

토목건설용 고성능 융합형 강화 섬유제품

조성호, 차동환, 조삼덕¹, 심동현², 김홍관³

(주)삼양사 산자기술연구소, ¹한국건설기술연구원, ²(주)현대건설 기술연구소, ³FITI 시험연구원

1. 서 론

토목건설공사에서 흙 이외의 재료를 사용하여 지반구조물의 안정성을 향상시킨 사례가 아주 오래전 부터 있어 왔으며, 사용된 대부분의 보강재는 벚짚, 나뭇가지, 갈대 등의 천연재료로부터 시작되었다. 그러나 천연재료의 경우 강도, 내구성 등의 품질성능상의 문제를 갖고 있으며, 고분자 기술의 급격한 발전과 이의 상업화에 따라 토목용 보강재에도 합성고분자를 적용하기 시작하면서 기존 천연재료의 단점을 보완할 수 있게 되었고, 더불어 보강용도 뿐만 아니라 배수, 여과, 차수, 보호, 분리 등의 용도를 갖는 다양한 방재기능 강화 섬유제품이 토목용도에 사용되었고 이러한 제품을 geosynthetics로 일컫고 있다.

geosynthetics 중에서 보강용도로 사용되는 제품은 지오텍스타일(geotextile)의 일부제품과 지오그리드(geogrid) 및 지오컴포지트(geocomposite) 제품이 있다. 본 고에서는 토목용 보강재에 대해 간략히 소개하고, 토목용 보강재를 대표할 수 있는 지오그리드 제품에 대해서 제품의 적용분야 및 종류와 개발동향, 성능평가법, 지역별 동향, 시장환경에 대해 소개하고자 한다.

2. 토목용 보강재의 종류

토목합성재료 중에서 보강용도로 널리 사용되고 있는 제품은 지오텍스타일과 지오그리드이다. Table 1에 지오텍스타일과 지오그리드 종류별 특성을 제시하였다[1].

지오텍스타일은 geosynthetics 중에서 가장 먼저 사용된 제품으로서 국내 토목현장에서 널리 사용되고 있는 ‘토목섬유’라는 용어의 어원이 된 것으로 알려져 있을 정도로 그 역사와 사용량에 있어서 geosynthetics를 대표할 수 있다. 이러한 지오텍스타일의 종류로는 전통적인 섬유의 후가공법을 사용하여 제조한 것으로 크게 부직포형과 직포형으로 나뉘게 되

Table 1. 지오텍스타일과 지오그리드 종류별 특성

토목용 보강재	종 류	인장강도 (kN/m)	최대신도 (%)	겉보기 공극 (mm)	단위중량 (g/m ²)
지오텍스타일	열융착 부직포	3~25	20~60	0.02~0.35	70~350
	니들펀칭 부직포	7~90	50~80	0.03~0.20	150~2000
	모노필라멘트 직포	20~80	9~35	0.07~2.50	150~300
	멀티필라멘트 직포	40~800	9~30	0.20~0.90	250~1350
지오그리드	시트형(플라스틱형)	10~200	11~30	40~150	200~1100
	직포형(텍스타일형)	10~200	3~20	10~100	250~1500

며, 보강용으로는 주로 직포형 지오텍스타일이 사용된다.

지오그리드 제품은 지오텍스타일에 비해 늦게 개발된 제품이지만 일정한 크기의 공극(aperture)을 갖는 형태학적 특성으로 뛰어난 보강기능을 발휘하기 때문에 토목합성재료 중에서 보강재의 대표적인 제품이라 할 수 있다. 토목합성재료 제품군에서 지오그리드 제품이 차지하는 물량은 작지만 성장률과 부가가치가 높은 제품이다.

3. 토목용 고성능 보강재 ‘지오그리드’

3.1. 지오그리드의 적용분야

지오그리드는 토목합성재료의 일종으로 Figure 1에서 볼 수 있듯이 10~150 mm의 공극을 갖는 격자형태의 토목용 보

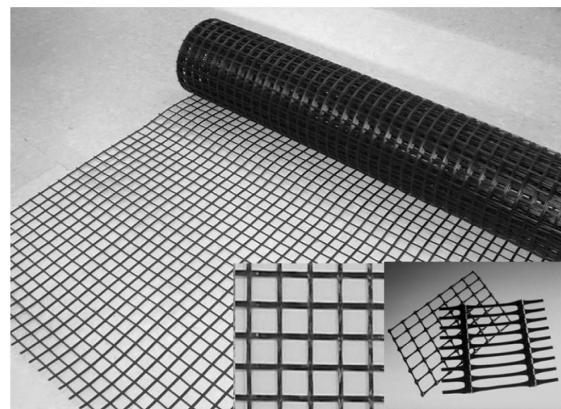


Figure 1. 지오그리드 제품 예.

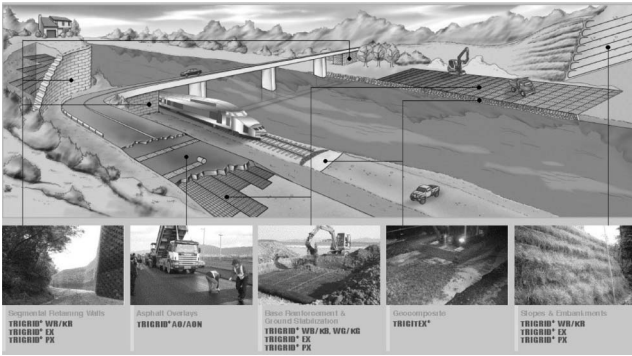


Figure 2. 지오그리드의 적용분야.

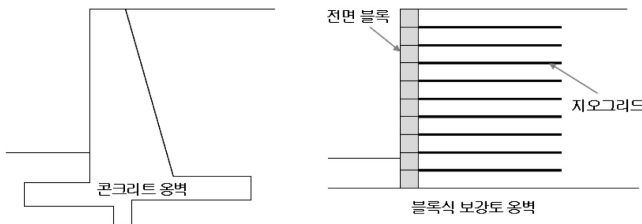


Figure 3. 콘크리트 옹벽과 블록식 보강토 옹벽의 단면 개략도.

강재로서, 지반구조물의 하중에 대해 인장저항력을 발휘하여 보강기능을 하는 제품이다. Figure 2와 같이 토목현장에서 블록식/판넬식 옹벽보강, 도로/철도 등의 연약지반보강, 도로성토/제방/호안 등의 사면보강, 임시구조물 보강 등 다양한 토목구조물의 보강재로 사용되는 제품이다.

적용분야를 좀 더 상세히 열거하면 지오그리드 제품은 도로 지반의 골재층 내부 또는 하부, 철도건설에서 도상(ballast) 내부 또는 하부, 임시구조물 채움재 내부 또는 하부, 다양한 전면벽 또는 감쌈(wraparound) 형태의 옹벽과 제방, 흙댐의 보강용도 및 붕괴 사면이나 산사태의 복구, 교대나 침식방지 구조물을 위한 돌망태(gabion), 연약지반 보강, 쇄석말뚝 보강, 폐기물 매립장의 지반보강과 침출수 포집층 및 복토층의 안정화 등에 사용되고 있으며, 다른 방재기능 섬유제품과의 복합화를 위한 재료로도 사용되고 있다[2].

국내에서 지오그리드가 가장 많이 사용되는 적용분야는 블록식 보강토 옹벽이다. 지오그리드를 보강재로 사용함으로써 기존 콘크리트 옹벽에 비하여 경제적이고 용이한 시공과 공사기간의 단축은 물론 옹벽 완성이후 수려한 외관으로 인하여 급속히 보급되기 시작하였으며 현재는 대부분의 옹벽이 블록식 보강토 공법을 사용하여 시공되고 있다. Figure 3은 콘크리트 옹벽과 블록식 보강토 옹벽의 단면을 도시한 것이고, Figure 4는 블록식 보강토 옹벽의 시공단계별 사진으로 기초작업을 실시한 후, 블록 시공, 지오그리드 포설 및 블록



(a) 블록 시공 (b) 지오그리드 포설 및 블록과 연결



(c) 뒤채움 및 다짐 (d) 완성된 옹벽

Figure 4. 블록식 보강토 옹벽의 시공순서.

과의 연결, 흙 뒤채움 및 다짐 등의 일련의 작업을 반복함으로써 옹벽을 완성하게 됨을 보여주고 있다.

3.2. 지오그리드의 종류

지오그리드의 특징은 각각의 경사방향 리브(rib)와 위사방향 리브가 이루는 공극을 통하여 지오그리드 상부와 하부의 토체가 서로 연결됨으로써 흙구조물과의 일체화를 이루게 되어 보강효과를 극대화 하는 것이다. 또한 지오그리드는 보강재로서의 토목성능 및 장기성능 발현에 필요한 높은 인장강도, 높은 모듈러스, 낮은 크리프 변형률, 현장에 적용할 때 받을 수 있는 손상에 대한 저항성 및 사용 환경에 대한 내구성 등이 요구 된다. 이러한 지오그리드 제품은 사용재료의 형태 및 제조방법에 따라서 크게 텍스타일형 지오그리드와 플라스틱형 지오그리드, 융착형 지오그리드로 구분할 수 있다.

텍스타일형 지오그리드는 1980년대 초에 영국 ICI사에서 처음 제조하였고, 현재 전 세계적으로 다수의 업체에서 생산되고 있다. 텍스타일형 지오그리드는 고강도 섬유를 사용하여 격자형태로 제직(weaving) 또는 경편성(warp-knitting) 한 후, 폴리비닐클로라이드(PVC), 아크릴, 비투펜, 라텍스 및 고무계 수지 등으로 피복하여 제조한다. 하지만 텍스타일형 지오그리드는 인장 및 크리프 특성이 우수한 반면, 시공 시 흙의 상태에 따라 지오그리드가 손상을 입기 쉬우므로 시공 환경에 따라서는 내시공성이 부족하다는 단점이 있다. Figure 5에 텍스타일형 지오그리드 및 제조방법을 도시하였다.

플라스틱(plastic)형 지오그리드는 연신형, 일체형 또는 시

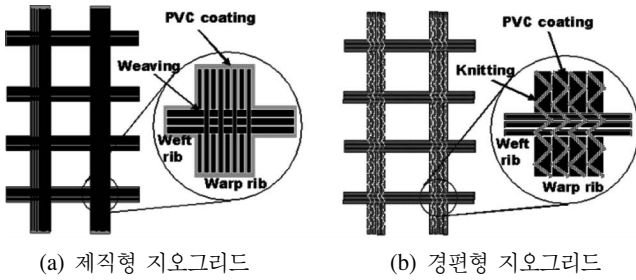


Figure 5. 텍스타일형 지오그리드 및 제조방법.

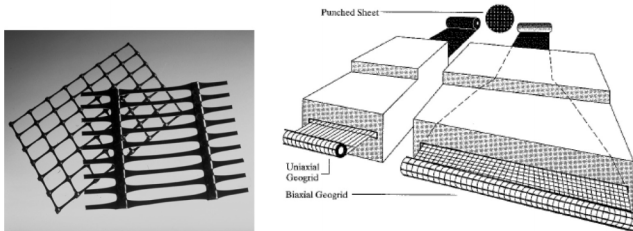


Figure 6. 플라스틱형 지오그리드 및 제조방법.

트형 지오그리드라고도 하며 1980년대 초에 영국의 Netlon 사에 의해 개발되어 1982년 Tensar Corp.에 의해 미국에 도입되었고, 유사한 제품이 이탈리아 Tenax 사에 의해 제조되고 있으며, 최근 중국을 중심으로하여 유사제품이 양산되고 있다. 플라스틱형 지오그리드는 제조방법에 있어서 압출기로 압출된 고분자 시트(sheet)를 천공롤러에 통과시켜 일정 간격으로 구멍을 뚫은 다음에 일축 또는 이축으로 연신시켜 제조하는 제품이다. 하지만 주로 폴리올레핀(polyolefin)계 고분자를 주재료로 사용하는 플라스틱 지오그리드는 장시간 하중이 부여되는 동안에 재료의 크리프 변형이 비교적 크게 발생하는 특성이 있다. Figure 6에 플라스틱형 지오그리드 및 제조방법을 도시하였다[2].

융착형 지오그리드는 2000년대 이후에 미국 Coldbond 사와 독일 Naue사에서 개발 출시된 새로운 형태의 제품이다. 융착형 지오그리드는 고분자를 밴드(band)형상으로 압출 연신하여 일정크기의 격자형태로 배열시키고 경사방향과 위사방향 밴드의 겹침 부분을 레이저나 초음파, 진동 등의 방법으로 용융접합시켜 제조한다. Figure 7에 융착형 지오그리드 및 제조방법을 간단히 도시하였다.

상기 각 제품들의 종류별 제조방법 및 장단점을 Table 2에 요약 비교하였다.

3.3. 지오그리드 제품 개발 동향

지오그리드는 Table 2에서 볼 수 있듯이 제품 종류별로 각각 재료와 제조공정 및 외관특징에 따르는 고유의 특성과 장

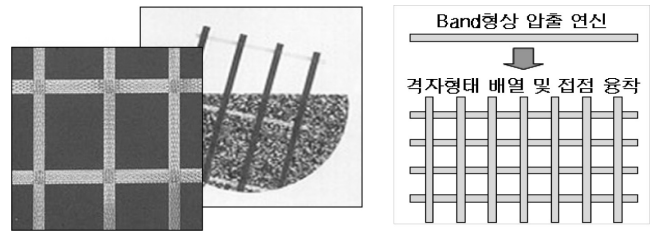


Figure 7. 융착형 지오그리드 및 제조방법.

Table 2. 지오그리드 종류별 제조방법 및 장단점 비교

분류	텍스타일형 지오그리드	플라스틱형 지오그리드	융착형 지오그리드
공정	제직/경편→수지코팅	Sheet 압출→천공→일축/이축연신	Bar 압출→연신→배열→융착
재료	PET 고강도 섬유	HDPE, PP	PET, PP
장점	낮은 크리프 변형률, 유연성	높은 내시공성, 접점 일체형	낮은 크리프 변형률, 높은 내시공성
단점	낮은 내시공성, 낮은 접점강력	높은 크리프 변형률	낮은 접점강력

단점이 있다. 장점을 유지하면서 단점을 보완하여 전체적으로 토목공학적 요구성능을 향상시키기 위한 다양한 제품들이 개발되고 있으며, 다른 geosynthetics 제품들과의 복합화를 통한 기능과 성능의 복합 및 향상을 꾀하는 복합화 연구도 활발히 진행 중이다.

지오그리드에 있어서 전형적으로 사용되는 폴리에스터 고강도섬유를 개선하여 더 높은 강도와 낮은 신도 및 높은 모듈러스 특성을 나타낼 뿐만 아니라, 분자량과 단위섬유의 섬도를 높여 내화학성능을 개선시켜 사용함과 동시에 격자형태의 제직 또는 제편 시에도 조직변경을 통하여 형태안정성 및 접점강력의 향상을 도모하고 있다. 일본에서는 자체에서 생산되는 아라미드 섬유, 폴리아세탈 섬유, 폴리비닐알코올 섬유 등 다양한 수퍼섬유를 지오그리드의 보강원사로 사용하여 고성능 지오그리드 개발에 적용하고 있다. 최근 국내에서도 수퍼섬유에 대한 연구가 활발히 진행되고 있어서, 이를 지오그리드 등 방재기능 강화 섬유제품 개발에 적용하고자 하는 움직임이 있으며, 또한 각종 섬유의 하이브리드화를 통하여 고성능 제품의 연구개발도 시도되고 있다. 이외에도 도로포장의 보수보강 용도로 유리섬유를 사용한 지오그리드 제품도 개발되었는데, 현무암 섬유를 사용한 제품의 개발도 시도되고 있다. 그러나 국내에서는 이들 다양한 고성능 섬유의 제조기술이 아직은 미약하고 원사 가격이 기존 폴리에스터 섬유와 비교하여 과도하게 높다는 문제점이 있다.

또한, 텍스타일형 지오그리드 제조 시에 종래 사용되던 코



팅재료가 폴리비닐클로라이드(PVC)였으나, PVC 졸(sol)을 만들 때 사용되는 가소제의 인체 및 환경유해성 문제가 대두되면서 아크릴계 고분자 등으로 코팅재료를 변경한 제품이 출시되었고, 텍스타일형 지오그리드의 단점인 내시공성을 개선하기 위해 폴리올레핀계 수지로 피복된 제품도 개발되었다. 플라스틱형 지오그리드의 경우에는 3축 연신한 제품이 개발되어 시장에 출시되었으나, 성능 개선효과나 가격 등의 문제로 아직은 시장에 확대 적용은 되지 않고 있다.

최근 국내에서도 우수한 크리프 특성과 높은 내시공성을 겸비하면서 형태안정성과 토체내에서 마찰성능을 향상시킨 새로운 형태의 융착형 지오그리드가 개발되고 있다.

이외에도 지오그리드를 다른 geosynthetics와 복합화하여 다기능성을 갖는 복합제품 개발도 이루어지고 있는데, 즉 보강기능과 더불어 분리기능과 여과기능을 동시에 갖는 복합제품이나 배수기능을 동시에 갖는 복합제품 등이 개발되고 일부는 출시되어 있다.

3.4. 지오그리드의 토목성능 평가

보강재가 적용된 토목구조물의 장기 안정성을 확보하기 위해서는 사용되는 보강재가 발휘하는 강도를 토목환경에 맞도록 적절히 감소시켜 사용해야만 한다. 따라서 토목환경을 모사할 수 있는 여러 가지 항목의 시험을 통하여 제품강도의 감소 정도를 평가하고, 그 결과를 토목설계에 반영해야 한다.

일반적으로 지오그리드의 설계허용강도를 구하는 식은 다음과 같다.

$$T_{allow} = T_{ult} \left(\frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CBD}} \right)$$

T_{allow} : 설계허용강도, T_{ult} : 최대 인장강도, RF_{ID} : 내시공성 감소계수,

여기서, RF_{CR} : 크리프 감소계수, RF_{CBD} : 화학 생물학적 감소계수

최대인장강도는 ASTM D4595 및 D6637 또는 ISO 10319에 근거하여, 광폭(20 cm)의 시료를 정속인장시험기에서 인장시험하여 최대강도(kN/m)를 구한다. 내시공성 감소계수는 보강재를 사용하는 토목현장에서 뒤채움 재료의 다짐에 의한 보강재의 손상정도를 최대인장강도와 비교하여 강도감소 정도로 결정하고, 크리프(creep)는 일정하중이 장시간 부여되었을 때 보강재의 거동, 즉 크리프 변형이나 크리프 파단을 측정하는 것으로서 보강구조물의 파괴를 일으키지 않는 크리프 거동을 평가하여 이 기준을 넘지 않는 최대 부가하중

Table 3. 지오그리드 보강재의 적용분야에 따른 추천 감소계수[2]

Application Area	Reduction Factor		
	RF _{ID}	RF _{CR}	RF _{CBD}
Unpaved roads	1.1-1.6	1.5-2.5	1.0-1.6
Paved roads	1.2-1.5	1.5-2.5	1.1-1.7
Embankments	1.1-1.4	2.0-3.0	1.1-1.5
Slopes	1.1-1.4	2.0-3.0	1.1-1.5
Walls	1.1-1.4	2.0-3.0	1.1-1.5
Foundations	1.2-1.5	2.0-3.0	1.1-1.6

을 구하고 이를 최대인장강도와 비교하여 크리프 감소계수를 구한다. 화학 생물학적 감소계수는 보강재가 강산성이나 강알칼리의 토양 또는 미생물 등에 노출되었을 때 발생할 수 있는 보강재의 분해에 의한 강도감소를 반영하기 위한 것이다. 이외에도 일광에 의한 보강재의 분해, 온도에 따른 보강재의 강도변화 등을 산출하여 설계에 반영하기도 하며, 토목설계자의 판단에 따라 토목현장의 불확실성에 대한 감소계수를 별도로 부여할 수도 있다. Table 3은 지오그리드 보강재의 전형적인 적용분야에 따른 추천 감소계수를 나타내고 있다.

본 고에서는 위에서 열거한 각각의 감소계수 항목들 중에서 그 영향과 중요성이 큰 내시공성 및 크리프 성능 평가시험에 대해 좀 더 상세히 소개하고자 한다.

3.4.1. 내시공성(Installation Damage) 평가

지오그리드는 보강토 옹벽, 성토사면 보강, 연약지반 보강 등 다양한 토목현장에서 보강재로 폭넓게 사용되고 있다. 이렇게 지반구조물 내에 보강재로 사용되기 때문에 구조물의 시공시 뒤채움 재료의 다짐에 의해 지오그리드는 손상을 받게 되어 강도가 감소하게 된다. 이를 실제 토목시공현장의 환경과 유사한 조건에서 시험을 통하여 강도감소율을 평가하고 이 결과를 설계에 반영하여 구조물의 안정성을 확보해야만 한다. 이 시험은 ASTM D5818, 미국의 FHWA와 GRI-GG4, 영국의 BS 8006, ISO/TR 10722-1 등에 규격화 되어 있다.

그러나 실제 토목현장에서 사용되는 현장토의 경우 각 현장에 따라 흙의 종류와 형태 등이 상이하므로 내시공성 평가 시에는 뒤채움 흙의 종류, 입도분포, 최대 입경 및 다짐조건 등에 따른 다양한 시험을 수행하고 각 조건에 따른 감소계수를 산정하여 실제 토목현장과 유사한 조건에서의 결과를 채용하여 설계에 반영할 수 있도록 해야 한다. 여기에서는 한국건설기술연구원(KICT)에서 실시하고 있는 내시공성 시험 방법을 소개한다[3].

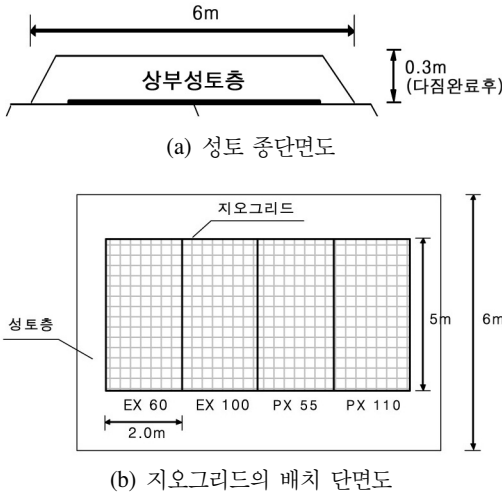


Figure 8. 내시공성시험 현장 단면도.

우선 흙의 종류와 입도분포에 따른 영향을 고찰하기 위해 대형체가름장치(1.4 m×2 m)를 이용하여 최대입경을 세종류(40 mm, 60 mm, 80 mm)로 조정하면서 체가름 작업을 수행한 후, 다짐작업 시에 성토재로 사용한다. 시험에 사용한 지오그리드의 크기는 2 m×5 m이며, 시험현장 단면은 Figure 8과 같다.

시험절차는 다음과 같으며, Figure 9는 내시공성 시험 모습을 보여주고 있다.

- ① 비교적 견고한 원지반을 정지작업 후, 백호우로 시험용 성토재를 30~40 cm 두께로 포설하고 편평하게 정지한다.
- ② 소정의 다짐밀도(상대다짐 90% 이상)가 되도록 진동로울러(10 t 용량)로 왕복 4회 다짐을 실시하고, 다짐도를 측정한다.
- ③ 지오그리드를 포설하고, 지오그리드 위에 성토재를 포설(다짐후 상부 성토재의 두께가 30 cm 되도록 함)하고 정지한다.
- ④ 진동로울러를 사용하여 무진동으로 1회, 진동으로 4회 왕복다짐을 실시한다.
- ⑤ 상부 성토재를 제거하고 지오그리드 시료를 추출한다. 시료 추출 시는 지오그리드에 손상을 주지 않도록 각별히 주의한다.
- ⑥ 추출된 지오그리드의 외관을 면밀히 조사하고, 광폭인장강도를 수행하여 인장강도를 구하고 원시료의 인장강도와 비교하여 감소계수를 산정한다.

3.4.2. 크리프(Creep) 성능 평가



(a) 지오그리드 포설 후 상부성토 모습 (b) 상부 성토재의 다짐 모습

Figure 9. 내시공성 시험 모습.

지오그리드 보강재의 소재는 폴리에스터, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등의 고분자이므로 지오그리드에 장시간 하중이 부여되면 고분자의 점탄성 특성에 기인하여 변형이 발생하게 된다. 보강재로 사용되는 지오그리드는 구조물의 변형을 억제하는 방향으로 강도를 발현함으로써 보강재의 역할을 수행하게 되는데, 보통 지반 구조물의 수명은 100년으로 설계가 되므로 보강재의 장기간 변형이나 파단 특성을 평가해서 그 결과를 설계에 반영해야 한다. Figure 10은 고분자 소재에 따른 크리프 변형 특성을 보여주고 있는데 보강재의 소재에 따라 크리프 거동이 매우 상이함을 알 수 있다[4]. 동일한 소재로 제조된 지오그리드 제품이라도 소재의 등급이나 제조공정 중의 이력에 따라서 다양한 크리프 거동을 나타내게 된다.

지오그리드의 크리프 평가는 ASTM D5262에 따라 일정하중을 부가한 후에 시간에 따른 변형이나 파단 특성을 측정하는 것이지만 보강구조물의 수명에 해당하는 시간동안 측정하는 것은 불가능하기 때문에 가속시험법이 사용되고 있다. 대표적인 것이 시간-온도 중첩원리(time-temperature superposition,

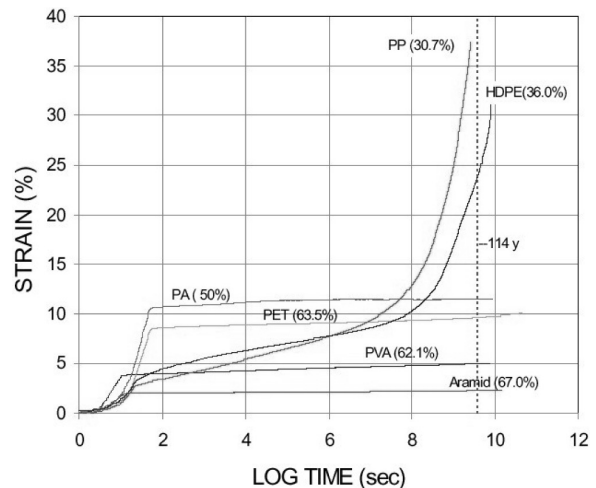


Figure 10. 고분자 소재에 따른 크리프 변형률, 괄호안의 수치는 부가하중으로 최대인장강도에 대한 백분율임.



TTS)를 사용하는 것으로 온도를 증가시켜 단시간의 크리프 거동을 평가하고 이 결과를 시간축으로 이동시켜 장시간 크리프 거동을 예측하는 것이다. 최근에는 TTS법을 응용하여 시료간 편차를 최소화하고 평가시간을 최소화하기 위해 동일한 시료에 대해 단계별 승온을 통하여 크리프 거동을 평가 (stepped isothermal method, SIM)함으로써 장기 크리프 거동을 예측하는 방법이 사용되고 있으며, 이 방법은 ASTM D6992에 규격화 되어 있다. SIM 법을 통한 크리프 거동의 예측 결과가 1,000시간까지의 장기 크리프 시험의 결과와 잘 일치하고 있음이 보고되었다[5]. 일본에서는 JIS K7115에 규격화된 방법에 의해 등시하중(等時荷重)과 크리프 변형률 도선으로부터 설계연한에서 적용기준에 부합하는 크리프 강도를 예측하여 사용하고 있다.

크리프 거동을 설계에 반영하기 위한 크리프 평가기준은 크리프 파단(creep rupture)과 한계 변형률(limit strain)이 있다. 크리프 파단은 부가하중별로 지오그리드의 파단이 발생하는 시간을 측정하고 이 결과를 부가하중에 대한 파단시간의 향으로 도시하여 구조물의 설계연한에서 파단이 발생하지 않는 최대 부가하중을 구하는 것이다. 크리프 한계 변형률은 설계연한에서 한계변형률을 초과하지 않는 최대 부가하중을 구하는 것으로 현재 널리 사용되는 한계 변형률은 10%이지만 이 값의 근거에 대한 논란이 많으며, 소재에 따라 그 기준이 달라져야 한다는 주장도 제기되고 있다. 이상과 같이 각 기준에 부합하는 최대 부가하중을 구하고 이 결과를 원시료의 광폭인장강도와 비교하여 감소계수를 산출하게 된다. Figure 11에 크리프 시험 모습을 나타내었다.



(a) 장기 크리프 시험 (b) 단기 가속 크리프 시험

Figure 11. 크리프 시험 모습.

3.5. 지오그리드의 지역별 동향

대체적으로 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 오래 전부터 자국의 제품을 개발하여 이를 활용하거나 적용하는 다양한 공법과 기술을 개발하고, 지속적인 적용과 개선을 통해 최적 및 최상의 제품들을 다양하게 구비함은 물론 설계와 시공 기

술을 오랜 기술자료와 함께 시장과 고객에게 제공하고 있는 반면, 후발 국가들은 앞서 설명한 선진국의 제품과 경험 및 기술 등을 일방적으로 사용하거나 혹은 무분별하게 받아들여 사용하는 실정이다. 더구나 국가 내의 규제와 규격, 정책 등이 불명확한 경우에는 잘못 적용되어 쓰이고 있거나 무분별한 복제 제품을 사용하는 경우도 있는 실정이다.

3.5.1. 북미 및 유럽 지역

토목 건설 환경에 대한 사회적으로 넓고 오랜 전통 기반과 높은 관심을 바탕으로 하여, 섬유 및 고분자 등의 고도의 산업용 재료공학 기술, 풍부한 경험과 오랜 역사의 토목 및 지반 공학을 겸비한 전문화 인력, 그리고 우수한 제조기술과 풍부한 시장 경험 등을 바탕으로 세계시장을 선점하여 장악하고 있으며, 제품의 품질과 성능에 관한 지역별 표준화와 제품의 인증제도, 시험평가 규격과 방법 및 제조기술 특허 등의 제도적 진입 장벽과 기술적인 진입 장벽을 강화하고, 해외로는 무역의 장벽을 정책적으로 제거해 나가면서 개발도상국과 후진 산업화 시작 국가들에 진출하는 사업전략을 진행해 나가고 있다.

3.5.2. 일본 지역

지리적으로나 지질학적으로 특수하고 고립된 자국의 환경들을 극복하려는 자구적인 노력과 우수한 섬유 고분자 등의 재료 기술이 합쳐져서 많은 발전을 이루어 왔으나, 시장적인 측면에서는 엄중하고 폐쇄적인 환경을 보이고 있으며, 특히 국가적으로 빈번하고 큰 재해를 일으키는 지진, 태풍 등의 문제에 대하여 자체적인 시험방법과 규격의 제정과 품질인증 제도 구축을 강화해 오면서 자국 중시의 풍토로 인해 자국 제품을 우선시하고 보호하는 폐쇄적인 시장으로 자리 잡았으며, 사실상 우수한 외국의 선진 제품조차도 진입 및 정착이 대단히 어려운 시장으로 평가된다. 일본의 지오그리드 제품의 시장 가격이나 사용 용도, 공법 및 기술 등에 있어서는 대단히 매력적이며 다양하고 수준 높은 토목섬유 제조기술과 적용 기술, 공법 등을 확보하고 있으나 일본 제품과 공법의 해외로의 진출은 높은 제조원가와 복잡한 시공기술수준 요구 등으로 대단히 어려운 실정이다. 하지만 향후로는 일본의 시장 진입 기준을 만족하는 외국 제품들이 생겨나고 머지않아 수입품으로 대체가 시작될 것으로 예상된다.

3.5.3. 국내

1993년경에 처음으로 사용하기 시작한 지오그리드 제품은,

초기에는 전량을 수입에 의존하면서 해외의 설계기술과 시공 기준을 국내에 적용하여 사용하기 시작하였다. 점차로 제품의 사용이 확대되고 일반화되면서 90년대 말에는 국내 섬유 업체에서 지오그리드 제품을 개발 및 제조하기 시작하여 현재는 1개의 대기업과 몇몇 중소기업에서 내수용 제품을 위주로 제조 판매하고 있으며, 국내시장 수요의 약 50%를 국산화 제공하고 있다.

이와 같이 여전히 해외의 수입제품들이 절반에 가까운 시장을 점유하고 있는 상황으로, 초기에는 주로 선진국의 우수한 제품들이 고가로 수입되어 선진국 공법 및 기준으로 적용 시공되던 추세에서, 현재는 대만이나 중국 등의 저가품 제품이 주로 수입 사용되는 추세로 변화되었고, 제품의 시장가격이 초기의 절반 이하의 가격으로 하향 안정화 되었음에도 불구하고 일부에서는 적정한 시장가격 수준을 밑도는 저급품들의 사용이 무분별하게 증가되고 있는 실정이다. 이렇게 2004년 무렵부터 저가격 저품질의 지오그리드 제품이 점차적으로 대량 유입되어 국내 토목시장에 사용되고 있으며, 국내 일부의 소규모 업체에서도 유사한 저품질의 제품을 제조하여 사급 계통의 토목 시장을 대체하고 있어서, 지오그리드를 사용하는 보강안정화 토목 구조물들의 구조 안정성에 대한 심각한 우려가 거론되고 있는 실정이다.

3.6. 지오그리드의 시장 환경[6]

전 세계의 2005년도 geosynthetics 수요량은 약 20억 yd²이며, 금액으로는 약 40억 달러에 이른다. 대륙별 시장으로는 크게 북미지역, 유럽, 아시아/태평양, 기타지역 등으로 분류하며, 지역별 시장 수요는 북미지역이 45%, 유럽 30%, 아시아/태평양 20%, 기타지역 5% 등으로 나누어진다. 세계적으로는 geosynthetics 시장의 성장성이 연평균 5~8% 이상의 꾸준한 성장이 예상되어지고 있으며, 시장 증가의 주요 요인은 아시아/태평양과 기타 남미나 중동국가들의 국가적 사회기반산업의 지속적인 구축 및 건설 확충 등에 있다고 판단된다.

미국시장은 선진국 시장의 대표적 시장으로, 비교적 성숙기에 진입하였으며, 유럽, 일본 등과 함께 과도한 양적 성장보다는 용도 다변화와 적용 분야의 개발, 신공법 개발을 통한 질적 성장을 중심으로, 사회간접자본시설(도로, 철도, 항만, 하천정비 등)의 안정화, 고도화, 환경친화 공법화 등에 초점을 두고 꾸준한 성장을 이루어 나가고 있다. Table 4에 geosynthetics 및 지오그리드에 대한 미국 시장규모를 나타내었다. 미국시장을 살펴보면 전체 geosynthetics 제품 중에서 지오그리드가 차지하는 물량은 약 4%로 매우 작은 반면 금

Table 4. Geosynthetics와 지오그리드의 미국시장 규모[6]

구 분		2005년	2010년	2015년	연평균성장률 (2010/2005)
geosynthetics	수량(백만yd ²)	700	870	1,005	4.4%
	금액(백만\$)	1,368	1,765	2,200	5.2%
geogrid	수량(백만yd ²)	31	43	54	6.8%
	금액(백만\$)	79	119	162	8.5%

액으로는 약 6%를 차지하여 상대적으로 고부가가치 제품임을 알 수 있으며, 성숙기 시장임에도 불구하고 성장률 또한 전체 토목합성재료가 5.8% 인 반면 지오그리드는 6.8% 수준으로 높은 편임을 알 수 있다.

4. 결 론

geosynthetics 방재기능 강화 섬유제품 중에서 보강용도로 사용되는 지오그리드에 대하여 제품의 적용분야와 종류, 개발 동향, 대표적인 성능 평가방법, 지역별 동향 및 시장환경에 대하여 기술하였다. 현재 선진국에서는 우수한 지오그리드 제품 제조기술에 풍부한 경험과 선진 토목기술의 접목을 바탕으로 기존 보강분야는 물론 다양한 신규분야에 적용을 시도하여 신규시장을 창출하고 있으며, 기존 선진제품의 제조방법 개선 및 품질향상 연구를 통해 특허기간을 연장하여 독점제조권을 지속하고 있는 한편, 기존제품과는 차별화된 새로운 형태의 제품을 개발 출시하여 활발한 마케팅을 추진하고 있다.

국내에서는 그동안 국가성장 동력의 한 축으로 중요한 역할을 담당해왔던 섬유산업이 그동안 개발 축적된 고도의 섬유제조 및 후가공 기술력을 산자용 분야와 같은 신규분야로 전환하지 못하고 여전히 의류용 섬유 부분이 큰 영역을 차지하고 있음으로서 후발 개도국의 심각한 위협을 받고 있는 상황이다. 이렇게 섬유산업의 신규분야로의 활로 모색이 매우 중요한 시점에서 geosynthetics 방재기능 강화 섬유제품의 연구개발은 섬유 원재료 및 원사 제조업체, 섬유 후가공 업체, 관련 설비업체의 고용 및 매출 증대효과 등 우리나라 섬유산업 발전에 큰 역할을 담당하게 될 것이다. 실제로 미국, 유럽, 일본 등 선진국의 섬유산업의 구성을 보더라도 산자용 섬유분야가 전체 섬유산업의 70%를 차지하고 있는 반면 우리나라의 경우는 겨우 30%를 차지하고 있음에 비추어 볼 때 산자용 섬유의 한축을 이루고 있는 방재기능 섬유제품의 개발 및 성능향상을 통하여 국내 섬유산업 구조 개선에 일익을 담당할 수 있을 것이다.



또한, 지구온난화 등 지구환경의 급속한 악화로 인하여 최근 자연재해가 급증하고 있는 상황에서 그 성능이 이미 입증된 방재기능 강화 섬유제품의 개발 및 고성능화를 통하여 국내 지반구조물 보강용도로 적극 확대함으로써 국가재난을 최소화 할 수 있게 된다면 인명 피해는 물론 사회기반시설 등 국가의 사회적 비용을 줄이는 데 크게 기여할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. C. R. Lawson, *GEOTECH 92 Proceedings*, p.7, (1992).
2. R. M. Koerner, *Designing with Geosynthetics 5th Ed.*, 2005.
3. 건기연 06-016, 지오그리드의 공학적 특성 및 장기설계인장강도 평가 연구, 2006.
4. S. E. Lothspeich, *Proceedings of the Second European Geosynthetics Conference*, p.345, 2000.
5. H. J. Koo, *Proceedings of International Fiber Conference 2006*, pp.77-78, (2006).
6. Industry Study 2153, The Freedonia Group, Inc., 2006.

• 조 성 호

1987. 서울대학교 섬유공학과 졸업
 1994. 일본 코토공섬대(KIT) 고분자학(석사)
 2004. 전남대학교 섬유공학과(박사)
 1986-2005. (주)삼양사 중앙연구소 산업자재연구그룹 리더
 2005-현재. (주)삼양사 산자기술연구소 소장
 (305-717) 대전 유성구 화암동 63-2
 전화 : 042-865-8046
 e-mail : chosh@samyang.com

• 차 동 환

1993. 전남대학교 섬유공학과 졸업
 1995. 전남대학교 섬유공학과(석사)
 1995-2005. (주)삼양사 중앙연구소
 2005-현재. (주)삼양사 산자기술연구소 수석연구원

• 조 삼 덕

1979. 연세대학교 토목공학과 졸업
 1990. 연세대학교 토목공학과(박사)
 1984-2006. 한국건설기술연구원
 1993-1997. 국제토목섬유학회(IGS) 한국지부 간사
 1994-1995. 일본건설성 토목연구소 초청연구원
 1997-2001. 국제지반공학회 TC9 기술위원
 1997-2003. "Geotextiles & Geomembranes" 편집위원
 2007-현재. 한국건설기술연구원 토질 및 기초연구실 실장
 한국토목섬유학회 회장

• 심 동 현

1982. 연세대학교 토목공학과 졸업
 1993. 토질 및 기초기술사
 1982-2003. 현대건설 토목사업본부 설계실
 2004-현재. 현대건설 기술개발원 설계실 상무

• 김 흥 관

1991. 전북대학교 섬유공학과 졸업
 2000. 전남대학교 섬유공학과(석사)
 2004. 전남대학교 섬유공학과(박사)
 2007-현재. 한국토목섬유학회 홍보전담이사
 1990-현재. FITI 시험연구원 책임연구원