

## 도로포장의 토목섬유 활용기법



권재현 | Senior Pavement Engineer · Tensar International Corporation

미국교통시설물의 유지관리를 위한 재정보호를 위해 2005년 제정된 Safe, Accountable, Flexible, Efficient Transportation Equity (SAFETEA-LU) Act는 2009년까지 고속도로시설물의 유지관리에만 매년 약 50억불의 비용을 책정하였다. 포장구조물의 성능향상과 유지관리에 대한 관심이 증가하

면서 비용을 절감할 수 있는 방법의 하나로 토목섬유의 사용이 증가하고 있다. 지난 수십년간 도로포장의 토목섬유 활용에 대한 많은 실험과 연구결과가 발표되었고, 현재도 적지않은 연구가 진행중에 있다. 최근 미 연방도로국 (FHWA) 산하의 Federal Lands Highway Division (FLHD)의 설문조사 결과를 보면 경제성 분석결과와 시방규정의 부재가 토목섬유의 사용을 제한하는 가장 큰 원인으로 조사되었으며, 토목섬유는 주로 노상과 기층의 분리, 배수, 그리고 기층 또는 노체 보강의 목적으로 활용되고 있는 것으로 나타났다.

토목섬유는 그 종류만큼이나 다양한 활용방안이 있으나, 본 해외기술동향에서는 초기비용과 유지보수비용 절감을 위해 도로분야에 주로 사용되는 세가지 공법의 범위에 대해서만 다루어보고자 한다.

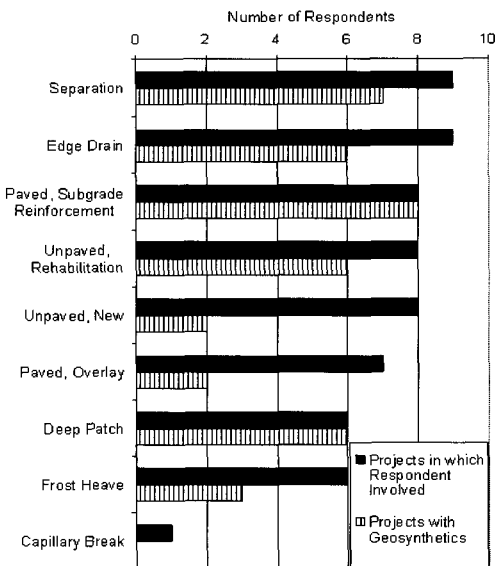


그림 1. 토목섬유 도로포장 활용현황

### 1. 연약지반 처리

지오텍스타일(Geotextile: 직물형과 부직포형이 있으며 평면에 개구부가 없음)과 지오그리드(Geogrid: 재료는 다르나 평면에 개구부가 존재함)

는 도로시공에 가장 자주 사용되는 토목섬유이다. 지오텍스타일은 주로 노반과 기층의 분리 용도로, 강도와 내구성이 강한 지오그리드는 연약한 지반 표면에 사용되어 건설용 중장비의 하중을 견디는 지지대(working platform)를 형성하거나, 기층의 보강재로 사용된다. 2002년 미국 위스콘신대학의 Edil이 토목섬유를 적용한 연약지반의 처리공법을 비교 분석하고자 현장실험을 실시하였다. 위스콘신주 60번 고속도로에서 실시된 이 실험에는 Foundry slag, Foundry sand, Bottom Ash, 그리고 Fly ash 등의 산업부산물과 Geocell, Non-woven geotextile, Woven geotextile, Drainage geocomposite, 그리고 Geogrid가 사용되었다. Geocell은 Nonwoven needle punched geotextiles에 깔려서 Foundry slag로 속이 채워졌으며, Geocell 위에 Foundry slag 250mm 더해져 보조기층을 형성하였다(그림 2). 산업부산물로 처리된 단면은 토목섬유로 보강된 단면의 두께보다 두꺼운 단면이 사용되었다.



그림 2. Geocell 과 Foundry slag 시공 (Edil et al., 2002)

시공후 1년간 Dynamic Cone Penetrometer (DCP), Soil Stiffness Gage (SSG)와 Falling Weight Deflectometer (FWD)를 이용한 상태조사 결과 모든 구간이 충분한 지지력을 확보했음을 보였다. 이처럼 토목섬유를 사용함으로써 성토층의 필요 두께가 감소한 것 외에도 지오텍스타일과 지오그리드는 시공과정이 간편해서 공기를 단축시키는 장점이 있다. 연약지반처리에 토목섬유를 이용할 시에는

최초 성토두께와 다짐공정에 주의해서 시공해야 한다. 현재 연약지반처리를 위해 사용되는 설계법으로는 미국공병단 설계법 (U.S. Army Corps of Engineers), Giroud-Han 설계법, Propex's RACE (Roadways and Civil Engineering) 설계법, 그리고 네덜란드의 CROW (Information and Technology Centre for Transport and Infrastructure) 설계법이 있으며, 미국공병단과 Giroud-Han의 설계법은 노상지지력계수, 교통량, 허용 소성변형 (rut depth)을 고려해서 성토 두께를 제안한다.

## 2. 기층 및 보조기층의 보강

미국에서는 노반의 지지조건이 우수한 경우, 토목섬유는 쇄석골재 기층 및 보조기층의 보강재로 사용되는데, 주로 지오텍스타일에 비해 강도가 우수한 지오그리드가 사용되고 있다. 지오그리드는 개구부(aperture)를 통해서 골재의 결속을 강화시켜 골재의 수평방향 이동을 제어함으로 노상에 가해지는 응력을 감소시키는데 그 보강효과가 있다. 현재 경험적 설계식이 사용되고 있으며, 아직 공식적인 설계기준은 없는 상태로서 부적절한 설계로 인한 문제점과 혼란이 발생할 수 있다는 우려가 있다. 미국도로교통협회(AASHTO)가 2001년 발표한 AASHTO Provisional Standard PP 46-01에 지오그리드의 보강효과를 도로수명 연장비율 (Traffic Benefit Ratio, 이하 TBR) 또는 기층의 두께감소 비율 (Base Course Reduction)로 환산하여 도로설계에 사용하도록 하고 있다. 현재 Kentucky주 도로국 (Department of Transportation)에서 2007년 개정한 시방규정은 노상 CBR, 설계 교통량, 그리고 지오그리드의 보강유무에 따라서 설계 포장체의 구조적지수 (SN) 값을 다르게 제시하고 있으며, 이는 TBR로 나타내면 2.5에서 4정도의 범위를 갖는다.

TBR은 지오그리드의 포장체의 노상 러팅수명 연

장효과를 나타내는 것이다. 현재의 경험식은 순수한 지오그리드의 보강효과만을 보기 위해 실시한 저급 도로에서의 시험시공 결과를 바탕으로 한 것이다. 포장체 상부의 두께가 얇은 경우는 포장체의 표면러팅을 순수한 노상의 러팅으로 가정할 수 있었으나, 포장체의 두께가 증가될 수록 각층간 러팅이 증가하므로 기존 설계식의 TBR값에 대한 적합성여부가 의문시 되어왔다. 일반적으로 기층의 두께가 너무 얇거나 두꺼운 경우는 큰 보강효과를 얻기 어렵다. 현재까지의 연구결과는 기층의 두께가 두꺼운 경우는 지오그리드를 기층 중상층부에 두거나 2층의 지오그리드를 사용할 것을 제안하고 있다.

토목섬유는 위에 살펴본 두 가지의 활용방안을 동시에 고려해서 사용하는 경우가 많은데, 최소두께이상의 기층/보조기층을 두어 초기비용감소와 도로수명연장을 함께 추구하는 것이다. 시공예를 살펴보면, 2004년 미국 유타주 Salt Lake시 남부 SR-36 도로 확장공사에서는 연약지반처리를 위해 필요한 두께 300mm의 석회안정처리층(Lime Treated Base)을 두층의 지오그리드와 두께 200mm의 골재층으로 대체하였다. 보조기층과 노상 사이의 지오그리드는 연약지반의 보강용도로, 기층의 지오그리드는 보강재로 각각 사용되었다. 지오그리드는 특히 연약지반의 화학적 안정처리를 대체하는 용도로 사용되는 경우가 많은데, 이는 환경문제를 야기하지 않고 공기를 단축시킬 수 있기 때문이다.

다른 예로는 미국 플로리다주의 SR -15도로 확장 공사를 들 수 있다. 1999년 토목섬유의 보강효과를 비교 분석하기 위해 남북 각 5개의 구간에 두층의 토목섬유를 적용하였다. 상부의 토목섬유는 기층의 보강재로 사용되었고 하부의 토목섬유는 연약지반처리를 위해서 사용되었다. 5개 구간에 적용된 토목섬유의 종류는 다음과 같다. (1) TENSAR 지오그리드 두층, (2) TENSAR 지오그리드와 지오텍스타일, (3) TENSAR 지오텍스타일 두층, (4) Fornit 지오그리드와 지오텍스타일, (5) 비교를 위한 토목섬유 미사용 구간. 포장체의 두께는 전구간이 동일하다.

시공후 7년간의 추적조사결과는 토목섬유 보강구간은 비교구간에 비해 러팅은 약 50~60%, 균열은 15~20%에 불과한 것으로 나타났다. 승차감 조사결과와 FWD(Falling Weight Deflectometer) 처짐값은 비교구간과 큰 차이가 없었다.

### 3. 아스팔트 덧씌우기층의 반사균열 지연효과

아스팔트 덧씌우기는 노후화된 기존포장의 유지보수방법의 하나로 비교적 간편한 시공으로 포장의 구조성능을 회복하는 방법이다. 토목섬유는 아스팔트 덧씌우기층의 반사균열을 지연시켜 포장의 공용수명을 증가시키고(그림 3), 표면에서 유입되는 수분의 침투를 막는 효과가 있다. 최적의 보강효과를 위해서 토목섬유는 고강도와 온도변화에 대한 우수한 크리프 저항성을 가져야 한다. 또한 덧씌우기층은 일정두께 이상을 유지하여야 하며 적은 두께의 덧씌우기층으로는 반사균열의 지연효과를 기대하기 어렵다. 이외에도 기존포장의 균열보수, 기층과 노상토의 상태 등은 보강된 아스팔트 덧씌우기층의 수명에 큰 영향을 미치므로, 기존 포장상태에 대한 상세한 조사가 선행되어야 한다.

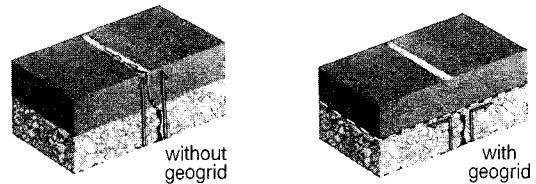


그림 3. 지오그리드의 반사균열 지연효과

현재까지 섬유보강으로 인한 반사균열의 지연은 많은 연구가 진행되어왔는데, 영국의 Nottingham 대학의 실험결과를 바탕으로 한 OLCRACK (Thom, 2000), 네덜란드의 Delft 대학에서 실시한 정적전단 실험결과를 바탕으로 한 ARCDISO (Anti-Reflective Cracking Design Software)등이 개발되었다 (Arian de Bondt, 1999). 이 프로그램

은 보수공사 지점의 기온특성, 보강섬유, 텍코트(tack coat), 그리고 기존 포장의 상태 등을 고려해서 균열지연 특성을 예측한다.

반사균열지연에 사용되는 섬유는 직물 형태(fabric) 또는 지오텍스타일 형태와 그리드 형태가 있다. 2001년 미국 텍사스주에서는 평균기온에 따라 3개의 지역을 선정하여 다양한 토목섬유와 복합재(composite)를 실험하였다. 이들 지역의 평균기온은 Pharr District (영하 5도~33도), Waco District (9~36도), 그리고 Amarillo District (1~37도)이다. 사용된 보강재는 Fiber형태의 Petromat 4598, Propex, Mirapave 400, Pave-Dry 381, Pave-Dry 461, TruPave (fiberglass), 그리드는 GlasGrid 8501과 8502, 그리고 Composite으로 PetroGrid 4582 100 kN, Bitutex, HaTelit, StarGrid GPS가 사용되었다.

토목섬유의 설치방법은 제조업체가 제시한 시공방법을 따랐으나, 지역에 따라 각각 다른 조건에서 시공되었다. 또한 복합재형 보강재인 Bitutex은 고온에서의 장기보관으로 제품이 들러붙어 설치에 어려움이 있었고 설치 후에도 주름이 생겨 높은 보강효과를 기대하기 어려웠다. Pharr District에는 토목섬유를 질삭한 아스팔트 표면 위에 바로 부착시킨 후 40mm의 아스팔트 덧씌우기를 시행하였다. Waco District에서는 25mm의 레벨링층이 사용되었으나, 레벨층은 수개월간 교통에 노출된 후, 토목섬유와 40mm의 덧씌우기층이 시공되었다. Amarillo District에서는 모든 보강표면의 균열을 보수한 이후 25mm의 레벨링층을 시공하였고, 50mm의 아스팔트 덧씌우기를 시공하였다. 현재까지의 추적조사 결과는 레벨링층의 사용과 시공과정이 보강효과에 큰 영향을 미치는 것으로 나왔음을 유념할 필요가 있다. 3년간의 추적조사 결과는 토목섬유로 보강된 덧씌우기층의 대부분에서 포장체의 공용 수명이 증가하였음을 보여주었다. 초기 설치비용을 토대로 한 경제성 분석결과, 직물형의 토목섬유는 15%, 그리고 상대적으로 비용이 비싼 그리드형태의 토목섬유는 약 2

배 이상의 덧씌우기층 수명증가 효과가 있어야 경제성이 있는 것으로 분석되었다. 또한 저온에서는 보강효과가 감소하여 균열이 발생하였다고 실험결과를 밝혔다.

또다른 사례로는 1998년 오레곤주 4번 도로(US 97)구간에 실시한 반사균열 지연효과를 비교한 현장 실험이 있다. 미국 오레곤주는 낮은 기온으로 인한 포장의 수축균열이 심각한 지역으로 덧씌우기층의 반사균열이 항상 문제가 되어왔다. 참고로 1961년에서 1990년간 최저기온은 영하 34도였다. 기존의 포장과 덧씌우기층은 개립도 아스팔트가 사용되었으며, 적용된 토목섬유는 Glasgrid 8502®, GeoTac®, PavePrep SA®, Polyguard Cold Flex 2000 SA™, 그리고 Polyguard 665™의 다섯 종류이다. 시험구간의 총 140개의 균열 중 98개에 토목섬유가 사용되었고, 22개는 굵은 골재 최대치수가 12.5mm인 crack filler로 처리 후, 나머지 20개의 균열에는 아무런 처리없이 아스팔트를 덧씌웠다. 균열상태는 균열의 폭에 따라 low (균열폭 6mm 이하), medium (균열폭 6에서 19mm)과, high레벨 (균열폭19mm 이상)의 3단계로 분류하였다. 기존의 노면의140개의 균열중 66개가 medium, 나머지 74개는 high단계의 균열로 분류되었다. 실험에는 토목섬유와 기존 포장노면에 아스팔트 레벨링층이 사용되지 않았으나, 일반적으로 레벨링층을 두는 것을 권하고 있다.

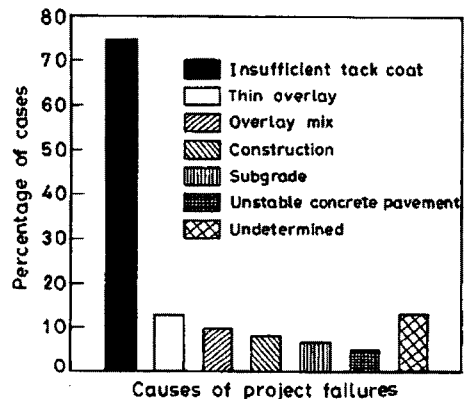


그림 4. 1982-1999년간 시공실패사례의 원인조사 (Baker, 1998)

시공후 2007년까지 8년간 실시한 노면상태를 추적조사한 결과 평균기온이 낮았던 해에는 토목섬유의 반사균열효과가 미비한 것으로 나타났다. 최종결과를 보면 Glasgrid 8502의 반사균열 지연효과가 제일 뛰어난 것으로 나타났으며, 총 20개의 반사균열중 오직 1개만이 Medium레벨의 반사균열로 판정되었다. 가장 성능이 떨어진 Polyguard 665는 토목섬유를 설치하지 않은 비교구간 보다는 많은 수의 High레벨의 반사균열이 생겼다.

지금까지 살펴본 활용기법과 현장시험 결과는 유지보수공법의 하나로 토목섬유의 가능성을 보여준

다. 그러나 토목섬유제품의 Index Property와 보강효과에 대한 명확한 상관관계가 세워지지 않았고 경험적 설계지침은 수시로 재정립되고 있음을 유념할 필요가 있다. 그림 4는 1982년에서 1997년간의 반사균열 제어목적으로 사용된 토목섬유들이 실패한 원인들이다. 10년이 지난 지금 많은 경험이 쌓였고, 신제품의 개발과 기술의 개선이 이루어졌으나, 토목섬유의 선택과 활용기법은 기술자의 경험, 시공성과 경제성 그리고 기존포장의 상태를 고려하여 합리적으로 선정되어야 그 효과를 극대화할 수 있을 것이다.

회원의 신상변동사항(이사, 전근, 승진 등)이 있으면  
학회 사무국으로 연락주시기 바랍니다.  
현재 반송되는 우편물이 너무 많습니다.

- 전 화 : (02)3272-1992
- 전 송 : (02)3272-1994
- E-mail : kospe@hanmail.net