



## “토목섬유” 강의를 시작하면서

신은철\*

국내에서 토목섬유의 사용은 1970년대 초부터 연약지반보강용으로의 사용을 필두로, 연약지반개량용, 제방 및 옹벽보강, 매립장의 차수재 및 배수재, 사면안정, 도로 및 활주로보강용 등으로 다양하게 사용되고 있다. 토목섬유의 장점은 우수한 시공성과 적용성, 경제성이며, 품질관리가 용이하다는 것이다. 1990년대에는 크고 작은 해안매립공사가 본격화되면서 토목섬유의 연간 사용량은 1,000만<sup>2</sup>m<sup>2</sup> ~ 3,000만<sup>2</sup>m<sup>2</sup> 이상으로 증가 추세에 있다.

국내의 토목섬유제조 기술도 급성장하여 고성능 지오텍스타일은 물론, 연직배수재인 PBD, 차수재인 지오펜브레인, 지반보강용의 지오그리드, 패브릭 폼, EPS 등이 개발되어 각종 건설공사에 사용되고 있다. 우리학회에 토목섬유기술위원회가 1992년 12월에 발족된 이래 6차례의 학술발표회가 개최되었다. 이러한 시점에 건설교통부로부터 국고보조금을 받아 1998년 12월에 “토목섬유설계 및 시공요령”이라는 국내토목섬유의 모든 적용분야를 총괄한 책이 발간되어 토목섬유 기술발전에 토대를 마련하였다. “토목섬유”라는 제목하에 6회에 걸쳐 지상강좌될 내용

\*1 정회원, 시립인천대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*2 정회원, 전남대학교 공과대학 섬유공학과 교수

\*3 정회원, 철도대학 시설토목과 교수

은 토목섬유기술위원회에서 2년간 연구한 결과를 바탕으로 전문분야별로 아래표와 같이 세분하여 실시할 예정이다.

토목섬유 강좌 계획표

강좌번호	강좌 제목
1회	토목섬유(I) : 토목섬유(Geosynthetics)의 제조 및 응용
2회	토목섬유(II) : 토목섬유의 시험법
3회	토목섬유(III) : 필터, 배수, 침식 방지
4회	토목섬유(IV) : 도로 및 제방 보강
5회	토목섬유(V) : 보강토옹벽 및 보강사면
6회	토목섬유(VI) : 차수 및 수직배수공법

## I. 토목섬유(Geosynthetics)의 제조 및 응용

전한웅\*, 심재범\*\*

### 1. 서언

토목섬유란 모래, 흙, 자갈 등의 환경에 사용되는 섬유, 고분자 재료로서 토목공사의 시공기술과 밀접한 관계가 있는 제품이며 직포, 부직포, 매트 등과 같

은 직물형태와 플라스틱 멤브레인, 압출판 및 3차원 압출성형 구조물, 네트 등과 같은 고분자 제품이 광범위하게 포함된다. 일반적인 토목섬유의 종류로는 지오텍스타일(Geotextiles), 지오멤브레인(Geomembranes), 지오그리드(Geogrids), 지오네트(Geonets), 지오웹(Geoweb), 지오매트(Geomats), 지오파이프(Geopipe), 토목섬유 점토차수재(Geosynthetic Clay Liners, GCLs), 지오컴포지트(Geocomposites) 등을 들 수 있다. 우리나라의 경우 토목섬유가 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. 또한 두 가지 혹은 그 이상의 토목섬유의 특성을 혼합하여 기본 기능을 강화한 특수한 기능의 토목섬유 복합재료가 제조·사용되기도 하며 이 분야의 성장률은 다른 분야보다 훨씬 빠르며 배수용 지오컴포지트와 토목섬유 점토차수재가 그 좋은 예이다. 우리나라의 경우에는 부직포형 지오텍스타일을 응용한 배수용 복합재인 플라스틱 드레인보드(Plastic Drain Board, PDB)가 많이 사용되고 있으며 지오텍스타일 및 지오멤브레인 관련 복합재료와 콘크리트 강화용 섬유복합재의 생산 및 사용은 외국에 비해 매우 적은 실정이다. 본 고에서는 매년 그 사용량이 급격히 증가하고 있는 토목섬유의 원료, 제조과정, 기능 및 용도, 특성, 접합, 특성평가에 대한 전반적인 내용을 소개하기로 한다.

## 2. 고분자와 토목섬유

토목섬유와 고분자 재료를 표 1에 나타내었으며 물성 개선 및 보완용 첨가제로는 내부충진제(탄산칼슘, 카본블랙, 목재분말(wood flour), 규화 광물(clay, talc, mica 등), 금속산화물 등)와 산화방지

표 1. 대표적인 고분자재료와 토목섬유

고분자 재료	토목섬유
폴리에틸렌 (polyethylene, PE)	· 지오텍스타일 · 지오멤브레인 · 지오그리드 · 지오파이프 · 지오네트 · 지오컴포지트
폴리프로필렌 (polypropylene, PP)	· 지오텍스타일 · 지오멤브레인 · 지오그리드 · 지오컴포지트
폴리비닐클로라이드 (polyvinyl chloride, PVC)	· 지오멤브레인 · 지오컴포지트 · 지오파이프
폴리에스테르 (polyester, PES)	· 지오텍스타일 · 지오그리드
폴리아미드 (polyamide, PA)	· 지오텍스타일 · 지오컴포지트 · 지오그리드
폴리스티렌 (polystyrene, PS)	· EPS · 지오컴포지트

제, 카본블랙, 유제, 가소제 등이 이용된다.

PP와 폴리에스테르가 주로 사용되는 지오텍스타일과 비교해 지오멤브레인은 클로로네이티드 폴리에틸렌(Chlorinated Polyethylene, CPE), 클로로술포네이티드 폴리에틸렌(Chlorosulphonated Polyethylene, CSPE), 에피클로로 하이드린(Epichlorohydrin), 에틸렌 프로필렌(Ethylene Propylene), 폴리에틸렌(Polyethylene), 폴리비닐클로라이드(Polyvinyl Chloride, PVC)의 고분자 재료가 사용되며 고분자의 특수한 성질 향상을 위해 산화방지제, 카본블랙, 오일(Oils), 가소제, 불활성 충전제 등이 첨가된다. 충전제를 첨가할 경우, 고분자 화합물의 가격을 절감할 수 있으며 대부분 한가지 고분자물질을 포함한 지오멤브레인 생산품이 사용되지만, 특수한 성질을 향상시키기 위해 두 가지 또는 그 이상으로 블렌드하기도 한다. 폴리에틸렌 수지로 제조된 지오멤브레인의 경우 일광에 의해 라디칼이 형성되어 분해가 발생하며 취화의 원인이 되므로 산화안정제(AO ; Antioxidant, HALS ; Hindered amine as light stabilizers 등)를 첨가할 경우 일

광 및 자외선, 열 등에 의해 라디칼 형성이 방지되고 내후성도 향상된다. 토목섬유를 장기간 적용할 경우, 내구성은 사용되는 고분자 재료의 특성에 좌우되며 그 특성을 분석하여 토목섬유를 제조하고 그 용도를 결정하는 것이 매우 바람직하다.

### 3. 토목섬유의 종류 및 제조 공정

실제 섬유고분자 재료들은 각각의 고유 특성을 가지고 있으며 토목섬유의 다양한 기능에 적합한 특성을 갖기 위해 여러 가지 첨가제를 혼합하고 제조공정도 제품마다 다르다. 예를 들면, 부직포 지오텍스타일의 경우 원료섬유의 종류에 따라 니들펀칭, 열융착 및 스펀본딩법이 적용되며 지오멤브레인의 경우 압출, 캘린더링, 연신 등의 공정을 거치게 되고 지오그리드와 지오네트 관련 제품들은 압출, 펀칭, 연신, 제직, 피복 등의 공정을 거쳐 다양한 기술들로 제조된다. 토목섬유는 다양한 섬유형상의 결합 및 압출성형, 피복 등에 의해 제조되며 크게 직포형 및 부직포형 지오텍스타일, 지오멤브레인, 지오그리드, 지오네트, 지오매트, 지오웹, 지오매쉬, 토목섬유 점토 차수재 및 지오컴포지트 관련 제품으로 구분되며 이들의 기본적인 제조방법과 특성은 다음과 같다.

#### 3.1. 지오텍스타일

##### (1) 직포형 지오텍스타일

필라멘트사, 또는 방적사를 이용하여 경, 위사를 직각형태로 교차해 만든 형태로 기본조직은 평직, 능직, 주자직으로 구분되고 사용되는 실은 보통 1,000~3,000 데니어 정도의 실을 연사하여 사용한다. 직물밀도는 경, 위사방향으로 인치당 19~21 개가 일반적이며 주로 폴리에스테르와 폴리프로필렌 섬유가 사용되고 있으나 폴리프로필렌 섬유는 내광성이 약한 단점이 있다.

##### (2) 부직포형 지오텍스타일

장섬유나 단섬유를 랜덤하게 배열하여 결합시킨

형태로 단섬유의 경우 니들펀칭 공정을 이용, 제조하며 장섬유의 경우 스펀본드 공정으로 중량 200~800 g/m<sup>2</sup> 정도로 적층하여 니들펀칭 또는 열융착 등의 방법으로 결합시킨다. 일반적으로 구성섬유들이 무질서하게 엉켜있는 구조를 형성하고 있어 역학적, 수리적 특성이 우수하며 폴리프로필렌과 폴리에스테르 섬유가 주로 이용되고 있다.

#### 3.2. 지오멤브레인

지오멤브레인은 액체봉쇄를 목적으로 최근 널리 사용되고 있으며 국제산업직물협회(IFAI, Industrial Fabrics Association International)에 의하면 위험한 폐기물, 산업용과 가정용의 쓰레기 매립, 흙 댐 및 터널방수 등 특별한 용도에 사용되며 미국환경부(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 지오멤브레인을 FML(Flexible Membrane Liner)로 정의한다.

##### (1) Flat type의 지오멤브레인

고분자수지와 카이본 블랙, 첨가제가 혼련된 칩을 flat die(; T-die)가 부착된 압출기를 이용하여 sheet상으로 압출시킨 다음 로울러 연신장치를 통과시켜 지오멤브레인으로서의 성능을 부여한다.

##### (2) Blown type의 지오멤브레인

Flat type의 지오멤브레인 제조에 사용되는 동일한 칩을 flat die 대신 circular die가 부착된 장치를 통과시켜 blown type의 지오멤브레인을 제조한다.

한편, 이들 두가지 형태의 지오멤브레인은 압출방식의 차이에 의해 다른 형태학적 구조를 나타낸다. Flat die를 사용할 경우에는 로울러 연신에 의해 die 전반부의 폭과 두께가 die 후반부에 비해 커지며, circular die를 사용할 경우에는 이와 반대의 현상이 나타난다. 이러한 형태학적 차이는 지오멤브레인 접합시 불량시공을 야기시키며 지오멤브레인의 전반적인 물성에도 중요한 영향을 미치게되므로 권취 및 연신공정을 적절하게 제어하여야만 한다.

### (3) 표면처리된 지오멤브레인

표면처리된 지오멤브레인의 제조방법에는 spray-on 공정, 조각 로울러를 이용하는 공정, 코팅공정 등이 있으며 이를 통과한 지오멤브레인의 공통적인 특징은 표면에 요철구조를 형성하여 흠과의 마찰저항을 향상시켰다는 점이다.

## 3.3. 지오그리드

지오그리드는 리브(rib)사이에 대략 1~10cm의 큰 공간인 apertures를 가진 격자형 재료이며 리브의 구성, 교차연결 또는 결합방법은 다양하게 변화시킬 수 있고 하중을 받는 방향의 보강재로 사용된다.

### (1) 시트형(강성) 지오그리드

시트형(강성) 지오그리드는 압출기를 통과한 지오멤브레인을 로울러에 통과시켜 격자모양의 그리드 형태로 구멍(apertures)을 뚫은 다음 일축 또는 이축으로 연신시켜 타원형 모양으로 제조되며 지오멤브레인의 원료로는 HDPE(High Density Poly Ethylene)가 주로 사용된다. 연신과정에서 작은 구멍들은 보통 10~50mm 크기의 타원 혹은 원형모양의 큰 구멍으로 되어 있으며 분자배열도 잘 조정되어 결과적으로 높은 강도를 나타내므로 지반보강용으로 사용된다.

### (2) 직포형(연성) 지오그리드

직물이나 편물형태의 band fabrics과 필라멘트사를 각각 경위사방향으로 공급하여 apertures가 형성된 지오그리드용 직물을 제조하며 주로 폴리에스테르실이 원료로 사용된다.

다음에 제조된 지오그리드용 직물에 강력을 부여하고 경위사의 결합점에서의 접합을 강화하고 일광 및 자외선에 대한 저항성을 향상시키기 위하여 PVC, 역청, 폴타르 등과 같은 수지를 적정용제로 용해시켜 지오그리드용 직물을 피복시킨다.

## 3.4. 지오네트

지오네트는 서로 반대방향으로 운동하는 회전

dies를 통하여 얻어지는 strand를 일정한 각도로 교차시킨 2세트의 평행한 구조를 가지며 이들 strand들은 각각 교차점에서 용융, 접착되고 원료고분자로는 주로 폴리에틸렌이 사용된다.

## 3.5. 토목섬유 점토 차수재

토목섬유 점토 차수재(Geosynthetic Clay Liner, GCL)는 지오텍스타일 또는 지오멤브레인 사이에 낮은 수분전달성을 지닌 토양성분인 벤토나이트를 채우고 스티치 본딩, 니들펀칭, 또는 접착제로 결합시킨 후 롤의 형태로 생산되며 취급과 수송이 용이하여 설치에 적당한 복합 차수재로 사용된다. 벤토나이트는 천연적으로 얻어지는 극도의 친수성을 지닌 광물질로 물(또는 수증기)과 접촉할 때 벤토나이트 공극에 수많은 작은 친수성공간이 존재하여 GCL의 복합구조 내부로 물분자가 흡착, 확산되며 그 결과 투수계수의 감소를 유발시킨다. 일반적으로 GCL의 투수계수는 물과 접촉시  $1 \times 10^{-9}$ 에서  $5 \times 10^{-9}$ cm/sec이다.

## 3.6. 지오웹

지오웹은 띠형태를 가진 매우 거친 폴리에스테르 섬유와 HDPE 띠를 초음파로 접착하여 형성되는 세포망 형태로 구분되며 침식방지와 지반보강용으로 널리 사용되고 있다.

## 3.7. 지오매트

지오매트는 semi-rigid monofilament로 구성되어 있으며 직경은 1mm 보다 작고 매우 주름이 넓게 퍼져있는 3차원적으로 엉켜있는 구조를 이루고 있다. 주로 침식방지용으로 사용된다.

## 3.8. 지오셀

지오셀은 서로 연결된 셀로 구성되며 각각의 셀은 두꺼운 매트리스에 의해 흠으로 채워지고 제방을 쌓는데 기초 보강재 역할을 하며 연약지반의 얇은 퇴적물 위에 적용된다. 일반적으로 100에서 200mm깊이의 지오셀은 니들펀칭된 폴리에스테르의 작은 조

각이나 100에서 200mm넓이와 약 5m의 길이로 된 고체 HDPE를 이용하여 제조된다. HDPE 지오셀은 지하토양보강을 위해 과립상 물질을 채우는 용도로 사용되어 왔으며, 점진적인 stacking과 지오셀층 위에 다른 층을 채우는 경사 건설에 사용되어 왔다.

### 3.9. 지오파이프

지반에서 물, 가스, 기름 및 다양한 종류의 액체 운송수단으로 지오파이프가 사용되며 그 재료는 강성과 재료성능과 관련된 강력을 가져야 한다. 지반중에 그리고 뒷채움 시스템에 적용되는 지오파이프 재료로는 PVC, HDPE, PP, PB(Polybutylene), ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene), CAB(Cellulose Acetate Butyrate) 등이 사용되며 압출성형에 의해 제조된다.

### 3.10. 토목섬유복합재료

#### (1) 지오텍스타일 보강 복합재료

섬유의 굵기(변수)에는 큰 변화가 없으며 주로 중량이 큰(600g/m<sup>2</sup>~) 부직포와 split yarn을 이용한 매트형태의 직포가 사용되며 제작된 multifilament 섬유는 최대 520kN/m 정도의 인장강도를 갖는다. 제조방법은 접착제를 사용하거나 열융착법을 이용하여 부직포/지오네트, 부직포/부직포, 부직포/매트, 매트/매트 등의 형태로 생산된다. 여기서 부직포/지오네트의 경우 지오킴포지트라고 불리우며 주로 수평배수용으로 사용된다.

#### (2) 지오멤브레인 보강 복합재료

계곡사이에 일반 쓰레기 및 산업 폐기물을 매립하는 경우 제기되는 중요한 문제는 급격한 경사 부위에 덮개를 씌우는 것이며 표면 마찰특성이 크고 부분 함몰과 찢김에 대한 저항성이 우수한 지오멤브레인이 사용되어야만 한다. 일반적으로 CSPE 지오멤브레인과 CSPE 지오멤브레인의 한면 또는 양면에 지오텍스타일 부직포를 결합시킨 형태의 복합재료가 많이 사용되고 지오멤브레인/지오네트, 지오멤브레인/

지오그리드 형태의 복합재료도 사용된다.

#### (3) 플라스틱 드레인 보드

플라스틱 드레인 보드(Plastic Drain Board, PDB)는 주로 투수성이 좋은 부직포와 플라스틱 압출제품을 접착시킨 복합재료로 구성되며 연약지반내 개량용 수직배수재로서 이용되고 연약지반내에 수직으로 설치하면 간극수가 여과기능을 가진 부직포 필터를 거쳐 내부 코어인 플라스틱 배수구를 통하여 상부로 쉽게 배출되도록 되어있다. 플라스틱 압출제품인 내부 코어는 배수용량 및 여과면적이 크고, 강력해야 하며 산, 알칼리, 염분 등에 대한 내구성이 커야 되고, 저온 및 고온에서 시공성이 좋아야 하며, 유연성이 좋고 수분에 의한 수축이나 변형이 발생해서는 안된다. 또한 부직포 필터는 인장력이 커야하며, 투수성 및 여과효과가 탁월해야 하고, 막힘현상이 없어야 하며, 산, 알칼리, 염분 등에 대한 내구성이 좋아야만 한다.

#### (4) 액체/기체 봉쇄용 지오킴포지트

지오멤브레인 하부의 지오텍스타일 라이너(Liner)는 다양한 목적으로 사용되고 지오멤브레인/지오텍스타일 일체형 지오킴포지트 형태가 유용하다. 지하 가솔린 저장 탱크에 사용되는 지오텍스타일/지오멤브레인/지오텍스타일 복합재료는 탱크로부터 누출되는 가스를 봉쇄하는 목적으로 이용된다.

### 3.11. 기타 토목섬유 관련 재료

#### (1) 콘크리트 강화용 섬유복합재료

섬유와 부직포 및 직물을 이용하여 콘크리트의 균열을 방지하고 역학적 특성을 향상시킬 목적으로 섬유복합재료가 사용된다. 강화섬유로는 탄소섬유, 금속섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등이 주로 사용되며 나일론, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리에스테르, 레이온, 스판덱스 등이 이용되기도 한다. 또한 직경 0.8~15mils, 길이 0.5~2.0in의 섬유를 이용하고 강화섬유의 첨가로 ① 균열에 대한 저항력의 증가,



② 균열된 부분의 공유, ③ 열변화 및 열수축에 대한 저항력의 증가, ④ 내구성의 향상 등을 개선할 수 있다. 일반적으로 금속섬유강화 콘크리트는 파이프, 내화성 콘크리트, 부식방지용 콘크리트 구조물 등에 사용되며 인장특성, 피로특성, 크리이프 특성, 내알칼리성, 내약품성, 내열성, 콘크리트와의 부착성 등이 신중하게 검토된 후 적용되어야만 한다.

### (2) EPS 블록(Expanded Polystyrene Block)

EPS란 발포성 폴리스티렌(PS)을 의미하며 92~98 wt %의 PS수지에 3~8%의 발포제, 난연제, 내전방지제, 내약품성 조제 및 침식방지제가 첨가된 작은 구슬모양의 형태로 되어있다. EPS를 연화점(90℃) 이상으로 가열하면 발포제의 팽창압력으로 인하여 10~100배 이상 발포되어 다양한 모양으로 성형 가능하다. 한편, EPS 블록은 EPS를 벽돌모양으로 성형한 제품으로 초경량성, 내압축성, 내수성, 자립성, 가공성이 뛰어나며 내화화성이 강하고 생물학적으로 안정된 특징을 지니고 있어 포장재와 건축자재 등의 일반적인 용도 외에 토목건설공사에 효과적으로 활용할 수 있는 제품이다.

### (3) 기타

사면보호용으로 널리 사용되는 폴리에스테르 섬유 의 이중직물형태인 섬유거푸집과 Nylon 6 또는 PVC로 만든 3차원 입체망상형태의 Enka Mat, 항만 등의 간척공사의 오탐수 확산을 방지하는 오탐방지막 등이 있다.

## 3.12. 토목섬유 제조 공정관리

토목섬유의 제조 및 시공시 발생하는 모든 문제들은 전반적으로 토목섬유의 내구성과 용도결정에 중요한 영향을 미친다. 특히 시공후 토목섬유의 봉합특성, 찢김저항성, 마찰특성, 내구성 등은 적합한 재료를 어떻게 선택, 사용하느냐에 따라 달라지며 이를 해결하기 위한 방법으로 지시된 시험법에 의거, 관련 물성들을 측정 한 후 이를 MQC(Manufacturing

Quality Control)/MQA(Manufacturing Quality Assurance), CQC(Construction Quality Control)/CQA(Construction Quality Assurance) 평가에 사용된다. 한편, MQC/MQA 와 CQC/CQA 를 설명하면 다음과 같다.

#### (1) 제조공정 품질관리(MQC)

정밀검사의 계획된 시스템으로 공장에서 제조되는 토목섬유의 상태점검과 관리에 사용되며 MQC는 흔히 토목섬유 생산자에 의해 수행된다.

#### (2) 제조공정 품질인증(MQA)

검증 문서와 계약 도면과 시방서에 타당하게 제조된 토목섬유의 인증을 제공하기 위한 제조로써 MQA는 생산 시설의 정밀검사와 조회, 심사와 생산된 재료의 품질 평가를 위한 원재료와 토목섬유의 평가가 포함된다.

#### (3) 시공공정 품질관리(CQC)

시공공정의 품질관리와 직접적인 점검에 적용되며 일반적으로 시공되어지는 시스템의 최상의 상태에 도달하기 위해 토목섬유 시공에 의해 수행되어진다. CQC는 토목섬유에 대해 요구되는 물성치를 결정하기 위해 시공자에 의해 측정되고 시공을 위한 설계서와 시방서의 기능을 갖는다.

#### (4) 시공공정 품질인증(CQA)

시공되는 시설의 인증을 제공하기 위한 제조로써 정밀검사와 조회, 심사, 재료의 평가가 포함되며 시공되어진 시설의 품질을 결정하기 위한 필수적인 기능을 한다.

## 4. 토목섬유의 개발 동향

일반적으로 지오텍스타일과 지옴브레인의 초기형태는 면을 이용한 직물 또는 코팅직물이었으며 1926년 미국 South Carolina Highways Department에

서 발주한 도로공사에 처음 사용되었다. 합성섬유로 제직된 지오텍스타일은 1950년대 후반에 콘크리트 옹벽하단부에 설치, 우수한 성능을 나타내어 1960년대 초기까지 호안보호용으로 사용되었다. 그 후 1962년에는 Memphis District에서 하천의 사면을 보호하기 위하여 여과의 기능으로 직포형 지오텍스타일이 사용되었다. 1968년에는 미국의 FHWA(Federal Highway Administration)에서 아스팔트 표면 균열 방지를 위해서 직포형 지오텍스타일을 사용하였고 일본에서는 지진과 폭풍으로 인해 제방이 파괴되는 것을 방지하기 위해 지오네트가 사용되기 시작하였다. 직포형 지오텍스타일은 1968년 프랑스의 Rhone Poulenc사에서 개발한 "Bidim"과 영국의 ICI사가 개발한 "Teran" 등이 그 시초였으며 1970년에 Valcros Dam 건설에 처음으로 사용되었다. 그러나 본격적으로 지오텍스타일이 사용된 것은 1960년도 중반 이후로, 사면보호용 토목자재의 가격과 운반비용의 상승으로 토목섬유의 가격이 기존의 토목자재와 경쟁력을 갖게 되었다. 또한 지오그리드, 지오네트의 개발은 1960년에 영국에서 그 제조방법을 개발한 이래로 Gundle Lining System사(Gundnet), Mirafis사(Para Grid), Tebsar사(SR) 등이 제조, 판매하고 있다. 지오멤브레인은 UCO사(Greenline), Poly America사(Poly Flex), Palco Linings사(Dynalog), Fundle Lining System사(Gundline) 등이 생산하고 있다. 지오웹(Geowebs)은 Presto사가 고밀도 폴리에틸렌 섬유를 이용하여 "Geoweb"이란 상품명으로 판매하고 있으며 토목섬유 복합재료는 1969년 수직드레인이 처음으로 개발된 이래로 Amerdrain사(Amerdrain), Burcan사(Hitek), Geotechnics Holland사(Mebradrain) 등이 제조하고 있으며 기타 토목섬유 관련제품은 Construction Techniques사(Fabriforin), Enka사(Stabilenka) 등이 제조, 판매하고 있다. 한편, 제품의 용도확장과 기존제품의 물성 개선에 연구개발의 관심이 집중되고 있으며 미국의 경우, 기존의 GRI(Geosynthetic Research Institute)를 GSI(Geosynthetic Institute)로 개편하고 많은

관련기업들이 컨소시엄을 형성하여 토목섬유의 연구 개발에 참여하고 있다. 한편, 유럽의 경우에는 네덜란드, 영국, 독일, 프랑스를 중심으로 각 나라에 속해 있는 관련 업체들이 활발한 연구활동을 하고 있으며 일본도 신소재 개발과 더불어 용도확장에 큰 관심과 연구를 집중하고 있다.

## 5. 토목섬유의 기능 및 용도

### 5.1 토목섬유의 기능

토목섬유의 주요 기능은 주로 분리(Separation), 여과(Filtration), 보강(Reinforcement), 배수(Drainage), 액체/기체 차단기능 등으로 구분할 수 있으며 건설공사에 사용된 토목섬유는 최소한 한가지 이상의 기능이 적용되고 각 기능에 대한 용도설계는 역학적, 수리학적 및 지질학적인 기본 개념에 의하여 행해진다.

#### (1) 보강기능

토목섬유제품의 보강기능은 토목섬유의 인장강도에 의해 흙 구조물의 안정성을 증진시키는 기능으로 보강기능을 목적으로 사용하는 토목섬유제품은 인장강도는 물론 흙과의 마찰력이 커야 한다. 보강재용 토목섬유는 인장강도가 클수록 또한 흙과의 마찰력이 클수록 보다 큰 효과를 보여준다.

#### (2) 배수기능

토목섬유의 배수기능은 투수계수로 평가되며 수직 흐름의 경우 토목섬유제품의 수직투수계수(Permeability)는  $k_n/h$ 에 의해 결정되며 평면투수계수(Transmissivity)는  $k_p$ 에 의해 결정된다.

유체의 수직흐름은 토목섬유제품이 필터로서 사용될 때 적용되고, 토목섬유제품이 배수재로서 사용될 때는 평면흐름이 적용된다.

여기서,  $k_n$  : 수직투수계수  
 $h$  : 수두차  
 $k_p$  : 평면투수계수

(3) 필터기능

토목섬유제품의 필터기능은 크게 액체필터기능, 정적 고체필터기능 및 동적 고체필터기능의 3 가지로 고려된다. 액체 필터기능은 액체중에 부유되어 있는 세립자를 운반하는 흐름에 직각방향으로 토목섬유제품을 설치해서 세립자의 이동을 막고 물만 통과시키는 기능이며, 정적 고체필터기능은 흙과 유공재료(골재, 유공관, 다공플라스틱 매트)사이에 설치된 토목섬유제품이 배수 또는 양수에 의해 물을 집수하여 운반하는 동안, 흡입자의 이동을 막아주는 기능으로 주로 정류상태의 일방향 흐름에 대한 기능인데 반해 동적 고체필터 기능은 부정류상태의 동적 흐름에 대한 기능이다.

(4) 분리기능

토목섬유의 분리기능은 세립토와 자갈, 돌덩어리, 블록 등의 조립재료가 외부하중에 의해 서로 압착되어질 때 두 재료 사이에 놓인 토목섬유가 세립토와 조립입자가 혼합되는 것을 막아주는 기능이다. 분리기능을 목적으로 사용되는 토목섬유는 흡입자를 보존시키는 보존성과 외부하중에 의해 생기는 응력에 견딜 수 있는 충분한 강도를 가져야 한다.

5.2. 토목섬유의 용도

- (1) 배수용 - 세립토, 콘크리트와 같은 투수성이 낮은 토목재료 또는 지오멤브레인 등과 밀착된 상태로 설치하여 물이 배수구로 흐르게 함
- (2) 방수 또는 치수용 - 물의 출입을 차단함
- (3) 여과용 - 조립토와 세립토 또는 부유세립토 사이에 설치하여 물의 흐름에 따른 세립토의 이동을 최소화로 방지하면서 물을 여과시킴
- (4) 액체필터용 - 물이 흐르는 곳에 설치하여 물은 이동시키며 미립자 및 불순물은 통과하지 못하게 함

- (5) 보호용 - 빈 공간을 가진 토목재료와 지오멤브레인 사이에 설치하여 토목재료위의 지오멤브레인이 파괴되는 것을 방지함
- (6) 분리용 - 모래, 자갈, 잡석 등의 조립토와 세립토의 혼합을 방지함
- (7) 표면유지용 - 토목섬유를 지반위에 설치하여 평평하고 깨끗한 표면을 조성, 유지시킴
- (8) 커튼기능용 - 흙이나 암석면에 평행하게 설치하여 토사가 떨어지는 것을 방지함
- (9) 막기능용 - 서로 다른 압력의 차이를 받고 있는 두 재료사이에 설치하여 토목섬유의 인장강도에 의한 압력차를 조절함
- (10) 연결용 - 두 층의 지반이 분리되는 것을 방지함
- (11) 모음기능용 - 외력에 의해 토사가 불안정화되는 경우 토사를 모아줌
- (12) 보강용 - 토목섬유의 인장강도에 의해 지반구조물의 역학적 안정성을 증가시킴
- (13) 흡수기능용 - 지반에 전달되는 하중과 변형률을 분산시키거나 감소시킴
- (14) 균열방지용 - 흙중의 구조물과 지반사이에 발생하는 균열의 발생과 성장을 방지함
- (15) 접착기능용 - 토목재료사이에 설치하여 마찰이나 부착력을 증가시켜 재료사이의 결합력을 증가시킴
- (16) 윤활기능용 - 토목재료사이의 부착력이나 마찰력을 감소시킴



## 6. 토목섬유의 특성

토목섬유에 요구되는 기본특성을 살펴보면 (1)가 격이 저렴할 것, (2)용도에 적합한 강도·신율 및 투습성을 가질 것, (3)크리이프성이 양호할 것, (4)내화학성 및 내구성이 강할 것, (5)운반 및 시공이 용이할 것 등이다. 일반적으로 토목섬유는 사용 환경 조건하에서 언제나 안정된 상태를 유지해야만 한다. 즉, 내구성이 강하고 박테리아 등 미생물에 의한 물성의 변화가 없어야 하며 지반강화용 약품 등에 견디면서 내광성이 있어야 한다. 보통 연약지반처리공법에 사용되는 토목섬유 매트는 흙속에서 매립시켜 사용하지만 장시간 현장에서 일광에 노출되기 때문에 특히 폴리올레핀 계통의 고분자(폴리프로필렌, 폴리에틸렌 등)에는 자외선 안정제 및 산화방지제가 첨가되어야 하며 어떠한 토목섬유이든지 극한 상태에서 충분히 견디어야만 한다. 따라서 섬유고분자의 역학적 성질과 구조인자들을 고려하여 토목섬유의 최종적인 설계가 결정된다. 한편, 토목섬유는 흙과 토목섬유사이에서 사용될 경우 시간이 경과해도 지반변화를 방지하고 지반을 설계대로 보존하는 기능을 가지며 이것을 “보존성”이라 한다. 이와 반면에, 흙속에서 사용될 경우 토목섬유는 지반내의 과잉수를 감소시키거나 지반에 작용하는 하중에 견디도록 토질의 거동을 개선시키는 역할을 하며 이것을 “개량성”이라고 한다. 현재는 토목섬유가 대부분 “개량성” 기능보다 “보존성” 기능으로 작용하는 경우가 많으나 앞으로는 “개량성” 기능을 수행하는 토목섬유의 사용이 증가할 것으로 보여진다.

## 7. 토목섬유의 접합

제조업체로부터 생산, 공급되는 다양한 종류의 토목섬유들은 일정한 폭과 길이를 가지고 있기 때문에 실제로 토목건설현장에서 시공할 경우 시공전면적에 걸쳐 접합, 사용되고 있다.

토목섬유접합에 적용되는 방법들은 각각의 제품특

성을 고려하여 선택되어지고 있으며 주로 재봉기, 용융압출접착기, 열접착기, 용제접착기, 초음파접착기 등이 사용되고 있다. 한편, 토목섬유접합시 발생하는 문제점들은 곧바로 시공전면에 걸친 구조시스템에 영향을 미치게 되므로 토목섬유접합은 매우 중요한 사항중의 하나이며 특히, 폐기물 매립장의 경우 불량 접합에 의한 지오멤브레인의 파괴는 침출수의 유출을 유발시켜 환경오염을 일으키는 직접적인 원인이 된다. 그리고 배수시스템, 매립장 덮개용으로 사용되는 지오네트, 지오컴포지트 등의 접합과 도로건설 및 기타 옹벽조성, 댐, 제방건설 등 관련 토목공사에 사용되는 지오그리드의 접합도 구조물의 안전시공에 커다란 영향을 미치게 된다.

### 7.1. 지오텍스타일의 접합

필터용 지오텍스타일 접합에는 재봉기가 사용되지만 기체포집층이나 폐기물 또는 지오멤브레인 보호층에 적용되는 분리용 지오텍스타일의 접합에는 열풍접착기가 사용된다. 재봉기를 사용하여 지오텍스타일을 접합할 경우 사용되는 재봉사의 강도가 지오텍스타일의 접합강도에 직접적인 영향을 미치므로 그 선택에 신중을 기해야만 하며 ① 폴리에스테르사, ② 폴리프로필렌사, ③ Kevlar®, ④ Spectra® 등의 재봉사가 주로 사용된다. 또한 이들 재봉사는 시공조건에 적합한 형태로 선택, 사용되며 접합부분에서의 slippage가 발생해서는 안되고 지오텍스타일의 적용환경요인인 일광, 자외선 및 화학약품 등에 대한 저항성이 좋아야 한다. 지오텍스타일의 접합형태는 지오텍스타일의 가장자리 부분을 중첩시켜 봉제하며 그 형태로는 중첩접합(Superimposed Seams, SS)이 널리 사용된다.

### 7.2. 지오멤브레인의 접합

지오멤브레인의 접합은 접합면을 어떻게 형성시키느냐에 따라 접합효과가 좌우되며 접합면에서 발생하는 응력집중현상에 의해 접합면의 파괴가 발생하므로 접합방법, 접합조건, 접합면의 기하학적 구조 등이 중

요한 변수가 된다. 지오멤브레인의 접합방법에는 (1) 압출접합 - 지오멤브레인을 압출접착기를 통과한 용융고분자(Extrudate)를 이용하여 접착시키는 방법, (2)용융접합 - hot wedge를 이용하여 지오멤브레인 접합면을 용융시킨 다음 이들 용융 면을 서로 접합시키는 방법, (3)열풍접합 - 용융접착기의 hot wedge 대신에 hot nozzle에서 열풍을 유입시켜 지오멤브레인의 접합 면을 용융시켜 상호 접합, (4)초음파접합 - 초음파 접착장치의 transducer/booster에 의해 고에너지로 변환된 열로 지오멤브레인을 접합, (5)용제 접합 - 지오멤브레인을 용해시킬 수 있는 용제를 사용하여 접합, (6)접착제접합 - 접착제를 사용하여 지오멤브레인을 접합 등이 있으며 각각의 방법에 적합한 접착장치들이 사용된다. 한편, 지오멤브레인의 접합성 평가는 접합현장에서 채취한 시편을 이용한 CQA 나 CQC측면에서의 평가를 의미하며 이를 위하여 일반적인 접합면의 전단이나 박리강도를 측정하는 방법과 비파괴 검사법으로 접합된 wedge 사이에 압축공기를 유입시켜 압력변화를 검사하는 방법이 널리 사용되고 있다.

### 7.3. 지오그리드의 접합

보강토 옹벽공사 및 15m 이상의 경사면에 주로 사용되는 지오그리드는 접합방법-지오텍스타일이나 지오멤브레인과는 달리 aperture를 연결함에 따라 내구성 및 보강효과가 좌우된다. 일반적으로 사용되는 지오그리드 접합법으로는 지오그리드 자체에 존재하는 aperture와 rib구조의 형태안정성을 이용하여 주위의 흙과 자갈 등에 우수한 교락 및 정착효과를 부여하는 방법과 기계적 연결법 등이 있다. 일반적으로 지오그리드를 기계적으로 연결하는 방법으로 bodkin joint 연결법이 사용되며 이 방법은 지오그리드의 접합방법중에서 가장 효과적인 방법으로 편편하고 균일한 단면적을 유지할 수 있다. 또한 보강토 옹벽을 조성할 경우 고하중-저변형 시스템에 적합하며 시공 중 적정밀도로 뒷채움 흙을 압밀시킨다.

## 8. 토목섬유의 평가

### 8.1. 평가방법

토목섬유의 평가방법은 사용되는 고분자 재료별로 분류되며 제품자체의 내구성이 토목섬유의 수명을 결정하므로 이에 영향을 미치는 인자들을 중요한 시험방법으로 채택하고 있다.

또한 토목섬유는 광범위한 면적에 사용되므로 제품 상호간의 접착부분의 물성이 중요한 시험인자로 간주된다. 한편, 토목섬유인 그 시험방법도 다양하고 복잡하지만 주로 ASTM D의 방법에 의거 · 실행되며 ASTM D의 방법을 보완한 GRI (Geosynthetic Research Institute) Standard Test Method도 병행하여 사용되고 있다. 이외에도 각 국가별로 토목건설용 섬유고분자 재료제품에 대한 시험방법들이 있지만 시험방법의 적용에 대한 효율성을 높이기 위해 전 세계적으로 IGS (International Geosynthetics Society) 주관 하에 ISO 시험방법의 표준화와 규격화가 진행되고 있다.

한편, 국내외에서 토목섬유에 적용되는 시험방법들은 사용용도에 따라서 적용하는 항목이 각각 다르고 외국의 경우 제품의 형태 및 설계의 중요도에 따라 항목적용을 조절하기도 하므로 제품의 종류별로 적용 시험 방법을 구분하여 모두 설명하기는 어렵다. 일반적으로 토목섬유는 제품별로 판매, 시공시 요구되는 중요한 특성치를 가지며 반드시 평가되어야만 할 특성시험 항목들이 있고 주요 특성시험 항목을 소개하면 다음과 같다.

#### (1) 기초물성

- ① 중량 및 두께
- ② 밀도
- ③ 분자량, 첨가제의 양
- ④ 용융지수(MI) 등

#### (2) 역학적 특성

- ① 인장, 인열, 파열, 찢김, 충격, 봉합강도 등

② 마찰성질 - 직접전단, 인발특성 등

(3) 수리적 특성

- ① 수직 및 수평투수성
- ② 유효구멍크기 - AOS, EOS 등

(4) 내구성

- ① 크리이프 및 응력완화
- ② 피로기구
- ③ 구멍막힘성 등

(5) 내후성

- ① 일광 및 자외선에 대한 안정성
- ② 화학적, 생물학적 저항성
- ③ 온도 및 열 안정성
- ④ 노출환경에 대한 저항성 - ESCR 등

## 8.2. 평가항목

한편, 토목섬유 시공 시 요구되는 성능과 관련된 제품별 특성시험은 다음과 같다.

### ● 지오텍스타일

(1) 물리적 성질

- ① 중량 및 두께
- ② 강연성 등

(2) 역학적 성질

- ① 인장특성(광폭)
- ② 압축특성
- ③ 인열, 파열, 충격, 찢김특성
- ④ 봉합특성
- ⑤ 마찰성질(직접전단, 인발특성)
- ⑥ 피로특성 등

(3) 수리적 성질

- ① 수직 및 수평투수성
- ② Porosity - AOS, EOS

③ Soil retention 등

(4) 내구성

- ① 크리이프 및 응력완화
- ② 내마모성
- ③ 구멍막힘성 등

(5) 내후성

- ① 온도, 산화, 가수분해에 대한 안정성
- ② 화학적, 생물학적 저항성
- ③ 방사성에 대한 저항성
- ④ 일광 및 자외선에 대한 안정성 등

### ● 지오멤브레인

(1) 물리적 성질

- ① 밀도
- ② 중량 및 두께
- ③ 카이본 블랙 함량
- ④ 용융지수(MI),
- ⑤ 수증기 투과도  
(Water Vapor Transition, WVT)
- ⑥ 용제증기 투과도  
(Solvent Vapor Transition, SVT) 등

(2) 역학적 성질

- ① 인장특성
- ② 인열, 파열, 충격, 찢김특성
- ③ 봉합특성(:Peel and shear tests)
- ④ 마찰성질(:직접전단, 인발특성) 등

(3) 내구성

- ① 크리이프 및 응력완화

(4) 내후성

- ① 온도, 산화, 가수분해에 대한 안정성
- ② 화학적, 생물학적 저항성
- ③ 방사성에 대한 저항성

# 강좌

④ 일광 및 자외선에 대한 안정성 등

● 지오그리드

(1) 물리적 성질

- ① Raw grid의 특성
- ② Coating type
- ③ Aperture size,
- ④ 중량 및 두께 등

(2) 역학적 성질

- ① 광폭인장특성
- ② Single rib and junction strength
- ③ 마찰성질(직접전단, 인발특성) 등

(3) 내구성

- ① 크리이프 및 응력완화

(4) 내후성

- ① 온도, 산화, 가수분해에 대한 안정성
- ② 화학적, 생물학적 저항성
- ③ 방사선에 대한 저항성
- ④ 일광 및 자외선에 대한 안정성 등

● 지오네트

(1) 물리적 성질

- ① 밀도
- ② 중량 및 두께
- ③ 기타 - Rib dimensions, Planar angles, Aperture size and shape 등

(2) 역학적 성질

- ① 인장특성
- ② 압축특성
- ③ 마찰성질(직접전단, 인발특성) 등

(3) 수리적 성질 - 수평배수성

(4) 내구성 - 크리이프 및 응력완화

● 토목섬유 점토 차수재

(1) 물리적 성질

- ① Clay type: 벤토나이트의 특성
- ② Adhesives
- ③ Cohesives,
- ④ Moisture content
- ⑤ 중량 및 두께 등

(2) 역학적 성질

- ① 광폭인장특성
- ② 봉합특성
- ③ 찢김특성
- ④ 마찰성질(직접전단, 인발특성) 등

(3) 수리적 성질

- ① Hydration(Flux) : 증류수 및 현장수에 대한 평가
- ② Free swell - Swell index
- ③ Moisture absorption,
- ④ Permeability - Hydraulic conductivity : fluid loss 등

(4) 내구성

- ① Freeze: Thaw behavior
- ② Shrink: Swell behavior
- ③ Adsorption
- ④ Water breakout time 등

참고문헌

1. J. P. Giroud, Geotextiles and geomembranes definitions, properties and design, IFAI, St. Paul, Minnesota, Vol. 1-3. 1984.
2. Van Zanten R. Veldhuijzen, Geotextiles and geomembranes in civil engineering, John Wiley & Sons, New York, 1986.

3. J. P. Giroud, A. Arman & J. R. Bell, Geotextiles in geotechnical engineering practice and research. Geotextile and Geomembranes, Vol 2, No. 3, Elsevier, England, 1985.
4. R. M. Koerner, Designing with geosynthetics, 4th Ed., Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1998.
5. A. Rollin & J. M. Rigo, Geomembranes identification and performance testing, Chapman & Hall, London, 1991.
6. Matrecon Inc, Lining of waste containment and other impoundment facilities, Report EPA/600/2-88/052, US EPA, Cincinnati, Ohio, 1988.
7. R. J. Crawford, Plastics engineering, Pergamon Press Ltd, Oxford, 1981.
8. P. C. Powell, Engineering with polymers, Chapman & Hall Ltd, London, 1983.
9. F. Schlosser & P. Delage, Reinforced soil retaining structures and polymeric materials, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1987.
10. G. N. Richardson, Construction quality management for remedial action and remedial design waste containment systems, USA, 1992.
11. Y. H. Halse, A. E. Lord & R. M. Koerner, Geosynthetics testing for waste containment applications, Special Technical Publication STP 1081, ASTM, Philadelphia, 1990.
12. L. Rebenfeld & T. F. Cooke, Durability and aging of geosynthetics, Elsevier Applied Science, England, 1989.
13. R. D. Holtz, Geosynthetics for soil improvement, The American Society of Civil Engineers, USA, 1988.

14. B. Myles, Geotextile testing and the design engineer, STP No. 952, ASTM, Philadelphia, pp57-68, 1987.

### 도서판매 안내

- ① '94 봄 학술발표회 논문집 (5,000원)
- ② '94 가을 학술발표회 논문집 (10,000원)
- ③ 지반공학시리즈2 - 얇은 기초(구) (11,000원)
- ④ '94 발포 폴리스티렌(EPS) 이용 성토공법 (10,000원)
- ⑤ 한·일 합동 세미나 논문집 (7,000원)
- ⑥ 지반공학 관련업체 소개서 (10,000원)
- ⑦ '97 가을학술 (15,000원)
- ⑧ 11차 ARC 개최전 초청강연 논문집:  
Dr. R.H.G Parry, Prof. A.S. Bala (10,000원)
- ⑨ 단기강좌 II : Ground Improvement Using  
Prefabricated Vertical Drains  
(20,000원)
- ⑩ '98 가을학술발표회 논문집 (15,000원)
- ⑪ 터널·암반역학(위) 박사학위 논문집 (10,000원)
- ⑫ '98 토목섬유(위) 학술발표회 (10,000원)
- ⑬ '98 사면안정(위)학술발표회 (10,000원)
- ⑭ 강관말뚝의 설계와 시공가이드 (5,000원)

(각 우송료 별도)