

## 전단시험에 의한 토목섬유 보강재의 지반 적용성 평가

조성호, 최세환, 차동환, 류중재\*, 전한용\*

삼양사 중앙연구소, \*전남대학교 응용화학부

## An Experimental Evaluation for Geotechnical Properties of Geosynthetic composites by Direct Shear Test

Seong-Ho Cho, Se-Hwan Choi, Dong-Hwan Cha, Jung-Jae Ryu\* and Han-Yong Jeon\*

Industrial Material Group, Samyang Central R&D Center, Daejeon, Korea

\*Faculty of Applied Chemical Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea

### 1. 서론

일반적으로 토목 공사에서 구조의 보강 용도로 주로 사용되는 지오그리드(geogrids)는 우수한 인장탄성계수와 인장강력을 지니고 있어서 하중이 집중적으로 작용하는 토목 구조물에서 보강기능을 원활히 수행하는 보강재료 이지만, 비교적 큰 격자상 외관 구조를 가지므로 지오그리드를 관통하는 각종 물질, 특히 함유 수분과 세립질 토양의 이동이나 유실 등을 효과적으로 제어하지 못한다는 단점도 있어 사용상의 제약이 있다. 반면에 토목 구조물에서 널리 사용되는 토목용 부직포는 서로 다른 토질의 분리, 토양내 수분의 배수 등의 용도로 많이 사용되고 있지만, 인장강도와 인장탄성계수, 크리프 등에서 제약이 있어 단위 중량을 상당히 크게 하더라도 보강 보호 기능이 강조되는 토목공사에의 적용은 제한되어져 왔다. 본 연구에서는 보강기능과 분리/배수 기능을 동시에 수행할 수 있도록, 고강도 보강조직과 토목용 부직포를 위입 경편방식으로 결합시킨 새로운 형태의 지오컴퍼지트(geocomposite)를 개발 제조하여, 기계적, 수리적 특성의 평가와 함께 토양과의 전단마찰특성 등 토목공학적 요구 성능을 복합적으로 평가하였다. 성능의 비교평가를 위하여 폐기물 매립장이나 연약지반 등 기존 토목공사에서 많이 사용되는 토목용 부직포들을 선정하여 그 특성을 비교 평가함으로써, 새로운 토목용 복합재료의 적용 가능성을 제시하였다. 아울러, 실제 현장의 포설 시공 시에 많이 문제가 제기되는 포설 방법에 대해서 검토하고자, 폭 방향의 겹침 포설과 봉합 포설을 실내의 대형 직접 전단시험으로 비교 실시하고 포설방법의 기준을 평가하였다.

### 2. 실험

#### 2.1. 시료의 준비

본 연구에서 사용된 지오컴퍼지트의 보강 원사는 국내에서 생산되는 폴리에스테르(PET) 고강력사 제품들 중에서 고강력 및 고탄성계수와 함께 신율이 낮으면서 특정 신도(5%)에서의 강력(LASE 5%)이 높은 제품(A사)을 선택하였다. 그리고 지오컴퍼지트를 제조하기에 적합하도록 비교적 성능과 작업성이 우수한 200g/m<sup>2</sup> 폴리프로필렌 니들펀치 부직포 선정하여, 지오컴퍼지트 제조에 사용하였다. 표 1에 지오컴퍼지트 시료를, 표 2 에 본 실험에서 사용된 모든 토목합성재료를 각각 나타내었다.

#### 2.2 공학적 특성 평가

토목합성재료의 기계적 특성을 평가하기 위하여 ASTM D 4595에 의거하여 광폭 인장시험을 실시하였으며, 토목구조물의 설계 시 인장강도를 산출하는데 기초가 되는 최대 인장강도와 변형률을 측정하였다. 그리고 지오컴퍼지트의 분리 및 여과 기능을 비교하고자, ASTM D 4491에 의한 지오컴퍼지트의

수직투수성(permitivity)을 평가하고, 실제로 토목 구조물에 포설된 후의 수직응력 하에서의 배수능력을 평가하기 위하여 ASTM D 4761 에 따른 수평투수성(transmissivity)을 평가하였다. 또한, 실제 구조물 중에서 발생할 수 있는 흠에 의한 막힘 현상(clogging)을 측정하고자 유효구멍크기(AOS)도 ASTM D 4571에 따라 평가하였다. 또한, ASTM D 5321에 의거하여, 지오컴퍼지트를 블록에 고정시키고 수직응력을 가한 상태에서, 정지된 토양위로 미세하게 미끄러지게 하면서 그 전단응력의 저항을 측정하였다. 수직응력을 3, 6, 9, 12t/m<sup>2</sup> 로 다양하게 증가시키면서 마찰강도를 평가한 다음에 최대전단응력 파괴포락선을 통하여, 흠/흠 및 흠/보강재 사이의 내부 마찰각과 마찰효율을 평가하였다. 그리고 폐기물 매립장, 연약지반 등의 토목시공현장에서 널리 사용되고 있는 700g/m<sup>2</sup> 부직포와 지오컴퍼지트에 사용된 200g/m<sup>2</sup> 부직포를 선정하여 지오컴퍼지트 6T, 12T와의 공학적 특성을 비교, 평가하였다.

또한 각각의 토목합성섬유의 포설, 시공 시에 부직포와 컴퍼지트 접합면에서의 마찰 거동특성을 비교하기 위하여, 각각을 겹침 포설 및 봉합 포설하고 시료를 제조하고 접합면에서의 전단특성을 평가하였다. 겹침 포설의 경우, 부직포나 지오컴퍼지트 시료를 약 15cm 겹쳐서 전단 부위에 포설하였으며, 봉합 포설의 경우, 겹치는 부위를 미리 준비된 재봉기로 2000d의 폴리에스터 고강력사를 이용하여 6열 재봉하였다.

표 1. 지오컴퍼지트 시료 및 설계조건

제품 규격 (MD/CD)	MD				CD			그라운드사		부직포 (g/m <sup>2</sup> )
	경사	총 본수	밀도	격자크기	위사	밀도	격자 크기	섬도	총 본수	
6T/6T	7,000d	489	3본/in	8.4mm	3000d	7본/in	3.6mm	500d	489	200
12T/6T	14,000d	489	3본/in	8.4mm						

표 2. 본 연구에 사용된 토목합성재료

구분	토목합성재료	구분	토목합성재료
A	지오컴퍼지트 6T	D	지오컴퍼지트 12T 겹침
B	지오컴퍼지트 12T	E	지오컴퍼지트 12T 봉합
C	부직포 200g/m <sup>2</sup>	F	부직포 200g/m <sup>2</sup> 겹침
D	부직포 700g/m <sup>2</sup>	G	부직포 200g/m <sup>2</sup> 봉합

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 기계적 특성

표 3에 지오컴퍼지트와 토목용 부직포의 광폭인장시험의 결과를 나타내었다. 지오컴퍼지트(이후GC라 함.)인 A 와 B는 토목용 부직포(이후 GN이라 함.) C와 D 에 비해 고강력, 저변형율을 나타내며, 대표적 보강재인 지오그리드의 인장거동과 유사한 형태를 나타내었지만, 토목용 부직포는 지오컴퍼지트 시료에 비해 고중량인 경우에도 불구하고, 대체로 80%의 높은 인장변형율을 보이며 인장강력도 현저히 낮다. 따라서 지오컴퍼지트는 토목용 부직포에 비해 구조물 보강과 변형억제를 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 3.2. 수리학적 특성

표 4에 지오컴퍼지트와 토목용 부직포의 수직 및 수평 투수계수와 유효구멍크기를 나타내었다. 지오컴퍼지트 A, B 의 수직, 수평투수계수는 토목용 부직포 C, D 와 유사한 수준으로 단위 중량과는 큰 영향이 없음을 알 수 있고, 유효구멍크기는 부직포의 단위중량이 증가할수록 공극이 감소하여 작아짐을 알 수 있다. 이 결과로부터, 지오컴퍼지트는 토양 중에서 분리, 배수, 여과 등의 수리적인 기능 역할을 원활히 수행할 것으로 판단된다.

표 3. 토목합성재료의 기계적 특성

항목	GC 6T(A)	GC 12T(B)	GN(C)	GN(D)
강력(t/m)	6.8	13.2	$5 \times 10^{-2}$	$17.8 \times 10^{-2}$
인장변형률(%)	10.0	10.5	80	80
단위중량(g/m <sup>2</sup> )	425	500	200	700

표 4. 토목합성재료의 수리학적 특성

항목	기능	GC 6T(A)	GC 12T(B)	GN 200(C)	GN 700(D)
수직투수계수(cm/sec)	분리, 여과	$3.9 \times 10^{-1}$	$3.4 \times 10^{-1}$	$3.3 \times 10^{-1}$	$5.3 \times 10^{-1}$
수평투수계수(m <sup>2</sup> /sec)	배수	$8.6 \times 10^{-9}$	$8.3 \times 10^{-9}$	$8.4 \times 10^{-9}$	$1.2 \times 10^{-9}$
유효구멍크기(mm)	막힘, 분리	0.198	0.190	-	0.06

### 3.3. 전단 특성 시험 결과

#### (1) 토목섬유 종류별 전단 특성

전단시험에 이용된 흙 시료는 SC(점토질 사질토)로써, 점착력  $c=4.6 \text{ t/m}^2$ , 마찰각  $\Psi=30.5^\circ$ 의 특성을 갖는 것으로 평가되었다. 그림 1에 수직응력 크기에 따른 전단 응력과 전단 변형률과의 관계를 나타내며, 그림 2는 토목용 자재별로 전단 면의 최대전단응력 파괴포락선을 그래프화 하여, 흙과 보강재 사이의 접착력과 내부마찰각을 구하였다.

표 5는 각각의 시료의 전단특성 평가 결과로써, 지오킴퍼지트 A 와 B 의 내부마찰각  $25^\circ$ , 마찰효율 80% 이상이며, 토목용 부직포 C 에 비해 우수한 마찰특성을 나타내고 있다. 이는 외관상 표면 조직의 차이이며, 표면이 상대적으로 미끈한 부직포에 비해 전단면에서 고강력사 경편으로 굴곡 표면이 많아진 조직을 가지며, 위사방향에서 원사들이 수동저항을 유발하는 등 지오킴퍼지트가 더 우수한 전단 마찰거동 마찰 특성을 나타내고 있음을 알 수 있고, 따라서 보다 안정한 구조물 보강 보호 기능을 할수 있을 것으로 예상된다.

한편, 지오킴퍼지트 A와 B를 비교하면, 제품의 인장강력이 증가함에 따라 전단 마찰력이 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 동일한 격자구조 내에서 구성 섬유직경이 크기 때문에 이와 비례하여 섬유가 흙과 마찰하는 마찰도 커지며, 전단 마찰응력에 대해 저항하는 제품의 저항탄성력이 증대하기 때문이라고 해석할 수 있다.

표 5. 토목합성재료의 전단특성

시료명	점착력	내부마찰각	마찰효율
화강풍화토	4.604	30.506	1
GC 6T(A)	2.477	25.206	0.800
GC 12T(B)	2.029	25.943	0.826
GN (C)	2.196	22.933	0.718

#### (2) 봉합, 겹침 포설에 따른 전단 특성

토목공사 현장에서 시공시에 부직포와 킴퍼지트 등 자재의 포설 시공시에 접합면에서의 마찰 거동특성을 비교하기 위하여, 각 자재의 겹침 포설 D 와 F, 각 자재의 봉합 포설 E 와 G를 각각 시료로 제조하여 직접전단시험을 통하여 실제 겹침면에서 발생하는 흙과의 전단력 변화를 평가하였다. 표 6에 다양한 접합면 경우에서의 전단특성 결과를 나타내었다. 지오킴퍼지트 B 와 부직포 C 의 경우에서 원시료와 비교한 겹침 및 봉합시료의 결과에서 토목공학적인 유효한 차이가 없음을 알 수 있다.

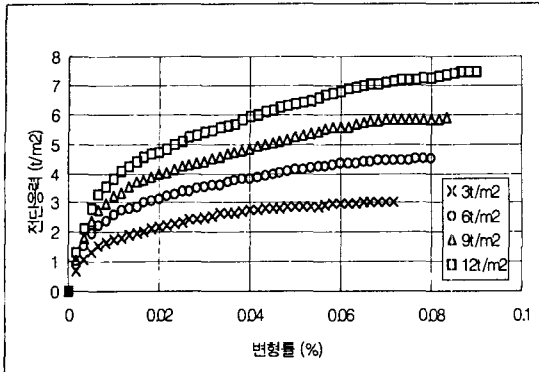


그림 1. 지오컴퍼지트의 수직응력 vs. 전단응력

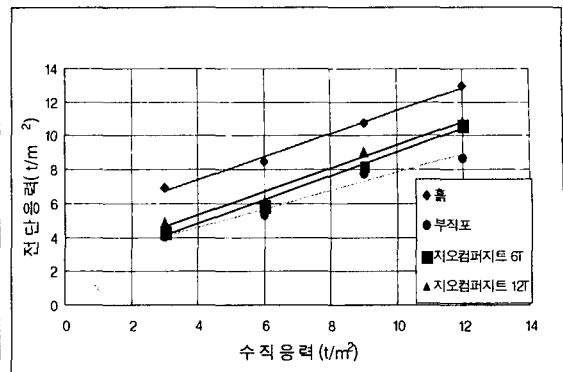


그림 2. 최대전단응력의 파괴 포락선

표 6. 토목합성재료의 봉합, 겹침 포설에 따른 전단특성

시료명	점착력	내부마찰각	마찰효율
화강풍화토	4.604	30.506	1
GC 12T(B)	2.029	25.943	0.826
GC 12T 겹침(D)	1.532	26.174	0.834
GC 12T 봉합(E)	2.381	25.010	0.792
GN (C)	2.196	22.933	0.718
GN 겹침(F)	2.208	22.700	0.710
GN 봉합(G)	2.589	23.725	0.746

#### 4. 결론

지오컴퍼지트의 기계적 인장 특성 결과, 제품설계 강도보다 높은 인장강도와 12% 미만의 양호한 낮은 변형율을 나타내어, 지오그리드와 유사한 인장특성으로 보강기능이 양호하였다. 수리학적 특성은 일반적으로 사용되고 있는 부직포와 유사한 수준의 수직 및 수평 투수성능을 보이며, 따라서 분리, 여과 기능을 원활히 수행할 것으로 판단되었다. 그리고 전단특성은 흙의 마찰특성을 근거로 한 평가에서 양호한 전단 마찰거동을 보임과 동시에, 점착력  $2.5t/m^2$ , 내부마찰각  $25^\circ$ , 마찰효율 80% 이상으로 기존의 토목용 부직포에 비하여 우수한 전단마찰 특성을 나타내므로, 향후 보강/분리 복합재료로써 효과적으로 사용될 것으로 판단된다. 한편, 현장 포설방법에 따른 직접 전단시험으로 비교 결과, 겹침이나 봉합의 필요에 대하여 특별한 필요성 근거를 나타내지 않았다. 끝으로, 지오컴퍼지트는 향후 새로운 용도와 분야에서 실제 시공을 통한 적용성 평가가 추진되어야 하며, 이를 위해 보강설계 기준, 내시공성, 내약품성 등 다양한 특성 평가가 선행되어야 할 것으로 생각된다.

#### 5. 참고문헌

1. Walter Leu, P.E. Luane Tasa, P.E., *Geosynthetics Conference 2001*, pp 809-821(2001).
2. J. Lunenschloss & W. Albercht, "Non-Woven Bonded Fabrics", *JOHN WILEY & SONS*, pp. 282-313(1981).
3. Kevin Kent, *Geosynthetics Conference 2001*, pp 305-315(2001).
4. O. Artieres & Ph. Delmas, *EuroGeo 2000 Conference Proceedings*, pp 613-618(2000).