

강우로 유실된 철도노반 보수용 토목섬유 콘테이너의 상호마찰 특성 Interface Frictional Characteristics of Geotextile Container for the Restoration of Roadbed swept away by Rainfall

황선근* 최찬용** 신은철*** 이명호****
Hwang, Seon-Keun, Choi, Chan-Yong, Shin, Eun-Chul, Lee, Myong-Ho

ABSTRACT

Geotextile containers for restoration of slopes form the interface between the containers during the restored to lost slopes, and therefore the relation displacements are developed including the sliding on the surface. Since, the shear strength on these interfaces is less than that of fill material in the container, the characteristics of shear strength on the interface governs the behavior of the restoration slopes. In general, a lot of natural properties of geotextiles is required to evaluate the safty of the geotextiles, Among the properties, the shear characteristics between geotextiles and soil is a important variable to assess the safety. From the results of full scale direct shear test, the residual shear strength is recommanded to use for design factors since a large deformation possibly occures on the geotextile containers.

keywords : Direct Shear Test, Interface Friction, Geotextile Container

1. 서론

우리나라에서는 매년 철도사면의 붕괴가 발생하고 있으며, 이로 인해 인명 및 재산의 손실뿐만 아니라 교통두절에 의한 물류 지연 등 사회경제적으로도 커다란 피해를 입고 있다. 그동안 선로복구를 위해서는 공사기간이 많게는 수개월이상 소요됨으로써 정상적인 철도운행의 지장을 가져와 눈에 보이지 않는 물류손실이 크게 발생되고 있는 실정이다. 또한 복구가 되었어도 철도노반 유실에 따른 품질 및 관리기준이 미흡하여 선로 유지보수 및 관리문제가 또다시 문제가 되고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 강우로 인해 유실된 철도사면에 대하여 신속하고 안전한 사면 복구용 토목섬유 콘테이너를 개발하고자 하였다.

사면 복구용 토목섬유 콘테이너 공법은 유실된 사면을 보수할 때 토목섬유 콘테이너간에 접촉면(interface)을 형성하게 되고, 이 면에 따라 미끄러짐 등 상대 변위가 발생하게 된다. 이러한 접촉면에서의 전단강도는 채움재의 전단강도보다 작아 접촉면의 전단강도특성이 보수사면의 거동을 지배한다.

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원

*** 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수, 정회원

**** 인천대학교 토목환경시스템 공학과 석사과정, 학생회원

일반적으로 토목섬유에 대한 안정성 검토를 위해서는 토목섬유들의 다양한 물성치가 필요하다. 그 중에서 토목섬유와 토목섬유, 혹은 흙과 토목섬유 사이의 전단거동은 사면의 안정성 검토하는데 중요한 설계인자이다. 따라서, 본 논문에서는 토목섬유 콘테이너의 설계 및 시공에 중요한 인자인 상호마찰특성을 대형직접전단시험을 통하여 고찰하였다.

2. 토목섬유 상호마찰특성

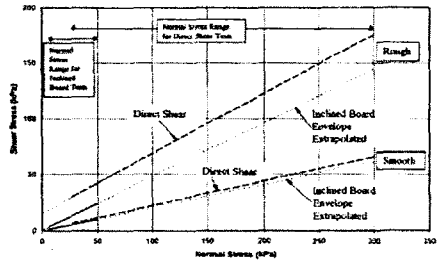
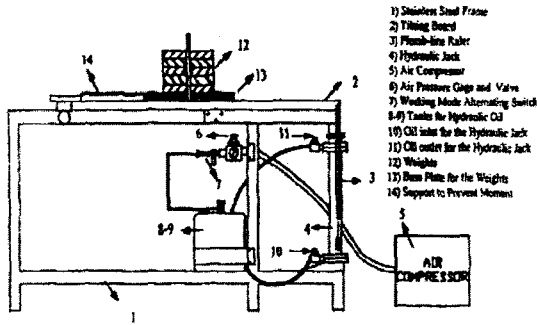
2.1 토목섬유 접촉전단강도 측정방법

토목섬유와 토목섬유 혹은 토목섬유와 흙 사이의 접촉전단강도 측정법으로는 (1)직접전단시험(Direct Shear Test) (2)링 전단시험(Ring Shear Test) (3)경사판시험(Inclined Board Test) 등이 있다(Jones & Dixon, 1998a). 직접전단시험은 흙의 전단강도 측정에 사용되는 직접전단시험기를 변형한 것으로, 일반적으로 ASTM D5321(1998)에 제시된 방법을 따른다. 직접전단시험은 제한된 변위 내에서(일반적으로 100mm 이하)시험이 실시되기 때문에 잔류전단강도를 정확히 평가할 수 없다는 점과 비교적 큰 연직응력 상태에서 실험을 하는 단점을 가지고 있다. 그러나, 시험기의 구조가 간단하고 연구자들에게 익숙해져 있다는 장점 때문에 3 가지 방법 중에서 현재 가장 널리 사용되고 있다. Jones & Dixon(1996b)은 300mm×300mm 크기의 전단상자를 이용하여 표면의 매끄러운 사이의 전단 특성에 관한 연구를 수행하였다.

두 번째로 링 전단시험이 있다. Stark & Poeppel(1994)은 링 전단시험법을 이용하여 토목섬유와 토목섬유 또는 흙과 토목섬유 사이의 전단강도를 측정한다. 이 방법의 장점으로는 변위의 제약이 없어 비교적 정확한 잔류전단강도를 측정할 수 있고, 전단 도중 접촉면이 동일하게 유지되며, 기계적 마찰이 거의 없는 것 등을 들 수 있다. 반면에 단점으로는 전단방향이 실제 현장에서 이루어지는 방향과 같지 않고, 시료의 크기가 작다는 점 등이 있다. Stark 등(1996)은 이 방법을 이용하여 지오멤브레인(Geomembrane, GM)과 지오텍스타일(Geotextile, GT)사이의 전단강도를 측정하여, 최대 강도 이후의 강도 감소 효과를 확인하고 지오멤브레인의 표면상태, 지오텍스타일의 두께, 섬유 종류, 표면의 거칠기 상태 등 접촉 전단강도에 미치는 영향을 살펴보았다. Jones & Dixon(1998b)은 이 방법과 직접전단시험결과를 비교하여, 링 전단시험법이 큰 변위를 유발시킬 수 있기 때문에 잔류상태에서 더 작은 점착력을 나타낸다고 발표하였다.

세 번째 경사판 시험은 <그림 1>에서와 같이 한쪽 끝이 힌지인 경사판 상부에 하나의 토목섬유를 고정시키고, 나머지 토목섬유를 상재하중이 하부에 고정시킨 상태에서 실시된다. 마찰각은 경사판을 서서히 위로 올려 상재하중 부분이 움직이는 순간의 경사판의 각도를 측정하여 구하게 된다. 유럽에서 널리 사용되는 방법으로 낮은 상재하중 상태에서만 시험을 실시해야 하는 제약을 가지고 있다. 그러나, 토목섬유 사이의 거동을 모사하는데 세가지 방법 중 가장 정확하다고 알려져 있다(Jones & Dixon, 1998a).

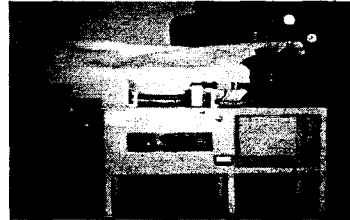
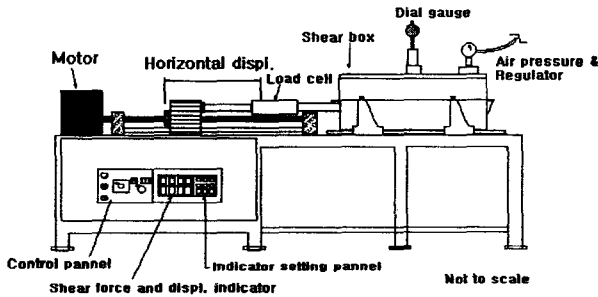
Wasti 등(2001)은 경사판 시험과 직접 전단시험을 동시에 수행하여 그 결과를 <그림 2>와 같이 비교하였으며, 같은 크기(크기 60mm×60mm)의 재료에 대해 시험을 수행한 결과, 직접 전단시험에서 더 큰 전단강도가 측정됨을 확인하였다.



<그림 1> 경사판시험(Izgin & Wasti, 1998) <그림 2> 경사판 시험과 직접전단시험결과 비교

2.2 대형 직접전단시험장비

대형 직접전단시험장비는 <그림 3>에 나타난 바와 같이, 구성은 상하부 상자의 크기가 각각 30cm×30cm, 높이가 9cm, 10cm이며, 수직하중을 재하할 수 있는 가압장치, 전단력을 측정할 수 있는 하중측정계(최대 전단력을 3tonf까지 가할 수 있는 로드셀), 수평변위 측정을 위한 변위계, 전단속도 제어기 등으로 구성되어져 있다. 이 실험장비는 상부상자를 고정시키고 하부 전단상자를 이동시켜 전단력을 측정할 수 있도록 하였다.



<그림 3> 대형직접전단시험장비

2.3 대형 직접전단시험 방법 및 대상토사의 공학적 특성

본 연구는 토목섬유와 토목섬유, 흙과 토목섬유 사이의 마찰특성을 알아보기 위하여 대형 전단 실험을 실시하였다. <표 1>은 토목섬유 콘테이너 내부에 채움재로 활용하고자 하는 모래와 석분에 대한 기본물성치를 요약정리하였다. 또한, 토목섬유 콘테이너의 재질은 <표 2>에서와 같이 폴리프로필렌(Polypropylen, PP)을 사용하였다. 여기서, 본 공법에 제안된 토목섬유의 원 시료에 대한 인장강도는 3.1~4.1tonf/m이며, 봉합강도는 약 1.1tonf/m이다.

<그림 4>와 <그림 5>는 모래와 석분의 입도분포곡선과 다짐곡선을 각각 나타내었다. 내부채움재인 모래의 경우 균등계수는 1.61, 곡률계수는 1.10이며, 통일분류법에서 입도가 나쁜 모래(SP)로 결정되었다.

또한, 석분의 경우에는 표준다짐을 실시하였으나, 일반모래의 경우에는 지깅 다짐을 실시하였다. 모래의 지깅다짐 방법은 건조 상태에서 건조단위 증량이 최대가 된다는 가정 하에 흔들고 두드리

는 방법으로 모래를 다져 넣어 다짐하는 방법이다. 이 방법으로 모래의 최대건조단위중량은 1.68 gf/cm³로 산정 되었고, 최소건조단위중량은 ASTM D 425의 실험방법에 의하여 1.35gf/cm³로 산정 되었다. 석분의 경우 최대건조단위중량은 2.08gf/cm³으로 모래보다 큰 값을 나타내었다.

<표 1> 모래와 석분의 공학적 특성

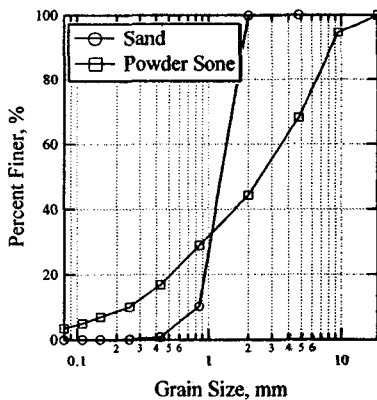
	모래	석분
체분석	No. 4통과율 : 99% Cu : 1.61, Cg : 1.1	2mm 이상 시료 : 56% 유효입경 이하시료 7%
비중	G _s =2.61	G _s =2.71
다짐실험	다짐 : v _{max} =1.68 gf/cm ³	표준다짐 : v _{max} = 2.08 gf/cm ³
전단계수	건조 : 42.3° 포화 : 41.3°	건조 : 37.2° 포화 : 35.8°
투수계수(cm/sec)	0.5 × 10 ⁰	1.3447×10 ⁻⁵

<도표 2> 토목섬유 콘테이너의 공학적 특성

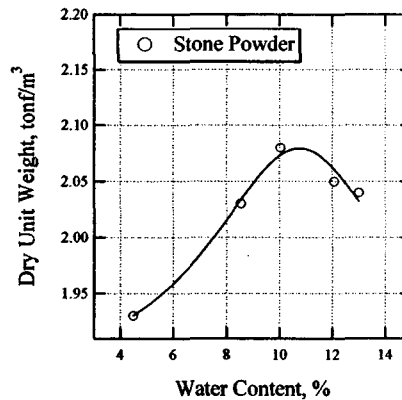
실험재료 실험항목	기성포대	토목섬유(Polyester, PET)	본 연구에 선정된 토목섬유
원 시료의 인장강도	MD : 1.1 tonf/m CD : 0.7 tonf/m	MD : 21.8 tonf/m CD : 21.6 tonf/m	MD : 4.1 tonf/m CD : 3.1 tonf/m
붕합강도	-	18.9 tonf/m	1.1 tonf/m
데니아(Denia)	-	4000	1200

* MD : Machine Direction CD : Cross Machine Direction

1 데니아(Denia): 실의 굵기를 나타냄. 1D는 나일론 1그램으로 9,000m의 실을 뽑아냈을 때의 실 굵기.



<그림 4> 입도분포곡선



<그림 5> 다짐곡선

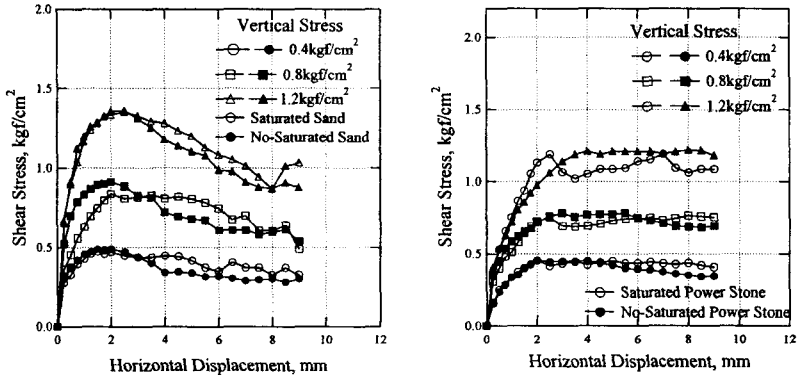
3. 실험결과 및 고찰

3.1 토목섬유 내부채움재별 전단응력-전단변형 특성

내부채움재의 전단 마찰각은 토목섬유 콘테이너를 만들어 실제 시공을 한 후에 축조노반의 안정성에 큰 영향을 미친다. 내부 채움재의 전단 마찰각이 작게되면 변위가 크게 발생한다. 또한, 토

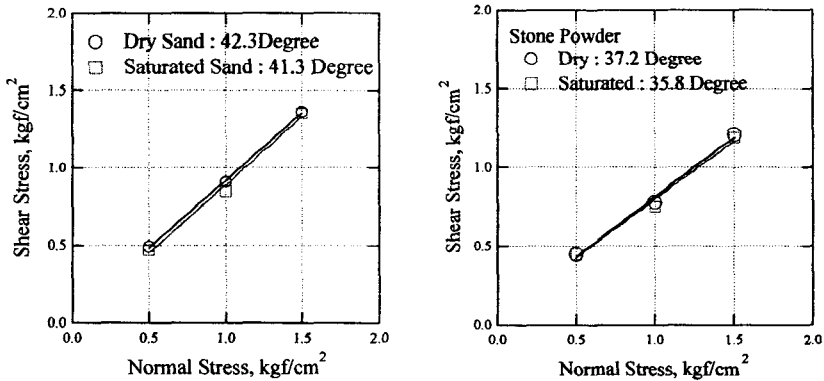
토목섬유 콘테이너의 경우에는 단일 구조체가 아니기 때문에 전체적으로 침하의 문제와 더불어 마찰각은 중요한 안정화의 요소가 된다.

<그림 6>~<그림 7>은 건조시료와 포화된 시료에 대하여 모래와 석분의 전단시험시 응력-변형을 곡선과 전단마찰각의 결과를 나타낸 것이다. 모래의 전단 실험 결과 건조 시에는 42.3°, 포화 시에는 41.3°의 마찰각을 보였으며, 이는 일반 모래보다 큰 마찰각으로 모래입자크기에 영향을 받은 것으로 판단된다. 석분의 경우 건조 시에는 37.2°, 포화 시에는 35.8°의 마찰각을 갖는다.



(a) 모래 (b) 석분

<그림 6> 내부채움재별 응력-변형곡선



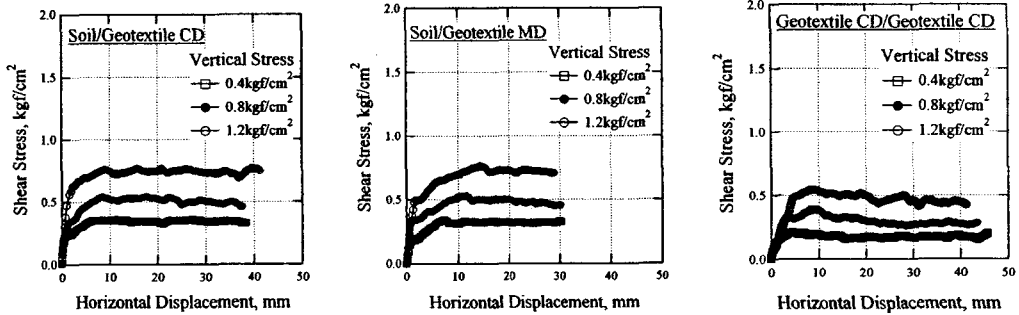
(a) 모래 (b) 석분

<그림 7> 내부채움재의 포화 및 불포화에 따른 전단각변화

3.2 토목섬유 콘테이너의 상호마찰특성

토목섬유 콘테이너와 접촉토사의 마찰특성은 전단시험장치의 크기, 토사의 입도분포, 수직하중의 크기 등 많은 인자들에 의하여 영향을 받는다. 본 실험은 토목섬유 콘테이너가 토사 위에 포설되었을 경우에 흙과의 마찰 특성을 알아보기 위한 실험으로 MD(지오텍스타일의 Machine

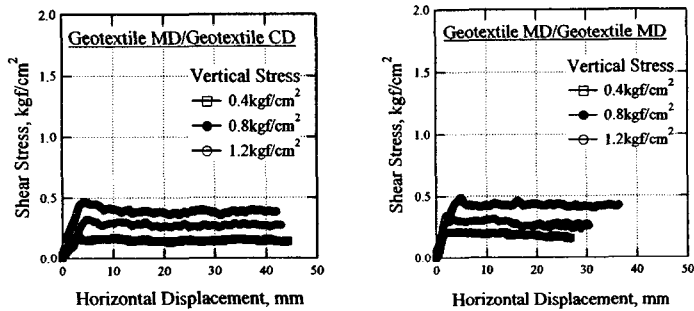
Direction)와 CD(지오텍스타일의 Cross Machine Direction)에 대하여 전단시험을 각각 실시하였다. 본 실험을 통해 측정된 전단변위와 전단강도는 <그림 8>와 같다. <그림 8>에서와 같이 흙과 토목섬유간의 최대 전단강도는 10mm이하의 변위에서 발생하였으나, 토목섬유끼리에서는 변위가 5mm이내에서 최대 전단강도를 볼 수 있었다. 이러한 토목섬유간의 마찰특성은 빠른 시간내에 최대 전단강도가 나타난 후 강도가 감소하는 변형률 연화(strain softening)현상을 확인할 수 있었다.



(a) 흙/토목섬유 CD

(b) 흙/토목섬유 MD

(c) 토목섬유 CD/CD



(d) 토목섬유 MD/CD

(e) 토목섬유 MD/MD

<그림 8> 토목섬유 콘테이너의 변위에 따른 접촉전단응력

변형률-하중 관계곡선에서 구한 최대 및 잔류 전단강도, 강도 감소율 등을 <표 3>에 정리하였다. 본 시험에서는 전단변형 30mm이하에서 가장 작게 측정된 값을 잔류 전단강도라 하였다. 기존 연구에 의하면 매우 작은 변형에서 측정된 값이나, 이후의 값은 수렴한다고 가정 후 분석을 실시하였다.

<표 3>에서와 같이 흙과 토목섬유간의 최대전단강도는 0.36~0.77kgf/cm²의 범위를 보이고 있으며, 잔류 전단강도는 0.33~0.71kgf/cm²으로 강도 감소율이 약 8.4~15%정도 강도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 토목섬유끼리의 마찰특성은 앞서 흙과의 마찰값보다 상대적으로 적게 측정되었으며, 최대 전단강도는 0.17~0.54kgf/cm²의 범위를 보이며, 잔류 전단강도는 0.17~0.41kgf/cm²으로 강도 감소율이 약 15.8~29.5%로 나타났다. 이러한 강도감소율로 보아 토목섬유 콘테이너가 축조될 때 토목섬유 콘테이너끼리의 마찰각이 작어짐으로써 토목섬유 콘테이너의 슬라이딩문제에 대하여 검토할 필요가 있을것으로 판단된다.

<표 4>은 각 실험조건별 최대 및 잔류 전단강도를 나타내었다. 전체적으로 흙과 토목섬유 콘테이너 사이의 마찰각은 28.9°의 범위를 보이고 있으며, 점착력(c)은 0.14kgf/cm²로 측정되었다. CD와 MD 방향의 마찰각이나 점착력에는 크게 영향을 보이고있지 않는 것으로 판단된다. 토목섬유 콘테이너끼리의 상호마찰특성을 보면 흙과 토목섬유 콘테이너 사이에서 발생된 점착력의 약 10배 이하로 감소하는 것으로 볼 수 있다. 또한, 최대전단강도와 잔류전단강도가 흙에 비하여 MD방향의 경우 약 25.6% 감소하는 것을 볼 수 있으며, CD 방향의 경우 약 17.9%정도 감소하였다. 즉, 토목섬유 콘테이너를 축조할 때 슬라이딩에 대하여 충분히 검토를 해야할 것으로 판단된다.

토목섬유 콘테이너의 경우 MD와 CD방향의 마찰각이 가장 작은 것을 볼 수 있으며, CD와 CD 방향일 때 가장 효과적인 마찰특성을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 토목섬유 콘테이너를 축조할 때 설치방향은 CD와 CD가 유리할 것으로 판단된다.

<표 3> 시험결과 요약

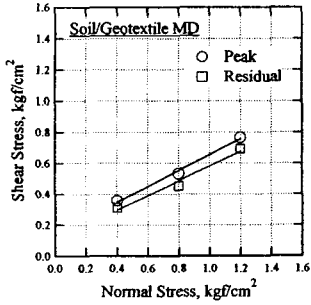
종류	연직응력 (kgf/cm ²)	최대전단강도 (kgf/cm ²)	잔류전단강도 (kgf/cm ²)	강도감소율 (%)	잔류/최대강도의 비
화강풍화토	0.4	0.484	0.433	10.54	0.89
	0.8	0.726	0.698	3.85	0.96
	1.2	0.975	0.958	1.74	0.98
흙/CD	0.4	0.357	0.327	8.40	0.92
	0.8	0.542	0.471	13.1	0.89
	1.2	0.767	0.707	7.80	0.92
흙/MD	0.4	0.357	0.311	12.9	0.87
	0.8	0.532	0.452	15.0	0.85
	1.2	0.765	0.691	9.70	0.90
CD/CD	0.4	0.209	0.166	20.6	0.79
	0.8	0.387	0.273	29.5	0.71
	1.2	0.543	0.413	23.9	0.76
CD/MD	0.4	0.165	0.139	15.8	0.84
	0.8	0.323	0.270	16.4	0.84
	1.2	0.468	0.355	24.1	0.76
MD/MD	0.4	0.212	0.158	25.5	0.75
	0.8	0.319	0.256	19.7	0.80
	1.2	0.490	0.406	17.1	0.83

<표 4> 최대 및 잔류 전단강도

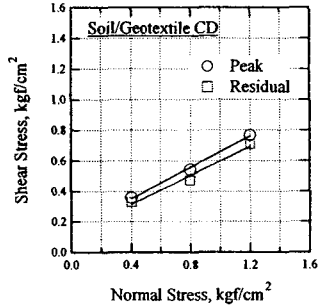
실험조건	최대전단강도		잔류전단강도		비고
	마찰각(°)	점착력(kgf/cm ²)	마찰각(°)	점착력(kgf/cm ²)	
흙/MD	28.9	0.143	28.6	0.105	
흙/CD	28.4	0.145	28.4	0.122	
CD/CD	23.4	0.014	18.4	0.037	
MD/CD	21.2	0.016	16.9	0.039	
MD/MD	21.5	0.062	19.2	0.025	

<그림 9>는 각 조건별 최대 및 잔류 상태에서의 파괴 포락선 비교하여 나타내었다. 흙과 토목섬유 콘테이너의 실험경우를 제외하고 잔류 전단강도는 최대 전단강도의 78.6~89.3% 사이에서 분포함을 관찰할 수 있었다.

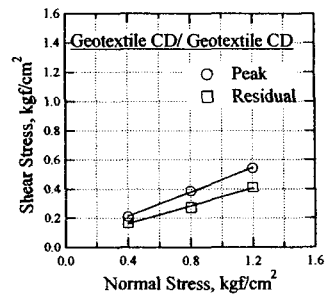
설계시 최대, 잔류, 또는 가중치를 고려한 최대 전단강도 중 어떤값을 사용하는가는 매우 중요한 문제이다. 일반적으로 과다 설계가 예상되는 경우는 최대 전단강도를 사용하고, 보수적인 설계가 필요할 때는 잔류전단강도를 사용한다. 일반적으로 토목섬유 콘테이너의 경우에는 큰 변위를 발생할 소지를 가지고 있기 때문에 잔류 전단강도를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



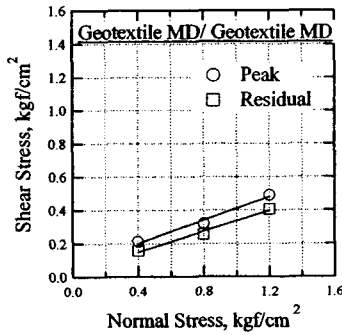
(a) 흙/MD방향



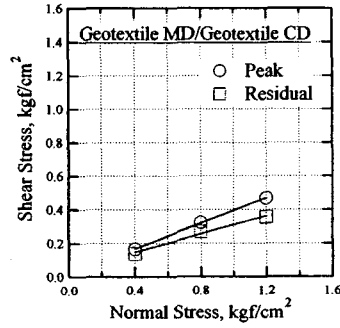
(b) 흙/CD방향



(c) 토목섬유 CD/CD



(d) 토목섬유 MD/MD



(e) 토목섬유 MD/CD

<그림 9> 토목섬유 방향별 마찰각

4. 결론

대형전단시험장비를 통하여 토목섬유 콘테이너 사이의 집축전단강도를 측정하여 아래와 같은 결론을 제시하였다.

- 1) 내부채움재인 모래와 석분의 마찰특성결과 포화와 비포화의 경우 거의 유사한 마찰특성을 보이고 있다.
- 2) 흙과 토목섬유간의 최대전단강도는 $0.36 \sim 0.77 \text{kgf/cm}^2$ 이며, 잔류 전단강도는 $0.33 \sim 0.70 \text{kgf/cm}^2$ 으로 강도 감소율이 약 8.4~15%정도 강도가 감소하는 것을 볼 수 있다.
- 3) 토목섬유끼리의 최대 전단강도는 $0.17 \sim 0.54 \text{kgf/cm}^2$ 의 범위를 보이며, 잔류 전단강도는 $0.17 \sim 0.41 \text{kgf/cm}^2$ 으로 강도 감소율이 약 15.8~29.5%로 나타났다.
- 4) 토목섬유 콘테이너끼리의 잔류 전단강도는 최대 전단강도의 78.6~89.3% 사이에서 분포하였다.
- 5) 토목섬유 콘테이너의 경우에는 큰 변위를 발생할 소지를 가지고 있기 때문에 잔류 전단강도를

사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 서민우, 박준범, 김운영(2002), "지오멤브레인/지오택스타일의 접촉 전단강도 평가", 한국지반공학회 학회지, 제18권 1호, pp79~89.
2. 신은철, 오영인(2000), "폐기물 매립장에 사용되는 토목섬유 마찰특성 및 안정해석에 관한 연구", 한국폐기물 학회지, 제17권, 제7호, pp.862~874.
3. 주재우, 한호남, 박종범, 오세란(1998), "직접전단시험에 의한 토목섬유 보강토의 마찰특성", '98 Geosynthetics Conference December, pp. 87~94.
4. 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
5. 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.
6. Jones, D.R.V and Dixon, N.(1998b), "Shear strength properties of geomembrane/geotextile interface", Geotextiles and Geomembrane, 16, pp.45~71.
7. Stark, T. D. and Poeppl, A. R.(1994), "Landfill liner interface strengths from torsional-ring-shear tests", Journal of Geotechnical Engineering ASCE, 120(3), 597~615.
8. Wasti, Y. and Ozduazgun, Z. N.(2001), "Geomembrane-geotextile interface shear properties as determined by inclined board and direct shear tests", Geotextile and Geomembrane, 19, pp.45~57.
9. Izgin, M., Wasti, Y.(1998), "Geomembrane-sand interface frictional properties as determined by inclined board and shear box tests", Geotextiles and Geomembranes, 16, pp. 207~219.