

## 토목섬유 접촉면의 역학적 특성 개선에 관한 연구

### A Study on the Improvement Mechanical Properties of Geosynthetic Interface

남 용<sup>†</sup> · 김 광 호<sup>1)</sup> · 권 정 근<sup>2)</sup> · 임 종 철<sup>3)</sup> · 서 재 찬<sup>4)</sup>

Nam, Yong · Kim, Gwangho · Kwon, Jeonggeun · Im, Jongchul · Seo, Jeochan

**ABSTRACT :** In this study, Generally sandbag was used to reinforce slope or restore levee by using the in-situ material. To increase shear strength of sandbag, the Velcro system was effective for geosynthetic interface and make up for the weakness of shear strength between sandbag to sandbag. In this study, shear properties of geosynthetic-geosynthetic and geosynthetic-soil were evaluated from large scale direct shear tests. The cohesion and the angle of internal friction of each interface was evaluated. And laboratory model tests were performed to compare strength of reinforcement with strength of none reinforcement. As a result of this study, the cohesion and the angle of internal friction of each interface was increased, especially the cohesion was increased more than the angle of internal friction. Also according to the result of model test, the bearing capacity was increased by 20%.

**Keywords :** Direct shear test, Geosynthetic, Velcro, Shear strength, Friction angle, cohesion

**요 지 :** 흙채움 마대는 현장의 재료를 사용하여 간편하게 사면 및 제방의 복구나 보강에 사용되고 있다. 이런 흙채움 마대의 전단 저항력을 증가시키기 위해 흙채움 마대 상호면에 벨크로(Velcro)를 부착한 흙채움 마대가 개발되었으며, 벨크로를 부착한 흙채움 마대의 역학적 특성을 분석하기 위해 대형직접전단실험과 원호파괴를 가정한 실내모형실험이 수행되었다. 실제 벨크로가 부착된 마대를 이용해 사면을 설계하기 위해 흙-토목섬유 요소실험을 실시하여 강도정수를 파악하였다. 그리고 사면형성 시 벨크로와 흙채움 마대가 혼재하고 있기 때문에 정확한 파괴면을 알 수 없다. 따라서 실내모형실험을 통해 내적파괴에 대한 거동을 분석하고, 역해석을 통해 설계강도정수를 제안하였다. 흙-토목섬유의 요소실험결과, 벨크로의 부착으로 인해 흙채움 마대 상호간의 전단저항 정수인 내부마찰각과 점착력의 증가가 나타났으며, 특히 내부마찰각보다는 점착력의 뚜렷한 증가가 나타난 것으로 분석되었다. 또한, 실내모형실험 결과, 지지력이 20%이상 증가해 대형장비의 주행성 증가와 시공속도의 증대를 가져올 것으로 판단된다.

**주요어 :** 직접 전단시험, 토목섬유, 벨크로, 전단강도, 내부마찰각, 점착력

## 1. 서 론

종래에는 사면복구에 흙채움 마대(Sand bag)가 사용되었으나, 흙채움 마대는 마대 상호간의 접촉면 강도가 낮아 전도와 활동에 취약하여 집중호우 시 하천 제방의 임시복구나 사면의 임시보강에 국한되는 단점이 있다.

이런 단점을 보완하기 위해 최근에는 접촉면 전단특성을 향상시킨 토목섬유를 이용하여 매립지의 차수 및 복토시스템과 같은 환경분야 뿐만 아니라, 옹벽구조물과 같은 지반구조물의 보강재로서도 그 사용이 증대되고 있고 사면의 안정 시 보강효과도 증대시킬 수 있다. 일반적으로 토목섬유를 활용한 구조물에서는 그 목적에 따라 여러 종류의 토목섬유와 흙이 적용될 수 있으므로 다양한 특성을 가지는 접촉면이 발생하게 된다. 이러한 접촉면 중 상당수는 낮은 전

단강도를 보이며 극한상태에서 주 파괴면이 작용하게 되므로, 토목섬유 접촉면이 존재하는 구조물의 설계 시에는 사전에 각 접촉면에 대한 마찰특성을 명확히 하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 흙채움 마대 상호간의 접촉면 강도에 유리한 벨크로(Velcro)를 그림 1과 같이 부착하여 전단강도를 증대시키고자 하였다. 벨크로를 부착한 마대를 이용해 사면을 보강하면 사면의 강도를 증진시킴으로써 대형장비의 주행성을 증대시키고 시공속도를 증가시켜 공기를 단축하는 효과를 가질 것으로 판단된다.

접촉면 전단강도 실험을 위해 대형직접전단실험기를 이용하였으며, 그림 2와 같이 흙-토목섬유와 토목섬유-토목섬유간의 요소실험을 실시하여 전단특성을 분석하였다. 각각의 강도정수를 파악하고 실제 벨크로를 부착한 흙채움 마대

† 학생회원, 부산대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : sndy18@nate.com)

1) 비회원, 한가람 엔지니어링 이사

2) 정회원, 부산대학교 토목공학과 박사과정

3) 비회원, 부산대학교 토목공학과 정교수

4) 비회원, 반석인스트리츠 대표이사



그림 1. 흙채움 마대에 벨크로를 부착한 모습

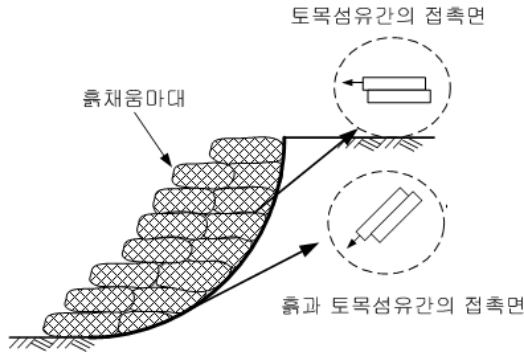


그림 2. 흙채움 마대 사면

를 이용하여 사면보강 설계 시 설계강도정수로 활용하고자 사면 파괴면과 유사한 형태의 사면을 제작하여 실내모형실험을 실시하였다. 흙채움 마대에 벨크로를 부착하여 형성한 사면과 일반 흙채움 마대로 형성한 사면의 지표면 하중과 변위의 관계를 분석하고 사진법(임종철 등, 1992)을 이용해 지반의 거동을 분석하여 내적파괴에 대한 강도정수를 파악하고, 역해석법에 의해 구해진 강도정수와 요소실험에 의해 구한 강도정수를 비교하여 설계 강도정수를 제안하였다.

## 2. 흙-토목섬유의 접촉면 마찰특성

경계면의 마찰실험을 수행하기에 가장 적합한 실험은 직접전단실험이다. 직접전단의 실험은 종종 효율계수(efficiency factor),  $\tan\delta/\tan\phi$ 의 항목으로 보고된다. 이에 대한 전형적

인 효율계수의 범위는 0.6~1.0으로 보고되고 있다(Richards와 Scott, 1985). Collios는 토목섬유의 구멍 직경이 흡입자의 크기를 초과하고 파괴면이 흙의 보강재의 접촉면에서 집중될 때 1.16과 같이 큰 효율계수가 나타나지만, 효율계수가 1보다 클 경우에는 실제 시스템은 흙에서 파괴되므로 설계 시 사용하지 않는 것이 바람직하다고 보고하고 있다. 앞에서 언급한 연구자들은 흙과 보강재의 접촉효율(contact efficiency)에 영향을 주는 요소들에 대해 상당히 많은 연구결과를 발표하였는데, 주로 영향을 미치는 인자는 흙 입자의 크기와 토목섬유 구멍의 크기와 형태 등으로 보고하고 있다. 또한, Richards와 Scott(1985)등은 직접전단실험장치 형태 효과에 대한 결과를 연구하였다. 이들의 연구는 실험동안에 일정한 전단표면적을 유지하는 것이 보다 좋은 결과를 나타내는 것으로 결론지었다.

## 3. 접촉마찰특성시험

### 3.1 실험재료 및 장치

본 연구에서는 흙채움 마대와 벨크로(요-Depression, 철-Prominence)라는 섬유를 이용하여 매끄러운 면(요)과 거친 면(철)에 대한 실험과 흙의 포화상태와 불포화 상태에 따른 실험을 수행하여 이에 대한 전단강도의 특성을 분석하였다.

본 연구에 사용된 시료는 일반적으로 점착력은 가지지 않고 내부마찰각만 가진 무문진 표준사와 점착력과 내부마찰각을 모두 가지는 원지반토사(Soil 1,2)를 이용하여 실험하였다. 흙의 물성치를 표 1에 나타내었고, 입도실험결과를 표 2에 나타내었다. Soil 1은 통일 분류법으로 인해 ML으로 분류되었고, 입도실험결과, 균등계수( $C_u$ ) = 8.28, 곡률계수( $C_g$ ) = 0.79로 나타났다. Soil 2도 Soil 1과 같은 ML으로 분류되었고 입도실험결과, 균등계수( $C_u$ ) = 38.80, 곡률계수( $C_g$ ) = 0.55로 나타났다. 입도분포곡선을 그림 4에 나타내었다.

본 연구에서는 토목섬유에 따른 전단강도의 특성을 알아

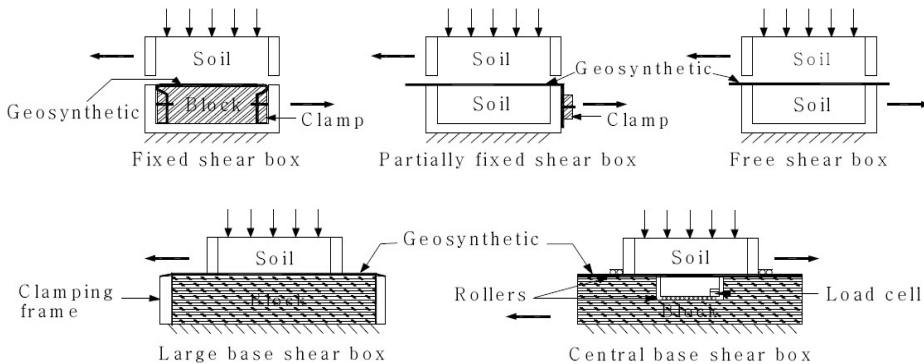


그림 3. 여러 흙-토목섬유 전단시험장치(after Richards & Scott, 1985)

표 1. 흙의 물성치

흙의 종류	통일분류 (USCS)	액성한계 LL(%)	소성한계 PL(%)	소성지수 PI	비중 Gs
Soil 1	ML	35.45	30.22	5.13	2.66
Soil 2	ML	33.40	26.81	6.59	2.67

표 2. 입도실험결과

특성	기호	Soil 1	Soil 2	표준사
유효입경	D10(mm)	0.0145	0.015	0.433
균등계수	Cu	8.28	38.80	1.402
곡률계수	Cg	0.79	0.55	0.912

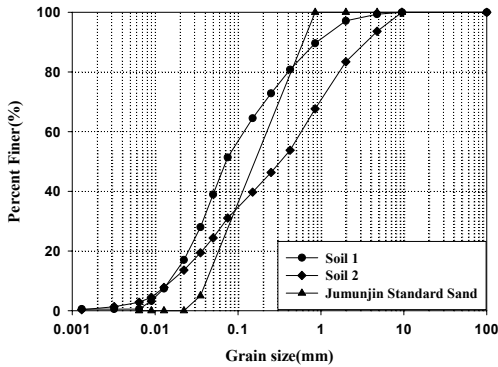


그림 4. 입도분포곡선

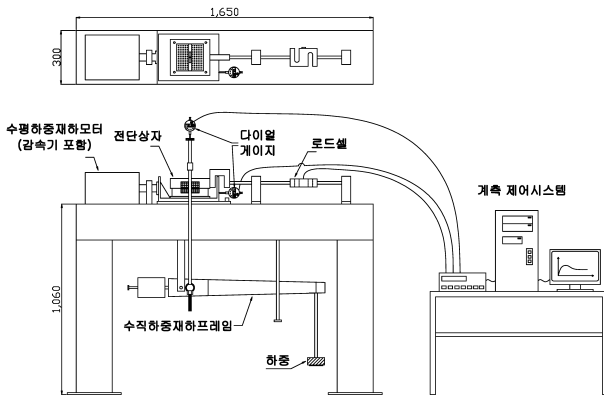


그림 5. 전단시험기

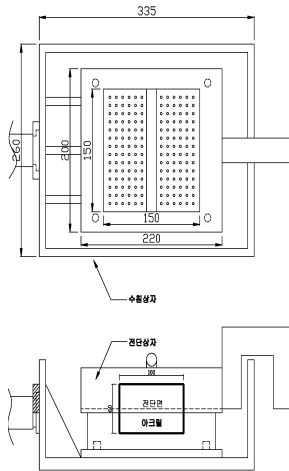


그림 6. 전단상자

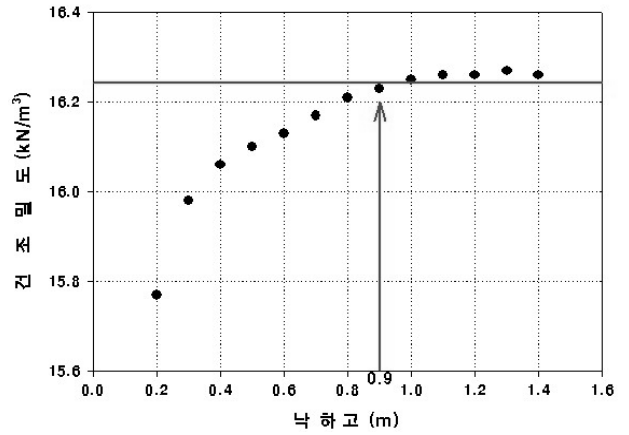


그림 7. 낙하고에 따른 모래의 밀도

보기 위험이므로, 흙-벨크로(요, 철), 흙-흙채움 마대에 따른 대형직접전단실험을 실시하였다. 그리고 벨크로간의 마찰 저항실험과 흙채움 마대간의 마찰저항실험을 실시하였다.

대형 직접 전단실험기의 개략도는 그림 5와 같으며, 그 제원은 1650mm(L)×300mm(W)×1060mm(H)이다. 수직하중 재하는 모멘트 재하방식으로, 하부가동형이며, 수평하중 재하는 감속기가 설치된 모터(motor)를 이용하여 일정 변형률 속도로 전단력을 가한다. 또한, 전단력은 로드셀(용량 : 500kgf)을 이용하여 측정한다. 전단상자는 그림 6과 같으며, 전단상자의 제원은 150mm(L)×150mm(W)×60mm(H)이다. 상·하부 전단상자의 기계적인 마찰을 줄이기 위하여 상자의 상·하면에 베어링을 부착하였으며, 전단상자의 한쪽 측면에는 투명 아크릴판을 이용하여 지반의 거동을 관찰하는데 용이하게 하였다. 전단실험과정에서 측정되는 전단력, 수평변위 및 연직변위는 자동화 계측시스템이 설치되어 있어 전단실험의 전 과정이 통일성 있게 측정되므로 실험조작과정으로 발생하는 실험결과 오차가 거의 없다고 볼 수 있다.

### 3.2 실험 방법

대형직접전단실험은 세 가지 시료(Soil 1, Soil 2, 주문진 표준사)에 대해서 포화상태와 불포화상태 두 가지 경우와 세 종류(벨크로의 요, 철부분 그리고 흙채움 마대)의 토목섬유에 대해 실험을 실시하였다. 현장상태의 습윤단위중량을 유지하고 불교란 상태를 유지하기 위해서 사각 블록샘플링을 통하여 대형직접전단실험을 실시하였다. 또한 주문진 표준사의 경우에는 낙하고 0.9m부터 밀도가 16.25kN/m<sup>3</sup> 가까이 수렴한다(박이근, 2003)는 이론을 바탕으로 낙하고 1.2m를 유지하면서 실험을 실시하였다.

흙과 토목섬유의 경계면 마찰특성을 파악하기 위해 전단상자 하부에는 그림 8, 9와 같은 방식으로 나무로 제작된 강체 150mm(L)×150mm(W)×31mm(H)를 삽입하였다. 그림 8

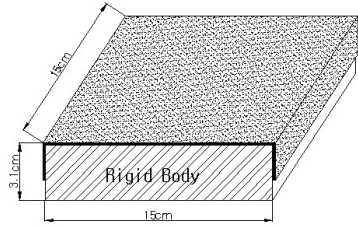


그림 8. 나무로 제작된 강체와 토목섬유

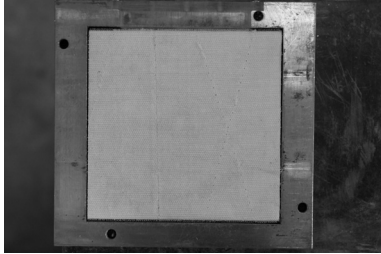


그림 9. 전단상자에 배치된 강체

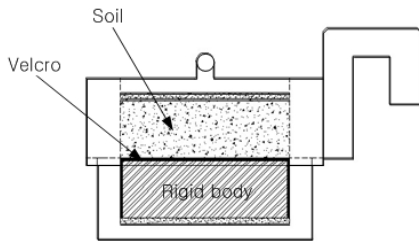


그림 10. 전단상자에 배치된 흙과 토목섬유

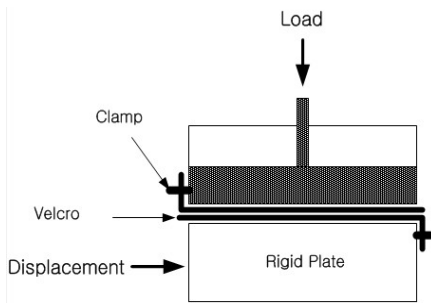


그림 11. 토목섬유의 전단면 요소실험

은 토목섬유의 마찰특성을 위해 고안된 강체에 토목섬유(벨크로 요, 철과 흙채움 마대)를 감싼 모습이고, 그림 10은 강체에 토목섬유를 감싼 상부표면이 전단상자와 전단면이 일치하도록 설치한 후 시료를 삽입한 후의 전체적인 모습도이다.

본 연구에서는 사면보강 시 쓰이는 흙채움 마대에 벨크로를 부착하여 전단강도를 강하게 하기 위함으므로, 부착되는 벨크로(요, 철)와 흙채움 마대에 대한 전단면 요소실험(그림 11)을 하여 전단특성을 분석함으로써 유리하게 작용하는 토목섬유를 파악하였다.

### 3.3 실험 결과 및 분석

흙과 토목섬유 경계면에 대한 전단특성은 그림 12, 13과

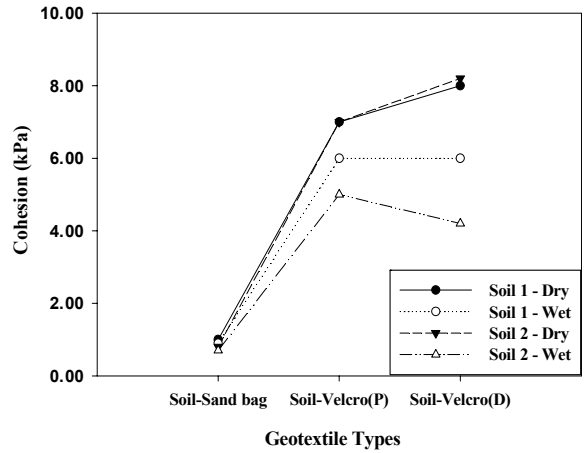


그림 12. 토목섬유에 따른 점착력

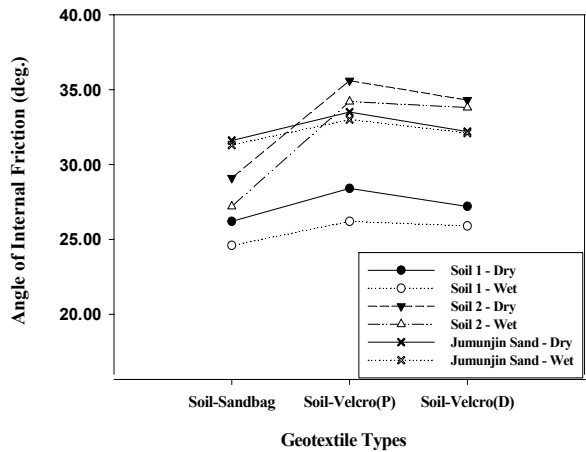


그림 13. 토목섬유에 따른 내부마찰각

같이 시료의 종류에 따라 약간의 차이는 나타나지만, 대부분 흙과 흙채움 마대의 점착력에 비해 흙과 벨크로가 부착된 마대의 점착력이 85% 정도 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 표 3과 같이 흙-토목섬유간의 점착력은 0에 가깝고 흙-벨크로 간의 점착력도 원지반 점착력의 10% 이내로 나타나 흙-토목섬유 경계면에서의 점착력의 발현은 매우 미미할 것으로 판단된다. 또한 실제 사면에서 흙채움 마대의 시공 시 흙-벨크로, 흙-흙채움 마대가 혼재하여 원지반에 접하고 있으며 경우 시 경계면에서의 수막현상으로 인해 점착력의 발휘는 거의 없을 것이며, 경계면에서의 점착력은 0으로 산정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다. 벨크로의 부드러운 부분인 요는 Depression으로 D로 표기하고, 거친부분의 철은 Prominence로 P로 나타내었다.

토목섬유간의 전단특성을 분석하기 위해 일반 흙채움 마대와 벨크로를 부착한 흙채움 마대 상호간의 대형직접 전단시험이 각각 수행되었다. 요소실험결과 그림 14, 15와 같이 벨크로가 부착된 흙채움 마대의 경우 점착력이 90kPa으로 일반 흙채움 마대간의 점착력 20kPa에 비해

약 4.5배 증가하였으며, 내부마찰각은 8°에서 11.6°로 약 1.4배 증가하는 것으로 나타나 벨크로의 부착으로 인해 내부마찰각과 점착력이 모두 증가하여 전단강도 향상에

뚜렷한 효과가 있었으며, 특히 내부마찰각보다는 점착력의 증가가 뚜렷하게 나타난 것으로 분석되었다.

표 3. 전단실험 결과

흙의 종류	실험 종류	포화시		불포화시	
		강도정수		강도정수	
		점착력 $c(kPa)$	내부마찰각 $\phi(deg)$	점착력 $c(kPa)$	내부마찰각 $\phi(deg)$
Soil 1	Soil-Soil	48.2	28.5	57.6	30.6
	Soil-Sandbag	0.87	24.6	1.4	26.2
	Soil-Velcro(P)	5.9	26.2	6.9	28.4
	Soil-Velcro(D)	6.0	25.9	8.3	27.7
Soil 2	Soil-Soil	41.4	35.2	48.0	37.8
	Soil-Sandbag	0.67	27.2	0.8	29.1
	Soil-Velcro(P)	5.0	34.2	7.0	35.6
	Soil-Velcro(D)	5.2	33.8	8.0	34.3
표준사	Soil-Soil	0	35.2	0	35.8
	Soil-Sandbag	0.71	31.3	0.83	31.6
	Soil-Velcro(P)	0.91	32.1	0.91	32.2
	Soil-Velcro(D)	0.82	33.0	0.95	33.5

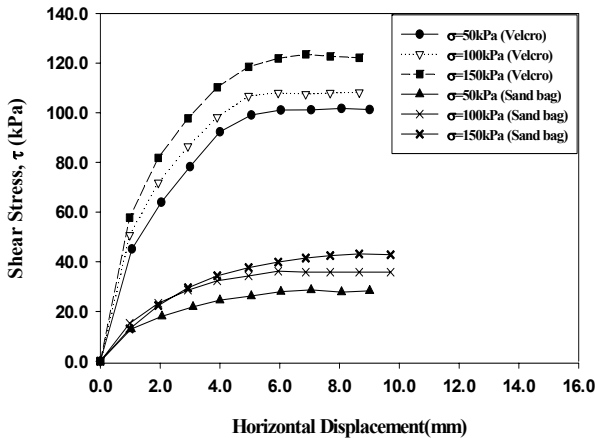


그림 14. 수평변위에 따른 전단강도

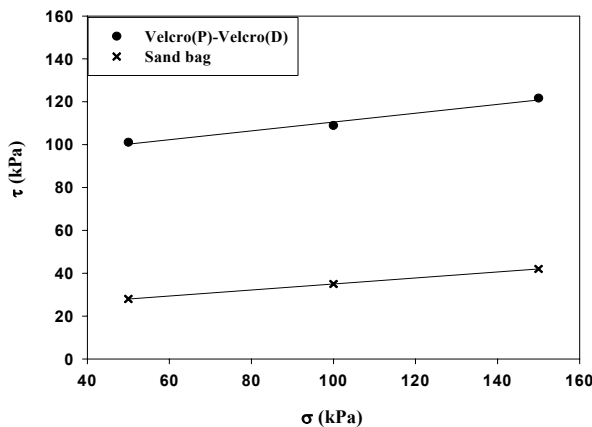


그림 15. 토목섬유에 따른 파괴포락선

## 4. 실내모형실험

### 4.1 실험장치 및 방법

흙채움 마대를 사면의 복구나 보강용으로 적용 시 실제 사면의 파괴 가능성은 흙채움 마대의 내부와 흙과 흙채움 마대 경계면에서 발생할 것이다. 설계 시 이를 고려한 설계정수를 산정하기 위해 실내모형실험이 수행되었다. 실내모형실험은 실제 파괴면을 흙과 흙채움 마대의 경계면과 흙채움 마대 내부에서 발생하도록 하중 재하위치를 선정하였으며, 그림 16과 같이 1700mm(H)x2100mm(L)x1200mm(W)(R=2000mm)로 특수 제작된 사면을 이용하였다. 일반적으로 사면이 균질하고 지지층이 깊을 경우 사면은 주로 원호파괴가 발생하기 때문에 이를 고려하여 장치를 제작하였다. 또한 흙과 흙채움 마대 경계면을 모델링하기 위해 제작된 경계면에 #200 체 사포를 부착하였으며 직접전단시험결과 내부마찰각이 37°이고 점착력이 0으로 산정되어 이를 흙으로 가정하여 장치를 제작하였다. 사면에 작용하는 보강체의 하중이 같아야 함을 고려하여 벨크로를 부착한 마대와 일반 흙채움 마대에 같은 양의 모래를 넣고 같은 수의 마대를 이용하여 60°경사로 사면을 형성하였다. 하중재하는 하중-변위 분석에 사용되는 엑추에이터를 이용하여 등분포하중이 가해지도록 강체의 하중판을 놓고 20mm/min의 속도로 재하하였다. 하중이 가해지는 위치에 따라 보강체의 거동양상을 파악하기 위하여 흙채움 마대 옆면에 타겟을 부착하여 사진판독에 이용하였으며, 그림 16과 같이 ①, ②, ③의 위치에서 하중을 재하하여 위치에 따른 하중과 변위를 측정하였다. 실내모형실험의 내용은 표 5와 같다.

표 4. 토목섬유간의 강도정수

실험종류	강도정수	
	점착력 $c(kPa)$	내부마찰각 $\phi(deg)$
Velcro(D)-Velcro(P)	90	11.6
Sandbag-Sandbag	20	8

표 5. 실내모형실험 내용

구분	하중재하위치	설치각도	재하속도
일반 흙채움 마대	①, ②, ③	60°	20mm/min
벨크로가 부착된 흙채움 마대			

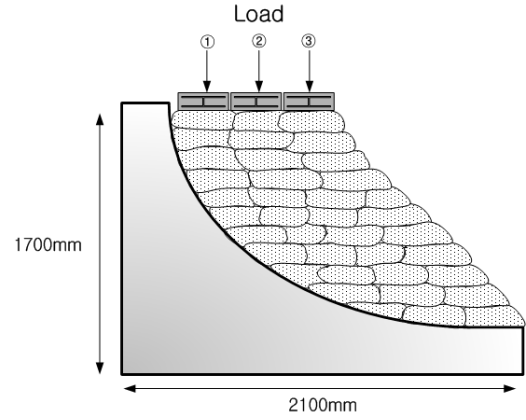
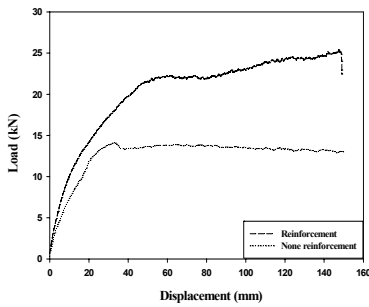
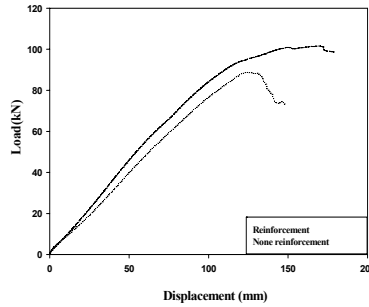


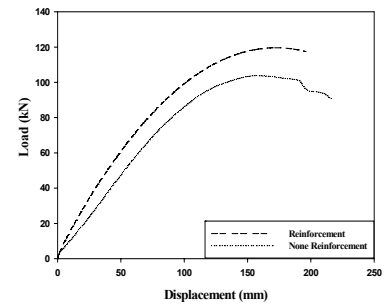
그림 16. 사면의 형태와 하중재하 위치



(a) 재하위치 ①



(b) 재하위치 ②



(c) 재하위치 ③

그림 17. 하중재하 위치별 하중-변위 그래프

표 6. 모형실험 결과

구분	①번 위치			②번 위치			③번 위치		
	최대하중 (kN)	최대변위 (mm)	지반반력계수 (kN/cm <sup>3</sup> )	최대하중 (kN)	최대변위 (mm)	지반반력계수 (kN/cm <sup>3</sup> )	최대하중 (kN)	최대변위 (mm)	지반반력계수 (kN/cm <sup>3</sup> )
일반 흙채움 마대	14.1	20	2,062	88.75	125	2,843	103.85	153	3,906
벨크로가 부착된 흙채움 마대	22.25	50	2,425	101.6	168	3,192	125.05	166	4,638

#### 4.2 실내모형실험 결과 및 분석

일반 흙채움 마대와 벨크로가 부착된 흙채움 마대에 대해 실내모형실험을 수행하였다. 그림 16의 ①번 위치에서 일반 흙채움 마대와 벨크로가 부착된 흙채움 마대로 형성된 사면에 하중을 재하한 결과 일반 흙채움 마대의 경우 수직 변위량 20mm에서 14.kN의 하중에서 파괴가 되었으며, 파괴면의 위치는 흙과 흙채움 마대 경계면에서 발생하는 것으로 분석되었다. 이와 달리 벨크로가 부착된 흙채움 마대의 경우 수직변위량 50mm에서 파괴가 발생하였으며, 파괴 시 강도는 22.25kN으로 사진판독분석결과 동일한 파괴면을 따라 파괴가 발생하였지만, 벨크로가 부착된 흙채움 마대의 전단저항능력이 약 2배 가량 향상된 것으로 분석되었다. 또한 표 6과 같이 초기 지반반력계수는 10~20% 증가하는 것으로 나타났다. 하중재하 위치가 보강 사면의 가운데(재하

위치 ②)와 선단부(재하위치 ③)의 경우 파괴는 흙채움 마대 내부에서 발생하는 것으로 분석되었으며, 일반 흙채움마대에 비해 벨크로로 보강된 흙채움 마대의 극한하중이 약 20%가량 증가하는 것으로 나타났다. 또한 실험 종료 후, 흙채움 마대를 관찰한 결과 벨크로로 보강된 흙채움 마대의

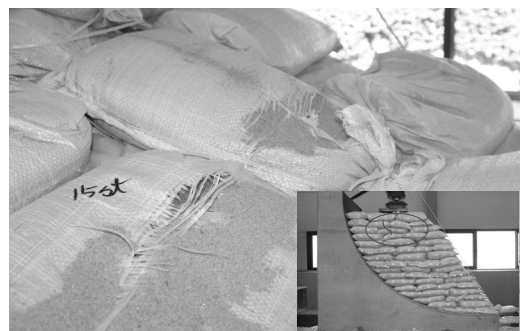


그림 18. 하중재하에 의한 마대의 파단

경우 벨크로의 부착면과 흙채움마대의 연결부에서 파단이 발생하여 파괴에 이른 것으로 보이며, 벨크로와 흙채움 마대의 연결부를 보강한다면 증가된 지지력을 발휘할 것으로 판단되었다.

### 4.3 실내모형실험 사진법 분석결과

사면의 파괴형상과 거동을 알아보기 위해 사진법(임종철 등, 1992)을 이용하여 사면의 변위 거동을 분석하였다. 사면에 거동을 알아볼 수 있도록 하기 위해 십자로 된 스티커를 부착하여 하중단계별로 사진 촬영을 하였다. 이후 초기상태와 변형 후 상태의 사진에서 두 개의 좌표 값과 그 요소의 절점(Node)의 좌표를 읽은 뒤 이들 좌표 값을 기준으로 각

상태의 요소 절점의 절대좌표를 계산하고 각 요소점의 변위를 구한다. 다음으로 1차의 4절점 등매개변수(Isoparametric) 요소를 이용하여 형상함수를 구하고 이를 변형해석 프로그램(박이근, 2002)(DALT ; Deformation Analysis program for Laboratory model Test)을 사용하여 무신축방향을 분석하여 사면의 파괴 메카니즘을 파악하였다.

그림 19~24는 각 하중재하 위치에서 하중을 재하한 일반 흙채움 마대와 벨크로로 보강된 흙채움 마대의 무신축방향을 이용하여 사면의 파괴양상을 비교하여 나타내었다. 그림 19, 21에서 나타나듯이 ①번 위치에서 재하 하였을 경우에는 일반 흙채움 마대와 벨크로가 부착된 흙채움 마대 모두 뚜렷한 무신축방향의 연결성이 보이지 않았으며, 실제 육

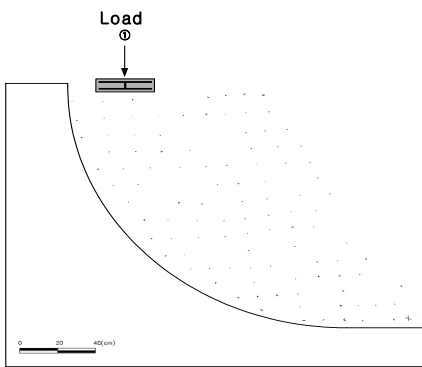


그림 19. ①번 위치의 보강사면 무신축방향

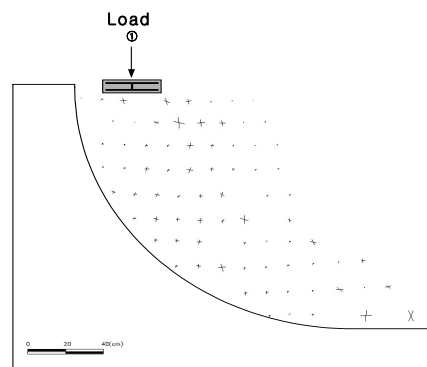


그림 20. ①번 위치의 무보강사면 무신축방향

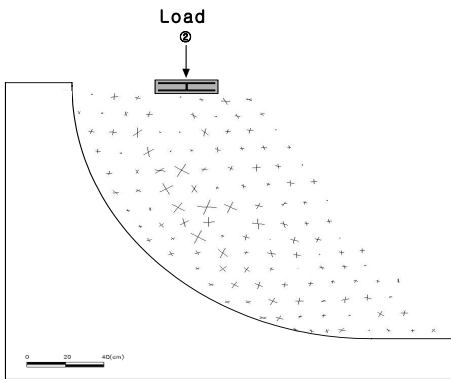


그림 21. ②번 위치의 보강사면 무신축방향

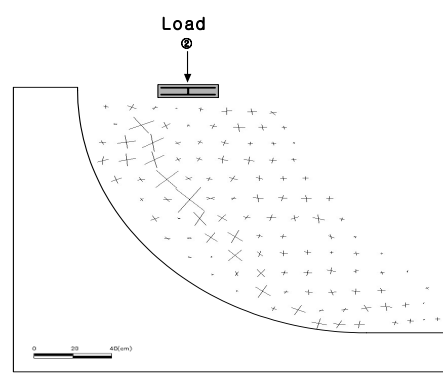


그림 22. ②번 위치의 무보강사면 무신축방향

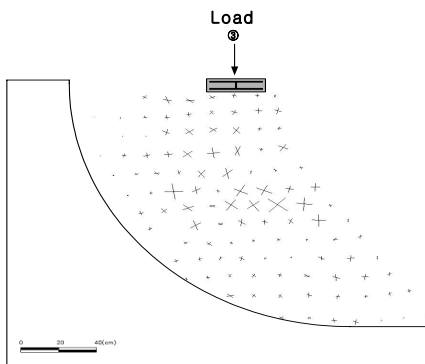


그림 23. ③번 위치의 보강사면 무신축방향

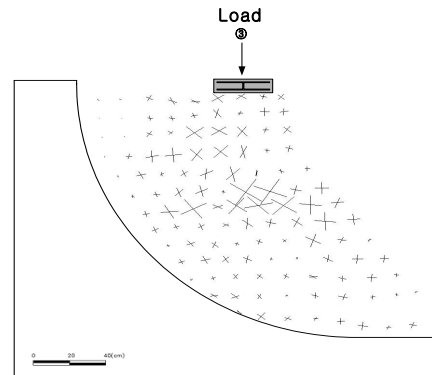


그림 24. ③번 위치의 무보강사면 무신축방향

안관찰결과 파괴는 흙채움 마대와 지반의 경계부에서 발생하는 것으로 관찰되었다. 또한 그림 19, 21의 변형률의 크기를 분석해보면 벨크로가 부착된 경우가 변형률의 크기가 더 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 일반 흙채움 마대에 비해 일정 영역까지 벨크로의 부착으로 인해 전체 사면이 일체화되어 활동력에 대해 저항하는 것으로 분석할 수 있다.

하중재하 위치가 사면의 중간(재하 위치 ②)에서 재하된 경우 무신축방향의 연결성이 일반 흙채움 마대와 벨크로가 부착된 흙채움 마대 모두 사면 내부에서 나타났으며, 변형률의 크기는 벨크로가 부착된 흙채움 마대에서 더 크게 나타났다. 이는 앞선 하중재하위치 ①과 동일한 것으로 판단되며, 벨크로의 부착으로 인해 흙채움 마대 전체가 일체화되어 거동하기 때문에 더 큰 지지력을 발휘하는 것으로 판단된다.

그리고 사면의 선단에서 하중이 재하된 경우 사면의 파괴는 어떤 파괴면을 따라 슬라이딩이 발생하는 것이 아니라 흙채움 마대의 압축에 의해 압축력이 최대가 되는 흙채움 마대 사면의 중간위치에서 응력 집중이 발생하고 이로 인해 파괴가 발생하는 것으로 나타났다.

## 5. 실내모형실험의 역해석

벨크로로 보강된 흙채움 마대를 사면 보강 및 복구용으로 적용 시 실내모형실험 결과처럼 흙채움 마대 보강면의 내적 파괴에 대한 설계 전단강도 정수의 산정이 필요하다. 그러나 실제 흙채움 마대를 사면의 일부분으로 형성 시 요소실험결과와 달리 흙채움 마대는 벨크로가 부착된 면과 미부착면이 파괴면내에 존재하고 연속적으로 상호 부착된 것이 아니며 또한 주변 흙채움마대 상호간의 일체화 거동으로 인해 전단강도정수는 단순히 요소실험에서 산정된 결과를 설계에 적용하기에는 무리가 있다. 본 연구에서는 역해석법(Back analysis method)을 이용하여 강도정수를 추정하는 방법(토목 설계공사, 1992)을 적용하여 벨크로가 부착된 흙채움 마대 내부의 전단강도정수를 산정하고자 한다. 역해석에 사용된 프로그램은 유한요소 해석에 많이 사용되는 프로그램인

Slope-W를 이용하였으며, 요소실험에서 산정된 전단강도정수와 상호비교하여 적절한 효율계수를 산정하고자 한다.

### 5.1 활동면 상에서의 강도정수 $c \sim \tan\phi$ 의 관계

그림 25는 실내모형실험에서 가장 파괴면이 뚜렷하게 나타난 ②번 위치에서 하중을 재하한 무보강사면의 무신축방향에 의한 추정활동면(C)과 가상활동면을 나타낸다. 비숍의 간편법(simplified Bishop method)을 적용하여 그림 25의 활동면 C에서의 안전율=1로 해서  $c$ 와  $\tan\phi$ 의 관계를 구하면 표 7과 같다.

### 5.2 활동면 상에서의 강도정수 $c, \tan\phi$ 의 결정

활동면 상에서의 강도정수를 구하기 위해 먼저, 그림 25와 같이 활동면 전후에 각각 2개씩의 활동면을 가상해서,

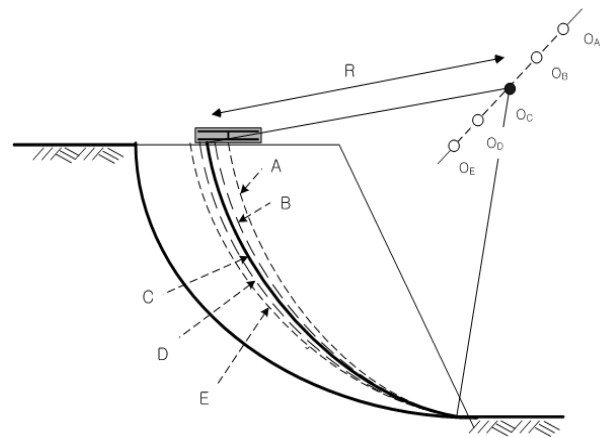


그림 25. 실제활동면(C)에서 안전율  $F_s=1$ 로 하는 강도정수 산정을 위한 가상활동면(A, B, D, E)

표 7. 활동면 상에서의  $c \sim \tan\phi$ 의 관계

$c(kPa)$	$\phi(deg)$	$\tan\phi$
10	48.4	1.115
20	37.5	0.767
30	25.2	0.471
40	13.4	0.238
50	3.4	0.059
54.1	0	0.000

표 8. 보강사면의 활동면 및 각 강도정수에 대한 안전율

활동면	활동원			안전율, $F_s$						
	중심, 0(m)		반경, R(m)	$c(kPa)$	10	20	30	40	50	54.1
	x	y		$\phi(deg)$	48.4	67.5	25.2	13.4	3.4	0
A	2.655	2.332	1.775	-	0.982	0.991	1.054	1.078	1.100	1.110
B	2.560	2.242	1.879	-	0.991	0.995	1.023	1.036	1.046	1.050
C	2.464	2.152	1.986	-	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
D	2.369	2.060	2.094	-	1.028	1.024	1.015	0.994	0.987	0.981
E	2.272	1.967	2.206	-	1.051	1.048	1.033	0.990	0.980	0.968



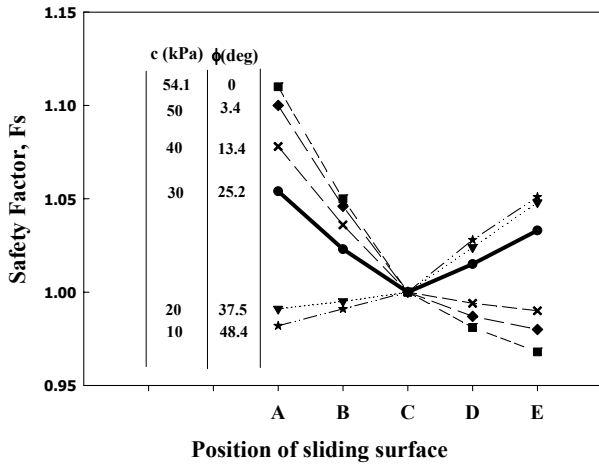


그림 26. 보강사면의 각 활동면의 위치와 강도정수에 따른 안전율

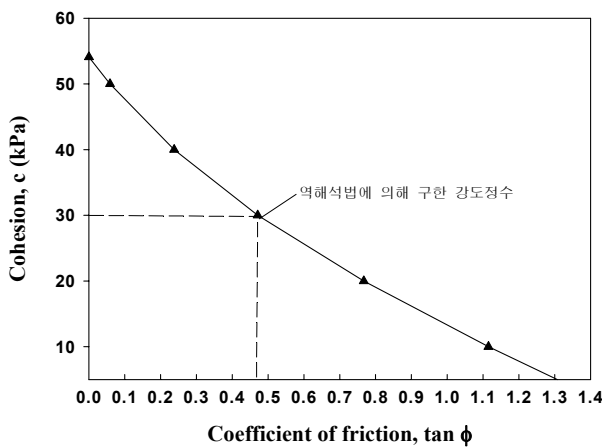


그림 27. 표 7에 의한 활동면 상의  $c \sim \tan \phi$  관계 곡선 및 지반강도 정수의 결정

각각 A, B, C, D, E라고 한다. 여기서, C는 실제활동면을 나타낸다. 표 8의 강도정수를 사용하여 각각의 활동면에서 안전율을 구하면 표 8 및 그림 26과 같다. 그런데, 실제활동면 C에서의 안전율(=1)은 주위의 가상활동면(A, B, D, E)에서의 안전율보다 낮아야 한다. 즉, 이 조건을 만족하는 강도정수가 실제활동면에서의 강도정수가 된다.

따라서 본 연구의 역해석법에 의한 강도정수는 그림 27에서 보는바와 같이  $c=30\text{kPa}$ ,  $\phi=25.2^\circ$ 인 것을 알 수 있다.

### 5.3 설계강도정수 산정

벨크로가 부착된 흙채움 마대 상호간의 요소실험결과와 실내모형실험의 역해석을 통해 산정된 전단강도정수를 비교한 결과 점착력은 90kPa에서 30kPa로 감소한 반면 내부마찰각은 11.6°에서 25.2°로 증가한 것으로 나타났다. 이는 흙채움 마대로 사면을 형성 시 내적파괴의 파괴면이 벨크로의 부착면과 미부착면을 상호 포함하기 때문에 점착력은 감소한 것으로 판단되며, 내부마찰각의 향상은 벨크로의 부착

으로 인해 흙채움 마대상호간의 일체화 거동이 발생해 하중의 증가에 따라 전단층의 영향범위가 넓어져 내부마찰각의 향상을 가져온 것으로 판단된다. 이들 관계를 수식화하여 식 (1), (2)에 나타내었고, 점착력의 효율계수는  $\alpha_1=0.33$ , 내부마찰각의 효율계수는  $\alpha_2=2.3$ 으로 산정되었다.

$$c_d = c_i \times \alpha_1 \quad (1)$$

$$\tan \phi_d = \tan \phi_i \times \alpha_2 \quad (2)$$

여기서,  $c_i$  : 접촉면실험에 의한 점착력

$c_d$  : 설계 시 적용되는 점착력

$\tan \phi_i$  : 접촉면실험에 의한 내부마찰각

$\tan \phi_d$  : 설계 시 적용되는 내부마찰각

$\alpha_1$  : 점착력계수

$\alpha_2$  : 내부마찰각계수

## 6. 결론

본 연구는 흙채움 마대의 접촉면 전단강도가 낮은 단점을 보완하기 위해 벨크로를 부착한 흙채움 마대를 개발하였으며, 벨크로의 부착여부에 따른 전단특성을 분석하였다.

- (1) 흙과 토목섬유간의 전단특성을 분석하기 위해 접촉면 전단시험 결과 벨크로의 유무에 따른 점착력은 원지반 값의 약 10%이하이며, 또한, 실제 사면 보강 및 복구용으로 적용 시 강우로 인해 경계면에서의 점착력은 더욱 낮아 질 것으로 판단된다. 그러므로 흙과 토목섬유 경계면에서의 점착력은 벨크로의 부착유무에 상관없이 0으로 하며, 내부마찰각의 산정은 요소실험결과를 적용하는 것이 필요하다.
- (2) 벨크로의 부착유무에 따른 흙채움 마대의 거동을 분석하기 위해 실내모형실험이 수행되었고, 벨크로의 부착으로 내적파괴에 대한 지지력이 20%가량 증가하였으며, 이는 사진판독결과 벨크로의 부착으로 인해 흙채움 마대가 일체화 거동을 하여 활동에 대한 전단저항력이 증가하였기 때문인 것으로 분석되었다.
- (3) 벨크로가 부착된 흙채움 마대 상호간의 요소실험결과와 실내모형실험의 역해석을 통해 산정된 전단강도정수를 비교한 결과 점착력은 90kPa에서 30kPa로 감소한 반면 내부마찰각은 11.6°에서 25.2°로 증가한 것으로 나타났다. 이는 흙채움 마대로 사면을 형성 시 내적파괴의 파괴면이 벨크로의 부착면과 미부착면을 상호 포함하기 때문에 점착력은 감소한 것으로 판단되며, 내부마찰

각의 향상은 벨크로의 부착으로 인해 흙채움 마대상호 간의 일체화 거동이 발생해 하중의 증가에 따라 전단층의 영향범위가 넓어져 내부마찰각의 향상을 가져온 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 박이근 (2003), 얇은 토사터널 굴착시의 주변지반거동 특성과 마이크로 파일의 침하억제효과에 관한 연구, 박사학위 논문, 부산대학교, pp. 157~159.
2. 임종철 (1992), 평면변형률 상태에 있는 모형지반의 변형해석법, *한국지반공학회지*, Vol. 8, No 1, pp. 29~39.
3. 토목설계공사 (1992), *다대현대아파트 단지 절취 사면의 안전진단 연구용역 보고서*, 부산대학교 생산기술연구소, pp. 11~17.
4. Collios, A. D., Gourc J. P. and Giroud, J. P. (1980), Experiments on Soil Reinforcement with Geotextiles, *The Use of Geotextiles for Soil Improvement*, 80-177, ASCE National Convention, Portland, Oregon, pp. 53~73
5. Richard, E. A. and Scott, J. D. (1985), Interface Response of Geotextiles, *Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, California, pp. 1801~1804.

(접수일: 2009. 11. 12 심사일: 2009. 11. 20 심사완료일: 2010. 2. 5)