특 집

토목용 섬유

전 한 용

1. 서 론

토목용 섬유제품은 모래, 흙, 자갈 등의 환경에 사용되는 고분자 재료로서[1-4] 토목공사의 시공기술과 밀접한 관계를 가지는 섬유제품이며 초기에는 직포와 부직포만의 토목용 섬유제품을 의미하는 용어였지만 최근에 다양한 토목용 섬유제품의 출현과 함께 1986년 국제토목섬유 학술회의에서 Geosynthetics란 용어가 토목용 섬유제품을 대변하는 통용어로 사용되기 시작하였다. 토목용 섬유제품은 투과성을 가진 지오텍스타일(Geotextiles)의 개발을 시작으로 차수성의 지오멤브레인(Geomembranes), 지오그리드(Geogrids), 지오네트(Geonets) 및 지오복합재료(Geocomposites) 등이 최근에 상품화되고 있다. 토목용 섬유제품이 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 등의 목적으로 사용되고 있다.[5-8] 우리나라의 경우 토목용 섬유제품의 사용분야는 주로 매립지의 연약지반보강, 옹벽 및 사면보호 등이지만 이러한 토목용 섬유제품 사용량의 추세는 1992년을 기준으로 볼 때, 세계적으로 10억 m^2 이상이 사용되었으며 국내에서도 약 1,000만 m^2가 소요되었고 향 후 그 사용량이 급격히 증가할 전망이다. 또한 토목건설공사시 시공비의 절감과 구조물의 안정화에 따른 새로운 공법이 적용되면서 토목용 섬유제품의 다양한 제품 개발과 응용기술이 요구됨에 따라 토목섬유산업은 섬유고분자 제품의 영역을 확장할 수 있는 새로운 응용분야이다.[9-14]

이와 같은 토목용 섬유제품의 특수성 및 현황을 감안하여 토목용 섬유제품의 종류 및 용도, 기능, 역학적 특성, 시험방법, 개발동향 등에 대해서 살펴보고자 한다.

2. 토목용 섬유제품의 종류 및 용도[15-18]

2.1 토목용 섬유의 원료

토목용 섬유제품의 원료로는 폴리에스테르(PET), 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리비닐크로라이드(PVC), 폴리아미드(PA), 염화폴리에틸렌(CPE), 염황화폴리에틸렌(CSPE) 등의 합성고분자들이 주로 사용되며 물성 개선 및 보완용의 첨가제로는 탄산칼슘, 카본블랙, wood flour, 규화 광물(clay, talc, mica 등), 금속산화물 등이 이용된다.

2.2 토목용 섬유제품의 분류

토목용 섬유제품은 다양한 섬유형상의 결합에 의해 제조되며 크게 지오텍스타일, 지오멤브레인, 지오그리드, 지오네트, 지오복합재료 및 지오텍스타일 관련제품으로 구분되며 이들의 기본적인 제조방법과 특성은 다음과 같다.

(1) 지오텍스타일

지오텍스타일은 현재까지 가장 많이 사용되는 토목용 섬유제품이며 그 중요한 특징은 수분을 통과시킬 수 있다는 점이다. 또한 적어도 다음의 5가지 기능중의 한가지 이상을 수행할 수 있는 제품을 의미한다.

전한용

1979 한양대학교 섬유공학과(B.S)
1981 한양대학교 섬유공학과(M.S)
1989 한양대학교 섬유공학과(Ph.D)
1982~1990 혜전전문대학 염직과 부교수
1990~1992 전북산업대학교 의류학과 조교수
1992~현재 전남대학교 섬유공학과 조교수

Geosynthetics

전남대학교 공과대학 섬유공학과(Han Yong Jeon, Department of Textile Engineering, College of Engineering, Chonnam National University, 300 Yongbong-dong, Puk-ku, Kwangju 500-757, Korea)

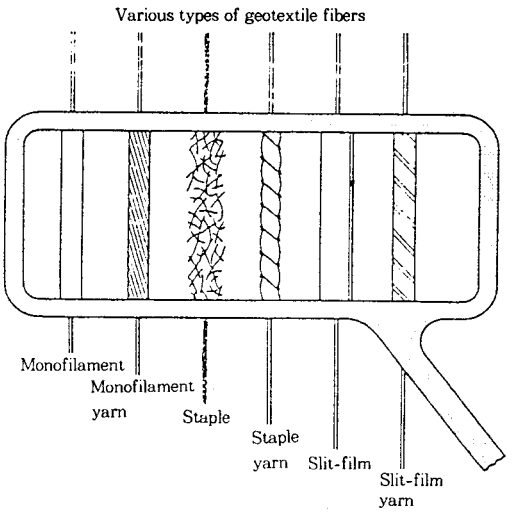


그림 1. Types of polymeric fibers used in the construction of geotextiles.

① 분리(Separation)
② 보강(Reinforcement)
③ 여과(Filteration)
④ 배수(Drainage)
⑤ 침지시 수분차단(Moisture barrier when impregnated) 등

지오텍스타일용 합성고분자의 사용 순위는 폴리프로필렌(≃65%), 폴리에스터(≃32%), 폴리아미드(≃2%), 폴리에틸렌(≃1%)의 순서이며 사용되는 주요 섬유형태는 다음과 같다(**그림 1** 참조).

① Mono and multifilament
② Staple
③ Staple yarn
④ Slit film
⑤ Slit-film yarn 등

1) 직포형 지오텍스타일

그림 2와 같이 필라멘트사, 또는 방적사를 이용하여 경, 위사를 직각으로 교차해 만든 형태로 기본조직은 평직, 능직, 주자직으로 구분되고 사용되는 실은 보통 1,000~3,000 데니어 정도의 실을 撚絲하여 사용한다. 직물밀도는 경, 위사방향으로 인치당 19~21개가 일반적이며 섬유원료는 주로 폴리에스테르와 폴리프로필렌 섬유가 사용되고 있으나 폴리프로필렌 섬유는 내광성이 약한 단점이 있다.

2) 부직포형

그림 3에서 처럼 장섬유나 단섬유를 랜덤하게 배열하여 결합시킨 형태로 단섬유나 장섬유를 중량 200~800 g/m^2 정도로 적층하여 결합시킨다. 역학적 특성이 우수하여 토목용 섬유제품으로 많이 사용되며 폴리프로

그림 2. Photomicrographs of various fabrics used as geotextiles(× 20).

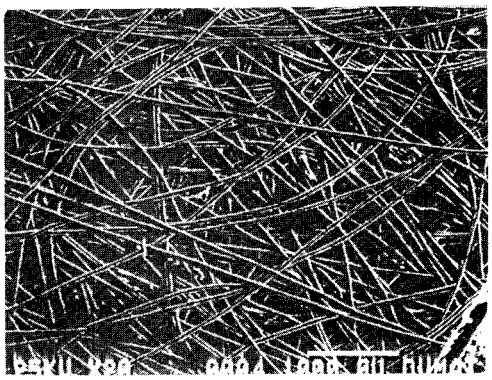


그림 3. Photomicrographs of various fabrics used as geotextiles (× 20).

필렌과 폴리에스테르 섬유가 이용되고 있다. 결합방법으로는 단섬유인 경우 주로 **그림 4**의 니들펀칭(needle punching)법이, 장섬유인 경우에는 **그림 5**의 스펀본딩(spun-bonding)법이 사용되고 있다. 직포 및 부직포형 지오텍스타일의 용도는 위의 5가지 기능에 따라 다르며 **표 1**에 나타낸 바와 같다.

(2) 지오멤브레인

지오멤브레인에 사용되는 고분자의 소재는 HDPE와 PVC, CSPE(chloro sulfonated polyethylene) 및 CPE (chlorinated polyethylene) 등이며 주로 폴리에틸렌계 수지가 많이 사용된다. 압출기(extruder)를 이용하여 제조되며 **그림 6**에 일반적인 지오멤브레인 제조공정의 모식도를, **그림 7**에는 다층구조 지오멤브레인 제조공정의 모식도를 각각 나타내었다. 일반적인 열경화성 또는 열가소성 수지를 사용한 지오멤브레인의 경우 투과계수는 10^{-11}~10^{-13} cm/s 정도이며 그 용도는 **표 2**에 표시하였다.

(3) 지오그리드

지오그리드는 **그림 8**에 나타난 바와 같이 폴리머를 판

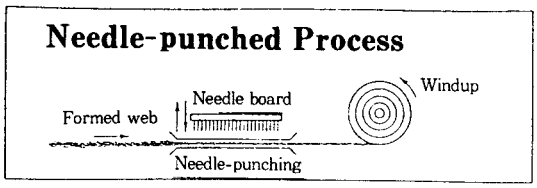


그림 4. Schematic diagram of needle-punched manufacturing process.

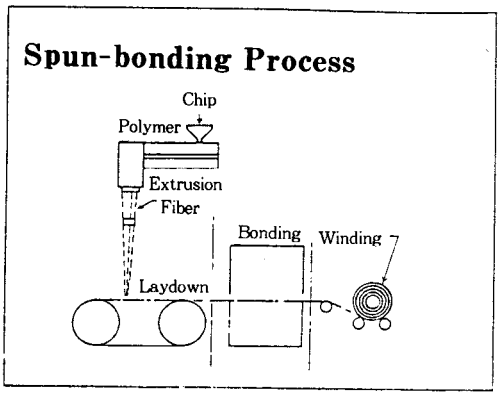


그림 5. Schematic diagram of spun-bonded manufacturing process.

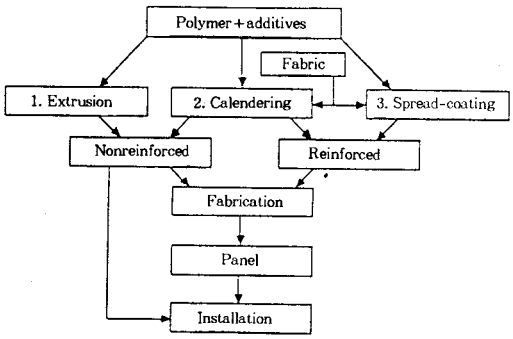


그림 6. Various methods used to produce geomembranes.

상으로 압축시키면서 격자모양의 그리드 형태로 구멍을 내어 특수하게 만든 후, 일축 또는 이축으로 연신하여 제조한다. 일반적으로 연신과정에서 작은 구멍들은 보통 10~50 mm 크기의 타원 혹은 원형모양의 큰 구멍으로 되어 있고 분자배열도 잘 조정되어 결과적으로 높은 강도를 나타내므로 지반보강용으로 사용되며 원료로는 폴리올레핀과 폴리프로필렌 및 PVC 코팅재료 등을 들 수 있고 그 용도를 **표 3**에 나타내었다.

(4) 지오네트

지오네트는 **그림 9**에서 처럼 일정한 각도로 strand를 교차한 2세트의 평행한 구조를 가지며 각각 교차점의 가

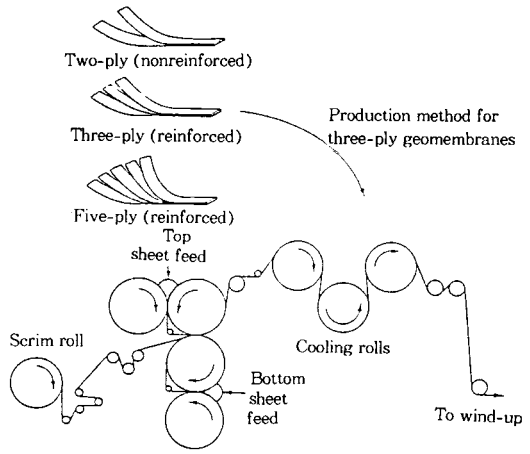


그림 7. Manufacturing method for producing multi-ply geomembranes.

표 1. Major uses of Geotextiles

(a) Separation of Dissimilar Materials

1. Between subgrade and stone base in unpaved roads and airfields
2. Between subgrade and stone base in paved orads and airfields
3. Between subgrade and ballast in railroads
4. Between landfills and stone base courses
5. Between geomembranes and sand drainage layers
6. Between foundation and embankment soils for surcharge loads
7. Between foundation and embankment soils for roadway fills
8. Between foundation and embankment soils for earth and rock dams
9. Between foundation and encapsulated soil layers
10. Between foundation soils and rigid retaining walls
11. Between foundation soils and flexible retaining walls
12. Between foundations soils and storage piles
13. Between slopes and downstreams stability berms
14. Beneath sidewalk slabs
15. Beneath curb areas
16. Beneath parking lots
17. Beneath sport and athletic fields
18. Beneath precast blocks and panels for aesthetic paving
19. Between drainage layers in poorly graded filter blankets
20. Between various zones in earth dams
21. Between old and new asphalt layers

(b) Reinforcement of Weak Soils and Other Materials

1. Over soft soils for unpaved roads
2. Over soft soils for airfields
3. Over soft soils for railroads
4. Over soft soils for landfills
5. Over soft soils in sport and athletic fields
6. Over thermokarst areas
7. Over unstable landfills as closure systems
8. For lateral containment of railroad ballast
9. To wrap soils in encapsulated fabric systems

10. To construct fabric-reinforced walls
11. To reinforcement embankments
12. To aid in construction of steep slopes
13. To reinforce earth and rock dams
14. To stabilize slopes temporarily
15. To halt or diminish creep in soil slopes
16. To reinforce jointed flexible pavements
17. To bridge over cracked or jointed rock
18. To hold graded-stone filter mattresses
19. As a substrate for articulated concrete blocks
20. To stabilize unpaved storage yards and staging areas
21. To anchor facing panels in reinforced earth walls
22. To anchor concrete blocks in small retaining walls
23. To prevent puncture of geomembranes by subsoils
24. To prevent puncture of geoemembranes by landfill materials or stone base
25. To create more stable side slopes due to high friction resistance
26. To contain soft soils in earth dam construction
27. For use in membrane-encapsulated soils
28. For use in in-situ compaction and consolidation of marginal soils
29. To bridge over uneven landfills during closure of the side
30. To aid in bearing capacity of shallow foundations

(c) Filtration (Cross-Plane Flow)

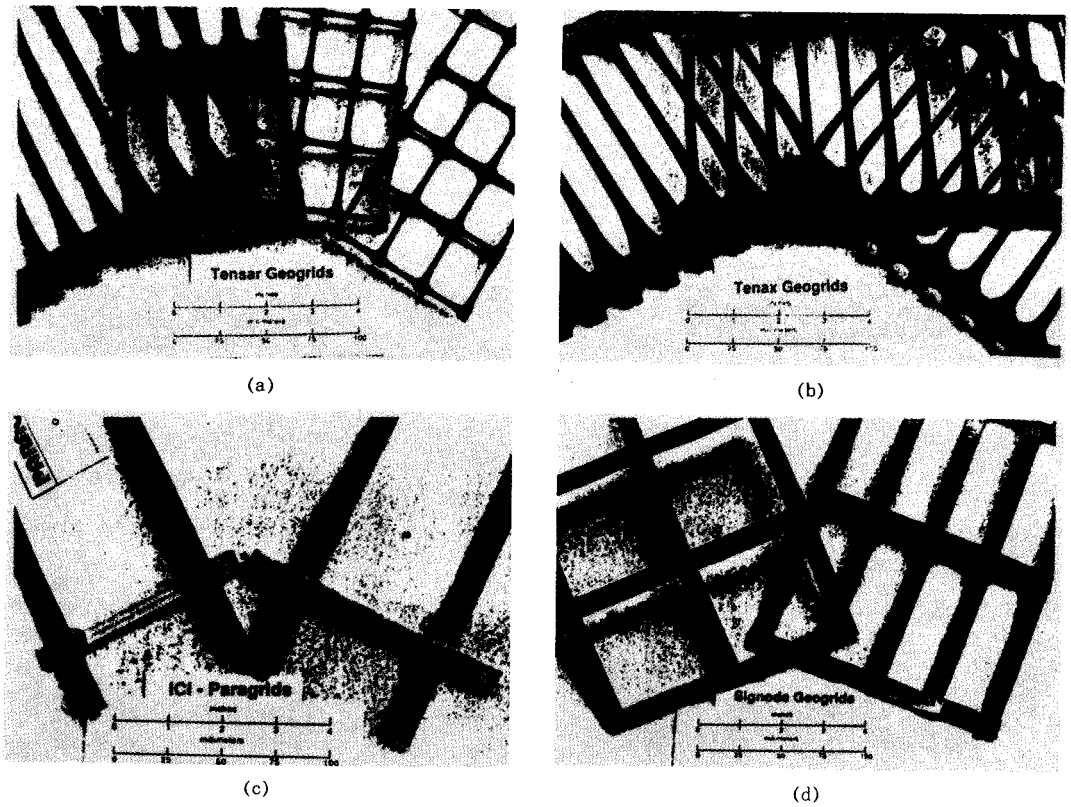
1. In plane of granular soil filters
2. Beneath stone base for unpaved roads and airfields
3. Beneath stone base for paved roads and airfields
4. Beneath ballast under railroads
5. Around crushed stone surrounding underdrains
6. Around crushed stone without underdrains (i.e., French drains)
7. Around perforated underdrain pipe
8. Around stone and perforated pipe in tile fields
9. Beneath landfills that generate leachate
10. To filter hydraulic fills
11. As a silt fence
12. As a silt curtain
13. As a snow fence
14. As a flexible form for containing sand, grout, or concrete in erosion control systems
15. As a flexible form for reconstructing deteriorated piles
16. As a flexible form for restoring underground mine integrity
17. As a flexible form for restoring scoured bridge pier bearing capacity
18. To protect chimney drain material
19. To protect drainage gallery material
20. Between backfill soil and voids in retaining walls
21. Between backfill soil and gabions
22. Around molded cores in fin drains
23. Around moded cores in strip drains
24. Against geonets to prevent soil intrusion
25. Against geocomposites to prevent soil intrusion
26. Around snad columns in sand drains
27. Around porous tips for wells
28. Around porous tips for piezometers
29. As a filter beneath stone riprap
30. As a filter beneath precast blocks

(d) Drainage (In-Plane Flow)

1. As a chimney drain in an earth dam
2. As a chimney gallery in an earth dam
3. As a drainage interceptor for horizontal flow
4. As a drainage blanket beneath a suucharge fill
5. As a drain behind a retaining wall
6. As a water drain beneath railroad ballast
7. As a water drain beneath geomembranes
8. As an air drain beneath geomembranes
9. As a drain beneath sport and athletic fields
10. As a drain for roof gardens
11. As a pore water dissipator in earth fills
12. As a replacement for sand drains
13. As a capillary break in frost-senstive areas
14. As a capillary break for salt migration in arid areas
15. To dissipate seepage water from exposed soil or rock surfaces

표 2. Major uses of Geomembranes

1. Liners for potable water
2. Liners for reserve water(e.g., safe shutdown of nuclear facilities)
3. Liners for waste liquids
4. Liners for radioactive waste liquids
5. Liners for secondary containment of underground storage tanks
6. Liners for solar ponds
7. Liners for brine solutions
8. Liners for water conveyance canals
9. Liners for waste conveyance canals
10. Liners for primary, secondary, and/or tertiary solid-waste landfills
11. Covers (caps) for solid-waste landfills
12. Within cutoff walls for seepage control at hazardous waste sites
13. Within zoned earth dams for seepage control
14. Linings for emergency spillways
15. Waterproofing within tunnels
16. Facing of earth and rockfill dams
17. Within cofferdams for seepage control
18. Floating reservoirs for seepage control
19. Floating reservoir covers for preventing pollution
20. To control odors in landfills
21. To control vapors(radon, hydrocarbons, etc.) beneath buildings
22. To control expansive soils
23. To control frost-susceptible soils
24. To shield sinkhole-susceptible areas form flowing water
25. To prevent infiltration of water in senstive areas
26. To form barrier tubes as dams
27. To face structural supports as temporary cofferdams
28. To conduct water flow in preferred paths
29. To act as containment structures for temporary surcharges
30. To aid in establishing uniformity of subsurface compressibility and subsidence
31. Beneath asphalt overlays as a waterprooofing layer
32. To correct seepage losses in existing above ground tanks
33. Flexible forms where loss of material cannot be allowed



(a) (b) (c) (d)

그림 8. (a) Geogrids of Tensar Co., (b) Geogrids of Tenax, Inc., (c) Geogrids of ICI Fibers Ltd., (d) Geogrids of Signode Co..

표 3. Major uses of Geogrids

1. Beneath aggregate in unpaved roads
2. Beneath ballast in railroad construction
3. Beneath surcharge fills or temporary construction sites
4. Reinforcement of embankment fills and earth dams
5. Repairing slope failures and landslides
6. As gabions for wall construction
7. As gabions for erosion control structures
8. As gabions for bridge abutments
9. Construction of mattresses for fills over soft soils
10. Construction of mattresses over peat, tundra, and muskeg
11. As sheet anchors for retaining-wall facing panels
12. As sheet anchors and facing panels to form an entire retaining wall
13. As asphalt reinforcement in pavements
14. As cement or concrete reinforcement in a wide variety of applications
15. To reinforce disjointed rock sections
16. To reinforce disjointed concrete sections
17. As inserts between geotextiles
18. As inserts between geomembranes
19. As inserts between a geotextile and a geomembrane
20. To increase friction of a geomembrane
21. To reinforce landfills to allow for vertical expansions

닥들은 용융, 접착되어 있다. 주로 폴리에틸렌이 사용되며 그 용도는 **표 4**에 열거하였다.

(5) 지오웹

지오웹의 종류는 띠형태를 가진 매우 거친 폴리에스테르 직포와 고밀도폴리에틸렌 테이프를 초음파로 접착하여 형성되는 세포망 형태로 구분되며 침식방지와 지반보강용으로 널리 사용되고 있다.

(6) 지오복합재료

지오복합재료는 두 종류 이상의 토목용 섬유제품을 결합시켜 기능을 복합적으로 향상시킨 것으로 니들펀칭 또는 열융착 등의 방법으로 결합한 형태와 부직포를 성형소성시트와 결합한 형태등의 다양한 종류가 있다.

① 지오텍스타일-지오네트 복합재료

② 지오텍스타일-지오멤브레인 복합재료

③ 지오멤브레인-지오그리드 복합재료

④ 지오텍스타일-고분자 심지 복합재료 등

(7) 토목용 섬유관련제품

토목용 섬유관련제품으로서는 사면보호용으로 널리 사용되는 폴리에스테르 섬유의 이중직물형태인 섬유거푸집(fabric form)과 Nylon 6 또는 PVC로 만든 3차원 입체망상형태의 Enka Mat, 항만 등의 간척공사의 오탁수 확산을 방지하는 오탁방지막(slit protector) 등이 있다. 최근에는 토목용 섬유제품과 병행, 사용되는 GCL (geosynthetic clay liner)의 용도가 확장되고 있다.

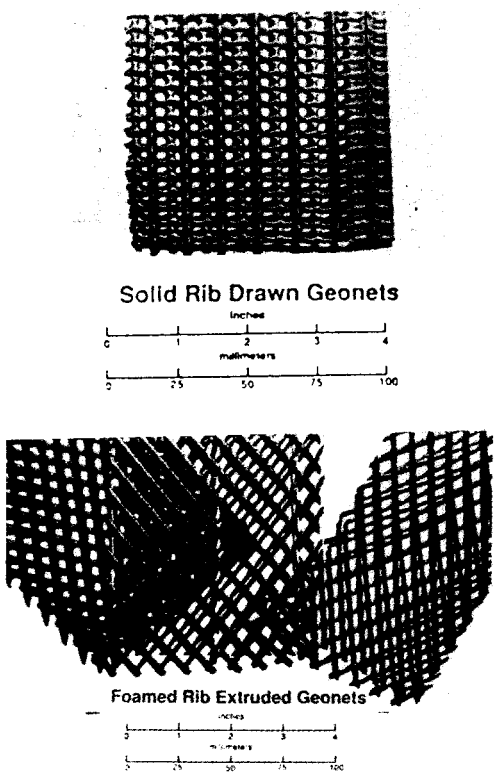


그림 9. SEM photograps of Geonets(×20).

표 4. 토목용 섬유제품의 기능 및 적용예

적 용 예	토목섬유의 기능			
	분 리	필 터	배 수	보 강
도로, 철도, 노상안전	○	△		△
배 수	△	○		
습윤, 성토제방공사	△	○		△
해안 하천의 호안공사	○	○		△
간 척 공 사	△	○	○	△
아스팔트 도로포장				○
흙 의 보 강				○
해안제방과 성토	○			△

○ 주기능 △ 보조기능

3. 토목용 섬유제품의 기능과 용도

토목용 섬유제품의 주요 4대 기능은 분리(separation), 여과(filtration), 보강(reinforcement), 배수(drainage) 기능으로 구분할 수 있으나 최근에는 이들 이외에 다른 여러 기능이 확인되고 있다. 건설공사에 사용된 토목용 섬유제품은 최소한 한가지 이상의 기능이 적

표 5. 토목용 섬유제품의 세부적용분야 및 주요 용도

세 부 적 용 분 야	주 요 용 도
방 조 제, 호 안	* 토사입자의 유출바지로 인한 사면보호 * 세굴방지와 불균등 침하방지 * d 수중의 초연약지반과 성토재의 탁월한 분리효과 * 구조물의 안정화
도 로, 비 행 장	* 지지력 보강으로 전단파괴 방지 * 보조기층의 유효두께 유지 * 노상과 노반의 분리와 포장의 균열방지
연약지반 단지조성	* 연약지반의 지지력보강과 부등침하방지 * 보강토 옹벽 * 연약지반의 조기압밀촉진 * 지중의 과잉간격수압의 저하 * 성토재와 불량토의 분리와 중장비용 도로 확보
운동장, 철도, 터널	* 과잉공극수 배수와 지반의 지지력 보강 * 양질토와 불량토의 혼합방지와 쇄석의 노상유입방지 * NATM터널의 배수유도와 뱅암거의 토사 유입방지
흙 댐, Rockfill 댐	* 댐 상류부와 하류부의 사면보호 * 월류에 의한 댐 하류부의 침식방지 * Chimney 배수재료와 블랭킷재료 * 댐구조물의 안정화
쓰레기 매립장, 호수	* 라이닝 재료와 그 파손방지 * 라이닝 하부의 집수된 물의 배수 * 라인닝 하부의 연약지반 보강
하천, 운하 간척사업	* 부유되어 있는 오탁입자의 유동을 최소화 * 수산자원과 주변환경보호
거 푸 집 용	* 콘크리트 매트 타설용 수중거푸집 * 해안구조물의 말뚝기초 보수

용되고 있으며, **표 5**에 토목용 섬유제품의 기능 및 적용예를 나타내었으며 지금까지 나타난 토목용 섬유제품의 기능은 다음과 같이 16가지로 크게 구분되고 있다.

(1) 배수기능

세립토, 콘크리트와 같은 투수성이 낮은 토목재료 또는 지오멤브레인 등과 밀착해 설치하여 물이 배수구로 흐르게 하는 기능.

(2) 방수 또는 차수기능

물의 출입을 차단하는 기능.

(3) 여과기능

조립토와 세립토 또는 부유세립토 사이에 설치하여 물의 흐름에 따른 세립토의 이동을 최소로 방지하면서 물을 여과시키는 기능으로 one-way steady flow와 two-way dynamic flow에 대한 기능이 있으며 전자의 경우는 암거보호용, 후자는 호안의 사면보호용임.

(4) 액체필터기능

물이 흐르는 곳에 설치하여 물은 이동하되 미립자는 통과하지 못하게 하는 기능.

(5) 지지기능

빈 공간을 가진 토목재료와 지오멤브레인 사이에 설치하여 토목재료위의 지오멤브레인이 파괴되는 것을 방지

하는 기능.

(6) 분리기능

모래, 자갈, 잡석 등의 조립토와 세립토의 혼합을 방지하는 기능.

(7) 표면유지기능

토목용 섬유제품을 지반위에 설치하여 평평하고 깨끗한 표면을 유지하는 기능.

(8) 커텐기능

흙이나 암석면에 평행하게 설치하여 토사가 떨어지는 것을 방지하는 기능.

(9) 막기능

다른 압력의 차이를 받고 있는 두 재료사이에 설치하여 토목용 섬유제품의 인장강도에 의한 압력차를 조절하는 기능.

(10) 연결기능

두 층의 지반이 분리되는 것을 방지하기 위해 설치되는 기능.

(11) 모음기능

외력에 의해 토사가 불안정화되는 경우 토사를 모으게 하는 기능.

(12) 보강기능

토목용 섬유제품의 인장강도에 의해 흙 구조물의 역학적 안정성이 증가되는 기능.

(13) 흡수기능

지반에 전달되는 하중과 변형율을 분산시키거나 감소시키는 기능.

(14) 균열방지기능

토중의 구조물과 지반사이에 발생하는 균열의 발생과 성장을 방지하는 기능.

(15) 접착기능

두 재료사이에 마찰이나 부착력을 증가시켜 재료사이에 결합력을 증가시키는 기능.

(16) 윤활기능

접착기능에 대한 반대 의미로서 두 재료사이의 부착력이나 마찰력을 감소시키는 기능.

한편, 위의 기능을 가진 토목용 섬유제품의 세부적용분야에 따른 용도를 살펴보면 **표 5**와 같다.

4. 토목용 섬유제품의 기능과 물성과의 관계[22-24]

4.1 수리학적 기능과 물성

토목용 섬유제품의 수리학적 기능은 drainage, waterproof membrane, solid filter, liquid filter의 기능을 말하고 섬유의 역학적 특성에 의해 영향을 받으며 특히 인장응력과 압축응력의 역할이 중요하다. 이러한 수리학적 거동에 대한 인장응력의 영향을 실험적 방법으로 그 응력의 역할이 중요하다. 이러한 수리학적 거동에 대한 인장응력의 영향을 실험적 방법으로 그 평가를 판정하기란 다소 어려운 점이 있지만 직포형 지오텍스타일의 경우, 인장응력은 섬유사이의 공간을 증가시키며 이로 인해 액체와 고체의 투과력은 증진하게 되며 이러한 현상은 열융착된 장섬유 부직포형 지오텍스타일에서도 비슷하게 나타난다. 그러나, 니들펀칭 부직포의 거동은 인장시 두께는 감소되며, 길이가 증가되는 상반된 두 현상이 나타나므로 섬유상호간 공간이 증가하는지 감소하는지를 검토하는 것은 매우 어렵다.

한편, 토목용 섬유제품의 수리학적 특성에 대한 압축응력의 영향은 매우 낮은 압축성을 보이는 직포형 지오텍스타일과 열융착 부직포에서는 거의 중요하지 않으나 니들펀칭 부직포는 큰 영향을 받는다.

즉, Darcy법칙에 의해 니들펀칭 부직포의 투수계수는 식(1)과 같이 정의된다.

$$K = Q/(IA) \tag{1}$$

여기에서 K는 투수계수, Q는 통과유량, I는 수리학적 구배이며 A는 유체가 흐르는 부직포의 단면적이다. 일반적으로 부직포에 적용되는 유체의 흐름은 **그림 10**에 나타난 바와 같이 수직흐름(normal flow)과 평면흐름(plane flow)의 두 형태로 구분되고 유체가 수직흐름인 경우는 $A=LB$, $I=\Delta h/h$이며 이때 Δh는 손실수력이다.

이러한 관계를 이용하면 식 (1)의 수직투수계수 K_n/h는 식 (2)와 같이 전개된다.

$$K_n/h = Q/(\Delta h\ LB) \tag{2}$$

한편, 유체의 평면흐름인 경우는 $A=Bh$, $I=\Delta h/L$이므로 평면투수계수 $K_p h$는 식 (3)과 같이 전개된다.

$$K_p h = QL/(\Delta h\ B) \tag{3}$$

따라서, 유체의 수직흐름에 있어서 토목용 섬유제품의

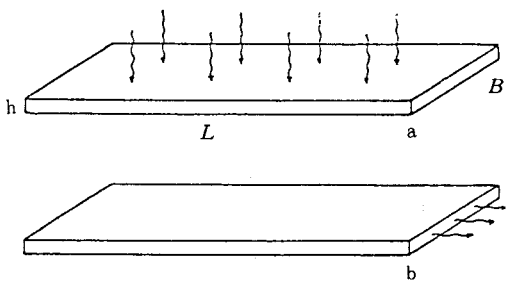


그림 10. Normal flow and flow in the plane.

수직투수계수(permittivity)는 K_n/h에 의해 결정되며 평면투수계수(transmissivity)는 $K_p h$에 의해 결정된다.

유체의 수직흐름은 토목용 섬유제품이 필터로서 사용될 때 적용되고, 토목용 섬유제품이 drain으로서 사용될 때는 평면흐름이 적용되며 **표 6**에는 배수용으로 사용되는 토목용 섬유제품의 종류 및 특성을 나타내었다. 또한 토목용 섬유제품에 대한 K_n과 K_p는 근사한 값을 가지므로 투수계수 K에 대한 평균값이 존재하게 되며 수직투수계수와 평면투수계수는 K와 h로부터 유도할 수 있고 평면흐름은 수직흐름보다 압축응력에 더 영향을 받게 된다.

4.2 필터기능과 물성

토목용 섬유제품의 필터기능은 크게 액체필터(liquid filter)기능, 정적 고체필터(static solid filter)기능 및 동적 고체필터(dynamic solid filter)기능의 3가지로 고려된다. 액체 필터기능은 **그림 11**에서 처럼 액체중에 부유되어 있는 세립자를 운반하는 흐름에 직각방향으로 토목용 섬유제품을 설치해서 세립자의 이동을 막고 물만 통과시키는 기능이며, 정적 고체필터기능은 흙과 유공재료(골재, 유공관, 다공플라스틱 매트)사이에 설치된 토목용 섬유제품이 배수 또는 양수에 의해 물을 집수하여 운반하는 동안, 흙입자의 이동을 막아주는 기능으로 주로 정류(steady flow)상태의 일방향 흐름에 대한 기능인데 반해 동적 고체필터 기능은 부정류상태의 동적 흐름에 대한 기능이다. 그러나 동적 고체 필터기능은 파랑의 작용으로부터 보호되어야 하는 흙과 피복재료(암석, 콘크리트, 블록, 돌망태)사이에 설치된 토목용 섬유제품이 물이 통과하는 동안 흙입자의 이동을 최소한도로 막아주는 기능이며 이러한 필터용 토목용 섬유제품의 주요 특성은 토목용 섬유제품의 구멍크기와 투수성이다.

표 6. 대표적인 배수용 토목용 섬유제품의 종류 및 특성

종류 \ 특성	두께(mm)	투수계수 (m/sec)	전달성 (m^2/sec)
니들펀칭 부직포	3~ 6, 또는그이상	10^{-4}~10^{-3}	10^{-7}~10^{-5}
플라스틱 그리드 또는 메트	10~20, 또는그이상	10^{-1}~1	10^{-3}~10^{-2}

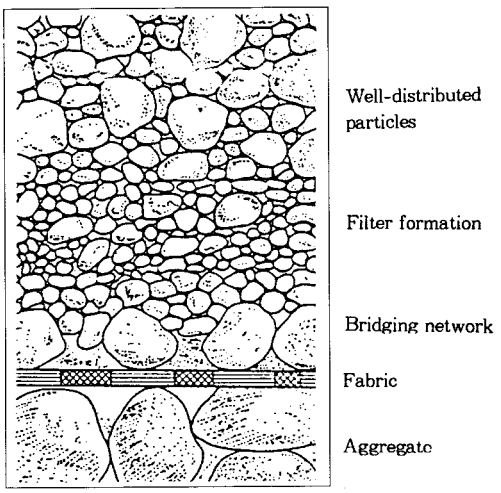


그림 11. Formation of an upstream soil filter.

(1) 토목용 섬유제품의 구멍크기

일반적으로 직포나 부직포는 구멍의 모양과 크기가 다양하기 때문에 현미경에 의한 결정방법과 체분석을 통한 구멍크기 분포곡선에 의해 구멍크기가 결정된다. 또한 부직포가 압축응력을 받으면 다음 식에서 보여주는 것처럼 구멍의 크기에 영향을 받는다.

$$\frac{O+d}{O'+d}=\sqrt{\frac{H_g}{H_g'}} \tag{4}$$

여기서 O′는 압축된 토목용 섬유제품의 두께 H_g'(mm)에 대한 단섬유 사이의 평균구멍크기이며 O는 두께 H_g(mm)인 토목용 섬유제품의 단섬유사이의 평균구멍크기로 기하학적 모델로부터 다음 식으로 표현된다.

$$O=d\left(\lambda\sqrt{\frac{h\rho_f}{m}}-1\right) \tag{5}$$

여기서 d는 단섬유의 직경(mm), m는 지오텍스타일의 단위면적당 질량, ρ_f는 단섬유의 단위질량이고 λ는 기하학적 모델에 의한 계수이다.

(2) 토목용 섬유제품의 투수성

토목용 섬유제품 평면에 대하여 수직으로 통과하는 유량, q_v는 Darcy식에 따라 다음과 같이된다.

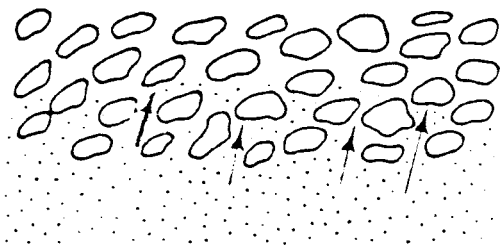
$$q_v=K_{vg}i_v A_v=K_{vg}\frac{\Delta h}{H_g}LB=\Psi\,\Delta hLB \tag{6}$$

K_{vg}는 토목용 섬유제품의 수직투수계수, H_g는 토목용 섬유제품의 두께, Ψ는 토목용 섬유제품의 투수성이며, Δh는 두께 H_g를 통한 손실투수이다.

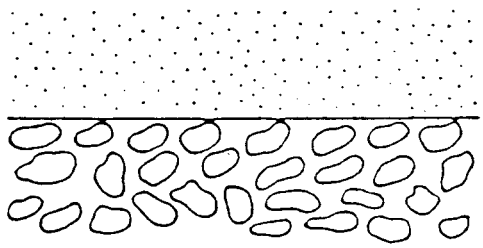
일반적으로 니들펀칭 부직포의 수직투수계수는 평면투수계수와 거의 같으며 압축응력에 대한 감소효과도 비슷하다. 한편, 지오네트, 직포 및 열융착 부직포는 압축성이 거의 없으므로 압축응력에 대한 투수성 감소는 거의 없다.

4.3 분리기능과 물성

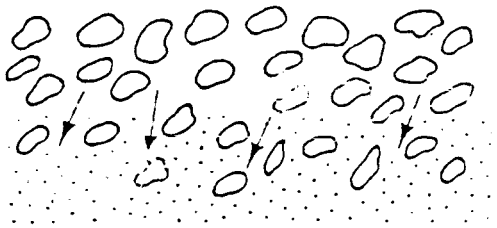
그림 12에 나타난 바와 같이 토목용 섬유제품의 분리기능은 세립토와 자갈, 돌덩어리, 블록등의 조립재료가 외부하중에 의해 서로 압착되어질 때 두 재료 사이에 놓



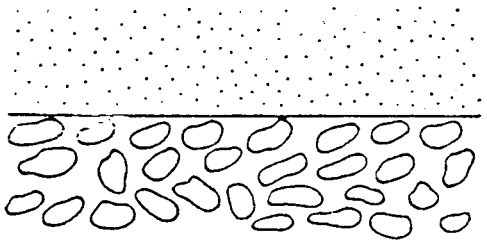
Without fabric



With fabric



Without fabric



With fabic

그림 12. Geotextiles involved in the seperation function.

인 토목용 섬유제품이 세립토와 조립입자가 혼합되는 것을 막아주는 기능이다. 분리기능을 목적으로 사용되는 토목용 섬유제품은 흙입자를 보존시키는 보존성과 외부하중에 의해 생기는 응력에 견딜 수 있는 충분한 강도를 가져야 한다.

(1) 토목용 섬유제품의 보존성

보존성 해석에서 가장 중요한 특성은 토목용 섬유제품의 구멍크기이며, 이에 관해서는 이미 앞에서 언급한 바 있다. 보존성 분석은 혼연정도와 하중조건에 따라 2가지 경우로 나누어 고려할 수 있는데 첫째는, 흙이 건조할 경우는 일반적으로 분리재가 필요없으며, 가능한한 구멍이 작은 토목용 섬유제품이 좋다. 둘째는, 흙이 습윤상태일 경우는 분리재가 필요하며, 과잉 수압의 발생을 막기위해 투수성이 좋아야 한다. 이 경우에는 정적하중과 동적하중을 받는 경우로 각각 나누어 고려한다. 정적하중이 가해지는 경우에는 정류상태의 흐름에대한 필터 기준을 만족하여야 하며, 동적하중의 경우에는 펌핑현상에 의해 쉽게 흙입자가 이동하므로 부정류상태의 흐름에 대한 필터기능을 만족하여야 한다.

(2) 토목용 섬유제품의 강도

분리재로서 사용된 토목용 섬유제품은 세립토와 조립재료사이에서 압착되어 **그림 13**과 같이 토목용 섬유제품의 파열을 야기시키는 조립재료의 틈으로 불쑥 튀어나온 세립토에 의한 압력과 조립재의 날카로운 모서리에 의해 받는 압력 및 두개의 조립재료 사이에서 클램프되어 인장력 등을 받으므로 이 압력들에 저항할 수 있는 강도를 가져야 한다.

4.4 보강기능과 물성

토목용 섬유제품의 보강기능은 **그림 14**에서 처럼 토목용 섬유제품의 인장강도에 의해 흙 구조물의 안정성을 증진시키는 기능으로 보강기능을 목적으로 사용하는 토목용 섬유제품은 인장강도는 물론 흙과의 마찰력이 커야 한다. 연약지반위에 놓인 토목용 섬유제품의 보강기능은 유발된 토목용 섬유제품의 인장력(T)의 수직성분 합력만큼의 하중감소 효과에 의해 나타난다. 이때, 흙과 토목용 섬유제품사이의 마찰력이 유발 인장력(T)보다 작다면 목용 섬유제품은 내부로 빨려들어가 큰 침하를 야기시키며 토목용 섬유제품의 인장력을 더 크게 유발시키지 못한다. 따라서 보강재용 토목용 섬유제품은 인장강도가 클수록

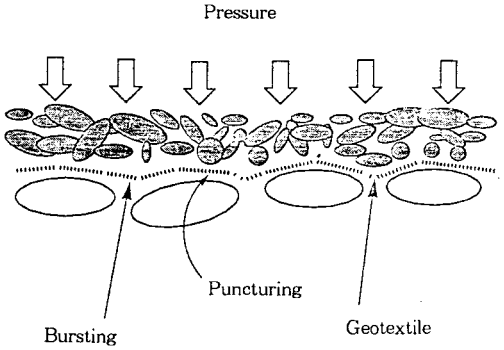


그림 13. Typical situation of geotextile seperator between fine soil and stone bed.

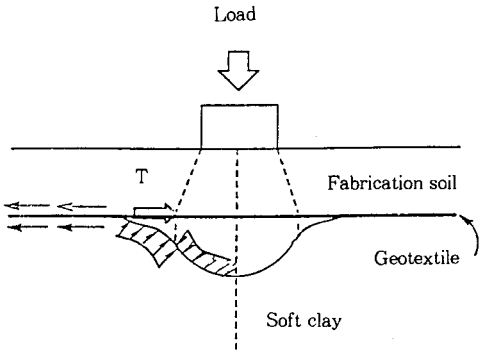


그림 14. Reinforcement function of geotextiles.

또한 흙과의 마찰력이 클수록 보다 큰 효과를 보여준다.

5. 토목용 섬유제품의 역학적 특성

토목용 섬유제품의 역학적 특성은 적용되는 기능적인 면에서 큰 영향을 나타내며 작용하는 응력은 등분포응력(distributed stress)와 집중응력(concentrated stress)으로 구분된다. 그 작용 예로는 compression-puncturing과 tension-tearing, shear-snag, membrane-bursting 및 bending-folding 등을 들 수 있고 다음과 같이 설명할 수 있다.

첫째, 대부분의 토목용 섬유제품이 매우 유연하기 때문에 bending-folding에 의한 응력은 보통 무시 할 수 있다.

둘째, membrane-bursting의 경우 압축응력들은 변형의 원인이 되지만, 토목용 섬유제품에 미치는 압축응력들의 직접적인 효과는 거의 무시되며 membrane-bursting 효과는 거의 토목용 섬유 제품의 순수한 인장결과에 의해 나타난다.

셋째, 압축효과 없이는 전단현상이 나타나지 않는다.

그러나 토목용 섬유제품의 압축거동에 대한 완전한 해석은 다소 어려움이 있는데 이는 흡수 또는 crack-barrier와 같은 기능의 경우 반복하중이 작용하기 때문이다. 일반적으로 물성과 기능과의 일반적인 상호관계는 사실 너무 복잡하므로 일부 토목용 섬유제품분야에서는 이러한 관계를 다음과 같이 단순화하고 있다.

* 주요 4대 기능 : Drainage, Filter, Separation,

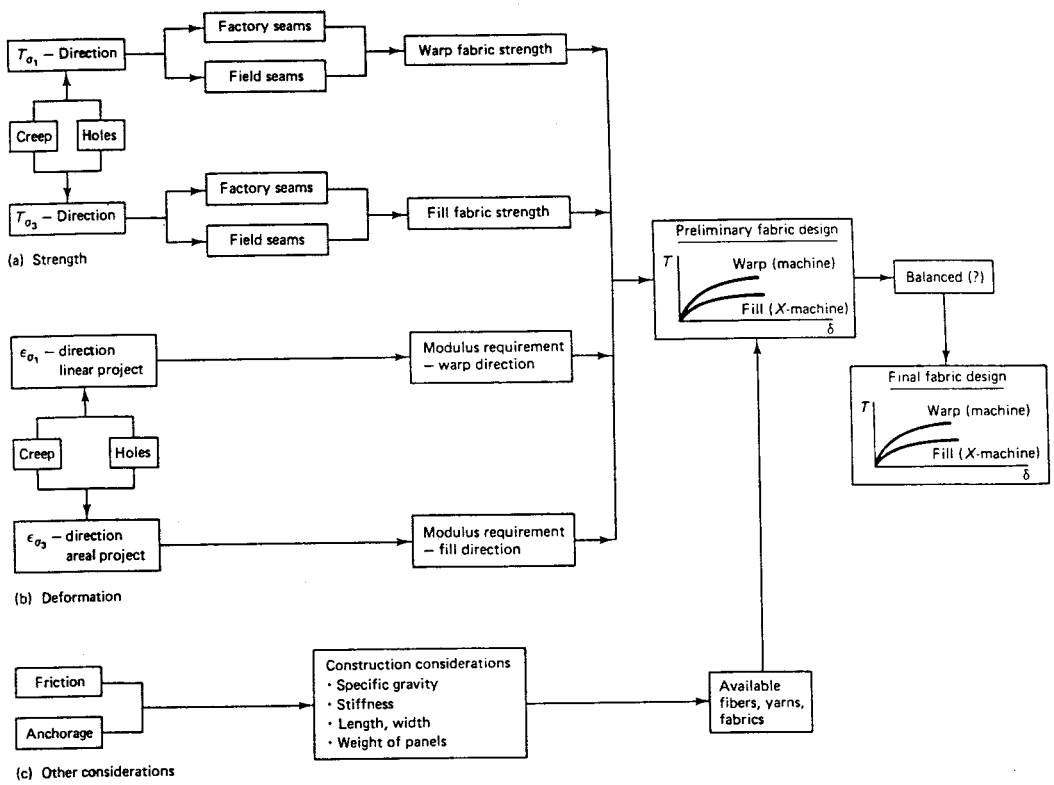


그림 15. Required geosynthetic design vis-a-vis optimal textile product.

Reinforcement

* 주요 2대 특성 : Strength, Permeability
* 주요 부수 특성 : Thickness, Porometry, Roughness

따라서 섬유고분자의 역학적 성질과 구조인자들을 고려하여 토목용 섬유제품의 최종적인 설계가 결정되며 직포형 지오텍스타일의 경우를 **그림 15**에 나타내었다.

한편, 토목용 섬유제품은 "placed between"될 경우 시간이 경과해도 지반변화를 방지하고 지반을 설계대로 보존하는 기능을 가지며 이것을 "preservation"이라 한다. 이와 반면에, "placed in"될 경우 토목용 섬유제품은 지반내의 과잉수를 감소시키거나 지반에 작용하는 하중에 견디도록 토질의 거동을 개선시키는 역할을 하며 이것을 "improvement"라고 한다. 현재는 토목용 섬유제품이 대부분 "improvement" 기능보다 "preservation" 기능으로 작용하는 경우가 많으나 앞으로는 "improvement"기능을 수행하는 토목용 섬유제품이 증가할 것으로 보여진다.

6. 토목용 섬유제품의 시험방법[25,26]

토목용 섬유제품의 시험방법은 섬유제품별로 분류되며 제품자체의 내구성이 토목용 섬유제품의 수명을 결정하므로 이에 영향을 미치는 인자들을 중요한 시험방법으로 채택하고 있다. 또한 토목용 섬유제품은 광범위한 면적에 사용되므로 제품상호간의 접착부분의 물성이 중요한 시험인자로 간주된다. 한편, 토목용 섬유제품은 그 시험방법도 다양하고 복잡하지만 주로 ASTM D의 방법에 의거, 실행되며 ASTM D의 방법을 보완한 GRI (Geosynthetic Research Institute) Standard Test Method도 병행, 사용되고 있다.

6.1 ASTM D 시험방법

D 1987-91 Test Method for Biological Clogging of Geotextile or Soil/Geotextile Filters

D 3020-89 Specifications for Polyethylene and Ethylene Copolymer Plastic Sheeting for Pond, Canal, and Reservoir Lining

D 3083-89 Specification for Flexible poly(Vinyl Chloride) Plastic Sheeting for Pond, Canal, and Reservoir Lining

D 4354-89(1994) Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing

D 4355-92 Test Method for Deterioration of Geotextiles from Exposure to Ultraviolet Light and Water(Xenon Arc Type Apparatus)

D 4437-84(1988) Practice for Determining the Integrity of Field Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes

D 4439-92a Terminology for Geosynthetics

D 4491-92 Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity

D 4433-91 Test Method for Index Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles

D 4545-86(1991) Practice for Determining the Integrity of Factory Seams Used in Joining Manufactured Flexible Sheet Geomembranes

D 4594-95 Test Method for Effects of Temperature on Stability of Geotextiles

D 4595-86(1994) Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method

D 4632-91 Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles

D 4716-87 Test Method for Constant Head Hydraulic Transmissivity (In-Plane Flow) of Geotextiles and Geotextile Related Products

D 4751-95 Test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile

D 4759-88(1992) Practice for Determining the Specification Conformance of Geosynthetics

D 4833-88 Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products

D 4873-88 Guide for Identification, Storage, and Handling of Geotextiles

D 4884-90 Test Method for Seam Strength of Sewn Geotextiles

D 4885-88(1995) Test Method for Determining Performance Strength of Geomembranes by the Wide Strip Tensile Method

D 4886-99(1995) Test Method for Abrasion Resistance of Geotextiles(Sand Paper/Sliding Block Method)

D 5101-90 Test Method for Measuring the Soil-Test System Clogging Potential by the Gradient Ratio

D 5041-91 Test Method for Determining Filtering Efficiency and Flow Rate of a Geotextile for Silt Fence Application Using Site-Specific Soil

D 5199-91 Test Method for Measuring Nominal Thick-

ness of Geotextiles and Geomembranes

D 5261-92 Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles

D 5262-92 Test Measuring for Evaluating the Unconfined Tension creep Behavior of Geosynthetics

D 5321-92 Test Measuring for Determining the Coefficient of Soil and Geosynthetic Friction by the Direct Shear Measuring

D 5322-92 Practice for Immersion Procedures for Evaluating the Chemical Resistance of Geosynthetics to Liquids

D 5323-92 Practice for Determination of 2% Secant Modulus for Polyethylene Geomembranes

D 5397-93 Test Measuring for Evaluation of Stress Crack Resistance of Polyolefin Geomembranes Using Notched Constant Tensile Load Test

D 5493-93 Test Measuring for the Permittivity of Geotextiles Under Load

D 5494-93 Test Measuring for the Determination of Pyramid Puncture Resistance of Unprotected and Protected Geomembranes

D 5496-93 Practice for In Field Immersion Testing of Geosynthetics

D 5514-94 Test Measuring for Large Scale Hydrostatic Puncture Testing of Geosynthetics

D 5567-94 Test Measuring for Hydraulic Conductivity Ratio(HCR) Testing of Soil/Geotextile Systems

D 5596-94 Test Measuring for Microscopic Evaluation of the Dispersion of Carbon Black in Polyolefin Geotextiles

D 5617-94 Test Measuring for Multi-Axial Tension Test for Geosynthetics

D 5641-94 Practice for Geomembranes Seam Evaluation by Vacuum Chamber

D 5721-95 Practice for Air-Oven Aging of Polyolefin Geomembranes

D 5747-95 Plastic for Tests to Evaluate the Chemical Resistance of Geomembranes to Liquids

6.2 GRI(Geosynthetic Research Institute) Standard Test Method

Geotextile(GT) Related

GT1 Geotextile Filter Performance via Long Term Flow(LTF) Tests

GT3 Deterioration of Geotextiles from Outdoor Exposure

GT6 Geotextile Pullout

GT7 Determination of Long-Term Design Strength of Geotextiles

GT8 Fine Fraction Filtration Using Geotextile Geotextile Filters

Geogrid(GG) Related

GG1 Geogrid Rib Tensile Strength

GG2 Geogrid Junction Strength

GG4(a) Determination of the Long-Term Design Strength of Stiff Geogrids

GG4(b) Determination of the Long-Term Design Strength of Flexible Geogrids

GG5 Test Measuring for Geogrid Pullout

Geonet(GN) Related

GN1 Compression Behavior of Geonets

Geomembrane(GM) Related

GM1 Seam Evaluation by Ultrasonic Shadow Method

GM2 Embedment Depth for Anchorage Mobilization

GM3 Large Scale Hydrostatic Puncture Test

GM5(b) Single Point NCTL Test for Polyolefin Resin or Geomembranes

GM5(c) Seam Constant Tensile Load(SCTL) Test for Polyolefin Geomembrane Seams

GM6 Pressurized Air Channel Test for Dual Seamed Geomembranes

GM7 Accelerated Curing of Geomembrane Test Strip Seams Made By Chemical Fusion Methods

GM8 Measurement of the Core Thickness of Textured Geomembranes

GM9 Cold Weather Seaming of Geomembranes

Geosynthetic Clay Liner(GCL) Related

GCL1 Swell Measurement of the Clay Component of GCL's

GCL2 Permeability of Geosynthetic Clay Liners (GLs)

Geocomposite(GC) Related

GC1 Soil-Filter Core Combined Flow Test

GC2 Strip Drain Flow Rate Under Load
GC3 Strip Drain Kinking Efficiency
GC4 Compression Behavior of Prefabricated Edge Drains and Sheet Drains
GC5 Erosion Control Systems to Protect Against Soil Detachment by Rainfall Impact and Overload Flow Transport
GC6 Erosion Control Systems for High Velocity Flows in Channels

Geosynthetic(GS) Related(i.e., Multipurpose)

GS1 CBR Puncture Strength
GS2 Rupture Strength of Geosynthetics by Pendulum Impact
GS3 In-Situ Monitoring of the Mechanical Performance of Geosynthetics
GS4 Time Dependent(Creep) Deformation Under Normal Pressure
GS5 Impregnation of Geosynthetics Under Load
GS7 Determining the Index Friction Properties of Geosynthetics
GS8 Deterioration the Connection Strength of Mechanically Anchored Geosynthetics
GS9 Oxidative Induction Time of Polyethylene Geosynthetics by High Pressure Differential Scanning Calorimetry

그러나 시험방법의 적용에 대한 효율성을 높히기 위해 전세계적으로 IGS(International Geosynthetics Society) 주관하에 ISO 시험방법의 표준화와 규격화가 진행되고 있으며 이 계획에 참여하고 있는 단체들은 다음과 같다.

1. International Organization for Standards(ISO) (international)
2. Permanent International Association of Road Congresses(PIARC) (international)
3. European Disposable and Nonwovens Associated (EDANA) (international)
4. Permanent International Association of Navigation Congresses(international)
5. Ministry of Public Works(Belgium)
6. Canada General Specification Board(CGSB) (Canada)
7. British Standards Institution(United Kingdom)
8. The Institution of Civil Engineers(United Kingdom)
9. Transport and Road Research Laboratory (TRRL) (United Kingdom)
10. Technical Research Center of Finland(Finland)
11. Comite Francais des Geotextiles et Geomembranes(France)
12. L'Association Francais de Normalisation (AFNOR) (France)
13. Reunion Internaitonale des Laboratoires d'Essais et de Recherche sur les Materiaux et les Construction(RILEM) (France)
14. German Standards Committee for Geotextiles (DIN) (West Germany)
15. Franzius Institut(fur Wasserbau und Kustingenieurswesen der Universtat Hanover (West Germany)
16. Bundesanstalt fur Wasserbau(West Germany)
17. Deutsche Gesellschaft fur Erd- und Grundbau (West Germany)
18. Nederlands Nromalisatie Instituut(NNI) (The Netherlands)
19. Consiglio Nazionale Ricerche(CNR) (Italy)
20. ENEL/CRIS(Italy)
21. Unitex(Italy)
22. Korea Highway Corp.(South Korea)
23. Norwegian Road Research Laboratory(NRRL) (Norway)
24. Joao de Matos Rosa(Portugal)
25. The Swedish National Road Administration(Sweden)
26. Swedish Geotechnical Institute(Sweden)
27. Schweizerisches Verband der Geotextilfachleute (Switzerland)
28. South Africa Bureau of Standards(South Africa)
29. The American Society for Testing and Materials (United States)
30. U. S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station(United States)
31. American Association of State Highway and Transportation Officals(United States)
32. Geosynthetic Research Institute of Drexel University(United States)

7. 토목용 섬유제품의 개발동향

7.1 제품개발동향[27-30]

일반적으로 지오텍스타일과 지오멤브레인의 초기형태

는 면을 이용한 직물 또는 코팅직물이었으며 1926년 미국 South Carolina Highways Department에서 발주한 도로공사에 처음 사용되었다. 합성섬유로 제직된 지오텍스타일은 1950년대 후반에 콘크리트 옹벽하단부에 설치, 우수한 기능성을 나타내어 1960년대 초기까지 호안보호용으로 사용되었다. 그 후 1962년에는 Memphis District에서 하천의 사면을 보호하기 위하여 여과의 기능으로 직포형 지오텍스타일이 사용되었으며 1950년대 후반부터 최근까지 토목용 섬유제품 발전에 큰 영향을 미친 것은 Dutch Delta Works Scheme로서 이 프로젝트에 사용된 토목용 섬유제품은 약 1,000천만 m^2에 이른다. 1968년에는 미국의 FHWAA(Federal Highway Administration)에서 아스팔트 표면 균열방지를 위해서 직포형 지오텍스타일을 사용하였고 일본에서는 지진과 폭풍으로 인해 제방이 파괴되는 것을 방지하기 위해 지오네트가 사용되기 시작하였다. 부직포형 지오텍스타일은 1968년 프랑스의 Rhone Poulenc사에서 개발한 "Bidim"과 영국의 ICI사가 개발한 "Teran" 등이 그 시초였으며 1970년에 Valcros Dam건설에 처음으로 사용되었다. 그러나 본격적으로 지오텍스타일이 사용된 것은 1960년도 중반 이후로, 사면보호용 토목자재의 가격과 운반비용의 상승으로 토목용 섬유제품의 가격이 기존의 토목자재와 경쟁력을 갖게 되었으며 계속적인 토목용 섬유제품의 개발과 합성섬유의 발전으로 인해 1981년에는 토목용 섬유제품의 가격이 1970년대 후반과 비교하여 약 60% 정도로 되었다. 최근에는 미국의 American Engineering Fabrics사(AEF), Amoco Fabrics사(Propex), Chmie Linz사(Polyfelt), Dupont사(Typar), Exxon Chemical사(GTF), Hoechst Fibers사(Trevira), Mirafi사(Mirafi) 등이 주로 폴리프로필렌, 폴리에스테르 섬유를 이용해 직포 및 부직포형 지오텍스타일을 생산하고 있다. 또한 지오그리드, 지오네트의 개발은 1960년에 영국에서 그 제조방법을 개발한 이래로 Gundle Lining System사(Gundnet), Mirafi사(Para Grid), Tebsar사(SR) 등이 제조, 판매하고 있다. 지오멤브레인은 UCO사(Greenline), Poly America사(Poly Flex), Palco Linings사(Dynalog), Fundle Lining System사(Gundline) 등이 생산하고 있으며 최근 그 사용량이 토목용 섬유제품 분야에서 급격히 증가하고 있다. 지오웹(Geowebs)은 Presto사가 고밀도 폴리에틸렌 섬유를 이용하여 "Geoweb"이란 상품명으로 판매하고 있으며 지오복합재료는 1969년 수직드레인이 처음으로 개발된 이래로 American Wick Drain사(Amerdrain), Burcan 사 (Hitek), Geotechnics Holland 사(Mebradrain) 등이 제조하고 있으며 토목용 섬유 관련 제품은 Construction Techniques사(Fabriforin), Enka사(Stabilenka) 등이 제조, 판매하고 있다.

7.2 연구개발동향[31,32]

지금까지 사용되는 토목용 섬유제품은 주로 지오텍스타일 제품이 압도적으로 우세하지만 지오멤브레인과 지오그리드의 사용량도 급증하고 있으며 토목건설공사의 특성상 지오복합재료를 사용하는 경우도 꾸준히 증가하고 있다. 따라서 이들 제품의 용도확장과 기존제품의 물성개선에 연구개발의 관심이 집중되고 있으며 미국의 경우, 기존의 GRI(Geosynthetic Research Institute)를 GSI(Geosynthetic Institute)로 개편하고 많은 관련기업들이 컨소시움을 형성하여 토목용 섬유제품의 연구개발에 참여하고 있으며 1995년 12월까지의 참여 기업들을 열거하면 다음과 같다.

1. Gundle Lining Systems, Inc.
2. RUST Environment & Infrasturcture, Inc.
3. U. S. Environmental Protection Agency(EPA)
4. Polyfelt, Inc.
5. Waste Management NA, Inc.
6. Chemical Waste Management, Inc.
7. Hoechst Celanese Corp.
8. Browning -Ferris Industries-
9. Monsanto Co.
10. E. I. Dupont de Nemours & Co., Inc.
11. Federal Highway Administration(FHA)
12. Golder Associates, Inc.
13. Tensar Earth Technology, Inc.
14. National Seal Co.
15. Poly-America, Inc.
16. Union Carbide Corp.
17. JPS Elastomerics Corp.
18. Akzo Industrial Systems bv
19. Phillips Petroleum Co.
20. SLT Environmental, Inc.
21. Exxon Chemical Co.
22. GeoSyntec Consultants
23. Laidlaw Waste Systems, Ltd.
24. Novacor Chemicals Ltd.
25. Wehran EnviroTech, Inc.
26. Tenax, S.p.A.
27. Chambers Development Co., Inc.
28. Amoco Fabrics & Fibers Co.
29. U. S. Bureau of Reclamation
30. Emcon Associates, Inc.
31. Himont, Inc.
32. Nicolon Corp./Mirafi Corp.
33. James Clem Corp.
34. Occidental Chemical Corp.

35. American Colloid Co.-CETCO Division
36. AccuLiner, Inc.
37. Hazen & Sawyer, Inc.
38. J & L Engineering, Inc.
39. Canadian General -Tower Ltd.-
40. Huesker, Inc.
41. Solvay Polymers
42. AGP Laboratories, Inc.
43. U.S. Soil Conservation Service
44. Naue Fasertechnik GmbH
45. Synthetic Industries, Inc.
46. STS Consultants, Ltd.
47. Mobil Chemical Co.
48. Post, Buckley, Schuh & Jernigan, Inc.
49. Reemay, Inc.
50. Quantum USI Division
51. NTH Consultants, Ltd.
52. ATEC Associates, Inc.
53. Los Alamos Nat'l. Laboratory
54. Consolidated Engineering Laboratories, Inc.
55. Netlon, Ltd.
56. W. R. Grace & Co.
57. TRI/Environmental Inc.
58. GeoSystems Consultants
59. Corps of Engineers
60. Chevron Chemical Co.
61. Serrot Corp.
62. Martin Marietta Energy Systems

한편, 유럽의 경우에는 네덜란드, 영국, 독일, 프랑스를 중심으로 각 나라에 속해 있는 관련 업체들이 활발한 연구활동을 하고 있으며 일본도 신소재 개발과 더불어 용도 확장에 큰 관심과 연구를 집중하고 있다. 그러나 우리나라의 경우에는 3~4개의 대기업과 불과 몇개의 중소업체만이 지오텍스타일, 지오멤브레인, 지오네트 등을 생산하고 있으며 활용도가 높은 지오그리드 및 지오복합재료 등의 생산은 거의 전무한 실정으로 앞으로 다가오는 무역시장 개방 이후의 경쟁력 확보에 대처하기 위해서는 토목용 섬유제품의 개발과 연구에 대한 관심과 투자가 확대되어야만 한다.

8. 결 론

지난 20여년간의 토목용 섬유제품의 제품개발과 이에 따른 시공기술은 괄목한 성장을 해왔고 토목용 섬유제품 기술발전과 구체적인 적용방법을 위해 국제적인 토목용 섬유제품위원회가 창립되었으며, 이러한 노력의 결과로 완전하지 않지만 안정성이 있고 경제적인 토목용 섬유제품의 설계방법과 시공방법이 제안되어 왔다. 토목용 섬유제품 소재와 성형방법에 따른 제품특성과 기능을 고려할 때, 시공 구조물에서 토목용 섬유제품의 거동과 역학적 메카니즘이 아직 불충분하며 표준화된 설계방법이 미흡한 것이 사실이다. 그리고 섬유고분자 소재와 토질 또는 물과의 상호작용, 섬유제품과 토질과의 상관관계에 대한 연구가 거의 없으며 대부분 경험적인 자료에 의존하는 현실이다. 그러나, 토목용 섬유제품 분야는 섬유고분자 소재를 이용한 다양한 제품개발과 토목공학의 새로운 공법과 시공의 우수성 및 경제성 등의 장점으로 급속히 성장하고 있는 산업이며, 섬유소재의 개발과 제조방법의 다양한 응용으로 토목용 섬유제품의 실용도는 더욱 높아질 것으로 보여진다. 이러한 토목용 섬유제품의 활성화를 위해서는 섬유분야와 토목용 섬유제품 제조기술의 접목 및 새로운 소재의 개발과 제품의 개선, 표준 특성시험법, 구조물의 합리적인 설계와 시공방법 및 효율적인 시공장비의 개발 등이 수반되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. N. W. M. John, "*Geotextiles*", John Wiley & Sons Co., ch. 2, p. 75~136, 1987.
2. P. R. Rankilor, *Textile Month*, November, vol. 12, p. 223~231, 1987.
3. M. Jacobsen, *Nonwoven Industry*, August, vol. 7, p. 73~79, 1985.
4. R. M. Koerner, "*Designing with Geosynthetics*", Prentice Hall Co., ch. 5, p. 232~287, 1986.
5. Velghuijzen van Zanten, "*Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering*", A. A. Balkema Publishing Co., ch. 4, p. 222~301, 1983.
6. J. P. Giroud, "*Mechanics of Flexible Assemblies*", Netherlands ch. 3, p. 339~403, 1980.
7. 不織布情報, No, 191, 1989.
8. T. L. Vigo and A. F. Turbak, "*High-Tech Fibrous Materials*", ACS, Washington, DC, 1991.
9. J. Lunenschloss and W. Albrecht, "*Non-Woven Bonded Fabrics*", 1985.
10. M. P. Dunn, Sandy Hill Corp, *Tappi Journal*, 71, 36-42, 1989.
11. 「熱融着不織布の實態と熱融着纖維の實態」, 1989年 4月 大阪ケミガルマーケテイング.
12. G. Breyer, "Geotextiles for Drainage of Concrete Roads", *Proc. Third Int. Conf. on Geotextiles*, Vienna, vol. 2, p. 663-664, 1986.
13. S. F. Brown, B. V. Brodrick, and D.A. B. Hughes, "Tensar Reinforcement of Asphalt : Laboratory Studies", Proc. *Polymer Grid Reinforcement Conference*, London, Thomas Telford, p. 158-165, 1984.
14. J. P. Giroud, "Introduction to Geotextiles and Their Applications", *Proc. First Canad. Symp. on Geotextiles*, Sep-

tember, 3-31(1980).
15. J. P. Giroud, A. Arman, and J. R. Bell, "Geotextiles in Geotechnical Engineering Practice and Research", *Geotextiles and Geomebranes*, 2, 3, p. 179-242, 1985.
16. J. H. Greenwood and B. Myles, "Creep and Stress Relaxation of Geotextiles", *Proc. Third Int. Conf. on Geotextiles*, Vienna, vol. 3, p. 821-826, 1986.
17. C. F. White and G. K. Moore, *Tappi J.*, 70(12), 67, 1987.
18. R. M. Koerner and R. F. Wilson-Fahmy, "Geosynthetic Liner Systems : Innovations, Concerns and Designs", GRI Conference Series, IFAI, 1994.
19. Y. G. Hsuan and R. M. Koerner, "Geosynthetic Resins-Formulations & Manufacturing", GRI Conference Series, IFAI, 1995.
20. R. M. Koerner and Y. G. Hsuan, "MQC/MQA and CQC/CQA of Geosynthetics", GRI Conference Series, IFAI, 1993.
21. Geotextile Division, IFAI, "A Design Primer : Geotextiles and Related Materials", IFAI, 1992.
22. Ian D. Peggs, "Geosynthetics : Microstructure and Performance", ASTM, STP 1076, 1990.
23. R. M. Koerner, "Durability and Ageing of Geosynthetics", Elsevier Applied Science, New York, 1989.
24. J. E. Fluet, Jr., "Geotextile Testing and the Design Engineer", ASTM, STP 952, 1987.
25. ASTM Committee D-35, "ASTM Standards on Geosynthetics", ASTM, 4th Ed., 1995.
26. GRI, "Geosynthetic Research Institute Standard Method", Drexel Univ., 1995.
27. R. M. Koerner, "Geosynthetic Testing for Waste Containment Applications", ASTM, STP 1081, 1990.
28. L. S. Blake, "*Civil Engineers Reference Book*", Newnes-Butterworth, London, 1975.
29. F. Bogossion, et al, "*Continuous Retaining Dikes by means of Geotextiles*", *Proc. Second Int. Conf. on Geotextiles*, Las Vegas, vol. 1, p. 211-216, 1982.
30. J. E. Bowles, "*Foundation Analysis and Design*", 2nd ed., McGraw-Hill International, 1977.
31. Geotechnical Fabrics Report.
32. Technical Usage Textiles.