

토목건설용 부직포의 활용 및 장기 내구성

조 삼 덕

1. 서 언

최근 토목건설분야에서 매력적인 신재료로서 각광을 받고 있는 토목섬유(geosynthetics)는 1960년대 초 하천제방 사면보호를 위해 필터용 지오텍스타일(geotextile)을 최초로 사용한 이래 눈부신 성장을 계속하여 현재는 각종 토목구조물에 다양한 용도로 연간 약 20억 m² 이상의 물량이 사용되고 있으며, 또한 많은 시공사례를 통하여 건설재료로서의 우수한 경제성과 시공성 등이 인정되고 있어 향후 보다 큰 발전이 기대되고 있다.

국내에서도 1972년 아산 방조제 공사에 보강용 직포(woven geotextile)를 최초로 사용한 이래 보강, 필터, 배수, 분리 및 침식방지용 등으로 폭넓게 사용되고 있으며, 사용되는 물량도 연간 약 2,000만 m² 정도로 매우 급속한 성장을 하고 있다.

특히 필터 및 배수특성이 우수한 부직포(non-woven geotextile)의 사용은 전 세계적으로 토목섬유 사용량의 40% 이상을 차지할 정도로 가장 폭넓게 활용되고 있다. 국내에서는 1985년에 스펀본드 장섬유 부직포가 생산되면서 그 사용량이 급증하였다.

본고에서는 토목건설용 부직포의 이용현황과 장기적인 안정성 등을 살펴보기 위하여 토목건설용 부직포의 종류와 기능, 적용, 주요 특성 및 장기 내구성 등에 대하여 기술하였다.

2. 토목섬유(Geosynthetics)의 분류 및 사용현황

2.1. 토목섬유의 분류

최근 토목분야에서 합성섬유 관련 제품의 개발,

사용이 활성화되면서 토목섬유의 종류도 매우 다양해지고 있으며, 이에 따라 토목섬유(geosynthetics)에 대한 용어도 "토목분야에서 흙이나 암석, 토체와 함께 사용되는, 중합(重合)재료로 만든 평면적 제품"으로 확대하여 정의되고 있다.

현재까지 개발된 제품을 토대로 토목섬유를 크게 분류하면 다음과 같으며, Table 1에서는 토목섬유 종류별로 직조형태와 주요소재, 주요기능 등을 보여준다.

- 지오텍스타일(Geotextiles): 섬유만으로 제조된 투수성 토목섬유
- 지오그리드(Geogrid): 흙이나 암석 또는 다른 지반재료들을 보강할 수 있도록, 인장요소를 충분한 구멍을 갖는 사각형 격자구조로 제조한 보강용 토목섬유
- 지오네트(Geonet): 2세트의 평행한 리브(rib)들을 다양한 각도로 교차시킨 형태의 토목섬유
- 지오멤브레인(Geomembrane): 인공구조물이나 시스템에서 유체이동을 조정하기 위해 각종 지반공학 관련재료와 함께 사용되는 매우 낮은 투수성의 멤브레인 라이너
- 토목섬유/점토라이너(Geosynthetics Clay Liners): 벤토나이트 점토나 매우 낮은 투수성 재료를 지오텍스타일 또는 지오멤브레인 과 결합시킨 공장제품의 차수 라이너
- 지오컴포지트(Gecomposites): 지오텍스타일, 지오그리드, 지오네트, 지오멤브레인 또는 다른 재료들을 서로 다양하게 조합하여 만든 제품

2.2. 국내의 토목섬유 사용현황

국의 현황: 1961년 해안구조물의 침식방지 목적으로 PP 직포가 최초로 적용된 이래 30여년

Table 1. 토목섬유의 종류와 주요 기능

종 류	형 태	주요소재	주요기능
지오 텍스 타일 (woven geotextile)	• 장섬유사, 모노 장섬유사, 평사 등을 사용하여 날줄과 씨줄을 직각으로 교차하며 엮어서 만든 형태 (기본형태 : 평직, 능직, 주자직)	PET, PP	분리, 보강, 필터
(geo-textiles) 부직포 (nonwoven geotextile)	• 장섬유와 단섬유들을 일정한 방향없이 배열시켜 놓고 평면적으로 함께 결합시킨 형태(결합방식: 니들펀칭, 열융착, 스펀본딩, 화학적 결합)	PET, PP	분리, 필터, 배수, 보강
지오그리드(geogrids)	• 폴리머를 판상으로 압축시키면서 격자모양의 그리드 형태로 구멍을 내어 특수하게 만든 후 여러 모양으로 연신한 형태 • 고강도사를 격자형으로 배열한 후 PVC 등으로 코팅한 형태	HDPE, PET, PP	보강
지오네트(geonets)	• 일정한 각도(보통 60°~90°)로 교차하는 2세트의 평행한, 거친 가닥들로 구성되며, 교차점의 가닥들은 용해, 집착된 형태	PE, HDPE	배수, 보강
지오멤브레인 (geomembranes)	• 용융된 폴리머를 밀어내어 정형시키거나, 폴리머 합성물로 fabric을 코팅하거나, 폴리머 합성물을 압착시켜 성형된 판상의 형태	HDPE, PVC, VLDPE, CSPE, Urethane, CPE	차수
지오컴포지트 (geocomposites)	• 토목섬유와 다른 재료들을 서로 조합하여 결합한 형태 - 오탁 방지막 (Silt protector) - 섬유대 거푸집 (Fabric form) - 드레인 보드 (Drain board) - 팩 드레인 포대 (Pack drain) - 지오웹 (Geo web) - Polymeric anchor		복합형태에 따라 다양

동안 토목섬유는 괄목할 만한 발전을 하여 왔다. 초기에 직포, 부직포로 대별되었던 토목섬유는 새로운 형태의 제품들이 개발되면서 보다 다양화되었다.

Table 2에서는 1986년~1995년 기간 동안 북미에서 사용된 지오텍스타일의 물량을 연도별 및 용도별로 조사한 결과를 보여준다. Table 2에서 보듯이 북미에서의 지오텍스타일 사용량은 매년 약 5% 정도의 성장을 보이고 있으며, 1995년에만

3억 6천만 m²의 물량이 사용된 것으로 평가된다. 또한 용도별로 살펴보면 지반안정/분리 및 아스팔트 오버레이, 라이닝 시스템 등이 주요 용도로 나타났다.

Table 3과 Table 4에서는 각각 최근에 북미에서 사용량이 급증하고 있는 지오그리드와 지오멤브레인의 연도별 및 용도별 사용량을 보여준다. 이 표에서 보듯이 북미에서의 지오그리드와 지오멤브레인의 사용량은 매년 약 10% 정도의 증가를

Table 2. 북미에서의 용도별 지오텍스타일 사용량

(단위: 백만 m²)

용도	년도				
	1986	1989	1991	1993	1995(추정)
분리/지반안정	59(30%)	81(30%)	85(28%)	92(28%)	100(28%)
아스팔트 오버레이	66(34%)	90(33%)	88(30%)	85(25%)	89(24%)
라이닝 시스템	13(6%)	21(7%)	41(14%)	62(19%)	71(20%)
배수	29(15%)	35(13%)	36(12%)	37(11%)	38(10%)
침식방지	11(5%)	14(5%)	16(5%)	22(7%)	20(6%)
보강(벽체, 사면, 지반)	9(5%)	15(6%)	17(6%)	18(5%)	25(7%)
실트막	10(5%)	15(6%)	16(5%)	17(5%)	19(5%)
총 계	197(100%)	271(100%)	299(100%)	333(100%)	362(100%)

* 주) 1987년: 220백만 m², 1988년: 248백만 m², 1990년: 284백만 m², 1992년: 316백만 m²

Table 3. 북미에서의 용도별 지오그리드 사용량
(단위: 백만 m²)

용도	년도			
	1990	1991	1992	1993 (추정)
벽체/사면 보강	5.8	6.5	7.4	8.3
노상/지반 보강	2.9	3.2	3.5	3.9
라이닝 시스템	1.3	1.8	2.4	2.9
안전/분리 fence	1.5	1.6	1.7	1.7
분리/안정	0.8	0.8	0.8	0.8
기 타	0.4	0.4	0.4	0.4
총 계	12.7	14.3	16.2	18.0

Table 4. 북미에서의 용도별 지오멤브레인 사용량
(단위: 백만 m²)

용도	년도		
	1992	1993	1995 (추정)
산업/도시폐기물 매립장	29	29	31
광 산	9	9	11
유해 폐기물 매립장	7	7	8
정수장	3	3	4
유원지 연못	3	3	3
수 로	2	2	2
홍 댐	2	2	2
기 타	3	2	3
총 계	58	57	64

*주) 1988년: 32백만 m², 1989년: 40백만 m², 1990년: 46백만 m², 1991년: 52백만 m²

보여주고 있으며, 용도별 사용량을 살펴보면 지오그리드는 보강벽체, 사면보강 및 노상/지반보강 등이 주요 용도로 나타났고, 지오멤브레인은 폐기물 매립장과 광산 등이 주요 용도로 나타났다.

Table 5에서는 일본에서의 토목섬유 종류별 사용량을 보여주고 있다. 이 표에서 보듯이 최근 일본에서의 토목섬유의 연간 성장률은 약 7% 정도로 나타나고 있으며, 1993년에만 9,100만 m²의 토목섬유가 사용되었음을 알 수 있다. 또한 북미에서와 마찬가지로 최근 들어 직포의 사용은 격감한 반면 부직포 및 지오그리드, 지오멤브레인 등의 사용이 증가하고 있음을 알 수 있다.

국내 현황: 국내에서는 1972년 아산방조제 공사에 PP직포를 사용한 것을 시작으로 1975년 창원공업단지 조성공사에 연약지반 보강용으로 다량의(420,000 m² 정도) 직포매트(woven geotextiles)가 성공적으로 사용되면서 국내 토목섬유의 발전계기가 마련되었다. 그 후 단섬유 부직

Table 5. 일본에서의 토목섬유 종류별 사용량
(단위: 만 m²)

종류	년도		
	1991	1993	
직 포	2,700(33.6%)	1,700(18.8%)	
편 포	3(0.0%)	14(0.2%)	
부직포	3,400(42.3%)	4,300(47.6%)	
지오네트	250(3.1%)	240(2.7%)	
지오그리드	350(4.4%)	780(8.6%)	
수직배수재(PD Board재 등)	100(1.2%)	220(2.4%)	
지오멤브레인	970(12.1%)	1,400(15.5%)	
복합재료(지오컴포지트)	140(1.7%)	250(2.8%)	
기타 관련제품	120(1.5%)	130(1.4%)	
총 계	8,000(100%)	9,100(100%)	

1. 괄호내의 숫자는 전체 사용량에 대한 백분율임, 2. 본 자료는 IGS 일본지부에서 조사한 것임(シオテクスタイル 技術情報, 1995. 3)

포, 복합포 및 장섬유 부직포의 국내 생산에 따라 사용량이 급증하여 1995년 현재 연간 약 20,000,000 m² 정도의 토목섬유가 각종 토목구조물에 다양하게 적용되고 있다. Table 6~8에서는 국내에서 사용되는 토목섬유의 종류와 소재 및 용도에 따른 연도별 사용량을 보여준다. Table 6에서 보듯이 국내에서의 토목섬유 사용은 1983년 이래 그 사용량이 급증하고 있으며, 또한 직포와 부직포의 사용이 5:5 정도이던 것이 1990년대에 와서는 부직포의 사용비율이 더욱 높아지고 있음을 알 수 있다. 특히 국내에서는 선진외국과는 달리 단섬유 부직포의 사용이 활성화되어 있는데, 이는 국내 토목섬유 업계의 구조적 특성과 함께 단섬유 부직포의 우수한 수리학적 특성이 평가되어 필터 및 배수 용도로의 사용이 활발하기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 국내에서의 장섬유 부직포 사용은 1980년대 초반 외국에서 수입된 제품에 의해 70만 m²/년 정도까지

Table 6. 국내의 토목섬유 종류별 사용량
(단위: 만 m²)

종류	년도					
	1983	1986	1989	1991	1992	1995 (추정)
직 포	5.3	167.2	320.3	336.3	600	
부직포	88.8	141.6	300.0	472.7	560	
복합포	20.2	10.7	28.5	8.3	20	
지오멤브레인			34.9	73.9	150	
기 타			73.5	105.2	130	
총 계	114.3	319.5	757.2	996.4	1,460	2,000

Table 7. 합성섬유 종류별 국내의 토목섬유 사용량
(단위 : 만 m²)

종류	년도					
	1983	1986	1989	1991	1992	1995 (추정)
PP	91.1	156.0	178.2	265.7	370	
PET	5.9	115.6	365.3	455.6	590	
PE	6.7	36.6	140.4	133.3	210	
기 타	10.6	11.3	73.3	141.8	290	
총 계	114.3	319.5	756.2	996.4	1,460	2,000

다량 사용되었으나, 단섬유 부직포와 복합포 사용의 증가와 함께 그 사용량이 감소하였고, 1985년 국내에서 장섬유 부직포가 생산되면서 사용량이 다시 증가하는 경향을 보여준다.

한편, 1990년대에 와서는 폐기물 매립지 조성공사와 해안·호안공사 등의 증가에 따른 환경오염에 대한 국민의식의 고조와 연약지반 처리문제의 증가 등에 의해 지오멤브레인(geomembranes)과 오탉방지막(silt protector), 드레인보드(drain board) 등 지오택스타일 관련제품의 사용량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 선진외국에서 사용이 활발한 지오그리드(geogrid)의 국내 사용은 1993년 이래 증가추세에 있다.

Table 7에서 보듯이 국내 토목섬유의 주요 소재는 PP와 PET이며, PP와 PET 및 PE 등을 적절하게 혼합하여 토목섬유를 생산하는 경우도 많음을 알 수 있다. Table 8에서 보듯이 국내에서의 토목섬유 사용이 대부분 배수 및 필터용이나 지반보강용으로 한정되어 있으며, 북미에서 많이 사용되고 있는 아스팔트 오버레이용으로는 거의 사용되고 있지 않은 실정이다.

3. 토목건설용 부직포의 종류

Table 8. 국내의 토목섬유 용도별 사용량
(단위: 만 m²)

종류	년도					
	1983	1986	1989	1991	1992	1995 (추정)
필터 및 배수	34.6	123.7	320.5	465.0	630	
지반보강 및 안정	68.8	177.2	377.0	428.0	600	
차 수			34.9	73.9	150	
기 타	10.9	18.6	24.8	29.5	80	
총 계	114.3	319.5	757.2	996.4	1,460	2,000

토목건설용 부직포는 합성섬유의 소재 및 형태, 제조방식에 따라 분류된다. 토목건설용 부직포에 사용되는 합성섬유 소재로는 폴리프로필렌과 폴리에스테르가 주류를 이루고 있고, 섬유재 형태는 장섬유와 단섬유를 사용하는 경우로 구분된다.

또한, 토목건설용 부직포는 결합방식에 따라 아래와 같이 크게 화학적 접착, 열융착, 기계적 결합(니들펀칭) 및 스펀본딩 결합 등 4가지 종류로 구분된다.

- 화학적 접착(Chemical Bonding): 일반적으로 아크릴수지를 섬유위에 뿌리거나, 섬유속에 넣어 접착시키는 방법으로 보통 수지접합(Resin Bonding)이라고 한다. 토목섬유용으로는 많이 사용되지 않는다.

- 열융착(Thermal Bonding): 장섬유나 단섬유들을 열로 녹여 접착시키는 방법으로 니들펀칭 결합보다 가벼운 중량에서 보다 높은 강도를 줄 수 있으며, 두께는 보통 0.5~1 mm 정도이다.

- 니들펀칭 결합(Needle Punched Bonding): 장섬유와 단섬유를 여러겹 쌓아놓고 수천개의 작은 이형바늘들로 구멍을 뚫어 섬유들을 서로 영키게 하는 방법으로 투수성이 매우 좋으며, 두께는 보통 1~6 mm 정도이다(Figure 1 참조)

- 스펀본딩 결합(Spun Bonding): 장섬유를 연속적으로 200~800 g/m² 정도 쌓아놓고 니들펀칭 또는 열융착 등의 방법으로 연속적으로 결합시키는 방법으로 역학적 특성이 우수해 토목섬유용으로 가장 많이 사용되고 있다. 두께는 보통 0.1~2 mm 정도이다(Figure 2 참조).

4. 토목건설용 부직포의 기능 및 적용

토목건설용 부직포의 주요기능은 배수(drain-

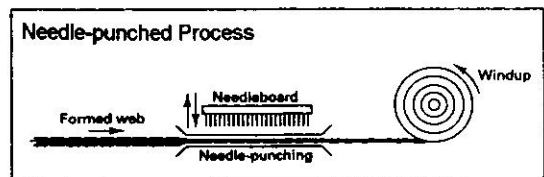


Figure 1. 니들펀칭 공정.

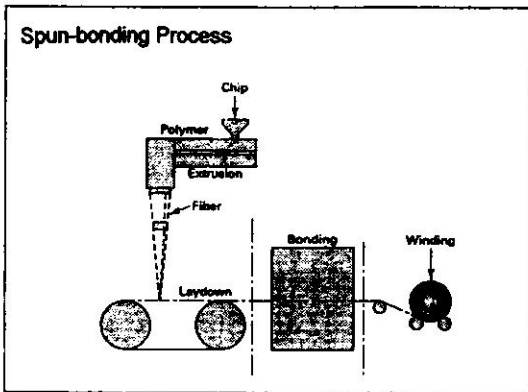


Figure 2. 스펠본딩 공정.

age), 필터(filtration), 분리(separation) 및 보강(reinforcement) 기능 등이며, 이외에도 다른 여러 기능을 갖고 있다. 일반적으로 현장에 사용된 부직포는 하나 이상의 기능을 발휘하고 있다. Table 9에서는 적용분야에 따른 부직포의 주기능과 보조기능을 보여준다.

4.1. 배수기능

부직포의 배수기능은 투수성이 낮은 재료(세립토, 콘크리트, 지오�멤브레인 등)와 밀착, 설치되어 물을 모아 출구로 배출시키는 기능으로 부직포의 두께, 압축성, 평면투수성 등이 중요한 설

Table 9. 적용분야에 따른 부직포의 주기능과 보조기능

적용 예	부직포의 기능			
	분리	필터	배수	보강
도로, 철도 노상안정	■	■		■
배수	■	■	■	
습윤 성토제방공사	■	■	■	■
해안, 하천의 호안공사	■	■		■
간척공사	■	■		■
해안제방과 성토	■			■

■ 주기능, ■ 보조기능

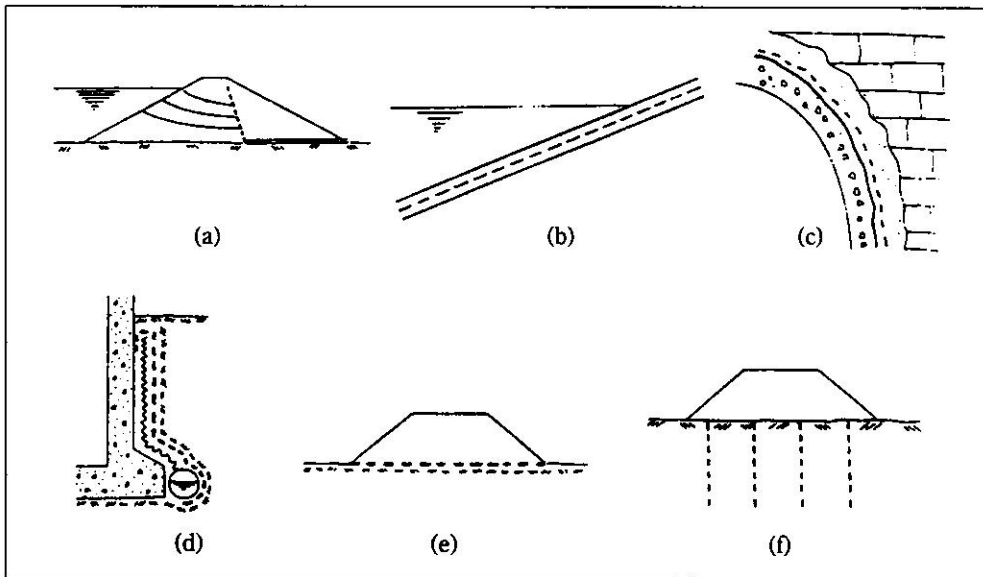


Figure 3. 배수용 부직포의 적용 예.

계인자이다. 배수용으로 사용되는 부직포는 평면 투수성이 커야하므로 두께가 두꺼운 니들펀칭 부직포가 주로 사용된다. 부직포의 배수기능을 주목적으로 사용하는 대표적인 토목구조물의 예는 다음과 같다.

- 흙 댐에서의 Chimney drain(Figure 3(a)): 침출수의 배출
- 2개의 지오멤브레인 사이의 배수(Figure 3(b)): 상부 지오멤브레인을 통하여 누수된 물의 수집, 배출
- 터널라이닝 시스템내의 배수(Figure 3(c)): 슛크리트(Shotcrete)를 통하여 누수된 물의 수집, 배출
- 옹벽이나 교대의 뒷채움 배수(Figure 3(d)): 뒷채움 흙을 통하여 나온 물의 수집, 배출
- 제방과 포화된 연약지반 사이의 수평배수(Figure 3(e)): 연약지반으로부터 압출된 물의 수집, 배출
- 연약지반의 수직배수(Figure 3(f)): 압밀수의 빠른 배출

4.2. 필터기능

부직포의 필터기능은 지반 흙이나 부유세립토에 밀착, 설치되어 물의 흐름에 따른 세립자의 이동을 최소로 막으면서 물을 통과시키는 기능으로 부직포의 유효구멍크기와 수직투수성이 중요한 설계인자이다. 부직포의 필터기능을 주목적으로 사용하는 대표적인 토목구조물의 예는 다음과 같다.

- 부직포로 둘러싸인 자갈 트렌치(Figure 4(a))
- 부직포로 둘러싸인 유공관(Figure 4(b))
- 지반 흙과 Gabion 사이의 필터(Figure 4(c))
- 흙 댐 또는 rockfill 댐내 두 영역사이의 필터(Figure 4(d))
- 압밀상태하에서 투수성 제방과 포화된 연약지반 사이의 필터(Figure 4(e))
- 흙 제방과 쇄석층 사이의 필터(Figure 4(f))
- 수중 굴착된 하상의 침식방지용 필터(Figure 4(g))
- 시공시 발생한 실트가 물의 흐름에 따라 인접 지역으로 이동되는 것을 막기 위해 설치된 silt

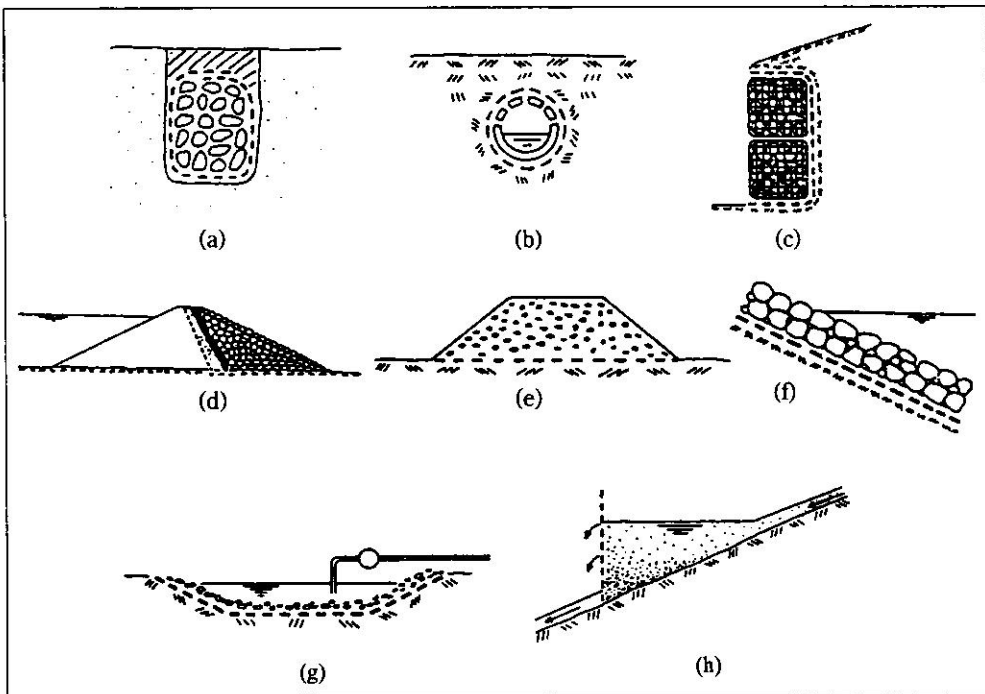


Figure 4. 필터용 부직포의 적용 예.

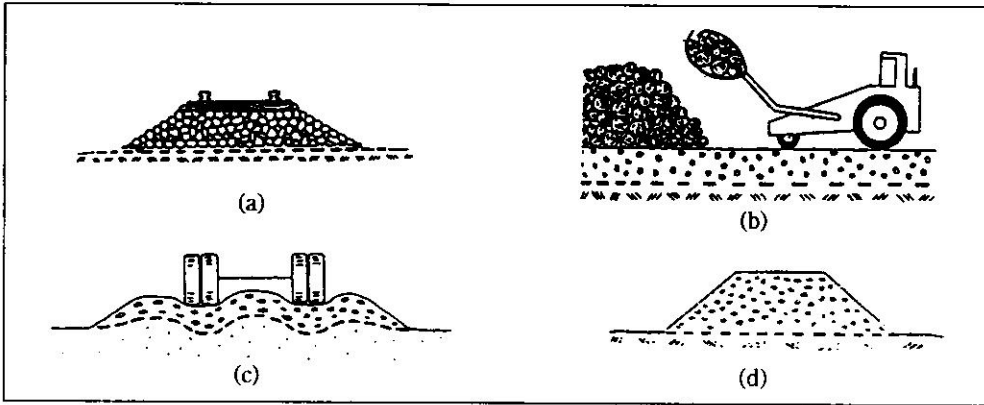


Figure 5. 분리용 부직포의 적용 예.

fence(Figure 4(h)): 스크린 기능

4.3. 분리기능

부직포의 분리기능은 세립토와 자갈, 돌덩어리, 블록 등의 조립재료가 외부하중에 의해 서로 압착되어 질 때 두 재료사이에 놓인 부직포가 세립토와 조립재료의 혼합을 방지하는 기능으로 부직포의 유효구멍크기, 파열강도, 꿰뚫림 강도, 인장강도 등이 중요한 설계인자이다. 부직포의 분리기능을 주목적으로 사용하는 대표적인 토목 구조물의 예는 다음과 같다.

- 철도 볼라스트(Ballast)와 지반 흙 사이의 부직포(Figure 5(a))
- 작업장이나 저장소를 만들기 위하여 조립층과 지반 흙사이에 설치된 부직포(Figure 5(b))
- 비포장 도로에서 지반흙과 성토층사이의 부직포(Figure 5(c))
- 세립토 지반과 조립성토층 사이에 설치된 부직포(Figure 5(d))

4.4. 보강기능

부직포의 보강기능은 부직포의 인장특성에 의해 흙구조물의 역학적 안정성을 증진시키는 기능으로 부직포의 인장강도, 흙/부직포 마찰계수, 크리프 저항 등이 중요한 설계인자이다.

일반적으로 부직포는 직포와 지오그리드에 비해 인장강도가 작기 때문에 건설현장에 적용하는 부직포는 대부분 보강기능을 보조목적으로

사용하고 있다. Figure 6에서는 부직포의 보강기능을 주목적으로 사용하는 적용 예로서 낮은 높이의 보강토 옹벽(Figure 6(a))과 포화점토 제방 축조(Figure 6(b)) 등을 보여준다.

4.5. 기타 기능

흡수기능(Cushion) : 끊임없이 충격이나 진동을 받는 두 재료사이에 놓여져, 보호되어야 할 재료에 전달되는 응력이나 변형률을 분산시키거나 경감시키는 기능으로 부직포의 두께, 압축성, 파열강도, 인열강도 등이 중요한 설계인자이다. 대표적인 적용 예는 다음과 같다.

- 날카로운 쇠석 등에 의한 꿰뚫림으로부터 지오멤브레인을 보호하는 호수하상용 부직포(Figure

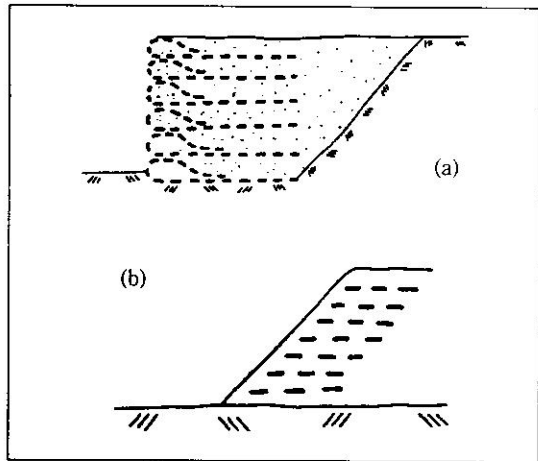


Figure 6. 보강용 부직포의 적용 예.

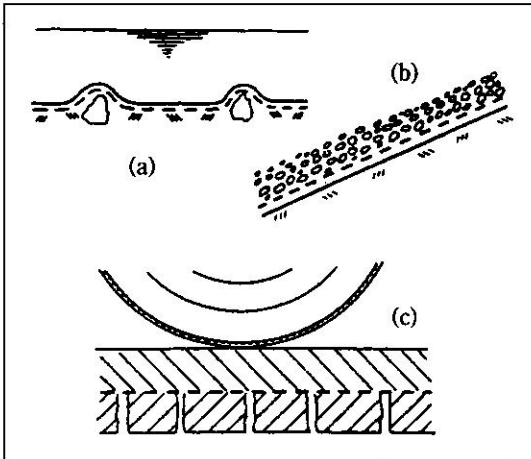


Figure 7. 흡수기능으로 사용된 부직포의 적용 예.

7(a))

- 자갈 배수층에 의한 마손, 깨짐으로 부터 지옴브레인을 보호하는 호안사면용 부직포 (Figure 7(b))

- 포장도로에서 반사균열의 지연이나 최소화를 위해 사용된 부직포 (Figure 7(c))

봉쇄기능(Container) : 모래, 암석, 콘크리트 등의 재료를 둘러싸서 보호하는 기능으로 부직포의 유효구멍크기, 인장강도, 파열강도 등이 중요한 설계인자이다. 대표적인 적용 예는 다음과 같다.

- 사면보호나 침식방지용 콘크리트 매트리스를 만들기 위해 사용된 부직포 (Figure 8(a), (b))

포장기능(Surfacing) : 차량통행을 위한 편평하고 깨끗한 표면을 제공하기 위해 지표면위에 포설되어 흙입자들이 지표면으로 부터 이탈되는 것을 막는 기능으로 대표적인 적용 예로는 헬리콥터 발착대 등이 있다 (Figure 9).

울타리기능(Solid barrier) : 흙이나 암석면에 나란히 설치되어 흙이나 암석이 떨어지는 것을 막는 기능으로 대표적인 적용 예로는 절벽면 보

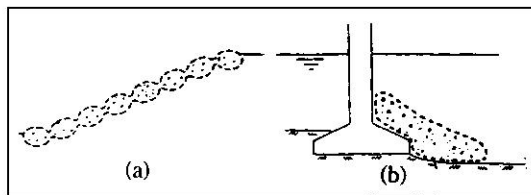


Figure 8. 봉쇄기능으로 사용된 부직포의 적용 예.

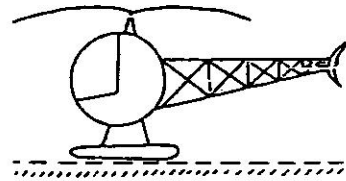


Figure 9. 포장기능으로 사용된 부직포의 적용 예.

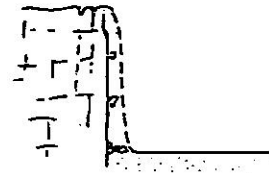


Figure 10. 울타리기능으로 사용된 부직포의 적용 예.

호 등을 들 수 있다 (Figure 10).

5. 부직포의 주요 특성

5.1. 부직포의 주요 특성 및 실험방법

건설분야에 사용되는 부직포의 중요한 특성은 물리적 특성, 역학적 특성, 투수특성 및 내구특성 등으로 구분할 수 있으며, 각 특성에 포함되는 주요 특성치들은 다음과 같다.

- 물리적 특성: 중량, 밀도, 두께, 압축성, 침도
- 역학적 특성: 인장강도, 봉합강도, 파열강도, 크리프 거동, 인열강도, 충격강도, 마손저항, 강성도, 흙/부직포 마찰계수
- 투수특성: 유효구멍크기, 수직투수계수, 평면투수계수, 경사비, 흙보유성
- 내구특성: 화학 저항성, 자외선 저항성, 온도 저항성, 미생물 저항성, 시공성

한편, 이러한 주요 특성치들을 보다 현장상태와 유사한 조건으로 정확하게 규명하는 것은 매우 중요하다. Table 10에서는 지금까지 토목섬유 시험법으로 제시된 ASTM, DIN, BS, JIS 등의 규격과 연구소 등에서 제시한 특성시험 방법들을 수집, 정리하였다.

5.2. 기능별 주요특성

부직포는 사용목적 및 현장상태에 따라 필요한 특성치만을 분석하여 설계, 사용한다. Table

Table 10. 토목섬유의 주요특성 및 실험법

	특성	실험법	실험기준
물리적 특성	중량	중량측정시험	ASTM 5261, DIN 53854, BS 4784, JIS L1095
	두께	두께측정시험	ASTM 5199, DIN 53855, BS 2544, JIN L1096
	압축성	압축성 시험	ASTM 5199, DIN 53855, BS 2544, JIN L1096
	섬도	섬도측정시험	ASTM D1755, 3661
역학적 특성	인장강도, 인장변형률 계수	스트립 인장시험	ASTM 751, DIN 53857, BS 2576, JIS L1096, NF G07-001
		그래프 인장시험	ASTM 4632, DIN 53858, BS 2576, JIN L1096, NF G07-120
		평면변형률 인장시험	DIN 53857, BS 2576, NF G07-001
		2방향 인장시험	Delft University of Technology
		광폭 인장시험	ASTM 4595, BS 6906
	융합강도시험	ASTM D4884	
	파열강도	버스트 시험	ASTM 3786, BS 4768, JIS L1096
	인열강도	사다리꼴 인열시험	ASTM D2263, D4533, DIN 53363
	충격강도	콘관입 충격시험	BS 6906
		봉관입 충격시험	ASTM 256, ASTM A370
크리프 거동	크리프 거동시험	ASTM D5262, JIN K7115, BS 6906	
마손저항	마손저항 시험	BAW(독일 연방수자원 연구소) ASTM D1175, BS 5690, JIS L1096	
강성도	캔틸레버 강성시험, Heart Loop 강성시험	ASTM D1388, BS 3356, JIS L1096	
흙/부직포 마찰계수	고정 전단상자 시험	ASTM D5321, BS 6906	
	자유 전단상자 시험 인발시험		
투수 특성	유효구멍크기	건식법	ASTM D4751, BS 6906
		습식법	Franzius Institut Hannover
		동적 필터법	France Geotextile 위원회
	수직투수계수	수직 투수성 시험	Franzius Institut, Hannover ASTM D4491, BS 6906
	수평투수계수	평면 투수성 시험	ASTM D4716, BS 6906
경사비	경사비 시험	ASTM D5101, BS 5084	
흡보유성	흡보유 시험	ASTM D5141	
내구 특성	화학 저항성	화학반응에 대한 저항 시험	ASTM D543
	자외선 저항성	내후성 시험	ASTM D4355, BS 4800
	온도 저항성	열 노화시험	ASTM D746, D794
	미생물 저항성	항균 및 항미시험	JIS Z2911

11에서는 부직포의 기능에 따른 주요 특성치들을 보여준다.

6. 토목건설용 부직포의 장기 내구성

부직포는 그 특성상 토목건설 현장에서 배수 필터용으로 사용되는 것이 대부분이다. 이러한 부직포 필터는 장기간 물의 흐름에 의해 발생하는 부직포 구조의 변화와 흙-부직포 시스템의 필

터구조 형성 및 부직포 섬유 특성저하 등 복잡한 현상들로 인해 부직포의 필터기능이 시간에 따라 변화하게 된다. 이러한 시간경과에 따른 부직포의 필터기능을 명확히 예측하여 설계에 반영하는 것은 부직포 필터의 장기적인 내구성 확보에 매우 중요할 것이다.

6.1. 장기간 필터거동

흙 속이나 물속에 설치된 부직포는 시간이 경

Table 11. 부직포의 기능에 따른 주요 특성

특성치	기능		분리 필터 배수 보강			
	중 두께 압축성	량 계	분리	필터	배수	보강
물리적 특성	○	○	○	○	○	○
역학적 특성	인장강도	△	△			○
	인열강도	○	△			△
	파열강도	○	△			△
	충격강도	△	△			△
	크리프와 응력이완					○
	마손저항		△			△
투수성	흙/부직포 마찰계수					○
	강성도	△				○
	구멍크기	○	○	○		
	구멍면적비	○	○	○		
내구성	평면투수계수					○
	수직투수계수		○			
	경사비		○			
내구성	화학반응	△	△	△	△	
	자외선반응	△	△			△
	온도반응		△	△	△	

○: 원칙적으로 필요한 특성, △: 적용현장에 따라 요구되는 특성

과함에 따라 그 필터거동이 변화하게 된다. 이러한 변화를 유발시키는 중요한 인자들로써 부직포의 clogging, blocking, blinding 및 piping 현상들을 들 수 있다.

Clogging 현상 : 현장에 포설된 부직포는 부직포 섬유사이를 이동하는 토립자와 침전물, 유기물질 등에 의해 변화될 수 있으며, 부직포의 수리학적 특성도 부직포내 광물과 염분입자의 침전, 박테리아의 성장 등에 의해 변화될 수 있다. 이와 같이 토립자나 유기물질, 염분, 미생물들이 부직포내 구멍속에 갇히고 성장하는 과정을 부직포의 clogging 현상이라 하며, 주로 다음의 4가지 형태로 형성된다.

- 광물입자에 의한 clogging: 부직포내 clogging의 대부분을 차지하는 형태로서, 토립자와 침전물들이 부직포속으로 이동되어 부직포 섬유사이의 간극속에 갇혀 있는 상태이다.

- 산화 제2철에 의한 clogging: 흙이나 물속에 용해되어 있는 철분이 Thiobacillus ferrooxydans, Gallionella, Sphaerotilus, Leptothrix 등의 박테리아 작용에 의해 물에 녹지 않는 산화 제2철로

산화되어 부직포 구조내에 침전되는 형태이다.

- 염분에 의한 clogging: 탄산염이나 황산염 등을 포함한 물이 부직포내로 유입된 상태에서 증발되어 부직포 섬유사이에서 소금 결정체를 형성하는 형태로서, 건조기간이 오랫동안 지속되면 점점 크게 성장하여 부분적인 clogging을 나타낸다.

- 미생물 성장에 의한 clogging: 부직포내에서의 박테리아 성장에 의해 부직포의 구멍이 부분적으로 막히는 현상이다.

Blocking 현상 : 부직포의 구멍크기와 같거나 약간 큰 토립자가 비교적 높은 수압하에서 자유롭게 부직포에 도달하여 부직포의 구멍입구를 막는 현상으로 인접한 지반흙의 입도분포를 고려하여 적절한 구멍크기의 부직포를 선정하지 않으면 상당한 흙-부직포 시스템의 투수성 감소가 유발될 수도 있다.

Blinding 현상 : 부직포에 인접한 지반흙이 부직포의 구멍크기보다 약간 큰 세립토의 이동을 허용하는 입도분포로 구성되어 있는 경우, 이 세립토들에 의해 부직포위에 비교적 낮은 투수성을 갖는 얇은 세립토층이 형성되는 현상으로, gap-grade의 가는 모래나 실트질 흙에서 발생되기 쉽다.

Piping 현상 : 철도나 임시도로 등 주기적인 동적하중을 받는 구조물 하부에 부직포를 분리 및 필터재로 사용한 경우, 연약지반내 세립토들이 pumping 작용에 의해 부직포의 국부적인 위치를 통해 상부로 이동하는 현상으로 부직포내에서의 세립토들의 이동위치는 부직포 위의 하중분포상태에 따라 결정된다.

위에서 열거한 제반현상들을 부직포 필터의 장기적인 투수성을 감소시키는 요인이 되기 때문에 부직포 필터의 설계시에는 반드시 장기적인 투수성 감소요인을 고려하여야 하며, 최소한 세립토의 유실을 방지할 수 있는 허용범위내에서 구멍크기가 보다 큰 부직포를 선정하는 것이 바람직할 것이다.

흙-부직포 시스템의 필터구조 : 장기적인 물의 흐름에 의한 흙-부직포 시스템에서는 앞에서 언급한 제반현상들과 지속적인 세립토 이동 등에 의해 특별한 필터구조가 형성될 수 있다. 일반적

Table 12. 흙-부직포 시스템의 고체필터구조 형성과정

경과시간	고체필터구조 형성과정
초기상태	<ul style="list-style-type: none"> 부직포가 시스템의 필터특성 좌우 부직포에 인접한 세립토들이 부직포쪽으로 이동 : 부직포의 구멍크기보다 작은 세립토들은 부직포를 통과하거나 부직포내에 clogging되며, 부직포의 구멍크기보다 큰 토립자들은 부직포 표면상에서 bridging 구조 형성
중간상태	<ul style="list-style-type: none"> 부직포내 clogging 현상 계속 발생 Bridging 구조 영역의 확대 및 blocking 현상 계속 발생 Bridging 구조위에 보다 작은 토립자들이 순차적으로 쌓임: 세립토들로 구성된 soil filter 층 형성 계속
최종상태	<ul style="list-style-type: none"> Figure 12와 같은 bridging 구조, soil filter 층 등이 완전히 형성되어 시스템 안정, 토립자 유실없고 투수성 일정 Soil filter 층이 시스템의 필터특성 좌우 부직포는 고체필터구조 지지해주는 지지대 역할

으로 일방향 흐름과 정적하중 조건하에 있는 흙-부직포 시스템에서는 지반흙과 부직포가 접촉되어 있는 상태에서 형성되는 고체필터구조와 부유상태의 토립자와 접촉된 상태에서 형성되는 액체필터구조를 볼 수 있다. 그러나 주기적 하중이나 교번흐름 조건하에서는 반복적인 동적하중에 의한 pumping 효과와 불규칙한 입자이동 등으로 인해 흙-부직포 시스템내에 특별한 필터구조를 형성하기 어려운 것으로 알려져 있다.

정적하중을 받는 지반흙속에 설치된 부직포에 장기적인 일방향 물의 흐름이 발생하게 되면 Table 12에서와 같은 시간단계별 변화과정을 거쳐 Figure 11과 같은 최종적인 고체필터구조를 형성하게 된다. 이 고체필터구조는 얇은 부직포와 접촉한 양압도지반에서 잘 나타나며, 동적흐름 조건하에서도 반복주기가 긴 흐름에서는 부분적으로 형성될 수 있는 것으로 알려져 있다.

실트막, Sea barrier, 위생매립용으로 사용된 부

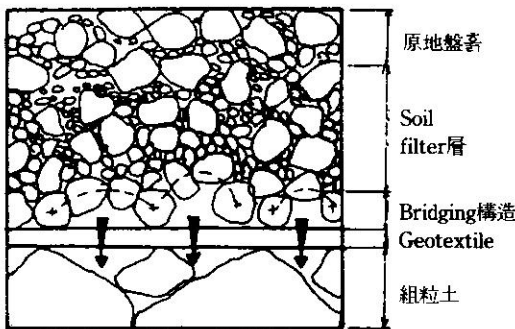


Figure 11. 고체필터구조.

직포는 주변지역의 환경보호를 위하여 부유상태에 있는 실트, 점토, 유기물 등을 여과시키는 기능을 한다. 이 경우, 부유상태의 토립자들은 0.01 m/sec 이상의 유속하에서는 자유롭게 부직포 표면으로 이동되어 부직포의 구멍을 막으며, 그위에 세립토에 의한 soil cake층을 형성하게 된다 (Figure 12). 이 액체필터구조는 고체필터구조와는 매우 다르며, 오히려 산업용 필터구조와 유사하다.

6.2. 부직포의 장기간 공용 특성저하

흙이나 물속에 포설된 부직포 필터의 장기적인 내구성을 평가하기 위해서는 앞에서 기술한 흙-부직포 시스템의 장기간 필터 거동 뿐만 아니라 역학적, 화학적, 환경적 및 미생물적 작용에 의한 부직포의 장기간 공용 특성저하현상도 검토되어야 한다.

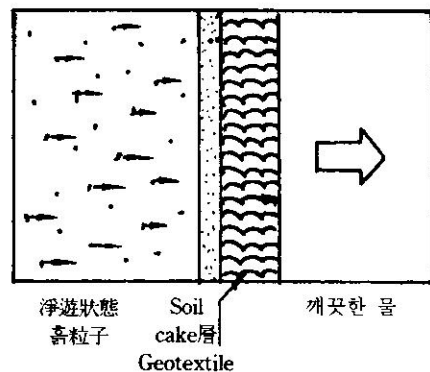


Figure 12. 액체필터구조.

대부분의 부직포용 합성섬유는 화학물질에 대한 저항성이 좋은 것으로 평가되고 있으나, PET는 강알칼리에, PP는 강산에 약한 면을 보이며, PA는 가수분해반응을 나타내는 등 약간의 문제점을 보유하고 있다.

또한 부직포가 굳지않은 콘크리트에 접촉할 경우에는 PP는 거의 영향을 받지 않으나 PET는 2달 동안 50% 정도의 강도가 손상되는 것으로 나타나 있다.

일반적으로 부직포 섬유에 대한 화학적 손상은 섬유의 부풀음(swelling)이나 폴리머 재료, 충전제, 첨가제 등의 손실을 유발시킴으로써 부직포 구조를 변화시키고, 나아가 섬유의 취성(brittleness)을 증가시키는 결과를 가져온다.

부직포의 크리프(creep)는 사용된 폴리머의 종류와 작용하중 및 구속응력 등에 따라 폭넓게 변화된다. PP의 크리프계수는 PET보다 10배 정도 크며, 작용하중이 클수록 크리프율은 누가적으로 증가하는 것으로 나타나 있다. 또한 흙내부의 구속응력에 의해 부직포의 크리프 특성은 크게 개선된다. 한편, 부직포의 응력이완현상은 크리프 특성과도 밀접한 관련이 있으며, 인장변형과 크리프가 클수록 응력이완현상은 더욱 크게 나타난다.

부직포의 내구성에 영향을 주는 환경인자로는 자외선을 비롯해 온도, 방사선, 동물, 곤충, 오염된 대기 등을 들 수 있다. 대부분의 순수한 폴리머들은 태양의 자외선에 노출되면 상당한 강도 저하현상을 나타내며, PP는 그 정도가 대단히 심각하다. 이와 같은 자외선에 의한 부직포의 손상을 방지하기 위해, 최근에는 자외선에너지를 흡수하거나 자외선이 섬유속으로 침투하지 못하게 막을 수 있는 안정제를 첨가하여 사용한다.

일반적으로 대기온도가 증가하면 폴리머의 강도나 크리프 등의 내구성은 저하되는 반면, 한지에 사용된 부직포에서는 특별한 인장강도의 저하나 크리프거동의 악화현상이 발견되지 않았으며 오히려 크리프율을 감소시키는 결과를 보여 주기도 한다. 한편, 부직포가 방사성 물질과 접촉하거나 인접하여 설치되었을 경우에는 부직포의 탄성계수는 거의 영향을 받지 않으나 파괴시 인장변형률이 감소되는 것으로 알려져 있다.

7. 결 언

건설공학에서 토목섬유 분야는 섬유재료를 이용한 새로운 공법 및 역학구조를 개발하여 실효를 거둔 독특한 건설재료 분야로서, 섬유재료의 다면적인 응용성을 볼 수 있으며, 섬유재료의 개량개발 및 광범위하고 다양한 건설기술의 응용개발 등을 통하여 보다 폭넓은 사용이 기대되는 분야로 평가되고 있다.

특히 우수한 필터 및 배수특성을 갖고 있는 부직포는 각종 건설구조물에 다양하게 사용되고 있으며, 향후에도 사용량이 지속적으로 증가할 것으로 사료된다.

토목건설용으로 사용하는 부직포를 보다 활성화시키기 위해서는 현장적용시의 장기적인 안정성 평가연구(예로서 동적하중 상태하에서의 흙-부직포 시스템의 장기적인 필터거동 연구, 부직포의 크리프 및 응력이완 특성 연구, 방사성 물질에 의한 부직포 섬유의 특성저하 평가, 부직포 구조내에서의 박테리아 성장과 미생물 이동 평가 등)과 이러한 연구성과를 토대로 한 보다 효율적인 부직포의 개발연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.