

토목섬유로 보강한 아스팔트 혼합물의 균열저항성 연구

An Effect of Geosynthetics Reinforcement on Crack Resistance of Asphalt Concrete

권세용* · 김남호** · 이석근***

Kwon, Se Yong · Kim, Namho · Rhee, Suk Keun

1. 서론

현재 국내의 도로 포장은 주변 환경 및 반복교통하중에 의해 설계수명 이전에 파손이 발생하고 있으며 이로 인해 도로포장의 유지관리에 막대한 예산이 낭비되고 있는 실정이다. 도로 포장의 선진기술을 갖추고 있는 외국에서는 이러한 도로의 내구성을 증진시키기 위한 연구 및 대책이 마련되고 있는데, 이들은 크게 재료적 측면에서 도로포장 재료인 아스팔트나 골재의 성능을 개선시키는 방법과 전통적인 포장 재료에 토목섬유와 같은 보강재를 추가하여 포장체를 보강하는 방법으로 나눌 수 있다.

특히, 토목섬유를 이용한 아스팔트 포장은 피로균열이나 반사균열 억제에 큰 효과를 나타내고, 부수적으로 수밀성을 증대시켜 도로 균열에 의한 침투수를 차단하는 장점을 가지고 있다고 알려져 있다. 이러한 토목섬유를 이용한 아스팔트 포장 연구는 외국에서 활발한 연구가 진행되어지고 있으나, 국내에서는 연구 및 사용실적이 부족하여 체계적인 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 AP-5 아스팔트 포장과 SBS 개질아스팔트 포장을 대상으로 하여 세 종류의 토목섬유(유리섬유 그리드, 유리섬유 시트, 유리-탄소섬유 그리드 복합체)의 균열저항 특성을 토목섬유로 보강하지 않은 포장과 비교 분석하였다.

2. 사용재료 및 혼합물 제작

2.1 토목섬유

토목섬유란 모래, 흙, 자갈 등의 환경에 사용되는 고분자 재료로써 토목공사의 시공기술과 밀접한 관계가 있는 섬유제품이며 초기에는 직포와 부직포만의 토목용 섬유 제품을 의미하는 용어였지만 다양한 토목용 섬유제품의 출현과 함께 1986년 국제토목섬유 학술회의에서 Geosynthetics라는 용어가 토목섬유를 대변하는 통용어로 사용되기 시작하였다. 토목섬유는 1970년대 초기에는 주로 토사의 세굴방지와 여과의 목적으로 이용되었다가 그 후에는 지반의 분리, 보강 또는 배수의 기능으로 널리 이용되어 왔으며 최근에는 방수, 균열방지, 지반구조물 보호, 충격흡수 등의 목적으로 사용되고 있다.

본 연구에서는 아스팔트 포장의 균열방지를 위해 사용되는 여러 토목섬유 중에서 유리섬유 grid와 sheet 형태의 토목섬유와 하중진행 방향에 따라 다른 성능을 발휘하도록 한 유리섬유와 탄소섬유가 격자 형태로 이루어져있는 토목섬유를 사용하였다. 그림 1은 본 연구에 사용된 토목섬유의 실제 모습이며, 표 1은 본 연구에 사용된 토목섬유의 공학적 특성을 나타낸다.

* 정희원 · 경희대학교토목공학과 · 석사과정 · 031-201-2923(E-mail:k3330kr@naver.com)

** 정희원 · 한국기술교육대학교건축공학과부교수 · 공학박사 · 041-560-1332(E-mail:nhkim@kut.ac.kr)

*** 정희원 · 경희대학교토목공학과교수 · 공학박사 · 031-201-2900(E-mail:skrhee@khu.ac.kr)

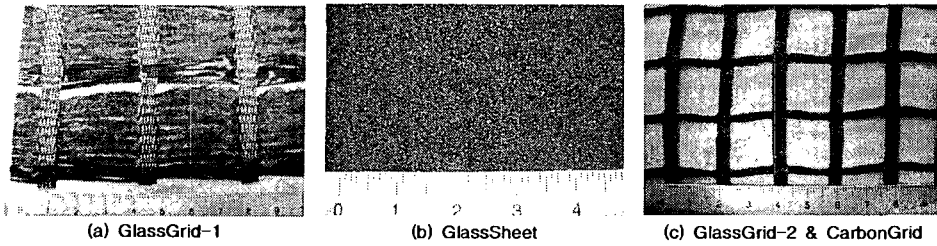


그림 1. 연구에 사용된 토목섬유

표 1. 토목섬유의 공학적 특성

토목섬유 종류	GlassGrid-1	GlassSheet	GlassGrid-2	CarbonGrid
공학적 물성				
보강사	Glass	Glass	Glass	Carbon
최대인장강도	5,900 kgf/m	7,000 kgf/m	11,000 kgf/m	17,800 kgf/m
탄성계수	30 kN/mm ²	35 kN/mm ²	70 kN/mm ²	240 kN/mm ²
부착강도	n/a	n/a	12.9 kN	
형 태	30mm×30mm 격자 구조	직선상으로 간격 없이 배치	20mm×20mm 격자 구조	

2.2 혼합물 제작

본 연구의 실험을 위한 공시체 제작은 표 2의 최적아스팔트 함량과 그림 2의 골재입도에 근거하여 제작하였으며, 실험에 미치는 인자는 보강재 및 표층 아스팔트 혼합물의 종류이며, 표층 골재와 입도 및 기층재는 동일재료를 사용하였다.

표 2. 마샬 배합설계 결과 및 최적 아스팔트 함량

혼합물		최적아스팔트 함량(%)	공극률(%)	VFA(%)	흐름값(0.01cm)	안정도(kg)
표층	AP-5	5.8	4.5	74.6	37	1145
	SBS	5.7	4.4	75.8	37	1804
기준		4.5~7	3~6	70~85	20~40	750 이상
기층		4.0	7.2	n/a	24	1011
기준		3~8	3~10	n/a	10~40	350 이상

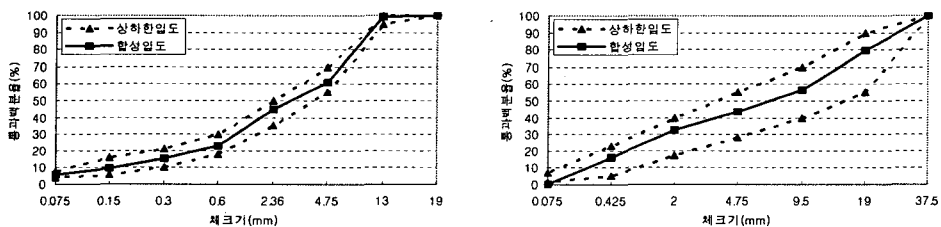


그림 2. 골재 입도곡선(좌 : 표층용 입도, 우 : 안정처리기층용 입도)

국내 아스팔트 혼합물의 실험에 이용되는 공시체 제작방법에는 마샬다짐기, 선회다짐기, 무단변속다짐기 등을 이용하여 제작하는 방법이 있다. 그러나 이러한 방법들은 각기 다른 다짐특성을 가지고 있기 때문에 각 다짐방법을 통한 공시체의 물성을 동일선상에서 비교할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 차단하기 위해 본 연구에서는 실제 포장공사에서 실시되는 방법으로 천안시 소재 OO공장부지에 시험을 위한 아스팔트 포장을 실시하였다.



각 혼합물은 150℃의 온도를 유지한 상태에서 포설하였으며, 1차 다짐은 매커덤 롤러를 이용하여 혼합물의 온도가 110~140℃내에 들도록 하였으며, 2차 다짐은 타이어 롤러를 이용하였고 혼합물의 온도는 70~90℃에서 실시하였다. 마지막으로 3차 다짐은 혼합물의 온도가 60℃이하로 떨어지지 않은 상태에서 탠덤 롤러를 사용하여 실시하였다. 이 때, 다짐도는 96%를 만족하고 소요공극률이 4.0±0.5%를 만족하도록 하였다.

3. 실험방법

본 연구에서는 AP-5 아스팔트 혼합물 및 SBS 개질아스팔트 혼합물을 대상으로 하여 토목섬유로 보강한 아스팔트 혼합물의 휨 특성 및 피로저항 특성을 보강하지 않은 혼합물과 비교·평가하기 위해 중앙점 휨 시험, 중앙점 피로균열 시험, 3점 빔 피로시험을 실시하였다.

중앙점 휨 시험은 토목섬유로 보강된 아스팔트 혼합물의 정적 휨 저항을 평가하고 파괴에너지를 결정하기 위해 수행하였다. 시험 공시체는 자중으로 인한 처짐을 방지하고 분석 시 탄성이론을 적용하기 위하여 -10℃를 유지하는 항은 챔버에서 시험을 실시하였으며, 최대 재하하중이 25ton인 유압 재하장비를 사용하여 50mm/min의 하중속도로 아스팔트 혼합물이 파괴될 때까지 재하하였다.

중앙점 피로균열 시험은 토목섬유로 보강된 아스팔트 혼합물의 균열진전 특성 및 균열저항성을 평가하기 위해 실시하였다. 시험하중은 비보강 혼합물의 파괴하중(약 1000kg)의 25% 및 40%인 250kg과 400kg으로 결정하였으며, Haversine 형태의 하중을 10Hz 속도로 재하하였다. 피로하중 재하에 따른 균열 발생시 균열이 5mm 진전될 때 마다 육안 관찰하여 하중재하 횟수를 기록하였으며, 수직 균열이 혼합물의 전단면에 걸쳐 발생할 때까지 수행하였다.

그림 3과 그림 4는 각 시험전경을 나타내며, 표 3은 각 실험에 사용된 공시체 크기 및 시료채취 방법이다.

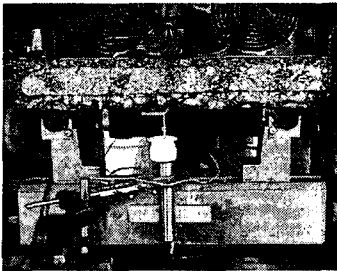


그림 3. 중앙점 휨 시험

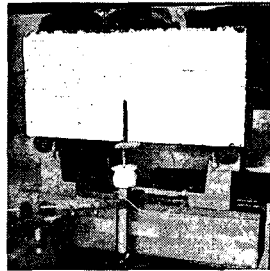


그림 4. 중앙점 피로균열 시험

표 3. 공시체 크기 및 시료채취 방법

시험종류	공시체 크기 (길이×폭×높이, cm)	시료채취 방법
중앙점 휨 시험	30.0×5.0×6.0	도로용 절삭기를 이용하여 60cm×60cm 크기로 절삭 후 아스팔트용 정밀 절삭기를 이용하여 각 시험을 위한 크기로 절삭
중앙점 피로균열 시험	35.0×7.5×15.0	

4. 실험결과 및 분석

4.1 토목섬유의 부착성능에 따른 보강효과

토목섬유와 아스팔트 혼합물 사이의 부착력이 혼합물의 휨 강성 및 균열저항성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 부착력이 떨어지는 토목섬유(GlassSheet-1)를 사용하여 혼합물을 보강한 경우에는 토목섬유가 아스팔트 포장의 표층과 기층을 분리시켜 보강하지 않았을 때 보다 더 나쁜 성능을 나타내었다. 그림 5는 실



제 분리된 포장의 모습을 나타내며, 그림 6은 부착이 불량한 토목섬유 보강 혼합물의 중앙점 피로균열 시험 결과를 나타낸다. 실제 피로하중 재하과정에서 부착이 불량한 시편은 토목섬유-아스팔트 경계면의 균열이 먼저 발생하였으며, 그 이후 비보강 시편보다 먼저 파괴되는 것으로 조사되었다.

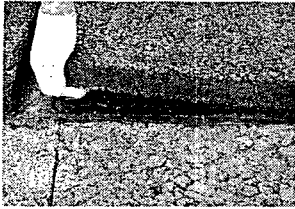


그림 5. 실제 분리된 포장의 모습

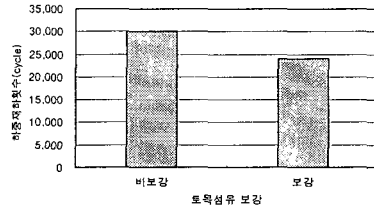


그림 6. 부착이 불량한 토목섬유 보강 혼합물 피로균열 시험결과(피로하중 250kg)

이러한 불량한 접착 문제를 개선하기 위해서는 적절한 토목섬유재료 또는 토목섬유 함침재료 및 적절한 텍코팅 재료를 사용하는 것이 매우 중요할 것으로 판단되며, 실제로 이러한 개선된 재료를 사용한 GlassSheet, GlassGrid-2 및 CarbonGrid에서는 이러한 경계면 파괴가 발생되지 않았다.

4.2 토목섬유로 보강한 아스팔트 혼합물의 보강효과

토목섬유와 접착이 잘 되어진 아스팔트 혼합물은 포장체의 휨하중에 대한 저항성을 크게 증가시키는 것으로 나타났다. 그림 7과 그림 8은 중앙점 휨 시험과 중앙점 피로균열 시험(피로하중 400kg)에 따른 토목섬유 및 개질 아스팔트 사용에 따른 보강효과를 나타낸다. AP-5 혼합물을 기준으로 볼 때, GlassGrid-2 시편의 최대휨하중은 비보강 혼합물 시편에 비하여 약 80-85% 증가하였으며, 균열저항성은 약 2.5배 증가하였다. GlassSheet 시편의 경우에는 최대휨하중은 약 35-40% 증가하였고 균열저항성은 1.5배 정도 증가하는 것으로 나타났다.

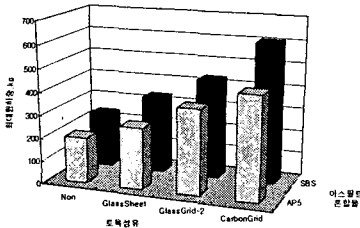


그림 7. 중앙점 휨 시험 결과

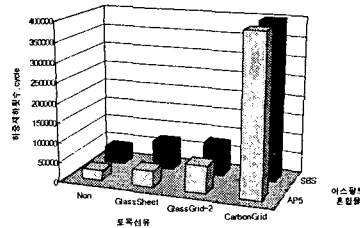


그림 8. 중앙점 피로균열 시험(피로하중 400kg) 결과

그림 9는 중앙점 피로시험 결과 나타난 피로하중 수준에 따른 토목섬유 보강 혼합물의 피로하중 재하횟수를 나타낸다. 피로하중 250kg 수준에서는 GlassSheet로 보강한 아스팔트 혼합물이 비보강 혼합물에 비해 9배 정도 우수한 균열저항성을 나타냈고, 피로하중 400kg 수준에서는 GlassSheet로 보강한 혼합물은 1.5배 정도 균열저항성이 증가하였으며, GlassGrid-2로 보강한 혼합물의 경우에는 2.5배 정도 증가하는 것으로 조사되었다. 유리섬유로 보강된 아스팔트 혼합물의 경우에는 낮은 하중수준에서는 우수한 성능을 가지지만, 하중수준이 높아지면서 그 성능은 현저히 떨어지는 것으로 알 수 있다.

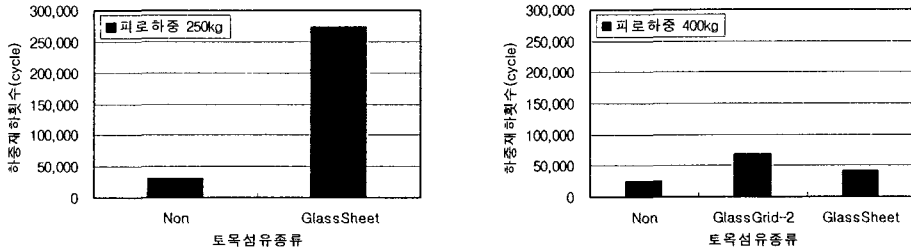


그림 9. 피로하중 수준에 따른 토목섬유 보강 혼합물의 피로하중 재하횟수

그림 10은 피로하중 400kg에서의 SBS 개질아스팔트의 보강효과와 토목섬유의 보강효과를 나타낸다. SBS 개질아스팔트를 사용하여 혼합물을 보강한 경우에는 AP-5혼합물에 비해 15%정도 균열저항성이 증가하는 것으로 나타났고, GlassGrid-2로 보강한 혼합물의 경우에는 비보강 혼합물보다 90%정도 균열저항성이 증가하는 것으로 나타났다.

이러한 토목섬유 사용에 따른 아스팔트 혼합물의 균열저항성 증진 효과가 SBS 개질아스팔트 사용에 따른 균열저항성 증진효과보다 훨씬 우수한 것으로 나타났다.

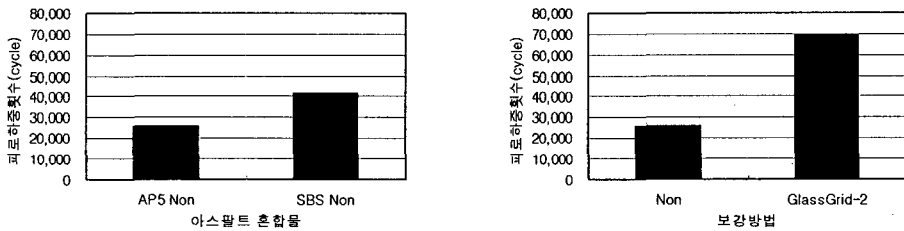


그림 10. 개질아스팔트 및 토목섬유 사용에 따른 보강효과

4.3 토목섬유 종류에 따른 아스팔트 혼합물의 균열저항 특성

그림 11과 그림 12는 피로하중 수준에 따른 GlassSheet로 보강한 아스팔트 혼합물의 균열저항 특성을 나타낸다. 유리섬유로 보강한 혼합물은 250kg의 피로하중에 대해서는 AP-5 혼합물은 비보강 혼합물에 비해 약 9배, SBS 개질아스팔트 혼합물은 4배 이상 높은 균열저항성을 나타내었다. 하지만, 피로하중 수준이 높아지면서 피로하중에 대한 균열저항성은 크게 낮아져 AP-5 아스팔트 혼합물과 SBS 개질아스팔트 혼합물 모두 1.5배 정도의 균열저항성을 보였다.

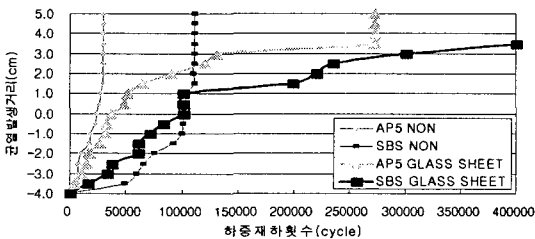


그림 11. 유리섬유 보강 AP-5 혼합물 균열진전 (피로하중 250kg)

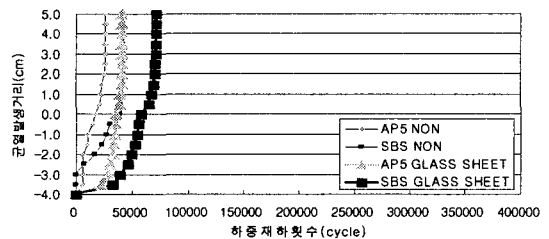


그림 12. 유리섬유 보강 AP-5 혼합물 균열진전 (피로하중 400kg)

그림 13과 그림 14는 피로하중 400kg 수준에서의 GlassGrid-2와 CarbonGrid로 보강한 아스팔트 혼합물의

균열저항성을 나타낸다. GlassGrid-2로 보강한 혼합물은 비보강 혼합물에 비해 약 2.5배 크게 균열에 저항하는 것으로 나타났으며, CarbonGrid로 보강한 혼합물의 경우에는 AP-5 혼합물이나 SBS 혼합물 모두 비보강 혼합물에 비해 15배 이상 균열에 저항하는 것으로 나타났다. 또한 CarbonGrid로 보강한 혼합물은 GlassGrid-2로 보강한 혼합물에 비해 5배 정도 큰 균열저항성을 갖는 것으로 나타났다.

또한, 비보강 혼합물의 경우에는 균열이 시편의 중앙을 지나면 파괴가 발생한 반면 GlassGrid-2 또는 CarbonGrid로 보강한 혼합물의 경우에는 토목섬유가 하중을 분산시키고 저항함으로써 균열이 시편의 2/3를 지난 이후에 파괴가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 CarbonGrid로 보강한 아스팔트 혼합물의 경우 토목섬유가 부착되어진 부근에서 균열이 더 이상 진전되지 않고 피로하중을 견디는 것을 볼 수 있다.

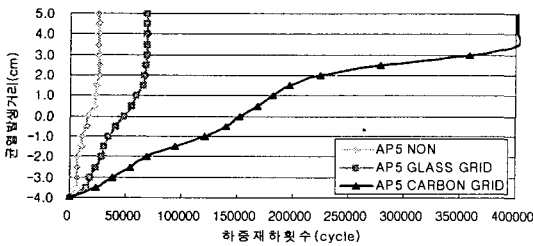


그림 13. 토목섬유 종류에 따른 AP-5 혼합물의 균열진전

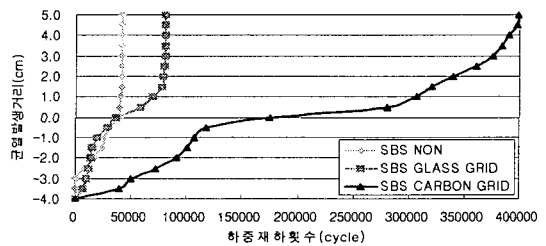


그림 14. 토목섬유 종류에 따른 SBS 혼합물의 균열진전

이러한 실험결과를 기초로 볼 때, GlassSheet 및 GlassGrid-2는 일반 도로의 균열저항성을 개선시키는데 적절할 것으로 판단되며, CarbonGrid의 경우에는 이보다 중차량이 많은 도로의 균열저항성을 획기적으로 개선시키는데 적절할 것으로 판단된다.

5. 결론

토목섬유를 부착한 아스팔트 혼합물의 보강특성을 파악하기 위해 실시한 실내시험을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 혼합물과의 부착성능이 떨어지는 토목섬유를 사용할 경우 포장에 악영향을 끼치는 것으로 나타났다. 따라서 시공이전에 충분한 시험을 통해 토목섬유의 성능을 파악하는 것이 중요할 것으로 판단된다.
- (2) 개질 아스팔트 바인더를 사용하여 혼합물의 강성을 증가시키는 효과보다 토목섬유를 사용하여 강성을 증가시키는 효과가 월등히 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 높은 수준의 피로하중 수준에서는 탄소섬유로 보강한 혼합물이 균열저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 중차량 통행이 많은 항만, 물류단지 등의 아스팔트 포장도로에 적용성이 우수할 것으로 판단된다. 또한, 유리섬유(GlassSheet, GlassGrid-2)로 보강한 혼합물은 낮은 피로하중 수준에서 우수한 균열저항성을 보이는 것으로 나타나 일반도로의 균열저항성을 개선시키는데 적절할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2003, 토목섬유를 이용한 아스팔트포장 내구성 증진 연구, 건설기술연구원
2. 박영근, 2002, 토목섬유의 역사, 한국토목섬유학회 논문집, Vol.1, No.1, p.13~15
3. 아스팔트 포장연구회, 1998, 가열아스팔트 혼합물 배합설계 지침, p.79~108
4. AASHTO Designation : TP8-94, 1996, Standard test method for determining the fatigue life of compacted hot mix asphalt(HMA) subjected to repeated flexural bending