

토목섬유기술의 최근동향

토목섬유기술위원회

1. 서언

도로, 철도, 제방, 댐, 쓰레기매립장, 연약지반, 구조물의 기초등 토목기술의 대부분은 흙재료를 이용하는 측면에서 개발, 발전되어 왔다. 흙재료는 미세한 점토로부터 모래, 자갈에 이르기까지 다양한 입도로 이루어지며, 거기에 따른 장단점을 갖는바, 흙재료가 갖지 못한 기능들을 보완 또는 대체하는 재료로서 토목섬유가 사용되기 시작하였으며, 현재 각종 토목구조물에 연간 약 10억이상의 물량이 다양한 용도로 사용되고 있다.

토목섬유는 필터, 분리, 배수, 차수, 보강, 침식제어등의 주요기능을 지니며, 적용분야로서는 지반공학분야, 수자원공학분야, 항만공학분야 및 환경공학분야등으로 크게 구분할 수 있다. 본고는 한국지반공학회 토목섬유기술위원회에 소속된 위원들이 각각의 전문분야에 대해 최신동향을 기술한 것으로 토목섬유에 관심이 있는 기술자들에게 많은 도움을 줄 수 있으리라 생각한다.

주재우(순천대학교)

2. 보강토 옹벽 적용동향

2.1 개요

지반 중에 인장보강의 효과를 가지는 보강재를 삽입하여 흙이 가지고 있는 역학적인 약점을 보완하는 보강토공법(MSEW : Mechanically Stabilized Earth Wall, RW : Reinforced re-

taining 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 설계프로그램 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.

2.2 설계개념

보강토옹벽은 일반 콘크리트 옹벽에서 가정하는 토압, 지진하중에 대한 말뚝기초의 저항과는 달리 보강재가 토괴 내부로부터 구속하여 안정한 상태를 이루어 자립성을 향상시키는 개념이다. 이들 보강토 공법은 토목섬유를 사용하는 방식에 의해 여러

가지 공법들이 개발되고 연구되고 있으며, 이중 우리나라에서 도로 성토용으로 폭 넓게 쓰이는 공법에는 판넬식과 블록식이 있다. 이 들 벽면을 가지는 보강토 공법에서는 여러 가지 설계법이 제안되어 있으나, 보강토 옹벽의 배면의 주동영역을 상정하고 벽면에 작용하는 주동토압을 상정하여 이에 저항하는 보강재의 배치, 길이를 구하는 것이 일반적이다. 이 경우 저항영역에서의 보강재 인발저항에 의해 평형을 이루는 것으로 가정하며, 대표적인 보강토공법의 설계절차와 고려 사항을 그림 1에 나타내었다.

보강토의 형식이 선정된 경우는 사용 보강재의 설계강도는 재료의 장기 안정성과 보강 구조물의 전체적인 내구성을 고려하여 결정해야 한다. 일반적으로 사용하는 보강재의 허용인장강도는 부분안전율 개념을 도입하여 재료의 극한인장강도를 감소계수 또는 안전계수로 나눈 값이 된다. 적용되는 감소계수는 설치시 손상, 화학적 및 생물학적 조건에 의한 영향, 지오그리드의 발생 가능한 크리프 변형 고려 및 점접연결에 대한 항목이 적용된다. 또한 그림 1의 고려사항들을 검토하여 보강토 옹벽의 구조가 보강재의 내적, 외적안정 및 벽체에 작용하는 토

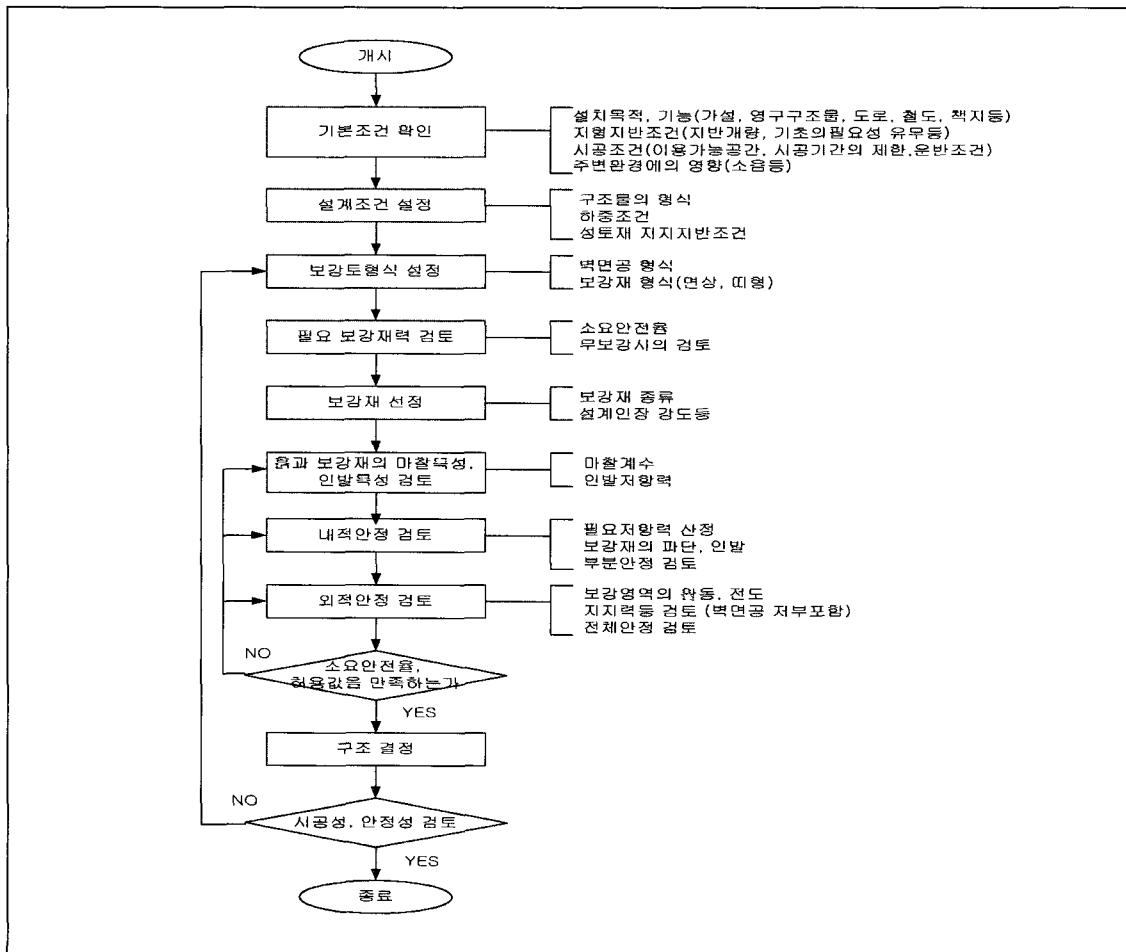


그림 1. 보강토 설계 및 시공절차

압이나 기타 외력에 의해 발생하는 단면력에 대해 충분한 안정성을 확보하도록 선정한다.

노한성(한국도로공사), 김영운(보강기술)

3. 도로포장 분야

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 내구성을 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 보강효과

를 높이고 차수효과도 고려할 수 있도록 지오그리드와 지오택스타일(geotextile)을 결합한 형태의 제품과 고강도 유리섬유사를 2층으로 서로 직교하게 배열한 후 아스팔트로 도포한 복합포 형태의 유리섬유 시트 제품들이 개발되고 있다.

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 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 현

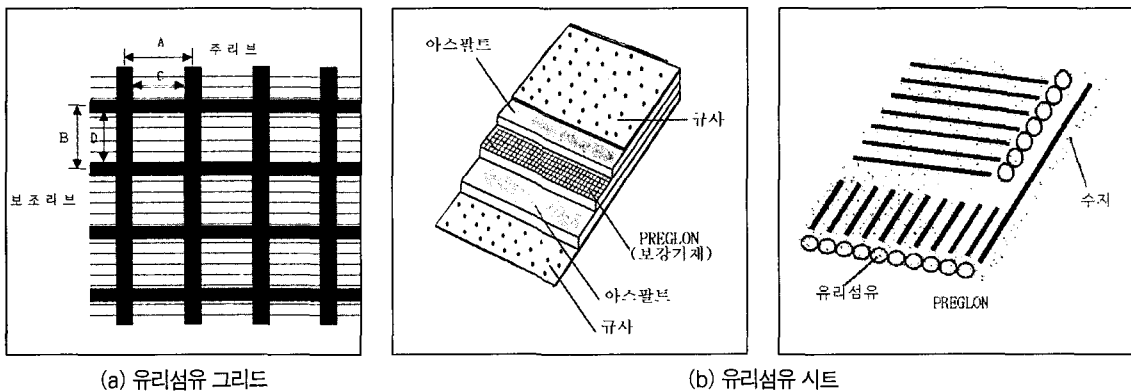


그림 2. 최근 개발된 도로표층 보강용 토목섬유

장 시험시공을 통한 시공성 및 경제성 평가와 장기 추적조사를 통한 공용성 평가가 수행될 예정이다.

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 있는데(그림 3), 주요 기능은 표 1과 같다. 지오그리드는 기층(또는 보조기층)의 하단, 즉 기층(보조기층)과 노상의 경계면에 설치하는 것이 보통이며, 기층이 두꺼울 경우는 그 층의 중간에 설치한다. 그림 4는 국내에서 교통하중에 의한 하부구조물의 응력 저감을 위하여 지중강관구조물의 토피부인 노상층에 지오그리드를 설치한 사례이다. 근래에는 지오그리드와 비슷한 용도로 지오셀을 적용하기도 하며, 배수나 분리 기능만이 요구될 때에는 지오텀스타일을 사용한다.

이러한 도로 노반이나 노상부에서의 토목섬유 사용은 외국에서는 오래전부터 상용화된 기술로서,

표 1. 도로 기층/보조기층에 설치하는 지오그리드의 주요 기능

| 주요 기능 | |
|--------|---|
| 역물림 효과 | 기층과 노상의 경계면에서 골재와 역물림 상부하중 작용시 골재의 수평이동을 방지. |
| 보강 효과 | 설치 부위의 인장강도를 증대. |
| 구속 효과 | 골재 기층 하단에 균일한 구속면을 형성하여 포장면의 소성변형시 노상부의 일부가 융기되어 기층으로 파고드는 것을 방지함 |
| 분리 효과 | 기층의 일부가 노상으로 관입되는 것을 방지하여 기층의 두께를 균일하게 유지함 |

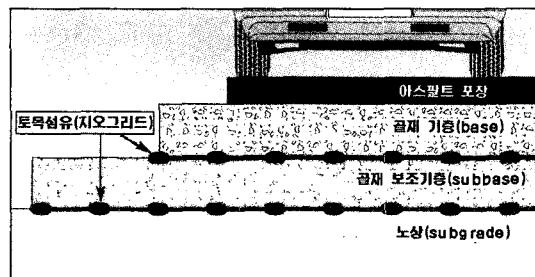


그림 3. 지오그리드 보강 기층의 개요도



그림 4. 구조물 토피부(노상)의 지오그리드 보강사례

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 건설에 산절감 및 공기단축 등의 효과가 인정되고 있으므로, 국내에서도 조만간 일반화될 것으로 기대된다. 조삼덕(한국건설기술연구원), 조성민(한국도로공사)

4. 철도분야 보강

4.1 서언

국내 철도분야에서 본격적으로 토목섬유관련 연구를 시작하게 된 것은 고속철도 노반에 토목섬유를 적용, 노반의 강성을 증가시키고자 하는 연구(99년)부터였다. 이후 철도분야에서 토목섬유를 적용하려는 연구가 활발히 진행되어, 기존선 노반확폭을 위해 기존 보강토 공법을 재검토하였고(01년), 블록식 보강토 옹벽에 대한 실험형시험을 통해 열차반복하중에 대한 안정성 평가를 수행하였다(02년). 또한 새로운 보강토 옹벽공법 개발을 위해 단섬유 보강매트릭스를 배면토체에 적용함으로써 철도 보강토 옹벽으로의 적용가능성을 확인하였다(02년).

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(02년).

지금까지의 연구를 통해 철도분야에서의 토목섬유 연구는 많은 연구잠재성을 가지고 있으며 향후 국제수준에 접근할 수 있도록 노력중이다. 다음 그림 5는 국철과 고속전철의 선로연장에 대한 비율로써, 향후 기

존선 유지관리 측면, 즉 기존선 노반확폭 등 잠재적 적용가능성이 매우 높음을 간접적으로 알 수 있다.

4.2 철도분야 토목섬유관련 연구

4.2.1 국외 연구동향

보강토 이론이 프랑스의 Vidal(1966)에 의해 제시된 후 지금까지 개발된 대표적인 공법은 연속사를 이용한 Texol 공법, 영국의 York 공법, 미국의 MBW 공법, MSE 공법, RSS 공법, 일본의 RRR, GRS-RW 공법 등을 들 수 있다. 특히 일본의 RRR 공법 등은 실제 철도현장에도 적용되어 현재까지 영구구조물로서 우수한 성능을 발휘하고 있다.

다음 그림 6과 그림 7은 독일과 일본의 철도분야 적용사례를 보여준다.

4.2.2 국내 연구개발 현황

4.2.2.1 블록식 보강토 옹벽연구

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 8 참조).

블록식 옹벽의 시공에 있어서 국내의 경우, 모르터를 사용하지 않고 전단키를 사용하여 연속적으로 블록을 축조하는 시스템(Dry-Stacked System)이

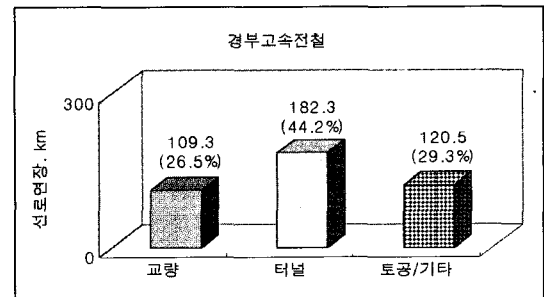
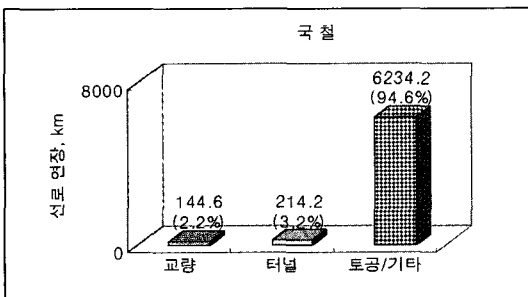


그림 5. 국철과 고속전철의 선로연장에 대한 비율

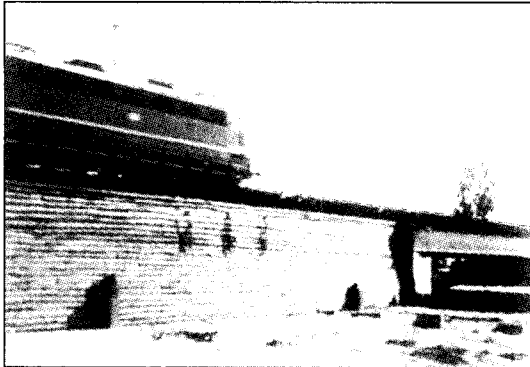


그림 6. 독일의 적용사례

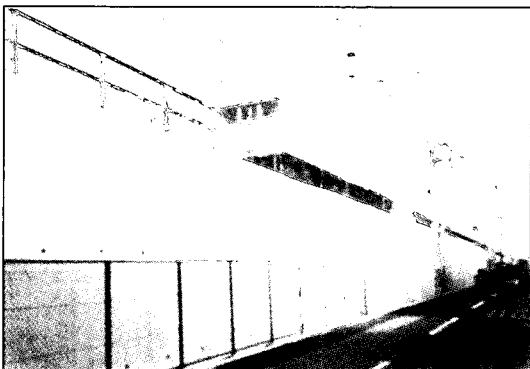
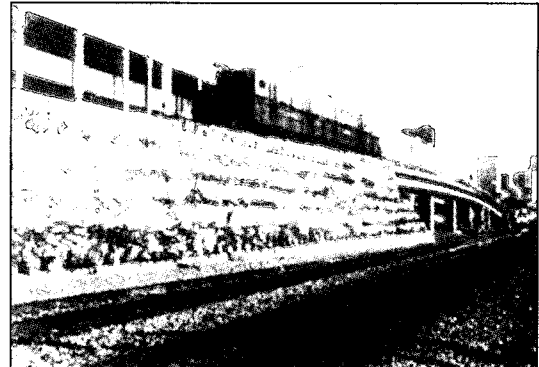


그림 7. 일본의 적용사례

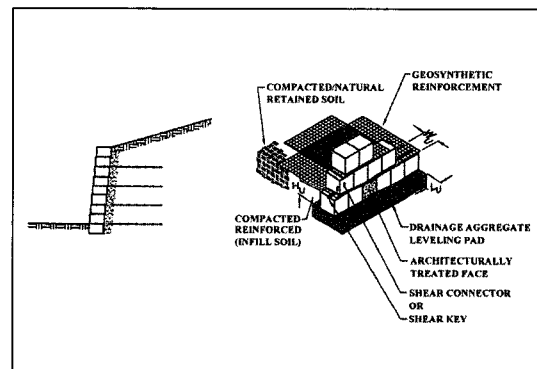


그림 8. 블록식 보강토 옹벽(NCMA, 1997)

보편적으로 적용되고 있다. 블록식 보강토 옹벽은 토목섬유 또는 강제 보강재를 사용하여 토체의 유효폭과 중량을 증가시키게 되는데, 토목섬유로서는 고인장강도의 폴리에틸렌 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 고

려한 모사 열차하중 재하 실험시험을 수행하였다. 블록식 전면벽 및 배면 토체의 토압 및 변위분포, 토체 내부 지오그리드의 인장변형을 분포에 대한 연구결과, 블록식 전면벽에 작용하는 모사열차하중의 미소한 영향 그리고 지오그리드와 블록식벽체의 자중으로 인한 토체의 구속효과에 의한 변위 억제효과 등과 같은 블록식 보강토 옹벽의 성능을 직·간접적으로 확인함으로써 철도 토구조물로서의 적용 가능성을 평가하였다.

4.2.2.2 단섬유 보강토 활용연구

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, 실험형 시험 등을 통해 공법의 적용성을 평가 중에 있다.

다음은 단섬유보강토를 적용하여 기존의 시공된 사례를 보여준다.

먼저 그림 9는 단섬유보강토와 지오그리드를 복합적으로 사용하여 보강토 옹벽을 시공한 사례로서, 단섬유보강토는 강도증가를 위해 안정처리토에 단섬유를 혼합하였다. 그림 10은 일본 천내천반야(川内川飯野)지구 제방공사 모습으로, 단섬유를 이용한 사면표층처리 사례를 보여준다.

4.2.2.3 지오백(geobag) 활용연구

매년 장마철이면 게릴라성 호우 또는 폭우에 의해 선로가 유실되는 경우가 많이 발생되고 있다. 이로 인한 철도노반 및 선로연변 사면재해를 복구하

는데 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 처리문제를 자연스럽게 해결하며 더 나아가 시공시 환경오염을 최소화시킬 수 있어 자연적 환경친화적 기술로 크게 평가받고 있다.

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

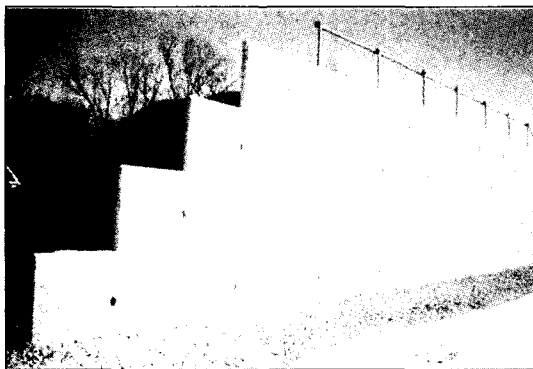


그림 9. 지오그리드와 개량토를 조합한 보강토 옹벽
(HybWall : Hybrid Reinforced Wall)

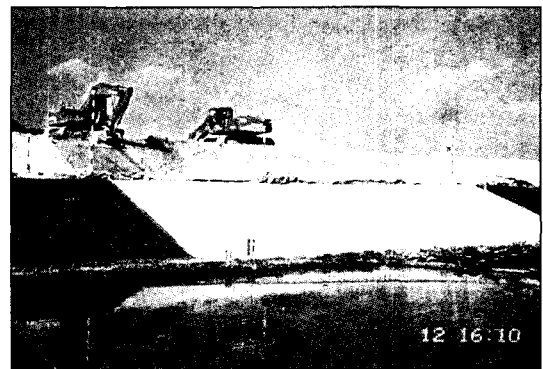


그림 10. 단섬유를 이용한 사면표층처리 사례 :
(川内川飯野)지구 제방공사

4.3 결론

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 노력 중이다.

이에 한국철도기술연구원은 국내 철도관련 대학, 연구기관, 토목섬유 관련학회, 그리고 산업계 전문가분들의 자문과 폭넓은 공동연구를 통해 철도분야에서의 관련기술 저변확대와 향후 철도 특성에 적합한 공법 및 신기술 개발에 매진할 예정이다.

박영곤, 신민호(한국철도기술연구원),
심재범(한국철도대학)

5. 지반환경에서 토목섬유의 최신동향

5.1 서론

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 어려

움을 초래하고 있다. 설사 부지가 확보된다고 해도 'NIMBY' 현상에 따른 주민 여론 수렴이 가장 어려운 과제이기도 하다. 따라서 국토의 현실성으로 보아 우리 나라에서 부지 선정은 계속과 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·시공 시에 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.

5.2 폐기물 매립지의 구조

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 인간 생활에 악영향을 미치고 토양 및 지하수 오염 등 이차적인 환경문제를 야기할 수 있다.

폐기물 매립지는 그림 11과 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

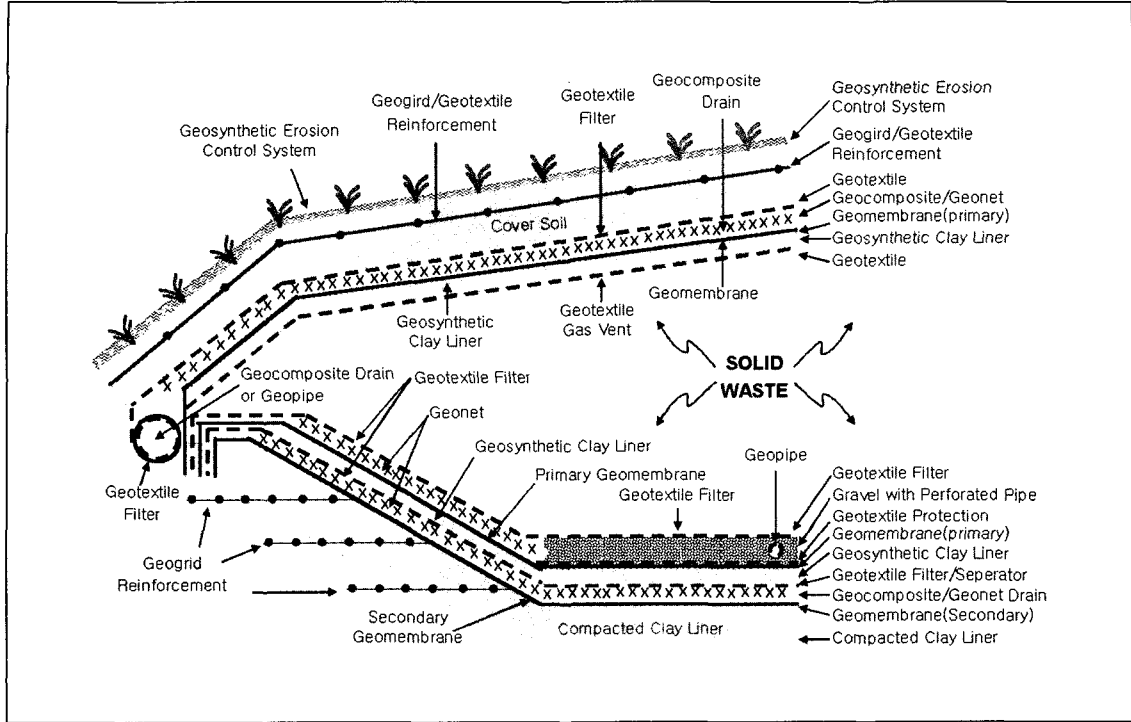


그림 11. Geosynthetics를 이용한 폐기물 매립지의 구성(Robert M. Koerner, 1994)

있어서도 상당한 어려움을 겪고 있다. 이러한 침출수의 발생에 따른 차수를 위해 바닥층의 안전한 설계와 시공이 우선적으로 이루어져야 한다.

일반적으로 바닥층은 다짐점토, Geomembranes, Geotextile, 그리고 흙과 Membrane의 합성으로 차단층을 구성하며, 침출수 집배수시설은 흙과 투수성이 큰 모래와 자갈로 구성되어 있다. 그림 1에서는 토목섬유를 이용하여 바닥층을 구성하고 있다. 다짐점토층위에 Geomembrane, Geocomposite, Geonet, Geotextile, Geosynthetic Clay Liner, Geopipe 등을 포설하여 이중 차수층의 구조로 바닥층을 구성하고 있으며, 사면부의 배수층은 자갈 대신 포설이 용이하고 구조적인 안정성을 가지는 Geonet을 이용하였다.

폐기물 매립이 완료된 후 실시되는 최종복토층 또한 폐기물 매립지에서 바닥층 만큼 중요한 시설 중 하나이다. 최종복토층은 (1) 우수를 지표면으로

유출을 증진하여 매립장 안으로 침투를 억제시키며, (2) 폐기물의 노출시 자연환경위생에 대하여 완충작용을 하며, (3) 매립지의 침하 및 침강을 완충하는 기능을 수행하며, 매립장 건설시 가장 필수적인 요소 중 하나이다. 최종복토층의 구성은 아래로부터 가스포집층, 차단층, 배수층, 보호층, 지표층으로 구성되며, 그림 11에서는 Geotextile, Geosynthetic Clay Liner, Geomembrane, Geocomposite/Geonet, Geogrid/Geotextile, Geosynthetic erosion control system을 이용하여 최종복토층을 구성하고 있다. 그림 11의 최종복토층의 특징은 차단층의 구성에 있어 다짐점토층을 대신하여 Geosynthetic Clay Liner(GCL)를 포설한 것이다. 다짐점토층은 시공시, 건조 및 동결/융해 현상에 의해 균열(crack)이 발생하는 제한적 요소를 갖고 있어 많은 연구가 되어져 왔다. 따라서, 이러한 균열 발생을 저지·억제하기 위하여 그림 11에서와 같이 포설이 용이하고,

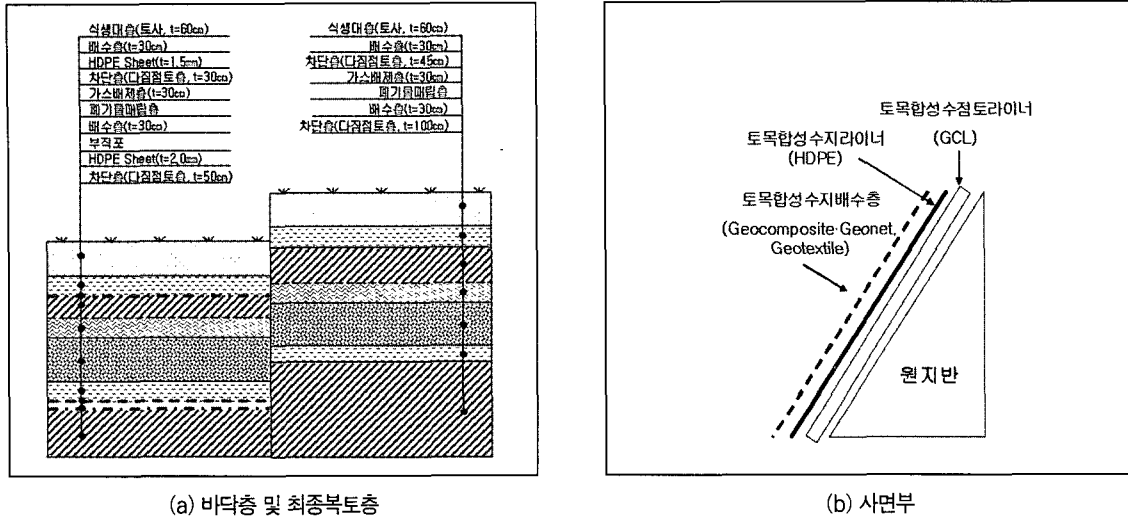


그림 12. 국내 폐기를 매립지 설치규정

균열 발생에 자가치유(self-healing)의 기능을 가지고 있는 GCL을 포설하거나, 최근에는 다짐점토층에 섬유(fiber)를 첨가하여 균열의 발생을 저감하는 연구가 되고 있는 실정이다. Miller and Lee(2002)는 점토에 polyethylene 섬유를 무게비로 0.8% 첨가했을 때 최대 88.6%의 균열이 감소하였으며, 일반다짐점토보다 일축압축강도가 40~50% 증가하였다고 보고하였다.

5.3 국내외 법규를 통한 폐기를 매립지에서 토목섬유의 활용

국내 폐기물 매립지의 바닥층과 최종복토층에 대한 규정은 폐기물 관리법 시행규칙 별표 7과 8에서 규정하고 있다. 바닥층은 점토·점토광물혼합토 등 점토류 라이너, 고밀도폴리에틸렌 또는 이에 준하는 재질의 토목합성수지라이너를 사용하여 차수시설을 설치하고, 경사가 급한 사면에서 점토류 라이너를 설치하는 것이 불가능한 경우에는 동등 이상의 차수효과를 가지는 토목합성수지점토라이너 등으로 포설할 수 있도록 규정하고 있다. 침출수 집배수층은 모래 및 자갈 등 투수계수가 큰 물질이 사용

되지만, 사면부에는 토목합성수지라이너위에 매립하중 상태에서 투과능계수가 1초당 3만분의 1제곱미터 이상인 Geocomposite/Geonet, Geotextile 등 토목합성수지배수층을 설치하도록 하고 있다.

최종복토층은 아래로부터 가스배제층, 차단층, 배수층, 식생대층을 차례대로 설치하도록 되어 있으며, 차단층의 구성은 점토·점토광물혼합토의 단독사용이나, 합성고분자차수막을 복합적으로 사용하도록 규정하고 있으며, 배수층은 모래 등으로 포설하거나 복토하중 상태에서 투과능계수가 1초당 3만분의 1제곱미터 이상인 Geocomposite/Geonet 또는 Geotextile 등의 토목합성수지를 설치하도록 규정하고 있다.

국내의 폐기물 매립지에 대한 규정을 그림으로 그림 12에 나타내었다. 그림 12에서 보는바와 같이 매립지에서 토목섬유의 사용은 매립공간을 증가시킬 수 있으며 매립지 안정화, 시공의 간편성, 경제성 등의 장점을 가지고 있으나 국내에서는 토목섬유의 사용은 활발하지 않다고 할 수 있다. 외국의 경우, 폐기물 매립지 설계·시공에 있어 토목섬유에 대한 많은 실험적 연구를 통하여 매립지의 안전 및 발전을 위하여 바닥층과 최종복토층에서

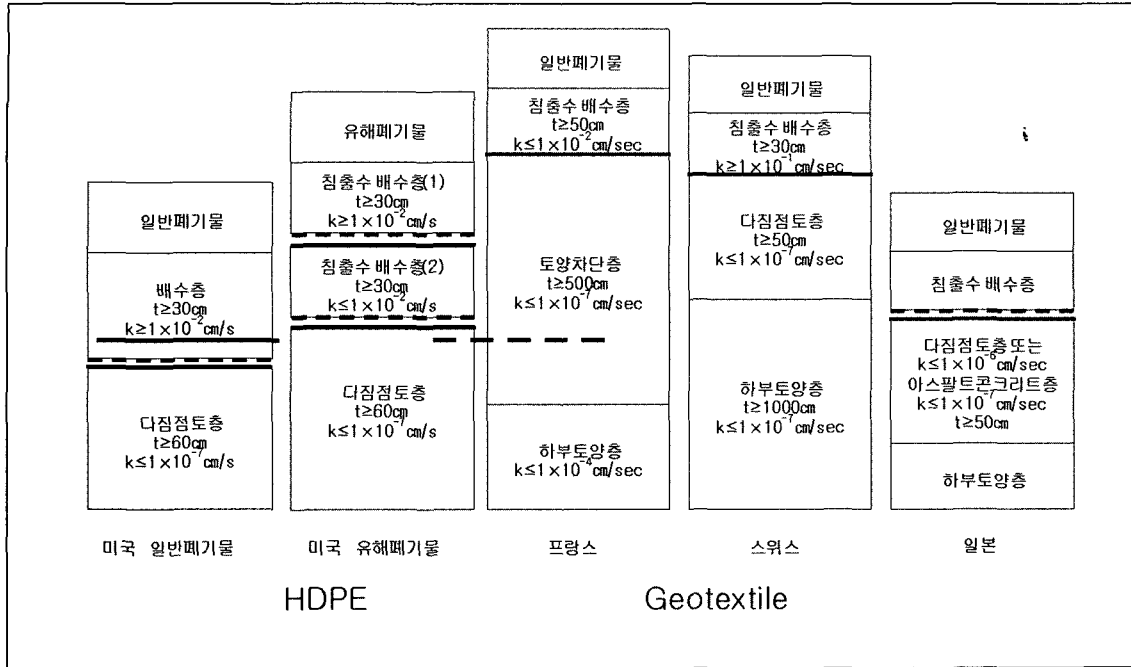


그림 13. 토목섬유를 이용한 국외 폐기물 매립지 바닥층의 구성

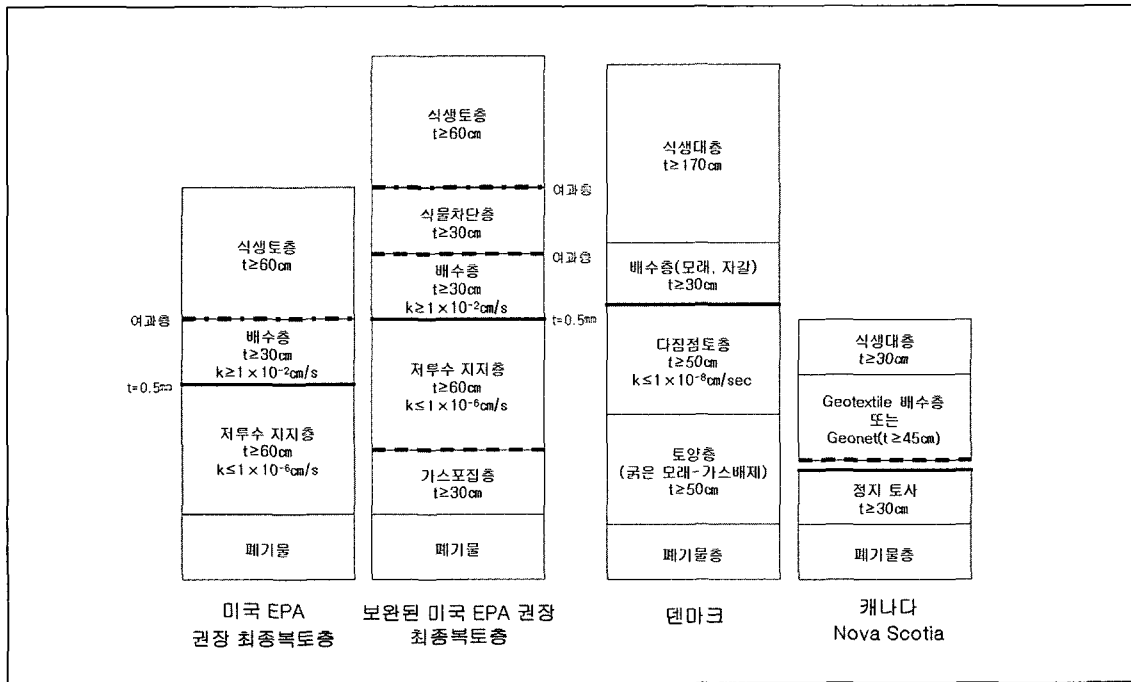


그림 14. 토목섬유를 이용한 국외 폐기물 매립지 최종복토층의 구성

Geomembrane, Geosynthetic Clay Liner, Geotextile, Geocomposite 등의 사용이 증가하고 있다. 그림 13 및 14는 토목섬유를 이용한 국외의 폐기물 매립지의 구성을 나타낸 그림이다

5.4 결론

우리 나라의 현실에서 매립지 부지선정은 많은 어려움이 있으며, 국토의 현실성으로 보아 계속과 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 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.

이재영(서울시립대학교), 장연수(동국대학교)

6. 해양에 사용되는 토목섬유

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 곤란

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

6.2 종류 및 적용 방법(사례) 연구

1) 종류

지오 시스템은 폴리 프로프레인 및 폴리에스터로 직조한 토목 섬유로 제작된다. 지오 시스템은 적용하는 해안, 하천의 수심, 구조물의 용도, 공사의 위치 즉, 수중 혹은 육상 및 적용 목적과 시공 방법의 용이성, 구조적 안정성 및 재료의 경제성 등을 고려하여 그 종류 및 형태를 결정하며, 제품은 공장 제작하여 공급한다.

① 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 기준 합니다. 해안 혹은 하천에 연하여 설치된 지오 튜브 표면에는 해조류 및 따

개비 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 다음과 같은 이점을 제공한다.

- 1) 공사량 및 공사 기간을 절감 시킨다.
- 2) 공사 비용이 저렴하다.
- 3) 전문 인력 및 특수 장비가 필요치 않다.
- 4) 현장 재료를 사용할 수 있다는 장점이 있다.
- 5) 유지 관리 보수가 용이하다.

■ 지오 튜브 적용 방안 (사례)

- 해양 공학 분야

- a. 해안선 침식 방지 제방 - 강릉, 영진항(영진 재해 위험지구 정비사업)
- b. 매립지 제방
- c. 방사제
- d. 방사제/방파제 코어
- e. 준설토 투기장 제방
- f. 생태/철새 도래지, 조류 서식지 인공섬 제방

- 환경 오염물 처리 분야

- a. 항만 하부 준설 충전 탈수 처리
- b. 공장 폐수 처리장 슬러지 충전 탈수처리
- c. 오염된 내륙 호수바닥 준설 충전 탈수처리
- d. 축산 폐기물 탈수 보관 처리

- 기타

- a. 방파제 상단 높이 긴급 보강
- b. 핵 발전소 수로(유입, 퇴수) 수심 유지

② 지오 콘테이너 (Geo-container)

지오 콘테이너는 지오 튜브와 동일한 섬유로 공장에서 제작된다. 공장 제작된 지오 콘테이너를 바

지선에 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) 모양입니다. 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 다음과 같은 장점을 보유하고 있다.

- 1) 현장 토사 혹은 준설한 재료를 즉시 사용할 수 있다.
- 2) 수중 투하하여 제방으로 사용시 침식이 발생하지 않는다.
- 3) 공사 기간이 대단히 짧다.
- 4) 재래식 재료나 공법에서 보다 정확하고 수중 재료의 유실이 적다.
- 5) 상대적으로 조류, 파도, 기상 영향을 적게 받는다.
- 6) 대형 공사에서 공사 비용이 대단히 저렴하다.
- 7) 공사 방법이 단순하다.

■ 지오 콘테이너 적용 방법(사례)

- 해양 공학 부분

- a. 수중 제방
- b. 방파제 코어
- c. 수중 구조물(인공 서핑용 제방)
- d. 지오 튜브와 병행 사용한 방사제
- e. 수중 침식부분 봉쇄
- f. 해저 구조물 보호 누름 덮개
- g. 구조물 쇄굴 부분 봉쇄
- h. 매립지 제방

- 환경 보호 보호 부분

- a. 오염 준설토 보관 투기

- b. 오염 물질 보관 투기
- c. 하천 항로 유지

③ 지오 백(Geo-bag)

지오 백은 폴리 프로프레인 혹은 폴리 에스터 재질로 제작된 대형 샌드백 모양으로서 그 용량은 1m³ 에서 10m³ 정도이며 크기 및 용량은 조절될 수 있습니다. 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 경우는 10kN/m 정도의 강도로 제작되며, 큰 백의 경우는 100kN/m 강도로 제작 합니다. 모래로 채운 지오 백은 모래가 안정되는 한계로 인하여 유속이 1.5m/s 에서 2.0m/s 이상은 부적합하며, 파도 높이가 1.5m 이상일 경우도 부적절하다.

지오 백 시공은 재래식 재료 및 공법에 비하여, 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 1) 시공 비용이 저렴하고
- 2) 공정이 단순하며
- 3) 제품이 공장 제작됨으로 품질 및 규격이 일정하다

■ 지오 백 적용 방법(사례)

- a. 붕괴 구조물(제방, 교대, 방파제, 해안도로 등) 보수
- b. 제방 또는 완만한 경사 구조물
- c. 구조물 선단 보호 구조물
- d. 피라미드식 방사제 /구조물
- e. 임시 또는 영구 해안 옹벽 및 방사제
- f. 임시 또는 영구 방파제
- g. 매립지 제방
- h. 수중 구조물 보호 덮개
- i. 수중 구조물 손상 방지용 받침

③ 오타방지막(Silt Protector)

해양 및 하천공사의 매립에서 준설시 오타수의 유출 확산으로 인한 주변수역의 수산자원 및 자연

환경에 심각한 영향을 미치므로 어민들의 생계수단 보호와 자연환경의 보전을 도모하는데 있다.

- 준설, 매립공사시 해중에 압출되는 토사 또는 실트 확산 방지
- 항로준설, 세굴 등에 의한 해수오타방지
- 공장 배수에 의한 오염확산방지

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

④ 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 가끔적 넓게 하여 제체말에 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, 나일론천(다공성이어야 함)등에 벗짚, 가마니 또는 버드나무 가지등을 한데 엮어 사용하는 것은 인장력을 더욱 강화시켜 부설 후에 압성 사석이나 돌망태 투하 때 파손되지 않도록하기 위한 것이다.

- 기초지반에 화학섬유 매트리스를 사용시 필요조건
 - 투수성이면서 배면의 토립자가 통과되지 않을 것
 - 재료의 구조가 강력한 조류속에 견딜 것
 - 화학 및 생물학적 작용에 영향이 없을 것
 - 재하중에 견딜 수 있는 인장력을 가진 것
- 장용채(목포해양대학교)

7. 결 언

본 고에서는 토목섬유분야와 관련된 최근의 연구 동향과 기술 등을 적용분야를 중심으로 알아 보았다. 바쁘신 중에도 본 고의 작성을 위해 많은 노력을 기울여 주신 토목섬유기술위원회 집필진에게 감사의 말씀을 드린다. 2004년 6월에는 국제토목섬유학회 아시아지역 학술발표회가 한국 IGS주관에 의해 서울에서 열리는데, 전 세계 학자들과 기술자들이 참여하여 토목섬유와 관련한 최신기술을 소개하는 많은 논문들이 발표될 예정으로 있다. 토목섬유에 관심을 갖는 회원들은 GeoAsia2004에 꼭 참석하셔서 토목섬유기술의 진수를 맛보실 수 있기를 기대한다.

주재우(순천대학교)

참고문헌

1. 한국도로공사(1998), 고속도로공사 전문시방서(토목편).
2. 한국도로공사(1997), 특수공중 시공 및 품질관리 지침서.
3. 이승, 김홍석, 이재영, 폐기물 매립지 바닥층의 고투포설시 동결/융해 현상에 관한 연구, 한국폐기물학회, 1999
4. 환경부, 폐기물 관리법, 2001
5. C. J. Miller, J. Y. Lee, Impact of Fiber Additive on Clay Liner Performance, Proceeding of the 6th International Symposium Environmental

Geotechnology and Global Sustainable Development, 2002

6. David E. Daniel, Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapman & Hall, 1993
7. FHWA(1996), Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slope Design and Construction Guidelines.
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, pp233-242
9. L.Palossy, P.Scharle and I.Szalatkay(1993), Earth Walls, Ellis Horwood.
10. Robert M. Koerner, Designing with Geosynthetics third edition, Prentice-Hall, 1994
11. U. S Environmental Protection Agency(USEPA), Design and Construction of RCRA/CERCLA Final Cover System, CERL 90~50, 1990

학술발표회 논문 요지 제출

2004년 학술발표회 논문 요지 제출 마감일이 2003년 8월 31일입니다. 이를 기억하시고 기한 내에 논문 요지 제출을 부탁드립니다. 요지 양식은 학회 홈페이지에 있습니다.