

## 흙-직포간의 접촉면 전단강도 산정

### Interface Shear Strength Between Soil and Woven Geotextile

윤 주 문<sup>1</sup> Youn, Choo-Moon  
서 병 옥<sup>2</sup> Seo, Byoung-Wook

안 현 호<sup>1</sup> An, Hyun-Ho  
이 석 원<sup>2\*</sup> Lee, Seok-Won

#### ABSTRACT

Large-scale direct shear tests were conducted in order to evaluate both the shear strength of soil itself and the interface shear strength between soil and woven geotextile. Two types of soil (sand and clay) with a woven geotextile were used in the experimental program. Total nine tests were conducted in this study. It has been found from the experimental results that the friction angle of sand itself were 30°. Interface friction angle between woven geotextile and sand showed 26° indicating an efficiency of 87%. Similarly, interface friction angle between woven geotextile and clay showed 7.7°.

#### 요 지

흙 자체의 전단강도와 흙과 직포사이의 접촉면 전단강도를 산정하기 위해서 본 연구에서는 대형직접전단시험기를 사용하였다. 두 종류의 흙(모래와 점토)과 한 종류의 직포를 실험에서 사용하였다. 본 연구에서는 총 9번의 시험을 수행하였다. 그 결과, 모래 자체는 30°의 내부마찰각을 나타내었다. 직포와 모래의 접촉면 마찰각은 26°로 87%의 효율을 나타내었다. 이와 비슷하게 직포와 점토의 접촉면 마찰각은 7.7°를 나타내었다.

**Keywords** : Clay, Direct shear test, Geotextile, Sand, Shear strength

## 1. 서 론

최근 영종도, 부산, 광양, 군산 등의 지역에서 대규모 연약지반 관련공사가 설계·시공되고 있으며 연약지반처리를 위한 각종 지반개량공법이 적용되고 있다. 또한 보강토 옹벽 등에서 흙과 토목섬유의 반복적인 사용으로 인하여 흙과 토목섬유간의 접촉면을 유발하고 있다. 따라서 원 지반보다 강도가 낮은 이러한 접촉면의 전단강도를 정확히 산정하는 것은 매우 중요한 부분이라 판단된다. 이러한 의미에서 본 연구에서는 흙 자체의 전단강도 및 흙-직포 상호간의 접촉면 전단강도(interface shear strength)를 측정하기 위하여 대형직접전단시험을 수행하였다. 본 연구에서는 모래와 점토의 2종류의 흙을 사용하였으며 지오텍스

타일(geotextile)은 1종류의 직포(woven geotextile)를 사용하였다. 전단강도를 산정하는데 고려한 접촉면은 모래 자체의 대형직접전단시험, 모래와 직포의 대형접촉면전단시험, 그리고 점토와 직포의 대형접촉면전단시험이며, 시험 횟수는 모래의 직접전단시험은 3회, 모래와 지오텍스타일 그리고 점토와 지오텍스타일 접촉면에서는 각각 3회씩 총 6회를 실시하였다.

## 2. 기존 문헌 고찰

### 2.1 문헌 고찰

최근 지오텍스타일(geotextile)과 같은 토목섬유(geosyn-

1 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 (Graduate Student, Civil and Environmental System Engineering, konkuk Univ.)

2\* 건국대학교 사회환경시스템공학과 조교수 (Assistant Professor, Civil and Environmental System Engineering, konkuk Univ., E-mail: swlee@konkuk.ac.kr)

thetics)의 사용량이 급격히 증가하여, 이러한 토목재료들 간의 접촉면 및 흙과의 접촉면에서의 접촉면 전단강도(interface shear strength)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 초기의 연구들은 대부분 흙에서 사용된 직접전단시험기를 개조하여 사용되었으나, 이는 접촉면 전단강도를 정확히 측정하기에는 크기영향(size effect)으로 인하여 많은 문제점을 발생시키고 있다. 따라서 미국 ASTM에서도 토목재료들간의 접촉면 전단강도는 최소 전단상자의 크기를 본 연구에서 수행하듯이 300×300mm로 추천하고 있다.

본 연구에서는 기존에 수행된 다양한 접촉면 전단시험 중에서 흙과 지오텍스타일 사이의 접촉면에 관한 시험결과를 중심으로 문헌고찰을 수행하였다. Martin et al.(1984)은 여러 종류의 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰각을 다음 표 1과 같이 제시하였다. 사용한 수직응력(normal stress)은 2 psi에서 15 psi에 이른다. Williams and Houlihan(1987)은 여러 종류의 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰각을 다음 표 2와 같이 제시하였다. 사용한 수직하중은 100, 250, 500 lb 이다. Eigenbrod and Locker(1987)는 여러 종류의 부직포(nonwoven geotextile)과 직포(woven geotextile)를

사용하여 모래 및 점토와의 마찰각을 측정하였다. 평균 마찰각을 정리하면 다음 표 3과 같다. 주재우 등(2003)은 전단시험 방법을 고정법(본 연구에서 수행한 방법)과 자유법으로 나누어 모래와 부직포(nonwoven geotextile)간의 마찰각을 다음 표 4와 같이 제시하였다. 사용한 수직응력(normal stress)은 0.5, 1.0, 1.5 kg/cm<sup>2</sup> 이다.

## 2.2 문헌 고찰 결과

본 연구에서 수행한 문헌 고찰 결과, 다음과 같은 사항들을 발견할 수 있었다. 흙과 토목섬유를 포함한 토목재료간의 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 함으로써 수행된 시험결과의 타당성을 검토할 수 있다.

위의 표 1~3에서 제시한 ( )안의 값은 접촉면에서의 전단각을 흙의 전단각으로 나눈 값인 효율  $E(E = \tan \delta / \tan \phi)$ , 여기서,  $\delta$  : 흙과 섬유와의 마찰각,  $\phi$  : 흙자체의 마찰각을 의미한다. 즉 다른 재질과 접하고 있는 흙 자체의 강도와 비교해서 접촉면에서의 강도의 비(효율)를 표시한다. 따라서 흙과 다른 토목재료가 접하여 있는 경우, 접촉면에서의 전단강도는 항상 흙 자체의 전단강도보다 작고 접촉면에서 충분히 지지할 수 있는 경우에는 흙에서 파괴가 일어남을 알 수 있다. 흙 자체에서 파괴가 일어나는 경우는 접촉면 근처의 흙에서 전단파괴가 일어난다. 이러한

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

Geotextile \ Sand	Concrete sand ( $\phi = 30^\circ$ )	Ottawa sand ( $\phi = 28^\circ$ )	Mica schist ( $\phi = 26^\circ$ )
CZ 600	30°(1.00)	26°(0.93)	25°(0.96)
Tyvar 3401	26°(0.87)	-	-
Polyfilter X	26°(0.87)	-	-
500 X	24°(0.80)	24°(0.86)	23°(0.88)

※ ( )안의 숫자는 접촉면에서의 전단각을 흙의 전단각으로 나눈 값  $E = \tan \delta / \tan \phi$  (흙과 섬유와의 마찰각) /  $\tan \phi$  (흙 자체의 마찰각)을 의미하며 접촉면의 효율을 표시함.

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

Geotextile \ Soil	Concrete sand ( $\phi = 36^\circ$ )	Ottawa sand ( $\phi = 38^\circ$ )	Sand-5% clay ( $\phi = 36^\circ$ )
Tyvar 3401	27°(0.75)	25°(0.66)	22°(0.61)
Trevira 1155	34°(0.94)	28°(0.74)	27°(0.75)
Nicolon 900-M	35°(0.97)	35°(0.92)	31°(0.86)

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

Geotextile \ Soil	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°(0.62)	27°(0.78)
Woven geotextile	Direction of warp	32°(0.86)	-	-
	Direction of weft	29°(0.76)	-	16°(0.61)
			16°(0.61)	23°(0.63)

표 4. 흙과 지오텍스타일 사이의 마찰각(주재우 등, 2003)

시험종류	마찰각, $\phi$ (°)
모래	28°
부직포/모래 (고정법)	30°
부직포/모래 (자유법)	27°

표 5. 흙-Geotextile 접촉면의 전단변형에 영향을 미치는 인자들의 상대적 중요도

Type	Factor	Qualitative Estimate of Effect		
		Initial Modulus	Peak Stress	Residual Stress
Soil	Angularity	High	High	High
	Mean grain size(D <sub>50</sub> )	Medium	Medium	Medium
	Density	Medium	High	Low
	Uniformity Coefficient(C <sub>u</sub> )	Low	Low	Low
	Initial soil structure	Medium	Low	Low
	Particle surface roughness	Low	Low	Low
Geotextile	Surface roughness	High	High	High
	Fabric opening	High	High	High
	Thickness	Low	Low	Low
	Fabric style	High	High	High
	Type of fiber	Low	Low	Low
	Type of polymer	Low	Low	Low
Testing	Normal stress	High	High	High
	Test method	High	High	High
	Strain rate	Negligible	Negligible	Negligible



사진 1. 사용된 모래



사진 2. 사용된 PET mat

연유로 효율은 항상 100%이하로 산정된다. 만약 어떠한 시험결과가 효율이 100%이상을 보이는 경우는 접촉면이나 흙에서 파괴가 일어나는 것이 아니라 토목재료의 인장력이 발생하고 있음을 암시한다.

표 5는 이석원(1998)이 제시한 접촉면에서 특히 본 과업과 같이 흙과 Geotextile이 접하여 전단이 발생하는 경

표 6. 지오텍스타일의 물성

구 분	단 위	직포	시 험 방 법
재 질		Polyester	
중 량	g/m <sup>2</sup>	540	KSK ISO 9864
인장강도	kgf/in	381	KSK 0743
인장신도	%	30 이상	KSK 0743
투수계수	cm/sec	(1~9)×10 <sup>-4</sup>	KSK ISO 11058
병합강도	kgf/in	381	KSK 0530

우 각각의 요소들의 상대적인 중요도를 여러 문헌 조사를 통하여 정성적으로 정리한 자료이다.

### 3. 시험 조건

#### 3.1 토목재료의 특성

본 연구를 위하여 사용된 모래는 사진 1과 같이 일반적인 해사 모래를 채취하여 사용하였다. 직포(지오텍스타일)는 사진 2와 같이 PET mat 직포를 사용하였으며 물성은 표 6과 같다.

#### 3.2 시험장치 및 시험

본 연구의 전단시험에 사용된 대형직접전단시험기는 사진 3과 같이 전단상자가 300×300×200mm로 구성되어 있고, 수직하중은 공기압으로 가해진다. 수평하중은 로드 셀(load cell)의 전기신호를 데이터 로거(data logger)를 통

해 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. 모래의 시험은 (가로×세로×높이)가 (300×300×100)인 2 개(상, 하)의 전단박스를 사용하여 시험하였으며 현장에서 수집된 모래를 2~3일 자연건조하고 2m 상부에서 자유낙하 시켜 시험하였다. 그리고 흙과 지오텍스타일 접촉면 전단시험에서는 가로×세로×높이(300×300×100)의 전단박스에 흙을 채우고 시험하였다.

흙과 지오텍스타일 접촉면 전단시험은 먼저 지오텍스타일 자체의 인장을 억제하기 위해 사진 4와 같이 지오텍스타일을 나무판 위에 본드로 고정시킨다. 그 이유는 지오

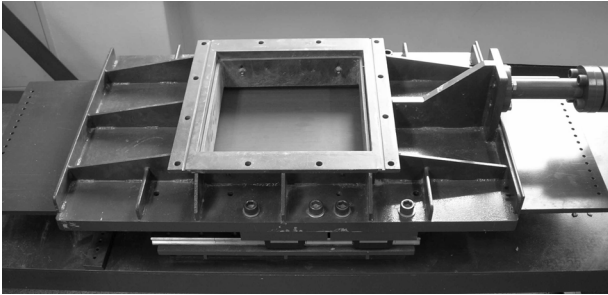


사진 3. 대형직접전단시험기

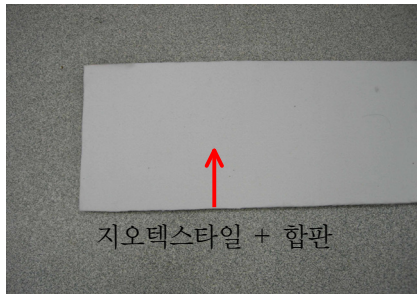


사진 4. 지오텍스타일 + 합판

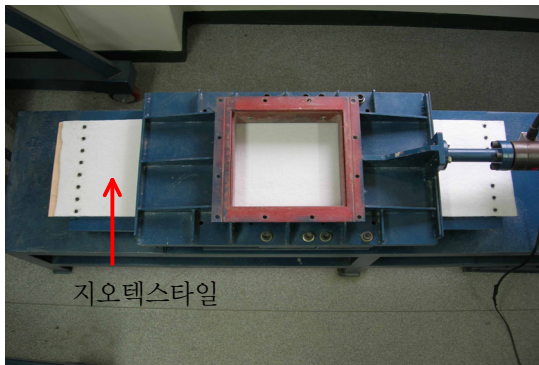


사진 5. 전단시험기에 고정된 지오텍스타일

텍스타일이 바닥하부에 고정이 되어 있지 않는 경우, 전단력에 의하여 흙과 지오텍스타일에서 전단력이 발생하는 것이 아니라 지오텍스타일 자체가 늘어가는 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 지오멤브레인(geomembrane)을 본드로서 고정시키고 다시 그 위에 본 연구의 지오텍스타일을 본드 및 상하부에 볼트로 고정하여 전단시험 중 지오텍스타일의 늘어짐을 방지하였다.

고정된 지오텍스타일은 사진 5의 하부에 볼트와 너트 그리고 지지대를 사용하여 고정시키고, 전단박스에 흙을 채운다. 콘트롤 판넬(control panel)을 조작하여 공기압과 수평하중을 작용시키면서, 프로그램을 통해 저장한 데이터를 정리하고 엑셀을 사용하여 하중-변위 양상을 산정한다.

## 4. 시험 결과

### 4.1 전단강도와 수평변위와의 관계

본 연구에서 수행한 각각의 시험조건에서 구하여진 전단응력-수평변위와의 그래프가 그림 1~3에 나타나 있다. 그림 1은 수직응력이 각각 1.0, 1.5 및 2.0kg/cm<sup>2</sup>에서 모래 자체를 시험하였을 경우를 나타내고, 그림 2는 수직응력이 각각 1.0, 1.5 및 2.0kg/cm<sup>2</sup>에서 모래와 직포, 그림 3은 수직응력이 각각 0.5, 0.75 및 1.0kg/cm<sup>2</sup>에서 점토와 직포의 결과를 나타내고 있다.

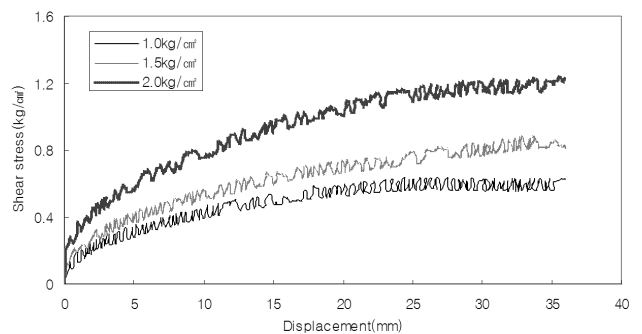


그림 1. 모래 자체의 전단응력-수평변위 곡선

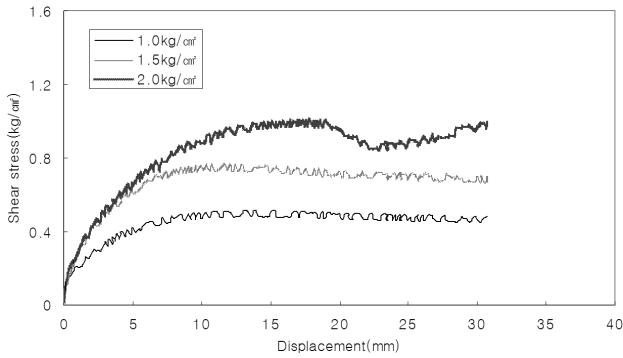


그림 2. 모래와 직포간의 전단응력-수평변위 곡선

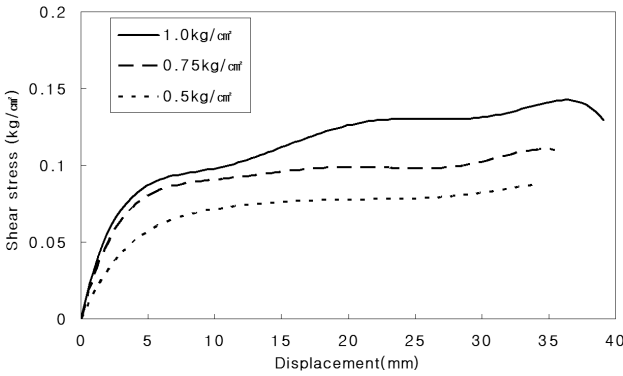


그림 3. 점토와 직포간의 전단응력-수평변위 곡선

표 7. 전단 마찰각

	모래	점토
모래	30.0°	-
직포	26.0°	7.7°

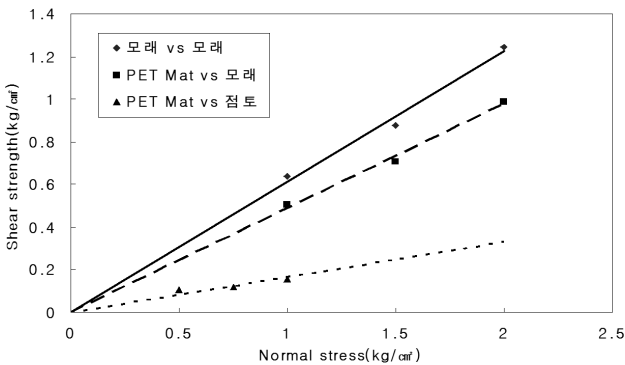


그림 4. 파괴 포락선(failure envelope)

#### 4.2 파괴포락선을 이용한 전단 마찰력 산정

본 연구에서 수행한 각 조건에 대한 모든 전단시험의 파괴 포락선을 종합하여 도시하면 그림 4와 같다. 즉, 각 직선의 기울기가 그 접촉면에서의 전단 마찰각(friction angle)을 의미하며 이를 정리하면 다음 표 7과 같다.

표 8. 모래의 전단강도 및 마찰각

수직응력	시험조건	모래 vs 모래	
		최대전단강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	마찰각 (°)
100 kpa(1.0 kg/cm <sup>2</sup> )		0.59	30.5
150 kpa(1.5 kg/cm <sup>2</sup> )		0.82	28.7
200 kpa(2.0 kg/cm <sup>2</sup> )		1.20	30.9

표 9. 흙과 지오텍스타일간의 전단강도 및 마찰각

수직응력	시험조건	모래 vs 직포		점토 vs 직포	
		최대전단강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	마찰각 (°)	최대전단강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	마찰각 (°)
50 kpa(0.5 kg/cm <sup>2</sup> )		-	-	0.082	9.3
75 kpa(0.75 kg/cm <sup>2</sup> )		-	-	0.105	7.9
100 kpa(1.0 kg/cm <sup>2</sup> )		0.52	27.3	0.136	7.7
150 kpa(1.5 kg/cm <sup>2</sup> )		0.76	27.0		
200 kpa(2.0 kg/cm <sup>2</sup> )		0.98	26.1		

### 4.3 결과 분석

본 연구에서 수행한 대형직접전단시험의 결과를 종합하면 다음 표 8 및 9와 같다.

시험결과에서 알 수 있듯이 모래를 사용하는 경우 전단 저항각은 30°로 나타났다. 모래와 지오텍스타일 사이의 전단각은 26°를 나타냈다. 또한 점토와 직포(지오텍스타일)간의 접촉면 전단저항각은 7.7°를 나타내 매우 약한 전단강도를 보이고 있다. 그러나 현장 조건을 본다면 이 전단강도는 큰 의미를 부여하기 어렵다. PET mat와 점토의 경우, 일반적으로 점착력(c)을 부여하고 있으나 본 과업에서는 그 값이 상대적으로 작아 다른 접촉면과 동일하게 점착력이 없는 것으로 가정하고 전단각을 산정하였다.

전술한 효율관점에서 분석하여 보면 모래와 직포 사이의 접촉면은 모래 자체의 전단저항각의 약 87%가 발현됨을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 2종류의 흙(모래와 점토)과 한 종류의 직포를 사용하여 흙 자체 및 흙-직포(지오텍스타일) 상호간의 접촉면 전단강도(interface sheat strength)를 측정하기 위하여 대형직접전단시험을 수행하였다. 이러한 연구의 목적 하에 유추된 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구에 사용된 모래자체의 전단저항각은 30°를 나타내었다.
2. 모래 자체와 모래와 지오텍스타일간의 접촉면 전단저항각을 비교하여 보면, 모래와 직포 접촉면의 전단저항각은 26°를 나타내 약 87%의 효율을 보이고 있음을 알 수 있다.
3. 점토와 직포(지오텍스타일)간의 접촉면 전단저항각은 7.7°를 나타내 매우 약한 전단강도를 보이고 있다. 그러나 현장 조건을 본다면 이 전단강도는 큰 의미를 부여하기 어렵다. PET mat와 점토의 경우, 일반적으로 점착력(c)을 부여하고 있으나 본 과업에서는 그 값이 상대적으로 작아 다른 접촉면과 동일하게 점착력이 없는 것으로 가정하고 전단각을 산정하였다.

### 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업(04핵심기술C01)의 지원으로 이루어졌습니다.

### 참고문헌

1. 이석원 (1998), *Influence of surface topography on the interface strength and counterface soil structure*, 박사학위논문, Georgia Institute of Technology.
2. 주재우, 박종범, 장용채 (2003), “전단시험방법에 따른 토목섬유/모래 접촉면에서의 마찰특성”, *한국토목섬유학회논문집*, 제2권 제1호, pp.39-45.
3. 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.
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.

(논문접수일 2006. 9. 1, 심사완료일 2006. 9. 11)