

| 토목섬유기술위원회 |

토목섬유의 적용 분야

토목섬유기술위원회

본 고는 국제토목섬유학회(IGS)의 교육위원회에서 검토·제시한 토목섬유의 대표적 활용분야에 대하여 지반공학회 회원님들께 소개하고자 합니다. 원고는 국내 각 분야별 12인의 집필위원에 의하여 작성되었으며, 본 자료의 재사용은 출처를 명기하는 경우에만 가능함을 알려드립니다.

1. 토목섬유의 기능

신은철(인천대학교)

토목섬유는 다양한 재료를 합성한 것으로 지반공학, 지반환경공학, 수공학, 도로공학 분야에 사용되도록 만들어졌다. 토목섬유의 주요한 기능은 분리, 여과, 배수, 보강, 차수 및 가스차단, 침식방지이다. 많은 경우에 토목섬유는 두 가지의 기능을 서로 복합적으로 사용할 수 있다.

• 분리

토목섬유는 서로 다른 입자를 가지고 있는 흙의 두 층을 분리하기 위해 사용한다. 예를 들면, 도로의 기층이 하부 노상토와 서로 혼합되는 것을 방지함으로써 도로의 기층두께를 일정하게 유지시키며, 도로의 제기능을 수행할 수 있게 한다. 토목섬유의 분리기능은 분니현상으로 인해 노상토의 작은 입자가 도로의 기층

으로 침투해 들어오는 것을 막는다.

• 여과

토목섬유는 상부쪽의 흙입자를 그대로 유지하고 물을 이동시키는 여과 역할을 한다. 예를 들면, 물이 흐를 때 흙입자가 배수 시설이나 유공관안으로 이동하지 않게 하는 데 이용된다. 이와 반대기작으로 토사의 유실을 억제하여 토목섬유는 쇄석이나 호안석 하부에 설치하여 파도로 부터 해안을 보호하며, 또한 침식으로 부터 강둑을 보호한다.

• 배수

토목섬유는 투수계수가 작은 토립자를 통해 액체가 흐르도록 도와주는 배수 역할을 한다. 예를 들면, 도로 제방 저부에 발생된 간극수압을 소산시키는데 사용된다. 배수량이 많은 경우에는 지오컴포지트 배수재가 사용된다. 지오컴포지트는 도로가장자리, 사면, 옹벽 등의 배수용도로 사용된다. 연직 배수재 (PVDs)는 압성토제방이나 매립지등 연약점토지반의 압밀을 촉진하기 위해 사용된다.

• 보강

토목섬유는 보강이 안 된 지반에 토체의 결합을 유도

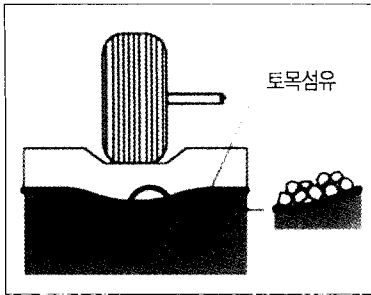


그림 1. 분리기능

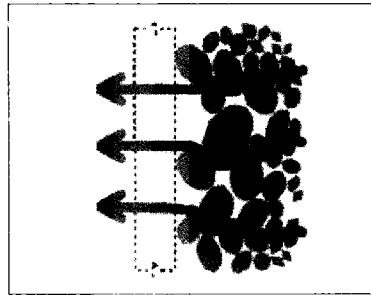


그림 2. 여과기능

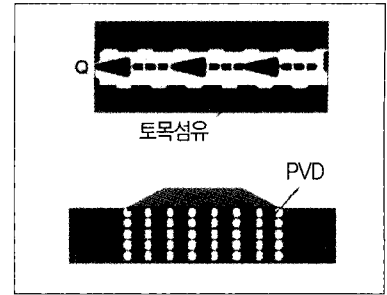


그림 3. 배수기능

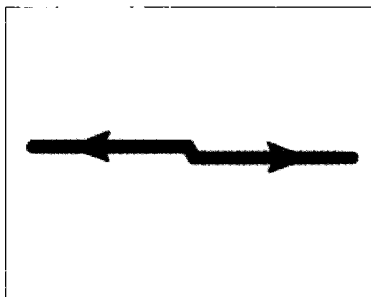


그림 4. 보강기능

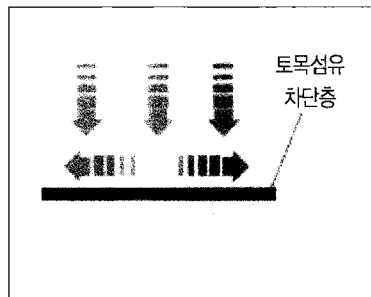


그림 5. 차단기능

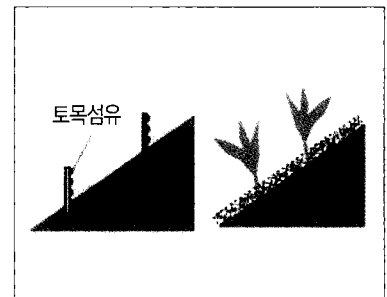


그림 6. 침식방지기능

하여 강도를 향상시키는 보강재 역할을 한다. 예를 들면, 지오텍스타일(geotextiles)과 지오그리드(geogrids)는 토체의 인장강도를 증가시켜 보강된 벽체의 경사가 수직이나 거의 수직에 가깝도록 만드는데 사용된다. 보강이 되지 않은 지반과는 달리 연약한 지반에서도 제방을 축조할 수 있으며, 제방의 경사를 높일 수 있다. 또한, 토목섬유(보통 지오그리드)는 도로나 철도의 입상토층 하부 또는 폐기물매립지 최종 복토층 하부에 발생 가능한 공동에 대비하여 지반을 보강하는 역할을 한다.

• 액체/가스 차단시설

토목섬유는 유체나 가스가 거의 통과할 수 없는 차단층 역할을 한다. 예를 들면, 지오멤브레인(얇은 필름과 같은 지오텍스타일 합성섬유, 토목섬유 점토 차수재(GCI))와 표면방수 처리한 지오텍스타일은 액체나 가스의 흐름을 못하게 하는 차수재로 폐기물 매립장 등에서 사용된다.

• 부식, 침식방지

토목섬유는 강우로 인한 충격과 표면을 흐르는 물에 의해 발생하는 흙의 침식을 감소시킨다. 토목섬유 매트와 경량토목섬유 매트를 사면 표면에 설치하여 각각 일시적 또는 영구적으로 토사의 침식을 방지할 수 있다. 지오텍스타일 실트 펜스는 강우로 인한 토사침전물의 이동을 방지한다. 최근 개발된 침식방지 매트는 생화학적으로 분해 가능한 식물의 섬유 조직을 사용하여 제조한다.

또한 지오텍스타일은 다른 목적으로도 사용된다. 예를 들면, 아스팔트 포장 보강용도로 사용되며, 시공중 또는 사용중에 쓰레기나 배수용 잡석, 흙속에 포함되어 있는 돌에 의한 지오멤브레인(응력 접촉면의 감소)의 천공 방지를 위한 완충층으로도 사용된다. 지오텍스타일은 폐기물매립장에서 바람이나 새에 의해 느슨한 쓰레기가 날리는 것을 예방하기 위한 매일복토재로 사용된다. 또한, 지오텍스타일은 유연성이 있는 콘크리트 거푸집과 모래주머니를 만드는데 사용된다. 이중지오텍스타일로 만들어진 원통형의 지오투브는

충진물을 채워 해안침식 방지를 위한 제방이나 슬러지 탈수를 위해 사용된다.

2. 토목섬유의 종류

전한용(인하대학교)

토목섬유는 제조 방법을 토대로 광의적으로 분류할 수 있다. 토목섬유의 현재의 명칭과 간략한 설명을 아래에 나타내었다.

지오텍스타일은 직포, 부직포, 편물 또는 스티치 본딩된 섬유 또는 실의 연속체 쉬트이다. 쉬트는 유연성이 있고 투과성이 있으며 일반적으로 겉모양이 직물형태이다. 지오텍스타일은 분리, 여과, 배수, 보강 그리고 침식방지 용도로 사용된다.

지오그리드는 개방된 격자구조와 같은 외관을 갖는 토목섬유 재료이다. 지오그리드의 주요 적용분야는 보강토 용이다.

지오네트는 일정한 예각으로 교차된 거칠고, 평행하고, 압출된 고분자 스트랜드 두 개의 세트에 의하여 형성된 개방형 그리드와 같은 재료이다. 상대적으로 많은 양의 유체 또는 기체를 운송하기 위하여 평면상 다공성 쉬트 형태의

망상구조로 되어있다.

지오멤브레인은 한 종류 또는 그 이상의 고분자재료로 제조된 유연성의 연속상 쉬트이다. 지오멤브레인은 상대적으로 불투수성이고, 액체와 가스 저장시설의 차단재 또는 증기 차단막으로도 사용된다.

지오컴포지트는 두 종류 또는 그 이상의 토목섬유를 결합하여 만들며, 예를 들면, 지오텍스타일-지오네트, 지오텍스타일-지오그리드, 지오네트-지오멤브레인 또는 토목섬유점토차수재(Geosynthetic Clay Liner) 등이 해당된다. 지오텍스타일 필터에 의해 감싸여진 플라스틱 배수용 코어로 제조된 지오컴포지트 배수재(PGD) 또는 연직배수재(PVD) 등이 있다.

토목섬유점토차수재(GCLs)는 지오텍스타일 또는 지오멤브레인에 벤토나이트 점토를 접착 시키거나 지오텍스타일 하부층과 상부층 사이를 벤토나이트 클레이로 충전시켜 제조한 지오컴포지트이다. 지오텍스타일로 제조된 토목섬유점토차수재는 종종 내부 전단저항을 증가시키기 위하여 벤토나이트 층을 꼬매거나 또는 바늘로 관통하여 꿰매기도 한다. 벤토나이트가 수화되었을 때 액체 또는 가스에 대한 차단막으로서 효과적이다. 그리고 일반적으로 지오멤브레인과 함께 사용하여 매립지에서의 차수재로서 사용된다.

지오파이프는 고분자(polymeric)로 만든 유공관이며 액

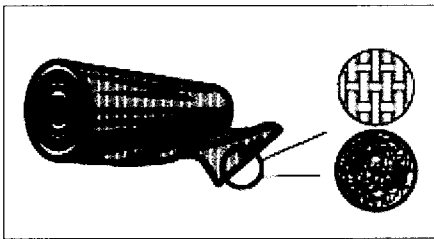


그림 7. 지오텍스타일

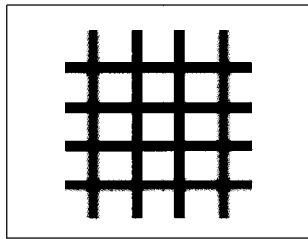


그림 8. 지오그리드

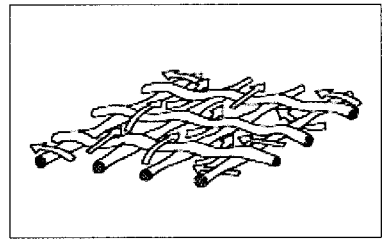


그림 9. 지오네트

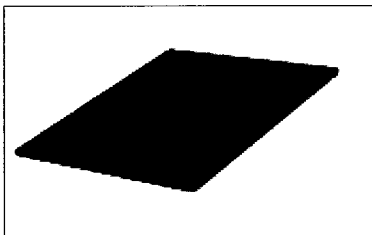


그림 10. 지오멤브레인

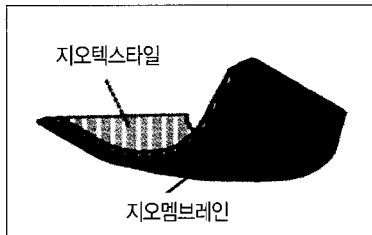


그림 11. 지오컴포지트

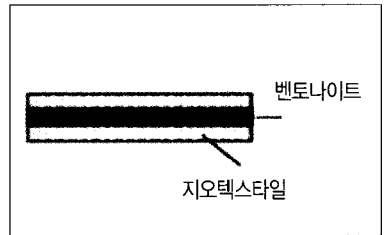


그림 12. 토목섬유점토차수재

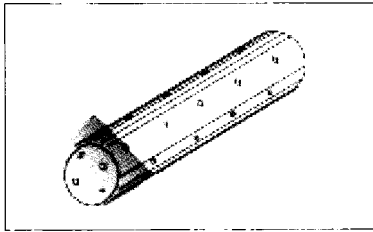


그림 13. 지오파이프

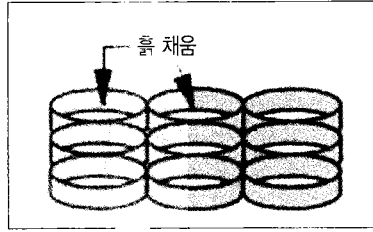


그림 14. 지오셀

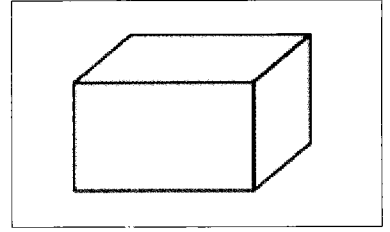


그림 15. 지오펜

체 또는 가스의 운송을 위하여 사용된다(매립지 적용 시 침출수 또는 가스 포집에도 적용). 유공관을 지오텍스타일 필터로 감아놓은 제품들도 있다.

지오셀은 상대적으로 두께가 두꺼우며, 띠 형태의 고분자 쉬트르 제조된 3차원의 망상구조로 되어있다. 띠는 채움재인 흙과 또는 콘크리트로 충전되어 셀 형태로 서로 연결되어있다. 어떤 경우에는 0.5m~1m 광폭 띠형태의 폴리에틸렌 지오그리드를 지오매트리스(geomatresses)라고 불리우는 두꺼운 지오셀의 층을 형성하기 위하여 수직의 고분자 봉으로 연결시키기도 한다.

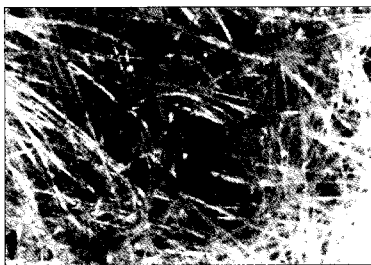
지오펜 블록이나 판상형태로 가스가 충전된 폐쇄된 저밀

도 망상구조를 형성하기 위하여 폴리스틸렌 폼을 발포시켜 제조한다. 지오펜은 단열재로 사용되며 경량 충전재로써 또는 단단한 벽체에 작용되는 수평 토압을 경감시키기 위하여 압축 가능한 연직층의 재료로써 사용된다.

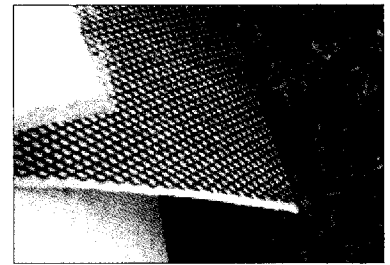
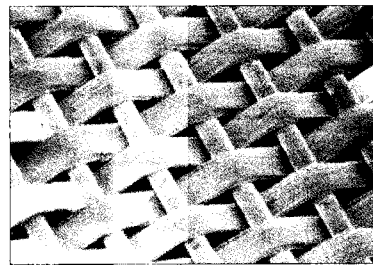
3. 토목섬유 배수재와 필터재

유승경(명지전문대학)

토목섬유는 토목 및 환경 분야에서 배수재와 필터재로서, 모래나 자갈 같은 입상재료의 대체 재료로 효과적으로

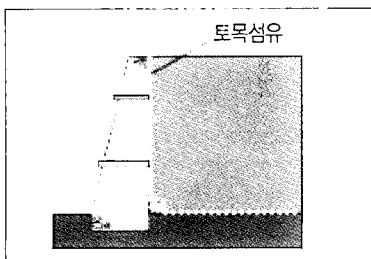


(a) 부직포와 직포 지오텍스타일(확대 모습)

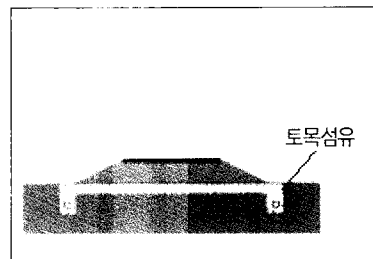


(b) 지오펜복합 배수재

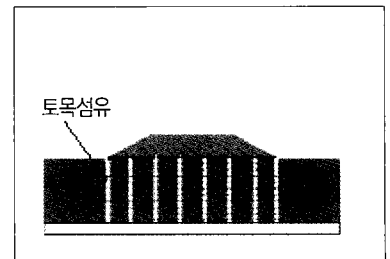
그림 16. 배수와 필터용 토목섬유



(a) 옹벽 구조물

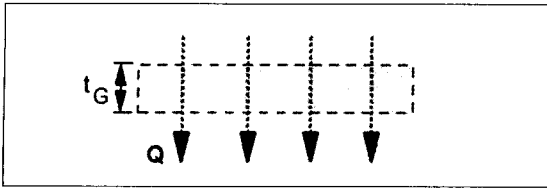


(b) 포장

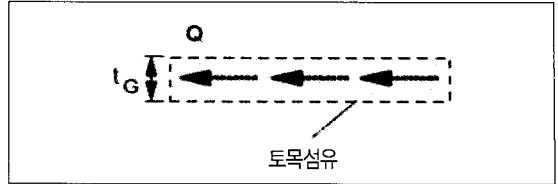


(c) 방사형 배수

그림 17. 배수재와 필터재로서 토목섬유의 적용



(a) 토목섬유 평면을 따라 발생하는 흐름



(b) 토목섬유 평면을 관통하는 연직방향 흐름

그림18. 토목섬유 내에 발생하는 흐름

사용될 수 있다. 토목섬유는 현장에서 설치가 쉽고, 환경적 규정에 의해서 입상재료를 쓸 수 없거나 설계 시방기준을 규정을 만족하는 입상재료의 입수가 용이하지 못한 경우에는 경제적인 대안으로 사용될 수 있다.

배수와 필터 용 지오텍스타일 및 지오펜포지트는 옹벽 구조물, 제방, 침식방지, 폐기물 매립지 등에 사용될 수 있다.

배수재로서, 토목섬유는 유체나 기체가 토목섬유 단면의 종횡 방향을 통해 자유롭게 흐를 수 있는 수리학적 조건을 만족하게 제조할 수 있다.

지오텍스타일 필터재는 흙속에서 물의 흐름을 방해하지 않는 시방조건을 만족할 수 있도록 해야 한다.

이와 관련된 기준은 아래 식과 같이 규정되어 있다.

$$FOS \leq nDs$$



그림 19. 지오텍스타일 시공

여기서, FOS는 지오텍스타일의 유효입경으로, 지오텍스타일 내부의 간극 및 압축 크기와 연관된다. n은 사용된 기준에 의존한 상수이다. 그리고 Ds는 보호되어야 할 흡입자의 크기이며, 일반적으로 흡입자의 통과 백분율이 85%에 해당되는 토립자의 직경을 의미하며 D85를 사용한다.

필터재는 구조물의 내구년한 동안 보호되어야 할 흙보다 훨씬 더 우수한 투수성을 유지해야 한다. 따라서 지오텍스타일에 대한 투수기준이 다음식과 같이 규정되어 있다.

$$k_G \geq Nk_s$$

여기서, k_G는 지오텍스타일의 투수계수, N은 구조물특성에 의존하는 상수(일반적으로 10~100), k_s는 보호되어야 할 흙의 투수계수를 의미한다.

막힘(Clogging) 기준은 지오텍스타일이 막히지 않도록 규정되어야 하고, 지오텍스타일의 유효입경과 흡입자의 직경 사이의 관계에 의해 제시 된다. 필터시험은 흙과 지오텍스타일 시료의 조합 성능을 평가하기 위해 실내시험에 의하여 수행된다.

적정하게 시방규정에 의하여 설치하면, 토목섬유는 토목공학과 환경공학 분야 공사에 있어 경제적인 배수재와 필터재로 활용될 수 있다.

4. 연약지반에서 성토제방 축조시 토목섬유의 적용

양기석(한국항만기술단)

연약지반 상에 흙구조물의 축조는 힘든 일이 될 수 있다.

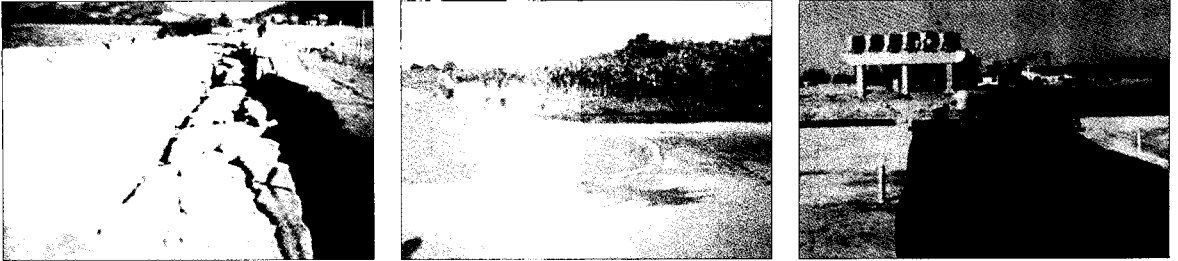
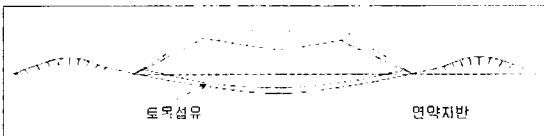


그림 20. 무보강 성토제방의 파괴와 토목섬유보강사례

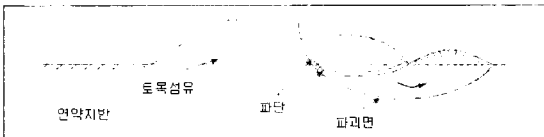
이러한 의미에서, 성토제방의 안정성을 향상시키기 위해 이용되는 토목섬유는 가장 효율적이고 적용성이 좋은 지반보강기술 중에 하나라고 할 수 있다.

이런 문제들에 있어, 토목섬유는 아래의 경우에 효과적으로 이용될 수 있다.

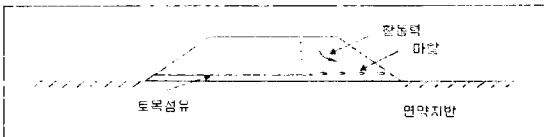
(1) 지지력이 약한 연약지반에서의 변위감소



(2) 성토제방과 연약한 기초 지반에서의 전반적인 파괴를 방지



(3) 토목섬유 표면에서의 활동파괴를 방지



연약지반 위에 보강된 성토제방의 안정성은 안전율(Fs)를 통해 평가될 수 있다.

- 전체 안정성

$$F_s = \frac{M_R + AM_R}{M_D} \geq \text{보통 } 1.2 \sim 1.3$$

여기서, M_D : 지반의 활동 모멘트 : 지반의 저항 모멘트,

AM_R : 파괴에 대한 토목섬유의 저항 모멘트

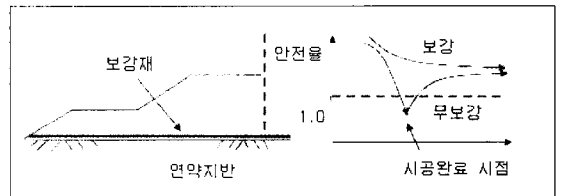
- 활동파괴에 대한 안정성

$$F_s = \frac{P_R}{P_A} \geq \text{보통 } 1.5$$

여기서, P_A : 성토체에 의한 주동토압,

P_R : 성토와 보강체간의 마찰력

연약지반 위에 성토제방 보강재로 사용된 토목섬유의 효과는 다음 그림에 의해서 시각적으로 확인할 수 있다.



제한적인 보강효과를 위해 “기초보강 말뚝제방(basal reinforced piled embankment)”라 불리는 방법이 사용될 수 있으며, 이 때 기성말뚝이나 심층연약지반 보강말뚝 등이 이용된다.

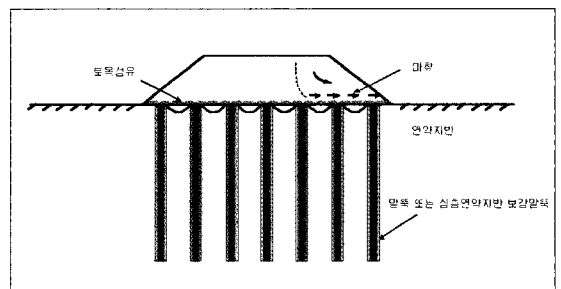




그림 21. 침식에 의한 파괴 그림



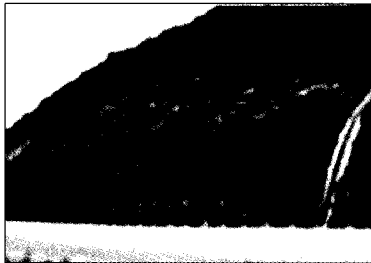
그림 22. 대형 협곡



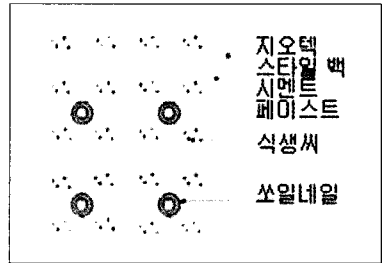
그림 23. 토목섬유를 이용한 침식 방지



(a) 씨뿌리기 광경



(b) 사공이 완료된 사면



(c) 사공 단면

그림 24. 사면의 침식방지

만약 투수성 재료가 사용된다면, 토목섬유는 연약지반의 압밀침하를 촉진시킬 수 있도록 적절하게 명시해야 한다.

5. 침식 방지용 토목섬유

한중근(중앙대학교)

침식은 물과 바람에 의해 야기되는 자연현상이다. 침식은 흙의 종류, 식생 및 조경 등과 같은 여러 요인에 의해 영향을 받고, 특정한 현장상태(시설)에서 나타나는 여러 가지 활동에 의해 가속화될 수 있다. 침식방지시설이 되어 있지 않은 현장은 기존의 구조물과 환경의 큰 파괴의 원인이 될 수 있다.

토목섬유는 아래와 같은 현장에서 침식을 방지하는데 사용된다.

- 사면보호
- 운하
- 세굴방지
- 수문
- 수로
- 해안선 보호
- 낙석방지망
- 성토 제방
- 배수구
- 매립·재녹화
- 방파제

현장과 공사 특성에 따라 침식방지공은 지오텍스타일, 지오매트, 지오네트, 지오그리드 등의 토목섬유 제품을 하나 또는 둘 이상 사용하게 된다.

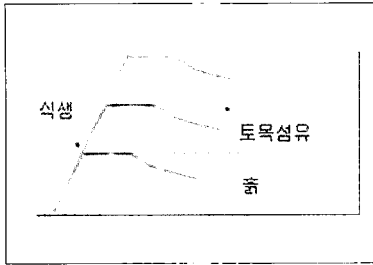
다음은 침식방지를 위해 시공한 토목섬유의 적용사례들을 나타낸 것이다.

• 사면의 침식방지

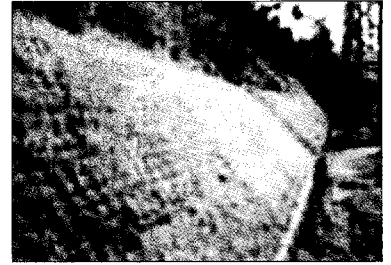
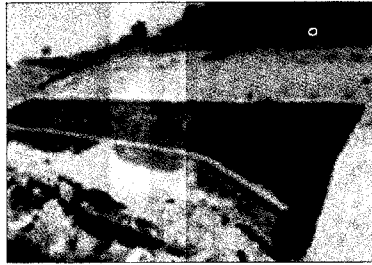
사면보호공은 안정성 확보를 위해 토목섬유, 쏘일네일링, 록 볼트 또는 앵커 등이 필요하다. 어떤 경우에는 사면 표층의 안정성을 위해서 시멘트페이스트로 채운 지오텍스타일백으로 사면의 표면을 부분적으로 덮어 보호하기도 한다. 녹화에 의해 사면을 보호하는 방법은 물이나 바람에 의한 영향으로 토사의 손실을 방지하기 위한 것이다. 또한 토목섬유로 보강된 급경사면의 표면의 침식방지를 위해서는 토목섬유재료와 식생을 조합하여 사용할 수도 있다.

• 수로 침식방지

수로, 제방(강둑) 및 해안사면의 보호를 위해서는 풀리머, 콘크리트 블록, 판넬 및 토목섬유 등이 사용된다.



(a) 토목 섬유로 감싸서 형성된 사면전면의 처리

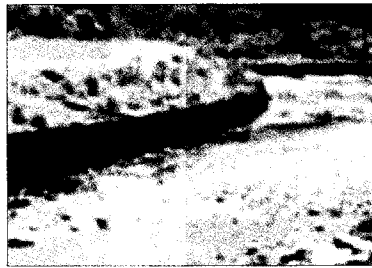


(b) 사면의 시공완료 전경

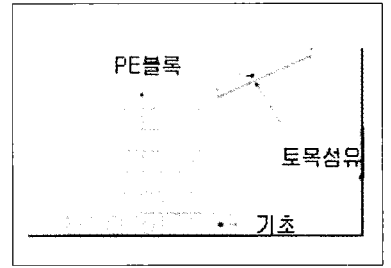
그림 25. 사면의 침식방지



(a) PE 블록을 사용한 제방



(b) 시공 완료된 수로



(c) 시공 단면

그림 26. 수로 침식 방지

6. 수리구조물에 사용되는 토목섬유

신동훈(한국수자원공사)

수리구조물은 어떠한 사상 최대의 성장기회를 지니고 있는 토목섬유 시장의 일부를 차지하고 있다. “수리구조물”이라는 용어에는 댐과 운하가 포함되어 있다. 수리구조물은 물과 상호작용을 하며, 물은 자연 속에 존재하는 매우 파괴적인 힘들 중의 하나일 수 있다. 토목섬유는 종종 구조물과 물 사이의 상호작용을 제한하는데 사용되기도 한다. 토목섬유는 수리구조물의 안정성을 증대시킬 수 있다.

수리구조물에 있어서 토목섬유는 다음과 같이 사용될 수 있다.

- 지오펜브레인을 사용하여 물의 침투를 저감 또는 방지
- 지오펜브레인 차수재틀 사용하여 운하 제방의 침식을 저감 또는 방지
- 지오택스타일 및 지오네트를 사용하여 배수 또는 침투 기능 제공
- 지오그리드를 사용하여 구조물 자체 또는 하부구조를

보강

지오펜브레인은 물의 침투에 대하여 실질적으로 불투수성이며, 댐의 상류사면에 시공될 경우에는 수리학적 차단층을 형성하는데 흔하게 사용된다. 지오펜브레인은 노출 시킨 채로 그대로 둘 수도 있고 콘크리트 판넬이나 암석과 같은 재료로 덮어둘 수도 있다. 지오펜브레인은 특히 노령화된 콘크리트 댐을 복구하는데 유용하게 사용될 수 있다. 노출은 극자외선(UV)에 의한 열화작용으로 인하여 지오펜브레인의 수명을 단축시킬 수 있으나 토목섬유의 보수는 다른 재료로 덮혀 있는 지오펜브레인 보다 쉽게 이루어진다. 덮혀진 지오펜브레인은 상부 또는 하부에 다른 재료를 포설에 의해 천공되어 손상을 입기 쉽다. 지오펜스타일은 대개 하부에 포설되며, 어떤 때는 지오펜브레인 위에 포설되어 응력집중을 최소화하기 위한 완충 기능을 하면서 천공으로부터 지오펜브레인을 보호해준다.

지오펜브레인을 통한 누수는 주로 이음부 및 천공구멍(puncture holes)의 손상된 부분을 통해 발생한다. 일반적으로 시공손상은 건설현장에서의 QA/QC를 통해 최소



그림 27. 누수되고 있는 댐

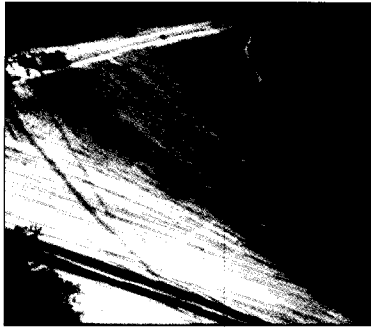


그림 28. 지오멤브레인 차수

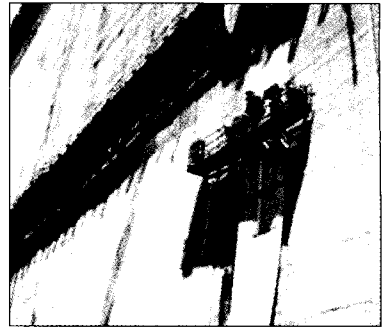


그림 29. 댐체 상류 표면부의 라이닝

화될 수 있다. 그러나 누수는 특히 지오멤브레인이 노령화되기 시작하면서 피할 수 없다. 구조물을 보호하기 위해서 지오네트/지오컴포지트가 대표적으로 지오멤브레인 하부에 배수층으로 사용되고 있다. 누수된 물은 모아서 댐체 내부에 있는 관을 통해 댐 하류측에 집수되거나 댐내의 저수지로 다시 보낸다.

토목섬유 제품은 역학적 방법(보통 앵커 볼트 및 강철 띠)으로 댐 표면에 부착된다. 가스켓과 방수제는 연결부위나 조인트 부위를 방수처리하는데 사용된다. 복잡한 형상의 댐은 지오멤브레인의 이음부나 연결부에 결함이 발생하기가 더욱 쉽다.

수리구조물에 사용될 토목섬유 시스템에 사용되는 토목섬유의 구성소재는 주로 공사종류와 현장 여건에 맞게 선택된다. 적절한 시방에 맞게 시공이 이루어지면, 토목섬유는 경제적이면서도 수리구조물의 수명을 연장시켜줄 것이다.

7. 폐기물 매립지에서 사용되는 토목섬유

이재영(서울시립대학교)

토목섬유는 폐기물 매립시설의 하부층과 상부층 차수시스템에 광범위하게 사용되고 있다.

• 토목섬유의 종류

- **지오그리드** : 지오멤브레인 상부에 시공된 복토재를 보강할 뿐만 아니라 폐기물 하부의 사면을 보강하기 위해 사용된다.

- **지오네트** : 수평배수재로 사용된다.
- **지오멤브레인** : 액체, 기체 또는 증기 이동을 차단하는 차단벽으로 사용되며 폴리머로 합성된 거의 불투수층에 가까운 방수 슈트이다.
- **지오컴포지트** : 분리, 여과 또는 배수의 목적으로 사용되기 위해 둘 또는 그 이상의 토목섬유로 만들어진다.
- **토목섬유차수재** : 침투/투수 차수벽으로 사용되는 토목섬유와 벤토나이트로 구성되는 복합재료이다.
- **지오파이프** : 침출수집배수시스템으로 침출수를 재빨리 집수하고 배수를 용이하게 하도록 폐기물 매립지에 사용된다.
- **지오텍스타일** : 여과목적이나 이물질에 의하여 지오멤브레인이 뚫어지지 않도록 보호하기 위한 완충재로 사용된다.

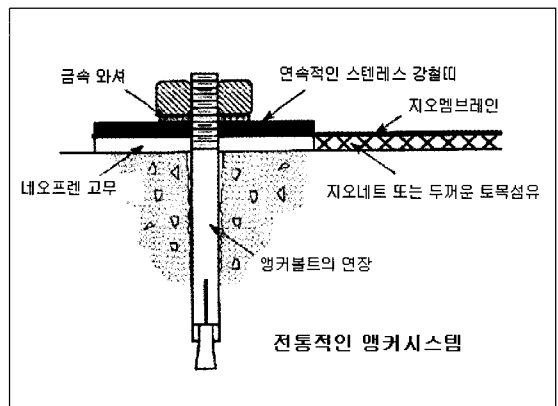


그림 30. 기계적인 조임의 상세도

그림 31은 최근 폐기물 매립시설의 상부층과 하부층 차수시스템에 광범위하게 사용되고 있는 토목섬유를 나타낸 것이다.

아래 그림에서 설명된 하부층 차수체계는 2중차수층으로 구성되어 있다. 제1차 차수층은 지오멤브레인/토목섬유 차수층의 복합층이고, 제2차 차수층은 지오멤브레인/점토 차수층의 복합층으로 구성되어 있다. 제1차 차수층과 제2차 차수층 사이에 위치한 누출검사시스템은 지오텍스타일/지오네트의 복합층이다.

폐기물 매립지 하부층 차수체계 제1차 차수층 상부에 위치한 침출수집수시스템은 유공관인 지오파이프와 자갈로 구성되어 있다. 자갈 밑에 위치한 지오텍스타일은 자갈에 의해 제1차 지오멤브레인이 천공되지 않도록 보호하기 위한 완충역할을 한다. 폐기물 매립지 사면의 제1차 차수층 위에 설치된 침출수집수시스템은 지오폴리머리트 드레인(지오텍스타일/지오네트의 복합층)으로 구성되어 있으며 하부층의 집배수층인 자갈층과 합류한다.

지오텍스타일 필터는 매립지 전체 부위를 덮고, 침출수 집배수시스템의 막힘현상을 방지한다. 매립지 바닥층의 지하수위는 지오텍스타일 필터를 이용하여 동수경사조절

배수시설에 의해 조절된다. 또한, 매립지 바닥층 하부의 기초지반은 그림에서 보는 것과 같이 임의로 분포된 섬유보강재들을 사용해서 안정화가 가능하며, 반면에 차수층 하부에 위치한 급수면경사는 지오그리드를 사용해서 보강할 수 있다.

그림 31에 나타난 폐기물 매립지의 상부체계는 차수층인 지오멤브레인/토목섬유차수재가 포함되어 있다. 지오멤브레인 위에 위치한 배수층은 지오폴리머리트 시트 드레인(지오텍스타일/지오네트의 복합층)이다.

상부체계 또한 차수층 아래에 지오그리드, 지오텍스타일 또는 지오셀 보강재들을 포함한다. 보강층은 폐기물의 부등침하 또는 추후 매립지의 수직확장에 의해 차수층에서 발생하는 변위를 최소화하기 위해 사용되어진다. 또한, 상부체계는 최종식생복토층의 안정성을 확보하기 위하여 지표수 차단층 상부에 지오그리드나 지오텍스타일 보강층을 포함한다.

경사가 급한 식생복토층의 안정성을 도모하기 위하여 섬유보강재를 사용할 수 있다. 식생복토층 상위에 있는 지오폴리머리트 침식제어시스템은 그림에 나타나 있으며, 방수슈트와 물골에 의한 침식작용으로부터 보호해준다. 지

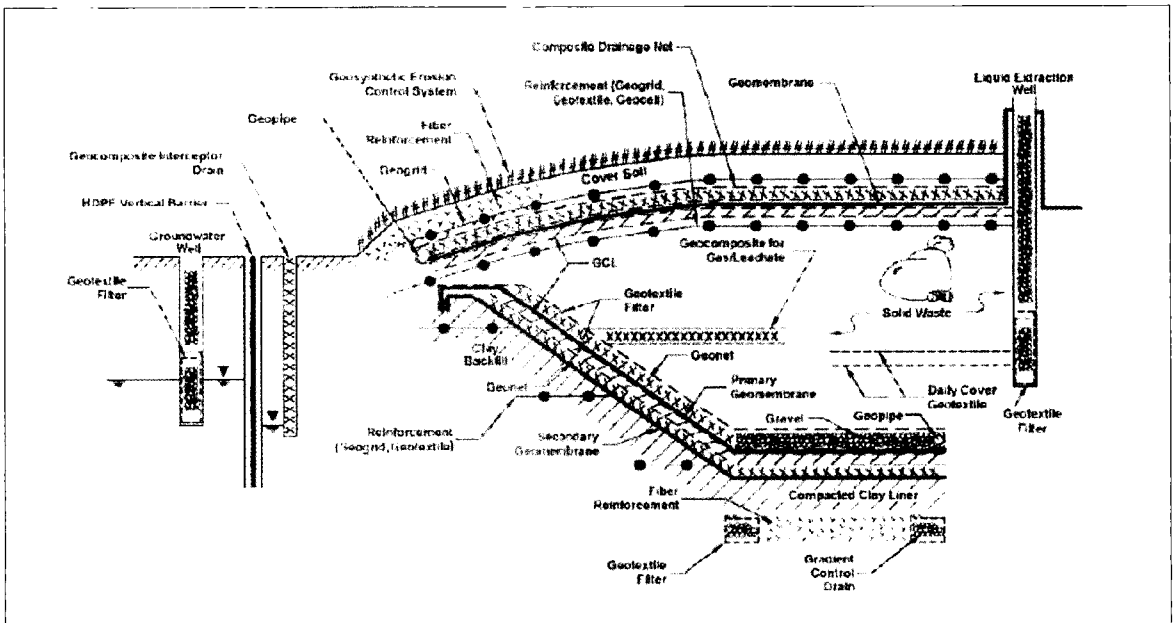


그림 31. 폐기물 매립설계에 사용되고 있는 토목섬유

하수의 여과층으로 토목섬유의 사용과 침출수 배제정도 그림에 나타나있다.

마지막으로, 폐기물 매립장 둘레를 따라 설치된 HDPE 연직차수벽과 지오폴리머트 집배수시설이 그림에 나타나 있다. 모든 폐기물 매립장에서 필요한 토목섬유의 모든 요소를 그림에 나타내지는 못했는지라도, 폐기물 매립장에서 고려될 많은 토목섬유의 적용분야를 나타내었다.

요한 것이다. 고속도로의 포장층은 중차량의 체계적인 교통 하중, 기후조건, 도로시공에 사용된 재료의 역학적인 성질 때문에 예상했던 것보다 훨씬 수명을 단축시킬 수 있다.

이러한 관점에서 토목섬유는 효과적으로 사용될 수 있다.

포장의 보강재로서 토목섬유의 효과는 효율(E)에 의해 평가될 수 있다.

$$E = \frac{N_r}{N_u}$$

여기서, N_r = 토목섬유로 보강된 포장의 파괴 시까지 반복재하의 수, N_u = 토목섬유로 보강되지 않은 포장에 대한 파괴 시까지 반복재하의 수

8. 포장도로에 사용되는 토목섬유

주재우(순천대학교)

도로와 고속도로는 어느 나라의 개발에 있어서 가장 중

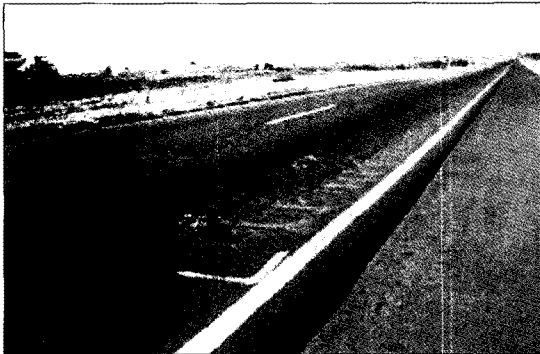


그림 32. 도로포장의 손상

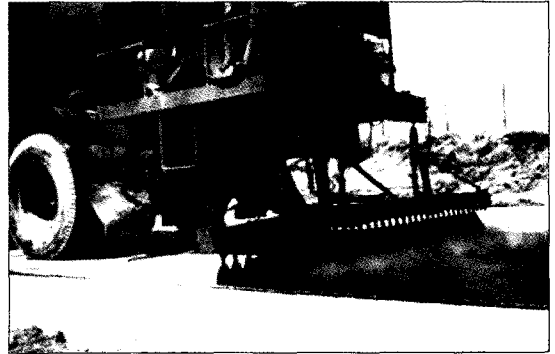


그림 33. 토목섬유 적용

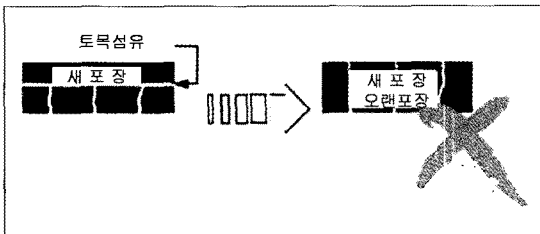


그림 34. 반사균열의 감소 및 방지

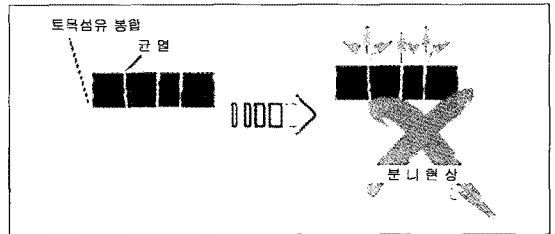


그림 35. 세립토의 분리를 방지하는 차단막 효과

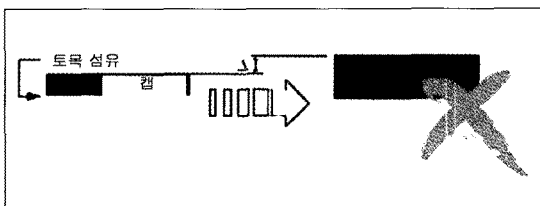


그림 36. 아스팔트포장 두께의 감소

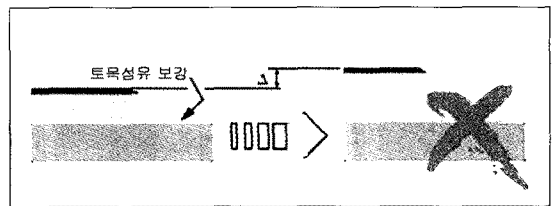


그림 37. 도로포장 두께의 감소

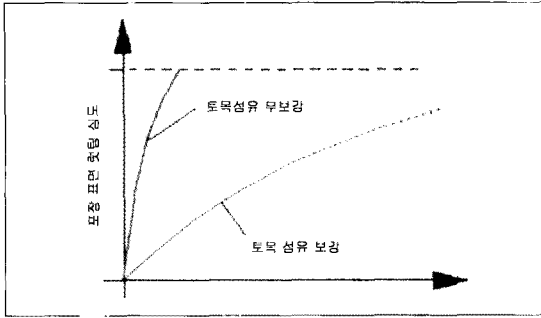


그림 38. 포장수명의 증대

현재 문헌에 발표된 자료에 의하면 E값은 6정도의 높은 값을 나타내고 있다. 이 결과는 포장 수명의 상당한 증가는 보강과 분리기능으로써 토목섬유를 사용함으로써 달성할 수 있다. 현장 계측과 연구결과로부터 토목섬유를 이용함으로써 포장성능의 향상을 확인할 수 있다.

만약 적합한 설계와 시공이 된다면, 토목섬유는 비용을 절감할 수 있고 포장의 내구성과 성능을 개선시킬 수 있다.

9. 안정된 기초 지반상에 시공된 사면에서의 토목섬유

김유성(전북대학교)

토목섬유 보강재층은 보다 긴 일차 수평보강층(그림 40 참조)을 사용, 깊은 활동파괴에 대비하여 사면을 안정화하기 위해 사용된다. 보강사면은 파괴사면의 복원 부분이 될 수도 있고, 성토 뒤채움사면을 강화시키기 위해 사용된다. 보강층은 사면의 비보강 사면에 비해 전면부가 보다 큰 경사각을 갖게 할 수 있다. 경우에 따라서는 상대적으로 짧고, 보다 조밀한 간격으로 배치되는 2차 보강재와 전면을 보강재로 감싸뒀음으로 사면의 전면을 안정화시킬 필요가 있다. 대부분의 경우 보강사면의 전면은 침식작용이 일어나서는 안된다. 이 점에서는 흙으로 속이 채워지는 지오셀(geocell) 또는 일시적으로 식생에 앵커 역할을 하는데 사용되는 상대적으로 경량의 지오메쉬(geomesh)와 같은 토목섬유 재료가 요구된다. 아래 그림 41은 보강토 영역의 침투압을 경감시키기 위한 배수기능을 보여주고 있다.

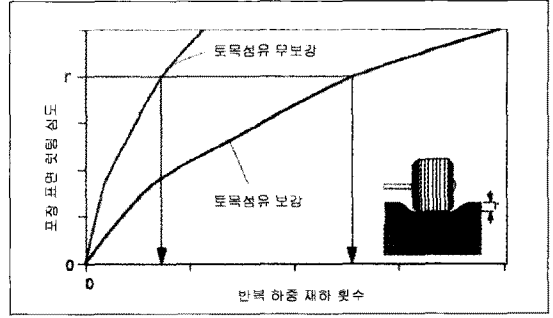


그림 39. 토목섬유보강재의 사용으로 인한 포장수명의 증대

사면파괴에 대한 소요 1차 보강재의 위치, 층수, 길이 및 강도는 보강재의 안정력이 포함된 수정한계평형해석법에 의해 결정된다. 설계자는 원호활동파괴면, 복합파괴면, 2개부분 썸기(two-part wedge) 또는 복수썸기파괴의 가정에 의한 접근과 함께 절편법을 사용할 수 있다. 보강층은 각 층과 해석에 의한 잠재파괴면과의 교차점에서 활동역지력을 제공한다고 가정한다. 전형적인 Bishop방법에 의한 안전율은 다음 식에 의해 얻어질 수 있다.

$$FS = \left[\frac{N_r}{N_u} \right]_{\text{unreinforced}} + \frac{\sum T_{\text{allow}} \times R_r \cos \alpha}{M_D}$$

위 식에서 M_r 과 M_D 는 비보강사면에서의 저항 및 활동 모멘트이고, α 는 수평면에 대한 보강재의 인장력이 발휘되는 각이다. 또한 T_{allow} 는 보강재 최대 허용인장력이다. 토목섬유 보강재는 인장이 되므로 설계자는 보강력은 파괴면에 접선으로 작용한다고 가정할 수 있다. 즉, $R_r \cos \alpha = R$ 이



그림 40. 보강사면 구조체로 사면복원

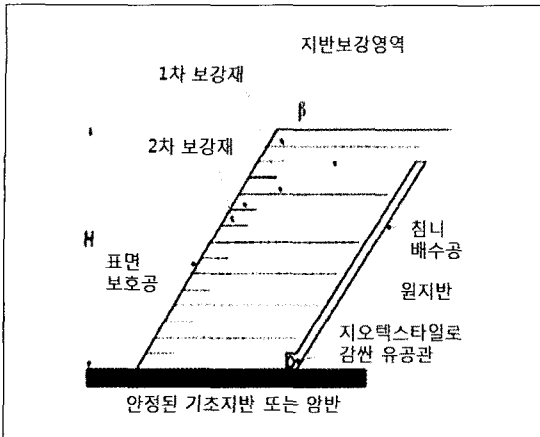


그림 41. 안정된 기초 지반상에 축조된보강사면

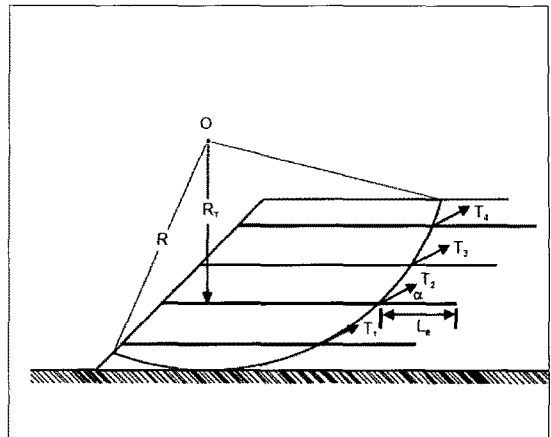


그림 42. 보강사면의 원호 파괴해석



그림 43. 보강재의 포설광경



그림 44. 시공완료 모습

다. 잠재적 활동면은 보강토영역에 의해 억제되어 있는 활동면, 부분적으로는 보강영역 이외의 활동영역을 포함한다.

10. 비포장도로에 사용되는 토목섬유

오영인(한국농촌공사)

토목섬유(Geosynthetics)는 비포장도로의 보강과 연약지반상의 작업장 확보에 효과적으로 활용이 가능하며, 이 경우 토목섬유는 분리, 보강, 배수기능 중 한가지 또는 그 이상의 기능을 수행한다. 일반적으로 비포장도로의 보강 및 연약지반 보강 등에 가장 많이 사용되는 토목섬유로는 지오텍스타일과 지오그리드가 있다.

토목섬유로 보강된 비포장도로는 무보강 경우와 비교하여 다음과 같은 장점을 제공한다.

- 성토 두께 감소
- 지오텍스타일 활용시 연약지반과 골재층의 분리
- 연약지반의 지지력 증가
- 성토체의 횡방향 변형 감소
- 효과적인 응력 분산
- 연직응력 증가의 넓은 분산
- 멤브레인 효과에 따른 수직변형 감소
- 도로의 수명 증가
- 정기적 유지보수 횟수가 적어짐
- 도로의 시공과 운영비용 감소

러팅(Rutting)심도 증가에 따른 토목섬유 보강재의 변형은 멤브레인 효과를 유발하여 보강재의 보다 향상된 보강 기능을 제공한다. 멤브레인 효과에 의하여 발생된 보강재의 인장강도 수직성분은 성토체의 수직변형 진행을 저감시킨다.

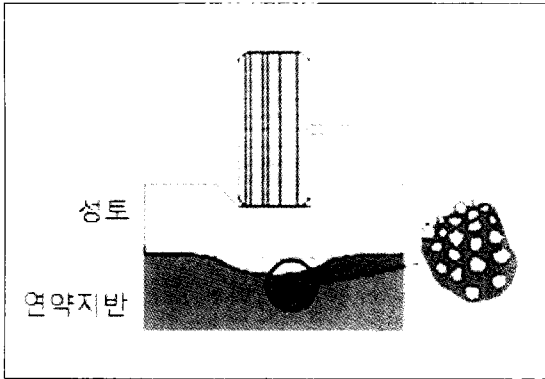
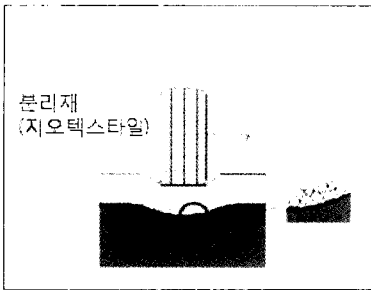
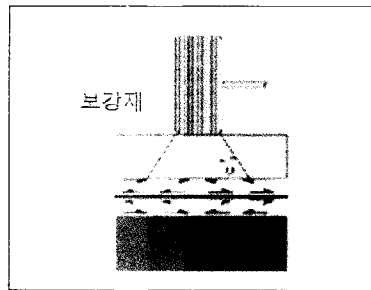


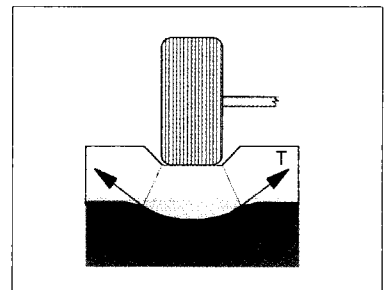
그림 45. 무보강 비포장도로의 전형적인 파괴형상



(a) 분리



(b) 하중분산



(c) 멤브레인 효과

그림 46. 비포장도로에서 토목섬유의 보강효과

많은 연구자들의 문헌에 따르면, 일정 주어진 러팅심도에 대하여 토목섬유 보강도로가 무보강 도로에 비하여 훨씬 더 많은 하중반복(교통하중 강도)에 견딜 수 있음을 검증하였으며, 이는 비포장 도로의 수명증가와 정기적 노면보

수 횡수의 감소효과를 가져올 것이다. 배수성 보강재는 연약지반의 강도증가와 함께 압밀을 가속화시킨다. 연약지반의 배수는 지오텍스타일을 활용할 수 있으며, 보강재로는 지오그리드, 지오텍스타일 또는 지오컴포지트를 사용할 수 있다. 연약지반상 비포장도로의 상부층 안정화는 향후 도로포장 시 건설비용의 감소와 포장층 변형을 최소화하는 효과를 얻을 수 있다.

토목섬유를 활용한 비포장도로의 설계방법은 예비해석

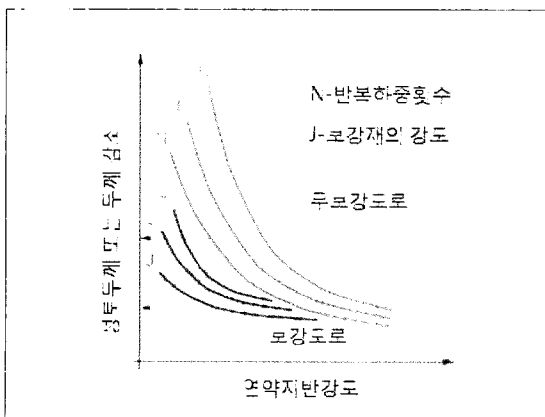


그림 47. 일반적 설계도표



그림 48. 연약점토상에서 비포장도로의 보강공사

을 위한 간단한 도표와 연구문헌자료 등을 통하여 가능하며, 이러한 방법들은 정형화된 조건에 따른 설계를 위하여 전통적인 지반과 보강재의 설계변수를 요구한다. 현재 사용되는 몇몇 설계도표는 자사제품을 사용한 예비설계를 할 수 있도록 토목섬유 생산업체들에 의하여 개발되어왔다.

11. 보강토 옹벽

유충식(성균관대학교)

보강토 옹벽은 뒤채움시 보강재를 수평으로 포설하여 보강토 배면에 작용하게 되는 토압에 저항하는 중력식 구조체로 작용하는 보강토체를 형성하는 개념을 적용한다. 보강재로는 지오그리드, 직포, 그리고 폴리머 띠 형태의 보강재를 사용한다. 보강토체의 국부적 안정성은 보강재를 여러 모양의 폴리머, 목재, 콘크리트블록, 지오셀, 혹은 철재 와이어 바구니로 형성되는 전면벽체에 연결하여 확보한다. 북미에서는 보강토 옹벽이 기존의 중력식 옹벽의 50% 정도의 대체공법으로서 적용되고 있다.

• 보강토 옹벽의 종류

보강토 옹벽의 해석 및 설계는 내·외적 안정성 및 국부

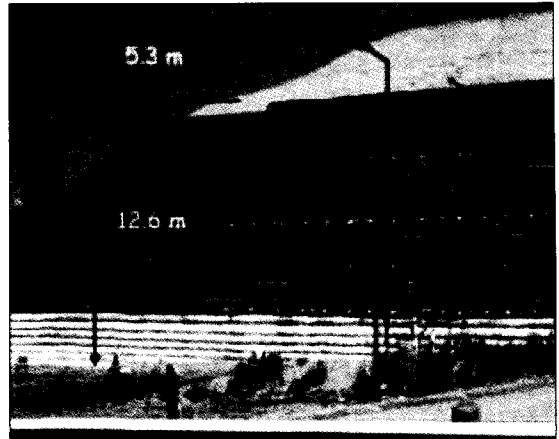


그림 50. 지오텍스타일로 전면을 감싼 옹벽 (가설옹벽)

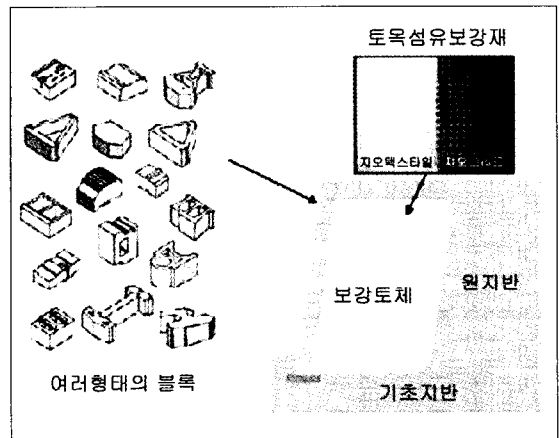
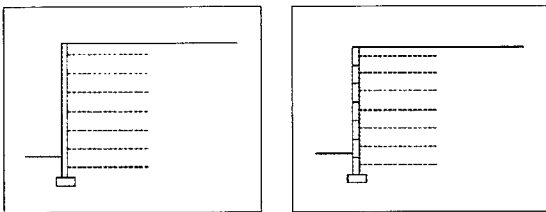
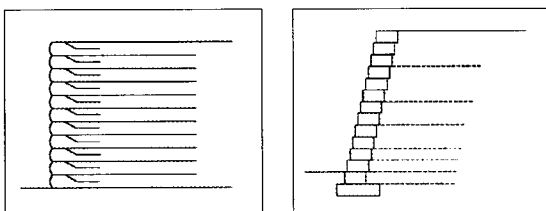


그림 51. 블록식 보강토 옹벽의 구성요소



(a) 패널식(Propped)

(b) 패널식(Incremental)



(c) 전면 감쌈 형태

(d) 블록식

그림 49. 전면벽 종류에 따른 보강토 옹벽

적 안정성, 그리고 전반 안정성에 대한 검토를 토대로 수행된다. 여기서 전반 안정성은 보강토체 배면을 지나는 파괴면 형태에 대한 안정성을 의미하며 일반적인 사면안정해석법을 토대로 검토된다.

12. 토목섬유의 폐수처리에 응용

장연수(동국대학교)

토목섬유는 폐수처리시설에 다양하게 응용된다. 가장 많이 이용하는 경우는 혐기성 및 호기성 공정으로 운영하는 호소에서이다. 다른 용도로는 폐수의 향상된 증발공정 및 투수성 부직포 지오투브에 의한 슬러지탈수 공정이다.

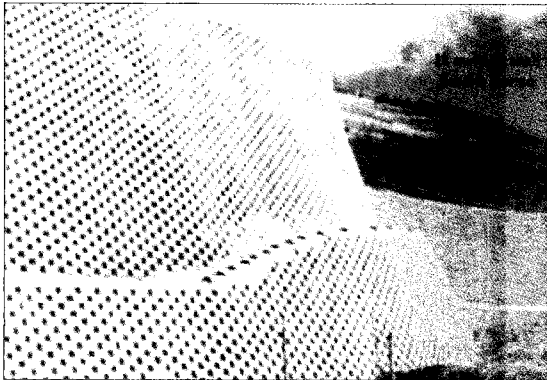


그림 52. 블록식 보강토 옹벽

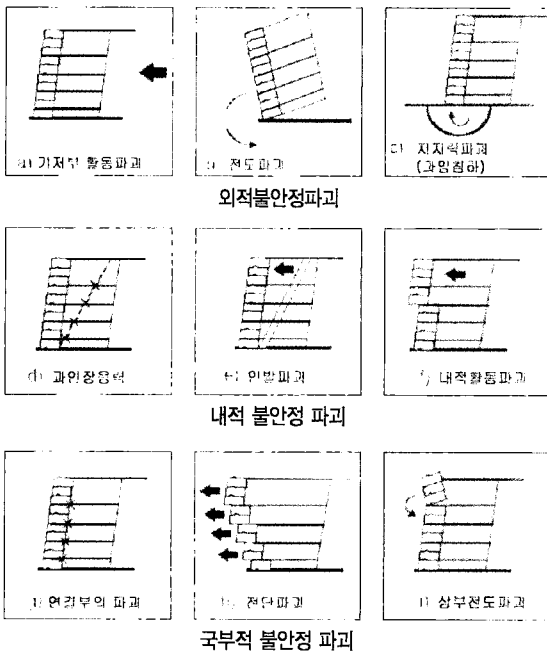
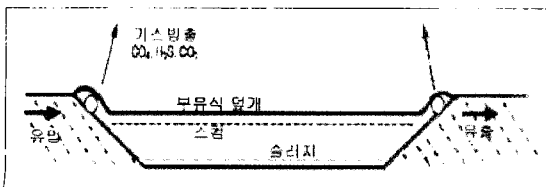


그림 53. 블록식 보강토 옹벽 파괴형상

• 덮개가 있는 혐기성 호소

유기물함량이 충분히 큰 폐수를 수 일동안 호소에 보관 할 경우 활성 혐기성 슬러지가 호소의 바닥에 축적되어지게 된다. 덮개가 없는 호소에서는 혐기성소화작용이 호소



의 바닥에서 발생하며 표면에 가까운 곳에서는 좀 더 호기성의 소화작용이 발생한다.

이러한 호소는 지오�멤브레인으로 된 부유식 덮개를 다음과 같은 목적으로 설치한다.

(a) 공기(산소)를 배제함으로써 혐기성 소화작용을 향상시킨다.

(b) 연료로 사용할수 있는 메탄과같은 가스를 모을수있다.

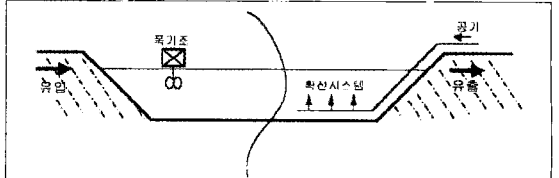
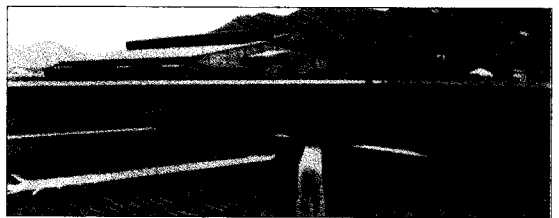
(c) 혐기성 소화작용으로부터 발생하는 악취를 저감시킨다.

일반적으로 이러한 호소는 생물학적 산소요구량(이하 BOD) 400-500 kg/cum의 폐수를 받아들이며 배출수의 BOD는 90-95%정도를 저감시키게 된다. 호소에 머무는 기간은 일반적으로 4-7일 정도이다. 혐기성 공정은 대부분 자발적 추진작용으로 진행되며 폐수를 호소에 투입하고 밖으로 배출시키는 기계적 작업만이 필요할 뿐이다. 바닥에 슬러지의 과다한 누적과 덮개 아래 표면에 누적되는 scum을 처리하는 시스템을 갖출 필요가 있을 수 있으나 이는 폐수의 성격과 시스템의 역동성에 관계되는 요소일 것이다.

• 호기성(폭기) 호소

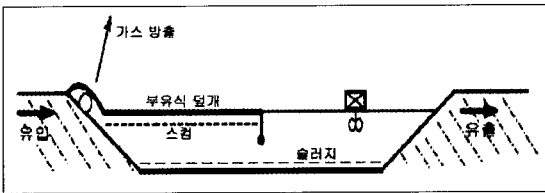
폭기 시스템은 표면 폭기조나 확산 시스템을 공기를 폐수에 주입하기 위하여 사용하며 폭기작용으로 폐수 내의 유기물을 소모하여 이산화탄소로 방출한다.

이러한 호기성 시스템은 폭기시스템을 운용하기 위하여 상당한 역학적 에너지를 필요로 하며, 때때로 저부로부터 발생하는 과다한 슬러지를 제거하기위하여 추가적인 작업을 필요로 하기도 한다. 일반적으로 이러한 시스템은 BOD



500-1500kg/cum의 폐수를 받아들여 90% 정도 BOD를 저감시킨 상태로 유출시키며 호소내 체류기간은 약 4-7일 정도이다.

• 혐기성과 호기성 복합호소



많은 폐수처리장은 혐기성과 호기성 시스템을 복합적으로 또는 두가지 부분을 분리하여 운용하는데 이러한 운용은 특별하게 설계된 지오멤브레인 부유식 덮개를 이용하여 쉽게 이루어질 수 있다. 이러한 복합 시스템은 폐수를 BOD 5000kg/cum 정도로 유입시켜 100kg/cum 미만으로 유출시킬 수 있는 능력을 가진다. 전체 체류기간은 마감호소 (polishing lagoon)나 초목필터/관개(grass filtration/irrigation)를 최종 사용하는 경우를 제외하고 10일정도 소요된다. 이러한 복합시스템은 현장에서 폭기 에너지로 이용될 수 있는 가스를 만들어내기도 한다.

• 토목섬유재의 응용

이러한 호소에서의 토목섬유는 차폐시스템과 부유식 덮개 시스템과 연계하여 이용되며 상황에 따라 많은 변형된 형태로 응용된다.

- (a) 차폐시스템: 흙이나 콘크리트 덮개, 지오멤브레인을 사용한 토목섬유 점토 차수재가 차수 시스템으로 사용될 수 있다.
- (b) 덮개시스템: 덮개설계는 가스 방출 수준, 가스집적과 관계된 요소, 서브시스템 시공시의 제한요소에 따라 달라질 수 있다.
- (c) 향상된 증발산 작용: 천층의 폐수를 덮은 검정색의 지오멤브레인은 태양열의 작용에 따라 폐수의 온도를 높여 증발산 작용을 향상시킨다. 이러한 작용은 폐수의 폐기와 염과 광물의 추출을 위하여 사용되어지기도 한다. 폐수위에 설치된 부유식 덮개는 강우 계절 기간동안의 강우흡입에 의한 폐수의 증가를 방지하고, 덮개를 이용하여 강우를 모을 수 있게 한다.
- (d) 슬러지 탈수: 지오투브는 초기에 방파제를 만들기 위한 준설모래를 담은 공사용 기구로 개발되었다. 지오투브가 갖는 필터의 특성은 고함수비의 슬러지를 급속하게 건조하여 트럭 운반시 침출수를 방출하지 않을 정도의 고형상태로 만들어 줄 수 있다.