

## 섬유혼합 보강토의 전단강도특성 및 마찰특성 연구

### A Study on Shear strength and Friction Properties of Fiber-Mixed Soil as Backfill Material in Reinforced Earth Wall

조삼덕<sup>1)</sup>, Sam-Deok Cho, 김진만<sup>2)</sup>, Jin-Man Kim, 안주환<sup>3)</sup>, Ju-Hwan Ahn

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Eng. Div., KICT

<sup>2)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Eng. Div., KICT

<sup>3)</sup> 주)동성엔지니어링 지반공학부 대리, Assistant, Dongsung Eng. Co., Ltd.

**SYNOPSIS** : A series of experimental study are performed to evaluate the shear strength and friction properties of fiber-mixed soil as backfill material in reinforced earth wall. In order to evaluate the properties of shear strength the big-size direct shear tests are carried out and on the friction properties, the shear friction tests and the pull-out tests are performed. In the results, when the mixed ratio of the net type fiber is 0.2%, the reinforcement effect was better than the others. Also the reinforcement effect of the net type fiber was larger than that of the line type fiber.

Key words : Shear strength, Fiber-Mixed Soil, Pull-out test, Reinforced Earth Wall

## 1. 연구배경 및 목적

보강토 구조물을 축조시 현장여건상 용지문제가 있거나 양호한 토사의 현장 공급이 원활하지 못할 경우에 대비하여, 일반적으로 사용하는 성토재료(화강풍화토)나 공학적으로 불량한 성토재료에 섬유를 혼합하여 그 역학적 특성을 개선시키는 섬유혼합 보강토에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 그러나, 섬유혼합 보강토에 대한 연구가 외국에서 여러 차례 이루어져 왔으나, 국내에서는 아직까지 그 연구가 미미하여 실제 현장에 적용할 단계의 실질적인 연구가 이루어지지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 섬유혼합 보강토와 기존의 평면 보강재인 지오그리드를 이용한 새로운 개념의 보강토 구조물을 개발하고자, 일반적으로 사용하는 성토재료와 공학적으로 불량한 성토재료를 대상으로 한 섬유혼합토의 대형직접전단실험을 통해 섬유혼합 보강토의 전단강도특성을, 직접전단실험과 인발실험을 통해 섬유혼합 보강토/평면 보강재의 마찰특성을 평가하였다.

## 2. 실험재료

### 2.1 흙시료

본 연구에서 사용한 흙시료의 채취 장소는 경기도 수원시 서울대 부속목장 및 경기도 의왕시 철도기술연구원

표 1. SM 시료와 ML 시료의 물리적 특성

채취 장소	비중 ( $G_s$ )	액성한계 ( $W_L$ , %)	소성지수 (PI, %)	U.S.C.S	최적함수비 (OMC, %)	최대건조밀도 ( $V_{dmax}$ , $t/m^3$ )
수원	2.75	N.P	N.P	SM	23.0	1.61
의왕	2.73	33.0	24.2	ML	20.2	1.70

신축부지이며, 흙시료의 입도분포곡선은 그림 1에서, 기초물성값은 표 1에서 보여준다.

그림 1에서 보듯이 수원 흙시료는 200번체 통과율이 41.2%에 해당하며 통일분류법상 SM으로 분류되는 실트질 모래이고, 의왕 흙시료는 통일분류법상 ML로 분류되며 200번체 통과율이 57.1%인 실트질 흙이다. SM 시료와 ML 시료의 비중( $G_s$ )은 각각 2.75와 2.73이며, 소성지수는 각각 N.P와 24.2% 이다. 또한, SM 시료의 최적함수비(OMC)와 최대건조밀도( $\gamma_{d_{max}}$ )는 23%,  $1.61 t/m^3$ 이며, ML 시료의 각각 20.2%,  $1.70 t/m^3$  이다.

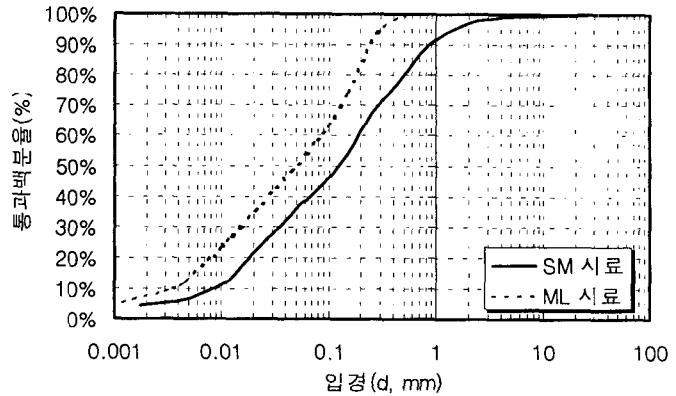


그림 1. SM 시료와 ML 시료의 입도분포곡선

## 2.2 섬유 및 지오그리드 시료

본 실험에서 사용된 3가지 섬유시료 (38mm 망사, 60mm 망사, 60mm 단사)의 재질은 폴리프로필렌이며, 비중은 0.90~0.92, 인장강도는  $5.2\sim 7.7 kg/cm^2$ , 탄성계수  $3.5\sim 3.8 \times 10^4 kg/cm^2$ 이다. 망사섬유는 흙과의 혼합과정에서 섬유가 망사모양으로 펼쳐져 흙과 결속하게 할 목적으로 제작공정에서 러프하게 칼날로 홈집을 내어 제작된 제품이고, 단사섬유는 실처럼 얇게 만들어진 제품이다.

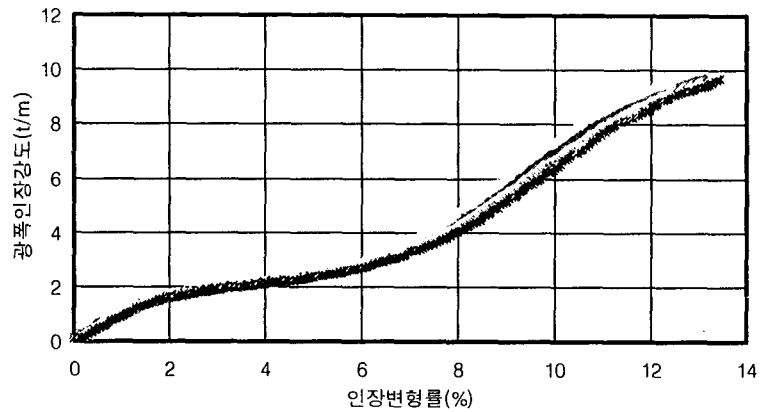


그림 2. TRIGRID®8T W의 인장강도 및 변형률 곡선

본 연구에서 사용된 지오그리드 보강재 TRIGRID®8T W는 국내에서 토목용으로 사용하기 위해 특수하게 개발된 고강도 폴리에스테르사를 제작하여 격자모양의 원단으로 만든 후 PVC로 코팅(제직/코팅 연속공정)하여 제조한 결합형 지오그리드이다. 그림 2는 광폭인장강도실험(ASTM D 4595)에 의한 TRIGRID®8T W의 인장강도 및 변형률의 관계 곡선을 보여준다.

## 3. 실험장비 및 실험방법

### 3.1 대형 직접전단실험기 및 실험방법

본 연구에서는 대형 직접전단시험기(전단박스 내부의 크기 :  $30cm \times 30cm$ )를 사용하여 섬유혼합토의 전단실험(KS F 2343)과 섬유혼합토/지오그리드의 마찰실험(ASTM D 5321-92) 두 가지를 수행하였다. 실험 수행시 흙시료와 섬유의 혼합은 눈으로 관찰하여 흙과 섬유가 시료전체에 골고루 잘 섞여졌다고 판단될 때까지 수 차례에 걸쳐 손으로 비비면서 혼합작업을 반복 실시하였다.

또한, 마찰실험수행시 섬유혼합토와 지오그리드의 마찰특성을 평가하기 위해 하부 전단상자에 지오그리드를 고정시키고 상부 전단상자에 섬유혼합토를 소정의 밀도로 채운 후 마찰실험을 실시하였다.

### 3.2 인발실험 및 실험방법

인발실험(Pull-Out Test)은 GRI-GG5와 일본 토질공학회 인발실험 권고안을 참조하여 수행하였으며,

사용된 인발실험 장비는 토조 내부의 크기가 길이 140cm × 폭 60cm × 높이 60cm이며, 인발방향의 전면벽 중앙에는 간격 2.5cm 정도의 슬리트(slit)가 있어 지오그리드가 자유롭게 인발될 수 있도록 되어 있다. 인발실험 수행시 흙시료와 섬유의 혼합은 전단실험시와 동일한 방법으로 흙시료와 섬유의 혼합작업을 반복 실시하였다.

#### 4. 실험종류 및 내용

흙종류, 섬유종류, 섬유혼합율에 따른 섬유혼합토의 전단특성을 고찰하기 위해 실시한 대형 직접전단 실험의 다짐조건은 A다짐에서 구한 최대건조밀도의 85%, 95% 조건이며, 혼합한 섬유의 종류는 망사 38mm, 망사 60mm, 단사 60mm 세 종류이다. 대형 직접전단실험시에 섬유혼합율은 0.2%, 0.3% 두 조건으로 하였고, 여기에서 섬유혼합율은 흙시료 노건조중량에 대한 섬유시료의 중량비율이다.

흙종류, 섬유종류, 섬유혼합율에 따른 섬유혼합토의 마찰특성을 고찰하기 위해 실시한 직접전단방식에 의한 마찰실험 조건은 대형 직접전단실험조건과 동일하게 실시하였다.

인발실험 조건은 다짐도가 85%이며, 혼합한 섬유의 종류는 망사 60mm, 단사 60mm 두 종류이다. 섬유혼합토를 대상으로 실시한 직접전단장도 실험결과로부터 최적의 혼합율이 0.2%로 나타났으므로, 인발실험시에 섬유혼합율은 0.2%로 결정하여 실험을 수행하였다.

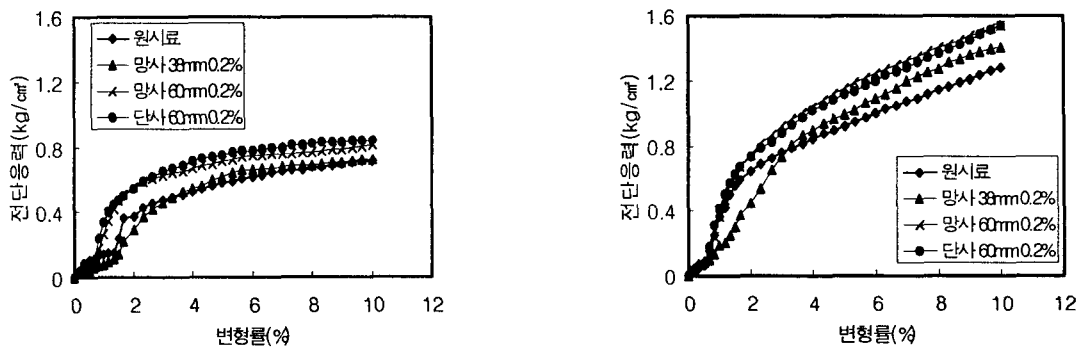
#### 5. 섬유혼합토의 전단특성 평가

##### 5.1 섬유혼합토의 응력-변형특성

그림 3에서는 다짐도가 95% 조건이고 섬유혼합율이 0.2%인 조건의 수직응력에 따른 SM 원시료와 섬유혼합토의 응력-변형률 곡선을 보여준다. 그림 6에서 보듯이 모든 시료에서 수직응력이 0.3 kg/cm<sup>2</sup>, 1.2 kg/cm<sup>2</sup>일 때의 응력-변형 거동은 변형률이 증가함에 따라 전단응력이 어느 일정한 응력 수준으로 수렴하지 않고 계속해서 증가하는 경향을 보인다.

또한, 그림 3에서 보듯이 수직응력에 대한 전단응력-변형 거동에서 섬유보강에 따라 전단응력이 증가함을 알 수 있다. 수직응력이 0.3 kg/cm<sup>2</sup>일 때 원시료의 전단응력이 0.72 kg/cm<sup>2</sup>인 반면에, 섬유혼합토의 전단응력은 0.73~0.84 kg/cm<sup>2</sup>로 분포하였고, 수직응력이 1.2 kg/cm<sup>2</sup>일 때도 이와 마찬가지로 섬유보강으로 인해 전단응력이 증가하여 원시료의 전단응력이 1.28 kg/cm<sup>2</sup>인 섬유혼합토의 전단응력은 1.41 ~ 1.54 kg/cm<sup>2</sup>로 분포하였다.

ML 원시료 및 섬유혼합토의 실험에서도 이와 유사한 전단응력-변위특성을 나타내었으며, 이 결과로부터 섬유보강으로 인해 섬유혼합토가 임의의 수직응력에 대해 최대전단응력이 증가함을 알 수 있었다.



(a) 수직응력 0.3 kg/cm<sup>2</sup>

(b) 수직응력 1.2 kg/cm<sup>2</sup>

그림 3. 전단응력-변형률 곡선(SM, 다짐도 95%)

## 5.2 섬유혼합토의 전단강도 특성

SM 흙시료를 대상으로 원시료와 섬유혼합토의 섬유종류와 섬유혼합율에 따른 직접전단실험 결과, 원시료에 비해 섬유혼합토의 전단마찰각과 점착력이 증가하는 것으로 나타났다. 다짐도 95%인 조건에서의 섬유혼합토의 전단마찰각의 증가율이 다짐도 85% 조건인 경우보다 더 크며, 섬유로 인한 전단강도 증진 효과가 가장 큰 섬유종류는 망사 60mm이고, 최적 혼합율은 0.2%인 것으로 나타났다.

ML 흙시료를 대상으로 원시료와 섬유혼합토의 섬유종류와 섬유혼합율에 따른 직접전단실험 결과, 원시료에 비해 섬유혼합토의 전단마찰각이 증가하고 점착력은 약간 감소하는 것으로 나타났다. ML의 경우 SM의 경우와 마찬가지로 섬유로 인한 전단강도 증진 효과가 가장 큰 섬유종류는 망사 60mm이고, 최적 혼합율은 0.2%인 것으로 나타났다.

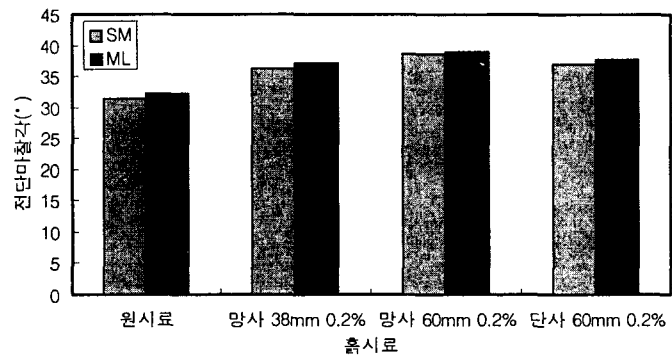
### 5.2.1 흙종류의 영향

그림 4에서는 다짐도 95%조건이고 섬유혼합율이 각각 0.2%, 0.3%인 섬유혼합토의 흙종류에 따른 전단마찰각을 비교한 곡선을 보여준다. 그림 4에서 보듯이 다짐도 95%, 섬유혼합율 0.2%인 SM 흙시료의 경우 원시료에 비해 전단마찰각이 14.6~23.2% 정도 증가하였고, ML 흙시료의 경우에도 SM의 경우와 유사하게 원시료에 비해 전단마찰각의 증가폭이 15.2~21.1% 정도로 흙종류에 무관하게 비슷한 증가폭을 보였다. 이런 경향은 섬유혼합율 0.3%의 경우에도 유사하게 나타났다. 이런 결과로 볼 때, 흙종류에 따른 섬유에 의한 보강효과의 별다른 차이점은 없으므로 판단된다.

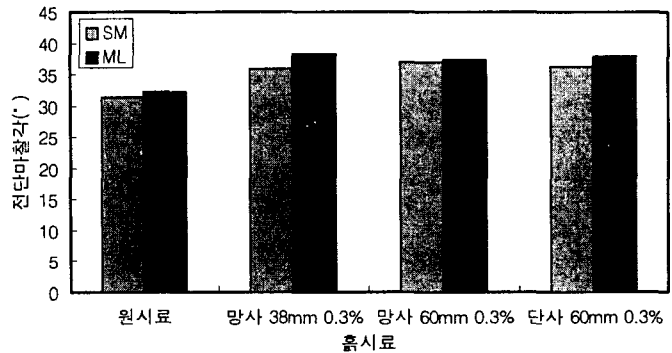
### 5.2.2 섬유종류 및 섬유혼합율의 영향

그림 5에서는 섬유종류에 따른 다짐도 85%조건인 SM 원시료와 섬유혼합토의 수직응력-전단응력 곡선을 보여준다. 그림 5(a)에서 보듯이 다짐도 85%, 섬유혼합율 0.2%인 경우 원시료에 비해 망사 38mm 섬유 혼합토는 보강 효과가 크게 없으나, 망사 60mm와 단사 60mm 섬유혼합토는 수직응력에 따른 전단응력이 원시료에 비해 증가함을 알 수 있다. 또한, 그림 5(b)에서 섬유혼합율이 0.3%인 경우에는 망사 38mm 섬유 혼합토의 보강효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

또한, 다짐도 95%조건인 경우인 ML 원시료와 섬유혼합토의 직접전단실험결과, 원시료에 비해 수직응력에 따른 전단마찰각이 증가하여 보강효과가 발견되며, 그 중에서도 망사 60mm, 섬유혼합율 0.2%인 혼합토가 가장 보강효과가 큼을 알 수 있다. 또한, 섬유혼합율이 0.3%인 경우에는 섬유종류에 따른 별다른 차이점은 발견되지 않았고, 섬유혼합에 따른 섬유혼합토의 보강효과만 확인할 수 있었다.

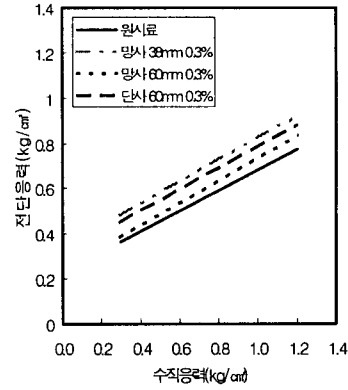
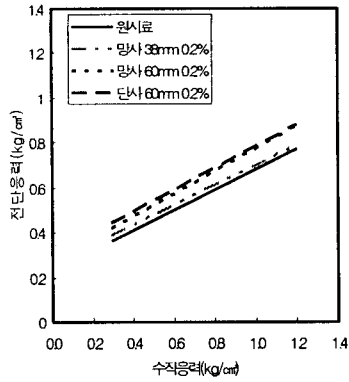


(a) 섬유혼합율 0.2%



(b) 섬유혼합율 0.3%

그림 4. 섬유혼합토의 흙종류에 따른 전단마찰각



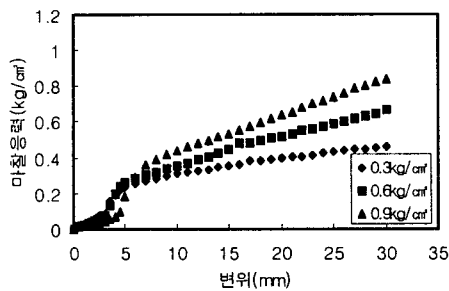
(a) 다짐도 85%, 섬유혼합율 0.2%인 경우 (b) 다짐도 85%, 섬유혼합율 0.3%인 경우  
 그림 5. 섬유종류에 따른 수직응력-전단응력 곡선(SM)

## 6. 섬유혼합토/지오그리드의 마찰특성 평가

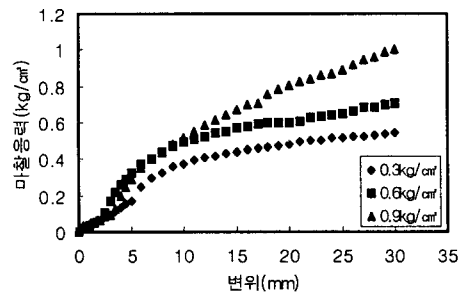
### 6.1 전단마찰실험 결과 및 분석

#### 6.1.1 마찰응력-변위 특성

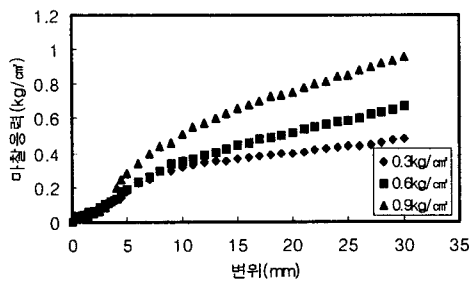
그림 6에서는 다짐도 95%, 섬유혼합율 0.3% 조건에서 수직응력에 따른 ML 원시료와 섬유혼합토의 마찰응력-변형률 곡선을 보여준다. 그림 6에서 보듯이 모든 시료에서 수직응력에 관계없이 5mm 이내의 변위에서는 마찰응력이 급격히 증가하고, 그 이후에는 변위증가에 따라 마찰응력이 서서히 증가함을 알 수 있다. 이러한 마찰응력-변위특성은 다른 조건의 전단마찰실험에서도 이와 마찬가지로 유사하게 나타났다.



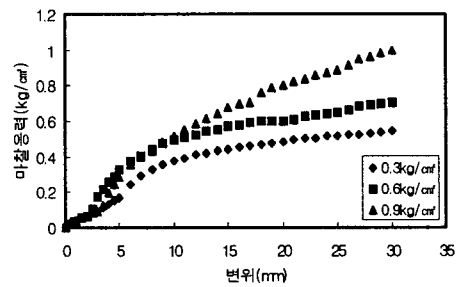
(a) ML 원시료



(b) 망사 38mm 섬유혼합토



(c) 망사 60mm 섬유혼합토



(d) 단사 60mm 섬유혼합토

그림 6. 전단마찰실험에 의한 변위-마찰응력 곡선(ML, 다짐도 95%, 섬유혼합율 0.3%)

### 6.1.2 전단마찰강도 특성

SM, ML 시료를 대상으로 원시료와 섬유혼합토의 섬유종류와 섬유혼합율에 따른 전단마찰실험 결과, 원시료에 비해 섬유혼합토의 전단마찰각과 점착력이 증가하는 것으로 나타났다. 섬유종류와 섬유혼합율에 따른 마찰강도 증진의 두드러진 차이점은 발견되지 않았지만, 섬유보강 효과는 확인할 수 있었다.

#### (1) 흙종류의 영향

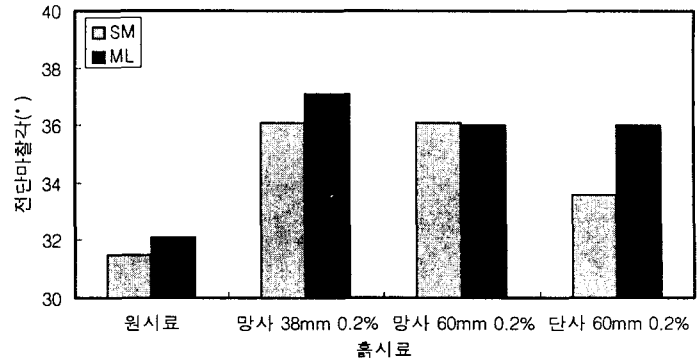
그림 7에서는 다짐도 95% 조건이고 섬유혼합율이 각각 0.2%, 0.3%인 섬유혼합토의 흙종류에 따른 전단마찰각을 비교한 곡선을 보여준다. 그림 7에서 보듯이 다짐도 95%, 섬유혼합율 0.2%인 SM 흙시료의 경우 원시료에 비해 마찰각이 6.3%~15.6% 정도 증가하였고, ML 흙시료의 경우에도 SM의 경우와 유사하게 원시료에 비해 전단마찰각의 증가폭이 10.9~19.9% 정도로 흙종류에 무관하게 비슷한 증가폭을 보였다. 이런 경향은 섬유혼합율 0.3%의 경우에도 유사하게 나타났다. 이런 결과로 볼 때, 흙종류에 따른 섬유에 의한 보강효과의 별다른 차이점은 없는 것으로 판단된다.

#### (2) 섬유종류 및 섬유혼합율의 영향

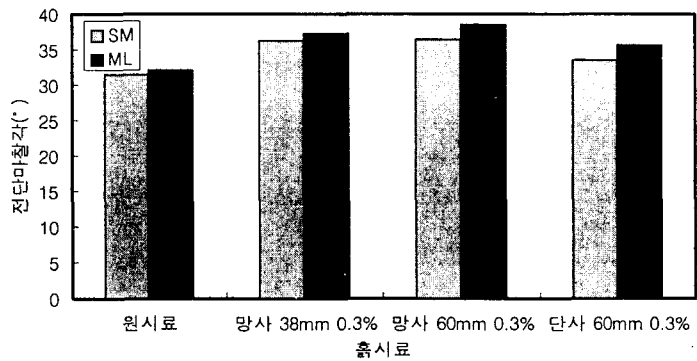
그림 7에서 보듯이 SM의 경우는 망사 38mm, 망사 60mm 섬유혼합토가 단사 60mm 섬유혼합토보다 보강효과가 더 우수한 것으로 나타났고, ML의 경우는 망사 60mm 섬유혼합토가 다른 섬유혼합토보다 보강효과가 좋은 것으로 나타났다. 이 결과로부터 섬유혼합에 의한 보강효과가 단사섬유보다 망사섬유가 보강효과가 더 좋은 것으로 나타났다.

#### (3) 마찰효율

표 2에서는 다짐도 95%인 SM 및 ML 원시료와 섬유혼합토의 직접전단실험과 전단마찰실험 결과를 비교하여 구한 마찰효율값을 보여준다. 표 2에서 알 수 있듯이 다짐도 95% 조건인 SM 및 ML 원시료와 섬유혼합토의 직접전단실험과 전단마찰실험에서의 전단마찰각을 비교해보면 마찰효율이 약 90.6%~103.2% 정도로 분포하여 양호함을 알 수 있었다.



(a) 섬유혼합율 0.2%



(b) 섬유혼합율 0.3%

그림 7. 섬유혼합토의 흙종류에 따른 마찰각

이런 결과로 볼 때, 흙종류에 따른 섬유에 의한 보강효과의 별다른 차이점은 없는 것으로 판단된다.

망사 60mm 섬유혼합토가 단사 60mm 섬유혼합토보다

표 2. 전단마찰실험에 의한 마찰효율

조건	항목	섬유혼합율(%)	
		섬유혼합율(%)	마찰효율(%)
다 짐 도 95%	원시료(SM)	0	100.3
	망사 38mm	0.2	99.4
		0.3	100.8
	망사 60mm	0.2	93.3
		0.3	98.4
	단사 60mm	0.2	90.6
0.3		92.5	
다 짐 도 95%	원시료(ML)	0	99.4
	망사 38mm	0.2	99.7
		0.3	97.4
	망사 60mm	0.2	92.1
		0.3	103.2
	단사 60mm	0.2	97.8
0.3		93.9	

## 6.2 인발실험 결과 및 분석

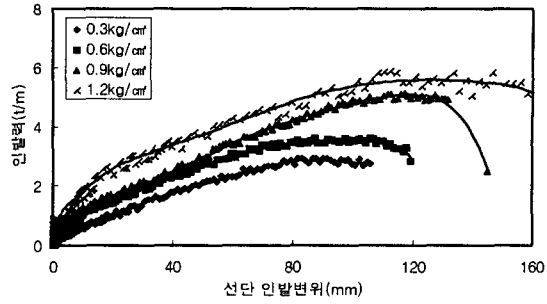
### 6.2.1 인발력-변위 특성

그림 8에서는 다짐도 85%, 섬유혼합율 0.2% 조건에서 수직응력에 따른 SM 원시료와 섬유혼합토의 선단 인발변위-인발력 곡선을 보여준다. 그림 8에서 보듯이 본 실험에 사용한 SM 시료의 경우, 섬유혼합율에 따른 인발변위-인발력 특성의 차이는 거의 없으며, 또한 인발시 지오그리드가 파단없이 인발되는 경우와 지오그리드 고정장치에서 파단되는 두가지 경우가 발생한 것을 알 수 있다. 본 인발실험에서는 대체적으로 낮은 수직응력 조건하에서는 파단없이 인발되고, 비교적 높은 수직응력 조건하에서는 파단되는 경향이 있었다. 따라서 섬유혼합토/지오그리드의 마찰강도 평가시 토조내에 있는 지오그리드 중 실제 변위가 유발된 토조내 지오그리드 길이를 인발 유효저항길이( $L_e$ )로 고려하여 인발마찰강도를 평가하였다.

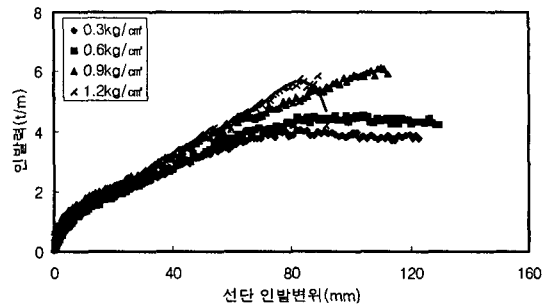
다짐도 95%, 섬유혼합율 0.2% 조건에서도 SM 시료의 경우와 마찬가지로, 섬유혼합율에 따른 인발변위-인발력 특성면에서 특별한 차이점은 발견되지 않았다. 또한 인발시 지오그리드가 파단되는 경우가 다짐도 85%인 SM의 경우보다 많음을 알 수 있는데, 이것은 다짐도가 더 높음으로 인해 흙속에 묻혀있는 지오그리드가 더 견고하게 토체에 구속되었기 때문이며, 이 결과로써 유발되는 지오그리드의 인발 유효저항길이가 더 짧게 된다.

### 6.2.2 인발마찰강도 특성

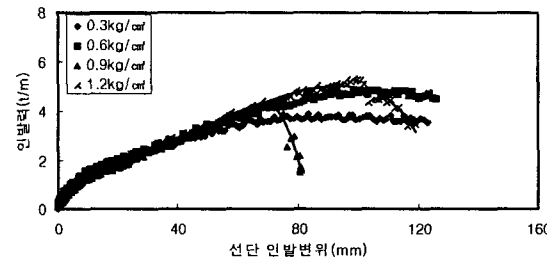
표 3에서 보듯이 마찰각을 비교해 보면 인발실험에 의한 마찰각이 전단마찰실험에 의한 마찰각의 약 71~92% 정도로 낮게 나타났는데, 그 이유는 인발상자 내의 흙시료 다짐작업에서 사용된 SM 흙시료의 함수비가 거의 최적함수비(23.%)로 비교적 높으며, 진동해머에 의한 다짐작업 효율이 우수하여 다짐도 85%에서도, 실질적으로 매우 단단한 토체가 형성되었다. 이로 인해 지오그리드의 인발시에 에어백으로 조절한 수직하중이 인발상자와 토체의 벽면마찰로 인해 하부 토체에 제대로 미치지 못해 수직응력에 따른 마찰강도의 증가가 둔화된 것으로 사료된다. 또한, 섬유보강으로 인한 섬유혼합토와 원시료의 마찰각의 증진효과를 살펴보면 38.3%~40.1% 정도 마찰각이 증가하여 섬유보강 효과를 확인할 수 있었다.



(a) SM 원시료



(b) 망사 60mm 섬유혼합토



(c) 단사 60mm 섬유혼합토

그림 8. 선단 인발변위-인발력 곡선

(SM, 다짐도 85%, 섬유혼합율 0.2%)

표 3. 전단마찰실험과 인발실험 결과의 비교(다짐도 85%)

조건		항목	혼합율 (%)	마찰각 (°)	점착력 (kg/cm²)
전단마찰 실험	원시료(SM)		0	23.5	0.24
	망사 60mm 혼합토		0.2	25.7	0.24
	단사 60mm 혼합토		0.2	25.2	0.25
인발실험	원시료(SM)		0	16.7	0.14
	망사 60mm 혼합토		0.2	23.4	0.19
	단사 60mm 혼합토		0.2	23.1	0.18

표 4에서는 전단마찰실험과 인발실험결과를 비교한 값을 보여준다. 표 4에서 보듯이 마찰각을 비교해 보면 인발실험에 의한 마찰각이 전단마찰실험에 의한 마찰각의 약 60%~63% 정도로 SM 시료의 경우보다 더 낮게 나타났는데, 그 이유는 SM 시료의 경우에서 앞서 설명한 바와 같으며 더군다나 다짐도가 95%로서 SM 시료의 토체보다 더 단단한 토체가 형성되어 인발상자와 토체의 벽면마찰로 인해 하부 토체에 수직하중이 제대로 미치지 못해 수직응력에 따른 마찰강도의 증가가 더 둔화된 것으로 사료된다.

이 또한, 섬유보강으로 인한 섬유혼합토와 원시료의 마찰각의 증진효과를 살펴보면 17.1%~21.2% 정도 마찰각이 증가하여 섬유보강 효과를 확인하였다.

표 4. 전단마찰실험과 인발실험 결과의 비교(다짐도 95%)

조건	항목	혼합율 (%)	마찰각 (°)	점착력 (kg/cm <sup>2</sup> )
전단마찰 실험	원시료(ML)	0	32.1	0.28
	망사 60mm 혼합토	0.2	36.0	0.25
	단사 60mm 혼합토	0.2	36.0	0.32
인발실험	원시료(ML)	0	19.3	0.14
	망사 60mm 혼합토	0.2	23.4	0.21
	단사 60mm 혼합토	0.2	22.6	0.17

## 7. 결 론

- 1) 대형 직접전단실험에서 응력-변형 거동은 변형률이 증가함에 따라 전단응력이 어느 일정한 응력 수준으로 수렴하지 않고 계속해서 증가하는 경향을 보였으며, 섬유종류, 섬유혼합율에 따른 전단강도 증가효과를 고찰한 결과, 길이 60mm 망사섬유를 0.2% 혼합율로 혼합한 경우가 가장 보강효과가 큰 것으로 나타났다.
- 2) 직접전단방식에 의한 전단마찰실험에서 수직응력에 관계없이 5mm 이내의 변위에서는 마찰응력이 급격히 증가하고, 그 이후에는 변위증가에 따라 마찰응력이 서서히 증가하였으며, 섬유혼합토의 섬유종류와 섬유혼합율에 따른 마찰강도 증진의 두드러진 차이점은 발견되지 않았지만, 단사섬유 혼합토보다 망사 섬유 혼합토가 다소 보강효과가 더 좋은 것으로 나타났다.
- 3) 인발방식에 의한 마찰실험에서 섬유보강으로 인한 섬유혼합토와 원시료의 마찰각의 증진효과를 살펴보면 다짐도 85%인 SM 섬유혼합토의 경우 38.3%~40.1%, 다짐도 95%인 ML 섬유혼합토의 경우 17.1%~21.2% 정도로 마찰각이 증가하여 섬유보강 효과를 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. 김낙경, 박종식(2001), "FPF 보강 성토재료의 강도특성에 관한 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, pp. 433~440.
2. 박영근, 장병욱(2000), "단섬유 보강토의 전단파괴", 한국토목섬유학회 2002 학술발표회 논문집, pp. 107~119.
3. 한국건설기술연구원(1994), "섬유혼합 보강토 연구", 연구보고서.
4. 한국건설기술연구원(2002), "복합보강토체의 상호마찰특성 및 안정성 연구", 연구보고서.