



LTPP-SPS : 섬유보강 아스팔트 포장의 구조적 성능 평가

LTPP-SPS : Evaluation of Structural Capacity on Asphalt Pavement Reinforced with Glass Fiber

전 성 일* 김 부 일** 김 조 순*** 임 광 수****
 Jeon, Sung IL Kim, Booil Kim, Jo-Sun Lim, Kwang Soo

Abstract

In Korea-LTPP(Long Term Pavement Performance) project, the full depth asphalt pavement test sections are constructed on the national highway to evaluate the structural capacity of asphalt pavement reinforced with glass fiber. Truck loading test and FWD test were performed to measure the structural capacity of test sections. Test results showed that the reinforcement of glass fiber installed at between surface and intermediate asphalt layer decreased the strain at the bottom of surface layer and moved up the stress neutral axis in asphalt layer. As a result, the tensile stress was developed at the bottom of intermediate asphalt layer of reinforced asphalt pavement, while the compressive stress was developed at the bottom of intermediate asphalt layer of unreinforced asphalt pavement. On the other hand, the tensile strain at the bottom of asphalt base layer didn't show a difference between glass fiber reinforced and unreinforced pavements. From the FWD test, it was shown that the surface deflection of asphalt pavement reinforced with glass fiber decreased 24 percents comparing to that of unreinforced asphalt pavement. This shows that the reinforcement with glass fiber appears to improve the rutting resistance of asphalt pavement.

Keywords : LTPP, asphalt pavement, glass fiber, truck loading test, FWD

요 지

국내 LTPP(Long Term Pavement Performance) 연구에서 섬유보강 아스팔트 포장의 성능을 평가하기 위해, 국도 1호선 구간에 일반 아스팔트 포장과 섬유보강 아스팔트 포장을 각각 시공하였으며, 각각의 단면에 포장체 구조적 거동을 측정할 수 있는 계측센서를 매설하였다. 본 연구에서는 국내 LTPP 구간에서 수행된 차량재하시험과 FWD 시험의 결과를 바탕으로 섬유보강 아스팔트 포장의 구조적 성능을 평가하였다. 본 연구결과, 차량재하시험에서 섬유보강재를 사용할 경우 표층 하단부의 변형률이 크게 저감되는 것을 확인하였다. 또한 일반 아스팔트 포장보다 응력중립축이 상승하여 일반 아스팔트포장은 중간층 하단에서 압축변형이 발생하는 반면에, 섬유보강 아스팔트포장은 중간층 하단에서 인장변형이 발생하였다. 반면 기층 하단부에서의 인장변형률은 두 포장형식 모두 큰 차이를 나타내지 않았다. FWD 시험에서도 섬유보강재를 사용할 경우 약 24% 정도 표면 처짐량이 저감되는 것을 확인하였다. 이와 같은 결과를 종합하여 볼 때, 섬유보강 아스팔트 포장이 소성변형에 대한 저항성을 증진시킬 수 있다고 판단되며, 향후에 포장상태조사를 통해 장기포장공용성에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다.

핵심용어: LTPP, 아스팔트 포장, 섬유보강, 차량재하시험, FWD

- * 정회원 · 한국건설기술연구원 도시시설연구실 · 연구원 · 공학석사
- ** 정회원 · 한국건설기술연구원 도시시설연구실 · 선임연구원 · 공학박사
- *** 정회원 · (주)에스엔건설 대표이사
- **** 정회원 · 국토해양부 간선도로과



1. 서론

일반적으로 아스팔트 포장의 주요 파손형태는 반복주행하중에 의한 피로균열, 여름철 소성변형, 겨울철 온도균열 등으로 분류할 수 있다. 특히 최근에 교통량의 증가로 이와 같은 파손형태가 증가하고 있으며, 이에 따른 도로포장 보수비용 또한 증가하고 있는 추세이다. 이와 같은 현실을 개선하기 위해, 골재 입도 개선과 개질 아스팔트에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔으며, 최근에 토목섬유 보강재에 대한 연구가 진행중에 있다.

일반적으로 시멘트 콘크리트 포장 보수 시 반사균열 억제제를 위해 사용되었던 섬유보강재가 최근에는 신규 아스팔트 포장 시공 시 소성변형과 피로·반사균열의 억제를 위해 표층과 중간층 사이에 설치되어 적용되고 있다. 하지만 현재까지 국내에 적용사례가 많지 않고 공용기간도 길지 않아 정확한 평가가 이루어지지 못하고 있다.

Predoehl(1989, 1990)은 미국 캘리포니아주에서 시험포장을 실시하여 12년간 추적조사를 수행하였으며, 그 결과 섬유보강재로 강화된 구간은 3cm가 더 두껍게 포장된 비보강 포장보다 피로균열이 적게 발생되어 아스콘층의 두께를 줄일 수 있다고 하였다. 또한 Barksdale, R.D.(1991), Sprague(2000) 등은 토목섬유 보강 아스팔트 포장에 대한 공용성 평가를 통해 섬유보강재로 강화된 아스팔트 포장의 경우 내구성 증진효과로 인하여 도로의 수명을 연장시켜 장기적인 비용절감 효과를 가져 온다고 발표한 바 있다.

그러나 현재까지 국내외의 연구에서 실제 도로포장에서 발생하는 내부 변형률과 응력의 분포를 측정하여 섬유보강재를 통해 변화되는 포장거동을 분석한 연구는 없었다.

현재, 국내 LTPP(Long Term Pavement Performance) 연구에서는 섬유보강 아스팔트 포장의 성능을 평가하기 위해, 국도 1호선 구간에 일반 아스팔트 포장과 섬유보강 아스팔트 포장을 각각 시공하였으며, 각각의 단면에 포장체 구조적 거동을 측

정할 수 있는 계측센서를 매설하였다. 이에 본 연구에서는 국내 LTPP 구간에서 차량재하시험과 FWD 시험을 수행하여 측정된 내부 변형률·응력과 표면 처짐량 데이터를 분석하여 섬유보강 아스팔트 포장의 구조적 성능을 평가하였다.

2. 실험개요

2.1 시험포장 단면

2007년 11월, 국도 1호선 원평-금구간 현장에 섬유보강 아스팔트 포장을 시험시공하였다. 그림 1은 시험포장 단면을 보여주고 있다(이후, 섬유보강재를 적용한 아스팔트 포장을 'Grid-Pave'로, 섬유보강재를 적용하지 않은 일반 아스팔트 포장을 '일반-Pave'로 표기하였음).

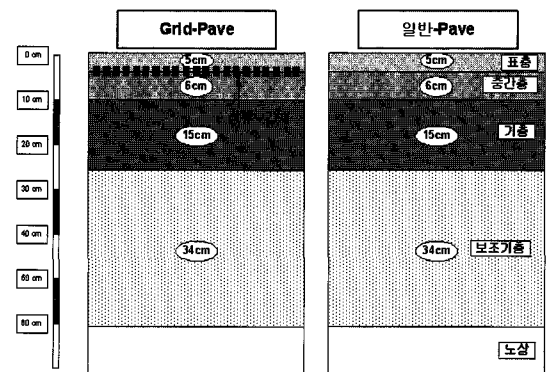


그림 1. 시험포장 단면

2.2 섬유보강 아스팔트 포장 시공

본 연구에서 사용된 섬유보강재는 유리섬유를 격자망으로 직조하여 역청에 함침시킨 후 보강재 상부면에 규사를 살포하고, 하부에 폴리프로필렌(P.P)필름을 부착한 제품이다. 그림 2는 섬유보강재 형상을, 표 1은 섬유보강재의 특성을 나타내고 있다.

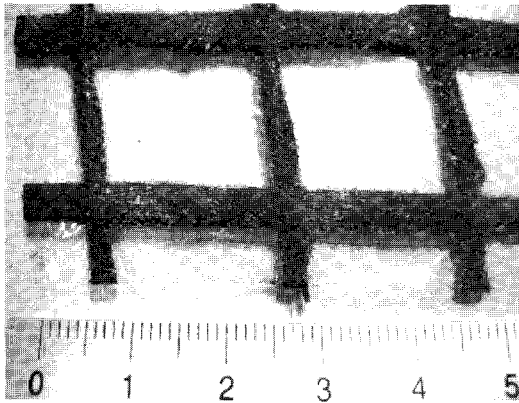


그림 2. 섬유보강재 형상

표 1. 섬유보강재 특성

섬유 특성치	탄성계수	73,000 MPa	
	인장강도	2,400 MPa	
	선형밀도	유리섬유(2,400텍스)	: 횡방향으로 배치
		유리섬유(1,200×2텍스)	: 종방향으로 배치
	밀도	유리섬유 2.60gf/cm ³	
파단신율	4.5%		
섬유인장력		유리섬유(위사 50kN) 유리섬유(경사 50kN)	

그림 3은 섬유보강 아스팔트 포장 시공절차를 보여주고 있다. 그림에서 나타낸 것과 같이 중간층 상

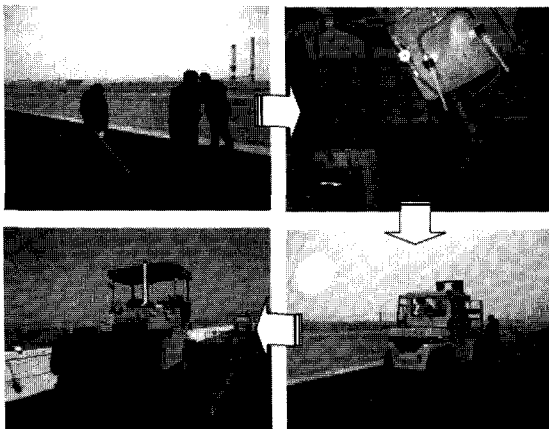


그림 3. 섬유보강 아스팔트 포장 시공절차

단에 폴리머 개질 유화 아스팔트로 택코팅하고(택코팅량 0.35 l/m²), 섬유보강재를 섬유가열장치와 압착롤러장치가 장착된 가열압착식 도포장비를 사용하여 설치하였다.

2.3 계측센서 설치단면

포장체 내부의 구조적 거동을 관측하기 위해 각각의 단면에 변형률계와 토압계를 매설하였다. 또한 측정 시에 아스콘층에 온도를 측정하기 위해 깊이별 온도계를 매설하였다. 그림 4는 계측센서 설치 단면도를 보여주고 있다. 그림에서 나타낸 것과 같이 변형률계와 토압계는 wheel path 위치에 매설되었다. 특히, 변형률계는 표층·중간층·기층 각각에 종방향과 횡방향으로 매설되었으며, 토압계는 보조기층과 노상 상단에 매설되었다. 변형률계는 TML사 KM-100HAS(용량:±5,000με, 정밀도:±1με)를, 토압계는 TML사 KDA -200KPa(용량:200KPa, 정밀도:0.1KPa)를 사용하였다. 그림 5와 그림 6은 변형률계와 토압계 설치형상을 보여주고 있다.

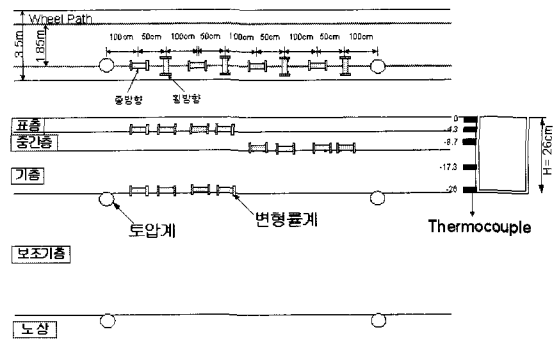


그림 4. 계측센서 설치 단면도

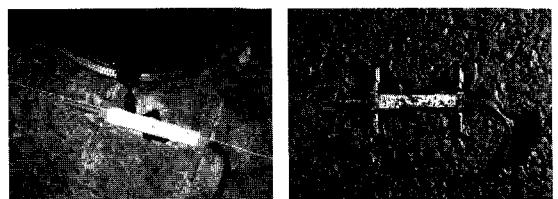


그림 5. 변형률계 설치형상

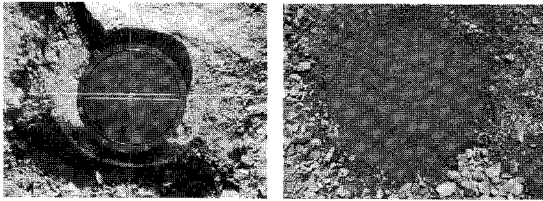


그림 6. 토압계 설치형상

2.4 시험계획

2.4.1 차량재하시험

실제 주행하중에 의한 포장체의 구조적 거동을 비교·분석하기 위해 차량재하시험을 수행하였다. 차량재하시험에 사용된 덤프트럭은 D사제품을 이용하였으며, 하중크기를 최대로 하기 위해 토사를 만재하여 실험을 수행하였다. 그림 7은 본 시험에 적용된 덤프트럭의 제원 및 축하중을 나타내고 있다.

차량재하시험은 계측센서가 매설되어 있는 wheel path와 wheel path에서 28cm 떨어진 위치에서 수행되었으며, 차량속도를 10km/h와 70km/h로 적용하였다. 차량재하시험 시 변형률계와 토압계 데이터를 동시에 수집하였다. 또한 아스콘의 온도분포에 의한 영향을 고려하기 위해, 각각 7시, 11시, 15시에 시험을 수행하였다.

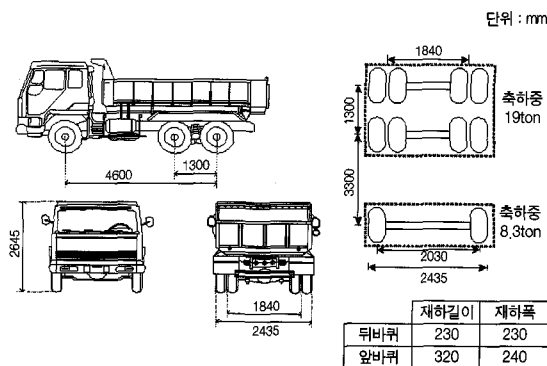


그림 7. 덤프트럭 제원 및 축하중 무게

2.4.2 FWD (Falling Weight Deflectometer) 시험
FWD 시험은 각각의 포장단면에 대한 구조적 성능을 평가하기 위해 수행되었다. FWD 시험을 통해

각 위치별 표면 처짐량 데이터를 수집하였고, 역산해석 프로그램 'EVERCAL 5.0'을 이용하여 각 층의 탄성계수를 추정하여 비교하였다. 또한 아스콘의 온도분포에 의한 영향을 고려하기 위해, 각각 7시, 11시, 15시에 시험을 수행하였다. 재하하중은 5ton, 8ton, 10ton으로 하였으며, 각각의 포장단면별 계측센서가 매설되어 있는 위치에서 일정한 간격으로 변형률계가 매설되어 있는 위치(단면별 각각 8지점)에서 시험을 수행하였다. 그림 8은 FWD 장비형상을 보여주고 있다.

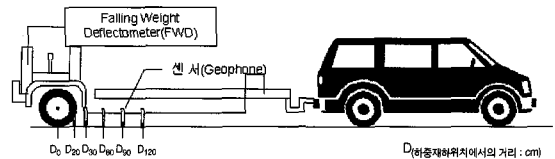


그림 8. FWD 장비 형상

3. 시험결과

3.1 시험시 온도분포

차량재하시험과 FWD 시험을 수행할 때의 아스콘 층 온도분포를 그림 9에 나타내었다. 본 결과는 아스콘 포장층 깊이별로 매설된 온도계에서 측정된 데이터이다. 그림에서 나타낸 Test 1~Test 3은 각각 7

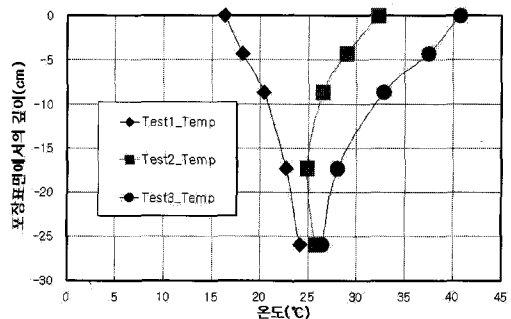


그림 9. 아스콘 층 온도분포



시, 11시, 15시에 수행된 것을 의미한다. 아스콘 표면온도는 16~40℃, 하단부 온도는 24~26℃로 변화되는 것을 그림에서 알 수 있다.

3.2 차량재하시험 결과

3.2.1 변형률 데이터 분석

차량재하시험을 통해 표층·중간층·기층 하단부의 변형률 데이터를 측정하였다. 그림 10~그림 13은 주행하중에 의해 발생하는 변형률 데이터 추이를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 주행하중에 의해 기층 하단부는 인장변형이, 표층 하단부는 압축변형이 발생한다. 또한 종방향 변형률은 일정한 곡선을

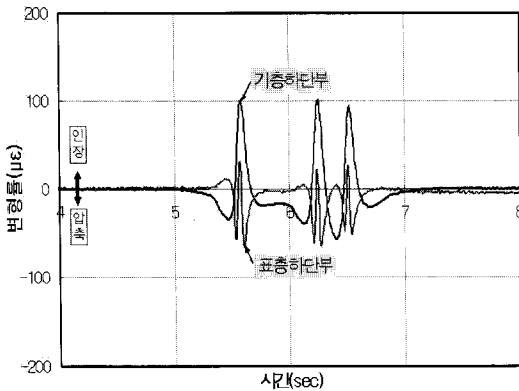


그림 10. Grid-Pave 종방향 변형률
(차량재하속도 : 10km/h, 7시)

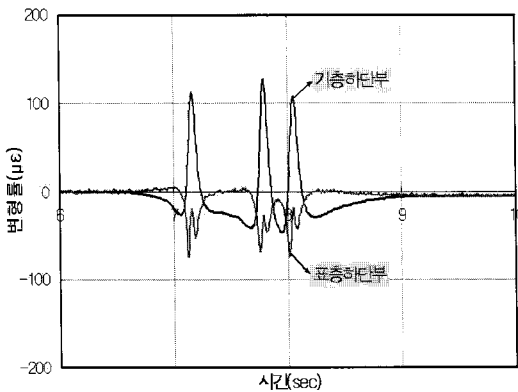


그림 11. 일반-Pave 종방향 변형률
(차량재하속도 : 10km/h, 7시)

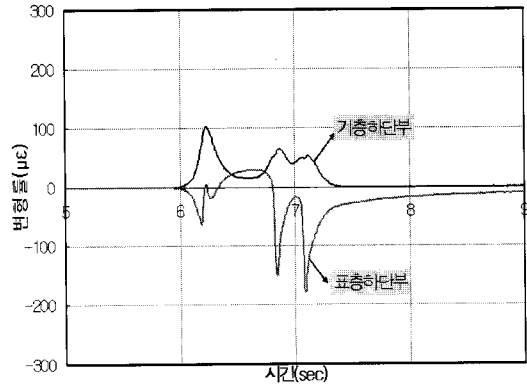


그림 12. Grid-Pave 횡방향 변형률
(차량재하속도 : 10km/h, 11시)

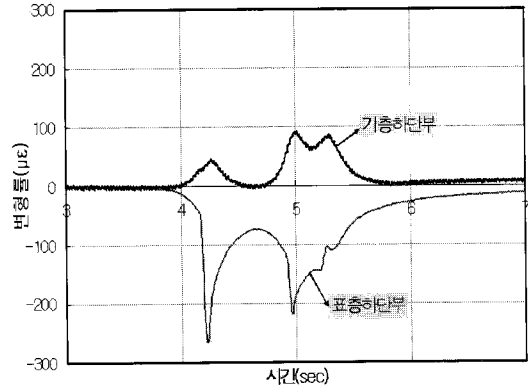


그림 13. 일반-Pave 횡방향 변형률
(차량재하속도 : 10km/h, 11시)

그리는데 반해, 횡방향 변형률은 곡선의 추이가 일정하지 않은 것을 알 수 있으며, 종방향 변형률의 경우 바퀴하중이 센서위치로 지나간 후 원점으로 회복되는 시간이 빠르나, 횡방향 변형률의 경우 회복되는 시간이 느린것을 알 수 있다.

차량재하시험의 각각의 변수별 실험결과에 대해 peak값을 찾고 이 결과들을 그림 14~그림 17과 같이 종합하여 정리하였다. 본 결과들은 wheel path에 재하한 결과만을 정리한 것이며, 그림에서 y축은 아스콘 층의 깊이별 위치를, x축은 변형률을 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이, Grid-Pave가 일반-Pave에 비하여 표층 하단의 압축변형이 작게



발생하는 것을 알 수 있으며, 차량속도가 10km/h에서 아스콘의 온도가 증가함에 따라 그 차이는 더 커지는 것을 알 수 있다. 특히 포장의 온도가 가장 높은 15시에 수행한 시험결과, 섬유보강재를 사용할 경우 종방향 변형률이 최대 약 30% 정도 저감되고, 횡방향 변형률이 최대 약 40% 정도 저감되는 것을 확인할 수 있다. Grid-Pave가 이와 같은 특성을 보이는 이유는 표층과 중간층 사이에 설치된 섬유보강재가 내부에 작용하는 일부 응력을 흡수하여 상대적으로 표층 하단의 압축변형을 작게 발생시키기 때문이다. 또한 Grid-Pave가 특히 고온에서 더 큰 효과를 나타내는 것으로 볼 때 소성변형에 대한 저항성을 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

중간층 변형률의 경우, 일반-Pave는 중간층 하단에서 압축변형이 발생하지만, Grid-Pave는 중간층

하단에서 인장변형이 발생한다. 이것은 섬유보강재가 내부에 발생하는 일부의 응력을 흡수하여, 이로 인해 Grid-Pave의 응력 중립축이 상승하기 때문이다. 그림에서 볼 수 있듯이 일반-Pave에 비해 Grid-Pave 곡선이 위쪽에 있는 것을 알 수 있다.

기층 변형률의 경우, Grid-Pave에서 발생하는 기층하단의 인장변형이 일반-Pave에 비해 전반적으로 작게 나타나지만 그 차이가 미미하다. 이는 섬유보강재를 통해 일부 응력을 보강재에 집중시키든, 아니면 보강재 없이 상부의 아스콘 층에서 응력을 흡수하든지, 상부에서 하부로 전달되는 응력의 차이는 크지 않다는 것을 의미한다.

Grid-Pave 곡선추이를 보면, 전반적으로 비선형을 그리고 있으며, 중간층과 기층의 인장변형이 큰 차이를 나타내지 않는 것이 특징이다. 일반-Pave 곡

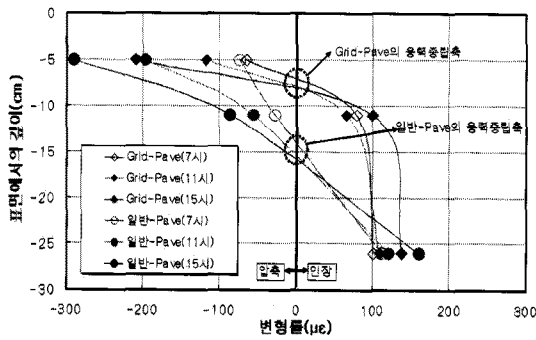


그림 14. 종방향 변형률 데이터 비교
(차량재하속도: 10km/h)

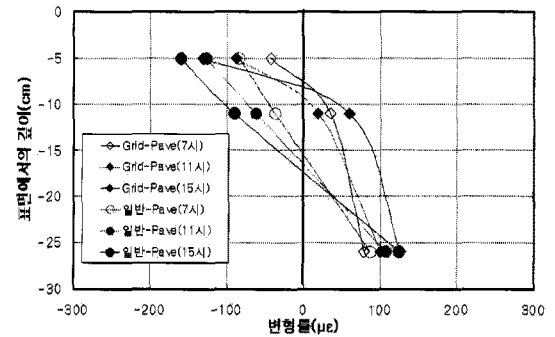


그림 15. 종방향 변형률 데이터 비교
(차량재하속도: 70km/h)

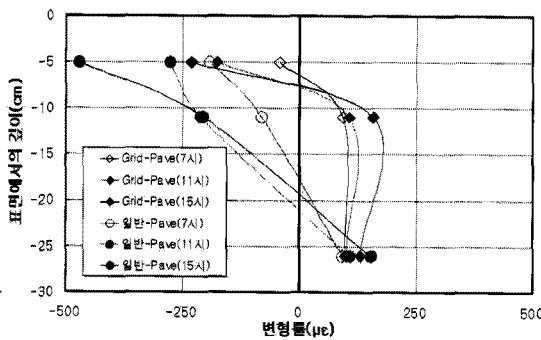


그림 16. 횡방향 변형률 데이터 비교
(차량재하속도: 10km/h)

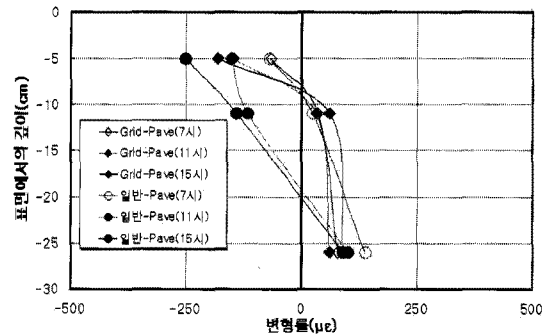


그림 17. 횡방향 변형률 데이터 비교
(차량재하속도: 70km/h)



선추이를 보면, 차량속도 10km에서 선형특성을 보이다가 아스콘의 온도가 증가함에 따라 비선형 특성으로 바뀌는 현상이 보이지만, 차량속도가 70km에서는 전반적으로 선형특성을 나타내고 있다.

차량주행 시 횡방향 변형률은 종방향 변형률보다 더 크게 나타났으며, 차량속도에 따른 거동을 살펴보면, 10km/h에서 70km/h로 변화시켰을 때, 변형률이 최대 약 45% 정도 감소되는 것으로 나타났다. 이는 아스콘 층의 점탄성특성에 기인한 것으로, 차량속도가 증가하면 하중의 지속시간이 짧아져 아스콘 층의 탄성계수가 증가하게 되고 이로 인해 동일한 하중에서 변형률이 감소하게 되는 현상을 보여주는 것이다.

그림 18~그림 21은 재하위치별 측정된 횡방향 변형률을 도식화한 것이다. 표층 하단부의 횡방향 변형률 분포를 보면, 전반적으로 Grid-Pave가 일반-Pave에 비해 포물선 폭이 작은 것을 알 수 있다. 또한 재하위치

에서 28cm 떨어진 곳에서 일반-Pave는 압축변형이 발생하는 반면, Grid-Pave는 약간의 인장변형이 발생하고 있다. 이것은 하중재하시 일반-Pave의 영향반경이 더 크다는 것을 의미하며, 아스콘의 온도증가시 이러한 현상은 더 크게 나타난다. 다시 말해서, 섬유보강재가 포장층 내부에 작용하는 일부의 응력을 흡수하여 변형이 유도되는 영향반경의 범위를 줄여주고 있다는 것이다. 하중재하위치에서의 표층 하단부 횡방향 변형이 위에서 언급한 바와 같이 최대 약 40%정도 저감되고, 주변부의 영향반경 또한 줄여주는 역할을 하기 때문에 섬유보강재의 처리를 통해 소성변형에 대한 저항성을 증진시킬 수 있다고 판단된다.

기층하단부의 횡방향 변형률 분포를 보면, 7시 측정에서 Grid-Pave와 일반-Pave가 거의 동일한 값을 나타내고 있다. 그러나 아스콘 층의 온도가 증가한 15시 측정에서는 약간의 차이를 보이고 있으며, 주목할

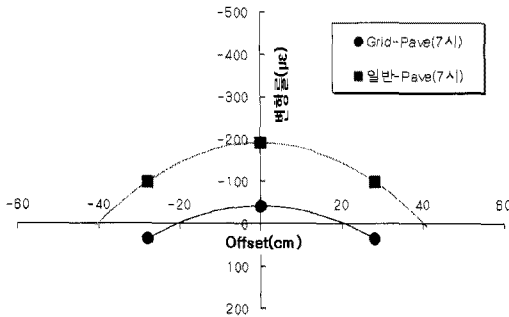


그림 18. 표층 하단부 횡방향 변형률 분포 (차량재하속도: 10km/h, 7시)

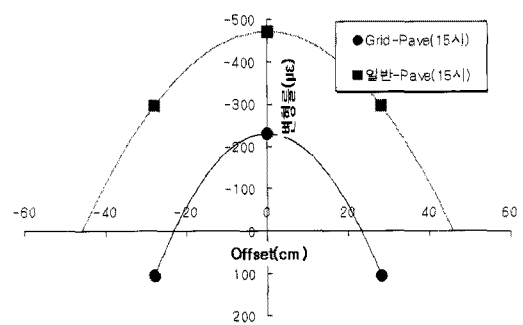


그림 19. 표층 하단부 횡방향 변형률 분포 (차량재하속도: 10km/h, 15시)

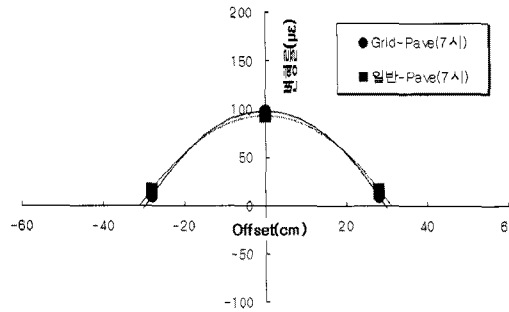


그림 20. 기층 하단부 횡방향 변형률 분포 (차량재하속도: 10km/h, 7시)

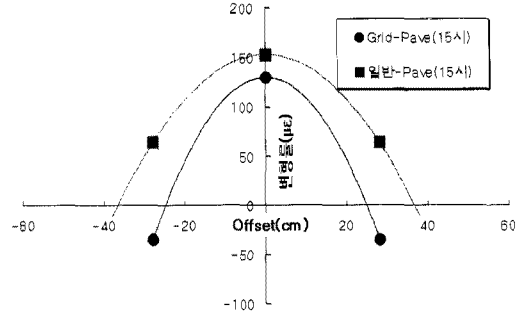


그림 21. 기층 하단부 횡방향 변형률 분포 (차량재하속도: 10km/h, 15시)



부분은 재하위치에서 28cm 떨어진 곳에서 일반-Pave는 인장변형이, Grid-Pave는 약간의 압축변형이 발생하고 있다는 것이다. 또한 일반적인 상온에서는 기층 하단부의 변형크기와 영향반경이 거의 동일하게 발생하나, 상부의 아스콘 온도가 증가하면서 Grid-Pave는 영향반경이 변화하지 않고, 일반-Pave는 영향반경이 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 아스콘의 온도가 증가할 때 Grid-Pave가 균열에 대해 좀 더 우수한 특성을 나타내고 있으나 그 차이가 그렇게 크지는 않다고 판단되며, 위에서도 언급한 바와 같이 단면별로 아스콘 층의 상부에서 하부로 전달되는 응력의 차이는 전반적으로 크지 않다고 볼 수 있다.

3.2.2 토압계 데이터 분석

차량재하시험을 통해, 보조기층과 노상 상단부의

수직응력을 측정하였다. 그림 22와 그림 23은 수직 응력 추이를 보여주고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 보조기층과 노상층에 발생하는 응력은 약 2배 정도 차이가 나며, 차륜이 통과 시 일정한 곡선의 형상을 나타내고 있다.

차량재하시험의 각각의 변수별 실험결과에 대해 peak값을 찾고 이 결과들을 그림 24와 그림 25에 종합하여 정리하였다. 노상층 상단의 응력데이터를 보면, Grid-Pave와 일반-Pave가 큰 차이를 나타내고 있지 않다. 이와 같은 결과는 기층 하단부의 변형률 데이터가 큰 차이를 보이지 않는 것과도 일치하는 것으로, Grid-Pave가 아스콘 층 상부에서는 발생하는 응력을 저감시키지만, 그 이하에서는 일반-Pave와 동일한 거동을 하는 것으로 사료된다. 또한 차량재하속도가 증가함에 따라, 노상층에 전달되는

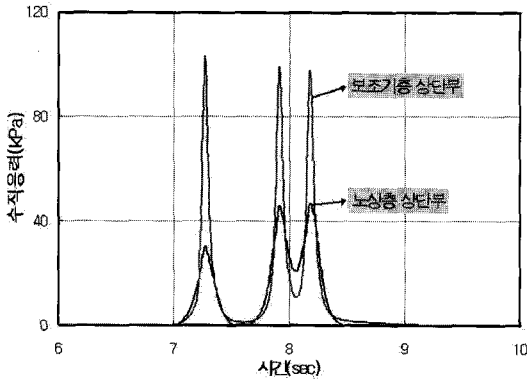


그림 22. Grid-Pave 수직응력
(차량재하속도 : 10km/h, 15시)

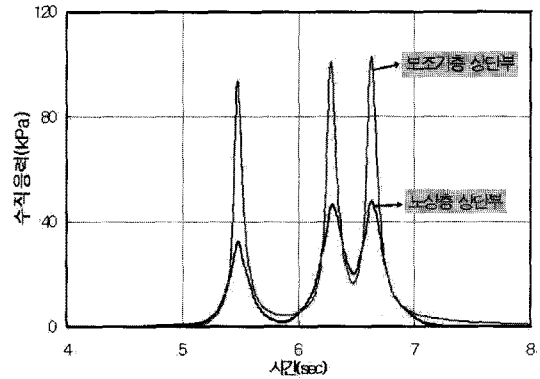


그림 23. 일반-Pave 수직응력
(차량재하속도 : 10km/h, 15시)

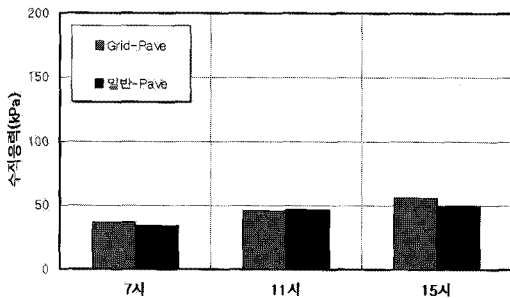


그림 24. 노상층 상단 수직응력
(차량재하속도 : 10km)

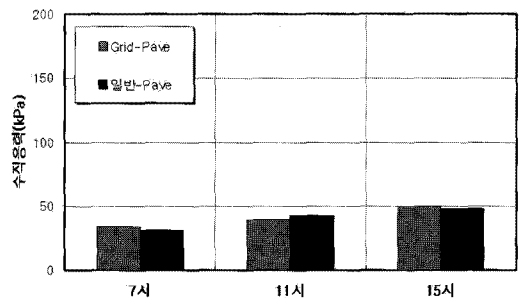


그림 25. 노상층 상단 수직응력
(차량재하속도 : 70km)

수직응력은 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 위에서 언급한 바와 같이 속도가 증가함에 따라 하중지속시간이 감소하여 나타나는 현상으로 판단된다.

3.3 FWD 시험 결과

각 단면별 FWD 시험을 통해 표면 처짐량을 측정하였다. 그림 26은 각 단면별 FWD 처짐량 데이터를 비교한 것이다. 그림에서 나타낸 것과 같이, Grid-Pave가 일반-Pave에 비해 처짐량이 작게 발생하는 것을 알 수 있다. 특히 하중재하판에서 발생된 처짐량 값인 D_0 는 Grid-Pave에서 약 24% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 표층과 중간층 사이에 설치된 섬유보강재가 내부의 응력을 흡수하여 표면에서 발생하는 처짐을 억제시켰기 때문인 것으로 판단된다.

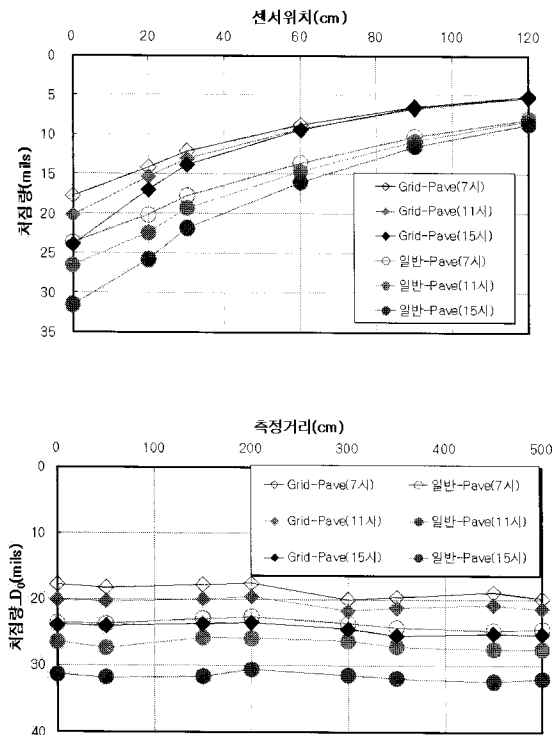


그림 26. FWD 처짐량 데이터 추이 (재하하중 : 10ton)

이와 같이 수집된 처짐량 데이터를 'EVERCAL 5.0'을 이용하여 역산해석 하였으며, 그 결과를 그림 27~그림 29에 나타내었다. 본 결과는 단면별 8개 지점에서 수집된 결과를 평균한 것이다. 그림에서 나타낸 것과 같이, 아스콘 층의 탄성계수는 Grid-Pave보다 일반-Pave가 더 크게 산정되었으며, 보조기층과 노상층의 탄성계수는 Grid-Pave가 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 본 시험시공이 구성된 구간은 보조기층까지 동일한 조건으로 시공된 동질성 구간으로 포장하부구조의 지지력 차이가 크지 않은 곳이다. 그림 30에 나타낸 시공 시 노상면에서 측정된 탄성계수가 이를 뒷받침하고 있다. 물론 상부의 아스콘 층 포설 시 노상의 지지력은 상승하게 되며(Mn Road, 1996), 일반-Pave에서 추정된 노상 탄성계수와 비교 시 약 2배정도 상승한 것으로 보인다. 이와 같이 시공단계에서 지지력이 큰 차이를 나타내지 않았는데, 시공완료 후 보조기층에서 약 55%, 노상에서 약 34% 정도의 지지력 차이를 보인다는 것은 상식적으로 이해하기 어려운 결과이다. 결국, 역산해석 시 Grid-Pave 아스콘 층의 탄성계수는 낮게 평가되고, 상대적으로 보조기층과 노상층의 탄성계수는 지나치게 높게 평가된 것으로 판단된다.

한편, Grid-Pave의 보조기층과 노상층의 탄성계수를 일반-Pave의 탄성계수와 동일한 값으로 하여 역산해석하면, 아스콘 층의 탄성계수가 약 13,000 MPa~20,000MPa 정도를 나타내어, 아스콘 층을 지나치게 높게 평가하는 것으로 나타났다.

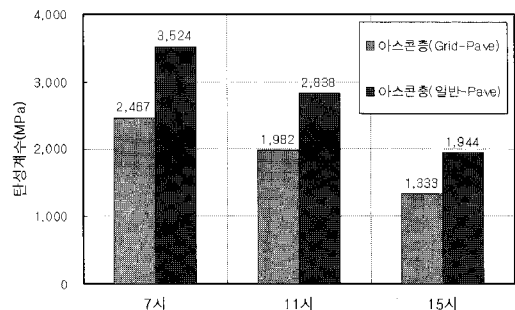


그림 27. 역산해석을 통한 아스콘 층의 탄성계수

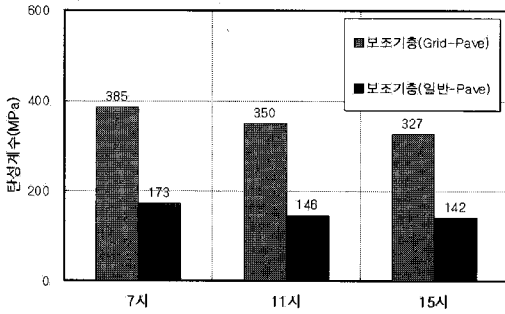


그림 28. 역산해석을 통한 보조기층의 탄성계수

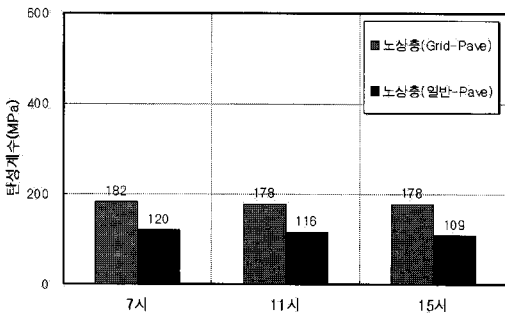


그림 29. 역산해석을 통한 노상층의 탄성계수

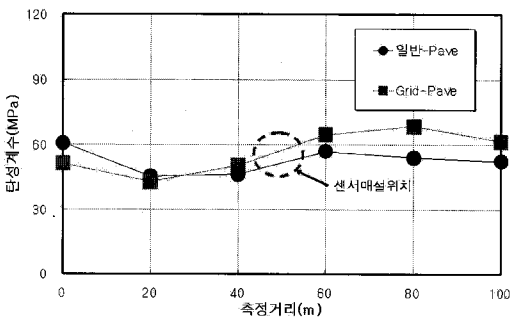


그림 30. 노상에서 측정된 탄성계수 결과

다음 식은 'EVERCAL 5.0' 에서 적용하고 있는 모델이다(WSDOT, 2005).

$$E_{SG} = -346 + 0.00676(2P/(D_{90} + D_{120}))$$

$$\log E_B = 0.50634 + 0.03474(5.9/h_{HMA}) + 0.12541\sqrt{5.9/h_B} - 0.09416\sqrt{h_{HMA}/h_B} + 0.51386 \log E_{SG} + 0.25424 \log(PA_1 / D_0^2)$$

$$\log E_{HMA} = -4.13464 + 0.25726(5.9/h_{HMA}) + 0.92874\sqrt{5.9/h_B} - 0.69727\sqrt{h_{HMA}/h_B} - 0.96687 \log E_{SG} + 1.88298 \log(PA_1 / D_0^2)$$

여기서,

P = 재하하중 (재하판은 직경 30cm)

h_{HMA} = 아스콘 층 두께

h_B = 기층 또는 보조기층의 두께

E_{HMA}, E_B, E_{SG} = 아스콘층/기층 또는 보조기층/노상의 탄성계수

$D_0 \sim D_{120}$ = 처짐량 (D_{120} 은 재하판에서 120cm 떨어진 곳의 처짐량을 의미)

A_1 = 재하점에서 90cm 까지의 처짐량을 면적으로 계산한 값

$$= 4D_0 + 6D_{20} + 8D_{30} + 12D_{60} + 6D_{90}$$

위 식에서 나타낸 것과 같이 'EVERCAL 5.0' 의 모델에서는 처짐량 D_{90} 과 D_{120} 값이 작아지면, 노상의 탄성계수는 증가하게 되며, 상대적으로 아스콘층의 탄성계수는 감소하게 된다. 그런데 그림 28에서 나타낸 바와 같이 Grid-Pave는 일반-Pave에 비해 모든 위치의 센서에서 처짐량이 작게 측정되었다. 이와 같은 결과는 섬유보강재에 의해 표면부의 처짐량이 감소한 것인데, 역산해석을 하게 되면 마치 포장하부구조의 지지력이 상승하여 처짐량이 작게 나온 것으로 잘못 판단하게 된다. 이와 같이 역산해석이 잘못된 결과를 산출하는 이유는 이 해석모형이 일반-Pave를 모델로 개발되어졌기 때문이며, 섬유보강재를 이용한 포장과 같이 특수 포장에서는 적용할 수가 없다는 것을 의미한다. 이에 본 연구에서는 FWD 처짐량 데이터만을 이용하여 단면별 상대적 비교·평가를 하는 것이 바람직하다고 사료된다.



4. 결론

본 연구에서는 섬유보강 아스팔트 포장의 구조적 거동분석을 위해 실제 현장에서 차량재하시험과 FWD 시험을 통해 일반 아스팔트 포장과의 비교·평가를 수행하였다. 본 연구결과를 아래와 같이 정리하였다.

○ 차량재하시험 결과

- 차량재하속도 10km/h에서 섬유보강재를 사용할 경우 표층 하단부의 종방향 변형률이 최대 약 30% 정도 저감되고, 횡방향 변형률이 최대 약 40% 정도 저감되는 것으로 나타났다.
- 중간층 하단에 발생된 변형률은 일반-Pave의 경우 압축변형이 발생하고, Grid-Pave의 경우 인장변형이 발생하는 경향을 나타내었다. 이것은 섬유보강재가 내부에 발생하는 일부의 응력을 흡수하여, 이로 인해 Grid-Pave의 응력 중립축이 상승하기 때문이다.
- 기층 변형률의 경우, Grid-Pave에서 발생하는 기층 하단의 인장변형이 일반-Pave에 비해 전반적으로 작게 나타나지만 그 차이가 크지 않은 것으로 판단된다.
- 표층 하단부의 횡방향 변형률 분포에서 Grid-Pave가 일반-Pave에 비해 영향반경이 작은 것으로 나타났으며, 기층 하단부의 횡방향 변형률 분포에서는 Grid-Pave와 일반-Pave가 큰 차이를 나타내지는 않았다.
- 노상층 상단에서 Grid-Pave와 일반-Pave에 작용하는 응력값은 큰 차이를 보이지 않았다.

○ FWD 시험 결과

- 하중재하판에서 발생된 처짐량 값인 D_0 값을 비교한 결과, Grid-Pave가 일반-Pave에 비해 약 24% 정도 작은 값을 나타내었다. 이는 표층과 중간층 사이에 설치된 섬유보강재가 내부의 응력을 일부 흡수하여 표면에서 발생하는 처짐을 억

제시켰기 때문이다.

- 역산해석 결과, 아스콘 층의 탄성계수는 Grid-Pave보다 일반-Pave가 더 크게 산정되었으며, 보조기층과 노상층의 탄성계수는 Grid-Pave가 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 이와 같은 결과는 합리적인 해석결과라고 보기는 어려우며, 일반적으로 사용되고 있는 역산해석모형이 일반-Pave를 모델로 개발되어졌기 때문에 섬유보강재를 이용한 포장과 같은 특수 포장에서는 적용될 수 없다고 판단된다.

이와 같은 결과를 종합하여 보면, 섬유보강재를 적용할 경우 아스콘층 상부에서 발생하는 응력을 일정부분 저감시켜 소성변형에 대한 저항성을 증진시킬 수 있다고 판단된다. 또한 포장하부구조에 발생하는 응력은 일반-Pave와 큰 차이를 보이지 않아서, 섬유보강재가 포장하부구조에까지 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 향후에 포장상태조사를 통해 장기포장공용성에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부의 연구과제인 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”의 일부 결과로서, 본 연구가 성공적으로 수행되도록 지원하여준 국토해양부에 감사를 드립니다. 또한 국토 1호선 원평-금곡간 현장의 시공사인 SK건설 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

- Barksdale, R. D. (1991), “*Fabrics in asphalt overlays and pavement maintenance*”, Report NCHRP 171, TRB, Washington, D.C.
- Joel Sprague, C. and Carri, A. (2000), “*Asphalt Overlay Reinforcement*”, Geotechnical Fabrics Report, March, pp. 30~33.
- Mn Road (1996), “*Initial Characterization of*



.....
Subgrade Soils and Granular Base Materials at the Minnesota Road Research Project, Report Number 96-19.

WSDOT (2005), "*EVERSERIES USER'S GUIDE : Pavement Anlysis Computer Software and Case Studies*"

Predoehl, N.H. (1989), "1988 Report of Construction Evaluated Research Project Featuring Pavement Fabric Reinforcing Interlayers in AC Overlays of Distressed Flexible Pavement", *California Department of Transportation*, Office of Transportaton Laboratory, May.

접 수 일 : 2008. 11. 11
심 사 일 : 2008. 11. 13
심사완료일 : 2008. 11. 24