되었다. 그러나 표면처리 여부에 따른 감소에 비하면 그 값은 미미한 것으로 판단된다. Marl과의 경계면 마찰각이 수직응력의 증가에 따라 증가하는 추세를 보인 반면, 직포와의 경계면에서는 조건에 관계없이 감소하는 것으로 나타났다.



(a) At low normal stress



(b) At high normal stress

Fig. 11. Interface shear strength failure envelope of geomembrane and woven geotextile

4. 결 론

본 연구에서는 대형직접전단시험을 이용하여 표면처리 (textured) 지오멤브레인과 사우디아라비아 marl, 그리고 직포와의 경계면 전단강도를 측정하고, 표면처리 영향을 조사하기 위해 매끈한 지오멤브레인과 직포의 전단강도를 측정하였다. 경계면 전단강도는 수침의 영향 및 수직응력의 영향을 평가하기 위해 수침 여부 및 6단계의 수직응력(12, 24, 48, 100, 500, 1,000kPa)을 변화시켜가며 총 36회의 대형직접전단시험을 수행하였다. 측정된 시험결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 표면처리 지오멤브레인과 marl, 그리고 직포와의 경계면 마찰각은 수직응력 조건과 수침조건에 따라 변하며 본 연구에서는 24.8에서 31.9° 사이로 측정되었다. 수침에 의해 저압에서는 3.5kPa의 경계면 부착력이 감소했으며, 고압에서는 경계면 마찰각이 31.9°에서 29.1°로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 경계면 마찰각은 저압에서 고압으로 커짐에 따라 건조상태에서 28.4°에서 31.9°로 3.5°만큼, 수침상태에서 27.8°에서 29.1°로 1.3°만큼 각각 증가하였다.
- (2) 표면처리 지오멤브레인과 직포의 경계면 마찰각은 수침에 의해 저압에서는 30.1°에서 26.0°, 고압에서는 26.4°에서 24.8°로 각각 감소하는 것으로 측정되었다. 그러나 (1)에서 관찰된 경향과 반대로 수직응력 증가에 따라 전단강도는 다소 감소하는 것으로 나타났다.
- (3) 매끈한 지오멤브레인과 직포의 경계면 전단강도는 수침에 의해 저압에서는 1.9kPa의 경계면 부착력이 사라졌

으며, 고압에서는 경계면 마찰각이 14.9°에서 12.7°로 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 수직응력의 영향은 (2)의 경우와 마찬가지로 수직응력 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

- (4) 지오멤브레인과 다른 재료와의 경계면 전단강도는 수침에 의해 유의미하게 감소하는 것으로 나타났으며, 수직응력의 크기에 의한 경향은 본 연구를 통해 결론을 내리기 어려웠다. 그러나 수직응력의 크기나 수침조건 보다는 표면처리 여부에 의해 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 표면처리 지오멤브레인의 경계면 전단강도는 매끈한 지오멤브레인에 비해 2배까지 커지는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2013학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었습니다.

References

1. AFNOR EN 14150 (2006), Geosynthetic barriers - determination of permeability to liquids, AFNOR, Paris, France.
2. ASTM D638-08 (2008), Standard test method for tensile properties of plastics, ASTM International, Philadelphia, USA.
3. ASTM D792-08 (2008), Standard test method for specific gravity (relative density) and density of plastics by displacement, ASTM International, Philadelphia, USA.
4. ASTM D1004-08 (2008), Standard test method for tear resistance (graves tear) of plastic film and sheeting, ASTM International,

- Philadelphia, USA.
5. ASTM D2487-06 (2006), Standard practice for classification of soils for engineering purposes, ASTM International, Philadelphia, USA.
 6. ASTM D4833-07 (2007), Standard test method for index puncture resistance of geomembranes and related products, ASTM International, Philadelphia, USA.
 7. ASTM D5321-08 (2008), Standard test method for determining the coefficient of soil and geosynthetic or geosynthetic and geosynthetic friction by the direct shear method, ASTM International, Philadelphia, USA.
 8. Ju, J. W., Park, J. B. and Chang, Y. C. (2003), Friction characteristics on interface between reinforcement and sand by direct shear test methods, *Journal of the Korean Geosynthetic Society*, Vol. 2, No. 1, pp. 87-93 (in Korean).
 9. Kim, Y. S. and Kim, D. M. (2009), Characteristics of friction angles between the Nak-dong River Sand and Construction Materials by Direct Shear Test, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 25, No. 4, pp. 105-112 (in Korean).
 10. 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.
 11. 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.
 12. Youn, C. M., An, H. H., Seo, B. W. and Lee, S. W. (2006), Interface shear strength between soil and woven geotextile, *Journal of the Korea Geosynthetic society*, Vol. 5, No. 3, pp. 25-30 (in Korean).