

토목섬유 (Geosynthetics) 활용기술의 이해 및 발전 동향



김운형
(주)다산컨설턴트 전무이사
공학박사, 토질및기초기술사
(whkim@dasan93.co.kr)



김정호
(주)다산컨설턴트 사장
공학박사, 토질및기초기술사

1. 서론

자연으로부터 구할 수 있는 토목건설재료의 부족은 토목섬유(Geosynthetics)의 개발을 촉진시키고 사용량을 획기적으로 증대시켰으며 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 현재까지 약 2백억^m 이상의 각종 토목섬유제품이 토목, 환경, 해양, 수자원분야에 걸쳐 사용된 것으로 알려졌다. 토목섬유는 초기개발단계에서의 기본 기능(여과, 분리, 보강 및 배수) 이외에 오늘날 새로운 기능을 추가한 제품들이 시간을 다투어 개발되고 있는데, 예를 들면, 차수기능에 보강기능을 추가한 Textured geomembrane이나 Bentonite geocomposite, 반복하중에 의한 도로포장면 균열방지 및 노상토 보강을 위해 개발된 Geogrid 혹은 Woven geotextile, 표면 보호 및 마찰감소를 통한 완충재 역할을 위해 개발된 Non-woven geotextile, 기존의 Sheet-pile을 대체하기 위한 Geo-lock, 이외에 침식방지용 Geomat 및 토양유실 방지용

Geocell의 개발 등이 있다.

다양한 제품별 특성을 보유한 토목섬유는 고유의 1차 기능 이외에 2, 3차의 추가 기능 활용이 가능하기 때문에 토목섬유를 사용한 구조물 설계시에는 이러한 특성들이 충분히 반영되어 그 기능을 다하도록 해야 한다. 지난 30년간의 심도 깊은 연구결과를 반영한 다양한 설계법의 개발 및 발전은 여러 토목 및 지반프로젝트의 성공적인 수행을 가능하게 해 준 원동력이 되었으며, 토목섬유재료의 품질 개발 및 발전뿐만 아니라, 시공법에 있어서도 눈부신 발전이 있어 왔다. 특히, 지반 및 지반환경공학자들이 토목섬유 활용을 위한 설계, 시험 및 시공법 발전에 끼친 영향은 매우 크며, 지반공학을 포함한 토목기술발전에서 토목섬유가 미친 영향 또한 매우 크다고 할 것이다.

오늘날 다양한 토목섬유의 활용도를 살펴볼 때, 토목섬유를 활용하지 않고서는 지반공학을 포함한 토목분야의 업무수행이 불가능한 것처럼 보이나, 실제 구조물 건설시 사용되

토목섬유 (Geosynthetics) 활용기술의 이해 및 발전 동향

는 토목섬유의 양은 부피기준으로 흙 사용량의 1% 미만인 점을 고려할 때, 토목섬유공학(Geosynthetic Engineering) 분야는 토목섬유보다는 여전히 흙을 보다 많이 사용함으로써 지반공학 및 다른 학문들과 상호 보완적인 관계를 유지해야 하는 것은 분명하다. 토목기술자들은 다양한 토목섬유제품의 특성, 기능 및 활용만큼이나 업무에 있어서 다양한 해법을 가질 수 있으며, 또한 새로운 기술의 개발 및 활용에도 많은 기회를 갖게 되었다. 그러나, 아직도 비교적 새로운 영역으로 분류되는 토목섬유공학의 특성에 대한 지식 및 인식 부족, 학교 및 연구기관에서의 부족한 교육은 토목섬유의 활용 기회를 줄이고, 또한 기술개발에 대해 비교적 보수적인 태도를 보이게 하는 요인이 된다는 점 또한 현실이다.

본고는 지난 30년간 토목섬유가 지반 및 지반환경분야에 주로 활용된 점을 주시하고, 토목섬유의 새로운 활용분야 및 기술발전 방향을 모색하기 위해 지난 3월 초 멕시코에서 개최된 제1회 GeoAmericas2008 Conference의 주요 토의내용을 소개하고자 한다. 토목섬유 활용기술에 대한 주요 의제를 중심으로 기존의 활용분야인 지반 및 지반환경을 벗어나 새로운 활용분야로서 수자원, 수리 및 광산분야로의 적용 가능성 및 관련기술들을 중점적으로 살펴보았다.

2. 지반 및 지반환경공학분야에서의 토목섬유 활용

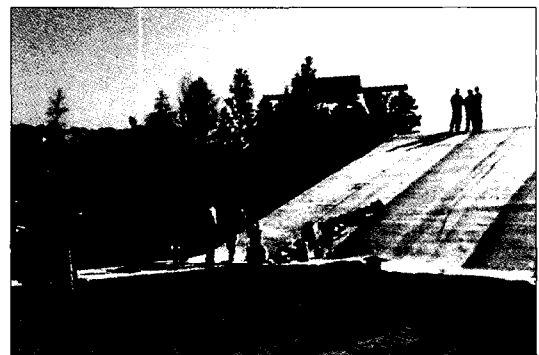


(a) 노반 보강용 Geogrid 시공

지반 및 지반환경공학에서의 토목섬유 활용공법을 간략히 살펴보면 주로 연약지반처리, 보강토옹벽, 도로 기층 혹은 노상토의 지지력 보강, 노상과 노반의 분리, 도로포장 균열방지, 터널의 배수 및 토사유입방지, 댐 상류부와 하류부의 사면보호, 방조제 호안의 사면보호 및 침하방지, 폐기물 매립장 시공을 위한 라이닝 등이 대표적이다. 특히, 최근 들어 선진국에서는 연약지반 위에 신설 혹은 확장되는 도로공사시 기층 혹은 노반의 지지력 확보를 위해 보강용 Geogrid 혹은 Woven Geotextile을 활용하는 연구 및 설계법의 개발이 활발히 진행되어 왔으며 관련기술 사용이 급증하고 있는 추세이다(Kim, 2003). 또한, 안전한 폐기물매립지 건설을 위한 차수시설 시공을 위해 Geomembrane, Geotextile 및 Drainage geocomposite의 사용이 늘어나고 있는 추세이며, 기존의 다짐점토층을 대신하여 차수성 및 침출수에 대한 화학적 내구성이 우수한 Geosynthetic clay liner(GCL)의 활용은 시공기간 및 품질확보가 필요하며 양질의 점토 확보가 곤란한 현장에서의 문제점 해결을 위한 다른 대안이 될 수 있다(그림 1).

3. 수자원, 수리분야에서의 토목섬유 활용

2007년을 기준으로 지구인구의 17%인 세계 34개국의 약



(b) Geomembrane 및 GCL을 활용한 폐기물매립지 라이너 설치

그림 1. 토목섬유를 활용한 토목공사의 예

표 1. Geomembrane을 이용한 댐 차수 현황
(Koerner and Wilkes, 2007)

Type of Dam/ Geomembrane Location	Highest (m)	Number	Percentage (%)
Earth or Earth/Rock Fill	110	174	69.6
Concrete Masonry	174	43	17.2
Roller Compacted Concrete	188	32	12.8
Unknown	-	1	0.4
Total		250	100

11억 명 인구가 안전하지 못한 비위생적인 물을 마시고 있으며, 환경오염, 지구온난화, 인구증가에 의해 심각한 영향을 받는 것으로 파악되었다. 2040년까지는 전 세계적으로 60 개국에 걸쳐 약 20억 명의 인구가 부적절한 담수 혹은 민물을 사용하게 될 것이라는 통계가 나와 있다. 이러한 정보와 통계들은 상황을 점점 어렵게 전망하고 있으며 문제점에 대처하는 하나의 수단으로 적절한 토목섬유의 활용방안이 있다. 즉, 가용 담수의 확보, 수송, 저장, 배분과 관련한 토목섬유 활용방안 및 기술에 대해 살펴보면, 물을 저장하기 위한 댐의 차수처리기술, 운하의 라이닝, 저류지 차수시설 및 댐 개, 터널 방수 및 다양한 토목섬유 파이프의 활용 등이 있다.

3.1 댐 차수(Dam Waterproofing) 처리 기술

미국의 경우 현재 250개의 댐 중 213개소가 Geomembrane을 사용하여 누수를 방지 혹은 줄이기 위한 차수시설

표 2. Earth and Earth/Rock Fill Dam에 있어서의 토목섬유 위치(Koerner and Wilkes, 2007)

Construction Timing	Upstream Exposed	Upstream Covered	Internal	Total
New Construction	14	49	14	77
Rehabilitation	20	31	4	55
Unknown	10	20	0	30
Total	44	100	18	162

을 한 것으로 조사되었으며, 사용된 Geomembrane상부에 Geotextile을 설치하여 차수면을 보호한 것으로 나타났다(표 1). 이 중 Earth 및 Earth/Rock fill 댐의 경우 표 2와 같이 대부분의 댐들이 상류측 사면에 Geomembrane과 두꺼운 Nonwoven geotextile을 사용한 것으로 나타났으며, 차수재로 사용된 Geomembrane의 위치는 댐의 상류측이 대부분이고, Fill댐의 경우 댐의 내부에 위치한 경우도 보고 되었다(그림 2).

3.2 운하 라이닝(Canal Lining) 기술

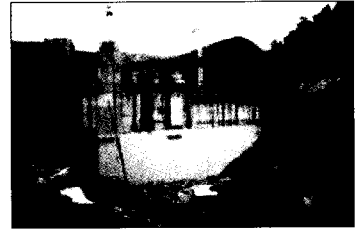
담수를 포함한 모든 종류의 액체 운송을 목적으로 하는 운하는 정도의 차이는 있으나 가장 중요한 문제로 대두되는 것이 라이닝을 통한 누수(leakage)인 것으로 나타났다. 미국의 U.S. Bureau of Reclamation에서는 이러한 문제를 다루기 위하여 1930년대부터 다양한 종류의 라이너재에 대해 연



(a) Earth/rock fill 댐



(b) 콘크리트댐



(c) RCC 댐
(Roller Compacted Concrete(RCC) 댐
(photos comp. CARPI Tech S.A.))

그림 2. 댐의 상류측에 사용된 토목섬유의 예

토목섬유 (Geosynthetics) 활용기술의 이해 및 발전 동향

구를 시작하였으며, Paving mattress, Paving block, In-situ concrete pavement, In-situ bituminous pavement, Precast bituminous panel을 거쳐 최종적으로는 Geomembrane을 사용하여 누수문제를 해결하려 시도하였다(Hawkins, 1984).

운하의 라이너를 통한 누수가 과도하다고 예상되는 구간은 주로 낮은 투수계수의 점토층 혹은 콘크리트라이너를 사용하여 건설하고 있으나, Geomembrane을 사용한 누수차단에 관한 요구가 점점 증가 추세에 있다. 또한, 사용기간이 오래된 운하 혹은 도수로의 누수차단방법 혹은 운하재생수단으로서의 Geomembrane 사용은 미국뿐만 아니라 몇몇 유럽 국가에 있어서는 매우 일반적인 기술이 되었다. 그림 3(a)는 Geomembrane 설치 후 25년 이상 성능저하 혹은 기능상 장애 없이 라이너기능을 수행하고 있는 모습을 보여주고 있으며, 그림 3 (b)는 이집트 South Valley 프로젝트를 위해 노반위에 시공된 일반적인 운하라이너용 Geomembrane의 설치모습을 보여준다. South Valley 프로젝트는 Nassar 호수에서 취수한 용수를 400,000 ha 넓이의 새로이 개간된 농장에 공급하기 위해 운하를 조성하는 공사로서, 운하저면 30m, 사면기울기 2:1, 수심 8m를 유지하기 위해 Textured LLDPE geomembrane을 사용하였으며, 100mm의 소일시멘트 및 200mm의 폴리머파이버 보강콘크리트를 사용하여 건설된 운하이고, 공사를 위해 소요된 Geomembrane의 양

은 1,3백만 m^2 에 이른다.

한편, 신규로 건설하는 운하뿐만 아니라, 현재 사용 중인 운하의 과도한 누수를 보수하기 위해 미국 캘리포니아주에 소재한 Coachella 운하의 경우 Geomembrane과 GCL을 사용하여 보수한 예로서 GCL과 다른 토목섬유제품을 사용하여 운하라이너 누수문제를 해결한 예는 미국뿐만 아니라 독일에서도 보고가 되었다. 이외에 소규모 운하건설을 위해 Shortcrete 및 토목섬유를 사용한 다양한 라이너시스템에 관한 프로젝트들이 진행되었으며, Geomembrane과 Shortcrete를 함께 사용하여 건설 후 10년 이상 운영 중인 운하들에 대한 Benefit/Cost에 관한 통계자료가 표 3에 나타나 있다. 결론적으로 장거리에 걸쳐 담수를 운반 혹은 저장하기 위한 운하에 있어서 침투누수에 의한 손실유량을 최소화하기 위한 라이너재로서 Geomembrane 및 GCL을 사용하려는 경향은 증가 추세에 있다. 또한 그 동안의 시공경험으로 판단하여 볼 때 충분한 장점 및 이익을 가져다 줄 수 있을 것으로 나타났으며, 앞으로 시공될 운하에도 그 적용 가능성을 충분히 검토해 볼 만한 가치가 있을 것으로 판단된다.

3.3 저류조 차수시설(Reservoir Liner) 및 덮개(Cover) 기술

1930년부터 담수, 연못의 물, 하수, 중수도, 산업용수, 공



(a) Geomembrane Lined Canal in Italy



(b) Geomembrane Installation for a major Irrigation Canal in Egypt

그림 3. 운하 라이닝재로 사용된 토목섬유의 예

표 3. 저비용의 운하 라이닝재 개발을 위한 미국 Bureau of Reclamation 시범사업 결과(Swhart and Haynes, 2002)

Category of Lining	Construction Cost (\$/m ²)	Durability (yrs)	Maintenance Cost (\$/m ² -yr)	Seepage Reduction	B/C Ratio
Fluid-applied membrane	15.07-46.61	10-15	0.108	90%	0.2-1.5
Shortcrete or concrete alone	20.67-25.08	40-60	0.054	70%	3.0-3.5
Exposed geomembrane	8.40-16.47	10-25	0.108	90%	1.9-3.2
Geomembrane with shortcrete cover	26.15-27.34	40-60	0.054	95%	3.5-3.7

정 폐수, 하수 및 산업 슬러지, 농업폐기물 및 액상 유해폐기물과 같은 액체를 저장하기 위한 차수재로 Geomembrane 이 사용되어 왔으며, 일반적인 저류조의 수심은 2-8m이고, 저류조 양측 사면 기울기는 14°-45°이다. Geomembrane의 표면을 보호하기 위한 표토층은 토목섬유의 내구성을 증진시킬 수는 있으나, 수위 강하시 sloughing 현상이 발생하므로 콘크리트, 아스팔트, 혹은 블록 매트리스를 사용하여 보호층을 형성시켜 Geomembrane을 보호해야 하며, 이에 따른 공사비 상승 효과가 있다. 또한, 태양광 노출에 따른 문제점이 발생할 수 있으며 저류하고자 하는 액상물질에 따라 단일라이너 혹은 이중라이너시스템을 선택적으로 사용할 수 있다.

저류조 라이너시스템을 구성하기 위해 사용할 수 있는 토목섬유재료는 1) 두꺼운 Needlepunched nonwoven geotextiles, 2) Geonet composite(i.e., geotextile/geonet/geotextile), 3) 배수용 Geocomposites(i.e., geotextile/배수코어/geotextile), 4) 모래배수층에 매설된 유공포집관 등이 있으며, Geomembrane 상하부의 토사층 및 노반의 구조적 안정성 문제는 현재 개발된 기술로도 충분히 적용 가능한 상태이다(Koerner and Soong, 1998). 이외에 Geomembrane을 통한 강우침투를 막기 위해 트렌치 및 앵커시스템에 대한 연구가 그 동안 상당히 진척이 되어 사면문제를 포함한 안정성해석에 있어서는 상당한 수준의 기술이 확립된 상태이다. 라이너재로서의 Geomembrane의 차수능력을 평가하기 위한 누수감지시험이 또한 개발되었으며 시험을 통한 라이너재의 결함을 측정할 수 있는 결과가 표 4에 나타나 있다.

한편, 저류조에 덮개(Cover)를 설치해야 하는 이유로는 1)

증발 방지, 2) 배수 및 유지관리, 3) 조류 제어, 4) 염소 비축, 5) 동물 배설물로부터 보호, 6) 제한된 안전성 확보, 7) 고의적인 오염 방지 등이 있으며, 고정적인 구조체를 사용하는 것 보다 Geomembrane이 사용될 때는 노출에 따른 내구성 뿐만 아니라 기계적인 생존율을 고려하여, 세 겹 혹은 네 겹의 보강된 Geomembrane을 사용한다.

소규모의 저류조인 경우 강우 및 강설 하중의 한계로 인하여 약 6m 이내로 제한되어 고정식 Geomembrane 덮개가 사용되며, 이보다 큰 덮개의 경우 최대 직경 35m 까지 가능한 Tensioned floating 덮개를 그림 4와 같이 사용할 수 있다.

대규모 저류조 덮개의 경우 Floating 덮개 개념을 도입하여 액상 표면에 Geomembrane을 부유시킴으로써 대규모의 덮개 설치가 가능하다. 현재, Geomembrane을 사용하여

표 4. Geomembrane 라이닝을 이용한 차수시설에서의 Hole을 통한 누출 및 누수에 관한 통계자료(Nosko, 2002)

(a) Location of Holes

No. of Holes	Flat Floor	Corners and Edges	Under Drainage Pipes	Pipe Penetrations	Other
4,194	3,261	395	165	84	289

(b) Cause of Holes and Sizes of Holes

Size of Holes	Stones	Heavy Equip.	Welds	Cuts	Worker Directly	Total
< 0.5	332	-	115	5	-	452
0.5-2.0	1,720	41	105	36	195	2,097
1.0-10	843	117	30	18	36	1,044
> 10	90	496	15	-	-	601
Amount	2,985	654	265	59	231	4,194

토목섬유 (Geosynthetics) 활용기술의 이해 및 발전 동향

저류조 하부 및 상부의 라이너 및 Floating 덮개 시스템 개념을 도입하여 액체를 완전히 가둘 수 있는 공법이 개발되었으며, 대형의 “Geobag”을 활용하여 바다에서의 담수 수송이 가능해졌다. 이러한 초대형 “Geomembrane Megabag”을 이용하여 현재 Turkey로부터 자체적으로는 용수공급이 어려운 Cyprus섬까지 약 500,000리터의 담수가 수송되고 있는 것으로 보고 되었다(그림 5; Weggel and Koerner, 2007).

3.4 터널 방수 (Tunnel Waterproofing) 기술 및 플라스틱 파이프 활용기술

신규터널의 경우 Shortcure면에 배수기능을 수행하기 위하여 두꺼운 Nonwoven geotextile과 함께 방수재로서 Geomembrane을 설치하여 지하수의 영구라이너 배면의 지하수 배수를 돕고 있다.과도한 누수가 발생하는 기존터널의 경우 비록 공정은 복잡하지만 Geomembrane을 콘크리트 터널 표면에 부착하는 다양한 기술의 개발에 힘입어 누수를 차단함으로써 기존터널의 재생을 돕고 있다(그림 6)

터널방수의 개념처럼 Geomembrane을 활용한 HDPE 혹은 플라스틱 파이프를 개발하여 실무에 사용하고 있으며 배수관으로 기존 사용되어 온 Steel pipe 및 Cast iron을 대체할 수 있는 새로운 제품군이 개발되었다.한편, 기존의 오래된 파이프라인의 재생 및 보수를 위해서는 아래와 같은 토목섬유 및 기타 폴리머를 이용한 방법이 연구되어 왔으며 (Koerner and Koerner, 1996), 표 5에 각각의 특성 및 공사비가 소개되었다.

4. 광산분야 토목섬유 활용기술

채광 및 선광작업과정을 통해 광미 및 광석을 포함한 다량의 폐기물들이 배출되고 있으며, 안전한 폐기물처리장의 확보 및 건설이 시급한 상황이다.특히, 법적인 규제가 미흡한 개발도상국 및 제 3세계 국가들의 경우 안전한 폐기물 처리는 커다란 사회적 이슈가 되고 있다.이와 같은 광산 폐기물을 다루는데 있어서 검토해야 할 공학적 문제점 및 이러한 문제점들을 해결하기 위해 사용하는 토목섬유의 예가 표 6

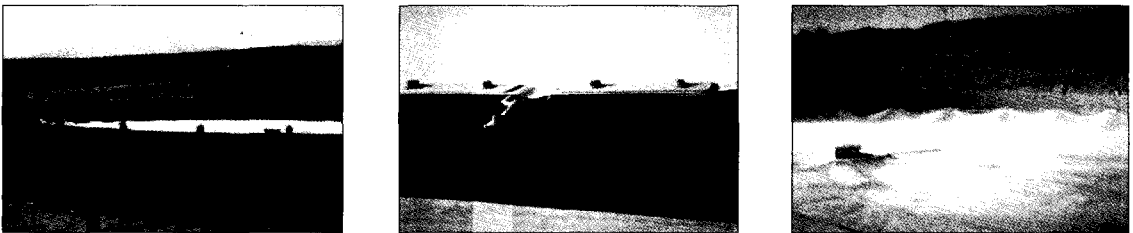


그림 4. Tensioned floating cover(Photos comp. GSE Lining Tech., Inc.)



그림 5. Megabag Filled With Freshwater for Transport from Turkey to Cyprus (photos cop. of Nordic Water Supply, ASA)

에 나타나 있다. 광산분야의 토목섬유 사용은 광산폐기물의 매립용량 증대 및 폐기물 매립완료 후의 최종덮개층 구성을 위한 목적으로 사용될 수 있으며, 이 중 매립용량 증대를 위해 남미에서의 토목섬유 사용 예를 살펴보면 다음과 같다.

4.1 제방상단에 시공된 토목섬유를 이용한 보강토 옹벽

브라질의 Minas Gerais주에 소재한 Pocos Alcoa 알루미늄 처리공장에서의 보크사이트 잔존폐기물처분장 (Residue Disposal Areas, RDAs)은 내부사면기울기 2.5:1, 외부사면기울기 2.0:1로 다짐점토를 이용하여 처분장 제방을 조성하였다(그림 7 (a)). 처분장은 처분폐기물이 매우 높은 부식성(pH \approx 12)과 함께, 중금속을 함유하고 있는 점을 고려해서 내부사면 및 바닥은 0.8mm 두께의 PVC Geomembrane 및 50cm 두께의 다짐점토층으로 구성되었다. 처분장은 인근 계곡부와

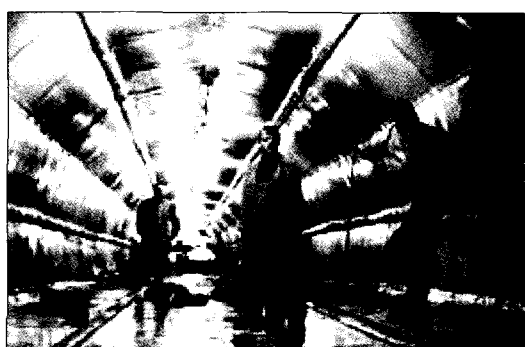
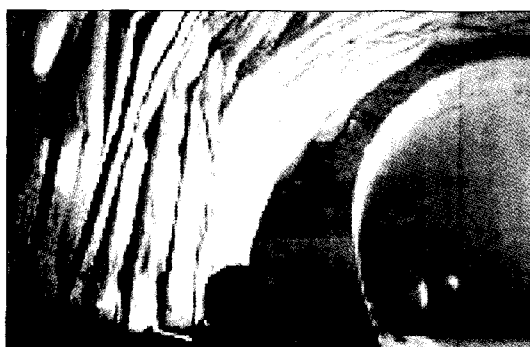


그림 6. Geomembrane을 이용한 터널의 방수시설 재생(photos comp. CARPI Tech S.A.)

표 5. Categories of Trenchless Pipe Remediation and Rehabilitation Methods

Method	Coating	Slip linings	Cured-in-place	fold-and-formed	In-situ liners
Pipe Dia.(mm)	>1200	100-900	100-600	100-300	>1200
Reduction in Flow Capacity	minor	large	nominal	nominal	slight
Availability of Methods	enormous	limited	many	limited	many
Approx. Cost (\$/m ²)	165-315	480-810	480-810	405-570	315-480

표 6. 광산분야의 Geosynthetics 활용

공학적 문제점	적용분야	토목섬유 종류
<ul style="list-style-type: none"> · 폐기물매립지의 사면 안정성 · 토양 및 지하수오염 방지 · 제방 및 기초를 통한 오염원 침투 제어 · 노출지에 대한 침식 방지 · 매립지 사후 관리 	바닥/사면 불투수층 및 덮개 차단층	Geomembrane Geosynthetic Clay Liner
	사면 보강	Geogrids Geotextiles
	침식방지 및 유출수 제어	Geomats Geocells
	침투 방지 및 배수	Drainage Geocomposites geotextiles

토목섬유 (Geosynthetics) 활용기술의 이해 및 발전 동향

의 표고차가 40~50m에 이르는 구릉지 상부에 위치하게 되어 지형구조상 제방사면 시공을 위해서는 많은 토공을 필요로 하고 또한 계곡부의 환경영향요인을 저감해야하는 문제들이 있었다. 문제점 해결을 위해 제방 상단에 35~55kN/m의 인장강도를 갖는 PVA geogrid와 Woven and non-woven PP geotextile을 이용하여 보강토옹벽을 5.0m 두께로 총 1,710m 시공하였고, 시공완료 후 5년간 성공적으로 가동 중에 있으며 옹벽에 대한 계측결과 옹벽 상단에서의 최대수평변위는 7.6cm, 최대침하는 약 6.0cm 관찰되었다.

아연 생산 공정상에서 배출하는 아연, 카드뮴, 납, 철과 같은 중금속을 함유한 액상폐기물의 저장을 위해 시공된 브라질 Juiz de Fora 소재 Peixes담은 PVC geomembrane을 이층으로 설치하여 차단층을 형성하고, 차단층 상하부에 침출수 집수를 위한 배수층을 설치하였다(그림 7 (b)). 인근에 새로운 액상폐기물 처분용 댐의 건설이 곤란하자 기존의 댐 상단에 약 2.0m 높이의 보강토 옹벽을 250m 길이에 걸쳐 조성하여 추가적으로 폐기물을 저장할 목적으로, Geogrid 및 21kN/m의 인장강도를 갖는 Non-woven geotextile을 사용하여 보강토옹벽을 시공하였다. 또한, 댐의 하류측에 5cm 두께의 Shortcrete를 시공하고, PVC Geomembrane이 상

4.2 기존 댐의 용량 증대를 위한 보강토 옹벽

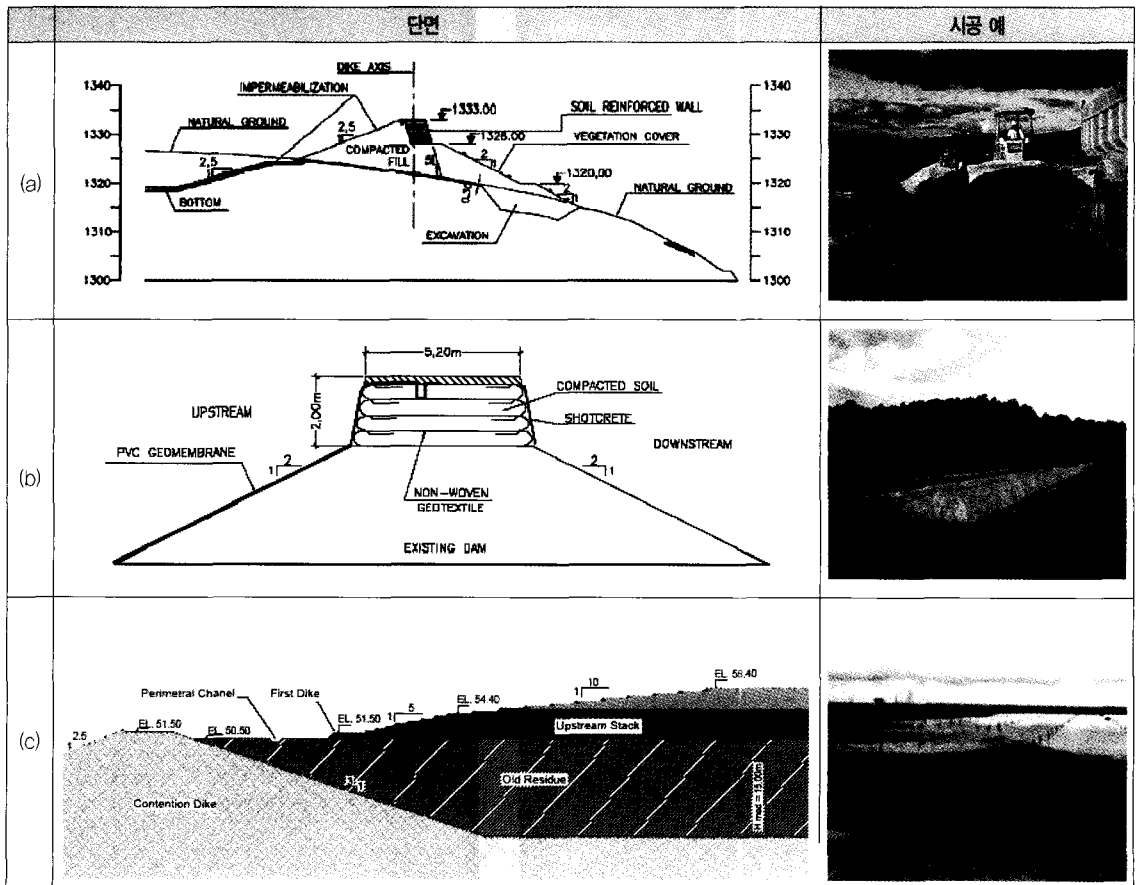


그림 7. 광산분야에 적용된 토목섬유 활용 예;
(a) 제방상단에 설치된 보강토옹벽, (b) 기존 댐의 용량 증대용 보강토옹벽, (c) 폐기물 상단에 시공된 제방

류층 경사면에 포설되었다.

4.3 기존 처분된 폐기물 상부에 시공된 제방

기존에 조성된 폐기물처분장의 수명을 연장하고자 기존의 오래된 처분장 상부에 0.8mm PVC Geomembrane과 50cm 두께의 다짐점토층을 사용하여 제방을 시공하는 방안이 연구되었다(그림 7(c)).

5. 결론 및 제언

토립자 크기에 의해 분류되는 특성을 지닌 흙과 달리 토목섬유는 치수(dimension), 구조(structure), 방향성(direction)에 의해 설명되어지는 특성을 지니고 있다. 이러한 토목섬유의 특성 및 다양성은 그 활용범위 및 관련된 기술발전이 커다란 원동력이 되었으며 20세기 후반기 이후 지반공학 연구에 영향을 끼쳐 왔음을 부인할 수 없다. 그러나, 토목섬유 활용 기술이 혁신적으로 발전해 왔음에도 불구하고, 교육적인 부분과 기술적인 면을 고찰할 때 아직도 충분한 교육은 이루어지지 않고 있으며 교육의 기회 또한 미흡한 상태이다. 기술적인 도전에 직면해서는 지난 30년간 수행한 토목섬유에 대한 연구성과가 괄목함에도 불구하고 여전히 토목섬유의 수명을 좌우할 내구성 및 설계법이 완전히 정립되어 있지 않은 상태이다.

지반공학을 바탕으로 한 초기의 토목섬유 설계법은 매우 단순한 것으로서 예를 들면, 초기의 도로포장 관련 토목섬유 연구는 주로 대규모 변형률을 다루었으나 최근에는 반복하중에 의한 균열발생에 따른 소규모 변형률과 관련된 설계법 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 유체 유동에 관한 토목섬유 활용 기술의 경우, 지금까지는 주로 이류(advection)만 고려하면 되었으나, GCL사용에 따른 확산(diffusion)현상이 주요 연구대상이 되었다. Geomembrane 접합기술의 발달은 접합부위의 품질관리 문제보다는 시공시 Geomembrane 주름의 거동에 관한 연구들을 강요하고 있다. 토목섬

유가 댐, 운하, 저류조, 터널 및 파이프 등의 방수기능을 통한 액체의 포집, 이송, 저장 및 배분과 같은 역할을 할 경우, 더 이상 geosynthetic의 geo-는 유효하지 않게 되며 토사로 덮인 경우 보다 더 많은 자외선과 대기 노출을 통하여 내구성 및 사용상의 수명이 문제가 될 수 있다.

오늘날 토목섬유의 발달은 지반공학관련 연구자 및 기술자에게 새로운 지식 습득 혹은 활용기술의 개발을 강요하고 있으며, 새로운 설계법의 개발을 필요로 하고 있다. 이러한 연구 및 기술개발 추세는 21세기를 살아가는 지반공학자들에게 새로운 도전을 요구하고 있으며, 토목섬유 활용기술의 개발이 자원보존, 기후변화 대처, 개발도상국의 인프라시설, 자연재해에 적극적으로 대처하기 위한 새로운 분야로 자리 잡고 있는 상태이다. 따라서 향후 특성시험법의 연구, 설계, 시공법개발 등 국내 토목섬유 활용기술의 활성화와 함께 정기적인 기술세미나 개최 및 대학에서의 토목섬유과목 교육 등 적극적인 대책마련이 시급히 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국지반공학회 (1998), 지반공학시리즈 9-토목섬유
2. Filho, L.M.C. Cristna, A., and Sieira, C. F. (2008), "Recent Applications of Geosynthetics in Mining and Industrial Waste Disposal", The First Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition, March 2-5, 2008, Cancun, Mexico, pp. 29-44.
3. Giroud, J.P. (2008). "The Geosynthetics Discipline: Achievements and Challenges", The First Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition, March 2-5, 2008, Cancun, Mexico, pp. 1-3.
4. Hawkins, G. (1984). Development and Use of Membrane Linings for Canal Construction Worldwide, Proceedings International Conference on Geomembranes, IFAI, Denver, CO, USA, pp. 15-23.

토목섬유 (Geosynthetics) 활용기술의 이해 및 발전 동향

5. Kim, W.H., (2003), Behavior of Geosynthetic-Reinforced Aggregate Platforms Over Soft Subgrades, Ph.D. Dissertation, University of Wisconsin-Madison, Wisconsin, USA.
6. Koerner, R.M., Hsuan, Y.G., and Koerner, G.R. (2008). "Freshwater and Geosynthetics: A Perfect Marriage", The First Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition, March 2-5, 2008, Cancun, Mexico, pp. 4-28.
7. Koerner, G.R. and Koerner, R.M. (1996). "Geosynthetic Use in Trenchless Pipe Remediation and Rehabilitation", Proceedings GRI-9, Geosynthetics in Infrastructure Enhancement and Remediation, Published by Geosynthetic Information Institute, Folsom, PA, pp. 62-73.
8. Koerner, R.M. and Soong, T.-Y. (1998). "Analysis and Design of Veneer Cover Soils", Giroud Lecture 6 ICG, R.K. Rowe, Ed., IFAI, St. Paul, MN, pp. 1-23.
9. Koerner, R.M. and Wilkes, J.A. (2007), The New ICOLD Bulletin on Geomembrane Sealing Systems for Dams, U.S.Society on Dams, 27th conference, Philadelphia, PA, pp. 69-78.
10. Noski, V., Bishop, I., and Konishi Y. (2002). "Study of the Use of Electrical Leak/Damage Detection and Location Systems Around the World", Proceedings, 7 IGS, Nice, France, A.A. Balkema Publication, pp. 769-774.
11. Swihart, J. and Haynes, J. (2002). Canal-Lining Demonstration Project year 20 Final Report, U.S.Bureau of Reclamation, Report R-20-03, November.
12. Weggel, J.R. and Koerner, R.M. (2007). "Floating Geogrid Supported Geomembrane Megabags for Emergency Water Supply", Proceedings, GRI-20 Conference, Geosynthetic Information Institute, Folsom, PA, USA.

