

PVA의 토목합성재료로서의 용도 전개

전한용 · 홍상진

1. 서론

토목합성재료 (Geosynthetics)란 모래, 흙, 자갈 등의 환경에 사용되는 토목공사의 시공기술과 밀접한 관계가 있는 제품이며 직포, 부직포, 매트 등과 같은 직물형태와 플라스틱 멤브레인, 압출판 및 3차원 압출 성형 구조물, 네트 등과 같은 고분자 제품이 광범위하게 포함된다.^{1,2}

토목합성재료에 요구되는 기본특성을 살펴보면 (1) 가격이 저렴할 것, (2) 용도에 적합한 강신도 및 투습성을 가질 것, (3) 크리프성이 양호할 것, (4) 내화학성 및 내구성이 강할 것, (5) 운반 및 시공이 용이할 것 등이다.

일반적으로 토목합성재료는 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.³⁻⁵

보통 연약지반 처리 공법에 사용되는 토목합성재료 매트는 흙속에서 매립시켜 사용하지만 장시간 현장에서 일광에 노출되기 때문에 특히 폴리올레핀 계통의 고분자 (폴리프로필렌, 폴리에틸렌 등)에는 자외선 안정제 및 산화방지제가 첨가되어야 하며 어떠한 토목합성재료이든지 극한 상태에서 충분히 견뎌야만 한다. 따라서 섬유고분자의 역학적 성질과 구조인자들을 고려하여 토목합성재료의 최종적인 설계가 결정된다.

토목합성재료의 종류로는 지오텍스타일 (Geotextiles), 지오멤브레인 (Geomembranes), 지오그리드 (Geogrids), 지오네트 (Geonets), 지오셀 (Geocells), 지오매트 (Geomats), 지오파이프 (Geopipes), 토목 섬유 점토 차수재 (Geosynthetic Clay Liners, GCL),



전한용

1979 한양대학교 섬유공학과 (학사)
1981 한양대학교 섬유공학과 (석사)
1989 한양대학교 대학원 (박사)
1983~1990 해전대학 교수
1990~1992 호원대학 교수
1992~현재 전남대학교 응용화학공학부 교수
1998~현재 GSI (Geosynthetic Institute, USA) -Korea 대표



홍상진

1987 서울대학교 섬유공학과 (학사)
1987~1995 (주)효성중앙연구소 책임연구원
1996~1998 세진테크 대표
1998~(주)파인텍스 대표이사
현재 신지식인 선정(중소기업청)
2001 대통령 표창

Development of PVA as Geosynthetics

전남대학교 응용화학공학부 (Hanyong Jeon, Faculty of Applied Chemical Engineering, Chonnam National University, 300 Yonbong-dong, Puk-gu, Gwangju 500-757, Korea) e-mail: hyjeon@chonnam.ac.kr
(주)파인텍스 (Sangjin Hong, PINE TEX CO., LTD., 199-40, Kogock, ssanglim, Korgung-Gun, Kyungbuk 717-850, Korea)

지오킴포지트 (Geocomposites) 등을 들 수 있으며 (그림 1 참조), 주로 토사의 세굴방지과 여과, 지반의 분리, 보강 또는 배수, 방수, 균열방지, 지반구조물 보호, 충격흡수, 폐기물 매립지, 연약지반보강, 터널, 간척지, 도로건설, 옹벽 및 사면보호 등의 목적으로 사용되고 있다.⁶⁻⁹

우리나라의 경우 토목합성재료의 원료도 주로 가격이 저렴한 폴리올레핀 계열의 범용 고분자 원료가 대부분이다 (표 1 참조). 그러나 시공기간이 길고 내구성 및 장기성능을 요구하는 구조물이나 콘크리트 강화용 섬유복합재, 장기성능 유지 구조물 적용 토목합성재료 등의 생산 및 사용은 외국에 비해 매우 적은 실정이다.

이러한 경우 기존에 사용되는 고분자 원료보다는 고성능, 고내구성 고분자 원료들이 요구되기 때문에 PVA의 적용은 매우 고무적이라 할 수 있고, 시장대체효과가 매우 큰 원료라고 볼 수 있다. 특히, 단순 제품의 용도가 줄어들면서, 토목합성재료 제품의 다양한 복합화 기술 및 제품 개발이 극미의 관심사가 되어 분야별 관련 산업의 선진화가 진행되고 있다.¹⁰⁻¹² 즉, 기존의 폴리프로필렌이나 폴리에스테르 섬유가 가지고

있는 화학적 및 자외선 안정성을 개선할 수 있는 PVA 섬유를 사용하여 고성능 지오택스타일을 개발하고 기존제품의 장점을 모두 발휘할 수 있는 복합 제품을 개발하여 지오택스타일의 시장에 대한 적용성을 확장, 개선할 수 있다.

여기서는 지금까지 사용되고 있는 토목합성재료의 요구특성, 기능 및 용도와 이를 대체할 수 있는 재료로서의 PVA의 토목환경분야의 용도를 소개하기로 한다.

2. 토목합성재료

실제 고분자 원료들은 각각의 고유한 특성을 가지고 있으며, 토목합성재료의 다양한 기능에 적합한 특성을 갖기 위해 여러 가지 첨가제를 혼합하고 제조공정도 제품마다 다르다.

예를 들면, 부직포 지오택스타일의 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.

대표적인 토목합성재료들과 PVA의 용도적합성을 알아보면 다음과 같다.

2.1 지오택스타일

필라멘트사, 또는 방직사를 이용하여 평직, 능직, 주자직으로 구분되는 직포형 지오택스타일이 있으며 사용되는 실은 보통 1,000~3,000 데니어 정도의 실을 연사하여 사용한다. 직물밀도는 경, 위사 방향으로 인치당 19~21개가 일반적이며 주로 폴리에스테르와 폴리프로필렌 섬유가 사용되고 있으나 폴리프로필렌 섬유는 내광성이 약한 단점이 있다.

또한 장섬유나 단섬유를 랜덤하게 배열하여 결합시킨 부직포 지오택스타일은 단섬유의 경우 니들펀칭 공정을 이용, 중량 400~3,000 g/m² 정도로 제조되며, 장섬유의 경우 스펀본드 공정으로 중량 200~800 g/m² 정도로 적층하여 니들펀칭 또는 열융착 등의 방법으로 결합시킨다 (그림 2 참조).

일반적으로 구성섬유들이 무질서하게 엉켜있는 구조를 형성하고 있어 역학적, 수리적 특성이 우수하며 폴리프로필렌과 폴리에스테르 섬유가 주로 이용되고 있다.

PVA의 경우 단독으로 부직포 지오택스타일의 제

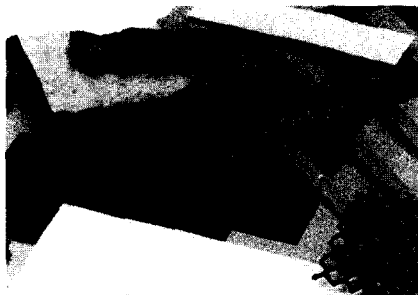
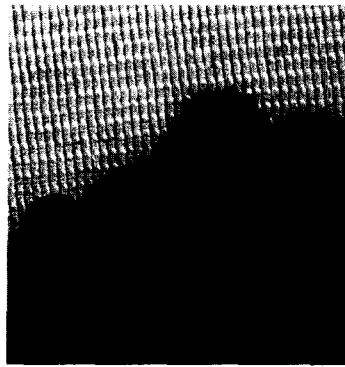


그림 1. 각종 토목합성재료 제품.

표 1. 섬유고분자원료와 토목합성재료

섬유고분자원료	토목합성재료
폴리에틸렌 (polyethylene, PE)	· 지오택스타일 · 지오멤브레인 · 지오그리드 · 지오셀 · 지오네트 · 지오킴포지트
폴리프로필렌 (polypropylene, PP)	· 지오택스타일 · 지오멤브레인 · 지오그리드 · 지오킴포지트
폴리비닐클로라이드 (polyvinyl chloride, PVC)	· 지오멤브레인 · 지오킴포지트 · 지오파이프
폴리에스테르 (polyester, PES)	· 지오택스타일 · 지오그리드
폴리아미드 (polyamide, PA)	· 지오택스타일 · 지오킴포지트 · 지오그리드
폴리스티렌 (polystyrene, PS)	· EPS (Expanded Polystyrene) · 지오킴포지트



(a) 직포형



(b) 부직포형

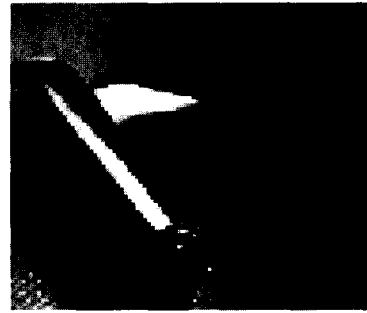
그림 2. 직포 및 부직포 지오텍스타일.

조가 가능하며, 폴리프로필렌과 폴리에스테르 부직포 지오텍스타일의 단점을 보완할 수 있는 복합 지오텍스타일로도 사용할 수 있다.

2.2 지오멤브레인

지오멤브레인은 액체봉쇄를 목적으로 최근 널리 사용되고 있으며 국제산업직물협회 (IFAI, Industrial Fabrics Association International)에 의하면 독성 폐기물, 산업용과 가정용의 쓰레기 매립, 흙 댐 및 터널방수 등 특별한 용도에 사용된다.

고분자수지와 카본 블랙, 첨가제가 혼련된 칩을 flat die (T-die)가 부착된 압출기를 이용하여 sheet 상으로 압출시킨 다음 롤러 연신장치를 통과시켜 지오멤브레인으로서의 성능을 부여하거나 또는 flat die 대신 circular die가 부착된 장치를 통과시켜 blown type의 지오멤브레인을 제조한다 (그림 3 참조). 이들 두 가지 형태의 지오멤브레인은 압출방식에 의해 다른 형태학적 구조를 나타낸다. Flat die를 사용할 경우에는 롤러 연신에 의해 die 전반부의 폭과 두께가 die 후반부에 비해 커지며, circular die를 사용



(a) smooth type



(b) textured type

그림 3. 지오멤브레인 제품.

할 경우에는 이와 반대의 현상이 나타난다.

이러한 형태학적 차이는 지오멤브레인 접합 시 불량시공의 원인이 되며 지오멤브레인의 전반적인 물성에도 중요한 영향을 미치게 되므로 권취 및 연신 공정을 적절하게 제어하여야만 한다. 그리고 표면 처리된 지오멤브레인도 있으며, 제조방법에는 spray-on 공정, 조각 로울러를 이용하는 공정, 코팅공정 등이 있으며 공통적인 특징은 표면에 요철구조를 형성하여 흡과의 마찰저항을 향상시켰다는 점이다.

PVA의 유연학적 특성을 제어하면 기존의 지오멤브레인의 균열응력 저항성이나 화학저항성을 향상시킬 수 있는 목적으로 용도전개가 가능하다.

2.3 지오그리드

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

압출기를 통과한 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE) 지오멤브레인을 롤러에 통과시켜 격자모양의 그리드 형태로 천공한 후 일축 또는 이축으로 연신시켜 타원형 모양으로 제조되는 슈트형 지오그리드와 직물이나 편물형태의 band fabrics과 필라멘트사를 각각

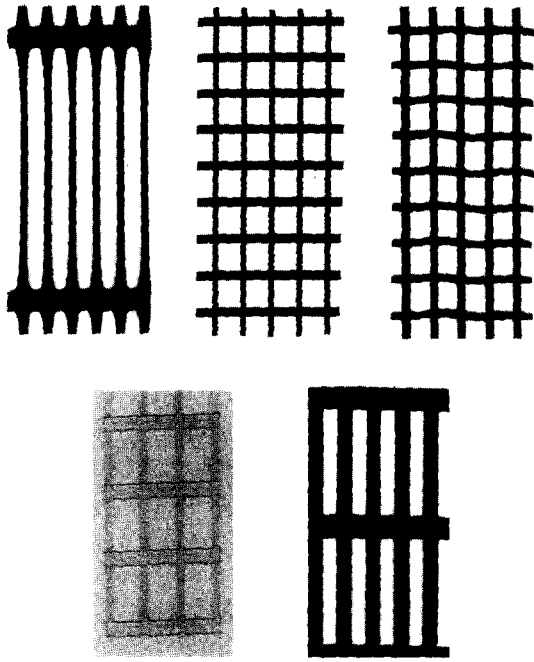


그림 4. 지오그리드 제품.

경위사 방향으로 공급하여 apertures를 형성시킨 섬유형 지오그리드가 있다.

이외에도 접점강화형, 복합형 등의 지오그리드가 있지만 주로 슈트형과 섬유형 지오그리드가 보강토 옹벽 공사, 지반보강 분야 등에 사용되고 있다 (그림 4 참조).

특히, 섬유형 지오그리드의 경우 주로 고강력 폴리에스테르실이 원료로 사용되며, 경위사의 결합점에서의 접합을 강화하고 일광 및 자외선에 대한 저항성을 향상시키기 위하여 PVC, 역청, 콜타르 등과 같은 수지를 적정 용제로 용해시켜 지오그리드를 피복시킨다.

PVA의 경우 폴리에스테르나 HDPE의 약점을 해결할 수 있는 우수한 성능을 가지고 있기 때문에 경제성만 있다면 기존 제품의 대체효과가 매우 큰 분야라고 볼 수 있다.

2.4 지오네트

지오네트는 서로 반대 방향으로 운동하는 회전 dies를 통하여 얻어지는 strand를 일정한 각도로 교차시킨 2세트의 평행한 구조를 가지며 이들 strand들은 각각 교차점에서 용융, 접착되고 원료고분자로는 주로 폴리에틸렌이 사용된다 (그림 5 참조).

지오멤브레인과 마찬가지로 PVA를 적용할 경우 유변학적 물성제어가 해결되어야만 용도전개가 가

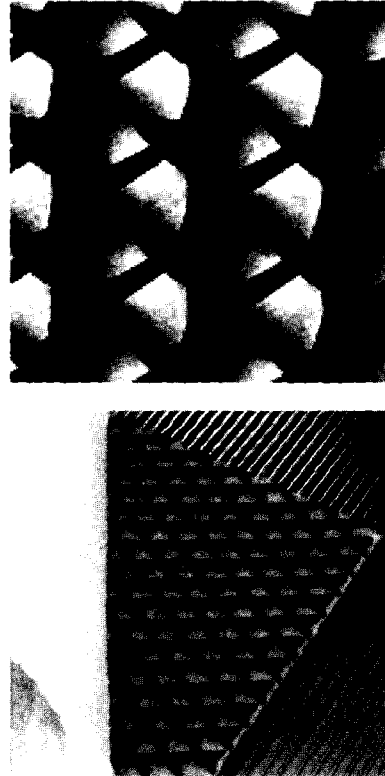


그림 5. 지오네트 제품.

능한 분야이다.

2.5 토목섬유 점토 차수재

토목섬유 점토 차수재 (GCL)는 지오택스타일 또는 지오멤브레인 사이에 낮은 수분 전달성을 지닌 토양 성분인 벤토나이트를 채우고 스티치 본딩, 니들펀칭, 또는 접착제로 결합시킨 후 롤의 형태로 생산되며 취급과 수송이 용이하여 설치에 적당한 보조 차수재로 사용된다 (그림 6 참조).

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 1×10^{-9} 에서 5×10^{-9} cm/sec이다.

수용성 PVA의 경우 단섬유나 분말상태로 벤토나이트 기능을 대체할 수 있으며, 불용성 PVA의 경우 부직포 지오택스타일의 제조가 가능하며, GCL의 대체 제품 제조 및 적용이 가능하다.

2.6 지오셀

지오셀 (Geocell)은 띠형태를 가진 매우 거친 폴리에스테르 섬유의 부직포 형태와 HDPE 띠를 초음파로 접착하여 형성되는 세포망 형태로 구분되며 침식방지와 지반보강용으로 널리 사용되고 있다 (그림 7 참조).

서로 연결된 셀 (cell)로 구성되며 각각의 셀은 두꺼운 매트리스에 의해 흙으로 채워지고 제방을 쌓는데 기초 보강재 역할을 하며 연약지반의 얇은 퇴적물 위에 적용된다. HDPE 지오셀은 지하토양보강을 위해 파쇄상 물질을 채우는 용도로 사용되어 왔으며, 점진적인 stacking과 지오셀 층위에 다른 층을 채우는 사면보강, 침식방지용으로 사용되고 있다.

PVA의 경우 부직포 지오텍스타일 형태로 적용할 수 있는 분야이다.

2.7 지오매트

지오매트 (Geomat)는 semi-rigid monofilament로 구성되어 있으며 직경은 1 mm보다 작고 매우 주름이 넓게 퍼져있는 3차원적으로 엉켜있는 구조

를 이루고 있다 (그림 8 참조).

주로 침식방지용으로 사용되며, PVA의 경우 장섬유 형태로 적용할 수 있는 분야이다.

2.8 토목합성 복합재료-지오펜포지트 (Geocomposite)

2.8.1 지오텍스타일 보강 복합재료

섬유의 굵기 (변수)에는 큰 변화가 없으며 주로 중량이 큰 (600 g/m²~) 부직포와 split yarn을 이용한 매트형태의 직포가 사용되며 제조방법은 접착제를 사용하거나 열융착법을 이용하여 부직포/지오텀, 부직포/부직포, 부직포/매트, 매트/매트 등의 형태로 적용 가능하다. 여기서 PVA의 경우 부직포 형태로 적용 가능하며, 토립자와 지반의 분리, 필터 및 배수용으로 사용 가능하다 (그림 9 참조).

2.8.2 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 지오멤

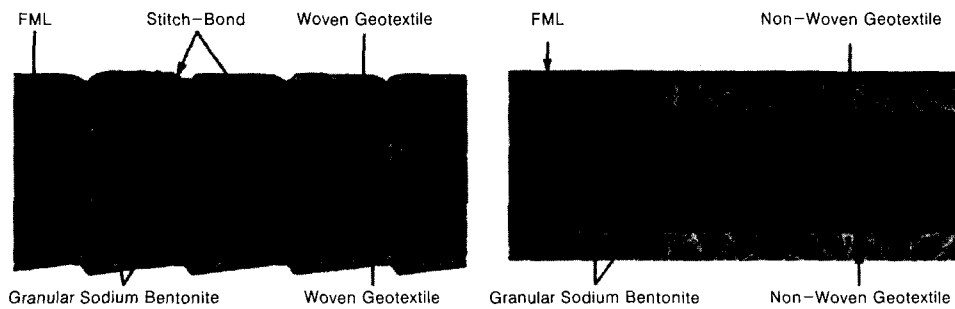


그림 6. 토목섬유 점토차수재 제품.

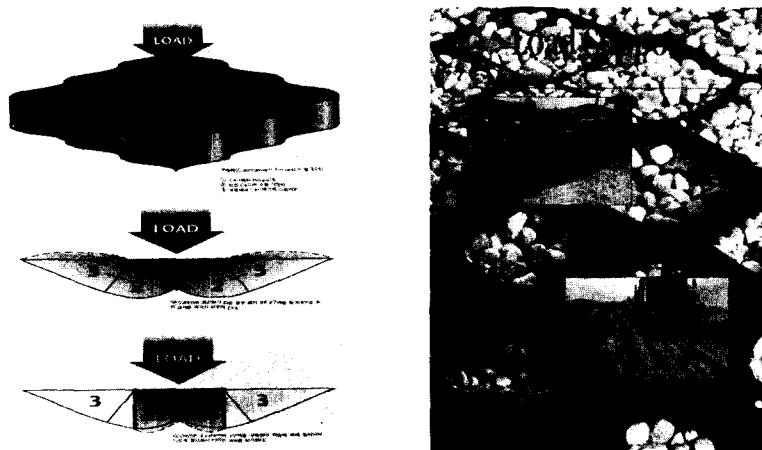


그림 7. 지오셀 제품.

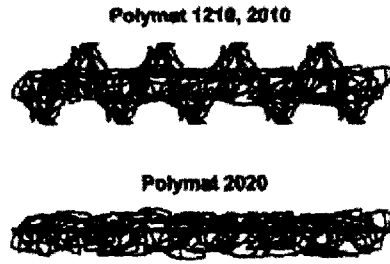
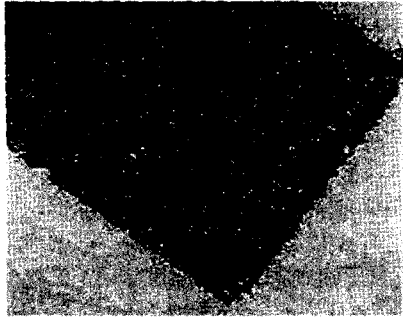


그림 8. 지오매트 제품.

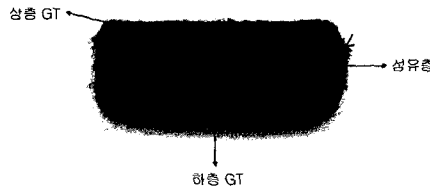
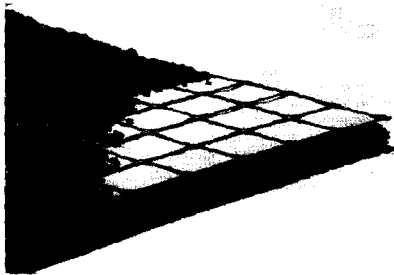
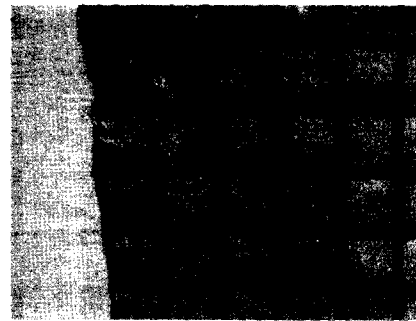
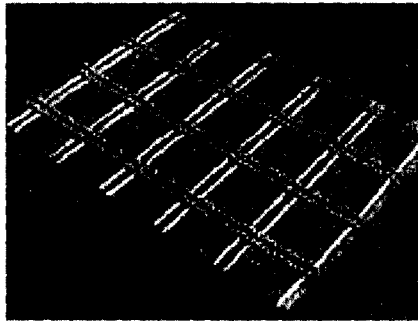


그림 9. 지오텍스타일 보강 복합재료.

브레인이 사용되어야만 한다.

일반적으로 지오멤브레인의 한면 또는 양면에 지오텍스타일 부직포를 결합시킨 형태의 복합재료가 많이 사용되고 지오멤브레인/지오네트, 지오멤브레인/지오그리드 형태의 복합재료도 사용된다 (그림 10 참조).

PVA의 경우 부직포 형태로 적용 가능한 분야이다.

2.8.3 플라스틱 드레인 보드

플라스틱 드레인 보드 (Plastic Drain Board, PDB)는 주로 투수성이 좋은 부직포와 플라스틱 압출 제품을 접착시킨 복합재료로 구성되며 연약지반 개량용 수직배수재로서 이용되고 연약지반 내에 수직으로 설치하면 간극수가 여과기능을 가진 부직포 필터를 거쳐 내부 코어인 플라스틱 배수구를 통하여

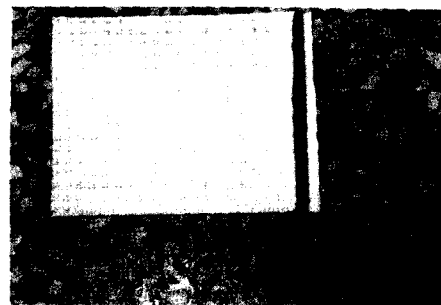
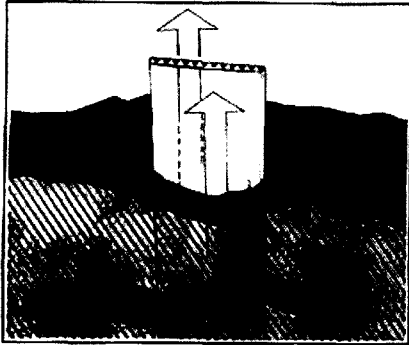


그림 10. 지오멤브레인 보강 복합재료.

상부로 쉽게 배출되도록 되어 있다 (그림 11 참조). 부직포 필터는 인장력이 커야 하며, 투수효과가 탁



Pore water flows laterally to the wick drains and is carried vertically up to the ground surface.

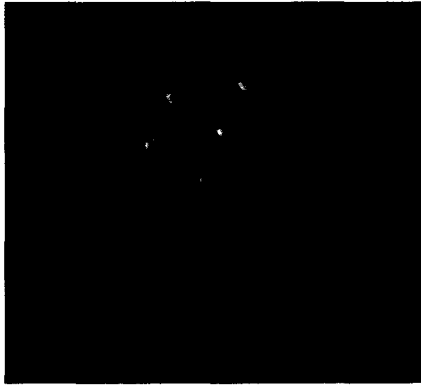


그림 11. 플라스틱 드레인 보드 제품.

월해야 하고, 막힘현상이 없어야 하며, 산, 알칼리, 염분 등에 대한 내구성이 좋아야만 한다.

PVA의 경우 특히 장섬유 부직포 형태로 적용할 수 있는 분야이다.

2.8.4 액체/기체 봉쇄용 지오킴포지트

지오펜브레인 하부의 지오텍스타일 라이너 (Liner) 는 다양한 목적으로 사용되고 지오펜브레인/지오텍스타일 일체형 지오킴포지트 형태가 유용하다.

지하 가솔린 저장 탱크에 사용되는 지오텍스타일/지오펜브레인/지오텍스타일 복합재료는 탱크로부터 누출되는 가스를 봉쇄하는 목적으로 이용된다.

PVA의 경우 부직포 형태로 적용 가능한 분야이다.

2.9 콘크리트 강화용

섬유와 부직포 및 직물을 이용하여 콘크리트의 균열을 방지하고 역학적 특성을 향상시킬 목적으로 강화섬유가 사용된다.

강화섬유로는 탄소섬유, 금속섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등이 주로 사용되며 나일론, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리에스테르, 레이온, 스판덱스 등이 이용되기도 한다. 또한 직경 0.8~15 mils, 길이 0.5

~2.0 in의 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, 크리프 특성, 내알칼리성, 내약품성, 내열성, 콘크리트와의 부착성 등이 신중하게 검토된 후 적용되어야만 한다.

PVA의 경우 단섬유 또는 부직포 형태로 적용 가능한 분야이다.

2.10 기타

사면 보호용으로 널리 사용되는 폴리에스테르 섬유의 이중직물형태인 섬유거푸집과 Nylon 6 또는 PVC로 만든 3차원 입체망상형태의 Enka Mat, 항만 등의 간척공사의 오탕수 확산을 방지하는 오탕방지막 등이 있다.

PVA의 경우 섬유거푸집 또는 3차원 입체망상형태로 적용 가능한 분야이지만, 타 분야의 경우와 마찬가지로 제조원가가 비싼 점이 용도전개에 장애가 될 수 있다.

3. PVA 관련 토목합성재료의 선진화 동향

3.1 지오텍스타일

지오텍스타일은 환경적응형 및 다기능성 복합화 제품개발에 관하여 선진화가 진행되고 있다.

(1) 부직포 타입

- ① 고중량화 : ~5,000 g/m²
- ② 차별화 기능의 smart geotextiles 제품 개발 : 분리, 보호, 배수기능 용
- ③ Nano fibers를 이용한 제품 개발 : 환경분야 적용
- ④ 크리프 특성 개선 제품 개발 : 저신율 고강성 섬유사용
- ⑤ 환경적응형, 생분해성 제품 개발
- ⑥ 다기능성 복합화 제품 개발 등

(2) 직포 타입

- ① 고강도 : ~80 ton/m
- ② 크리프 특성 개선 제품 개발 : 저신율 고강성 섬유사용
- ③ 환경적응형, 생분해성 제품 개발
- ④ 다기능성 복합화 제품 개발 등

3.2 지오펜브레인

지오멤브레인은 기존의 차수기능 외에 마찰이나 보강, 차단기능을 부여한 제품개발에 관하여 선진화가 진행되고 있다.

(1) Smooth Types

- ① 외국의 경우 : ~1.5 mm (두께)
- ② 국내의 경우 : 2 mm (두께)
- ③ OIT (산화유도시간), Environmental stress cracking resistance 등 보완
- ④ 다양한 소재 적용 : PP, PVC, PU, EPDM 등
- ⑤ Seaming method의 개선

(2) Textured Types

- ① Smooth types와 선진화 동향 유사
- ② One or both side textured 제품 개발
- ③ Seaming method의 개선

(3) Reinforced Types

- ① 복합화 공정 개발
- ② 특수용도 개발
- ③ 다기능성 복합화 제품 개발 등

3.3 지오그리드

지오그리드는 기존의 보강기능 외에 분리, 보호, 마찰기능 등을 부여한 제품개발에 관하여 선진화가 진행되고 있다.

(1) Fabric Types

- ① 원료섬유의 다양화 : Glass fiber, 탄소섬유, Spectra, Kevlar 등
- ② Coating resin의 개발 : PVC와 아크릴 수지 대체용
- ③ 직조 및 편직방법 개선에 의한 접점부 강화
- ④ 크리프 특성 개선 제품 개발 : 저신율 고강성
- ⑤ 아스팔트 포장 및 도로건설용, 지반강화용 제품 개발

(2) Sheet Types

- ① 새로운 합성수지 적용
- ② 크리프 특성 개선 제품 개발 : 저신율 고강성
- ③ 다기능성 복합화 제품 개발 등

(3) Welded Types

- ① 접점부위 강화를 위한 welding법 개발
- ② 크리프 특성 개선 제품 개발 : 저신율 고강성
- ③ 다기능성 복합화 제품 개발 등

(4) 복합형 지오그리드

- ① (1), (2), (3) 지오그리드의 장점 활용
- ② 크리프 특성 개선 제품 개발 : 저신율 고강성
- ③ 다기능성 복합화 제품 개발 등

3.4 GCL

GCLs 제품은 지오멤브레인과 같이 차수기능을 가진 제품이며, 지오텍스타일과 지오텍스타일사이엔 펄룬차수성을 가진 벤토나이트를 충전시켜 제조하거나 지오멤브레인에 벤토나이트를 수지접착시킨 형태로 주로 제조된다. 현재 GCLs 제품은 분말형 및 과립형 천연원료인 벤토나이트를 사용하기 때문에 경사면에 적용할 경우 벤토나이트의 유실에 의한 차수성능저하와 동결융해에 의한 성능저하가 문제점으로 지적되어 이를 개선하기 위한 modified composition type GCLs의 개발 등에 관한 선진화가 진행되고 있다.

3.5 필터 및 배수용 토목합성재료

필터 및 배수용 토목합성재료는 clogging에 의한 수리적 특성 저하를 방지하고, 유로확보, 구속하중에 의한 intrusion 발생을 최소화할 수 있는 제품개발 등에 관한 선진화가 진행되고 있다.

3.6 지오텍스타일 응용 제품

지오텍스타일 응용 제품은 Geotube, Geobag, Geocontainers 등의 관련 제품을 중심으로 선진화가 진행되고 있다.

3.7 지오컴포지트

다음 특징을 중심으로 선진화가 진행되고 있다.

- Geocomposite drains are formed of geotextile layers (often non-woven) bonded either side of a discharge capacity core (5 to 25 mm thick)
- In plane discharge capacities are in the range 0.0002 to 0.01 m³/m width/sec
- A 20 mm thick geocomposite drain can have the same flow capacity as a 300 mm thick granular layer

4. PVA 토목합성재료의 평가

토목합성재료의 평가방법은 사용되는 고분자 재료 별로 분류되며 제품자체의 내구성이 토목합성재료의 수명을 결정하므로 이에 영향을 미치는 인자들을 중요한 시험방법으로 채택하고 있다. 또한 토목합성재료는 광범위한 면적에 사용되므로 제품상호간의 접착부분의 물성이 중요한 시험인자로 간주된다.

전세계적으로 ASTM International의 ASTM D35와 ISO의 ISO TC221에 의해 시험방법의 표준화와 규격화가 진행되고 있다.

국내외에서 토목합성재료에 적용되는 시험방법들은 사용용도에 따라서 적용하는 항목이 각각 다르고 외국의 경우 제품의 형태 및 설계의 중요도에 따라 항

목적용을 조절하기도 하므로 제품의 종류별로 적용 시험 방법을 구분하여 모두 설명하기는 어렵다.

PVA 토목합성재료도 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 크리프 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 등

5. PVA 토목합성재료의 기능과 용도

PVA 토목합성재료의 경우 다음 5가지 주요 기능별 용도로 사용가능하며, 사면안정화, 침식방지, 배수용 또는 녹지조성용 matrix 등으로의 용도확장이 기대되며, 특히 여과 및 배수용 복합화 제품으로 사용가능성이 매우 높다.

5.1 분리기능 - Separation of Dissimilar Materials

분리기능은 세립토와 자갈, 돌덩어리, 블록 등의 조립재료가 외부하중에 의해 서로 압착되어질 때 두 재료 사이에 놓인 토목합성재료가 세립토와 조립입자가 혼합되는 것을 막아주는 기능이다.

분리기능을 목적으로 사용되는 PVA 토목합성재료는 흙 입자를 보존시키는 보존성과 외부하중에 의해 생기는 응력에 견딜 수 있는 충분한 강도를 가져야 한다.

다음에 PVA 토목합성재료의 분리용 용도분야를 열거하였다.

Between subgrade and stone base in unpaved/paved roads and airfields

- Between subgrade and ballast in railroads
- Between landfills and stone base courses
- Between geomembranes and sand drainage layers
- Between foundation and embankment soils for surcharge loads, roadway fills, earth and rock dams
- Between foundation and soils and rigid retaining walls
- Beneath parking lots
- Beneath sport and athletic fields
- Beneath precast blocks and panels for aesthetic paving
- Between various zones in earth dams
- Between old and new asphalt layers

5.2 보강기능 - Reinforcement of Weak Soils and Other Materials

보강기능은 토목합성재료의 인장강도에 의해 흙 구조물의 안정성을 증진시키는 기능으로 보강기능을 목적으로 사용하는 토목합성재료 제품은 인장강도는 물론 흙과의 마찰력이 커야 한다. PVA 토목합성재료는 인장강도가 클수록 또한 흙과의 마찰력이 클수록 보다 큰 효과를 보여준다.

다음에 PVA 토목합성재료의 보강용 용도분야를 열거하였다.

- Over soft soils for unpaved roads, airfields, railroads, landfills
- Over nonhomogeneous soils
- Over unstable landfills as closure systems
- To construct fabric-reinforced walls
- To reinforce embankments
- To reinforce earth and rock dams
- To stabilize slopes temporarily
- To halt or diminish creep in soil slopes
- To bridge over cracked or jointed rock
- To hold over graded-stone filter mattresses
- As substrate for articulated concrete blocks
- To prevent puncture of geomembranes by sub-soils, landfill materials
- To contain soft soils in earth dam construction
- To bridge over uneven landfills during closure of the site

5.3 필터기능 - Filtration (Cross-Section Flow)

필터기능은 크게 액체필터기능, 정적 고체필터기능 및 동적 고체필터기능의 세 가지로 고려된다. 액체 필터기능은 액체중에 부유되어 있는 세립자를 운반하는 흐름에 직각방향으로 토목합성재료 제품을 설치해서 세립자의 이동을 막고 물만 통과시키는 기능이

며, 정적 고체필터기능은 흙과 유공재료 (골재, 유공관, 다공플라스틱 매트) 사이에 설치된 토목합성재료 제품이 배수 또는 양수에 의해 물을 집수하여 운반하는 동안, 흙 입자의 이동을 막아주는 기능이다.

다음에 PVA 토목합성재료의 필터용 용도분야를 열거하였다.

In plane of granular soil filters

Beneath stone base for unpaved/paved roads and airfields

Beneath ballast under railroads

Around crushed stone surrounding/without underdrains

Around perforated underdrain pipe

Beneath landfills that generate leachate

To filter hydraulic fills

As a silt fence, a silt curtain

Between backfill soil and voids in retaining walls

Between backfill soil and gabions

Against geonets and geocomposites to prevent soil intrusion

Around sand columns in sand drains

As a filter beneath stone riprap, precast block

5.4 배수기능 - Drainage (In-Plane Flow)

배수기능은 PVA 토목합성재료가 배수재로서 사용될 때의 평면흐름을 의미하며, 다음에 PVA 토목합성재료의 배수용 용도분야를 열거하였다.

As a chimney drain and drainage gallery in an earth dam

As drainage blanket beneath a surcharge fill

As a drain behind a retaining wall

As a drain beneath railroad ballast

As a drain beneath sport and athletic fields

As a drain for roof gardens

As a pore water dissipator in earth fills

As a replacement for sand drains

As a capillary break in frost-sensitive areas

To dissipate seepage water from exposed soil or rock surfaces

5.5 차수기능 - Water Barrier and Container

차수기능은 PVA 토목합성재료가 GCL에 응용될 경우 유체의 흐름을 차단하는 기능으로 주로 침출수와 같은 오염원을 차단하는 목적으로 사용된다.

다음에 PVA 토목합성재료의 차수용 용도분야를 열거하였다.

Liner for potable water liner for resource water

Liner for waste liquids

Liner for radioactive or hazardous waste liquid

Liner for secondary containment of underground tanks

Liner for water and various waste conveyance canals

Liner for solid-waste landfills

Covers(caps) for solid-waste landfills

To waterproof liners within tunnels

To waterproof facing of earth and rockfill dams

As floating reservoirs for seepage control

As a barrier to odors from landfills

As a barrier to vapors (random, hydrocarbons, etc.) beneath buildings

Beneath and adjacent to highways to capture hazardous liquid spills

Beneath asphalt overlays as a waterproofing layer

Above geomembranes as puncture protection against coarse gravel

As liners for canals

As a portion of a CCL in primary/secondary composite liners

As secondary liners for underground storage tanks

As single liners for surface impoundments

Beneath geomembranes as composite liners for surface impoundments

Beneath geomembranes in the primary/secondary liners of landfills

Beneath geomembranes and above clay liners of landfills

Beneath geomembranes in the covers of landfills

6. 결론

지금까지 널리 이용되고 있는 토목합성재료의 원료로는 폴리에스테르와 폴리프로필렌 섬유 등이 있지만 장기간 내구성에 영향을 미치는 화학저항성 및 자외선에 대한 안정성을 고려한다면 기존의 폴리프로필렌 및 폴리에스테르 섬유의 단점을 극복한 PVA섬유를 사용할 경우 기존의 이들 원료를 사용하여 제조된 제품의 용도에 확장, 적용할 수 있을 뿐만 아니라 관련 토목섬유 제품의 복합화로 인한 성능 향상 분야까지 응용범위를 확장할 수 있을 것으로 예상된다.

특히, 특수기능을 가진 섬유원료인 hybrid polymer를 이용하여 스마트 토목합성재료 (Smart Geosynthetics)를 제조하는 기술의 개발이 향후 절실히 필요할 것으로 예측되며, 기존 토목합성재료들이 당면하고 있는 역학적 성능, 화학저항성, 내구성 및 내후성 등의

취약점 등을 고려한다면 고흡수성, 생분해성, high tenacity, high modulus, high performance 등을 가진 PVA가 이용될 전망이 매우 크다고 볼 수 있다.

고성능 PVA의 제조 및 기존에 사용된 프리프로 필렌이나 폴리에스테르의 복합화가 가능해진다면 특수 용도에 적용할 수 있는 소재가 될 것으로 기대된다.

또한 PVA섬유를 이용한 토목합성재료의 개발은 지오텍스타일 및 지오킴포지트 제조분야에만 국한되지 않고 토목건설공사의 시공성 및 시공방법에도 관련이 있기 때문에 향후 이들 분야에도 중요한 영향을 미칠 것으로 기대된다. 특히 화학저항성 및 자외선에 대한 안정성 향상은 지오텍스타일의 기능성 다양화에 의한 다음의 추가기술을 개발할 수 있다는 점에서 매우 고무적이라 기대된다.

참고문헌

1. R. M. Koerner, *Designing with Geosynthetics*, 4th Ed., Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1998.
2. Y. H. Halse, A. E. Lord, and R. M. Koerner, *Geosynthetics Testing for Waste Containment Applications*, Special Technical Publication STP 1081, ASTM, Philadelphia, 1990.
3. ASTM Committee D-35 on Geosynthetics, *ASTM Standards on Geosynthetics*, West Conshohocken, PA, 2001.
4. M. B. de Groot, G. den Hoedt, and R. J. Termatt, *Geosynthetics: Applications, Design and Construction*, A.A.BALKEMA, Netherlands, 1996.
5. GSI, *GRI Standard Test Methods on Geosynthetics*, Drexel University, Philadelphia, PA, 2001.
6. Geosynthetic Institute, *Proceedings of the GRI-15 Conference*, Houston, TX, USA, 2001.
7. IGS, *Proceedings of 7th ICG*, Nice, France, September, 22-27, 2002.
8. IFAI, *Geotechnical Fabrics Report - Specifier's Guide 2001*, Roseville, MN, USA, 2001.
9. T. L. Baker, *Proceedings of '97 Geosynthetics Conference*, **3**, 829 (1997).
10. G. R. Koerner, G. Y. Hsuan, and R. M. Koerner, *J. Geotech. Geoenviron.*, **124**, 1 (1998)
11. A. Salman *et al.*, *Proceedings of '97 Geosynthetics Conference*, **1**, 217 (1997).
12. T. S. Ingold, *The Geotextiles and Geomembranes Manual*, Elsevier Advanced Technology, Oxford, 1994.