

# Geosynthetics 개발동향

전한용, 안병욱<sup>1</sup>, 김현중<sup>1</sup>, 김윤진<sup>1</sup>, 최봉돈<sup>2</sup>, 이철민<sup>3</sup>

인하대학교 나노시스템공학부, <sup>1</sup>인하대학교 대학원 섬유공학과, <sup>2</sup>특허청, <sup>3</sup>특허정보연구원

## 1. 서 언

Geosynthetics라는 용어는 geomechanics와 synthetics가 합쳐져서 만들어진 용어로, 1986년에 개최된 국제토목섬유학회(IGS, International Geosynthetics Society)에서 국제통용어로 제안되어 통용되고 있으며, 최근에 사용량이 급증하고 있는 산업용 신 섬유제품이다. geosynthetics에 관한 연구 및 기술 개발도 활발히 진행되어 1977년에 파리에서 제1회 International Geosynthetics Conference가 개최되었고, 뒤이어 2006년까지 7회에 걸쳐 개최된 국제 학술대회를 통하여 수많은 실험적, 이론적 연구논문들이 발표되었다. 이러한 연구들을 통하여 보다 경제적이고 효율적인 제품들이 개발되고, 현장조건을 고려한 특성시험방법들과 geosynthetics의 거동을 규명하는 이론적 해석방법들이 제시되어 만족스럽지는 못하다 할지라도 일반적인 구조물에 대해서는 geosynthetics의 용도별 이론적 해석과 설계 및 합리적인 시공을 할 수 있는 단계까지 도달하였다[1,2]. 우리나라의 경우 geosynthetics가 본격적으로 사용된 1970년대 초기에는 주로 토사의 세굴방지와 여과의 목적으로 이용되었다가 그 후에는 지반의 분리, 보강 또는 배수의 기능으로 널리 이용되어 왔으며 최근에는 방수, 균열방지, 지반구조물 보호, 충격흡수, 폐기물 매립지, 연약지반보강, 터널, 간척지, 도로건설, 옹벽 및 사면보호 등의 목적으로 사용되고 있다. 그리고 SOC 기반구축과 관련된 국책사업들이 진행되면서, 지반구조물 보호 및 방재기능 강화 개념이 도입되어 대단위 항만, 간척사업과 임해공업단지 조성공사가 활발히 진행되면서 연약한 지반조건 개선 및 공사비 절감을 목적으로 대량의 geosynthetics가 사용되는 계기가 마련되었고, 이와 함께 해당 연구과제와 관련된 기술교류 등을 통해 토목기술자와 섬유기술자 사이의 상호협조체제가 형성되면서 geosynthetics의 질적, 양적 성장을 이룩하는 토대가 마련되었다. 또한 국내 건설시장 개방에 대비하기 위해 설계, 시공, 특성시험법 등의 geosynthetics 관련기술의 체계적 정립과 함께 신제품 및 새로운 관련공법 개발, 광의의

geosynthetics 적용방안 연구 등이 절실히 요구되어 왔다[8]. 최근에는 새만금 간척공사와 같이 대규모 간척공사는 물론 고속전철, 지하구조물, 폐기물 매립지 등 geosynthetics 적용 구조물이 다양화, 대형화 및 고난도화 됨에 따라 각 구조물의 안전성 확보를 위한 방재기능 강화 개념과 경제적인 적용 기술의 개발이 요구되고 있는 등 총체적인 재정립이 그 어느 때보다 시급히 요청되고 있다. 하지만 geosynthetics 사용량이 지난 1970년대 초 이래 해마다 급증하고, 또한 활발한 연구 활동을 하여 왔음에도 불구하고 아직까지 각종 토목구조물에 사용되는 geosynthetics의 설계 및 시공방법이 정립되어 있지 못하였다. 이로 인해 geosynthetics를 토목구조물에 적용 시 이론적인 측면보다는 경험적인 측면에서 설계와 시공이 이루어지고, 설계 시 안정적인 보강재로서의 기능성보다 경제성 위주의 설계반영으로 인해 현장여건에 적합하지 못한 geosynthetics 제품들이 사용되었으며, 적절치 못한 설계, 시방의 혼란 등의 문제점이 현재 다수 발생되고 있다. 또한, 생산업체도 제품개발 투자보다는 전문 판매 분야에만 매달리고 있어, 이러한 형태가 우리나라 geosynthetics 기술발전에 큰 저해요인으로 작용하고 있는 실정이다.

본 고에서는 매년 그 사용량이 급격히 증가하고 있는 geosynthetics 제품 및 기술개발 동향에 대한 전반적인 내용을 소개하기로 한다.

## 2. Geosynthetics 제품 및 용도

Geosynthetics 원료로는 steel fiber, glass fiber, asbestos fiber 등과 low modulus fiber 인 폴리프로필렌, 폴리아미드, 폴리에틸렌, 폴리에스터 섬유 등과 특수한 용도와 기능을 부여하기 위하여 polyurethane, glass, carbon, aramid, acrylic, PVA fiber 등이 사용되고 있다. 또한, geosynthetics 제품으로는 지오웹(geoweb), 지오그리드, 지오멤브레인, 지오텍스타일, 플라스틱 드레인 보드, 지오투브, 지오킴포지트 등을 들 수 있으며, 환경친화적인 복합화 제품들도 있다[3]. Table 1에 섬

# 특 집

● 전한용, 안병욱, 김현중, 김윤진, 최봉돈, 이철민

Table 1. 섬유고분자 원료와 geosynthetics 제품

섬유고분자 원료	Geosynthetics 제품
폴리에틸렌 (polyethylene, PE)	· 지오텍스타일 · 지오멤브레인 · 지오그리드 · 지오파이프 · 지오네트 · 지오컴포지트
폴리프로필렌 (polypropylene, PP)	· 지오텍스타일 · 지오멤브레인 · 지오그리드 · 지오컴포지트 · PBD(prefabricated board drain)
폴리비닐클로라이드 (polyvinyl chloride, PVC)	· 지오멤브레인 · 지오컴포지트 · 지오파이프
폴리에스터 (polyester, PES)	· 지오텍스타일 · 지오그리드 · PBD(prefabricated board drain)
폴리아미드 (polyamide, PA)	· 지오텍스타일 · 지오컴포지트 · 지오그리드
폴리스티렌 (polystyrene, PS)	· EPS · 지오컴포지트
유리섬유(glass fiber), 폴리비닐알코올(polyvinyl alcohol, PVA), 탄소섬유(carbon fiber) 등	

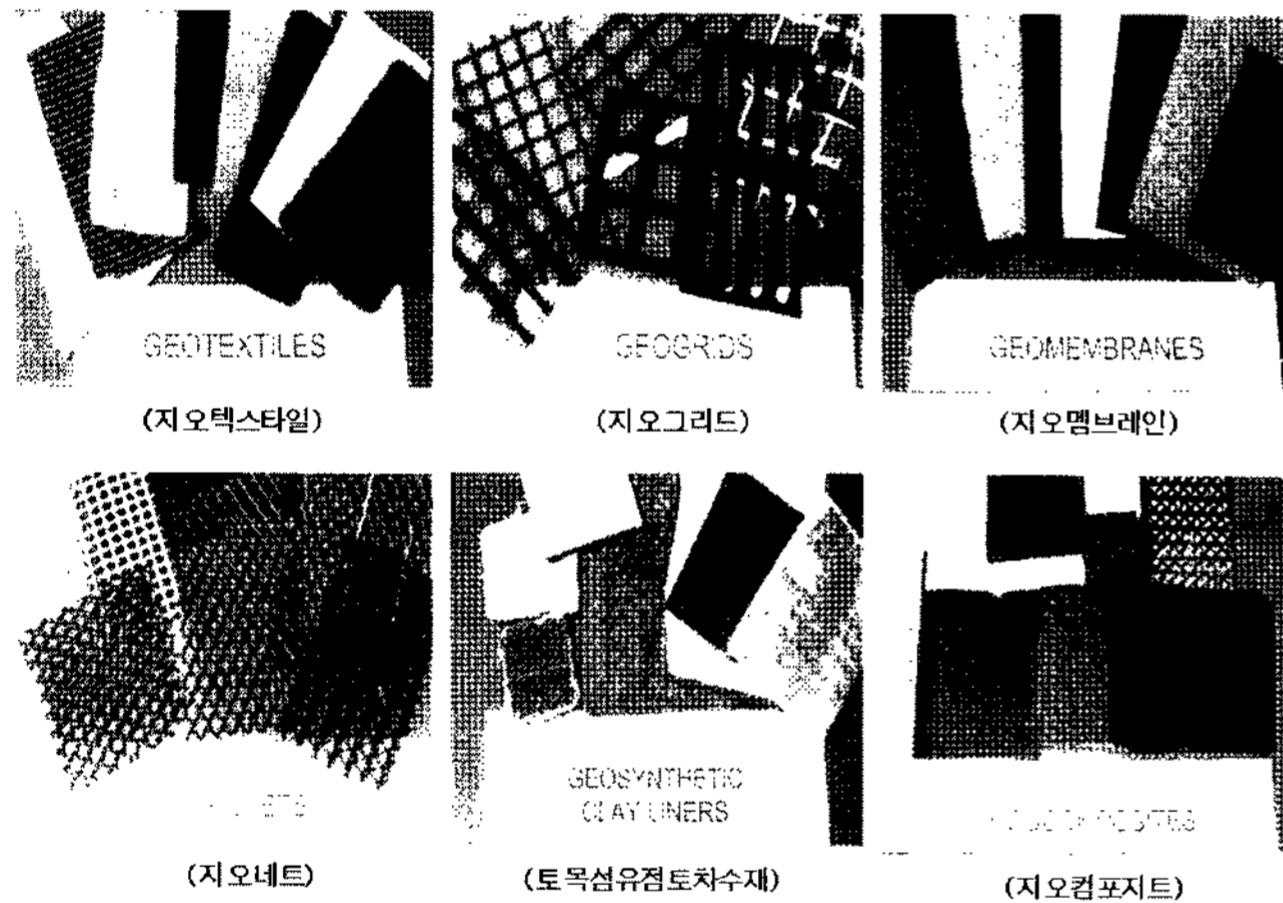


Figure 1. 대표적인 geosynthetics 제품 종류.

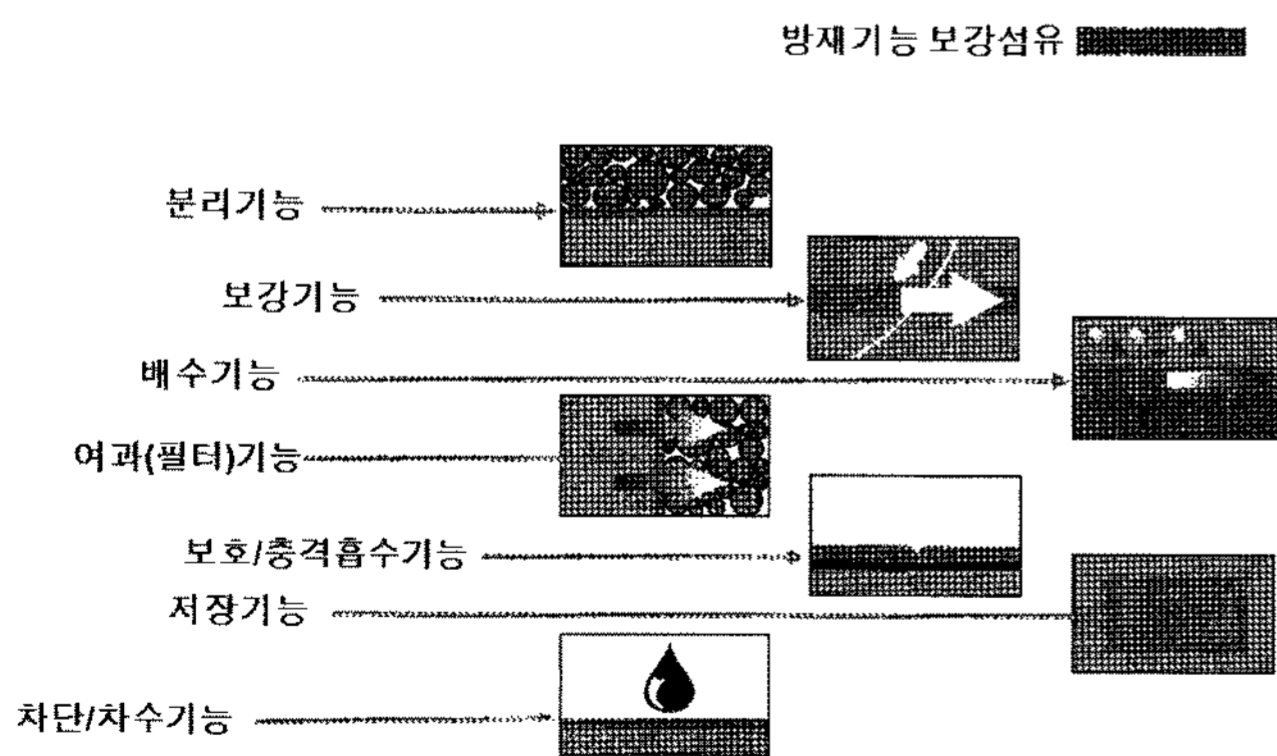


Figure 2. Geosynthetics의 기능.

유고분자 원료와 geosynthetics 제품을 Figure 1에 대표적인 geosynthetics 제품 종류를 각각 나타내었다.

일반적으로 geosynthetics는 기능(Figure 2)이 알려져 있어 대부분 특정 용도별로 시공되어지는 이른바 맞춤형재료(tailor-made materials)의 성격을 띠고 있으며, 장기성능은 적용 구조물의 안정성과 밀접한 관계를 가지고 있다. 특히, 지속적인 신공법 및 신기술 등 실용화 기술의 개발로 인하여, 단순제품의 틀을 벗어나 복합화 제품, 환경친화형/환경일체형/환경적응형 제품, 하이브리드(hybrid) 또는 스마트(smart) 개념의 고성능, 고기능 제품에 대한 수요 및 필요성이 대두되고 있으며, 이에 부응하여 평가방법의 개발 및 선진화도 꾸준히 진행되고 있다. 한 예로, 일본에서의 geosynthetics 사용 연간 증가율은 약 7%정도이며, 1993년에만 9,100만 m<sup>2</sup>가 사용되었고, 북미지역의 경우 최근 들어 직포의 사용은 격감한 반면 부직포 및 지오그리드, 지오멤브레인 등의 사용이 증가하고 있다. 더욱 중요한 사실은 극한 환경 적용 및 재해방지, 개보수, 복구용 등의 방재기능 강화섬유 제품분야의 기술 및 시장 분석을 통해 지반 구조물의 안정성을 증대시키는 장기성능 향상 기능의 고성능 geosynthetics 소재 및 제품 개발이 융복합 기술과 관련되어 있다는 것이다. 이를 감안하면, 향후 FTA 이후 국내 건설시장 개방에 대비하기 위해 설계, 시공, 특성시험법 등 관련 기술의 체계적 정립과 함께 신제품 및 새로운 공법 개발과 관련된 광의의 geosynthetics 적용방안에 대한 연

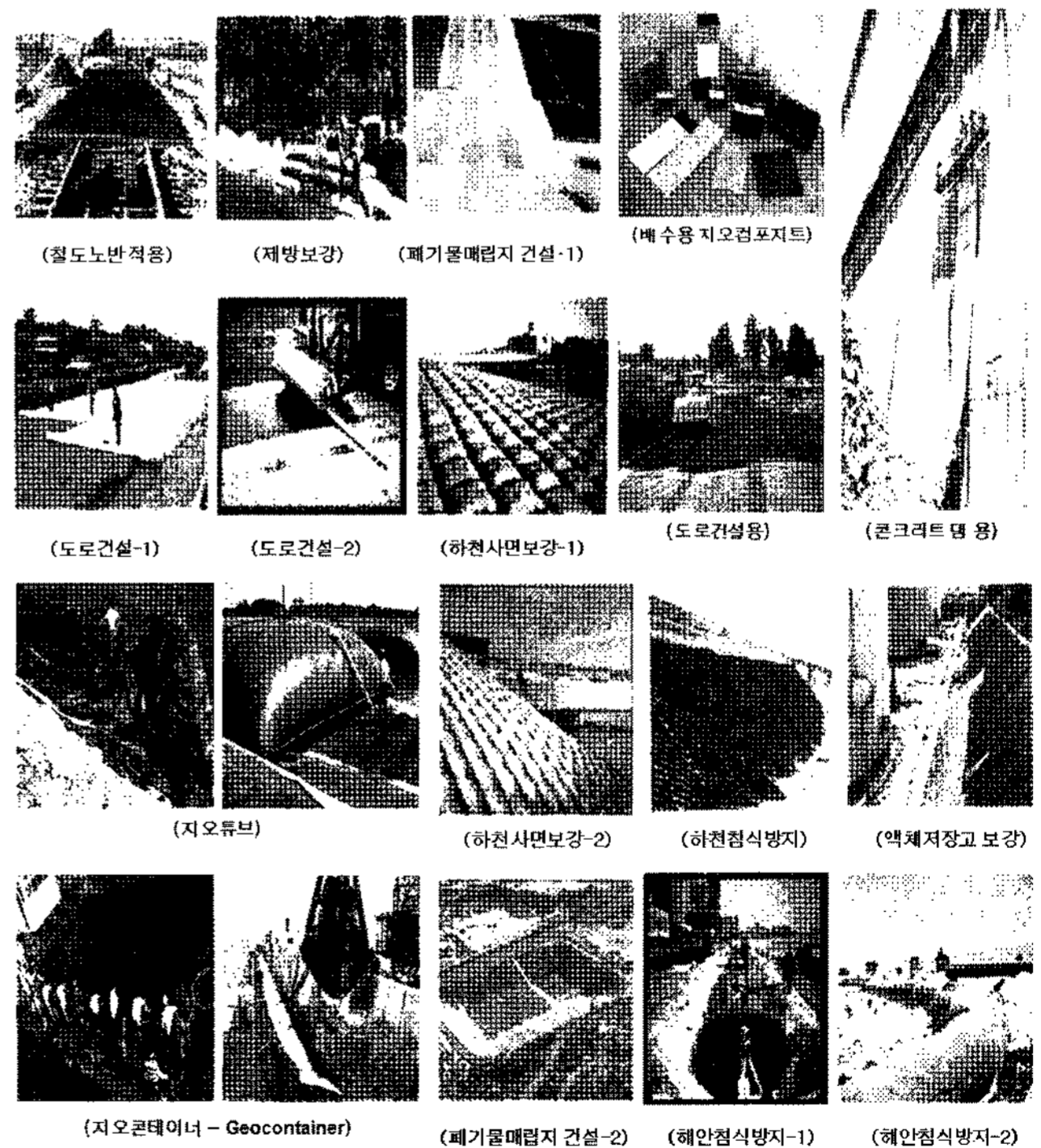


Figure 3. Geosynthetics의 용도.

**Table 2.** Geosynthetics의 세부 적용분야 및 주요 용도

세부적용분야	주요 용도
방조제, 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토사입자의 유출방지로 인한 사면보호</li> <li>· 세굴방지와 불균등 침하방지</li> <li>· 수중의 초연약지반과 성토재의 탁월한 분리효과</li> <li>· 구조물의 안정화</li> </ul>
도로, 비행장	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지지력 보강으로 전단파괴 방지</li> <li>· 보조기층의 유효두께 유지</li> <li>· 노상과 노반의 분리와 포장의 균열방지</li> </ul>
연약지반 단지조성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연약지반의 지지력보강과 부등침하방지</li> <li>· 보강토 옹벽</li> <li>· 연약지반의 조기압밀축진</li> <li>· 지중의 과잉간격수압의 저하</li> <li>· 성토재와 불량토의 분리와 중장비용 도로확보</li> </ul>
운동장, 철도, 터널	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 과잉공극수 배수와 지반의 지지력 보강</li> <li>· 양질토와 불량토의 혼합방지와 쇄석의 노상유입방지</li> <li>· 터널의 배수유도와 토사유입방지</li> </ul>
흙댐, Rockfill 댐	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 댐 상류부와 하류부의 사면보호</li> <li>· 초과수량에 의한 댐 하류부의 침식방지</li> <li>· chimney 배수재료와 블랭킷 재료</li> <li>· 댐 구조물의 안정화</li> </ul>
쓰레기 매립장, 호수	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 라이닝 재료와 그 파손방지</li> <li>· 라이닝 하부의 집수된 물의 배수</li> <li>· 라이닝 하부의 연약지반 보강</li> </ul>
하천, 운하 간척사업	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 부유되어 있는 오탁입자의 유동을 최소화</li> <li>· 수산자원과 주변 환경보호</li> </ul>
거푸집용	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 콘크리트 매트 타설용 수중거푸집</li> <li>· 해안구조물의 말뚝기초 보수</li> </ul>

구와 기술개발의 필요성이 매우 절실하다고 볼 수 있다.

Figure 3과 Table 2에 geosynthetics의 세부 적용분야 및 주요 용도를 각각 나타내었다. geosynthetics 산업의 가장 큰 시장을 형성하고 있는 미주 및 유럽의 제품 및 시공기술은 지속적으로 성장하고 있으며, 차세대 geosynthetics의 기술발전과 구체적인 적용방법을 위해 경제적인 설계방법과 시공방법도 병행, 발전하고 있다. 특히 geosynthetics 산업은 새로운 시공방법과 더불어 급성장할 수 있는 잠재력을 가지고 있는 분야로 표준화 및 관련시험법, 구조물의 합리적인 설계와 시공방법 및 효율적인 시공장비 등의 개발 등이 수반될 경우 토목건설분야는 물론 운송, 해양, 환경분야 등에 이르기까지 용도가 확장될 것으로 기대된다.

### 3. Geosynthetics 시장 동향[4-7]

Table 3에서처럼 geosynthetics 세계시장은 1996년부터 2011년까지의 약 200%의 괄목할만한 성장을 예측할 수 있으며, 제품별 수요 예측 성장률도 유사한 경향을 나타내고 있다.

**Table 3.** Geosynthetics 세계시장의 제품별 수요 예측 성장률

SUMMARY TABLE						
GEOSYNTHETICS DEMAND (million square yards)						
Item					% Annual Growth	
	1996	2001	2006	2011	01-96	06-01
Nonbldg Construction Expend (bil 96\$)	115.5	135.6	149.0	166.0	3.3	1.9
sq yds-000\$ construct	4.87	5.23	5.81	6.33	..	..
Geosynthetics Demand	263	709	865	1059	4.7	4.1
Geotextiles	425	532	650	790	4.6	4.1
Nonwovens	315	410	514	640	5.4	4.6
Wovens/Knits	110	122	136	150	2.1	2.2
Geomembranes	70	85	100	115	4.0	3.3
Geogrids	23	33	42	55	7.5	4.9
Geonets	20	24	28	32	3.7	3.1
Other Geosynthetics	25	35	45	58	7.0	5.2
\$/sq yd	1.59	1.55	1.53	1.49	-0.5	-0.3
Geosynthetics Demand (mil \$)	593	1100	1320	1560	4.3	3.7

Source: The Freedonia Group, Inc.

고성능 보호/보강용 지오펜복합재의 2005년 세계시장 규모는, 북미와 유럽지역의 시장규모가 전체의 75%를 차지하고 있으며, 고성능 보호/보강용 지오펜복합재의 중간재로 이용되는 산업용 섬유원료의 수요는 북미(30.4%), 유럽(27.4%)을 중심으로 아시아(31.4%) 지역이 급성장 중이다. 아시아의 경우 산업용 섬유시장은 90년대 7% 이상의 고성장을 하였으며, 이후 5%대의 성장을 지속. 특히 방재기능 보강용으로 사용되는 섬유의 경우 2000년도까지는 약 10%의 성장을 보였고 2005년까지도 약 7%의 높은 성장세를 나타내고 있다. 최근 중국은 2001-2005의 기간 중에 약 USD 115.6 billion을 물의 보관과 공급을 위한 인프라 구축에, USD 108.5 billion을 전력시설 구축에, USD 84.3billion을 환경 보존을 위한 사업을 위해 사용하였으며, 또한, 도로, 철도와 같은 교통 시설의 확충에도 막대한 비용을 투자하고 있어 이에 따른 수요도 급속히 증가하여, 현재 세계에서 가장 큰 시장을 형성하고 있다. Figure 4에 나타낸 바와 같이 북미지역의 geosynthetics 용도별 시장 규모는 연약지반보강분야가 제일 크며, 도로포장 건설, 폐기물 매립지 순으로 되어있다. 해외시장의 경우 주로 선진국의 화석관련 대기업들이 기술을 주도하고 있으며, 대표적인 기술 보유업체로는 DuPont, Freudenberg, Colbond, BBA, Tusco 등이 있으며, 거의 대부분의 사용소재가 극히 일부분의 선진국 대기업들에 의해 공급되는 실정이다. 전 세계의 2005년도 geosynthetics 수요량은 약 20억 yd<sup>2</sup>이며, 금액으로는 약 40억 달러에 해당하고, 대륙별 시장으로는 크게 북미지역, 유럽, 아시아/태평양, 기타지역 등으로 분류하며, 지역별 시장 수요는 북미지역이 45%, 유럽 30%, 아시아/태평양 20%, 기타 지역 5% 등으로 구분된다. 세계적으

GEOSYNTHETICS DEMAND BY MARKET, 2001  
(709 million square yards)

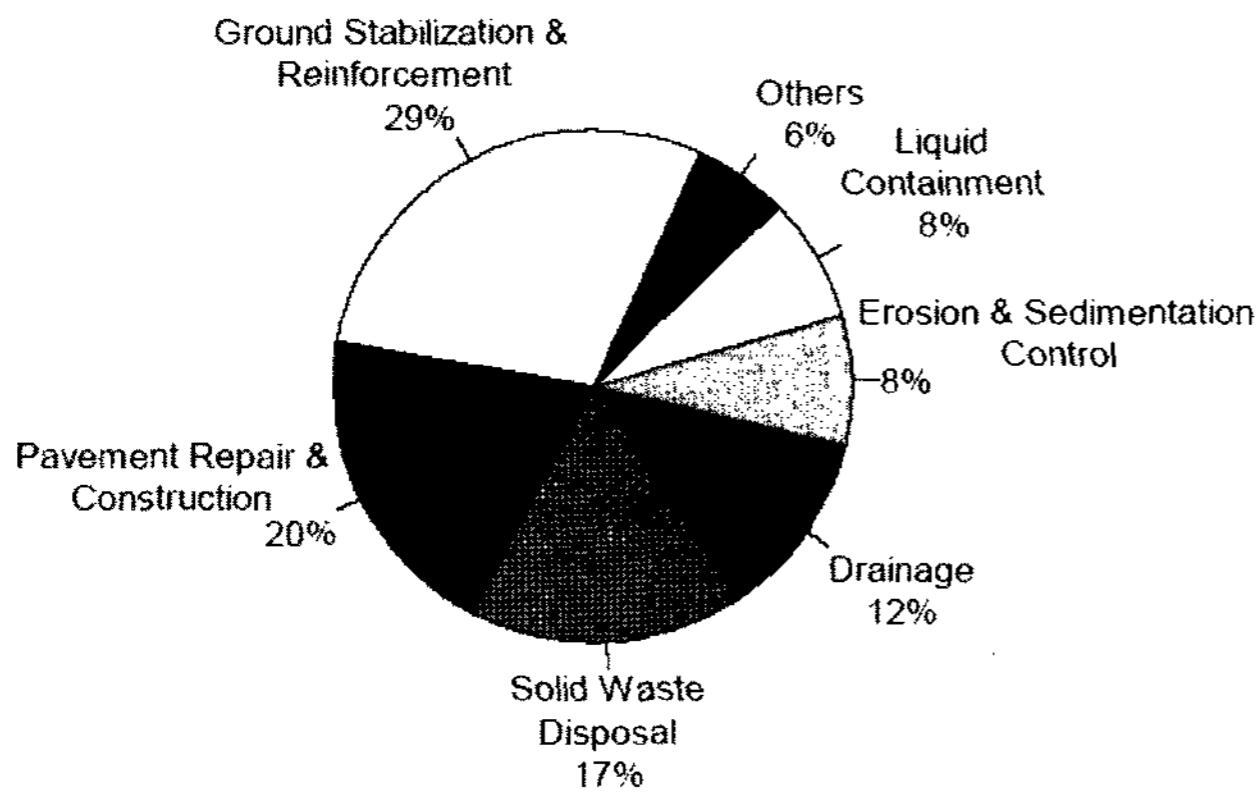


Figure 4. 북미지역의 geosynthetics 용도별 시장 규모.

로는 시장의 성장성이 연평균 5~8% 이상으로 꾸준한 고성장으로 예상되어지고 있으며, 시장 증가의 주요 요인은 아시아/태평양과 기타 지역(남미, 중동)들의 국가적 사회기반산업의 지속적인 구축 및 건설 확충 등에 있다고 판단된다. 선진국 시장의 대표적인 시장인 미국시장을 살펴보면, 전체 geosynthetics 수요량은 2010년까지 연 4.4%의 성장률로 8.7억<sup>2</sup>이고 시장 금액으로는 연 5.2%의 성장률로 약 18억 달러가 예상되며, 적용 분야별로는 일반 건설 분야의 보강재가 71%, 폐기물 매립장 보강재 16%, 도로 및 기타 건설 분야에 약 13%가 사용되고 있다.

북미, 유럽 등 선진 시장에서는 향후 약 5%의 지속적인 시장 성장이 예상되며, 아시아에서는 중국에서 막대한 사회간접자본의 지속적인 투자로 약 15% 이상의 고성장이 2010년까지 예상되고, 신흥 시장으로 인도와 동남아 지역의 개발 국가들에서 높은 수요를 계속 이어가며 고성장을 유지할 것으로 예측된다. 한편, 국내의 경우 활성화되어있는 지반구조물 보강제품인 지오그리드는 블록형 보강토 옹벽의 급속한 보급으로 인하여, 국내 시장은 1990년대 말부터 2004년까지 연평균 약 15%에 달하는 높은 시장성장률을 나타내었으나, 2004년도 이후부터 최근 수년간 국가의 기간산업정책의 변화와 토목건설분야의 경기침체로 인하여 성장률이 연평균 5% 수준으로 둔화되었다. 하지만 2008년도 이후부터는 실용정부의 대형 국책건설사업 등의 정책적인 여건 변화와 토목건설 경기의 종전 수준으로의 회복이 예상되며, 이에 따른 지오그리드의 수요도 높은 증가율을 보일 것으로 예상된다. 또한 보강토옹벽 보강 이외에 연약지반, 보강사면, 도로 및 철도분야, 기타 건설 분야에서의 지오그리드 사용에 대한 적용공법의

연구가 활발히 진행되고 있으며, 환경친화적인 공법의 필요성이 대두되면서 하천, 수로 정비와 함께 지방 자치단체별 위생 매립지의 확충 등의 새로운 시장수요 요소가 발생하므로, 전통적인 전면블록형 보강토공법이라는 용도 이외에 추가적인 수요도 상당히 발생할 것으로 기대된다. 국내시장의 경우, 2008년 이후에는 행정도시와 위성도시개발 등의 정책현안이 정리되고, 국내 부동산 및 토목건설 경기가 회복된다면 사회간접자본 투자의 확대와 함께 약 10% 정도의 고성장세를 회복할 것으로 예상된다. 1986-1995년 기간 동안 북미에서 사용된 지오텍스타일의 물량을 연도별 및 용도별로 조사한 결과를 보면 북미에서의 지오텍스타일 사용량은 매년 약 5% 정도의 성장을 보이고 있으며, 용도별로 보면 지반안정/분리 및 아스팔트 오버레이, 라이닝 시스템 등이다. 미국의 경우 지구 온난화로 인한 더 강력해진 열대성 저기압으로 인한 태풍, 폭우 등에 의해 피해 사례가 해마다 증가하고 있고, 그 피해 규모도 해마다 급속하게 증가 추세로 기존의 수동적인 방재 개념에서 자연 재해로부터 적극적인 방재 개념, 즉 예방 분야에 많은 연구, 개발 및 투자가 이루어지고 있다. 특히 기존의 단순한 보강 기능에서 성능이 월등하게 향상된 고성능 보호/보강용 지오펜포지트에 대한 관심이 매우 많으며 이 분야에 대한 연구, 개발이 활발히 이루어지고 있다. 국내의 경우 선진 외국과는 달리 고성능 보호/보강용 지오펜포지트 사용량이 증가하는 경향을 보이며, geosynthetics의 성능을 크게 향상시킬 수 있는 지오펜포지트에 대한 연구 개발이 지속되고 꾸준하게 제품의 생산량이 증가하는 추세이다(Figure 5).

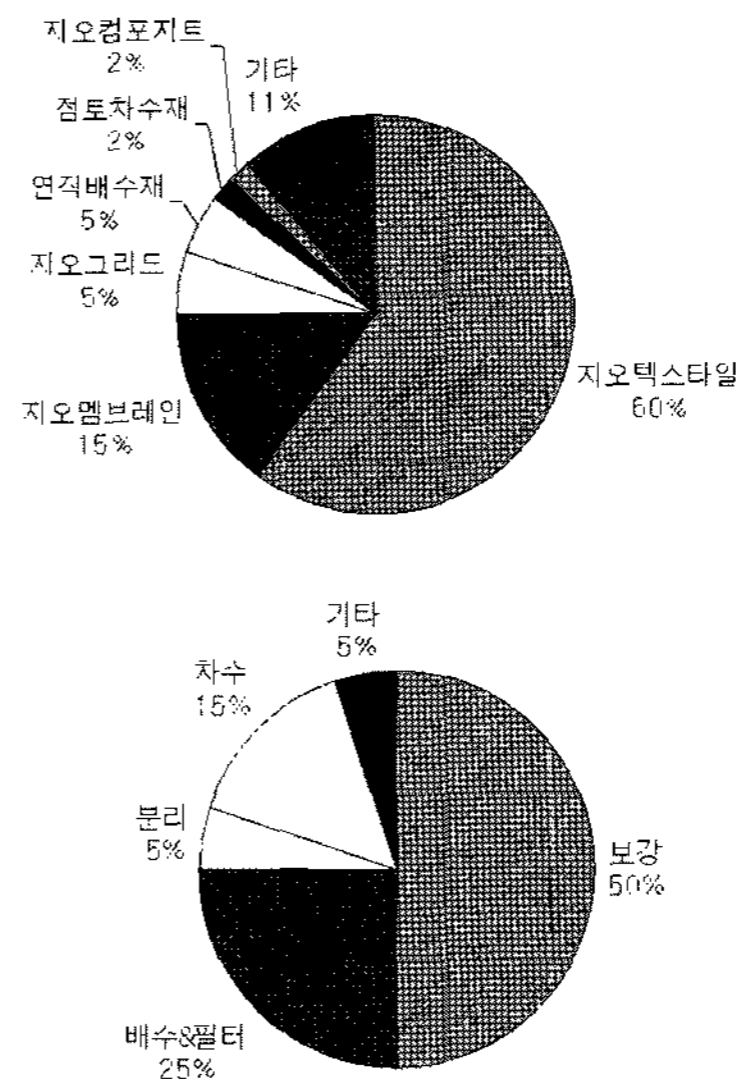


Figure 5. 국내 geosynthetics 제품 및 용도 현황.

또한, 세계적인 인프라 확충(공항, 항만, 주택 및 공업 용지) 공사가 계속 추진 중에 있어 시장성장율은 전조한 성장세를 유지할 전망으로 여겨지며, 또한, 국내에서도 항만, 공단, 도로, 주택 및 공업 용지의 지속적인 투자가 이루어지고, 연약지반이 많은 서남해안 지역의 개발이 증가하고 있기 때문에 사용량은 계속 늘어나고 있는 추세이다. 북미, 유럽

등 선진 시장에서는 향후 약 5%의 지속적인 시장 성장이 예상되며, 아시아에서는 중국에서의 막대한 사회간접자본의 지속적인 투자로 약 20%에 달하는 고성장이 최소한 2008년 북경올림픽과 2010 상해엑스포 등을 치르게 되는 2010년도까지는 지속 예상되고, 이후의 신흥 시장으로 인도를 비롯한 동남아 개발국가 지역의 후발 개발 국들에서도 지속적인 높은 수요를 창출하고 이어가며, 시장에서의 고성장을 유지할 수 있을 것으로 예측된다. 국내 시장의 경우, 2008년 이후로는 정부의 행정도시 토지보상 및 다수의 위성도시 개발, 부동산 안정화 정책 등의 현안 국가 주요 정책들이 정리 안정화되고, 국내의 부동산 및 토목건설 경기가 회복되어진다고 하면 보다 한 단계 높은 환경친화형 및 고도의 안정형 사회간접자본투자의 확대와 함께 연평균 약 10% 이상의 고성장세를 다시 회복할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 화학섬유의 과잉생산은 섬유제품의 부가가치 하락을 가져 왔으며, 이를 해결하기 위하여 1990년대부터는 기능과 성능이 강화된 섬유제품의 개발이 집중적으로 이루어지고 있고 섬유제품의 품목에 대한 주도권도 점차 변할 것으로 예상된다. 최근 생활이 복잡해지면서 발생빈도가 증가하는 자연 및 사회적 재앙에 대비하기 위한 geosynthetics 개발에 대한 관심이 고조되고 있으며, 위험환경에 대처하기 위한 소재는 특수한 상황에 대응하기 위한 다기능성(multi-functionality)과 극한성능(extreme-performance)을 동시에 가져야 하므로 기존소재의 일부 개질(partial modification)이나 보완보다는 분자설계(molecular design)와 같은 방법으로 새로운 소재를 개발하는데도 주력해야 할 것이다. 최근의 geosynthetics 는 주로 고기능/고성능을 갖는 21세기 건설 재료로 기대되지만 토목·건축 분야에 있어서의 보수보강 재료로서 확대 적용되기 위해서는 재료의 특성 파악, 내구성을 포함한 재료특성의 신뢰성 파악과 내구성의 평가 방법 확립, 내열, 내화 성능의 파악과 성능의 향상, 품질의 규격화 설계법의 확립, 새로운 성능/기능성의 발굴(부가가치의 부여) 등이 절대적으로 필요하다. 이와 같이 geosynthetics 는 개질에 의한 소재 아이템 개발과 용도확장에 대한 잠재력이 매우 큰 산업이며 향후 섬유분야와 토목, 건설, 운송, 해양, 환경 분야들을 망라하여 커다란 연결망을 구축할 수 있는 중요한 위치에 있다고 생각된다.

#### 4. Geosynthetics 의 기술개발 동향

특수한 용도와 기능을 부여하기 위하여 polyurethane 계, glass 계, carbon 계 고분자들이 매우 제한된 분야에 적용되

기도 하며, 고분자 재료를 이용한 geosynthetics의 수요창출이 증가함을 짐작할 수 있고, 각종 첨가제의 개발과 병행하여 PVA 등을 이용한 새로운 기능성 제품의 개발이 기대된다.

부직포 지오텍스타일의 경우 이미 재생 폴리에스터 원료를 사용한 토목용 섬유가 제조, 판매되고 있으며, 환경 친화적인 측면에서 재활용 고분자 재료에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있으나, 재활용 고분자 재료를 사용하여 제조된 토목용 섬유의 경우 물성 저하가 발생하므로 향후 이를 보완하거나 개선해야만 하는 문제점이 있다. 지오텍스타일의 경우 직포는 1,000~3,000 데니어 정도의 실을 연사하여 사용하며 부직포는 니들펀칭 공정을 이용하여 중량  $\sim 3,000 \text{ g/m}^2$ 의 제품을 제조하고 장섬유의 경우 스펀본드 공정으로 중량 200~800  $\text{g/m}^2$  정도로 적층하여 니들펀칭 또는 열융착 등의 방법으로 제조하는 기술이 개발되었다. 지오그리드의 경우 경사방향인 리브에 높은 인장강도를 부여함으로 도로의 기초 지반과 포장층의 보강, 제방과 사면의 보강 및 보강토 옹벽공사 등에 필요한 새로운 토목·건설공법의 개발과 더불어 시공현장에 알맞은 지오그리드의 개발과 그 특성에 관한 중요성이 더욱 크게 요구되고 있으며 부가되는 하중의 크기에 상관없이 경위사 방향으로 신도가 낮고, 보강재로서 기능이 우수한 지오그리드 및 그 제조방법의 개발이 절대적으로 필요하다. 지오웹 또는 지오셀은 침식방지와 지반보강용으로 널리 사용되고 있으며, 서로 연결된 셀은 흙 등의 채움재로 채워지고 제방을 쌓는데 기초 보강재 역할을 하며 연약지반의 얇은 퇴적물 위에 보강, 분리용으로 적용되기 때문에, 점진적인 stacking과 지오셀층 위에 다른 층을 채우는 경사 건설에 사용할 경우 현재 HDPE를 사용하지 않고도 분리 및 보강기능을 수행할 수 있는 제품들이 개발 중이다. 환경친화적인 geosynthetics 개발은 현재까지 상용화 및 범용수지에 가장 접근해있는 옥수수 전분을 이용한 PLA(poly-lactic acid) 섬유가 주목받고 있으며, 국내에서도 PLA 섬유에 대한 연구가 2~3년 전부터 본격적으로 진행되고 있으며 핵심기술이라고 할 수 있는 원료, 제조공정라인 관련기술, 물성 평가기술, 용도 적합성 관련기술 등은 여전히 미주 및 유럽에 의해 주도되고 있다. 선진국의 경우 단순 제품의 용도가 줄어들면서, geosynthetics의 다양한 복합화 기술 및 제품 개발이 극미의 관심사가 되어 분야별 관련 산업의 선진화가 진행되고 있는 반면에 국내 geosynthetics 관련 산업은 연구개발 및 기술력에 대한 know-how가 부족한 실정에 국내외적인 경제 유동성에 크게 영향을 받아 국제적인 선진화 추세에 부응하지 못하고 있는 실정이므로 이에 대한 정부지원 차원에서의 강력

한 지원방안이 강구되어야만 할 것으로 판단된다. 섬유와 부직포 및 직물을 이용하여 콘크리트의 균열을 방지하고 역학적 특성을 향상시킬 목적으로 탄소섬유, 금속섬유, 아라미드 섬유, 유리섬유 등이 주로 사용되며 이에 대한 시장도 점차 커지며 성능향상을 위한 연구 및 개보수하여 성능을 높이기 위한 기초 연구도 많이 진행되어야 한다. 또한 나일론, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리에스터 등이 아닌 고강도 저신율 슈퍼섬유 및 하이브리드사를 이용하여 균열에 의한 저항력의 증가, 균열된 부분의 공유, 열 변화 및 열 수축에 대한 저항력 증가, 내구성의 향상 등의 개선을 기대하기 위한 제품 개발이 진행되어야만 한다. 최근 강화 섬유 중 탄소섬유가 토목·건축 분야에서 폭발적으로 신장한 계기는 많은 대지진 이후 기존 구조물의 보수보강 적용이 주목되었고, 이 분야에서의 시공 실적이 비약적으로 증대됨을 입증하고 있다. 고성능 섬유, 즉 탄소 섬유 자체는 비싸지만 작업비가 저렴하므로 결과적으로 이 공법이 교각이나 건물의 보수 보강용에 그 수요가 폭발적으로 증대되고 있으며, 또한 건축분야에서도 철관을 보강하면 무거워지므로 구조물에 대한 하중이 커지기 때문에 토목건축 분야에 대한 탄소섬유의 수요가 증가되고 있다. 미국의 geosynthetics 관련 사업은 GSI (Geosynthetic Institute)라는 컨소시엄을 중심으로 연구개발이 진행되고 있으며, 이 컨소시엄은 geosynthetics 소재 개발, 제조공정에 대한 연구, 용도 개발, 품질 기준 등을 만들고 있다. 주요 연구 테마로는 HDPE, VFPE의 수명 예측에 대한 연구, FPP geomembrane 개발, PP and PET geotextile 개발, geomembrane, geocomposite의 crack, stress-strain relation 등 역학적 성질에 대한 연구 등 geosynthetics 관련 재료들의 다양한 연구를 진행하고 있다. 한편, 유럽의 경우에는 네덜란드, 영국, 독일, 프랑스를 중심으로 관련 업체들이 연구 활동을 하고 있으며 일본도 신소재 개발과 더불어 용도확장에 큰 관심과 연구를 집중하고 있다. 지오펜합재(geocomposite)는 주로 중량이 큰 (1500 g/m<sup>2</sup>~) 부직포와 split yarn을 이용한 매트형태의 직포가 사용되며 접착제를 사용하거나 열융착법을 이용하여 부직포/지오펜합재, 부직포/부직포, 부직포/매트, 매트/매트 부직포/지오펜합재 등의 형태로 생산되고 있다. 지오펜합재의 경우 수분에 의한 수축이나 변형이 발생해서는 안됨. 또한 부직포 필터는 인장력이 커야하며, 투수효과가 탁월해야하고, 막힘현상(clogging)이 없어야 하며, 산, 알칼리, 염분 등에 대한 내구성이 좋아야만 한다. 침식방지 및 사면보호용 geosynthetics로는 폴리에스터 섬유의 이중 직물형태인 섬유 거꾸집과 Nylon 6 또는 PVC로 만든 3차원 입체망상형태의

패브릭폼(fabric foam), 항만 등의 간척공사의 오타수 확산을 방지하는 오타방지막 등과 대규모 침식 방지용으로 고강력 저신율 지오펜합재를 활용한 지오펜합재(geotube), 지오펜합재(geobag) 등이 있으며, 바지선을 활용하여 해상 준설매립에 이용되는 지오펜합재(geocontainer) 및 사면보호 및 침식방지용 gabion 등이 개발되고 있다.

## 5. Geosynthetics 의 특허 동향

geosynthetics 분야의 전체적인 동향을 살펴보면, 1983년도 출원을 시작으로 1990년도 초부터 출원건수가 급격하게 증가하기 시작하여 현재까지도 활발한 출원이 이루어지고 있다. 일본특허의 출원 동향은 1980년대 중반부터 꾸준히 특허 출원을 하고 있으며 완만한 특허건수의 성장을 보이다가 1993년도부터 출원건수가 가파른 상승을 보이다 2000년 이후 출원건수가 다소 완만히 하강하는 경향을 보이고 있다(Figure 6). 미국특허의 출원동향을 살펴보면, 1990년대 중반 다소 출원건수가 상승하나 10여 건 안팎의 꾸준한 특허출원활동을 나타내고 있으며, 유럽특허의 출원 동향은 미국과 마찬가지로 전 구간에 걸쳐 가파른 상승이나 하강 없이 꾸준한 10건 내외의 특허출원활동을 보이고 있다. 미국 세부 기술별 특허 건수 및 점유율은 지반구조물 보강안정화 방재기능 섬유제품이 40%(73건)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 뒤를 이어 침식방지 및 사면보강 방재기능 섬유제품이 30%(54건)이며, 환경 오염방지 및 정화용 섬유제품 9%(16건) 및 고성능 지반구조물 보강용 섬유제품 개발 분야가 8%(15건)의 점유율 순이다. 일본 세부 기술별 특허 건수 및 점유율은 침식방지 및 사면보강 방재기능 섬유제품과 지반구조물 보강안정화 방재기능 섬유제품이 각각 28%(98건), 26%(91건)로 전

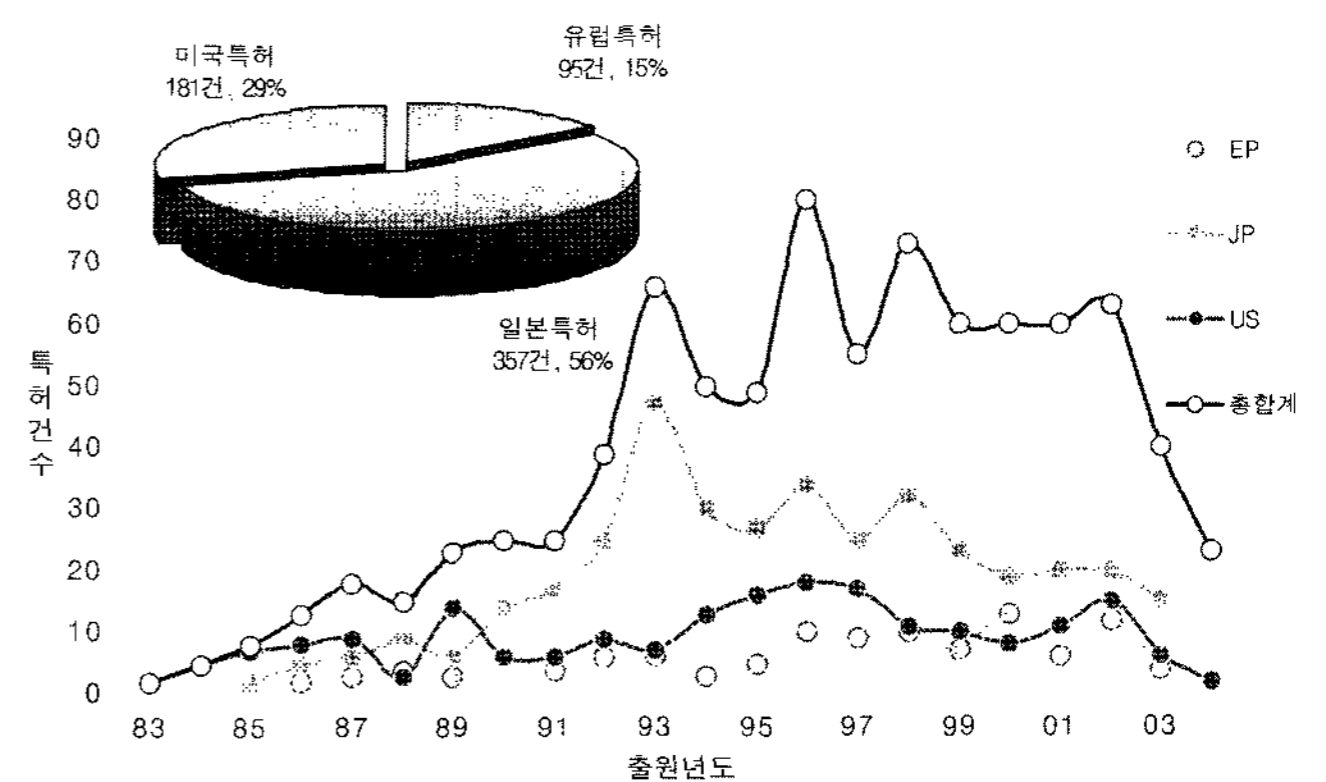


Figure 6. Geosynthetics의 특허공보별 점유율 및 특허건수 추이.



Figure 7. 특허분석을 통한 geosynthetics 기술별 점유율.

체 토목용 섬유 특허출원의 과반수 이상을 차지하고 있으며 환경 오염방지 및 정화용 섬유제품 12%(43건) 순이다. 유럽의 세부 기술별 특허 건수 및 점유율은 지반구조물 보강안정화 방재기능 섬유제품과 침식방지 및 사면보강 방재기능 섬유제품이 각각 43%(40건)와 27%(26건)로 geosynthetics 분야의 대다수를 차지하고 있으며, 환경 오염방지 및 정화용 섬유제품 14%(13건)와 도로개보수용 융합형 토목섬유제품 분야가 6%(6건)의 점유율로 뒤를 잇고 있다(Figure 7).

한편, 국내 출원 동향을 살펴보면, 1990년대 중반부터 출원건수가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 다른 국가(미국, 일본 및 유럽)의 특허수와 비교하면, 한국특허는 197건으로 전체에서 약 24%를 차지하고 있다. 한국특허의 경우 1990년대 초반까지는 특허건수가 매우 저조하였으나 1990년대 중반 이후에 출원건수가 급격히 늘어나기 시작하였으며, 한국 특허

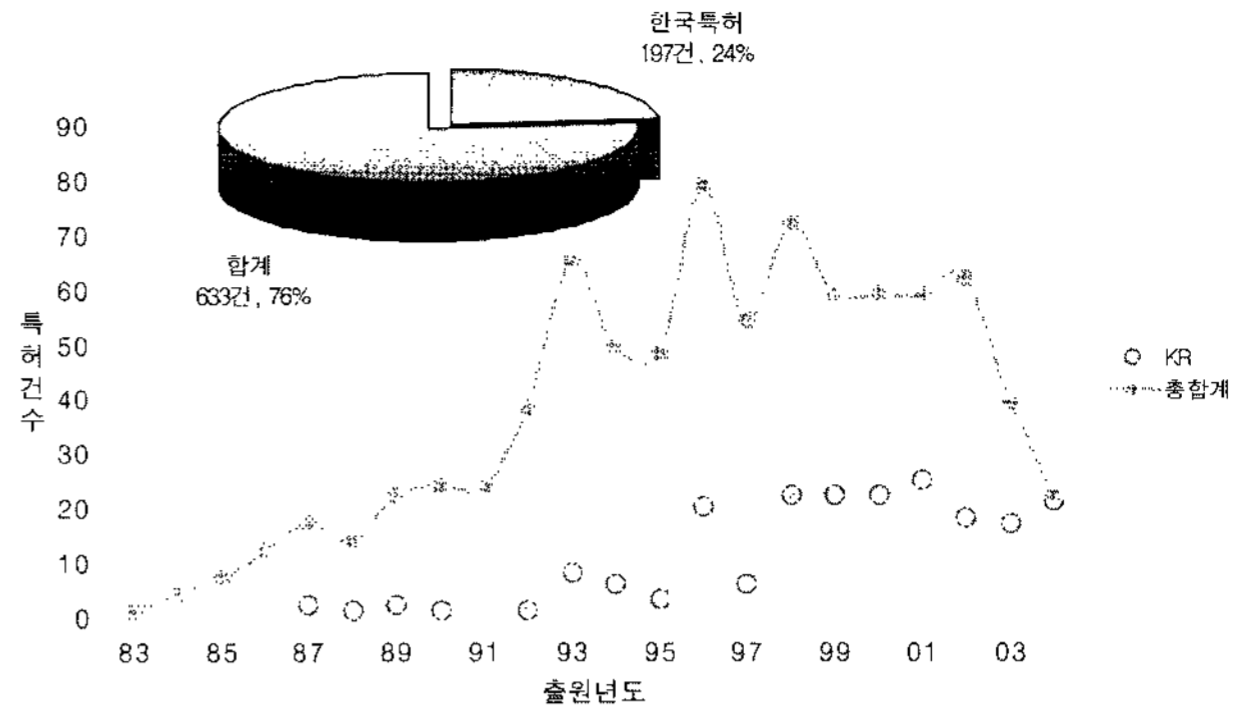


Figure 8. 국내 geosynthetics의 특허공보별 점유율 및 특허건수 추이.

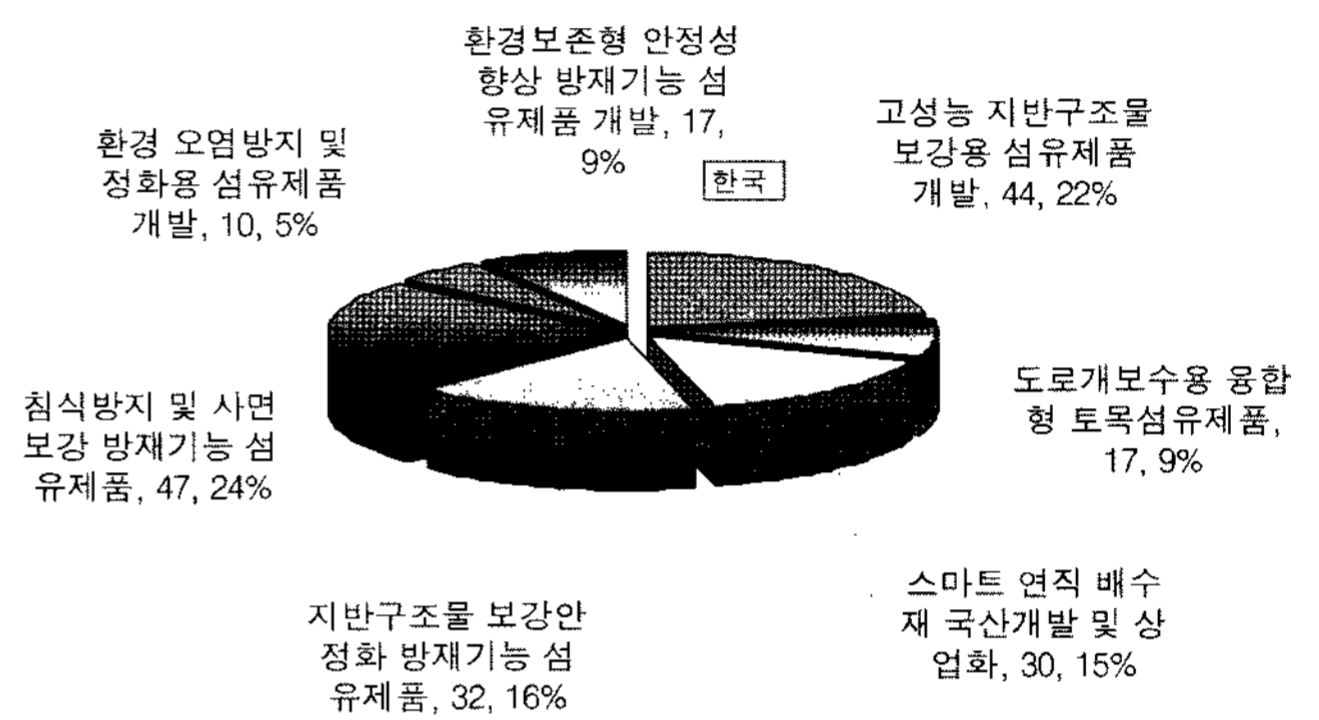


Figure 9. 특허분석을 통한 geosynthetics 기술별 점유율.

는 1990년대 중반이후 증가된 특허권자수와 특허건수로 발전기에 있는 것으로 나타났다(Figure 8). 세부 기술별 출원 점유율에 의한 연구 개발 집중 분야에서 한국, 미국, 일본 및 유럽은 침식방지 및 사면보강 방재기능 섬유제품과 지반구조물 보강안정화 방재기능 섬유제품 개발 분야의 특허 건수가 가장 높은 비율을 차지하고 있으나, 한국 세부 기술별 특허 건수 및 점유율에서 침식방지 및 사면보강 방재기능 섬유제품 개발기술이 24%(47건)로 가장 높은 점유율을 보이고 있으며, 고성능 지반구조물 보강용 섬유제품 개발 22%(44건), 지반구조물 보강안정화 방재기능 섬유제품 개발 32건(16%) 순이다(Figure 9).

### 6. Geosynthetics의 성능평가 및 국제표준화 동향

모든 geosynthetics의 성능평가와 표준화는 국제표준규격화 기구인 ISO TC221과 ASTM D35의 시험법을 따르고 있으며, 국내의 경우 주로 ISO TC221의 시험법을 준용하고 있고, ISO TC221에 없는 시험법은 ASTM D35의 시험법을 준용하고 있다. geosynthetics의 평가방법은 사용되는 고분자 재료별로 분류되며 제품자체의 내구성이 수명을 결정하므로 이

에 영향을 미치는 인자들을 중요한 시험방법으로 채택하고 있으며, geosynthetics는 매우 광범위하고 다양한 기능과 용도로 사용되므로 성능평가의 중요성은 실제로 설계에 반영될 뿐만 아니라 구조물의 안정성 평가와도 밀접한 관계에 있다. geosynthetics는 그 시험방법도 다양하고 복잡하며 국제규격인 ISO에 의해 주도되지만, CEN, EN 등의 규격이 백업되지 않은 상태로 뒤늦게 국제규격으로 바뀐 ASTM international의 방법이 병행, 사용되고 있다. 또한, ASTM international의 경우 GRI(Geosynthetic Research Institute) standard test method를 채택, 보완하여 새로운 시험 규격으로 개정하여 시험방법이 ISO에 비해 거의 3배에 육박하고 있는 실정이다. 최근 자연재해의 빈도와 피해규모가 우려할 만한 수준으로 증가세를 보이고 있으므로 이런 재해로부터 토목구조물의 안정화 또는 피해 구조물의 신속한 개보수를 위한 geosynthetics의 적용 확대의 필요성이 요구되고 있으며, 국가사회적인 피해를 최소화하고 geosynthetics 산업의 발전을 위한 산학연 연구 활성화 및 연구성과의 실용화를 위한 국가적인 지원 정책수립과 더불어 국내환경에 적합한 geosynthetics 요구성능 및 평가방법, 사용기준을 정립하는 것이 필요하다. 방재산업 중 지반구조물 보강 분야는 향후 국가의 안전 시스템 구축을 위해 반드시 필요한 사업 분야이며, 현재 국내의 경우 국토의 개발 시 안전에 대한 기준 미흡으로 함량이 미달된 제품의 활용에 의한 시공으로 장기성능 및 강력 수준이 미달되어 국민의 안전을 위협하고 소규모의 자연 재해로도 안전을 보장할 수 없는 인재의 사고로 되기 쉽다. 그러므로 국가적 차원에서 모든 필요한 부분에 대하여 법적으로 안전 기준을 마련하고 그 기준 또한 선진국 수준으로 높여 정책적으로 발전시켜야 할 필요가 있다.

## 7. 결 언

geosynthetics 개발은 우리나라 섬유산업 발전에 큰 역할을 담당하게 될 것이며, geosynthetics의 국내 보급을 확대하여 최근 급증하고 있는 자연재난으로부터 피해를 최소화함으로써 국가 사회적으로 큰 기여를 하게 될 것으로 기대되며 또한, 재해 등의 피해를 최소화하기 위한 연구가 활발히 이루어지면서 하이브리드형 보강 섬유제품 및 성능이 향상된 지오컴포지트에 제품에 대한 개발이 계속 이루어지고 있고 수요도 급상승할 것으로 예측된다. 하이브리드 소재의 개발은 최근의 다양한 신소재들 간 또는 기존 소재와의 복합화를 통

해, 기존 소재 또는 신소재 단독으로는 달성하기 어려운 성능을 발현하도록 하는 것이 기술의 핵심이라 할 수 있으며 각각의 소재 단독으로는 달성하기 어려운 각 소재의 장점만을 살린다는 것은 결코 쉬운 일이 아니므로 다양한 구조설계 방법을 적용하여 최적화하는 기술이 필요하다. 현재 국내 시장은 제품의 질이 떨어지는 값 싼 저가의 중국산 제품과 고품질의 고가 제품으로 형성되어 있어 국내산의 제품이 두 제품 사이의 중간에 있어 경쟁에서 밀리고 있는 상황이지만 소재에서부터 제품까지 개발을 통한 실용화함으로써 경제적 효과는 매우 클 것이며, 제품에 활용하기 위한 고성능 소재의 개발은 타 아이템으로도 시장 전개가 매우 활발할 것으로 예상된다. 그리고 보강용 섬유제품인 하이브리드형 섬유제품 및 지오컴포지트 제품은 지반 보강/강화용과 도로, 철도, 항공도로 등의 보강/강화용, 그리고 침식/퇴적 부지에 보강/강화용의 토목용 사업 분야에 적용될 수 있으며 이 기술은 장기 성능 향상이 요구되는 건축분야에 기술이 접목될 수 있고 대형 교량 등의 가볍고 성능 향상이 요구되는 분야에도 제품 및 기술의 활용도가 높을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 전한용, "방재기능 섬유", 한국섬유산업연합회, 2007.
2. R. M. Koermer, "Designing with Geosynthetics", 5th Edition, Elsevier Science, 2005.
3. GFR, *Specifier's Guide 2008*, Industrial Fabrics Association International, Roseville, MN, USA, 2007.
4. DRA(David Rigby Associates) Report, 2002.
5. Technical Textiles and Industry Nonwovens : World Market Forecasts to 2010(DRA), 2002.
6. 화섬 편람, 2006.
7. 2001-2004 산업기술개발사업 지원현황, 한국산업기술평가원, 2005.
8. 한국토목섬유학회, 토목섬유의 특성평가 및 활용기법, 구미서관, 2007.

## • 전 한 용

1975-1979. 한양대학교 섬유공학과 졸업  
 1979-1981. 한양대학교 섬유공학과(석사)  
 1984-1989. 한양대학교 섬유공학과(박사)  
 1992-2005. 전남대학교 응용화학공학부 교수  
 GSI-Korea : 한국지부 대표  
 2005-현재. 한국토목섬유학회 부회장  
 2005-현재. 인하대학교 나노시스템공학부 교수

## • 안 병 욱

2007. 인하대학교 섬유공학과 졸업  
 2007-현재. 인하대학교 대학원 섬유공학과(석사3기)



• 김 현 중 -----

2007. 인하대학교 섬유공학과 졸업  
2007-현재, 인하대학교 대학원 섬유공학과(석사3기)

• 김 윤 진 -----

2007. 인하대학교 섬유공학과 졸업  
2007-현재, 인하대학교 대학원 섬유공학과(석사2기)

• 최 봉 돈 -----

1993. 경희대학교 섬유공학과 졸업  
1995. 경희대학교 섬유공학과(석사)  
2005. 독일 드레스덴공대(TU Dresden) 기계공학부(박사)  
1997-2006. 독일 드레스덴공대 섬유 및 의류기술 연구소(ITB) 연구원  
2006-현재, 특허청 섬유생활용품심사과 심사관

• 이 철 민 -----

1999. 숭실대학교 섬유공학과 졸업  
2000-현재, 한국특허정보원 섬유생활용품 그룹 섬유 분야 및 국가 R&D 특허 분석