

# 유리섬유 시트 보강 아스팔트포장 내구성 증진에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study of Glass Fiber Sheet-reinforced Asphalt Pavement

조 삼 덕<sup>1</sup> Cho, Sam-Deok

이 대 영<sup>2</sup> Lee, Dae-Young

김 진 환<sup>3</sup> Kim, Jin-Hwan

김 남 호<sup>4</sup> Kim, Nam-Ho

### Abstract

The major distress types in the domestic asphalt pavement are fatigue cracking, reflection cracking, thermal cracking, and rutting. To decrease the pavement distress by reinforcing asphalt pavement with reinforcement interlayer in geosynthetics to the traditional pavement systems can improve these problems. This study conducted laboratory test with asphalt pavement reinforced by glass fiber sheet to fix systematically geosynthetic asphalt pavement system. Laboratory tests like wheel tracking test and crack resistance test are conducted to analyze the controlling effect of glass fiber sheet on cracking and rutting of asphalt pavement.

### 요 지

국내 아스팔트 포장의 주요파손은 피로균열, 반사균열, 온도균열, 소성변형 등이 발생하고 있다. 이러한 아스팔트 포장의 파손을 최소화하기 위해 기존의 아스팔트 포장 층에 포장섬유를 포설, 보강하는 기법이 적용될 수도 있다. 본 연구에서는 포장섬유 아스팔트 포장 시스템을 체계적으로 정립하기 위해 유리섬유 시트로 보강한 아스팔트 포장 층을 대상으로 실내시험을 실시하였다. 실내시험은 포장섬유 보강 아스팔트 포장의 균열저항성과 소성변형을 평가하기 위해 휠트래킹 시험과 균열저항성 시험을 수행하여 포장섬유 아스팔트 포장의 소성변형 및 균열 저항성을 분석하였다.

**Keywords :** Asphalt pavement, Fatigue cracking, Glass fiber sheet, Rutting, Wheel tracking test

### 1. 서 론

국내 아스팔트 도로포장의 주요 파손형태는 주변환경 및 반복 교통하중 조건에 의한 소성변형(rutting), 피로균열, 반사균열, 온도균열 등이 있는데, 포장이 설계 수명에 도달하기 이전에 주로 발생하며 이로 인한 도로 포장의 유지관리에 막대한 국가예산이 낭비되고 있는 실정이다. 현재 선진 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 포장섬유와 같은 보강재를 추가하여 포장체를 보강하는 방법 등으로 나눌 수 있다. 특히 포장섬유를 이용한 도로의 내구성 증진에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 외국의 연구를 통해 포장섬유 포장은 피로균열이나 반사균열 억제에 그 효과가 클 뿐만 아니라 포장섬유 보강층의 공학적 특성으로 인한 수밀성을 증진시켜 부수적으로 침투수를 차단하는 공

1 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원 (Member, Researcher Fellow, Geotechnical Engr. Research Dept., KICT, sdcho@kict.re.kr)

2 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Geotechnical Engr. Research Dept., KICT)

3 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원 (Member, Researcher, Geotechnical Engr. Research Dept., KICT)

4 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Architectural Engr., KUT)

학적 장점을 가지고 있다고 보고되어 있다(Koerner, 1992; Marienfeld & Smiley, 1994; Dondi, 1998; Austin & Gilchrist, 1996; Bayex, 1998). 또한 아스팔트 포장층 내에 포설된 포장섬유는 균열억제 효과뿐만 아니라 소성변형 억제에도 효과가 있음을 제시하고 있다(Komatsu et al, 1998; Brown et al, 1985). 그러나 국내에서는 아직 포장섬유 보강재를 사용한 포장체의 사용이 거의 이루어지고 있지 않아 이에 대한 활발한 연구가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 포장섬유 아스팔트 포장시스템을 체계적으로 정립하기 위하여 기존 외국에서 타당성이 검증된 포장섬유의 장점을 국내의 실정에 적합하게 접목시켜 균열 및 소성변형에 대한 실내 실험을 통하여 포장섬유 아스팔트 포장의 균열저항성 및 소성변형 저항성 효과를 고찰하고자 한다.

## 2. 실내 실험재료 및 공시체 제작

### 2.1 실험 재료

본 연구에 사용된 골재는 화강암으로서 표층 및 가열 아스팔트 안정처리기층용으로 각각 굵은 골재 공칭최대 치수 13mm, 37.5mm를 부순모래, 자연모래, 석분과 함께 사용하였고, 아스팔트의 경우 한국정유회사에서 생산된 Straight Asphalt(PG 64-22)와 SBS Modified Asphalt(PG 76-22)를 사용하였다. 포장섬유로는 유리섬유 시트

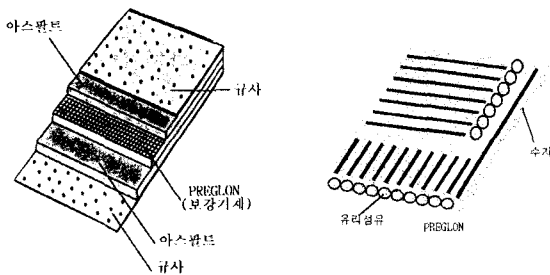


그림 1. 유리섬유 시트의 형상

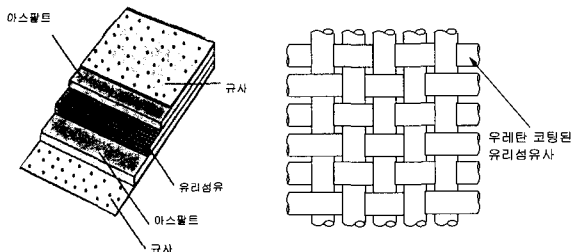


그림 2. 유리섬유 복합포의 형상

와 국산 유리섬유 복합포를 사용하였는데, 유리섬유 시트는 두께 0.25mm의 유리섬유사를 직선상으로 간격없이 배열하고 폴리프로필렌 수지(PP resin)로 결속한 얇은 막을 직교하도록 적층시킨 후 아스팔트로 도포하여 제조한 두께 2.0mm의 시트형 복합 포장섬유 제품이다(그림 1 참조). 또 다른 제품은 국산 유리섬유 복합포로서 유리섬유로 직조된 직포에 아스팔트를 도포한 형태의 제품이다(그림 2 참조). 마찰 배합설계를 통하여 최적 아스팔트 함량을 결정하였는데, 그 결과 PG 64-22 아스팔트 및 PG 76-22 아스팔트 표층용의 경우 최적 아스팔트 함량은 각각 5.75%와 5.73%를 나타내었으며 가열 아스팔트 안정처리기층의 최적 아스팔트 함량은 3.95%를 나타내었다.

### 2.2 실험포장 단면 및 공시체 제작

본 실험의 포장 단면은 여러 예비시험을 거쳐 선택된 최적 단면인 표층 50mm, 기층 100mm의 크기로 제작하였으며(그림 3 참조), 실험 공시체는 실외에 설치된 실험장(test pit)에서 지름 40cm와 폭 65cm를 갖는 진동 다짐 로울러를 사용하여 다짐을 실시하였다. 3점 단순보 시험 공시체는 표층 40mm와 기층 20mm의 단면으로 구성된 350mm 50mm의 크기로 제작한 후 표층과 포장섬유 부착에 따른 휨강도를 측정하기 위하여 공시체의 중심을 기준으로 기층부에 20mm의 초기균열을 가하였다. 3점 피로균열 시험의 경우 표층 50mm, 기층 100mm의 공시체를 75mm의 폭과 300mm의 길이를 갖도록 제작하였으며, 균열 유도 및 측진을 위하여 보의 상단에서 90mm 떨어진 지점까지 초기균열을 가하였다. 또한 완성된 보에 대하여 피로균열의 진전을 용이하게 관찰하기 위하여 보의 양면을 흰색 수성 페인트를 칠하였으며, 5mm 간격

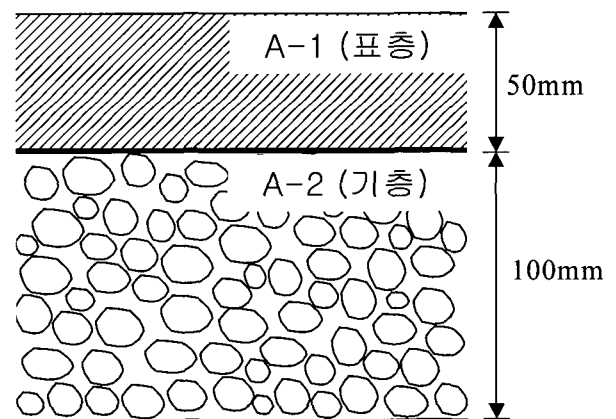


그림 3. 실험포장 단면(3점 피로균열 시험)

으로 격자를 표시하였다(한국건설기술연구원, 2001).

휠트래킹 시험 공시체는 실험장에서 제작된 공시체를 각 모형에 부합하는 크기로 절단하였으며, 절단한 시험용 공시체와 몰드 사이에 발생하는 간격은 그라우팅용 초속경 시멘트를 주입하여 최소화하였다. 시멘트 주입을 마친 공시체는 상온에서 약 12시간 이상 양생시킨 후 실험을 실시하였다.

### 2.3 실험 방법

3점 단순보 시험은 -10℃를 유지하는 항온실에서 실시하였다. 하중은 일정 변형률 재하법(constant strain type)을 사용하여 50mm/min의 속도로 공시체의 중앙 상면에 적용하였다(그림 4 참조). 3점 피로균열 시험은 5℃를 유지하는 항온실에서 실시하였으며, 하중 재하에 따른 에너지의 분산을 최소화하기 위하여 3점 휨형태의 시험(center point bending fatigue test)을 실시하였다. 하중재하는 일정 응력재하법(constant stress type)을 채택하여 정현파(sine curve) 하중을 가하였다(한국건설기술연구원, 2002). 이때의 최대 하중은 하중 수준에 따른 포장섬유 보강 효과를 파악하기 위하여 AP-5 아스팔트 혼합물을 사용한 비보강 공시체 파괴강도의 25%, 40%, 55%인 250kg, 400kg, 550kg을 사용하였으며, 재하 속도는 10Hz로 공시체의 중앙 상면에 적용하였다(그림 5 참조). 하중 재하시 공시체의 이탈을 방지하기 위하여 초기 하중으로 10kg을 가하였다. 하중 재하에 따른 처짐량을 측정하기 위하여 공시체의 하단부에 LVDT를 설치하였

표 1. 피로균열 및 휠트래킹 실험에 사용된 모형의 명칭

보강재 사용여부	AP 종류	명 칭
N (비보강)	AP-5	N-A-#
	SBS 개질	N-S-#
S (유리섬유 시트)	AP-5	S-A-#
	SBS 개질	S-S-#
K (국산 유리섬유 복합포)	AP-5	K-A-#
	SBS 개질	K-S-#

\* #은 실험 반복에 따른 횟수

으며, 반복 하중에 따른 균열 진전 길이는 5mm 균열 진전시마다 지속적으로 육안 측정하여, 수직균열이 공시체의 전단면에 걸쳐 발생할 때까지 수행하였다. 피로균열 및 휠트래킹 시험에 사용된 모형의 명칭은 표 1과 같다.

완성된 공시체에 대하여 소성변형 저항성 실험으로 휠트래킹 시험(Wheel Tracking Test)을 실시하였다. 실험에 사용된 장비는 사진 1과 같은 일본 TANIFUJI사

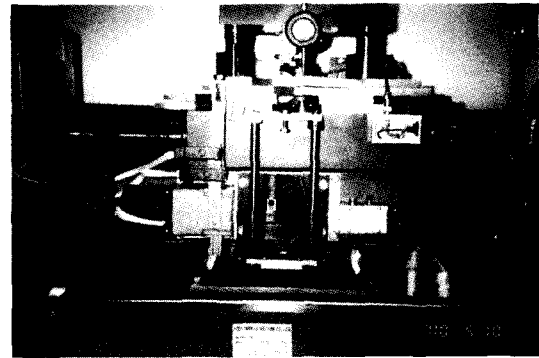


사진 1. 휠트래킹 시험장치

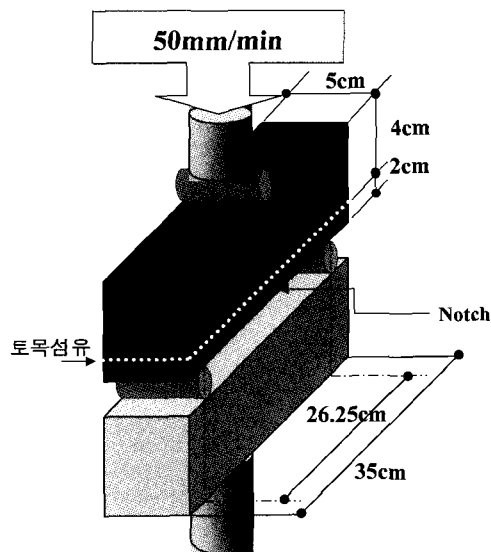


그림 4. 3점 단순보 시험 개요

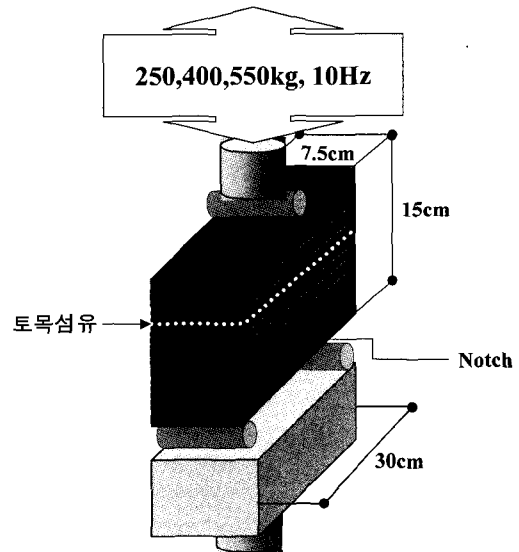


그림 5. 3점 피로균열시험 개요

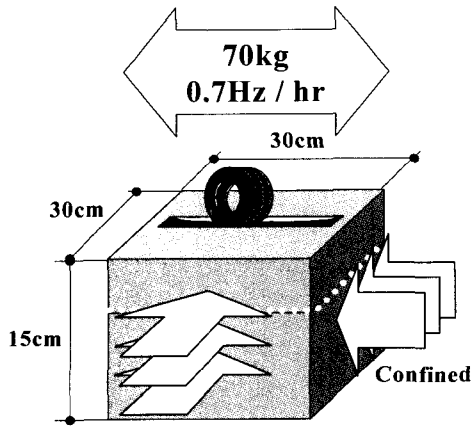


그림 6. 휠트래킹 시험 개요

표 2. 3점 단순보 시험결과(평균)

구분	Max. Load (kg)	Max. Deflection (mm)	Fracture Energy (kgf xmm)
N-A	197.7 (100%)*	0.078 (100%)*	23.4 (100%)*
N-S	238.8(121%)	0.103(132%)	34.2(146%)
S-A	265.9(135%)	0.915(1166%)	320.9(1371%)
S-S	333.5(169%)	1.240(1581%)	432.7(1848%)
K-A	244.9(124%)	0.127(161%)	39.99(170%)
K-S	295.1(149%)	0.177(225%)	59.7(255%)

\* 비보강 PG 64-22 공시체에 대한 비율

에서 제작된 휠트래킹 시험 장비를 사용하였다. 각 공시체는 실험 개시 6시간 이전에 미리  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 유지하는 항온실에서 양생하였다. 공시체 표면이 실험 온도인

$60\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 가 될 때까지 정지시키고 온도가 안정된 후 시험 바퀴를 직진 주행시켰다. 이때 가해진 시험 바퀴의 하중은  $70\pm 1\text{kg}$ 로 하였으며, 공시체의 다짐방향에 대하여 중심선을 따라 주행하도록 하였다. 또한 시험 바퀴는 공시체 중앙부를  $42\pm 1\text{회}/\text{min}$ 의 속도로 수평 전후 운동을 하였으며, 주행 거리는  $230\pm 10\text{mm}$ 이다(그림 6 참조). 제작된 공시체는 모두 2회의 반복실험을 진행하였으며, 사용된 모형의 명칭은 표 2와 같다.

### 3. 시험결과 분석 및 평가

$-10^{\circ}\text{C}$ 에서의 단순보 파괴 거동은 보강된 유리섬유의 종류에 따라 크게 변화하여, 비보강 공시체는 최대하중 이후에 급격히 파괴되는 반면 유리섬유 보강재를 사용한 경우의 최대 강도는 비보강 공시체와 비교하여 약 30~70% 정도로 어느 정도 증가한 반면, 최대 처짐량이나 파괴 에너지는 유리섬유 종류에 따라 큰 효과가 없는 경우부터 10배 이상의 증가까지 다양한 효과가 나타났다(그림 7~그림 11 참조). 또한 사용된 유리섬유 보강재중 유리섬유 시트의 보강 효과가 가장 뛰어나 파괴 에너지를 기준으로 비보강 공시체에 비하여 약 13배 정도의 증가를 나타내었으며, 아스팔트 혼합물의 파괴와 보강 시트의 파괴시로 추정되는 두 번의 최대점이 전형적으로 나타났다.

3점 피로균열 시험 결과 유리섬유 보강재를 사용한

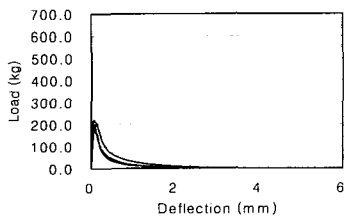


그림 7. 하중-변형곡선 (비보강)

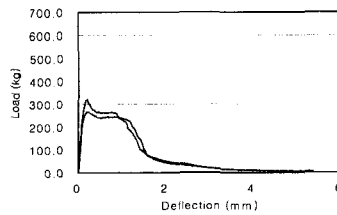


그림 8. 하중-변형곡선 (유리섬유시트보강)

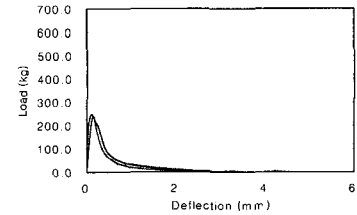


그림 9. 하중-변형곡선 (국산유리섬유 복합포 보강)

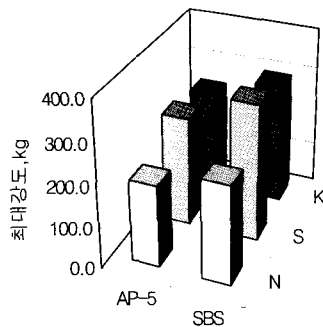


그림 10. 3점 단순보 시험결과(최대강도)

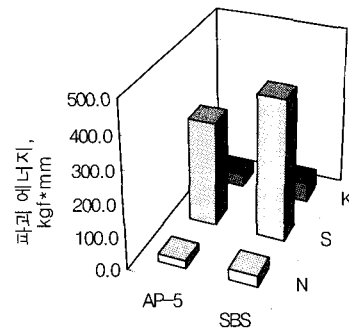


그림 11. 3점 단순보 시험결과(파괴에너지)

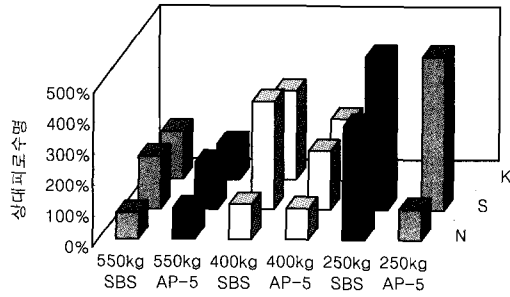


그림 12. 상대수명 비교

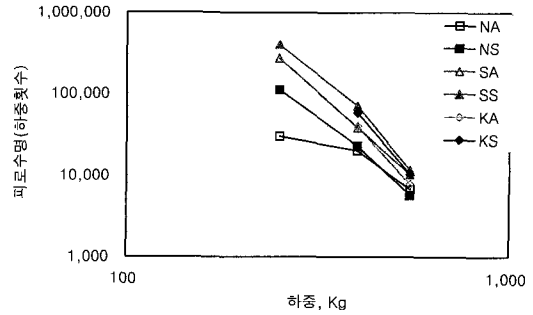


그림 13. 하중-피로수명 관계

아스팔트 혼합물 복합체의 피로파괴 거동은 사용된 유리섬유의 종류, 개질 아스팔트의 사용 유무에 따라 현저한 차이를 나타내었는데, 특히 유리섬유 보강재의 사용은 아스팔트 혼합물 공시체의 피로수명을 증대시키는데 효과가 있으며, 그 피로수명의 연장 효과는 유리섬유 시트, 국산 유리섬유 복합포, 비보강의 순서로 나타났다 (그림 12 참조). 또한 다양한 하중 수준에서의 피로균열 시험을 실시한 결과 적용된 피로하중이 클수록 포장섬유의 보강 효과는 감소하는 것으로 나타났다. 그림 13은 본 연구에 사용된 세 가지 하중 수준에 따른 피로수명의 관계를 나타낸 것인데 각 공시체의 인자에 따라 대체로 선형의 관계를 유지하는 것을 알 수 있다. 이러한 피로균열 시험 결과를 종합하여 볼 때, 본 연구에 사용된 유리섬유 보강재는 아스팔트 포장의 균열 방지를 위한 보강재로 적절한 것으로 판단된다.

휠트래킹 시험결과 하중횟수에 따른 중앙점의 소성변형량을 그림 14~그림 16에 나타내었다. AP-5 공시체를 기준으로 볼 때, 최종 소성변형량은 비보강을 포함하

침입도 60~70의 일반 스트레이트 아스팔트와 SBS 개질 아스팔트를 사용한 아스팔트 혼합물과 3종의 유리섬유 보강재를 사용한 아스팔트 혼합물 복합체의 60°C에서의 휠트래킹 시험 완료시 소성변형량이 대폭 감소하며, 많은 경우에 있어서 소성변형량이 3mm 내외로 발생하여 동적안정도(DS)나 변형량(D<sub>0</sub>) 등의 휠트래킹 시험의 일반적인 특성치로 비교하는 것이 의미가 없는 것으로 판단되어, 본 연구에서는 휠트래킹 시험 이후의 최종 처짐량을 기준으로 하여 분석하였다.

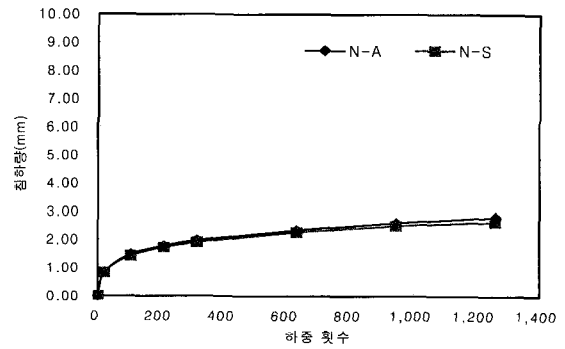


그림 14. 휠트래킹 시험결과(비보강)

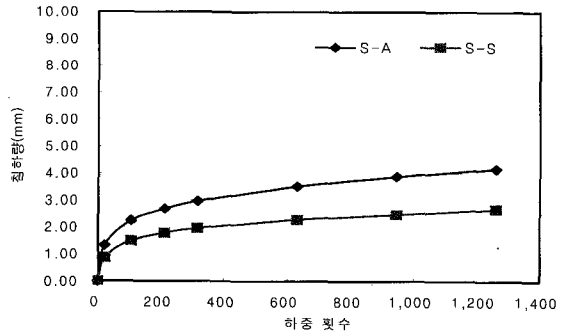


그림 15. 휠트래킹 시험결과(유리섬유 시트)

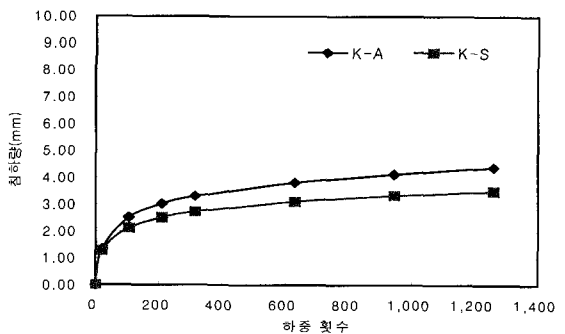


그림 16. 휠트래킹 시험결과(국산 유리섬유 복합포)

표 3. 3점 피로시험 결과

구 분	250kg	400kg	550kg
N-A	30,073(100%)*	20,201(100%)*	6,693(100%)*
N-S	111,578(371%)	22,987(114%)	5,7292(86%)
S-A	273,251(135%)	38,490(191%)	10,234(153%)
S-S	400,000(169%)	70,926(351%)	11,559(173%)
K-A	-	39,950(198%)	7,785(116%)
K-S	-	58,250(288%)	10,400(155%)

여 3종의 유리섬유 보강 공시체 모두 3mm에서 4mm 정도로 유사하게 나타났다. SBS 개질 아스팔트를 사용한 경우에도 이러한 유리섬유 시트 사용에 따른 소성변형 저항성의 증가 경향은 유사하였으며, 소성변형의 발생량은 AP-5의 경우보다 다소 작거나 비슷한 수준으로 나타났다는데, 이는 휠트래킹 시험을 통하여 발생된 소성변형량이 너무 적은 범위여서 명확한 의미를 찾기에는 다소 무리인 것으로 판단된다.

시험된 휠트래킹 공시체의 보강면에서의 소성변형 현황을 파악하기 위하여, 휠트래킹 시험종료 후, 공시체를 바퀴 하중이 가해진 방향으로 절단하여, 경계면의 소성변형량을 측정하였으며 이를 정리하여 그림 17~그

림 22에 나타내었다. 그림 17~그림 18에 나타난 바와 같이, 비보강 공시체의 경우, 표면에서 발생하는 소성변형의 약 40~50%가 기층에서 발생하는 것으로 나타났으며, 유리섬유 보강재를 사용한 공시체는 대체로 그보다 적은 비율이 보강 하부면에서 발생했음을 알 수 있다. 특히 유리섬유 시트는 보강 하부면에서 발생하는 소성변형을 방지하는데 효과적이어서, 표면에서 발생하는 소성변형의 방지에는 별 효과가 없는 반면, 보강 하부면에서 발생하는 소성변형은 비보강 공시체에 비하여 약 50%정도가 감소되는 것으로 나타났다.

기층에서 발생한 보강 공시체의 소성변형은 휠트래킹 시험 초기에 골재구조가 안정되며 발생된 소성변형

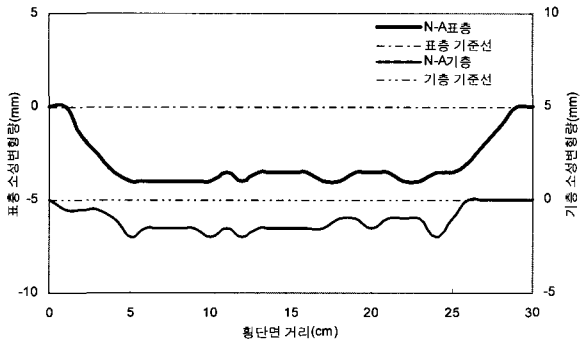


그림 17. 소성변형 Contour(N-A)

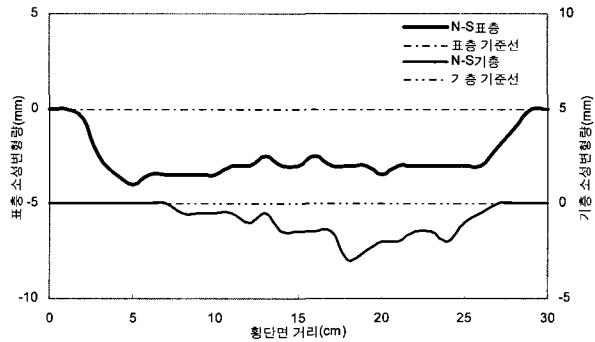


그림 18. 소성변형 Contour(N-S)

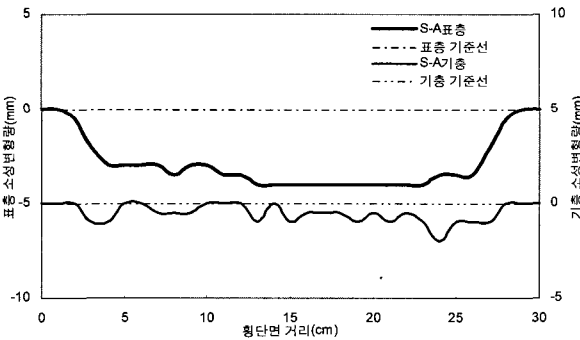


그림 19. 소성변형 Contour(S-A)

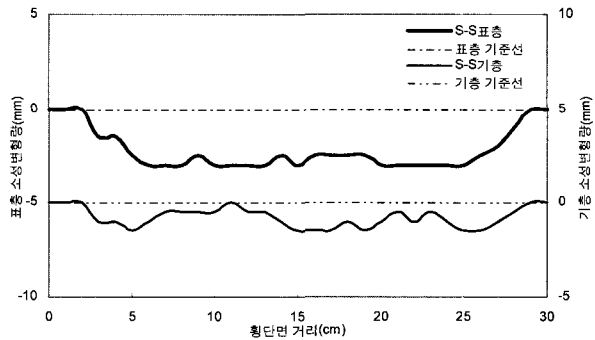


그림 20. 소성변형 Contour(S-S)

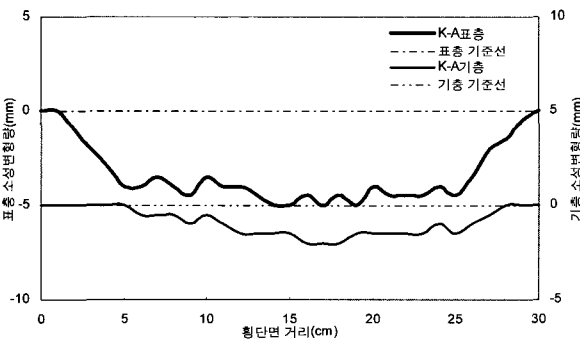


그림 21. 소성변형 Contour(K-A)

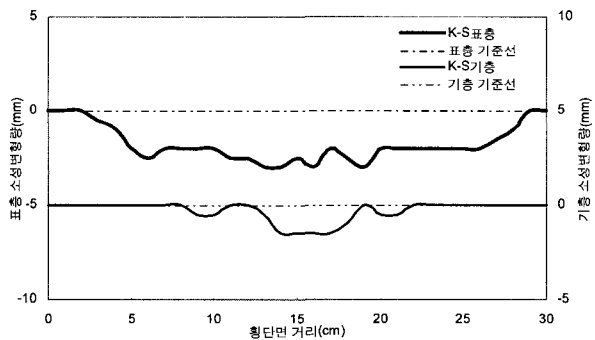


그림 22. 소성변형 Contour(K-S)

일 것으로 판단된다. 이러한 판단은 비보강 공시체와 보강공시체의 기층에서 발생된 다소 다른 형태의 소성변형을 기초로 하고 있다. 대체로 비보강 공시체의 경우에는 기층의 전면에 걸쳐 전체적으로 함몰되는 형태로 발생된 반면(그림 17~그림 18), 대체적으로 보강 공시체의 경우는 기층에서 소성변형이 발생했음에도 불구하고 여전히 많은 부분이 기층기준선을 유지하고 있는 것으로 나타났는데(그림 19~그림 22), 이는 표층과 기층면에 설치한 포장섬유 보강재의 효과로 판단된다. 휠트래킹 시험 시에 발생하는 소성변형은 시험 초기에 골재구조가 안정되면서 어느 정도의 소성변형이 발생한다. 앞서 언급한 보강 공시체의 기층 소성변형 측정결과를 볼 때, 기층에서 발생된 소성변형은 이렇게 시험 초기에 골재구조가 안정되며 발생된 소성변형일 것으로 판단된다.

앞으로 휠트래킹 시험 이외의 보다 과학적인 실험연구를 통하여 유리섬유 보강재의 소성변형에 대한 영향이 검토되어야 할 것으로 사료되지만, 유리섬유 보강재가 보강 하부면의 소성변형 방지에 효과적인 특성을 이용하여, 유리섬유 보강 아스팔트 포장의 용도는 일반적인 반사균열 방지목적 이외에 수 차례에 걸친 덧씌우기로 인하여 소성변형에 취약한 표층이 매우 두터운 구간에 소성변형 방지를 위한 보강층으로 적용함으로써 유리섬유 보강 하부면의 소성변형에 효과적으로 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 포장섬유 보강 아스팔트 포장 시스템의 거동 특성을 통해 포장섬유 보강 아스팔트 포장체의 보강효과를 관찰하기 위해 실내 실험을 수행하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) -10℃에서의 단순보 파괴거동 결과 최대 처짐량이나 파괴 에너지는 유리섬유 종류에 따라 2배~10배 증가까지 다양한 효과가 나타났으며, 유리섬유 시트의 보강 효과가 가장 크게 나타남을 알 수 있었다.
- (2) 유리섬유 보강재의 사용은 아스팔트 혼합물 공시체

의 피로수명을 증대시키는데 효과가 있으며, 유리섬유 시트, 국산 유리섬유 방수포, 비보강의 순서로 수명 연장 효과가 나타났다.

- (3) 250kg, 400kg, 550kg의 3종류의 피로하중 수준에서 3점 피로균열 시험을 수행한 결과 적용된 피로하중이 클수록 포장섬유의 보강효과는 감소하는 것으로 나타났다.
- (4) 비보강 공시체의 경우, 표면에서 발생하는 소성변형의 약 30~50%가 기층에서 발생한다.
- (5) 유리섬유 시트는 보강 하부면에서 발생하는 소성변형을 방지하는데 효과적으로 대응할 수 있어, 표면에서 발생하는 소성변형의 방지에는 별 효과가 없는 반면, 보강 하부면에서 발생하는 소성변형은 비보강 공시체에 비하여 약 50%정도가 감소되는 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. 한국건설기술연구원 (2001), 토목섬유를 이용한 아스팔트 포장 내구성 증진연구(II), 2차년도 연차보고서, 201pp.
2. 한국건설기술연구원 (2002), 토목섬유를 이용한 아스팔트 포장 내구성 증진연구(III), 3차년도 연차보고서, 160pp.
3. Austin, R.A. and Gilchrist, A.J.T. (1996), "Enhanced Performance of Asphalt Pavement Using Geocomposites", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.14, pp.175-186.
4. Dondi, G. (1998), "Effectiveness of Synthetic Interlayers in Bituminous Pavements", *Proc. of 6th International Conference on Geosynthetics*, pp.977-984.
5. Bayex (1998), "Pavement Reinforcement Grids Help Resist Cracking", *Geotechnical Fabrics Report*, January/February, pp.46.
6. Brown, S.F., Brunton, J.M., Hughes, D.A.B. and Broderick, B.V. (1985a), "Polymer Grid Reinforcement of Asphalt", *Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Texas, pp.1844.
7. Gilchrist, A.J.T. and Paul, J. (1994), "Asphalt Reinforcement : 10 Years of Experience and Development", *Proc. of 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, September, Singapore, pp.91-94.
8. Marienfeld, M.L. and Smiley, D. (1994), "Paving Fabrics : The Why and the How-to", *Geotechnical Fabrics Report*, June/July, pp.24-29.
9. Koerner, R.M. (1992), "Polymeric Geogrid Utilization in Paved Roads", FHWA PB 92-189513, Final Report, 56pp.
10. Komatsu, T., Kikuta, H., Tuji, Y. and Muramatsu, E. (1998), "Durability Assessment of Geogrid Reinforced Asphalt Concrete", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.16, pp.257-271.

(접수일자 2003. 5. 27, 심사완료일 2003. 12. 23)