



토목섬유의 기능과 활용

글 | 김창수 | 토목기술부 과장

전화 02-3433-7767 E-mail : conshot@ssyenc.com

토목건설용 고분자 재료란 모래, 흙, 자갈 등의 환경에 사용되는 섬유, 고분자 재료로서 토목공사의 시공기술과 밀접한 관계가 있는 제품이며 직포, 부직포, 매트 등과 같은 직물형태와 플라스틱, 멤브레인, 압출판 및 3차원 압출성형 구조물, 네트 등과 같은 고분자 제품이 광범위하게 포함되고, 토목섬유를 이용한 다양한 공법의 개발로 효과적이고 경제적인 시공방법이 제시되고 있다.

이에 토목섬유의 역사와 종류, 기능, 적용방법 등에 대해 알아보고 현장 적용시 도움이 되고자 한다.

1. 서론

토목건설용 고분자 재료란 모래, 흙, 자갈 등의 환경에 사용되는 섬유, 고분자 재료로서 토목공사의 시공기술과 밀접한 관계가 있는 제품이며 직포, 부직포, 매트 등과 같은 직물형태와 플라스틱, 멤브레인, 압출판 및 3차원 압출성형 구조물, 네트 등과 같은 고분자 제품이 광범위하게 포함된다.

1-1. 토목섬유의 활용 배경 및 역사

토목건설용 고분자 재료가 본격적으로 사용된 1970년대 초기에는 주로 토사의 세굴방지과 여과의 목적으로 이용되었다가 그 후에는 지반의 분리, 보강 또는 배수의 기능으로 널리 이용되어 왔으며 최근에는 방수, 균열방지, 지반구조물 보호, 충격흡수 등의 목적으로 사용되고 있다.

우리나라의 경우 토목건설용 고분자 재료의 사용분야는 주로 매립

지의 연약지반보강, 옹벽 및 사면보호 등이다. 이러한 토목건설용 고분자 재료 사용량의 추세는 2002년을 기준으로 볼 때, 세계적으로 10억^{m²} 이상이 사용되었으며 국내에서도 약 1,000만^{m²}가 소요되었고 향후 그 사용량이 급격히 증가할 전망이다.

섬유재료를 각종 토목공사에 이용하기 위한 시도는 아주 오랜 옛날부터 이루어져 벚짚, 보릿짚, 버들가지, 갈대 등의 천연재료를 보강재 및 필터재 등으로 사용한 기록이 있으나, 이러한 천연 섬유재료들은 강도, 내구성, 재료구입 및 품질관리 등의 문제점으로 인해 토목재료로서 광범위하게 사용되지 못하였다.

그러나 보다 경제적이고 효과적인 재료를 얻고자 하는 토목기술자 및 섬유기술자들의 연구결과 1960년대 이래 고분자합성섬유제품인 토목섬유(Geosynthetics)가 개발되어 이러한 천연 섬유재료의 문제점을 해결하였다. 또한 우수한 시공성, 적용성 및 경제성 등을 갖추고 있어 최근 각종 토목구조물에 보강, 필터, 배수, 분리, 봉쇄 및 침식방지재 등으로 폭넓게 사용되고 있다.

이러한 토목섬유는 폴리프로필렌(Polypropylene), 폴리에스터(Polyester), 폴리에틸렌(Polyethylene), 폴리아크릴니트릴(Polyacrylonitril), 나일론 등의 합성섬유를 직조하여 형성된 다공성 제품인 지오텍스타일(Geotextile)과 차수용 제품인 지오멤브레인(Geomembranes), 고강도 제품인 지오그리드(Geogrids) 및 지오텍스타일 관련제품 등을 포함한다.

토목섬유는 초기에는 직포(Woven Geotextile)와 부직포(Nonwoven Geotextile)를 대변하는 용어로 사용되었으나, 최근에는 다양한 제품의 개발과 적용으로 보다 광범위한 섬유재료를 대변할 수 있는 용어인 Geosynthetics로 사용되고 있다. Geosynthetics라는 용어는 Geomechanics와 Synthetics가 합쳐져서 만들어진 용어로, 1986년에 개최된 국제 토목섬유학회에서 국제 통용어로 제안되어 사용되고 있다.

토목섬유는 선진 외국에서 1960년대 초에 하천제방, 사면보호를 위해 필터용 지오텍스타일(Geotextile)을 최초로 사용한 이래 눈부신 성장을 계속하여 현재는 각종 토목구조물에 연간 약 10억^{m²} 이상의 물량이 다양한 용도로 사용되고 있다.

국내에서는 1972년 아산방조제공사에 보강용 토목섬유(Woven Geotextile)가 최초로 사용되었으며, 1975년 창원종합기계공업단지 조성공사에 연약지반보강용 및 수직배수공법(Paper Drain공법)에 약 420,000^{m²}의 토목섬유가 사용되었다. 특히 1977년대를 기점으로 대단위 항만, 간척사업과 임해공업단지 조성공사가 활발히

진행되면서 연약한 지반조건의 개선 및 공사비 절감 등의 목적으로 사용된 토목섬유의 효과가 인정을 받아 대량으로 토목섬유가 사용되는 계기가 마련되었다. 이와 함께 해당 연구과제와 관련된 기술교류 등을 통해 토목기술자와 섬유기술자 사이의 상호협조 체제가 형성되면서 국내 토목섬유의 질적, 양적 성장을 이룩하는 토대가 마련되었다.

1-2. 토목섬유의 활용

- 1) 배수용 : 세립토, 콘크리트와 같은 투수성이 낮은 토목재료 또는 지오멤브레인 등과 밀착된 상태로 설치하여 물이 배수구로 흐르게 한다.
- 2) 방수 또는 차수용 : 물의 출입을 차단한다.
- 3) 여과용 : 조립토와 세립토 또는 부유세립토 사이에 설치하여 물의 흐름에 따른 세립토의 이동을 최소화 방지하면서 물을 여과시킨다. 일방향 정류흐름과 양방향 동류흐름에 대한 용도로 적용되며 전자의 경우는 암거보호용, 후자는 호안의 사면보호용으로 사용된다.
- 4) 액체 필터용 : 물이 흐르는 곳에 설치하여 물은 이동시키며 미립자 및 불순물은 통하지 못하게 한다.
- 5) 지지용 : 빈 공간을 가진 토목재료와 지오멤브레인 사이에 설치하여 토목재료위의 지오멤브레인이 파괴되는 것을 방지한다.
- 6) 분리용 : 모래, 자갈, 잡석 등의 조립토와 세립토의 혼합을 방지한다.
- 7) 표면유지용 : 토목건설용 고분자 재료를 지반 위에 설치하여 평평하고 깨끗한 표면을 조성, 유지시킨다.
- 8) 커텐기능용 : 흙이나 암석면에 평행하게 설치하여 토사가 떨어지는 것을 방지한다.
- 9) 막기능용 : 서로 다른 압력의 차이를 받고 있는 두 재료 사이에 설치하여 토목건설용 고분자 재료의 인장강도에 의

한 압력차를 조절한다.

- 10) 연결용 : 두 층의 지반이 분리되는 것을 방지하기 위해 설치한다.
- 11) 모음기능용 : 외력에 의해 토사가 불안정화 되는 경우 토사를 모아준다.
- 12) 보강용 : 토목건설용 고분자 재료의 인장강도에 의해 지반구조물의 역학적 안정성이 증가된다.
- 13) 흡수기능용 : 지반에 전달되는 하중과 변형률을 분산시키거나 감소시킨다.
- 14) 균열방지용 : 토중의 구조물과 지반사이에 발생하는 균열의 발생과 성장을 방지한다.
- 15) 접착기능용 : 토목재료사이에 설치하여 마찰이나 부착력을 증가시켜 재료사이의 결합력을 증가시킨다.
- 16) 윤활기능용 : 접착기능용에 대한 반대 의미로 토목재료사이의 부착력이나 마찰력을 감소시킨다.

1-3. 적용공법 및 세부사항

토목건설용 고분자 재료의 세부 적용공법에 따른 주요 용도를 다음과 같이 나타내었다.

1) 방조제, 호안

- 토사입자의 유출방지로 인한 사면보호
- 세굴방지와 불균등 침하방지
- 수중의 초연약지반과 성토재의 탁월한 분리효과
- 구조물의 안정화

2) 도로, 비행장

- 지지력 보강으로 전단파괴 방지
- 보조기층의 유효 두께 유지
- 노상과 노반의 분리와 포장의 균열방지



3) 연약지반 단지조성

- 연약지반의 지지력보강과 부등침하방지
- 보강토 옹벽
- 연약지반의 조기압밀촉진
- 지중의 과잉간격수압의 저하
- 성토재와 불량토의 분리와 중장비용 도로확보

4) 운동장, 철도, 터널

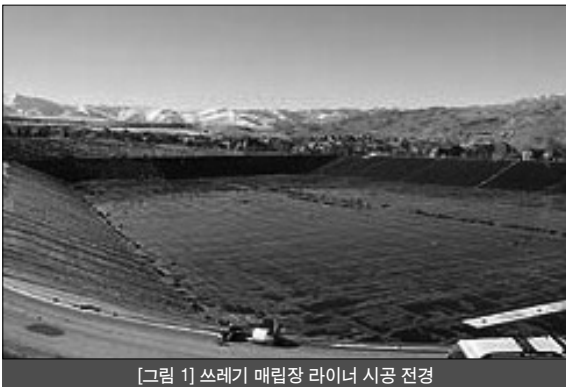
- 과잉공극수 배수와 지반의 지지력 보강
- 터널의 배수유도와 토사유입방지
- 양질토와 불량토의 혼합방지와 쇄석의 노상유입 방지

5) 흙댐, ROCKFILL 댐

- 댐 상류부와 하류부의 사면보호
- 초과수량에 의한 댐 하류부의 침식방지
- 댐 구조물의 안정화
- Chimney 배수재료와 블랭킷 재료

6) 쓰레기 매립장

- 라이너 재료와 그 파손방지
- 라이너 하부의 집수된 물의 배수
- 라이너 하부의 연약지반 보강



[그림 1] 쓰레기 매립장 라이너 시공 전경

2. 토목섬유의 기능

2-1. 토목섬유의 종류

토목섬유 제품은 다양한 섬유형상의 결합에 의해 제조되며 크게 직포형 및 부직포형 지오텍스타일, 지오그리드, 지오네투, 지오멤브레인, 지오웹, 지오복합포 및 지오텍스타일 관련제품으로 구분되며 이들의 기본적인 제조방법과 특성은 다음과 같다.

1) 지오텍스타일

(1) 직포형 지오텍스타일

필라멘트사 또는 방적사를 이용하여 경, 위사를 직각 형태로 교차해 만든 형태로 기본조직은 평직, 능직, 주자직으로 구분되고 사용되는 실은 보통 1,000~3,000 데니어 정도의 실을 연사하여 사용하며, 직물 밀도는 경, 위사방향으로 인치당 19~21개가 일반적이다. 섬유원료는 주로 폴리에스테르와 폴리프로필렌 섬유가 사용되고 있으나 폴리프로필렌 섬유는 내광성이 약한 단점이 있다.

(2) 부직포형 지오텍스타일

장섬유나 단섬유를 랜덤하게 배열하여 결합시킨 형태로 단섬유의 경우 니들펀칭법을 이용, 제조하며 장섬유의 경우 스펀본딩법으로 중량 200~800g/m² 정도로 적층하여 니들펀칭 또는 열응착 등의 방법으로 결합시킨다. 일반적으로 구성섬유들이 Random Entangled된 구조를 형성하고 있어 역학적, 수리적 특성이 우수하며 폴리프로필렌과 폴리에스테르 섬유가 주로 이용되고 있다.

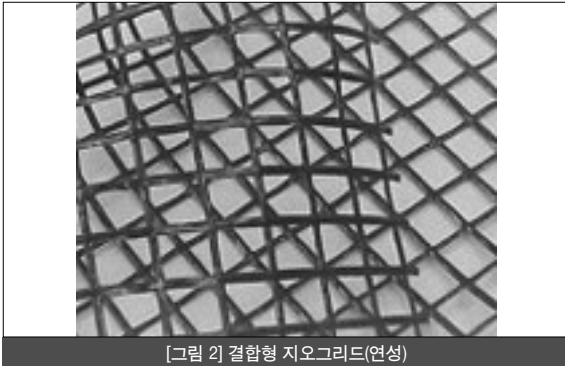
2) 지오멤브레인

지오멤브레인은 액체 봉쇄를 목적으로 최근 널리 사용되고 있으며 국제산업직물협회(IFAI : Industrial Fabrics Association International))에 의하면 위험한 폐기물, 산업용과 가정용의 쓰레기 매립, 흙댐 및 터널방수 등 특별한 용도에 사용된다. 지오멤브레인에 사용되는 고분자의 주요소재는 PVC와 HDPE, CSPE(Chloro Sulfonated Polyethylene) 및 CPE(Chlorinated Polyethylene)등 이다.

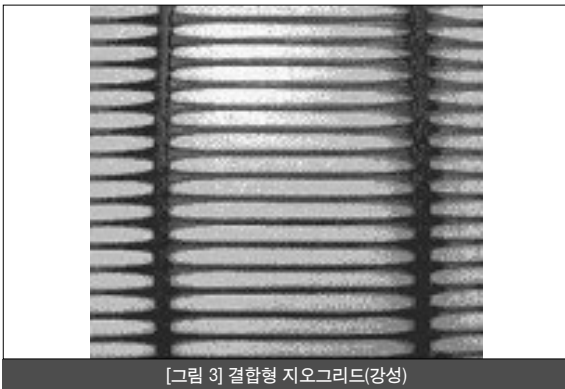
3) 지오그리드

지오그리드는 폴리머를 판상으로 압축시키면서 [그림 2], [그림 3]과 같이 격자모양의 그리드 형태로 구멍을 내어 특수하게 만든 후, 일축 또는 이축으로 연신하여 제조한다. 연신과정에서 작은 구멍

들은 보통 10~50mm크기의 타원 혹은 원형모양의 큰 구멍으로 되어 있으며 분자배열도 잘 조정되어 결과적으로 높은 강도를 나타내므로 지반보강용으로 사용되며, 폴리올레핀과 폴리프로필렌 및 PVC 코팅재료가 널리 사용된다.



[그림 2] 결합형 지오그리드(연성)



[그림 3] 결합형 지오그리드(강성)

4) 지오웹

지오웹은 띠 형태를 가진 매우 거친 폴리에스테르 섬유와 직포형태와 HDPE 띠를 초음파로 접착하여 형성되는 세포망 형태로 구분되며 침식방지와 지반보강용으로 널리 사용되고 있다.

5) 지오네트

지오네트는 그림 4에서처럼 일정한 각도로 Strand를 교차한 2세트의 평행한 구조를 가지며 각각 교차점의 가닥들은 용융, 접착되고 주로 폴리에틸렌이 사용되고 있다.

6) 지오매트

지오매트는 Semi-Rigid Monofilament로 구성되어 있으며 직경은

1mm 보다 작고 매우 주름이 넓게 퍼져있는 3차원적으로 엉켜있는 구조를 이루고 있다.

7) 지오셀

지오셀은 서로 연결된 셀로 구성되며 각각의 셀은 두꺼운 매트릭스에 의해 혼으로 채워지고 제방을 쌓는데 기초 보강재 역할을 하며 연약지반의 얇은 퇴적물 위에 적용된다. 일반적으로 100에서 200mm깊이의 지오셀은 니들편칭된 폴리에스테르의 작은 조각이나 100에서 200mm 넓이와 약 5m의 길이로 된 고체 HDPE를 이용하여 제조된다. HDPE 지오셀은 지하토양 보강을 위해 과립상 물질을 채우는 용도로 사용되어 왔으며, 점진적인 Stacking과 지오셀층 위에 다른 층을 채우는 경사 건설에 사용되어 왔다.

8) EPS공법

EPS 공법은 건설분야에서 토목섬유로 대표되는 폴리머계의 합성 재료 활용분야 중 뛰어난 공학적 특성으로 인해 사용량이 점차 증가하고 있다. 이러한 EPS공법은 최근 미국토목학회(ASCE)에서도 설계, 시공병행(Fast Track) 방식으로 수행한 슬트레이크 외곽 15번 고속도로 확장공사에 적용한 후 기술적인 탁월성을 인정하여 2002년 OCEA로 선정함으로써 우수성이 확인되고 있다.

이와 같이 해외에서는 이공법이 토목의 한 분야로서 자리매김하고 있으나 국내의 경우, EPS공법에 대한 현장의 품질관리가 다소 미흡하여 공법의 발전을 더디게 하고 있다. 1972년 노르웨이에서 경량성토재로서 최초 적용된 EPS공법은 현재까지 유럽, 일본, 미국 등지에서 몇 건의 파괴사례가 보고되고 있다.

여기서 EPS공법의 파괴란 EPS 블록으로 구축된 구조물이 과도한 변형이나 손상에 의해 건설계획 단계에서 예상했던 기능을 수행하지 못할 상태에 이른 것을 말하는데 해외에서의 파괴사례는 대부분 화재나 지하수위, 홍수에 의한 부력에 의한 것이었다.

9) 기타 토목섬유 관련 재료

(1) 콘크리트 강화용 섬유복합재료

섬유와 부직포 및 직물을 이용하여 콘크리트의 균열을 방지하고 역학적 특성을 향상시킬 목적으로 섬유복합재료가 사용된다. 강화 섬유로는 탄소섬유, 금속섬유, 아라미드 섬유, 유리섬유 등이 주로 사용되며 나일론, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리에스테르, 레이온, 스팸덱스 등이 이용되기도 한다. 또한 직경 0.8~15mils, 길이



0.5~2.0in의 섬유를 이용하고 강화섬유의 첨가로 다음과 같은 개선을 기대할 수 있다.

- 균열에 대한 저항력의 증가
- 균열된 부분의 공유
- 열 변화 및 열 수축에 대한 저항력의 증가
- 내구성의 향상 등

(2) 지오텍스타일 관련제품

지오텍스타일 관련제품으로서 사면보호용으로 널리 사용되는 폴리에스테르 섬유의 이중직물 형태인 섬유거푸집(Fabric Form)과 Nylon 6 또는 PVC로 만든 3차원 입체망상 형태의 Enka Mat, 항만 등의 간척공사의 오탁수 확산을 방지하는 오탁방지막(Slit Protector) 등이 있다.

3. 설계

3-1. 토목섬유 차수재의 설계기준 일반

1) 설계하중의 결정

토목섬유를 이용한 차수공의 설계는 외적 물리적 하중뿐만 아니라 생물학적 그리고 화학적 내구성을 반영해야 하는 점에서 일반 토목 구조물의 설계와 다르다. 토목섬유를 이용한 차수시스템을 설계하는데 있어서 기본이 되는 것은 차수재에 작용하는 구조적 힘의 체계와 한계를 설정하고 차수재의 강도가 차수재에 작용하는 하중에 의한 작용력에 충분히 지탱할 수 있으며 침출수 및 주변 환경에 대한 내구성 확보에 적합한 차수재의 종류나 규격을 결정하여야 한다.

설계를 위한 하중조건은 두 가지의 측면에서 검토되어야 하는데 하나는 차수재에 작용하는 외력이며 다른 하나는 접촉 물질과의 화학적 작용성이다. 설계에서 안전율을 적용함으로써 확인되지 않은 요소들에 의한 차수재의 파괴 또는 수명 단축을 예방할 수 있다. 설계에서 부적합한 결과가 도출되었을 경우 문제를 해결하는 방법은 '하중의 감소', '차수재의 강도증가(규격을 증대시킴)', '재질을 바꿈'의 세 가지 중에서 택할 수 있다.

(1) 수리학적 하중 및 가스압

일반적으로 수리학적 하중에는 세 가지 종류가 있는데 파랑(Waves), 흐름(Current), 정적 수두차(Static Head Differences)가 이에 속한다. 가스압은 차수시스템 아래에서 가스가 밀집함으로써 발생하거나 매립폐기물 내에서의 발생가스에 의한 차수재에 작용

하는 압력을 의미한다. 설계에 반영해야 할 각 요소들에 대하여 기술하면 다음과 같다.

① 파랑(Waves)

파랑에 의한 하중의 크기는 파랑의 높이와 흐름의 경사에 의해서 결정된다. 차수막 위에 보호층 또는 배수층 등의 상부층이 없을 때는 차수막에 작용하는 하중은 차수막에 인장력으로 작용한다. 그러나 차수막 위에 보호층 또는 배수층 등의 상부층이 있을 때는 하중은 보호층 또는 배수층으로 전달되는데 보호층 또는 배수층이 자갈층이라 하더라도 차수막에는 집중하중으로 작용하지 않는다. 파랑작용에 의해서 발생하는 하중은 차수막의 이동을 유발하는데 이로 인하여 차수막 하부 지반 표면의 흡입자를 교란하고 차수막의 손상을 초래한다. 따라서 이에 대응하는 충분한 차수막 자체 무게를 갖도록 설계하여야 한다.

② 저장액의 흐름(Current)

개수로 등과 같은 시설에서 흡입자를 동반하는 흐름에 발생되는데 차수막의 상부에 보호층이 없는 경우 흡입자의 유동에 의하여 차수막의 표면이 침식된다. 따라서 보호층에 의한 방지대책이 요구된다. 또한 소용돌이와 같은 흐름이 예상되는 부분에서는 차수막이 들뜨는 현상이 발생되는데 이러한 지역에서는 자갈층을 포설함으로써 방지할 수 있다.

③ 정상류의 수두경사

수두경사가 심하게 되면 흐름의 속도가 빨라지며 이로 인해서 차수막이 부상하려는 경향이 발생된다. 이때는 자갈층을 포설하여 처리할 수 있는데 자갈층과 차수막 표면 사이의 마찰을 고려하여 sliding에 대하여 안정하게 설계하여야 한다.

④ 가스압력

차수막 아래의 지반이 피트(Peat)등의 유기성토로 이루어져 있거나 굴착공사시 지하수위가 저하되었다가 시공완료 후 다시 회복되는 경우 가스 또는 공기가 상승하면서 차수막에 부압으로 작용하게 된다. 특히 폐기물매립지의 최종덮개로서 차수막을 시공하는 경우는 폐기물 내에서 발생하는 가스의 상승으로 차수막 아래에 집중하여 폭발의 위험성을 내재하기도 한다. 이러한 구조에서 차수막을 설치하는 경우 가스를 배제할 수 있는 시설을 하거나 차수막 하부에 가스 배제층을 설치하여야 한다.

(2) 지반공학적 하중

① 상재하중에 의한 지표면 돌출부에서의 안전성

차수재의 평면상에 작용하는 하중으로는 차수재가 지반과 밀접해

있는 경우 지표면의 돌출면에서 상재하중에 의하여 차수재가 파괴될 우려가 있다. 이때의 하중에 의한 차수재의 파괴 가능성은 시간의 경과에 따라서 더욱 심각해져 가는데 차수재의 강도에 의한 저항력은 돌출부의 모양이나 돌출정도에 크게 좌우된다. 이러한 편칭파괴를 방지하기 위해서는 지표면의 흙의 입도, 최대입경, 흙의 종류 등을 제한할 필요가 있다.

이 제한규정은 시설의 종류, 차수재의 강도 및 두께에 따라 달리할 수 있는데 일반적으로 차수재를 설치하기 전의 지반은 세사를 사용하여 최대입경을 5mm이하로 해야 한다. 이와 같이 표면이 고르지 못한 지반에 차수재를 설치할 때는 설계하중으로 차수재의 파괴에 대한 안전성을 시험에 의하여 확인한 후 시공하여야 한다.

② 지반 부등침하에 의한 안전성

상재하중에 의해 지반에 부등침하가 발생하면 차수재에는 인장력이 작용하게 되어 차수재의 인장파괴에 대한 원인이 된다. 따라서 연약지반이 존재하는 지역에서는 대책공법의 계획이 필요하며 전 지역에 걸쳐 부등침하가 발생하지 않도록 필요한 조치를 해야 한다. 연약지반이 존재하거나 부등침하가 예상되는 지역에서는 인장강도에 있어서 충분한 안전율을 가지도록 차수재를 선정해야 한다.

③ 보호층에 의한 차수재의 안전성

일반적으로 차수재의 상부에 보호층을 설치하는데 이에 따라 야기되는 문제들은 보호층이 이동하여 보호층으로서의 역할을 상실하거나 보호층에 가해지는 하중이 미찰력으로서 차수재의 표면에 작용하여 차수재의 인장파괴를 야기하는 등이다. 특히 이러한 현상은 사면부나 경사진 곳에서 발생하는데 경사가 급할수록 심하다. 사면에 설치하는 차수재는 상재하중에 의해 인장력을 받게 되며 인장력의 크기는 차수재와 접촉해 있는 재료와의 접촉마찰각과 깊은 관계를 가지고 있다. 따라서 차수시스템의 설계시에는 접촉마찰각을 시험에 의해 확인해야 한다.

차수재에 인장력이 작용하므로써 차수재가 사면의 하단 방향으로 이동하거나 파괴되는 경향이 있으므로 사면부에 차수시스템을 설치하는 경우는 반드시 차수재의 끝부분을 사면의 상단에 정착시켜야 한다. 이때 차수재의 정착길이 및 정착공법은 설계하중에 대하여 충분한 안전율이 확보되도록 설계해야 한다.

(3) 생물학적 영향

차수시스템은 항상 주변 환경 조건과 접촉하여 있으므로 주변에 존재하는 여러 가지의 물질 또는 생물에 의해 영향을 받게 된다.

① 미세유기체에 의한 영향

균류에 의한 차수재의 손상이 발생하는데 이것은 유기물질에 의해 큰 영향을 받는다. 따라서 분해성이 있는 유기물질의 저장시설에는 특별한 고려를 해야 한다. 차수재로 사용될 재료 및 접합재 그리고 접합 완료된 재료는 차수시스템이 설치될 지역의 토양시료를 가지고 생물학적 반응시험을 실시하거나 시험에 의해 재질이 인정된 것을 사용해야 한다. 반응시험은 충분한 수분과 미세유기체를 함유하는 흙을 3cm 두께로 두 개의 층을 형성하고 그 사이에 차수재를 삽입하여 28℃ ± 1℃의 어두운 곳에서 12개월 동안 방치하여 둔다. 여기서 사용하는 흙시료는 거의 포화된 흙을 사용하며 실내의 공기도 유기체의 성장을 위해 아주 습한조건을 유지하여야 한다. 균류에 대한 플라스틱의 저항특성시험은 ASTM G2에 규정하고 있다.

② 식물에 의한 영향

식물이의 뿌리가 성장함으로써 차수재에 손상을 입힐 수도 있다. 이에 대한 방지대책으로 차수재와 보호층 또는 인접층 사이에 여과재(Polyester Sheet)를 설치한다.

③ Algae의 영향

차수재의 표면에 algae가 생식하여 건조하게 되면 차수재에는 인장응력이 발생하게 된다. S

참고문헌

1. 건설교통부, 도로교표준시방서, 1996.
2. 한국토목섬유학회, 토목섬유의 특성평가 및 활용기법, 2007.
3. 한국지반공학회, 토목섬유, 1998.
4. 한국지반공학회, 토목섬유를 이용한 얇은 기초의 지지력 효과, 1993.
5. 한국지반공학회, 2003년 봄 학술발표회, 2003.