

# 고내구성 초광폭 튜브형 지오텍스타일

조정문, 강구찬, 김호대<sup>1</sup>, 전한용<sup>2</sup>, 유중조<sup>3</sup>, 김주희<sup>4</sup>

(주)새날테크텍스타일, <sup>1</sup>엔텍, <sup>2</sup>인하대학교 나노시스템공학부, <sup>3</sup>한국지오텍스타일연구소, <sup>4</sup>인하대대학원 섬유공학과

## 1. 개 요

최근 geosynthetics 공법의 발달과 함께 지오텍스타일 튜브, 지오텍스타일 컨테이너, 지오텍스타일 백 등을 활용한 공법이 시공성, 경제성의 우수성 및 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있다는 장점을 바탕으로 각광을 받고 있다. 이러한 튜브형 토목섬유 제품들은 Table 1에 제시된 바와 같이 다양한 적용분야를 이용되고 있으며, 특히 최근의 급격한 기후 변화에 의한 집중강우나 폭우 등에 의한 해안, 호안 지역의 침식방지나 준설토 혹은 환경오염토의 처리 방안으로 집중적으로 적용되고 있다. 튜브형 geosynthetics는 지오텍스타일 튜브, 지오텍스타일 컨테이너, 지오텍스타일 백 등을 통칭하며 주로 폴리프로필렌이나 폴리에스터 섬유로 직포, 부직포의 형태로 제조되며 요구에 따라 직포와 부직포가 복합화된 형태로 제조되기도 한다. 또한, 최근 발생한 재해인 Tsunami나 Katrina와 같은 엄청난 재해로부터 보호받거나 사전에 방지할 수 있는 대책마련에 대해 많은 의견들이 분분하지만, 그 중에 한 가지 방법임에 확실한 것은 사전방지는 물론 피해 복구와도 밀접한 관련이 있는 방법인 방재기능 섬유제품의 사용이다. 현재 전 세계적으로 사용되고 있는 방재기능 섬유제품으로는 하천이나 해안, 항만 분야에 암석이나 콘크리트 등에 강성구조물을 축조하는 대신 사용되는 지오텍스타일 컨테이너(geotextile containers)가 있으며 이를 사용하여 연성구조물을 축조하는 기법이 성공적으로 적용되고 있다. 지오텍스타일 컨테이너는 지오텍스타일 포대 내에 준설토를 포함한 토사를 기계적이나 수리학적 방법으로 채워 만든 재료로서, 크기와 제조방법 등에 따라 지오백(geobags), 지오투브(geotubes), 지오콘테이너(geocontainers) 등으로 구분된다. 일반적으로 지오백은 용량이 0.3~5.0 m<sup>3</sup> 정도의 소형 지오텍스타일 컨테이너로, 보통 모래를 채움재로 하여 사용하며 소형 봉합기로 마무리 봉합을 한다. 지오투브는 투수성 지오텍스타일로 제조된 튜브로서 수리학적이나 기계적 방식에 의해 모래 또는 준설토로 채워진다[4,5]. 지오투브의 직경과 길이는 현장조건과

설치가능성에 따라 달라지는데 보통 길이 150~180m, 폭 4~5m, 채움높이 1.5~2m 정도이다. 지오투브의 상부에는 준설토를 수리학적 방법으로 채우기 위해 모래질 흙의 경우에는 보다 가깝게 하고 (10m 정도), 점토질 흙의 경우에는 가능한 멀게 한다. 지오콘테이너는 투수성 지오텍스타일로 제조된 거대한 베개(pillow) 모양의 구조체로서 호퍼(hopper)나 크람셸 버킷(clamshell bucket) 등에 의해 기계적 방식으로 모래나 준설토를 채운다. 지오콘테이너는 적절한 길이의 지오텍스타일들을 함께 미리 봉합하여 부분적으로 제조한 후 바닥이 분리되는 덤프 바지선(split bottom-dump)내에 설치하고(이때 양 끝 부분은 가늘고 긴 베개모양을 이룰 수 있도록 함께 봉합되어 있어야 함), 모래나 준설토를 채운 다음 현장에서 봉합기로 마무리 봉합을 한다. 지오콘테이너의 용량은 바지선의 바닥 개구부의 폭(barge opening width)이 클수록 커질 수 있으며, 보통 100~1,000 m<sup>3</sup> 정도이다. 세립분이 많은 준설토를 사용할 경우에는 내부에 부직포(nonwoven geotextile)와 외부에 직물(woven geotextile)를 함께 사용하여 지오콘테이너를 제조할 수 있다. 이러한 지오텍스타일 컨테이너는 현장 가용재료 사용 및 작업량 감소에 따른 공기단축과 공비절감 효과가 있으며, 시공 시 환경오염을 최소화 할 수 있는 등 많은 장점을 갖고 있다. 이러한 튜브형 토목섬유 공법은 1980년대 초 브라질의 지오텍스타일 튜브에 대한 초기 연구부터 시작하여 네델란드 Delft 연구소에서 공학적인 정립의 단계를 거쳐 최근에 널리 상업화되었다. 일본에서도 1990년대부터 Matsuoka Hajime 등에 의해 토목섬유 컨테이너의 활용을 위한 흙포대의 공학적, 물리적 특성 및 도구구조물로서의 활용방안에 대한 연구가 진행되고 있다[10]. 국내에서는 신은철과 오영인 등에 의해서 그 활용화가 연구되었으며 부산, 인천 등의 해안관련 공사 등 다양한 적용분야에서 시공사례와 성공적인 기술의 적용이 보고되고 있다.

그러나 많은 튜브형 토목섬유의 적용사례와 실험적 연구 등을 통해서 토목공학적인 기술이 정립되었음에도 제품을 구성하는 지오텍스타일의 재료적 관점에서는 아직도 개선사항

이 많으며, 공법의 범용화와 확대 적용의 단계에서 각 제품의 경쟁력 제고와 신뢰성 확보를 위한 방안이 섬유 재료적 관점에 고민되어야 한다.

따라서 본 고에서는 튜브형 토목섬유에 대해 개괄적인 이해와 국내외 기술의 동향, 연구동향을 지오텍스타일 튜브를 중심으로 살펴보고 기술력 및 경쟁력 제고를 위한 연구전개 방향에 대해 고찰해 보고자 한다.

## 2. 튜브형 지오텍스타일

### 2.1. 튜브형 지오텍스타일의 종류

튜브형 지오텍스타일에는 지오텍스타일 튜브, 지오텍스타일 컨테이너, 지오텍스타일 백 등이 있으며 그 정의는 아래와 같으며 Figure 1에 각각의 적용 사례를 나타내었다.

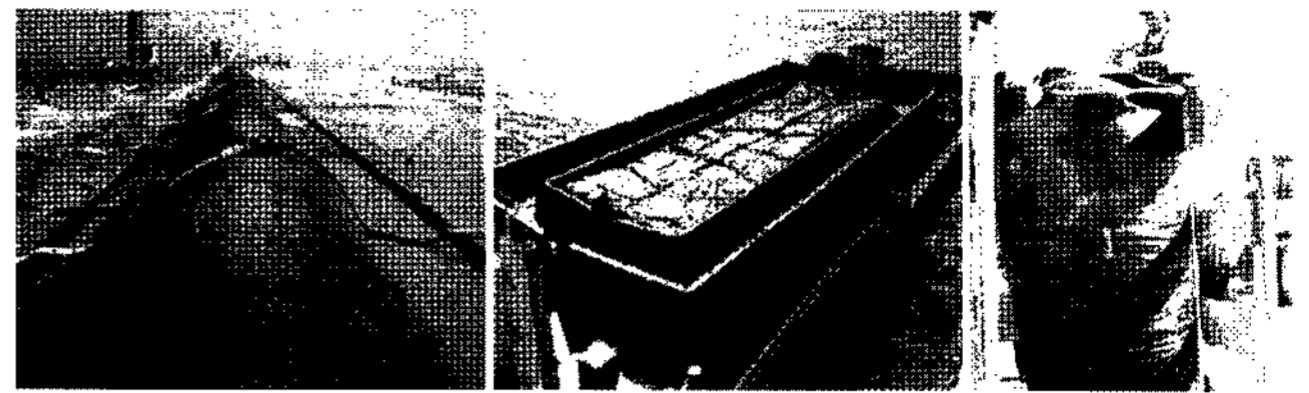
#### 2.1.1. 지오텍스타일 컨테이너

지오텍스타일 컨테이너는 투수성 지오텍스타일로 제조된 거대한 베개모양의 구조체로서 호퍼, 크람셸 버킷(clamshell bucket) 등에 의해 모래나 준설토를 채운다. 지오텍스타일 컨테이너는 적절한 길이의 지오텍스타일들을 봉합하여 부분적으로 제조한 후 바닥이 분리되는 덤프 바지선(split bottom barge)내에 설치하고, 모래나 준설토를 채운 다음 현장에서 봉합기로 마무리 봉합을 한다. 일반적인 지오텍스타일 컨테이너의 용량은 바지선의 개구부 크기에 의해 결정되며, 보통 100~1,000 m<sup>3</sup> 정도이다. 세립분이 많은 준설토를 사용할 경우에는 내부에 부직포와 외부에 직포를 복합화한 지오텍스타일 컨테이너를 제조하기도 한다.

#### 2.1.2. 지오텍스타일 튜브

지오텍스타일 튜브는 투수성 지오텍스타일로 제조된 튜브로서 수리학적이나 기계적 방식에 의해 모래 또는 준설토를 채워서 사용한다. 지오텍스타일의 직경과 길이는 현장조건과 설치가능성에 따라 차이가 있는데 보통 길이는 50~600 m, 폭은 4~5 m, 채움 높이는 1.5~2 m 정도이다.

지오텍스타일 튜브의 상부에는 준설토를 수리학적 방법으로 채우기 위해 주입구와 배수구가 일정한 간격으로 설치되어 있다. 지오텍스타일 튜브의 주요 장점은 함수비가 상당히 높거나 토사 자체의 강도가 상당히 낮은 토사를 이용하여 구조물을 축조할 수 있다는 것이며, 단점은 지오텍스타일 컨테이너나 지오텍백과는 달리 설치 위치에서 시공을 수행하여야 한다는 것과 단계별 채움 과정에서 배수 시간소요와 내부 채



(a) 지오텍스타일 튜브 (b) 지오텍스타일 컨테이너 (c) 지오텍스타일 백

Figure 1. 튜브형 지오텍스타일의 종류.

움토사 사이의 고화에 장시간이 소요될 수 있다는 것이다.

#### 2.1.3. 지오텍스타일 백

지오텍스타일 백, 즉 모래주머니는 지오텍스타일 컨테이너의 축소판으로 군사용 방어벽을 축조하기 위하여 모래주머니를 사용해오고 있으며 홍수 시 제방이나 도로, 하천 등이 침식파괴 되었을 경우 피해 복구를 하는데 사용해오고 있다. 용량은 0.3~5 m<sup>3</sup> 정도이며 일반적으로 지오텍스타일 백 공법은 많은 백(bag)을 사용하기 때문에 지오텍스타일 백 제작용 장비를 제작하여 백을 형성한다. 보통 모래를 채움재로 하여 사용하며 소형 봉합기로 마무리 봉합을 실시한 후 사용된다.

Table 1. 튜브형 지오텍스타일의 대표적인 적용 분야

튜브형 지오텍스타일의 적용분야	
1. 탈수 적용분야 - 준설토 세립토(오염토사 포함) - 생활하수 오니 - 수처리 공자 - 동물쓰레기 - 플라이 애쉬처리 - 광산분야	[강] - 고수부지 구조물 - 강변 침식방지 구조물 [습지] - 오염지역 구분 구조물 - 습지 구조물 - 습지 확산 방지구조물 - 습지 생태계 보호구조물
2. 배수 적용분야 - 공항, 자동차 주차장, 고속도로 - 주거지, 산업지, 광산지역	4. 침식 및 세굴방지 적용 - 교량의 교각 및 파일 - 터널 - 교대기초 - 해안 굴착공사시 침식방지 - 각종 침식방지 구조물
3. 구조물 분야 [제방] - 홍수 방지 제방 - 호염확산 방지 제방 - 태풍방지 제방 - 해안제방 보수제방 [해안] - 방파제 - 해안선 구조물 - 해변 모래손실 방지구조물	5. 환경 준설토 분야 - 오염된 세립 준설토 제거 - 항로 주변 - 부두 하역시설지역 - 호수 - 골프장 인공호수 - 오염물질 캐핑 - 유해물질 처리 - 하수 슬러지 등

**Table 2.** 튜브형 지오텍스타일 제품의 사용되는 지오텍스타일 특성 및 시험기준

특성	시험 방법
광폭 인장강도 (kN/m)	ASTM D 4595
신도 (%)	ASTM D 4595
봉합강도	ASTM D 4884
Apparent Opening Size (AOS)	ASTM D 4751
Water Flow rate (l/m <sup>2</sup> )	ASTM D 4491
중량 (g/m <sup>2</sup> )	ASTM D 5261
UV 저항성 (%)	ASTM D 4355

## 2.2. 튜브형 지오텍스타일의 재료 및 특성

튜브형 지오텍스타일 공법에 사용되는 구성 재료는 크게 지오텍스타일과 내부 채움재(채움 토사)로 구분된다.

### 2.2.1. 지오텍스타일 및 특성

튜브형 지오텍스타일에 사용되는 지오텍스타일에는 직물, 부직포, 복합포 등 3종류가 적용 가능하다. 일반적으로 직물 제품이 많이 사용되며, 채움 토사가 미세할 경우와 오염물질인 경우는 내부에 필터재(부직포)를 넣은 복합포를 사용한다. 원료적인 관점에서는 폴리프로필렌과 폴리에스터가 주로

이용되며 각각 재료가 갖는 장단점과 적용분야의 요구특성에 맞게 설계 적용되고 있다. 현재 지오텍스타일에 요구되는 특성과 관련 시험법은 Table 2에 제시된 바와 같다. 각 적용분야에 따라 시방기준이 규정하는 기준값으로 제품을 선택하며 설계인자를 도출하고 있다.

### 2.2.2. 채움 토사

채움재로 사용되는 토사는 특정 목적에 의해 지정되는 토사를 제외하고는 현장 토사를 이용하여 채움을 실시한다. 사용 토사의 물리적, 화학적 특성은 튜브형 지오텍스타일 시스템 구조물의 시공 및 설계에 중요한 인자로 작용하므로 각종 시험을 통하여 사용 토사의 특성이 규명되어야 한다.

## 3. 튜브형 지오텍스타일의 시공

### 3.1. 튜브형 지오텍스타일의 시공

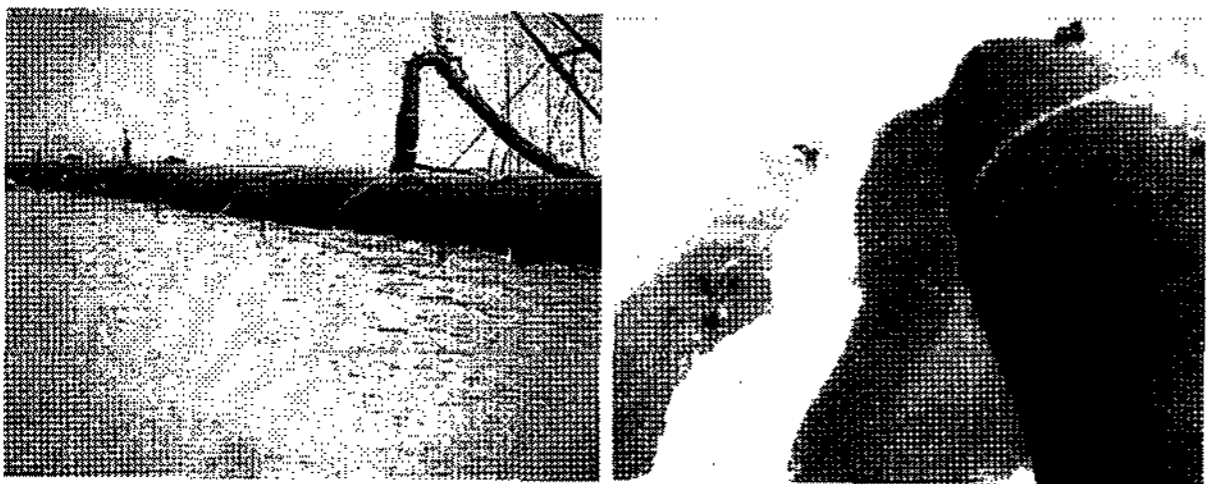
튜브형 지오텍스타일은 설치 계획된 장소에 지오텍스타일을 위치시킨 후 채움재를 주입, 포설한다. 시공은 다음의 순



① 시공 위치의 기초 정리      ② 침식방지 매트(apron)의 포설



③ 앵커(anchor) 튜브 충전      ④ 튜브의 포설



⑤ 튜브 충전      ⑥ 단계별 시공 (설계에 따라)



① 바지선에 지오텍스타일 포설      ② 현장의 준설토 등으로 충전



③ 충전 후 덮개      ④ 현장 통합



⑤ 봉합 부위를 로프(rope)로 강화      ⑥ 바지선 바닥을 봉해 부하

서에 따라 진행된다.

### 3.2. 지오텍스타일 컨테이너

지오텍스타일 컨테이너는 바닥 분리형 바지선에 포설하고, 크레인이나 준설펌프에 의해 모래나 준설토를 채운 후 현장 봉합으로 마감 한다. 바지선에서 제조된 지오텍스타일 컨테이너는 요구되는 설치 위치로 이동하여 바지선 바닥을 통하여 침강, 설치된다. 시공 순서는 다음과 같다.

## 4. 튜브형 지오텍스타일 적용사례

튜브형 지오텍스타일 적용기술은 1980년대 초반 브라질에서 처음으로 시도된 이래, 1986년 프랑스에서 오염된 토사의 유출방지와 격리를 위한 봉쇄제방으로서 사용되었으며, 그 후 네덜란드와 독일에서 수중제방 또는 해안 및 호안 보호를 위한 건설공사에 많이 사용되었다. 지오텍스타일 적용기술은 네덜란드에서 최초로 개발된 이래, 1986년 독일에서 라인강의 흐름유도 제방 건설공사에 사용되었고, 1987년 네덜란드에서 침식된 운하의 제방 복구공사에 사용되었다. 미국에서는 최근 육군공병대가 중심이 되어 “건설 생산성 향상 연구 프로그램(construction production advancement research : CPAR)”이 계획되었고 이 프로그램의 중요한 역할을 담당하고 있는 육군공병대 수리연구소 (US Army Engineer Waterway Experiment Station : WES)에서는 해안, 하천, 운하, 항만 등의 방파제, 제방, 해안·호안 보호, 항로, 매립지, 간척지 등의 건설 및 유지관리를 위해 지오텍스타일을 이용한 혁신적인 기술개발을 하고 있다. 이 중 CPAR 하에서 설계되고 시공된 대표적인 지오텍스타일 컨테이너 적용사례들은 다음과 같다.

- ① 해안보호 제방 : 수리학적으로 모래를 채운 길이 31 m, 폭 2.8 m, 높이 1.5 m의 지오텍 3개를 사용하여 부유토사 침강조절 제방 건설(1991년 9월 ; Destin, Florida).
- ② 습지 및 매립장을 위한 제방 : 수리학적으로 세립 준설토를 채운, 길이 152 m, 폭 3.7~ 4.6 m, 높이 1.5~1.8 m의 지오텍 4개를 사용하여 제방 건설. 이 현장에서는 지오텍 내의 세립 준설토 (74 $\mu$ m 통과입자 ; 100%)가 유실되지 않고 100% 보존된 것이 확인되었다(1992년 4월 : Gaillard Island, Mobile, Alabama).
- ③ 해안보호 가설제방 : 수리학적으로 모래를 채운 길이 152~183 m, 폭 3.7 m, 높이 1.5 m의 지오텍 4개를 사용

하여 거센 파도에 대한 해안 보호를 위해 임시 가설제방 건설(1994년 4월 ; Avalon Beach, New Jersey).

- ④ 해변보존 제방 : 수리학적으로 모래를 채운 총 길이 1,067 m, 폭 3.7 m, 높이 1.5 m의 지오텍을 사용하여 해변침식 방지를 위한 제방 건설(1993년 6월 ; Anelia Island, Florida).
- ⑤ 준설토 매립용 제방 보호 : 수리학적으로 모래를 채운 총 길이 914 m, 폭 3.7 m, 높이 1.5 m의 지오텍을 사용하여 준설토 매립용 제방의 거센 파도에 대한 보호를 위해 사용(1994년 6월 ; Bay Town, Galveston District).
- ⑥ 간척지 조성 및 침식방지 : 수리학적으로 모래를 채운 총 길이 914 m, 폭 3.7 m, 높이 1.2~1.5 m의 지오텍을 사용하여 자연서식 습지 보호와 침식방지를 위해 사용(1994년 9월 ; Smith Island, Chesapeake Bay, Baltimore District).
- ⑦ 파괴된 제방의 복구 : 기계적으로 모래를 채운 용량 9.2~11.5 m<sup>3</sup>의 지오텍 175개를 사용하여 태풍(Hurricane Hugo)에 의해 파손된 제방을 복구(1992년 1월 ; Bull Island, South Carolina).
- ⑧ 항로 유지용 제방 : 모래로 채워진 용량 190~380 m<sup>3</sup>의 지오텍 컨테이너 700개와 용량 2.5 m<sup>3</sup>의 지오텍 40,000개를 사용하여 길이 183~518 m의 수중제방을 건설함으로써 퇴적토사에 의한 항로의 수심저하를 막고 퇴적토사의 준설빈도를 최소화하였음(1994년 4월 ; Redeye Crossing, Baton Rouge, Louisiana).
- ⑨ 오염된 준설토 매립용 제방 : 오염된 준설토를 기계적으로 채운 용량 995 m<sup>3</sup>의 지오텍 컨테이너 44개를 사용하여 수중제방을 건설하고, 제방 내에 오염된 준설토를 매립한 후 양질의 토사로 복토하였음(1994년 11월 ; Marina Delrey, Los Angeles, California).
- ⑩ 오염된 준설토의 해저투기처분 실험 : 한계에 다다른 오염 준설토의 육상매립의 대안으로서 해저투기처분을 취해 오염된 준설토를 채운 용량 3,000 m<sup>3</sup>의 지오텍 컨테이너를 수심 20 m의 해저에 투기하는 실험을 수행(1995년 5월 ; New York & New Jersey Bay, New York).

## 5. 튜브형 지오텍스타일 적용분야

### 5.1. 하천에의 적용

준설토를 채운 지오텍스타일 컨테이너는 단순한 구조와 유연한 형상, 침식에 대한 안정성 등의 이유로, 하천분야에서는 전형적인 유속조정 및 침식방지 목적으로 사용되며 종래의

건설공법에 비해 공기를 획기적으로 절감할 수 있다.

### 5.1.1. 유속조정 구조물

다양한 크기와 수량의 지오텍스타일 콘테이너를 조합시켜 국부적인 침식방지와 하상 조정 등을 위한 호안제방, 수중 횡단제방, 수중 종단제방 등의 유속조정 구조물을 자유자재로 만들 수 있다.

### 5.1.2. 세굴방지 구조물

보통 하상을 견고하게 하기 위해 콘크리트 블록 등의 하부에 부직포 등의 필터층을 설치하여 토사의 유출을 방지하고 있다. 서로 밀착하여 설치된 지오텍스타일 콘테이너는 흐름에 의한 토사의 세굴방지 효과를 얻을 수 있다.

### 5.1.3. 간척지 보호 및 확장 구조물

조류가 유입되는 하구언은 야생 동·식물이 서식하는 광대한 간척지를 갖고 있으나, 이러한 간척지는 점차 침식되고, 해수의 진입에 의해 위협받고 있다. 간척지의 보호나 확장을 위해 종래의 건설기술에 의한 제방건설을 수행하는 것은 부적절하고 건설공비가 높다. 준설토사를 채우는 것이 가능한 지오텍스타일 콘테이너는 침식방지 대책 및 간척지 확장공사에 효율적으로 적용할 수 있다.

### 5.1.4. 봉쇄 구조물

오염된 준설토사를 격리하여 매립하기 위한 봉쇄제방 축조에도 사용 가능하다.

### 5.1.5. 파손된 제방의 복구

자연제방이나 인공제방이 파손된 경우 현장에서 가용한 재료와 장비로 파손된 부위를 복구할 수 있다.

## 5.2. 해안에서의 적용

해안에서는 연안으로 이동되는 모래를 유효하게 침강시키는 방법으로 수중 횡단제방, 방파제, 토류 구조물 등을 사용하고 있다. 유연하고 일체화된 구조를 갖고 있는 비교적 큰 규모의 지오텍스타일 콘테이너는 이러한 구조물 등에 적용될 수 있다.

### 5.2.1. 수중 횡단제방

연안류가 있는 해안에서 수중제방의 역할은 해안으로 이동하는 모래를 침강시켜 해변을 확장시키는 것이다. 적절히 설

계된 수중제방은 연안류를 감소시켜 해안을 따라 모래를 이동시키는 흐름을 감쇄시킬 수 있다.

### 5.2.2. 수중 방파제

수중 방파제는 해안에 작용하는 파랑의 충격을 완화시키거나 파랑의 방향을 변화시키는 것이 가능하므로 해변의 경관을 손상시키지 않고 해안침식을 방지할 수 있다. 수중 방파제는 해안에서 떨어진 바다 속에 설치되는데, 바다 속에 잠겨있는 것도 있다. Figure 14에서는 지오텍스타일을 사용한 분리형 수중 방파제의 전형적인 형태를 보여준다.

### 5.2.3. 해변보호용 토류구조물

해변 보호 및 확장은 수중에 토류구조물을 건설함으로써 가능하다. 파랑의 에너지는 해변과 인접한 얕은 수심지역을 통과할 때 파쇄되고 해저와의 마찰에 의해 감소된다. 이러한 파랑의 영향을 줄이고, 파랑에 의해 이동된 모래를 해변에 퇴적시키기 위해 수중에 지오텍스타일 콘테이너를 시공할 수 있다.

### 5.2.4. 기타

오염된 준설토의 격리, 매립을 위한 인공섬 축조 및 파손된 제방의 복구공사 등에 유효하게 적용할 수 있다. 또한 오염된 준설토의 해양매립에도 적용 가능하다.

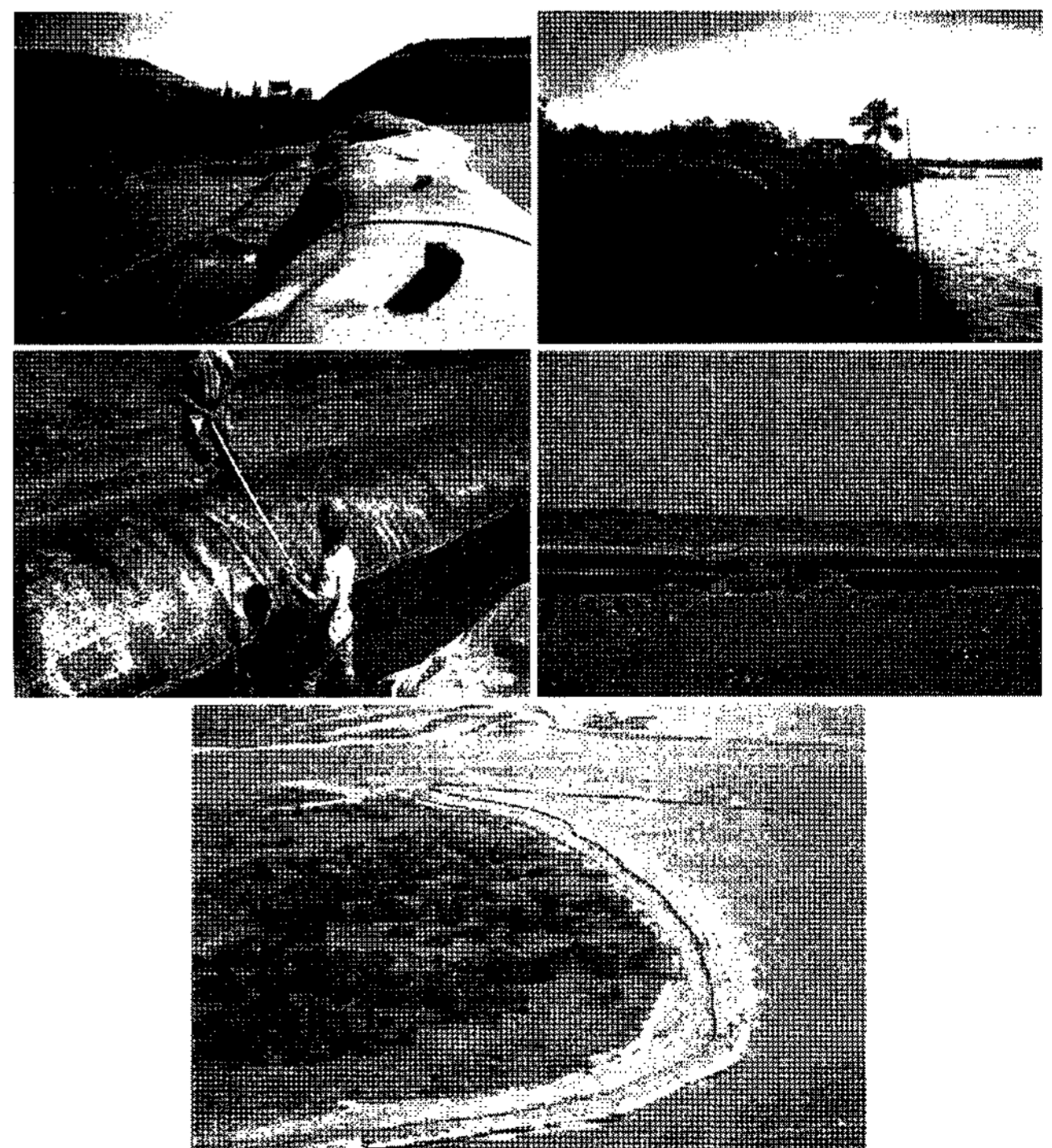


Figure 2. 지오텍스타일 시공 관련 사진 모음.

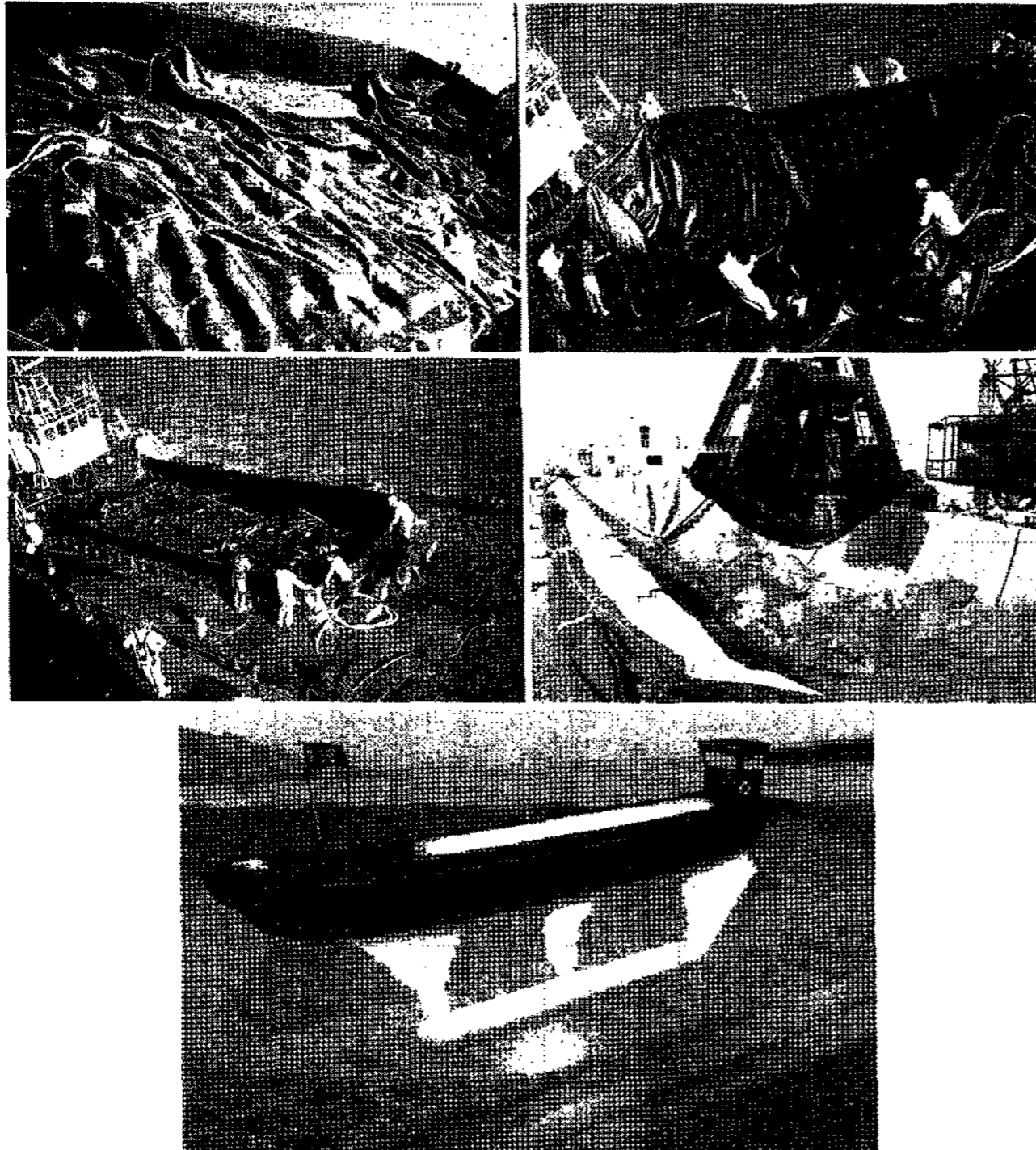


Figure 3. 지오 컨테이너 시공 관련 사진 모음.

### 5.3. 육상에서의 적용

지오텍스타일 컨테이너는 대부분 수중에 설치되지만, 간척·매립을 위한 육상 제방의 축조나 파손된 모래언덕(dune)의 복구공사 등에 사용된다. 모래언덕 내에 지오텍스타일을 포설하여 붕괴된 모래언덕을 복구하는 것은 매우 효율적이고 경제적이다.

## 6. 기술 동향

### 6.1. 국내 기술의 동향

#### 6.1.1. 업계 동향

국내업체의 공법 적용 체계는 설계·시공 전문업체에서 외주 제작된 제품을 주 시공사에 납품 및 시공하는 방식으로 프로젝트를 수행하고 있다. 이때 외주 제작업체에서는 적용분야와 공법에 대한 이해가 부족하고 반면 전문업체에서는 제작 단계에서 제품의 개선을 위한 이해가 부족하여 제품에 대한 품질관리가 취약하고 제품의 개선사항에 대한 피드백이 원활하지 못한 상황이다.

최근 지오텍스타일 튜브관련 대형공사로 부산 신항 공사와 인천의 인천대교 공사에 지오텍스타일 튜브가 성공적으로 적용되었고, 국내 시장뿐 아니라 해외 시장 개척을 위해 활발한 활동이 이루어지고 있다.

Table 3. 국내 튜브형 지오텍스타일 관련업체 현황

회사명	특징
(주)JCE	Mirafi 국내 라이선스 업체 지오텍스타일 외주제작에 의한 수급
지해산업(주)	설계, 시공 전문업체 지오텍스타일 외주제작에 의한 수급
삼원실업(주)	PET 직포 지오텍스타일 제조업체

#### 6.1.2. 지오텍스타일 제품 동향

국내에서 지오텍스타일의 사용은 설계를 통해 지오텍스타일의 요구물성치가 결정되면 국내 외주제작을 통해 제품을 생산하고 관련 특별 시방을 기준으로 각 물성치를 평가하여 결정하고 있다. 제품은 주로 폴리프로필렌 소재의 직포 제품이 주류를 이루고 있으며 지오텍스타일의 최대 인장강도는 40톤/m 수준까지 제작이 가능하고 대형 지오텍스타일 튜브의 제작이 가능한 실정이다.

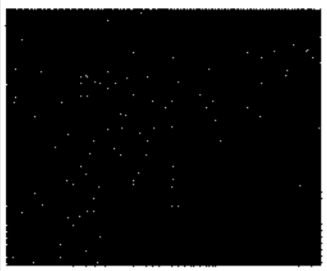
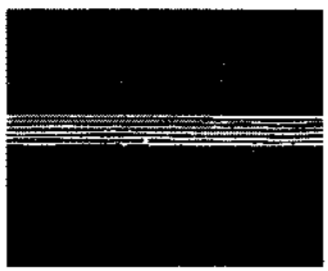

제품의 생산이 튜브형 지오텍스타일 전용 생산라인이 아닌 기존의 산업용 직포 제조 설비를 이용하고 있어 자체의 제품 생산에 관련된 경쟁력을 확보하지 못하고 있다. 더불어 외주 제작의 의해 이루어지는 생산 체계로 품질관리가 일정치 않다는 단점을 내포하고 있다. 더욱이 제품의 형성을 위한 봉합과정도 기성의 천막지 봉합용 설비의 이용으로 성능개선에 한계를 안고 있다.

그리고 봉합강도에 있어 직포 수준의 효율을 도달하지 못하고 있으며 유중조 등[2]에 의하면 단일 지오텍스타일 튜브에서 최악점인 봉합강도는 직물의 최대인장강도 대비 약 20-60%으로 현장 발생하는 지오텍스타일의 파단거동의 주요 원인이 되고 있다. 봉합사와 봉합메커니즘에 대한 연구가 필요하며 이를 통해 실질적 봉합효율을 제고하여야 경쟁력을 확보할 수 있다. 또한 사용되는 직포는 직기 한계 생산 폭인 4m 전후로 대형 지오텍스타일 튜브를 제작하기 위해서는 다수의 봉합과정을 거쳐야 하는 제작비용의 상승 원인이 되고 있다. 이 부분 역시 광폭의 직물을 제조함으로써 제품의 생산비용을 절감할 수 있는 방안이 될 수 있다.

#### 6.1.3. 연구개발 동향

1998년 조삼덕에 의해서 국내 소개된 이후 국내에서 연구되는 대부분의 연구는 공법의 실험적 실내모형 시험, 수치해석, 그리고 시공사례 분석 등을 중심으로 이루어져 왔다[3]. 재료분야에 대한 연구도 기존 제품의 물성평가나 설계인자 도출에 대한 연구가 주로 이루어졌다. 적용분야를 확대하기 위한 부분이 대부분이며 재료의 기능이나 물성의 향상을 위

**Table 4.** 지오텍스타일 튜브의 봉합효율 시험결과(유중조 등)

	woven geotextile	overlap seam	preyer seam
type			
tensile strength (test result)	216.1 (kN/m)/ 100 (%)	130.1 (kN/m) /60 (%)	43.3 (kN/m) /20 (%)

한 연구는 거의 전무한 상황이다.

국내 적용 초기 신은철과 오영인(1998, 2000)의 활용방안 연구와 후속 연구 역시 공법의 적용성에 대한 연구가 주로 이루어졌다[1]. 최근에 유중조(2007) 등 연구를 통해 봉합거동에 대한 기초연구가 진행되는 것을 제외하면 지오텍스타일 재료분야에서의 국내 연구는 매우 미비한 상황이다[2].

지오텍스타일 튜브의 대형화와 적용 프로젝트의 대형화 추세에 맞추어 지오텍스타일의 내구성 향상, 제작 경비 절감, 기능 향상 등을 통한 경쟁력 확보가 무엇보다 필요한 상황이다.

### 6.1.4. 국내 시장전망

지오텍스타일 튜브는 환경 오염물처리, 생태 인공섬 제방, 준설토 투기제방, 해안침식방지 제방, 해안공사 가설도로 등에 대한 적용성이 검증되고 설계 적용이 증대되고 있다. 특히 해안 침식방지 및 급격한 기상변화, 집중강우 등에 의한 복구 구조물에 적극적으로 활용되고 있어 그 시장의 급속히 증가할 것으로 판단된다.

그리고 공법의 특성상 국내 시장뿐 아니라 해외 대형 프로젝트에서도 충분한 경쟁력을 확보하도록 특화된 기술력을 확보하는 것이 중요하다.

## 6.2. 해외 기술동향

### 6.2.1. 업체동향

매우 많은 업체가 튜브형 지오텍스타일 공법에 참여하고 있다. 각 나라별로 많은 업체들이 종사하고 있어 일일이 열거하기는 불가능하다. 대표적으로 멕시코의 Tecnicas Submarine 사의 Bolsaroca®, 덴마크의 Adek 사의 Longard tube®, 네덜란드의 Nicolon Mirafi 사의 Geotube® 등이 해당 공법의 상업화에 중심에 서 있는 회사로 많은 실적과 사례, 그리고 기술개발 및 개선에 적극적인 활동을 하고 있다[8,11].

### 6.2.2. 해외 지오텍스타일 동향

해외 업체에서도 국내 업체와 동일한 고민을 안고 있다. 제품의 생산기술은 섬유기술에 바탕하기 때문에 큰 차이를 보이지 않고 있으며 제품 폭도 국내 기술과 유사한 4 m 전후의 지오텍스타일을 이용하고 있다. 역시 봉합거동에 대한 문제를 완전히 제어하지 못해 봉합효율을 직포 강도의 50% 수준에서 시방기준으로 규정하고 있다. 해외 시장에서는 생산 인건비를 최소화할 수 있는 생산국 생산을 통해 원가절감으로 경쟁력을 확보하고 있다.

### 6.2.3. 연구개발 동향

최근의 주요 회사의 연구경향은 주로 지오텍스타일 튜브의 시공과 관련된 부분에 많은 할애를 하고 있다. 주입구의 문제 해결과 주입 슬러지의 배송부분을 원활히 하기 위한 개선사항 등의 연구들이 진행되었다. 연구의 한축으로 제품의 필터 특성에 대한 표준시험법 개발에 관한 연구들이 진행되었다.

해외 연구 역시 대부분의 연구는 지오텍스타일 튜브의 적용분야 확대와 각 적용분야에서의 설계인자 도출을 위한 토목공학적 관점에서의 연구가 대부분을 이루고 있다[6,7]. 시공사례와 현장계측, 수치해석에 많은 연구들이 쏟아지고 있으나 지오텍스타일 제품의 특성개선과 제조기술에 대한 연구는 미비하다. 다만 Graffney(2002)에 의해 진행된 생분해성 소재의 적용성에 관한 현장시공 사례연구가 소재의 다변화에 대한 연구의 사례가 보고되고 있다[9].

### 6.2.4. 해외 시장전망

각 지역별 소규모 프로젝트와 더불어 국제적인 대형 프로젝트들이 동남아시아, 중동을 중심으로 진행되고 있다. 최근 싱가포르 파시르 판장 터미널 3,4 단계 프로젝트에서는 약 2 백만 m<sup>2</sup>의 지오텍스타일(3000여개의 지오텍스타일 튜브와 컨테이너)이 설계 시공 중에 있다. 중동 두바이의 인공섬 프로젝트 등에서도 역시 튜브형 지오텍스타일 공법이 활발히 적용되고 있다. 또한 기상이변에 의한 각종 자연재해에 대한 방지공과 복구공에 가격 경쟁력과 신속한 시공성의 장점으로 지오텍스타일 튜브와 지오텍스타일 백 등이 세계적으로 확산되고 있다.

## 7. 결 언

튜브형 지오텍스타일은 다양한 분야에서 적용이 활발히 확대되고 있으며 특히 지오텍스타일 튜브는 해안침식방지,

오염준설토의 처리 등의 분야에서 지속적으로 적용이 증대되고 있다. 많은 시공사례 분석과 선행연구를 통해 공법의 설계, 시방 기준 등의 잘 정립되어지고 있음을 확인할 수 있다.

다만, 1990년 후반 Koerner 등에 의해 제기된 봉합강도 효율의 90% 수준의 확보에 대한 연구 발표 이후에도 뚜렷한 해결책을 제시하지 못하고 있는 아직도 20~60% 수준의 봉합 효율을 보이는 현 상황과 다양한 적용환경에서 제기되는 하중조건에 대한 내구성을 확보할 수 있는 지오텍스타일에 대한 요구, 대형화되는 시스템에 준하는 광폭의 고강도 지오텍스타일 제조와 경비를 절감할 수 있는 생산기법에 대한 연구와 고민들이 추가적으로 이루어져야 함을 알 수 있다[12].

그리고 튜브형 지오텍스타일의 적용분야가 오염 준설토 등의 처리와 분리 폐기 등으로 확대되고 있으며 환경오염문제 해결이 요구될 때에 대한 분해성 소재도 준비되어야 한다.

이와 같이 재료적 관점에서도 튜브형 지오텍스타일의 경쟁력과 신뢰성 제고를 위해 해결해야할 사항이 많다. 특히 국내 지오텍스타일 튜브형 지오텍스타일 관련업체의 특화되고 독창적인 제품으로 경쟁력 확보를 후속 연구들이 필요한 시기이다.

### 참고문헌

1. 오영인, 지오텍스타일 튜브의 연구동향, 한국토목섬유학회지, 3(2), pp.24-29, (2004).
2. 유중조, 오영인, 전한용, 한국토목섬유학회지 가을 학술발표회 논문집, (2007).
3. 조삼덕, 1998년도 토목섬유(geosynthetics) 기술세미나 논문집, pp. 269-295, 1998.
4. 신은철, 오영인, 한국지반공학회 가을학술 발표회 논문집II, pp.132-135, (1998).
5. 신은철, 오영인, 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp.504-511, (2000).
6. Krystian W. Pilarczyk, Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering, Balkema, 2000.
7. Dov Leshchinsky and Ora Lesschinsky, GeoCoPS (2.0) : Supplement Notes, 2007.
8. 건설교통부 연구보고서, 강우로 인해 유실된 선로복구를 위한 지오텍스타일 콘테이너의 실용화 기술개발, 2004.
9. Gaffney, D. A., and Merl, K. (2002), "River Bluff Protection Using Improved Geotextile Tubes and Coir Erosion Control Blankets," Proceedings of the "Northeast Beaches: A Balancing Act" Conference, Woods Hole, MA, pp.23-26, October, 2002.

10. 三木博史, "Geotube 工法 關聯 國際會議", 土木技術資料 42(4), pp.8-9, 建設省 土木研究所, 2000.
11. Nicolon Mirafi, Geotubes 브로셔.
12. Koerner, R. M., and Koerner, G. R., "Geotextiles Used as Flexible Forms", Geotextiles and Geomembranes, 14(6), pp.301-311, 1996.

### • 조 정 문

1980. 한양대학교 섬유공학과 졸업  
 1982. 국제상사 해외 무역부  
 1998-현재. (주) 새날테크텍스 대표이사  
 2006-현재. 구미 상공회의소 상공위원  
 2007-현재. 신성장 전략 위원회 분과위원-대구경북섬유산업협회 (718-833) 경북 칠곡군 석적읍 중리 399  
 전화 : 054-971-2720

### • 강 구 찬

1997. 경북대학교 염색공학과 졸업  
 1999. 경북대학교 염색공학과(석사)  
 1999. (주)효성 연구소  
 2006-현재. (주)새날테크텍스

### • 김 호 대

1980. 서울대학교 섬유공학과 졸업  
 1982. 서울대학교 섬유고분자공학과(석사)  
 1997. 서울대학교 섬유고분자공학과(박사)  
 1982-1985. 한국섬유기술연구소  
 1985-2004. (주)코오롱 기술연구소  
 2005-현재. 앤텍 대표이사

### • 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

### • 유 중 조

1996. 전남대학교 섬유공학과 졸업  
 1998. 전남대학교 섬유공학과(석사)  
 2004. 전남대학교 섬유공학과(박사)  
 2006-2007. 미국 The University of Kansas, Post Doc.  
 1998-2005. 보강기술(주) 기술연구소  
 2007-현재. (주)한국토목섬유연구소 수석연구원

### • 김 주 희

2008. 인하대학교 섬유공학과 졸업  
 2008-현재. 인하대학교 대학원 섬유공학과(석사1기)