

토목섬유 연구 및 기술동향

토목섬유기술위원회

1. 서론

지반공학에서 다루는 도로, 철도, 제방, 댐, 쓰레기매립장, 연약지반처리, 구조물의 기초 등 토목구조물의 대부분은 흙을 주요 재료로 하여 시공을 하고 있다. 사용되는 흙재료는 미세한 점토로부터 모래, 자갈에 이르기까지 다양한 입도로 이루어지며, 거기에 따른 장점과 단점을 갖기 때문에, 흙재료가 갖지 못한 단점을 보완 또는 대체하는 방법으로서 토목섬유가 흙과 더불어 사용되기 시작하였으며, 현재 각종 토목구조물에 연간 약 10억 m^2 이상의 물량이 다양한 용도로 사용되고 있다.

토목섬유(geosynthetics)는 1970년대 초 이래 국내외에서 토목, 건축 및 환경공학분야에서 경제성, 시공성 및 환경 친화성등의 우수성이 인정되어 새로운 건설재료로서 크게 각광을 받고 있다. 최근에는 토목섬유가 도로, 철도, 터널, 수자원, 해양 및 환경공학 등의 지반공학관련 분야에서 필터, 분리, 배수, 차수, 보강 및 침식제어 기능 등으로 폭넓게 사용되고 있다.

먼저, 국제적으로는, 1983년 전 세계적으로 토목섬유와 사용에 대한 지식의 보급, 연구개발의 촉진, 국가간 기술정보 교류 등의 목적으로 국제토목섬유학회가 설립되었다. 또한, 1983년도에는 프랑스 파리에서 제 1회 토목섬유학술발표회가 개최된 이래 매 4년마다 대규모의 국제학술회의가 열리고 있으며, 현재 2종의 SCI급 전문학술지도 발간되고 있다.

국내적으로는 1972년 아산방조제 공사에 보강용 토목섬유가 최초로 사용되었으며, 1975년 창원종합기계공업단지 조성공사에 연약지반보강용 및 수직배수공법에 많은 토목섬유가 이용된 바 있으나, 본격적으로 관심을 갖게 된 것은, 토목섬유의 기술발전이 이바지하고자 1986년 11월 농업진흥공사(현 농업기반공사)에서 대한토목학회 및 농업진흥공사의 후원으로 최초로 토목섬유세미나를 개최하면서 부터라 말할 수 있다. 1992년 지반공학회 산하 토목섬유기술위원회가 발족하게 되었으며, 1993년에는 국제토목섬유 한국지부(KIGS)가 한국지반공학회에 창설되어 토목섬유기술위원회와 병행하여 운영되고 있으며, 2001년 4월 27일에는 한국토목섬유학회가 창립되었다. 또한, 토목섬유 제품개발 및 기술발전을 도모하고 국제적으로는 국가간 기술경쟁력에 대비하고자 2004년 서울에서 GeoAsia 국제토목섬유학회 학술발표회를 개최기로 결정하고 현재 준비중에 있다.

본 고는 한국지반공학회 토목섬유기술위원회에 소속된 위원들을 중심으로 각각의 전문분야에 대한 최신 현황과 앞으로의 전망 등을 기술한 것이다.

2. 토목섬유기술의 현황과 전망

2.1 토목섬유 제품개발분야

2.1.1 원료의 선진화 동향

Geosynthetics에 사용되는 천연섬유원료는 매우 한정적이지만 주로 fiber, yarn, fabric and knit 등의 형태로 초기에 적용되었으며, nonwovens 및 fabrics, mat 형태의 제품이 개발되면서 그 수요가 증가하고 있다. 천연섬유원료는 환경친화형 원료라는 장점을 가지고 있기 때문에 근래에 Geosynthetics 제품으로서의 효용성이 다시 부각되기 시작하였으며, 그 종류도 cotton, jute, wool, coir, straw, basalt fiber 등에서 waste assembly 등에 이르기까지 매우 다양하다. 현재 특정용도에 사용되고 있지만, 수분흡수성이 뛰어난 장점을 활용한 사면안정화, 침식방지, 배수용 또는 녹지조성용 matrix 등으로의 용도확장이 기대되고 있다. 특히 여과 및 배수용 복합화 제품의 원료로 사용 가능성이 매우 높다. 일반적으로 사용되고 있는 합성섬유원료로는 polyolefin계, polyester계 등이 대부분이며, 이와 같은 원료들은 Geosynthetics의 경제적인 이점인 비교적 저렴한 제조단가를 가지고 있기 때문에 향후 그 수요 및 사용량은 계속 증가할 전망이다. 그리고 특수한 용도와 기능을 부여하기 위하여 polyurethane계, glass계, carbon계 원료들이 매우 제한된 분야에 적용되기도 한다. 현재 범용 합성섬유원료인 polyolefin계, polyester계 섬유들의 단점보완이나 특수용도 창출면에서 각종 첨가제의 개발과 병행하여 새로운 기능성 고분자들이 합성섬유원료로 연구, 개발중이다. 한편, Geosynthetics의 제조에 사용되는 섬유원료들은 워낙 대량으로 사용되는 경우가 많기 때문에 우선 경제적인 측면에서 가격이 고가일 경우 경쟁력이 없어지므로 성능이 비슷할 경우에는 제조단가가 저렴해야만 한다. 또한 환경 친화적인 측면에서 재활용 섬유원료를 사용한 Eco-environmental Geosynthetics 제조에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 재활용 섬유원료를 사용하여 제조된 Geosynthetics의 경우 물성 저하가 발생하므로 향후 이를 보완하거나 개선해야만 하는 문제점을 안고 있다. 이를 위하여 특수기능의 첨가제와 원료수지 및 제조공정 및 장치들의 개선에 관한 기술개발이 진행중이며, 특별히 환경친화의 초점을 분해성과 적합성 중 어느 분야로 맞추어야 할 것인가가 해결되면 이 분야에 대한 진보는 매우 빠르게 진행될 것으로 예상된다. 끝으로, 특수기능을 가진 섬유원료인 hybrid polymer를 이용하여 Smart Geosynthetics를 제조하는 기술의 개발이 향후 절실히 필요할 것으로 예측되며, Geosynthetics 제품들이 당면하고 있는 mechanical and chemical resistances, durability, weatherability 등을 고려한다면 적용환경에 부합되는 Smart Geosynthetics의 개발은 가장 선진화된 기술이라고 생각된다. 이러한 기능성 섬유원료들은 고흡수성, 생분해성, high tenacity, high modulus, high performance 등의 용도로 사용 가능한 Geosynthetics 제품의 제조에 이용될 전망이다. 현재 기능성 섬유원료들의 제조단가가 아직은 너무 고가이고 사용조건의 제약이 수반되는 단점을 내포하고 있기 때문에 급진적인 용도확장은 쉽지 않겠지만, 구조물의 안전성이 중요시되는 경우 반드시 사용해야만 하기 때문에 BT, CT, NT 등의 첨단분야로까지 확대 적용될 전망이다.

2.1.2 제품의 선진화 동향

가. 지오텍스타일

(1) Nonwoven Types

- ① 고중량화 - ~ 5,000g/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 섬유 사용
- ⑤ 환경적응형, 생분해성 제품 개발
- ⑥ 다 기능성 복합화 제품 개발 등

(2) Woven Types

- ① 고강도 - ~ 80 ton
- ② 크리프 특성 개선 제품 개발 - 저신율 고강성 섬유 사용
- ③ 환경적응형, 생분해성 제품 개발
- ④ 다 기능성 복합화 제품 개발 등

나. 지오멤브레인

지오멤브레인은 smooth, textured(;friction), reinforced types로 구분되며, 기존의 차수기능 외에 마찰이나 보강, 차단기능을 부여한 제품개발에 관하여 선진화가 진행되고 있다.

(1) Smooth Types

- ① 외국의 경우 - ~ 1.5mm(두께)
- ② 국내의 경우 - 2mm(두께)
- ③ OIT(산화유도시간), Stress Cracking Resistance 등 보완
- ④ 다양한 소재 적용 - PP, PVC, PU, EPDM 등
- ⑤ Seaming method 개선

(2) Textured Types

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

(3) Reinforced Types

- ① 복합화 공정 개발
- ② 특수용도 개발
- ③ 다 기능성 복합화 제품 개발 등

다. 지오그리드

지오그리드는 국내의 경우 fabric types과 extruded sheet types을 연성과 강성 지오그리드로 구분

하지만 이는 잘못된 구분이며, 정확하게 강재, 철근 등의 보강재를 강성이라 하며, 섬유 및 플라스틱 재료의 지오그리드는 모두 연성으로 분류함이 타당하다. 지오그리드는 polymer coated woven and knitted types(;fabric types), extruded sheet type(;sheet type), welded types 및 복합형 지오그리드로 구분되며, 기존의 보강기능 외에 분리, 보호, 마찰기능 등을 부여한 제품개발에 관하여 선진화가 진행되고 있다.

(1) Fabric Types

- ① 원료섬유의 다양화 - Polyester, Glass fiber, 탄소섬유, Spectra, Kevlar 등
- ② Coating resin의 개발 - PVC와 Acryl resin 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 다 기능성 복합화 제품 개발 등

(3) Welded Types

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

(4) 복합형 지오그리드

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

라. GCLs(Geosynthetic Clay Liners)

GCLs 제품은 지오멤브레인과 같이 차수기능을 가진 제품이며, 지오텍스타일과 지오텍스타일사이 에 팽윤차수성을 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.

마. 필터 및 배수용 Geosynthetics

필터 및 배수용 Geosynthetics 제품은 clogging에 의한 수리적 특성 저하를 방지하고, 유로확보, 구속하중에 의한 intrusion발생을 최소화 할 수 있는 제품개발 등에 관한 선진화가 진행되고 있다.

바. Geotextile Related Products

Geotextile Related Products는 geotube, geobag, geocontainers 등의 관련 제품을 중심으로 선진화가 진행되고 있다.

사. Geocomposites

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 25mm thick)
- * In plane discharge capacities are in the range 0.0002 to 0.01m³/m width/sec
- * A 20mm thick geocomposite drain can have the same flow capacity as a 300mm thick granular layer

아. 기타

- (1) Geostrips - 50 to 100mm wide, high strength
- (2) Geomeshes - large aperture, low strength
- (3) Geomats - e.g. extruded monofilament mats
- (4) Geocells - interconnected cells filled with soil in-situ
- (5) Geospacers - high transmissivity, used for composite drains

2.1.3 제조공정의 선진화 동향

Geosynthetics 제조공정은 제품별로 다르지만, 전반적인 경향은 기존의 대량생산이나 Geosynthetics 제품의 단순한 품질관리를 위한 자동화, 전자화 경향에서 Geosynthetics 제품이 시공 시 또는 시공 후 구조물의 안전성에 미치는 영향을 고려한 MQC (Manufacturing Quality Control)/CQC (Construction Quality Control) 차원에서의 선진화가 지속적으로 진행되고 있다. 만약 Geosynthetics의 제조 및 시공에 대한 실패사례가 사용 중 즉시 발생하거나 또는 장기간이 지난 후에 발생한다면 회복하기 어려운 문제가 야기되므로 이러한 경우를 방지하기 위하여 Geosynthetics의 MQC/MQA와 CQC/CQA에 대한 사전 준비된 분석과 방지책은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 즉, Geosynthetics 제품이 적절하지 않은 방법으로 제조, 시공된다면, 구조물의 계획된 수명을 보장할 수 없을 뿐만 아니라 부적절한 설계로 인한 위험을 방지할 만한 아무런 대비책이 없게된다. 효과적인 MQC/CQC와 MQA/CQA 프로그램으로부터 토목합성재료의 최상의 품질이 발휘되기 때문이다.

2.1.4 시험방법의 선진화 동향

Geosynthetics의 시험방법은 제품별로 분류되며 제품자체의 내구성이 Geosynthetics의 수명을 결정하므로 이에 영향을 미치는 인자들을 중요한 시험방법으로 채택하고 있다. 또한 국제규격 부합화에 부응하는 단일 시험방법의 개발은 현재로는 어려운 실정이며, 미주의 경우 주로 ASTM의 시험방

법을 채택하고 있고, 유럽 및 아시아 국가들은 ISO의 시험방법을 채택하고 있는 실정이다. 한편, Geosynthetics의 시험방법의 적용에 대한 객관성과 효율성을 향상시키기 위하여 범세계적으로 IGS(International Geosynthetics Society)가 관여하여 ASTM과 ISO의 Geosynthetics 시험방법의 표준화와 규격화에 의한 확장사업이 진행되고 있다. 그러나 국제규격 단일화를 위하여 ASTM D35(on Geosynthetics)와 ISO TC 221(Geosynthetics)이 통합된 ISO TC 221 Committee로 운영되고 있으나, 시험항목 당 단일규격 제정은 아직은 시기 상조인 느낌을 준다. 이외에도 기존의 ASTM이나 ISO의 Geosynthetics 시험법의 준비자료나 보완된 내용을 제공하는 단체로 미국의 GSI(Geosynthetic Institute)의 GRI(Geosynthetic Research Institute) Standard Test Method, prEN ISO, ISO/CEN 및 각 국가별 표준시험법도 병행, 사용되고 있다.

2.2 보강토 옹벽 분야

지반 중에 인장보강의 효과를 가지는 보강재를 삽입하여 흙이 가지고 있는 역학적인 약점을 보완하는 보강토공법(MSEW : Mechanically Stabilized Earth Wall, RW : Reinforced retaining Wall)은 시공성과 경제성 측면에서 기존의 콘크리트 옹벽(중력식 또는 캔티레버식) 보다 우수한 경우가 많다. 따라서 도로 설계·건설시에 여러 종류의 보강토 공법들이 폭 넓게 검토되고 그 사용이 점차 확대되는 추세에 있다. 특히, 근래에 국내에 소개된 일반적인 블록식 보강토 공법은 면상의 보강재인 지오그리드를 사용하여 흙과 결속력이 뛰어나며, 시공시 변형에 대한 적응성이 우수하고, 미관이 수려하며 경제성이 우수하여 건축건설, 도로, 철도 및 각 건설현장에서의 시공실적이 급속히 증가하고 있는 추세이다.

한편, 벽체 형식이 콘크리트 판넬이나 블록을 사용하는 보강토 공법은 정밀한 시공이 요구되고, 비교적 변형성이 크기 때문에 고속도로 본선과 같은 중요구조물에 적용시에는 적용이 제한되는 경향이 있었으나, 최근 국내 자체의 기술집약도 축적, 외국의 설계 프로그램의 이해증진 및 자체 설계 프로그램 개발, 현장시공 지침의 제공 그리고 시공중 변형성을 포함하는 여러 공법 등의 개발로 중요구조물의 적용 가능성을 적극 검토하는 추세이다. 가까운 장래에 우리나라 실정에 적합한 현장적용시의 설계, 재료선정 및 시공에 대한 지침 확립으로 폭 넓은 적용이 예상되는 분야이다.

보강토옹벽은 일반 콘크리트 옹벽에서 가정하는 토압, 지진하중에 대한 말뚝기초의 저항과는 달리 보강재가 토피 내부로부터 구속하여 안정한 상태를 이루어 자립성을 향상시키는 개념이다. 이들 보강토 공법은 토목섬유를 사용하는 방식에 의해 여러 가지 공법들이 개발되고 연구되고 있으며, 우리나라에서 도로 성토용으로 폭 넓게 쓰이는 공법에는 판넬식과 블록식이 있다.

2.3 도로포장 분야

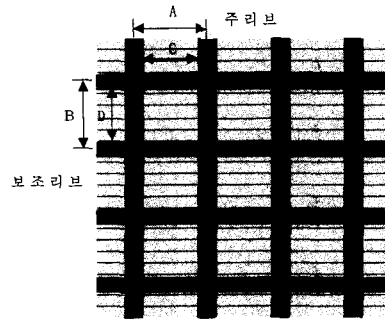
2.3.1 표층 보강기술

도로포장의 주요 파손형태는 주변환경 및 반복교통하중 조건에 의한 소성변형(rutting), 피로균열, 반사균열, 온도균열 등이 있는데, 포장이 설계수명에 도달하기 이전에 주로 발생하며 이로 인한 도로포장의 유지관리에 막대한 비용이 지출되고 있다. 이러한 도로포장의 파손을 최소화하여 도로의 내

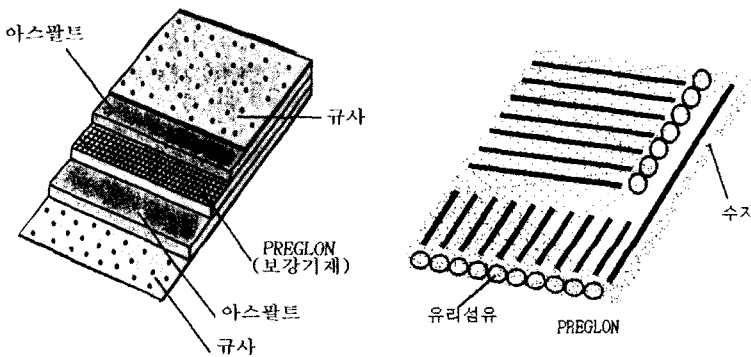
구성을 증진시키기 위해 표층 내부나 표층과 기층 사이에 토목섬유 보강재를 설치하는 방법이 사용되고 있다. 토목섬유를 이용한 도로표층 보강기법은 대부분 아스팔트 덧씌우기포장의 피로균열/소성변형 억제 및 콘크리트포장의 반사균열 억제를 위해 적용되고 있다.

도로표층 보강용 토목섬유로는 역청제가 함침된 니들펀칭 부직포(nonwoven needle punched)와 지오그리드(geogrid)가 많이 사용되고 있으며, 최근에는 지오그리드의 접착성을 개선하여 보강효과를 높이고 차수효과도 고려할 수 있도록 지오그리드와 지오텍스타일(geotextile)을 결합한 형태의 제품과 고강도 유리섬유사를 2층으로 서로 직교하게 배열한 후 아스팔트로 도포한 복합포 형태의 유리섬유 시트 제품들이 개발되고 있다(그림 1).

1970년대 이래 도로표층 보강용 토목섬유의 균열 및 소성변형 억제효과를 규명하기 위해 다양한 토목섬유 종류 및 설치위치 등을 고려한 토목섬유 보강 도로표층에 대한 실내 휠트래킹시험과 균열저항성시험, 현장적용 및 공용성시험, 수치해석 등이 수행되어 왔다. 이러한 연구들과 현장 공용성 평가를 통해 지오그리드와 같은 고강도 토목섬유는 3배 - 10배 이상의 균열 억제효과가 있으며, 1.3배 - 1.5배 이상의 소성변형 억제효과가 있는 것으로 평가되고 있다. 최근에는 미국, 일본을 중심으로 보다 많은 적용현장에서의 추적조사를 통한 토목섬유 보강 도로포장의 공용성 평가가 활발히 수행되고 있으며, 토목섬유의 보강효과를 합리적으로 예측할 수 있는 수치해석 모델 개발과 토목섬유 보강



(a) 유리섬유 그리드



(b) 유리섬유 시트

그림 1. 최근 개발된 도로표층 보강용 토목섬유

도로포장의 설계방법론 및 재활용 방안에 대한 연구 등이 수행되고 있다.

국내에서는 최근 한국건설기술연구원과 한국도로공사 등에서 토목섬유 아스팔트 덧씌우기포장의 피로균열, 반사균열, 소성변형 억제효과를 규명하기 위한 연구가 수행되고 있으며, 이 연구에서는 현장 시험시공을 통한 시공성 및 경제성 평가와 장기 추적조사를 통한 공용성 평가가 수행될 예정이다.

2.3.2 노반 보강기술

도로 노반을 구성하는 기층(base course)과 보조기층(subbase course)은 차량 통행에 의하여 표층으로부터 전달되는 반복하중을 지지하고 하부의 노상(subgrade)으로 분산, 전달할 수 있는 안정성(stability)과 수분 및 온도변화에 저항할 수 있는 내구성(durability) 및 배수성(drainability)을 만족하여야 한다. 따라서, 도로 노반 및 노상에 설치하는 토목섬유는 이러한 포장체의 역학적 기능을 향상시키는 역할을 하게 되며, 주로 아스팔트포장 도로에서 포장층의 보강이나 배수가 주목적이 된다. 소정 규격의 골재를 다져 시공하는 기층에 토목섬유를 적용할 경우 기층의 기능 향상은 물론, 포장면의 소성변형에 대한 저항력을 증대시킬 수 있으며, 노상에 전달되는 상부의 연직하중을 저감시킬 수 있다. 또한 토목섬유 설치를 통해 기층이나 보조기층의 두께를 줄이더라도 당초의 기능을 발휘할 수 있으므로, 비용 절감(골재량 감소)과 공사기간 단축(다짐시간 감소) 효과가 있으며, 하부에 연약층이 존재하는 경우에도 도로의 사용성을 높일 수 있다.

노반 및 노상층에는 상대적으로 낮은 변형률에서 강도가 큰 지오그리드를 주로 사용하고 있다(그림 2). 지오그리드는 기층(또는 보조기층)의 하단, 즉 기층(보조기층)과 노상의 경계면에 설치하는 것이 보통이며, 기층이 두꺼울 경우는 그 층의 중간에 설치한다. 그림 3은 국내에서 교통하중에 의한 하부구조물의 응력 저감을 위하여 지중강판구조물의 토피부인 노상층에 지오그리드를 설치한 사례이다. 근래에는 지오그리드와 비슷한 용도로 지오셀을 적용하기도 하며, 배수나 분리 기능만이 요구될 때에는 지오텍스타일을 사용한다.

이러한 도로 노반이나 노상부에서의 토목섬유 사용은 외국에서는 오래전부터 상용화된 기술로서, 최근에는 실내 모형실험 및 수치해석 등을 통한 토목섬유의 노반 두께 감소효과와 효율적인 설치위치에 대한 연구가 꾸준히 수행되고 있으며, 이러한 연구성과를 토대로 노반 보강을 위한 토목섬유의 최적 설계기법과 설계도표 제시 등이 이루어지고 있다. 토목섬유 보강 도로노반 축조기법은 포장층의 내구성 증진을 통한 도로의 사용성 제고와 건설예산절감 및 공기단축 등의 효과가 인정되고 있으

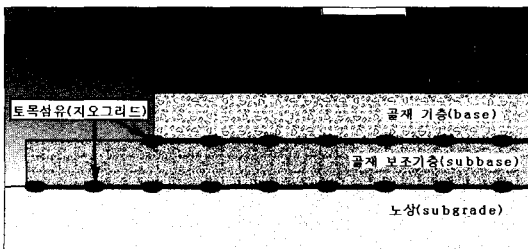


그림 2. 지오그리드 보강 기층의 개요도

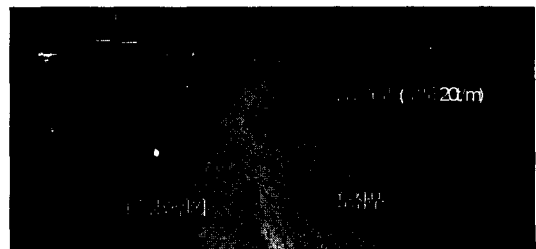


그림 3. 구조물 토피부 지오그리드 보강사례

므로, 국내에서도 조만간 일반화될 것으로 기대된다.

2.4 철도분야

2.4.1 개요

국내 철도분야에서 본격적으로 토목섬유관련 연구를 시작하게 된 것은 고속철도 노반에 토목섬유를 적용, 노반의 강성을 증가시키고자 하는 연구(1999년)부터였다. 이후 철도분야에서 토목섬유를 적용하려는 연구가 활발히 진행되어, 기존선 노반확폭을 위해 기존 보강토 공법을 재검토하였고(2001년), 블록식 보강토 옹벽에 대한 실험대형시험을 통해 열차반복하중에 대한 안정성 평가를 수행하였다(2002년). 또한 새로운 보강토 옹벽공법 개발을 위해 단섬유 보강매트릭스를 배면토체에 적용함으로써 철도 보강토 옹벽으로의 적용가능성을 확인하였다(2002년).

토목섬유의 적용분야를 비단 보강토 옹벽에만 국한하지 않고 강우로 인해 유실된 노반의 긴급복구에도 적용하고자 하였는데 이는, 지오백을 활용하여 기존의 흙포대를 이용한 방법을 대체하여 보다 안정화되고 신뢰성 있는 노반구조물을 신속히 구축하고자 하였다(2002년).

철도분야에서의 토목섬유 연구는 블록식 보강토 옹벽과 단섬유 보강토 및 지오백(geobag) 활용연구를 통하여 적용가능성을 평가하였다.

2.4.2 블록식 보강토 옹벽분야

블록식 보강토 옹벽(Reinforced Soil Segmental Retaining Walls)은 뒷채움토와 상재하중에 의한 활동력을 단지 블록의 완만한 경사와 자중으로 지지함과 동시에 수평으로 설치한 토목섬유 보강재에 의해 안정화된 보강토체와 블록이 조합을 이룬 복합적인 시스템으로 정의할 수 있다(그림 4).

블록식 옹벽의 시공에 있어서 국내의 경우, 모르터를 사용하지 않고 전단키를 사용하여 연속적으로 블록을 축조하는 시스템(Dry-Stacked System)이 보편적으로 적용되고 있다. 블록식 보강토 옹벽은 토목섬유 또는 강재 보강재를 사용하여 토체의 유효폭과 중량을 증가시키게 되는데, 토목섬유로

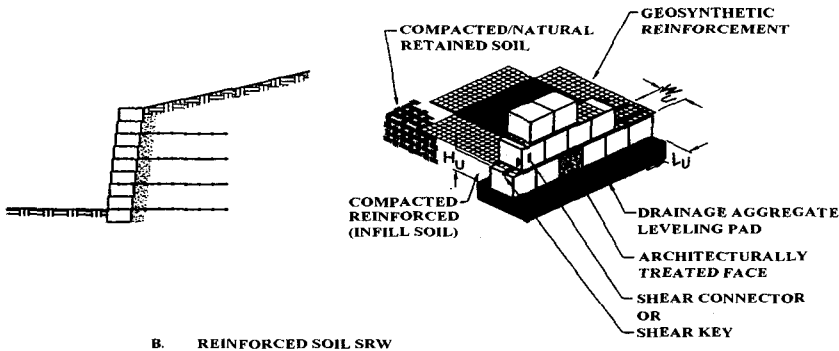


그림 4. 블록식 보강토 옹벽(NCMA, 1997)

서는 고인장강도의 폴리머 면상보강재인 지오그리드가 많이 사용되고 있다. 지오그리드는 시공시 블록간의 접촉면(Interface)으로부터 배면토체까지 설치되어 배면토체를 중력식 복합구조로 만들게 된다. 이러한 중력식 복합구조로 이루어진 옹벽은 높이와 상재하중이 존재하는 구조물 또는 열악한 지반조건에 의한 외력에도 저항할 수 있다.

한국철도기술연구원은 국내 철도분야에 있어서 보강토 옹벽의 적용성을 검토하기 위해 지오그리드와 프리캐스트 타입의 블록을 조합한 블록식 보강토 옹벽을 구축하고 열차의 운중과 주행속도를 고려한 모사 열차하중 재하 실험을 수행하였다. 블록식 전면벽 및 배면 토체의 토압 및 변위분포, 토체 내부 지오그리드의 인장변형을 분포에 대한 연구결과, 블록식 전면벽에 작용하는 모사열차하중의 미소한 영향 그리고 지오그리드와 블록식 벽체의 자중으로 인한 토체의 구속효과에 의한 변위 억제효과 등과 같은 블록식 보강토 옹벽의 성능을 직·간접적으로 확인함으로써 철도 토구조물로서의 적용 가능성을 평가하였다.

2.4.3 단섬유 보강토 활용연구

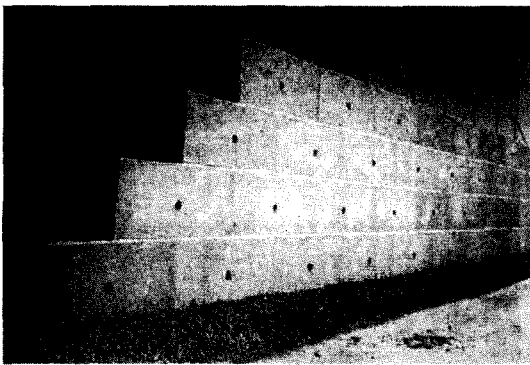


그림 5. 지오그리드와 개량토를 조합한 보강토 옹벽

단섬유 보강토는 흙 또는 안정처리토에 길이가 수 cm, 크기가 1~100 De(denier, 섬유길이 9000m의 질량을 g 수로 나타낸 단위)의 단섬유를 흙의 건조단위중량에 대해 0.01~2.0% 정도로 혼합한 것으로, 단섬유와 토립자를 혼합하여 외력에 대해 파괴되기 어려운 성질을 부여한 토질재료이다. 사질토 등의 건설발생토에 단섬유를 혼합하면 강우에 대한 내침식성 또는 섬유에 의한 인장저항력 증가 등의 효과도 나타나고, 자연적 형태의 토구조물 기반재료로서 우수한 특성을 가지게 된다.

이와 같은 특성을 바탕으로 현장토 또는 건설발생토 등의 저품질 토질재료를 적극적으로 활용하여 보강토 옹벽으로 활용하고자 하는 연구가 최근 철도분야에서 진행 중인데, 실험 시험 등을 통해 공법의 적용성을 평가 중에 있다. 그림 5는 단섬유보강토와 지오그리드를 복합적으로 사용하여 보강토 옹벽을 시공한 사례로서, 단섬유보강토는 강도증가를 위해 안정처리토에 단섬유를 혼합한 것이다.

2.4.4 지오백(geobag) 활용연구

매년 장마철이면 게릴라성 호우 또는 폭우에 의해 선로가 유실되는 경우가 많이 발생되고 있다. 이로 인한 철도노반 및 선로연변 사면재해를 복구하는데 소요되는 비용은 만만치 않게 소요되고 있으며, 유실된 선로 복구기간도 많게는 수개월 이상 소요됨으로써 정상적인 철도운행의 지장을 가져와 눈에 보이지 않는 물류손실이 크게 발생되고 있다. 또한 복구가 되었어도 철도노반 유실에 따른 품질 및 관리기준의 미흡으로 인해 유지보수 및 관리문제가 계속 문제가 되고 있다. 따라서, 규격화,

표준화된 기술적용에 따른 선로의 복구로 그 품질 및 안전관리가 절실한 상태이다.

지오백을 포함한 토목섬유 콘테이너 공법은 원래 하천 또는 해안에서 제방을 축조할 경우 사용되는 방법으로, 토목섬유 포대 내에 준설토 또는 모래 등의 토사를 넣어 만든 규격화, 모듈화된 토목섬유 콘테이너를 다수 사용하기 때문에 품질관리에 따른 유지보수 문제를 최소화하고, 쇄석채취로 인한 인근 석산(石山)의 파괴문제와 준설토의 처리문제 등을 자연스럽게 해결하며 더 나아가 시공시 환경오염을 최소화시킬 수 있어 자연적 환경친화적 기술로 크게 평가받고 있다.

따라서, 이와 같은 공법을 강우로 인해 유실된 선로복구에 적합토록 실용화함으로써 선로복구에 소요되는 공정을 간소화하고, 그 공기를 단축하며, 규격화·모듈화된 제품의 사용으로 기존의 마대 쌓기 등에 의해 발생하는 보수노반의 내구성 문제 등을 해결함으로써 열차안전 및 노반의 유지보수에 만전을 기하고 있다.

이와 같이 철도분야에서의 토목섬유관련 연구는 대외적으로 관련분야 철도협력기관인 일본의 철도종합기술연구소(RTRI), 미국의 연방철도국(FRA), 프랑스의 SNCF, 중국의 CARS 등과 보다 긴밀한 관계구축을 통해 세계적인 연구수준에 도달할 수 있도록 연구중에 있으며, 국내 철도관련 대학, 연구기관, 토목섬유 관련학회, 그리고 산업계 전문가분들의 자문과 폭넓은 공동연구를 통해 철도분야에서의 관련기술 저변확대와 더불어 현재 철도 특성에 적합한 공법 및 신기술 개발연구에 매진하고 있다.

2.5 지반환경분야

2.5.1 개요

토목섬유란 토목건설 및 환경분야에 사용되는 고분자 재료로서 적용의 간편성, 경제성 및 환경친화성으로 인해 지반환경 분야, 주로 폐기물 매립지에 여과, 분리, 배수, 차수, 보강 및 침식제어 기능으로 사용되고 있다.

매립은 전 세계적으로 볼 때 폐기물 처리에 있어 가장 단순하고 경제적인 방법 중에 하나라고 본다. 이러한 가장 단순하고 경제적인 매립이 현대 문명의 발달과 산업의 고도화에 따라 기술적이고 경제적인 면으로 점점 고부가가치화 되고 있는 실정이다. 그러나 과학기술의 변화, 폐기물의 감량화 그리고 자원화에도 불구하고 매립에 의한 폐기물의 처리는 여전히 폐기물의 최종처분에 있어 가장 중요한 부분을 차지하고 있다.

그러나 국토면적이 넓지 않은 우리 나라 현실에서 폐기물을 매립하기 위한 부지 확보에 있어 어려움을 초래하고 있다. 설사 부지가 확보된다고 해도 “NIMBY” 현상에 따른 주민 여론 수렴이 가장 어려운 과제이기도 하다. 따라서 국토의 현실성으로 보아 우리 나라에서 부지 선정은 계곡과 해안으로 계속 유도될 것이며, 이러한 경우 완전차폐성의 위생매립과 매립지 안에서의 오염물질의 거동을 제한할 수 있는 매립이 필요하다고 할 수 있다.

폐기물 매립지에서 오염물질의 거동을 제한하기 위해 차수시설, 침출수 집배수시설, 가스배제시설, 우수집배수시설 등의 시설이 필요하며, 이러한 시설을 시공하는데 과거에는 자연상태에서 얻어지는 원자재를 이용하였으나, 최근에는 시공의 편이, 공간 확보, 제조상의 품질관리에 있어 많은 장점을

제공하는 토목섬유의 복합사용이 증가하고 있다. 외국에서는 토목섬유에 대한 많은 실험적 연구를 통하여 매립지의 안전 및 발전을 위하여 설계·시공시에 토목섬유의 사용이 증가하고 있으나, 국내에서는 토목섬유에 대한 연구 및 사용이 많지 않다고 할 수 있다. 따라서, 본 고에서는 국내외의 폐기물 매립지의 규정을 통해 매립지에서 사용될 수 있는 토목섬유에 대해 논하고자 한다.

2.5.2 폐기물 매립장 분야

폐기물 매립지는 폐기물을 장기간 저장하기 위한 최종처분지로서 환경적 측면의 안전성과 매립지 자체의 안정성을 유지하여야 한다. 만약 매립지의 불안정성으로 인해 매립지가 국부적 또는 전면적으로 파손 및 붕괴가 발생하게 되면, 자연생태계 및 인간생활에 악영향을 미치고 토양 및 지하수 오염 등 이차적인 환경문제를 야기할 수 있다.

폐기물 매립지는 그림 6과 같이 바닥층, 폐기물 매립층, 최종복토층의 구조를 가지고 있다. 이중 바닥층은 폐기물 매립지에서의 모든 요소 중 가장 중요한 부분이라고 할 수 있으며, 바닥층과 직접적으로 관계가 있는 인자는 침출수이다. 폐기물의 침출수는 복합적인 오염물질을 함유하고 있어 처리에 있어서도 상당한 어려움을 겪고 있다. 이러한 침출수의 발생에 따른 차수를 위해 바닥층의 안전한 설계와 시공이 우선적으로 이루어져야 한다.

우리 나라의 현실에서 매립지 부지선정은 많은 어려움이 있으며, 국토의 현실성으로 보아 계곡과 해안쪽으로 계속 유도될 것으로 보인다. 이러한 경우 매립지 안에서의 오염물질의 거동을 제한할 수 있는 매립지반 기술이 필요하며, 아울러 기술적으로 안전한 매립지를 건설할 수 있도록 더욱더 많은 연구와 노력이 필요하다 사료된다.

폐기물 매립지에서의 토목섬유의 사용은 환경적, 구조적으로 안전한 매립지 건설할 수 있으며, 또한 포설비용 저감할 수 있으며 매립공간을 최대화시킬 수 있는 많은 장점을 제공한다. 외국에서는

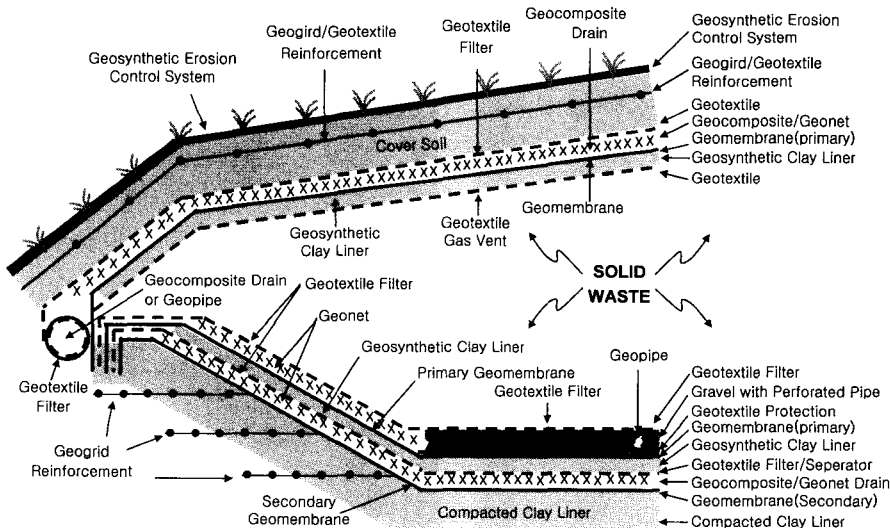


그림 6. Geosynthetics를 이용한 폐기물 매립지의 구성(Robert M. Koerner, 1994)

많은 실험적 연구를 통해 폐기물 매립지 안전 및 발전을 위해 매립지의 설계·시공에 토목섬유의 사용이 증가하고 있으나, 국내에서는 제한적으로 사용되고 있다. 특히, 국외에서는 HDPE와 다짐점토층으로 구성되어 있는 최종복토층 차단층의 구성이 HDPE와 Geosynthetic Clay Liner층으로 변화·시공되고있어, 우리도 이에 대한 많은 연구를 통하여 토목섬유의 사용을 권장하여야 할 것이라 사료된다.

2.6 해양분야

2.6.1 개요

해안, 하천 공사에는 쇄석, 콘크리트 제품 및 블록 제품 등과 같은 다양한 재래식 제품과 토목 섬유 제품 및 기타 다른 제품들이 사용되고 있다. 최근에는 재래식 제품 사용 공법의 자연 재료 획득의 곤란성, 공사비 및 유지 관리비 상승, 시공 기간 장기화 및 환경 파괴, 기존 생태계 손상에 대한 우려로 인하여 대체 재료 및 공법의 개발에 많은 투자를 하게 되었다.

지오 시스템(Geosystem) 또는 지오텍스타일 시스템(Geotextile system)은 고강도의 합성 섬유로 만들어진 대용량의 포대형 구조물에 공기, 물, 모래, 물탈 등을 채워서 물의 흐름을 유도하거나 모래 채취용 구조물을 축조하는 공법으로서 1950년대에 최초로 적용되기 시작하였다. 60, 70년대에는 내부에 모래, 흙, 돌, 물탈, 아스팔트 등을 채워서 구조물로 축조하는 방법으로 발전되어 80년대 이후 많은 나라에서 다양한 해안 보호 공법 및 환경 정화 공법에 적용하고 있다. 또한, 오탁방지막을 비롯하여 방조제 보강용 매트 등에 다양하게 사용된다.

2.6.2 지오투브(GEO-TUBE)

지오 튜브는 튜브 형태 혹은 커다란 소시지 모양으로 일정한 직경으로 길게 만들어지는 구조물을 지칭하며 그 직경은 1-5m, 길이는 시공성을 고려하여 100m-150m 정도이며, 현장 요구에 따라 크고 작게 생산 가능하다. 지오 튜브의 외부는 노출 시공(지상 시공)시 지외선 손상을 방지하기 위해 자외선 처리가 되어 있으며, 설계 수명은 토목섬유 설계 수명인 100년을 기준으로 한다. 해안 혹은 하천에 연하여 설치된 지오 튜브 표면에는 해조류 및 따개비 등이 쉽게 서식을 하게 되어, 자연 환경 및 생태적으로 아주 친근한 제품의 구조물이다. 지오 튜브는 펌핑 효율, 배수 효율 및 시공 용이성, 경제성을 고려하여 지상 및 수심 5m~7m 깊이 정도의 장소에 아주 효과적이다.

지오 튜브는 재래식 재료(쇄석, 성형 콘크리트 제품, 아스팔트, 블록 매트 등)를 사용하는 공법에 비하여 공사량 및 공기 그리고 공사비를 절감시키고, 전문인력 및 특수 장비가 필요치 않으며, 현장 재료를 사용할 수 있다는 장점이 있는 토목섬유제품이다.

현재 주로 사용되고 적용분야는 해양공학분야와 환경오염물 처리분야로 구분할 수 있다. 해양공학 분야는 해안선 침식방지 제방, 매립지 제방, 방사제(코어), 준설토 투기장 제방, 생태/철새 도래지, 조류 서식지 인공섬 제방 등이 있으며, 환경오염물 처리분야는 항만 하부준설 충전 탈수처리, 공장 폐수처리장 슬러지 충전 탈수처리, 오염된 내륙 호수바닥 준설 충전 탈수처리, 축산 폐기물 탈수 보관처리 등이 있다. 그리고 방파제 상단 높이 긴급 보강 및 핵 발전소 수로(유입, 퇴수) 수심 유지 등에

도 지오투브가 사용되고 있다.

2.6.3 지오 콘테이너 (Geo-container)

지오 콘테이너는 지오 튜브와 동일한 섬유로 공장에서 제작된다. 공장 제작된 지오 콘테이너를 바지선에 펼치고 그 내부에 장비 혹은 펌프를 사용하여 모래, 진흙 등 현장에서 획득 가능한 재료로 채운 후 현장 봉합한 후 지정된 장소에 투하하여 설치하는 구조물로 형상은 대형 베개(pillow) 모양이다. 지오 콘테이너는 지오 튜브로 설치하기에는 비경제적이며, 시공이 어려운 깊은 수심(7m 이상 깊이)에 설치하기 위한 제품으로 한 개에 포함되는 채움재의 용량은 약 100m³부터 1,000m³정도이며, 용량의 결정은 준비된 바지선에 따라 결정하여 제작한다.

지오 콘테이너를 사용하는 공법은 현장토사 혹은 준설한 재료를 즉시 사용할 수 있고, 수중 투하하여 제방으로 사용시 침식이 발생하지 않으며, 공사 기간이 대단히 짧은 공법이다. 그리고 재래식 재료나 공법에서 보다 정확하고 수중 재료의 유실이 적고, 상대적으로 조류, 파도, 기상에 영향을 적게 받으며, 공사방법이 단순하기 때문에 대형 공사에서 공사 비용이 대단히 저렴한 공법이다,

지오 콘테이너 적용분야는 해양공학분야와 환경보호분야로 구분할 수 있다. 해양공학 분야는 수중 제방, 방파제 코어, 수중 구조물(인공 서핑용 제방), 지오 튜브와 병행 사용한 방사제, 수중 침식부분 봉쇄, 해저 구조물보호 누름 덮개, 구조물 쇄굴 부분 봉쇄, 매립지 제방 등이 있으며, 환경보호 분야는 오염 준설도 보관 투기, 오염물질 보관 투기, 하천 항로 유지 등이 있다.

2.6.4 지오 백(Geo-bag)

지오 백은 폴리 프로필렌 혹은 폴리 에스터 재질로 제작된 대형 샌드백 모양으로서 그 용량은 1m³ 에서 10m³ 정도이며 크기 및 용량은 조절될 수 있다. 지오 백 내부는 모래, 돌, 흙, 세멘트, 몰탈 등으로 채워 사용 할 수 있다. 지오 백은 그 용량에 따라 섬유 인장 강도를 결정하며, 적은 백의 경우 10kN/m 정도의 강도로 제작되며, 큰 백은 100kN/m 강도로 제작한다. 모래로 채운 지오 백은 모래가 안정되는 한계로 인해 유속이 1.5m/s 에서 2.0m/s 이상은 부적합하며, 파도 높이가 1.5m 이상일 경우도 부적절하다.

지오 백 시공의 장점은 재래식 재료 및 공법에 비하여, 시공 비용이 저렴하고, 공정이 단순하며, 제품이 공장 제작됨으로 품질 및 규격이 일정하다는 장점이 있는 제품이다.

지오 백 적용분야는 붕괴 구조물(제방, 교대, 방파제, 해안도로 등) 보수, 제방 또는 완만한 경사 구조물, 구조물 선단 보호 구조물, 피라미드식 방사제/구조물, 임시 또는 영구 해안 옹벽 및 방사제, 임시 또는 영구 방파제, 매립지 제방, 수중 구조물 보호 덮개, 수중 구조물 손상 방지용 받침 등에 이용되고 있다.

2.6.5 오탉방지막(Silt Protector)

해양 및 하천공사의 매립에서 준설시 오탉수의 유출 확산으로 인한 주변수역의 수산자원 및 자연 환경에 심각한 영향을 미치므로 어민들의 생계수단 보호와 자연환경의 보전을 도모하는데 있다. 오

탁방지막은 준설, 매립공사시 해중에 압출되는 토사 또는 실트 확산 방지, 항로준설, 세굴 등에 의한 해수오탁방지, 공장 배수에 의한 오염확산방지 등 역할을 수행한다.

제품은 일정 수역을 고강도의 합성섬유포로 만들어진 투수성이 있는 막체로 차단하여 파랑, 바람, 조류의 영향을 최소한도로 그치게 하여 일정구역 내에서 토립자를 여과, 침강시켜서 오탁수의 유출 확산을 방지하도록 구성되어 있다.

2.6.6 방조제 보강용 매트리스

간척지의 기초지반은 사질이나 이토로 형성되어 있어 제체 축조 진행에 따라 증가되는 유속에 의하여 지반세굴이 일어나 이미 시공한 부분까지 유실되는 현상이 발생하며, 특히 가물막이구간에서는 더욱더 심한 세굴이 발생한다. 매트리스는 사석내의 투수 유속으로부터 지반접촉부에서의 토립자 유출을 방지하는 기능 외에도 연약한 지반에서의 제체 하중을 균등하게 분포시키는 기능을 가지고 있다.

매트리스는 그 하부에 깔 모래, 상부에 누름사석 및 돌망태(gabion)등을 병용하는 것이 보통이며, 매트리스 폭은 가급적 넓게 하여 제체밑에 부설하되 연결부를 잘 겹치도록 하여 완전하게 설치를 하여야 한다. 그러나 간조시 노출되는 구간에서의 매트리스 부설은 용이하지만 노출되지 않는 곳 즉 수중에서는 부설선의 성능에 따라 다르겠으나, 수심과 조류속 또는 파랑 때문에 정확한 위치에 정확히 연결하면서 부설하기가 어렵다. 매트리스는 인장력이 강한 화학섬유, 나이론천(다공성이어야 함) 등에 벗집, 가마니 또는 버드나무 가지등을 한데 엮어 사용하며 벗집, 가마니 버드나무 가지등을 같이 사용하는 것은 인장력을 더욱 강화시켜 부설 후에 압성사석이나 돌망태 투하 때 파손되지 않도록 하기 위한 것이다.

2.7 연약지반 분야

2.7.1 연약지반 보강을 위한 토목섬유의 활용

연약지반상에 축조된 토목구조물(제방, 기초)은 기초지반이 충분한 지지력을 가지고 있지 않다면 여러 가지 형태의 파괴가 일어날 것이다. 이를 방지하기 위하여 연약지반상에 지반보강용 고강도 토목섬유 등을 수평으로 포설한 후 토목구조물을 축조할 경우 수평보강층은 기초지반의 지지력 증대로 토목구조물의 안정성을 증가시키고 파괴를 방지하는 보강역할을 한다. 또한, 토목섬유 보강재는 상부하중을 분산시켜 하부지반의 수평 및 수직 변위를 줄일 수 있으며 부등침하를 감소시킬 수 있다. 따라서, 긴급공사를 요하는 초연약지반 개량시 장비의 주행성확보로 공기를 단축시키고, 연약지반상의 성토사면 붕괴를 방지할 수 있으며, 도로 및 철도의 연약노반 처리, 하수관거의 부등침하 방지를 위하여 토목섬유의 사용이 점차 증가하는 추세이다.

가. 지오그리드를 이용한 연약지반 보강

연약지반 보강을 위해 지오그리드(Geogrid)와 지오텍스타일(Geotextiles)이 주로 이용되고 있으며, 이 중 지오그리드의 경우 사면, 옹벽, 공항활주로, 도로포장 등에 지반보강용으로 많이 사용되고 있다. 국내에서는 1990년대에 이르러 보강토 옹벽을 중심으로 지오그리드의 사용이 점차 활발해 지고 있다.

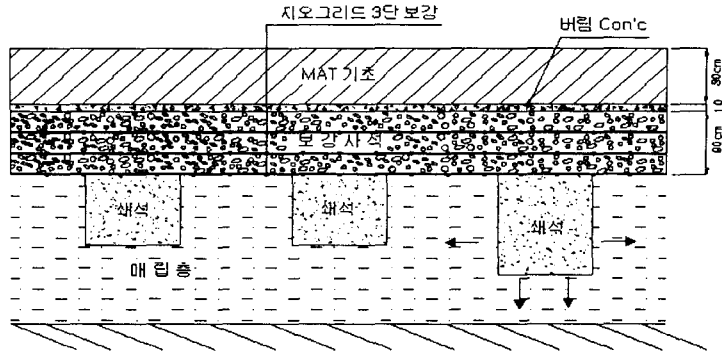


그림 7. 쇄석동다짐과 지오그리드 복합보강공법 개요도

일반적으로 지오그리드의 종류는 크게 강성지오그리드와 연성지오그리드로 구분되며, 연약지반보강 및 구조물 하부지반 보강공법에 사용되는 지오그리드는 주로 강성지오그리드를 적용한다. 지오그리드의 특성은 일반적으로 신율과 인장강도를 기본으로 하고 있으나 현실적으로 지오그리드의 선정은 단순한 인장강도에 따른 비교·선정이 아닌 지오그리드의 사용목적 및 설계목적에 따른 정확한 분석이 필요하다. 특히, 보강토옹벽이나 사면보강과는 달리 연직하중(구조물 및 차량하중)을 받는 지반 내에 포설될 경우, 강성지오그리드와 쇄석의 강한 결속력으로 인하여 동일하중에 대하여 부등침하량이 적게 발생된다.

인천국제공항 1단계 공사시 활주로를 지하로 횡단하는 암거 뒷채움 부분의 활주로가 3cm의 부등침하가 예상되었다. 따라서, 부등침하 방지를 위하여 암거 상단부부터 도수로, 뒷채움 부분에 걸쳐 지오그리드로 보강(90,000m)한 다음 활주로에 시멘트 안정처리된 잠석등을 포설하여 안정화 시킨 사례가 있다.

2002년 시공된 부산광역시 해운대구에 위치한 광안대교 요금소 유지관리 사무소 신축현장에서는 연약지반의 침하를 방지하기 위해 지오그리드 공법을 적용하였다. 광안대교 요금소의 경우 지반침하의 주요 원인이 되는 해성퇴적층이 상부 매립층 하부에 약 12m 두께로 분포하여, 대상구조물의 축조시 예상침하량은 25.54cm로 허용기준을 상당히 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 허용침하량 확보를 위한 하부 해성퇴적층의 안정처리가 반드시 필요하였으며, 선행압밀공법, PBD, SCP공법 등 다양한 공법의 적용성을 검토한 결과 선행압밀공법을 적용하였다. 선행압밀공법의 적용시, 공기 및 경제성등을 고려하여 소요의 압밀도 확보와 공법적용의 어려움이 있을 것으로 판단하여 쇄석동다짐 공법과 지오그리드 공법을 복합적으로 적용하였다. 쇄석동다짐공법과 지오그리드 복합공법의 개요도는 그림 7과 같다.

나. 지오셀(지오웹)을 이용한 연약지반 보강

지오셀(Geocell, Geoweb) 공법은 1970년대 후반 미국 공병단과 협동 연구에 의해 개발되었으며, 탁월한 지반안정화 기능을 가진 공법으로 그 환경친화적 특성과 경제적 장점으로 세계적으로 사용이

증가하고 있는 추세이다.

지오셀 공법은 지반을 3차원적으로 구속하여, 하중이 재하되면 강력한 횡 방향의 상호구속 강화 효과, 셀 벽간의 접합강도와 인접한 셀의 수동 반력, 채움재와 셀 벽간의 전단저항력을 발생시킨다. 이러한 제반 거동들은 원지반의 지지력을 최고 약 15배 (초연약지반 기준) 까지 향상시키는 역할을 한다. 따라서, 채움재가 연약지반으로 침투하는 것을 방지하는 한편, 고강도와 강성을 가진 가교작용으로 인하여 일반적인 입상재의 장기하중에 의한 변형을 억제하고 성토재의 두께를 절감시킴으로서 공사비, 공기 절감을 가져온다.

인천신공항 지하차도내 도로 축조시 기존 Box와 횡단도로의 접합부분에 서로 다른 공법을 적용하여 부등침하 발생이 우려되는 지역에 지오셀 공법을 적용하였다. 지오셀의 도로의 접합부분에 지오셀을 설치함으로써, 하부 원지반에 균등한 하중을 분포시켜 편심하중 및 국부하중으로 인한 원지반의 부등침하 및 관입파괴를 근원적으로 차단시킬 수가 있을 것으로 판단하였다. 한편, 지오셀의 또 다른 용도로서 미국 콜로라도주에서는 연약한 철도노반의 보강을 위하여 이 공법을 적용하였다.

2.7.2 연직배수 공법을 통한 토목섬유의 활용

연직배수공법을 활용한 연약지반의 개량은 1930년 Porter가 샌드드레인공법을 소개한 이래 1940년 후반부터 이론 및 시공기술의 급진전이 이루어졌다. Kjellman은 1936년에 Card Board라는 종이 섬유를 이용한 Paper Drain 공법을 제안하였고, 1970년대 후반 일본에서는 토목섬유로 된 망을 소구경의 샌드드레인과 같이 설치하는 팩드레인 공법이 개발되었다. 최근 많이 사용되는 연직배수공법은 인공배수재로 플라스틱재료를 사용한 코어와 부직포의 필터로 구성된 PBD(Plastic Board Drain)공법과 PVC 주름관과 부직포의 필터를 이용한 메나드드레인(Menard Drain), 코아재를 천연섬유를 이용해 친환경적인 공법을 추구하는 Fiber Drain 등이 있다.

가. PBD 공법

PBD 공법은 샌드드레인 공법과는 원리적으로 동일하지만 모래기둥 대신 플라스틱재의 코어와 부직포의 필터로 구성된 판상의 PBD를 지반내에 삽입하여 재하로 인한 과잉간극수를 방사방향으로 신속히 배출시켜 압밀침하를 조기에 완료시키는 공법이다.

국내에 PBD를 이용한 연약지반공법이 최초로 적용된 것은 1975년 창원의 적현단지이고, 그후 대불공단, 서해안 고속도로를 비롯한 서·남해안의 연약지반개량공법으로 널리 이용되고 있다. 최근에는 시공기계의 발달과 함께 해상시공도 이루어지고 있으며, 타설심도도 점차적으로 증가하여 약 40m 깊이까지 타설하여 성공적으로 지반개량이 이루어 졌다. 또한 국내 PBD 제품의 생산이 증가함에 따라 배수성능과 스미어존, 웰레지스텐스 등에 관한 연구가 활발히 진행되었다.

나. 메나드드레인 공법

메나드드레인(Menard Drain) 공법은 프랑스 Menard사에서 개발한 공법으로 우리나라에는 1993년부터 도입되었다. 이 공법은 수직 페이퍼 드레인을 구멍이 뚫린 원형연성주름관의 외부에 부직포를

씩워 개량한 것으로 일정한 깊이의 연약지반에 수직으로 타설, 배수거리를 단축하여 압밀을 촉진과 지반강도증가를 도모하는 탈수공법이다. PBD공법에 비하여 원형주름관은 깊은 심도의 침하구간에 사용하여도 침하에 따른 재료의 수축과 변형에 견딜 수 있고, 통수단면이 커서 배수저항에 대한 효과도 우수한 것으로 보고 있다. 이 공법은 수직 진공압밀 배수공법과 병행하여 사용하기도 한다. 현재 서해안 및 남해안 연약지반 현장에 적용한 사례가 있다.

다. Fiber Drain 공법

Fiber Drain 공법(천연섬유 드레인 공법)은 연약지반 개량공법 중의 하나인 수평 및 수직배수공법에서 천연섬유로 구성된 재료를 배수재로서 사용하고 있다. 배수재료로는 황마섬유직물과 야자열매 껍질을 사용해 제작하므로 무한정의 자원으로 드레인재를 생산할 수 있고 천연섬유이므로 배수재료로서의 기능을 다한 후에는 최종적으로 흙으로 돌아가는 친환경적인 특성을 가지고 있다. 또한 배수재료로서 통수능력, 필터효과, 인장력등이 충분하고 유연성이 있으므로 꺾이거나 잘라지는 일이 적다.

Fiber Drain은 2중의 황마직물을 두겹으로 하여 외부를 감싸고 내부에 4본의 야자로프를 4등분하여 배열하여 각 로프사이의 표면에서 종방향으로 연속으로 재봉/고정시킨 구조로 되어있다. 그림 8은 Fiber Drain재의 단면형상이며, 그림 9는 시공전경이다.

Fiber Drain 공법은 아직 우리나라에서는 시공사례가 많지는 않으나, 시화지구 연약지반처리를 위하여 1공구 1,700,000m, 4공구에 약 2,200,000m가 시공될 예정에 있어 앞으로 친환경적인 연직배수공법으로서 주목받을 것으로 보인다.

2.7.3 토목섬유를 활용한 수평 진공배수 공법

준설·매립 등에 의해 조성된 초연약지반의 Trafficability를 단기간 내에 확보하기 위한 공법으로서, 슬러리 상태의 초연약지반 표층에 매설선을 이용하여 수평배수재를 매설하고, 진공펌프 시스템을 연결한 후, 기 설치된 수평배수재 내부에 부압을 작용시켜 지중수를 강제적으로 배수시킴으로서 단기간 내에 표층의 강도를 발휘시키는 공법이다. 대표적인 시공사례로서는 2000년 10월 준공된 여천국가산단 확장단지 제2공구 조성공사에 이 공법이 사용되었다. 그림 10은 PBD를 활용한 수평진공배수 공법의 단면도이다.

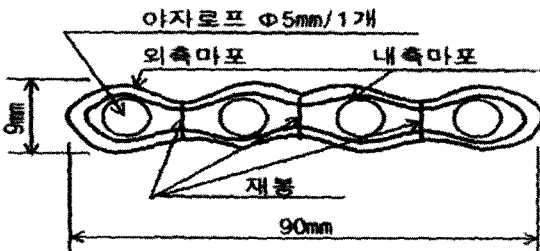


그림 8. Fiber Drain재의 단면형상



그림 9. Fiber Drain 공법 시공전경

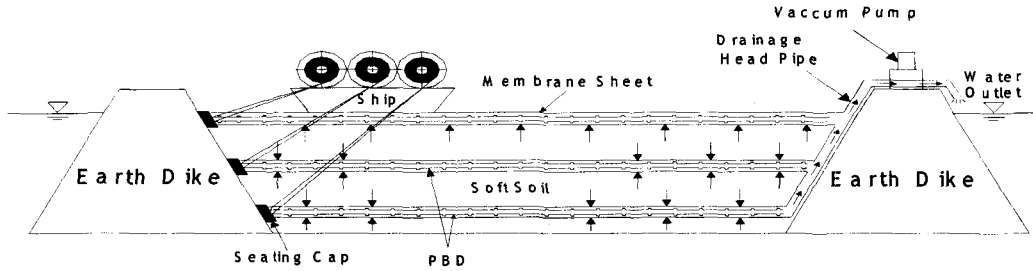


그림 10. 수평진공배수 공법

본 고에서는 토목섬유분야와 관련된 기술현황과 전망 등을 적용분야를 중심으로 알아 보았다. 본 고를 통해 토목섬유가 토목 및 지반공학분야에 응용되는 비중이 갈수록 커지고 있음을 알았다. 2004년 6월에 열리는 GeoAsia2004를 계기로 국내에서의 토목섬유기술 발전이 한층 향상 발전할 것으로 판단되며 지반공학분야 많은 회원들이 GeoAsia2004에서 토목섬유기술의 진수를 맛보실 수 있기를 기대한다.

참고문헌

1. ASTM Committee D-35 on Geosynthetics (2001), "ASTM Standards on Geosynthetics", West Conshohocken, PA.
2. C. J. Miller, J. Y. Lee (2002), "Impact of Fiber Additive on Clay Liner Performance", Proceeding of the 6th International Symposium Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development.
3. David E. Daniel (1993), "Geotechnical Practice for Waste Disposal", Chapman & Hall.
4. FHWA (1996), "Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slope Design and Construction Guidelines".
5. Geosynthetic Institute (2001), "Proceedings of the GRI-15 Conference", Houston, TX, USA.
6. IGS (2002), "Proceedings of 7th ICG", Nice, France, September 22-27.
7. IFAI (2001), "Geotechnical Fabrics Report - Specifier's Guide", Roseville, MN, USA.
8. Kanazawa.Y, Ikeda.K, Murata.O, Tateyama.M and Tatsuoka.F (1994), "Geosynthetic -reinforced soil retaining walls for reconstructing railway embankment at Amagasaki", Recent case histories of permanent geosynthetic-reinforced soil retaining walls, Tatsuoka and Leschinsky(eds), Balkema, pp. 233-242.
9. L.Palossy, P.Scharle and I.Szalatkay (1993), "Earth Walls", Ellis Horwood.
10. Robert M. Koerner (1994), "Designing with Geosynthetics third edition", Prentice-Hall.
11. U. S Environmental Protection Agency(USEPA) (1990), "Design and Construction of RCRA/CERCLA Final Cover System", CERL 90-50.
12. 한국도로공사 (1998), 고속도로공사 전문시방서(토목편).
13. 한국도로공사 (1997), 특수공종 시공 및 품질관리 지침서.
14. 이송, 김홍석, 이재영 (1999), "폐기물 매립지 바닥층의 고화토 포설시 동결/융해 현상에 관한 연구".
15. 한국폐기물학회 (1999).
16. 환경부 (2001), 폐기물 관리법.
17. 토목섬유 설계 및 시공요령 (1998), 한국지반공학회.