

## 고 모듈러스 · 저신도 유리섬유를 이용한 지오그리드 개발

김갑진, 김유결\*, 조향원, 이종순, 강승문\*\*

\*한국원사직물시험연구원, 경희대학교 대학원 섬유공학과, \*\*(주)건양테크산업

### Development of Geogrid made with High Modulus & Low Elongation Fiber Glass

K. J. Kim, Y. K. Kim\*, H. W. Cho, J. S. Lee, S. M. Kang\*\*

\*FITI Testing & Research Institute, Seoul, Korea

Department of Textile Engineering, Graduate School, Kyung Hee University, Yongin, Korea

\*\*Kunyang Tech., Co, Seoul, Korea

#### 1. 서 론

토목섬유 (Geosynthetics) 중에서 사면, 옹벽 및 도로 보강을 위하여 사용되는 지오그리드는 고강력의 강도 및 적절한 신도가 필요하다. PP 또는 HDPE 의 지오그리드 등도 사용되고 있으나 creep성이 커서 장기적인 보강을 위해서는 사용에 제약을 받기도 하며, 열에 의한 변형이 쉬워 도로 시공시 변형이 발생할 수도 있다. 한편 사면, 옹벽 보강을 위하여 사용되는 경우에 비해 도로 지반 보강을 위하여 사용되는 경우, 신도가 낮을수록 지반 침하 방지에 유리하므로 이러한 점을 만족시키기 위하여 주로 저신도의 폴리에스테르 원사를 사용한 제품들이 현재 시공 현장에서 대부분 사용되고 있다. 그러나 폴리에스테르 제품이 10~15% 의 신도를 나타내는데 비하여 신도가 월등히 낮은 유리 섬유를 사용하여 신도 7% 이하의 지오그리드로 제작하고 시공성을 향상시키기 위하여 표면에 폴리염화비닐 및 아크릴레이트 수지로 코팅한 두 가지 제품과 폴리에스테르 제품과의 물리적, 화학적 성능을 비교하였다.

#### 2. 제품 개발

##### 2.1 제작

국내의 금강고려화학의 유리섬유(E-glass) 로빙사(이하 Kcc로 약기)와 미국의 PPG사의 유리섬유(E-glass) twisted yarn(이하 PPG로 약기)을 사용하여 (Table 1참조) 독일 Liba사의 multiaxial weaving기로 폭이 125cm이고 경사방향의 예상강도가 5T, 8T, 10T, 15T(T=1000kgf/m)인 지오그리드 원단을 제작하였다. 이때 경·위사방향을 경편식으로 묶어주는데 사용된 yarn은 300d PET연신 열처리사를 이용하였다. 생산 제품의 사양을 Table 2에 나타내었다.

##### 2.2 코팅

현재 가장 널리 사용되는 폴리염화비닐 수지와 환경적인 문제점 해결을 위한 대체 물질인 아크릴계 수지를 사용하여 Table 3에 나타낸 조건으로 지오그리드 원단을 dip 코팅하였다.

Table 1. Characteristics of fiber glass rovings and yarns

Company	Kcc				PPG		
Type	Direct Roving (No Twist)				Twisted yarn		
Fineness (tex)	1800	2400	3600	4400	1800	2400	3600
Constitution	1800×1	2400×1	3600×1	2200×2	900×2	1200×2	1200×3
Tenacity(g/tex)	33.5	29.3	40.4	37.2	51.3		
Elongation at break(%)	<2				<2		

Table 2. Specification of Woven Geogrid

Sample code	Kcc-5T	Kcc-8T	Kcc-10T	Kcc-15T	PPG-5T	PPG-8T	PPG-10T	PPG-15T
Warp (Tex × Rovings)	1800×4	2400×4	3600×4	4400×5	1400×4	2400×4	3600×4	3600×5
Weft (Tex / Rovings)	1800×3	2400×3	2400×3	2400×4	1800×3	2400×3	2400×3	2400×3
Aperture Size (cm)	Warp	2.16	2.14	2.53	2.14	2.1		
	Weft	2.74	2.63	2.66	2.22	2.4		
Warp density (ribs/m)	33	33	33	31	34	33	34	31
Weft density (ribs/m)	30	30	30	30	30	30	30	30
Weight (g/m <sup>2</sup> )	440	600	770	1020	434	560	730	784

Table 3. Coating compositions and conditions

	PVC coating	Acryl coating
Composition	PVC 100, DOA 10, DOP 60, thermal stabilizer 3, carbon black 8	Acryl emulsion 100, CaCO <sub>3</sub> 18, water-soluble black pigment 8
Dryng	180°C, 20min	150°C, 20min
Add-on (%)	40	25

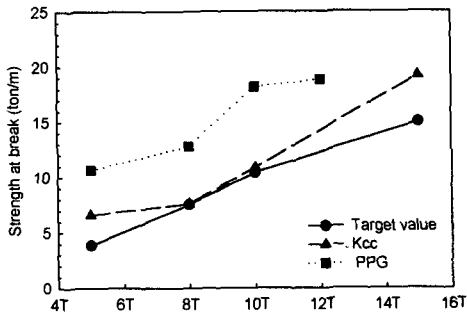
### 3. 물성 평가 및 결과

#### 3.1 인장 강신도 시험 및 결과

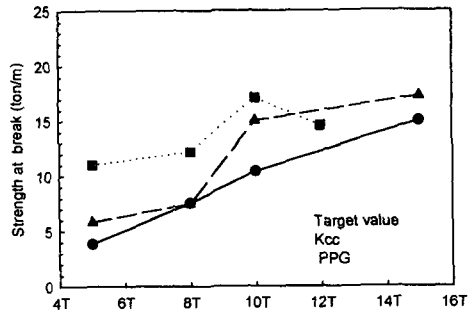
Instron 4486을 사용하여 ASTM D 4595에 준하여 광폭인장강도시험을 수행하였다. 그 결과를 폭 1m 당 강도로 환산하였다. Fig.1과 2에 각 시료의 파단 강·신도를 나타내었다. 코팅방식에 관계없이 PPG계 geogrid가 Kcc계 geogrid보다 동일계 제품에서 단위면적당 중량이 Kcc계 geogrid보다 낮은데도 불구하고 파단 강도가 크게 나타났다. 이는 Kcc의 로빙사보다 PPG의 twisted yarn이 제직시 사절이 적게 일어날 뿐만 아니라 Table 1에 나타낸 바와 같이 PPG twisted yarn의 파단강도가 Kcc의 파단 강도보다 월등히 크기 때문으로 볼 수 있다. 그리고 모든 제품의 파단강도는 이 연구에서의 목표치보다 상회하는 것으로 나타났다. 그리고 acryl코팅인 경우가 PVC 코팅

인 경우보다 파단 강도가 약간 높게 나타났다.

파단신도는 기존 PET geogrid가 13% 수준인데 반하여 유리섬유 geogrid는 모두 2%이하로 나타났으며 이는 이 연구의 목표치 7%를 초과 달성한 것으로 나타났다. PPG의 파단신도가 Kcc의 파단신도보다 약간 높게 나타났는데 이는 yarn과 roving의 차이에 기인된 것으로 보인다. 그러나 코팅 방법에 따른 파단신도의 차이는 없는 것으로 보인다.

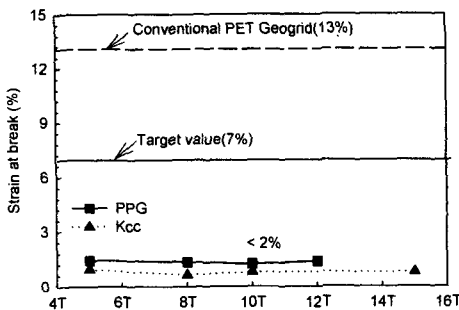


(a)PVC coating

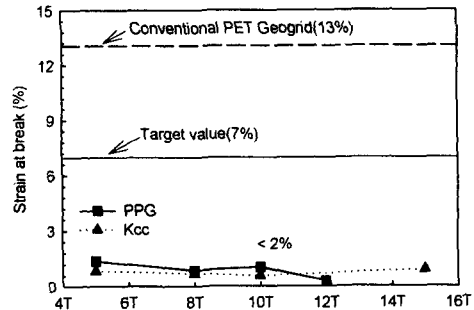


(b)Acryl coating

Fig.1. Tensile Strength at break of warp direction for fiber glass geogrids coated with PVC and Acrylic.



(a)PVC coating



(b)Acryl coating

Fig.2. Strain at break of warp direction for fiber glass geogrids coated with PVC and Acrylic.

### 3.2 접점강도 시험 및 결과

시공후 지반내에서의 안정성을 위하여 지오그리드의 형태 변형이 없어야 하며 따라서 보강 토양과의 일체적 거동을 위하여 접점에서의 강도가 적정 수준을 유지하여야 한다. Fig.3에 보여준 것과 같은 형태의 시료를 준비하여 인장강도 시험과 같은 조건으로 접점강도를 측정된 결과 grid의 종류 및 코팅의 종류에 관계없이 평균 접점강도는 30kgf를 나타내었다. 이 값은 본 연구에서 비교실험으로 사용한 삼양사의 상용 PET geogrid의 평균접점강도 20 kgf를 훨씬 상회하는 것으로 나타났다.

### 3.3 크리이프성 시험 및 결과

시료의 파단강도의 20%, 30%에 해당하는 하중 하에서의 500시간동안의 크리이프성을 측정하였으며 이때의 측정 온도는 20℃로 하였다. 현재 시판중인 폴리에스테르 제품은 약 2%의 크리이프성을 나타내는데 비하여 개발된 유리 섬유 지오그리는 0%의 크리이프성을 나타내므로 fiber glass geogrid를 토양내에 매설한 후 장시간이 지나더라도 형태의 변형이 없는 항구적인 구조물을 유지할 수 있는 장점이 있다.

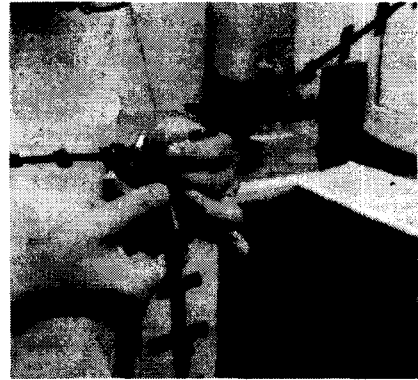


Fig.3. Photograph showing how to prepare sample for junction strength test

### 3.4 내화학성 시험 및 결과

토양속에서의 개발 제품의 화학적 취화 가능성을 평가하기 위하여 pH 2, 5, 9, 13의 완충용액을 사용하여 액량비 1:50으로 상온에서 1, 2, 3개월간 침지한 후 인장강도를 측정하였다. 내화학성 실험에서는 실험의 어려운 점에 기인하여 3 rib 시험을 위한 시료를 많이 만들기 어렵기 때문에 모두 single rib 시험을 위한 시료를 만들어 시험용액에 침지하였다. 일반적으로 3 rib 파단강도가 1 rib 파단강도 보다 작기 때문에 미처리 control시료도 single rib시험을 통하여 측정한 파단강도를 기준으로 하여 산 및 염기성 용액에의 침지에 따른 강도저하를 상대 비교하였다. 그 결과를 Table 3에 나타냈다.

PVC코팅에서는 대체적으로 pH2에서는 강도저하가 거의 없고 오히려 증가하는 경향을 보이지만 pH5와 pH9에서는 침지시간에 따라 파단강도가 약 20-30% 감소하는 경향을 보인다. 그러나 pH13에서는 Kcc-5T인 경우는 80%정도의 강도감소를 보이고 Kcc-8T와 Kcc-10T에서는 약 40-50%의 감소를 보이는 것으로 나타났다. PVC는 다른 열가소성수지에 비해서 내약품성이 강함에도 불구하고 이와 같은 강도저하를 보이는 것은 PVC의 가소제 또는 용제의 역할로 사용되었던 DOA와 DOP가 코팅후에도 상당량 잔류하고 있기 때문에 침지과정에서 DOA와 DOP의 산 및 염기에 의한 가수분해를 통하여 생성된 기공채널을 통해서 침지액이 PVC피막 내부를 투과함으로써 유리섬유를 상해시키는 것으로 보인다. 따라서 PVC코팅에서 내약품성을 개선시키기 위해서는 코팅 시 열처리 온도를 본 연구에서 채택한 것 보다 올리든지 아니면 열처리 시간을 보다 길게 하여 코팅 후 잔류하여 있는 가소제의 양을 최대한 억제하여야 할 것으로 사료된다. 여기에 덧붙여서 fiber glass의 원료를 E-glass대신에 내알칼리성이 강한 ECR-glass 또는 S-glass를 사용하면 내화학성이 개선될 것으로 보인다.

acryl코팅에서는 pH13인 경우를 제외하고는 침지 후의 파단강도의 저하는 PVC코팅에 비하여 월등히 작게 나타났다. acryl코팅에 사용된 acryl고분자의 주성분은 측쇄에 alkyl ester를 갖는 단량체를 혼합하여 공중합한 것이기 때문에 ester의 산 및 알칼리하에서의 가수분해로 파단강도의 저하가 PVC코팅에 비하여 클 것으로 생각되었는

데 pH5와 pH9에서는 PVC코팅에 비하여 월등히 우수한 강도 유지율을 나타내었고, pH2에서는 PVC코팅에 비하여 강도저하가 약간 큰 것으로 보이며, pH13에서는 PVC 코팅에 비하여 월등히 큰 것으로 나타났다. pH13에서의 내화학성을 개선하기 위해서는 내알칼리성 acryl수지의 개발이 병행되어야 할 것으로 보이며, 페놀-페름알데히드 수지와 같은 열경화성 수지의 사용도 고려해 볼만한 것으로 보인다.

비교목적으로 PVC코팅 PET geogrid의 내약품성을 조사한 결과 예상과는 달리 PET geogrid의 강도저하는 대단히 작은 것을 알 수 있다. 이는 PET는 유기고분자로서 fiber glass에 비하여 탄성계수가 작고 softness가 있기 때문에 PVC코팅 후에 geogrid의 유연성을 유지하기 위하여 코팅 후에 일부러 잔류 가소제의 양을 증가시킬 필요가 없어 코팅과정에서 충분히 가소제를 휘발 제거하였기 때문에 침지기간 동안의 가소제의 가수분해를 통한 코팅피막내부의 기공의 형성이 없어 화학약품이 PVC피막의 투과가 어려워져 PET geogrid의 강도감소가 거의 없는 것으로 보인다.

Table 3. Changes in tensile strength (kgf) of a single rib for fiber glass geogrids and commercial PET geogrids after treating with various buffer solutions for a desired period

		Kcc						PET		
		PVC			Acryl			PVC		
		5T	8T	10T	5T	8T	10T	6T	8T	10T
Control		342	391	639	388	430	791	184	266	345
pH 2	1month	339	418	719	367	378	642	175	258	325
	2month	329	444	699	368	369	700	181	238	340
	3month	328	439	692	354	336	629	178	237	316
pH 5	1month	292	316	460	356	418	743	179	263	336
	2month	234	316	463	365	407	706	181	261	337
	3month	224	262	423	341	373	704	178	264	319
pH 9	1month	273	345	446	358	422	728	172	263	340
	2month	245	306	557	383	416	715	178	246	326
	3month	265	273	437	338	409	641	166	239	336
pH 13	1month	106	273	303	53	42	59	171	262	310
	2month	54	248	332	37	21	16	174	256	335
	3month	61	216	276	35	63	53	164	255	321

#### 4. 결론

저신도의 지오그리드 개발을 위하여 적용한 유리섬유는 기존 시판되고 있는 폴리에스테르에 비하여 pH 13에서의 내화학성이 떨어지나 기타 개별 제품의 인장 강신도, 접점강도 및 크리이프성이 매우 우수하여 저신도와 저 크리이프성을 요구하는 연약지반 보강용으로서의 용도는 매우 우수할 것으로 판단된다.

본 연구는 1998년도 산업기반기술개발사업의 위탁연구(위탁연구책임자:김갑진)로 이루어졌음을 밝힙니다.