

극한 환경용 토목섬유

전 한 용

인하대학교 나노시스템공학부 섬유신소재공학전공

1. 서언

일반적으로 지반합성재료(geosynthetics)는 토목·건설·환경·운송·해양 등의 지반구조물에 Figure 1에 나타낸 바와 같이 보호/보강(침식방지), 배수, 여과, 충격흡수, 저장 및 차단용으로 시공되며, 이 중에서도 지오텍스타일(geotextiles)과 지오그리드(geogrids) 관련 토목섬유제품은 구조물 및 지반의 보강안정화 효과가 우수하여 최근에 그 사용량이 급증하고 있다[3,4].

특히, 최근 발생한 자연재해인 Tsunami나 허리케인 Katrina, 그리고 세계 도처에서 발생하는 지진이나 해일 등의 피해상황을 분석해 볼 때 이러한 엄청난 극한 환경에 적용할 수 있는 토목섬유제품들에 관한 관심과 연구에 의해 보호받거나 사전에 방지할 수 있는 대책마련에 관한 많은 의견들이 분분하다. 그 중에 사전방지는 물론 피해복구와도 밀접한 관련이 있는 방법은 극한 환경용 토목섬유의 사용이다. 대표적인 예로 일본 관서지방에서 발생한 고베지진의 피해상황 분석 시 토목섬유제품을 사용한 구조물의 붕괴사례는 매우 적어 극한 환경에서의 그 위력이 이미 입증된 바 있다[1,2].

여기서는 극한 환경에서의 재해발생이 인류가 원하지 않는 예측불허의 초자연적인 현상이며, 지금까지의 관련 자료가 부족하고 또 여러 가지 사정으로 공개되지 않는다는 사실을 감안하여, 최근에 소개되고 있는 지오텍스타일 관련 제품을 중심으로

극한 환경에 사용되고 있는 토목섬유에 대하여 제품 및 시공사례를 중심으로 소개하기로 한다.

2. 극한 환경용 토목섬유

현재 전 세계적으로 사용되고 있는 극한 환경용 토목섬유로는 하천이나 해안, 항만 분야에 암석이나 콘크리트 등에 강성구조물을 축조하는 대신 사용되는 지오텍스타일 관련 제품들이 있으며, 이를 사용하여 연성구조물을 축조하는 기법이 성공적으

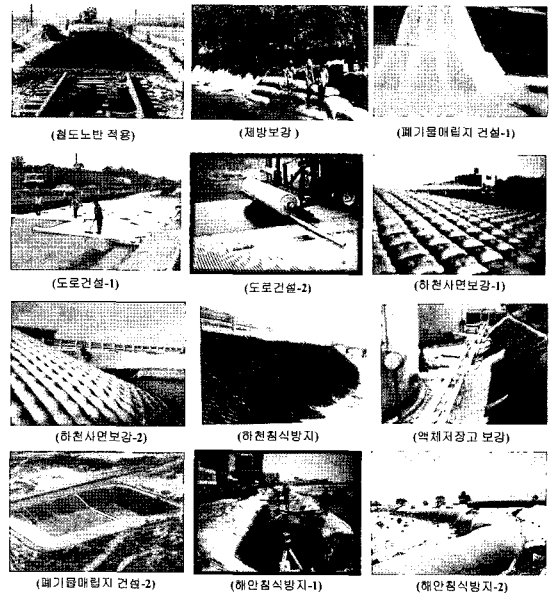


Figure 1. 지반합성재료의 적용사례.

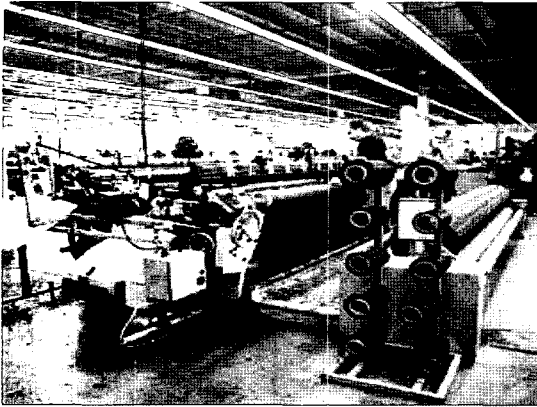


Figure 2. 고강성 지오텍스타일 제조공정.

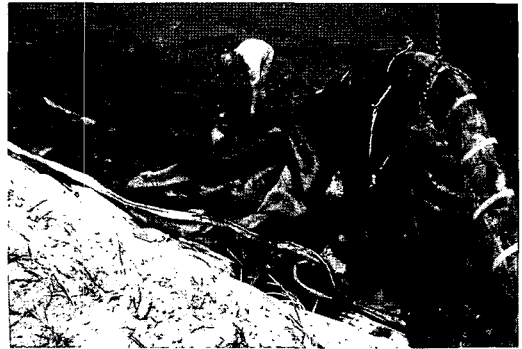


Figure 3. 하천붕괴 보수용.

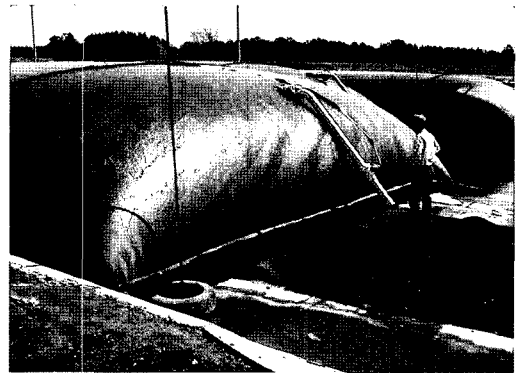


Figure 4. 지오투브 제품.

로 적용되고 있다. 이들 제품은 지오텍스타일 포대 내에 준설토를 포함한 토사를 기계적이나 수리학적 으로 채워 만든 재료로서, Figure 2에서처럼 고강성 PET 나 PP 사를 제직한 제품들로 크기와 제조 방법 등에 따라 지오백(geobags), 지오투브(geotubes), 지오콘테이너(geocontainers) 등으로 구분된다.

2.1. 지오백

일반적으로 지오백은 용량이 0.3~5.0 m³ 정도의 소형 지오텍스타일 제품으로(Figure 3), 보통 모래를 채움재로 하여 사용하며 소형 봉합기로 마무리 봉합을 하여 하천, 제방 등의 붕괴 시 복구용으로 사용된다.

2.2. 지오투브

지오투브는 투수성 지오텍스타일로 제조된 튜브

로서 수리학적이나 기계적 방식에 의해 모래 또는 준설토로 채워진다. 지오투브의 직경과 길이는 현장조건과 설치가능성에 따라 달라지는데 보통 길이 150~180 m, 폭 4~5 m, 채움높이 1.5~2 m 정도이다(Figure 4). 지오투브의 상부에는 준설토를 수리학적 방법으로 채우기 위해 모래질 흙의 경우에는 보다 가깝게 하고(10 m 정도), 점토질 흙의 경우에는 가능한 멀게 한다.

2.3. 지오콘테이너

지오콘테이너는 투수성 지오텍스타일로 제조된 거대한 베개(pillow) 모양의 구조체로서 호퍼(hopper)나 크람셸 버킷(clamshell bucket) 등에 의해 기계적 방식으로 모래나 준설토를 채운 다음 현장에서 봉합기로 마무리 봉합을 한다(Figure 5). 또한 지오콘테이너는 적절한 길이의 지오텍스타일들을 함께

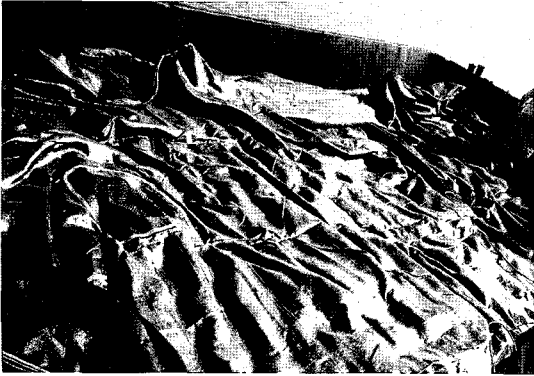


Figure 5. 지오콘테이너 현장 봉합사진.

미리 봉합하여 부분적으로 제조한 후 바닥이 분리되는 덤프 바지선 (split bottom-dump width) 내에 설치하며 (Figure 6), 이때 양 끝부분은 가늘고 긴 배개모양을 이룰 수 있도록 함께 봉합되어 있어야 한다. 지오콘테이너의 용량은 바지선의 바닥 개구부의 폭 (barge opening width)이 클수록 커질 수 있지만, 보통 100~1,000 m³ 정도이다. 세립분이 많은 준설토를 사용할 경우에는 내부에 부직포와 외부에 직포를 함께 사용하여 지오콘테이너를 제조할 수 있다. 이러한 지오택스타일 콘테이너는 현장 가용 재료 사용 및 작업량 감소에 따른 공기단축과 공비 절감 효과가 있으며, 시공 시 환경오염을 최소로 할 수 있는 등 많은 장점을 갖고 있다.

3. 극한 환경용 토목섬유 적용분야

3.1. 하천에의 적용

준설토를 채운 지오콘테이너는 단순한 구조와 유연한 형상, 침식에 대한 안정성 등의 이유로 하천 분야에서는 전형적인 유속조정 및 침식방지 목적으로 사용되며, 종래의 건설공법에 비해 공기를 획기적으로 절감할 수 있다.

3.1.1. 유속조정 구조물

다양한 크기와 수량의 지오콘테이너를 조합시켜 국부적인 침식방지와 하상 조정 등을 위한 호안제



Figure 6. 지오콘테이너 바지선 설치사진.

방, 수중 횡단제방, 수중 종단제방 등의 유속조정 구조물을 자유재로 만들 수 있다.

3.1.2. 세굴방지 구조물

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

3.1.3. 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 지

오콘테이너는 침식방지 대책 및 간척지 확장공사에 효율적으로 적용될 수 있다.

3.1.4. 봉쇄 구조물

오염된 준설토사를 격리하여 매립하기 위한 봉쇄 제방 축조에도 사용 가능하다.

3.1.5. 파손된 제방의 복구

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

3.2. 해안에서의 적용

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

3.2.1. 수중 횡단제방

연안류가 있는 해안에서 수중제방의 역할은 해안으로 이동하는 모래를 침강시켜 해변을 확장시키는 것이다. 적절히 설계된 수중제방은 연안류를 감소시켜 해안을 따라 모래를 이동시키는 흐름을 감소시킬 수 있다.

3.2.2. 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 4에서는 지오투브를 사용한 분리형 수중 방파제의 전형적인 형태를 보여준다.

3.2.3. 해변보호용 토류구조물

해변 보호 및 확장은 수중에 토류구조물을 건설함으로써 가능하다. 파랑의 에너지는 해변과 인접

한 얇은 수심지역을 통과할 때 파쇄되고 해저와의 마찰에 의해 감소된다. 이러한 파랑의 영향을 줄이고 파랑에 의해 이동된 모래를 해변에 퇴적시키기 위해 수중에 지오콘테이너를 시공할 수 있다.

3.2.4. 기타

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

3.3. 육상에서의 적용

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

4. 극한 환경용 토목섬유 적용사례

지오투브 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. 지오콘테이너 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 CPAR하에서 설계되고 시공된 대표적인 지오펀테이너 적용사례들은 다음과 같다.

4.1. 해안보호 제방

수리학적으로 모래를 채운, 길이 31 m, 폭 2.8 m, 높이 1.5 m의 지오투브 3개를 사용하여 부유토사 침강조절 제방 건설. (1991년 9월; Destin, Florida)

4.2. 습지 및 매립장을 위한 제방

수리학적으로 세립 준설토를 채운, 길이 152 m, 폭 3.7~4.6 m, 높이 1.5~1.8 m의 지오투브 4개를 사용하여 제방 건설. 이 현장에서는 지오투브 내의 세립 준설토 (74 μ m 통과입자; 100%)가 유실되지 않고 100% 보존 확인.

(1992년 4월 ; Gaillard Island, Mobile, Alabama)

4.3. 해안보호 가설제방

수리학적으로 모래를 채운, 길이 152~183 m, 폭 3.7 m, 높이 1.5 m의 지오투브 4개를 사용 거센 파도에 대한 해안 보호를 위해 임시 가설제방 건설.

(1994년 4월; Avalon Beach, New Jersey)

4.4. 해변보존 제방

수리학적으로 모래를 채운, 총 길이 1,067 m, 폭 3.7 m, 높이 1.5 m의 지오투브를 사용하여 해변침식 방지를 위한 제방 건설.

(1993년 6월; Anelia Island, Florida)

4.5. 준설토 매립용 제방 보호

수리학적으로 모래를 채운, 총 길이 914 m, 폭 3.7 m, 높이 1.5 m의 지오투브를 사용하여 준설토 매립용 제방의 거센 파도에 대한 보호를 위해 사용.

(1994년 6월; Bay Town, Galveston District)

4.6. 간척지 조성 및 침식방지

수리학적으로 모래를 채운, 총 길이 914 m, 폭

3.7 m, 높이 1.2~1.5 m의 지오투브를 사용하여 자연식 습지 보호와 침식방지를 위해 사용.

(1994년 9월; Smith Island, Chesapeake Bay, Baltimore District)

4.7. 파괴된 제방의 복구

기계적으로 모래를 채운 용량 9.2~11.5 m³의 지오투브 175개를 사용하여 태풍(Hurricane Hugo)에 의해 파손된 제방 복구.

(1992년 1월; Bull Island, South Carolina)

4.8. 항로 유지용 제방

모래로 채워진, 용량 190~380 m³의 지오펀테이너 700개와 용량 2.5 m³의 지오투브 40,000개를 사용하여 길이 183~518 m의 수중제방을 건설함으로써 퇴적토사에 의한 항로의 수심저하 방지 및 퇴적토사의 준설빈도 최소화.

(1994년 4월; Redeye Crossing, Baton Rouge, Louisiana)

4.9. 오염된 준설토 매립용 제방

오염된 준설토를 기계적으로 채운, 용량 995 m³의 지오펀테이너 44개를 사용하여 수중제방을 건설하고, 제방 내에 오염된 준설토를 매립한 후 양질의 토사로 복토.

(1994년 11월; Marina Delrey, Los Angeles, California)

4.10. 오염된 준설토의 해저투기처분 실험

한계에 다다른 오염 준설토의 육상매립의 대안으로서, 해저투기처분을 취해 오염된 준설토를 채운, 용량 3,000 m³의 지오펀테이너를 수심 20 m의 해저에 투기하는 실험 수행.

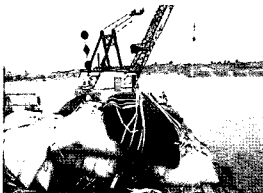
(1995년 5월 ; New York & New Jersey Bay, New York)

5. 극한 환경용 토목섬유 적용사례 사진 모음

5.1. 지오백 적용사례



(Unocal, California, USA)

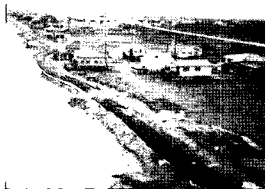


(Pratts Reef, California, USA)

5.2. 지오튜브 적용사례



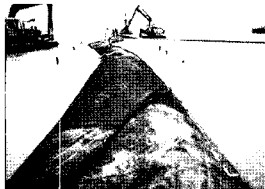
(Atlantic City, New Jersey, USA)



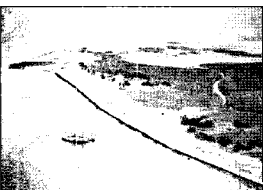
(Bolivar Peninsula, Texas, USA)



(Bondi Beach, Sydney, Australia)



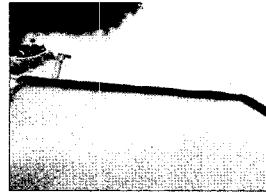
(Shamrock Island, Corpus Christi, Texas, USA)



(Battery Island, North Carolina, USA)



(Chivor Dam, Colombia)

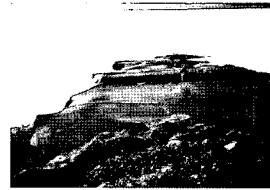
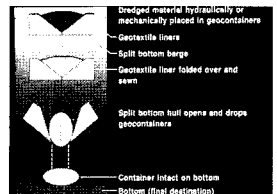
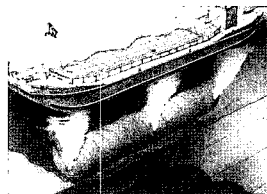


(Amatique Bay, Guatemala)



(Bahia Principe Tulum, Mexico)

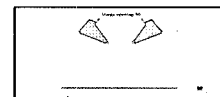
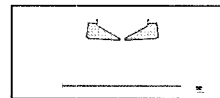
5.3. 지오콘테이너 적용사례



(Red Eye Crossing, LA, California, USA)

(Twielenfleth Geocontainer, Germany)

- 497 Geocontainer® for 350 m³ of sand/silt
- 115 Geocontainer® for 315 m³ of sand/silt
- Construction time: 6 months in 1998 and 1999
- Containers: Hamburger Bergedorfer Bau GmbH of Germany and Dredging International of Belgium
- 2 split-bottom barges were used
- sand/silt was dredged from the river itself
- Economically attractive construction-method as the dredged material from the rivers was used for the construction of the sill, which otherwise had to be built using costly rock.



(Twielenfleth, Germany - Barge opening 30 degrees)

6. 결론

이상에서 기술한 극한 환경 토목섬유에 대한 내용 중 지오텍스타일 관련 제품 적용기술은 시공성과 경제성 및 환경보전 등에 우수한 장점을 갖고 있어 최근 선진외국에서 하천 및 해안분야에 폭넓게 적용하고 있으며, 관련 연구 또한 매우 활발하게 진행되고 있다.

한편, 지금까지의 적용사례와 이론연구 및 실험 연구 등을 통하여 지오백, 지오투브, 지오펀티너 등의 지오텍스타일 관련 제품은 설치 및 시공이 단순하고, 공비 절감효과가 있으며, 환경오염도 최소로 할 수 있는 새로운 형태의 극한 환경용 토목섬유로 인정받고 있음을 알 수 있다. 그러나, 현재 제시되고 있는 이론적 모델과 설계방법에는 많은 불확실성이 있으므로 이의 개선을 위한 보다 광범위한 실험연구와 다양한 하중조건하에서의 실제적인 시험시공이 지속적으로 수행되어 안정성에 대한 확실한 신뢰가 검증되어야만 할 것이다.

참고문헌

1. 전한용, "방재기능 섬유", 2006 최신섬유기술동향 한국섬유산업연합회, 2006. 11.
2. Miratech Co., "Miratech Geocontainment Products", Marine_v2.2, 2002.
3. R. M. Koerner, "Designing with Geosynthetics", 5th Edition, Elsevier Science(2005).
4. GFR, *Specifier's Guide 2006*, Industrial Fabrics Association International, Roseville, MN, USA, 2006.

저자 프로필



전 한 용

1975-1979. 한양대학교 섬유공학과 졸업
 1979-1981. 한양대학교 섬유공학과(석사)
 1984-1989. 한양대학교 섬유공학과(박사)
 1992-2005. 전남대학교 응용화학공학부 교수
 2005-현재. 인하대학교 나노시스템공학부 교수
 GSI-Korea: 한국지부 대표
 2005-현재. 한국토목섬유학회 부회장
 (402-751) 인천 남구 용현3동 253
 전화: 02-860-7492, Fax: 032-872-1426
 e-mail: hyjeon@inha.ac.kr
<http://www.geosynthetics.or.kr>