

섬유 그리드를 이용한 아스팔트 포장 단면 감소 효과 분석

Evaluation of The Effects of Fiber Grid Reinforcement on the Thickness Reduction of Asphalt Pavement

함상민 Ham, Sang Min
김부일 Kim, Booil

정희원 · 케이알엠 주식회사 과장 · 공학석사 (E-mail : Ham@kroadm.kr)

정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : bikim@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to verify the effects of fiber grid reinforcement on the thickness reduction of asphalt pavement. Test sections were constructed on the national highway to evaluate the structural capacity of asphalt pavement with the reinforced fiber grid and normal asphalt pavement.

METHODS : Falling Weight Deflectometer (FWD) tests were performed to measure the structural capacity of test sections. The loads of the FWD test are 4.1 ton, 8.0 ton, 10.0 ton, and loaded twice, respectively. The test sections consist of a reference asphalt pavement section, an asphalt pavement section reduced with a 5-cm base layer thickness, and a fiber grid reinforced asphalt pavement section reduced with a 5-cm base layer thickness. In addition, strain data was collected using strain gauges installed in the test sections.

RESULTS : The results of the FWD tests showed that the deflections of the pavement section reinforced with the fiber grid was reduced by about 14% compared with that of the reference asphalt pavement section. The strain at the bottom of the asphalt surface layer of the pavement section reduced to a 5-cm base thickness and reinforced with a fiber grid was similar to that at the bottom of the asphalt layer of the reference asphalt pavement.

CONCLUSIONS : The results of the FWD and strain tests showed the possibility of the pavement thickness reduction by reinforcement with a fiber grid.

Keywords

Fiber Grid Reinforcement, Falling Weight Deflectometer, Asphalt Pavement Thickness, Asphalt Pavement

Corresponding Author : Kim, Booil, Research Fellow
Highway and Transportation Research Institute, Korea Institute of
Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro,
Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0240 Fax : +82.31.910.0665
E-mail : bikim@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jun. 30, 2017 Revised Aug. 07, 2017 Accepted Sep. 29, 2017

1. 서론

최근 아스팔트 포장의 문제점을 개선하기 위한 섬유 보강 아스팔트 포장의 구조적 성능 평가 연구가 진행되었다. 국토교통부에서 수행한 “한국형 도로포장 설계법 개발” 연구에서 수행한 도로포장 장기공용성(LTPP,

Long Term Pavement Performance) 연구에서 섬유 그리드를 이용한 아스팔트 포장의 성능을 평가하기 위하여 일부 시험구간에 섬유 그리드를 이용한 아스팔트 포장을 시공하였다.

섬유그리드는 폴리에스터, 폴리프로필렌 등으로 직조

하여 에폭시 및 수지계열로 코팅된 많은 종류의 그리드와 섬유제품이 덧씌우기 포장에 많이 사용되고 있으며, 아스팔트 포장의 유지보수에 널리 사용되고 있다.

LTPP 연구결과에 의하면, 아스팔트 포장에서 섬유 그리드가 아스팔트 표층 상부의 응력을 분산시켜주는 효과를 보여주었다(전성일 외, 2008). 또한 생애주기비용분석 결과, 섬유 그리드로 보강한 아스팔트 포장은 일반 아스팔트 포장과 비교하여 초기 시공비용은 약 10% 증가하고 유지관리비용은 19% 절감, 사용자 비용은 74% 절감되는 것으로 나타나 일반 아스팔트 포장에 비해 초기 시공비용이 재료비 상승으로 높아졌으나 수명 증가로 유지 보수 및 사용자 비용이 절감되는 효과를 나타냈다(전성일 외, 2009).

아스팔트로 함침시킨 탄소섬유(건설신기술 501호)와 유리섬유가 아스팔트 혼합물 내에서 반사균열 및 파손을 지연시키는 효과를 확인하였다(박대욱 외, 2016). 또한 섬유 보강 아스팔트 포장이 일반 또는 개질 아스팔트 포장에 비해서 러팅(Rutting), 중단 평탄성(IRI), 처짐(Deflection)에 효과가 있는 것을 알 수 있었다(정진훈 외, 2010).

본 연구에서는 섬유 그리드를 이용하여 아스팔트 포장의 단면 감소 효과를 보다 정량적으로 검증하기 위하여 동일한 조건 하에서 단면이 축소된 구간에서 섬유 그리드를 시공하여 단면이 축소되지 않은 일반 포장 구간과 비교하였다. 이를 위하여 기존 LTPP(국도 1호선 원평-금구) 구간에서 기존 포장 단면과 기층의 두께를 5cm 줄인 단면을 활용하여 본 연구를 수행하였으며, 이를 통하여 섬유 그리드를 이용한 아스팔트 포장의 단면 감소 효과를 평가하고자 한다.

2. 현장 시험

2.1. 시험구간

2.1.1. 시험구간 현황

2005년부터 설치되어 운영 중에 있는 국도 1호선 원평-금구 LTPP 구간의 기존 포장 단면 구간(Control 구간)과 기층 5cm를 축소한 포장 구간을 이용하여 본 연구의 시험구간을 설계하였다.

Fig. 1과 Fig. 2에서 보는 바와 같이, Fig. 1의 기존 설계 단면 중 일반 비교구간에 표층 5cm를 절삭하고 아스팔트 콘크리트 덧씌우기를 실시하여 새로운 시험구간의 일반 비교구간으로 사용하였다. 또한, Fig. 1의 기존 설계 단면 구간 중 기층 5cm 단면축소 구간을 활용하여 Fig. 2와 같이 표층 5cm 절삭을 실시하고 한 구간에 대

해서만 섬유그리드를 설치하고 일반 아스팔트 콘크리트 덧씌우기를 실시하고 다른 구간에는 덧씌우기만 실시하였다. 결과적으로, 시험구간은 Table 1과 같이 1) 일반 비교 구간(포장층 두께=26cm), 2) 5cm 단면 축소 구간(포장층 두께=21cm), 3) 5cm 단면 축소+섬유 그리드 보강 포장 구간(포장층 두께=21cm)으로 총 3개의 포장 단면으로 시험 구간을 구성하였다.

< Control >		< 5cm Sectional Reduction >	
5cm	Surface Course	5cm	Surface Course
6cm	Intermediate Course	6cm	Intermediate Course
15cm	Base Course	10cm	Base Course
34cm	Subbase Course	34cm	Subbase Course

Fig. 1 Configuration of Existing Test Section

< Control >		< 5cm Sectional Reduction >		< 5cm Sectional Reduction + Fiber Grid >	
5cm	Surface Course	5cm	Surface Course	5cm	Surface Course
6cm	Intermediate Course	6cm	Intermediate Course	6cm	Intermediate Course
15cm	Base Course	10cm	Base Course	10cm	Base Course
34cm	Subbase Course	34cm	Subbase Course	34cm	Subbase Course

Fig. 2 Configuration of New Test Section (5cm Cutting and Overlay at Surface Course)

Table 1. Configuration of New Test Section

Classification	Thickness (cm)	Test section
Control	26	S.C. 5cm+I.C. 6cm+B.C. 15cm
5cm sectional reduction	21	S.C. 5cm+I.C. 6cm+B.C. 10cm
5cm sectional reduction + fiber grid	21	S.C. 5cm+I.C. 6cm+B.C. 10cm

* S.C. : Surface Course
I.C. : Intermediate Course
B.C. : Base Course

2.1.2. 계측센서 설치 단면

포장체 내부의 변형률 측정을 위해 계측 센서는 기존의 LTPP 구간에 매설되어 있는 계측기를 활용하였다. 포장체 내부의 구조적 거동을 관측하기 위해 포장체 내부에 변형률계와 토압계를 매설하였다. Fig. 3은 계측기 설치 형상을 보여주고 있다. Fig. 3과 같이 변형률계와 토압계는 휠패스(Wheel path)의 위치에 매설되었

다. 변형률계는 표층, 중간층, 기층 각각에 종방향과 횡 방향으로 매설되었다. 본 과업을 위하여 별도로 휴대용 데이터 로거를 이용하여 계측 센서의 작동 여부를 체크 하였으며, 설치된 센서가 이상 없음을 확인하였다.

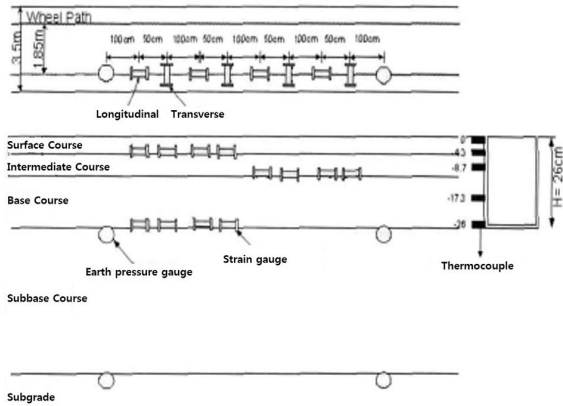


Fig. 3 Installation Section of Measurement Sensors (Jeon Sung Il, 2008)

2.1.3. 섬유 그리드 보강 아스팔트 포장 시공

2015년 11월 12일 국도 1호선 원평-금구 구간에 섬유 그리드 보강 아스팔트 포장 시험 시공을 실시하였다. Fig. 4에서와 같이 표층을 5cm 절삭한 후 중간층 상단에 개질 유화 아스팔트로 텍코팅을 실시하고 섬유 그리드 시공 장비를 이용하여 섬유 그리드를 설치하였다. 본 연구에 사용된 섬유 그리드는 부착력이 우수한 아스팔트 컴파운드로 함침된 격자형 보강재를 설치하였다.



Fig. 4 Construction of Fiber Grid Reinforced Asphalt Pavement

2.2. 현장 시험

시험구간의 포장체 거동을 살펴보기 위하여 FWD

(Falling Weight Deflectometer) 시험을 수행하였다. FWD 시험은 포장체 표면에 하중을 자유낙하시키고 그 때 발생된 표면 처짐을 재하 지점으로부터 일정한 간격으로 배치된 속도계로부터 처짐(최대수직변형)을 측정하여 표면 처짐곡선을 구하고 이를 통해 포장 구조체의 구조적 특성 또는 거동을 평가한다.

Fig. 2의 3개의 포장 단면에서 FWD를 이용한 처짐량 측정을 수행하였다. FWD 하중은 기존의 일반국도 포장관리시스템에서 적용하고 있는 하중단계를 그대로 적용하여, 4.1톤 2회, 8.0톤 2회 및 10.0톤 2회를 재하하여 Fig. 5와 같이 처짐량 데이터를 수집하였다.

일반 비교구간과 5cm단면 축소 구간, 5cm단면 축소+섬유 그리드 포장 구간의 처짐량 데이터를 수집하였고, 동시에 시험구간에 설치되어 있는 계측센서를 이용하여 변형률을 동시에 수집하였다.



Fig. 5 FWD Test and Collecting Deflection Data

3. 시험 결과

3.1. FWD(Falling Weight Deflectometer) 실험 결과

3.1.1. 처짐량 측정 결과

FWD를 이용하여 일반 비교 구간, 5cm 단면축소+섬유 그리드 보강 포장 구간 및 5cm 단면축소 구간에서의 처짐량 측정결과를 Fig. 6과 같이 나타내었다.

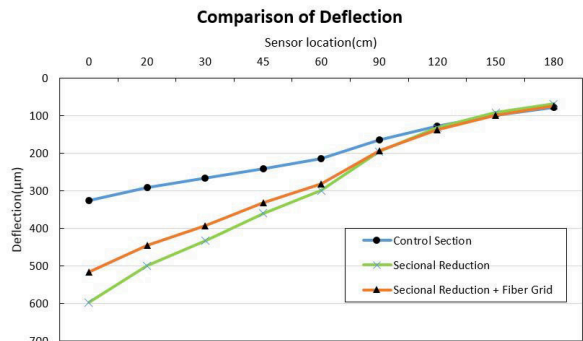


Fig. 6 Comparison of FWD Deflection Basin

총 9개의 지오폰(Geophone) 센서(D₀~D₈)를 사용하여

하중 재하판에서부터 차량 진행방향으로 0cm(D₀), 20cm(D₁), 30cm(D₂), 45cm(D₃), 60cm(D₄), 90cm(D₅), 120cm(D₆), 150cm(D₇), 180cm(D₈)에서 발생하는 처짐량을 측정하였다. Fig. 6은 시험구간 3개의 단면에서 측정된 처짐곡선(Deflection Basin)을 보여준다.

Table 2. Comparison of FWD Deflection on Test Section

	A	B	C
D ₀ (μ m)	597	516	326
The relative deflection(D ₀) ratio to 5cm sectional reduction area		14%	45%
D ₂ (μ m)	433	393	267
The relative deflection(D ₂) ratio to 5cm sectional reduction area		9%	38%
SCI(μ m)	164	123	59
The relative deflection(SCI) ratio to 5cm sectional reduction area		25%	64%

※A : 5cm sectional reduction area
 B : 5cm sectional reduction area + Fiber grid reinforced pavement area
 C : Control section area

5cm 단면축소+섬유 그리드 포장 구간의 처짐량 값이 5cm 단면축소 구간에 비해서는 감소하였으나 일반 비교 구간에 비해서는 크게 나타났다. 이를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2에서는 하중 재하판에서부터 0cm(D₀) 및 30cm(D₂)에서의 처짐량을 나타내었다. 또한 Table 2에서는 표층과 기층 등 포장 상부의 구조적 상태를 보여주는 처짐량 파라미터인 SCI(Surface Curvature Index)를 보여주고 있다. 여기서, SCI는 표면곡률계수라고도 하며 SCI 지수가 클수록 포장 상부의 지지력(Bearing Capacity)이 약하다는 것을 나타낸다. SCI 지수는 Eq. (1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$SCI = D_0 - D_{30} \quad (1)$$

여기서, D₀ : 하중 재하판 중심의 처짐

D₃₀ : 하중 재하판으로부터 30cm 떨어진 지점의 처짐(=D₂)

이에 본 연구에서는 단면 감소에 따른 포장층의 구조적인 상태 변화를 보기 위하여 SCI 지수를 이용하였다(DeBruin et al., 2002).

5cm 단면축소 + 섬유 그리드 보강 포장 구간과 5cm

단면축소 구간을 비교해 보면, 섬유 그리드로 인해 D₀의 경우 약 14%, D₂의 경우 약 9%, SCI의 경우 약 25%의 처짐량 감소 효과가 있음을 알 수 있다.

또한 5cm 단면축소 구간과 일반 비교 구간을 비교해 보면, 아스콘 기층 두께 5cm로 인해 D₀의 경우 약 45%, D₂의 경우 약 38%, SCI의 경우 약 64%의 처짐량 감소 효과가 있음을 알 수 있다.

기존에 수행된 섬유 그리드 보강 포장에 관한 구조적 성능평가 연구를 살펴보면, 일반 비교구간에 비해 일반 비교구간 + 섬유 그리드 보강 포장 구간의 처짐량 값이 24% 감소하는 것으로 나타나 본 연구와 유사한 결과를 보여주었다(전성일, 2008).

이상의 결과를 종합해보면, FWD에 의한 처짐량에 있어서 층 두께가 절대적인 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 섬유 그리드를 설치함으로써 포장체의 구조적 능력이 증가됨을 확인할 수 있었다. 본 FWD 실험에서는 5cm 단면 축소 구간에서 섬유 그리드 보강 구간이 약 30%의 구조적 능력 증가가 측정되었다.

3.1.2. 변형률 측정 결과

FWD를 이용하여 처짐량을 측정함과 동시에 포장체 내부에 매설되어 있는 변형률계를 이용하여 FWD 충격 하중이 가해졌을 때의 변형률을 측정하였다. 앞의 Fig. 3에서 계측기가 설치된 형상에서 보듯이 표층 하단부와 기층 하단부에서의 변형률은 종방향 변형률계를 이용하여 동일 위치에서 측정하였고, 중간층은 약 3m 떨어진 위치에서 측정을 실시하였다. Fig. 7~Fig. 9는 일반 비교구간, 5cm 단면축소+섬유 그리드 보강 포장 구간 및 5cm 단면축소 구간에서의 변형률 측정 결과를 각각 보여주고 있다.

Fig. 7~Fig. 9에서 보여주는 바와 같이 각 단면에서 4.1톤 2회, 8.0톤 2회, 10.0톤 2회의 총 6회 하중을 가하였다. 측정결과 (-)는 압축변형률을 나타내며, (+)는 인장변형률을 나타내는데 표층 하단부에서는 압축이 발생하였고 기층 하단부에서는 인장이 발생하는 형태를 보였다. Table 3은 FWD 하중에 의한 표층 및 기층에서 발생한 변형률의 평균값을 보여준다.

변형률 측정 결과, 일반 비교구간, 5cm 단면축소+섬유 그리드 보강 포장 구간, 5cm 단면축소 구간 순으로 변형률이 크게 측정되었다. 기층 하단부에서의 변형률은 3개 단면에서의 변형률 증가 폭이 FWD 처짐량 결과와 유사하게 나타나 세 종류의 단면에 대한 포장의 전체적인 구조적 능력은 처짐량과 변형률 모두 일관성 있는

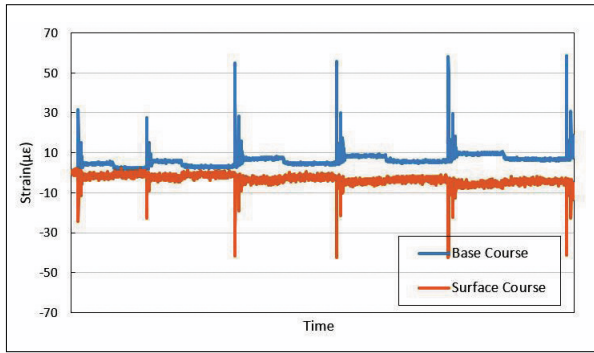


Fig. 7 Strain at 5cm Sectional Reduction Section

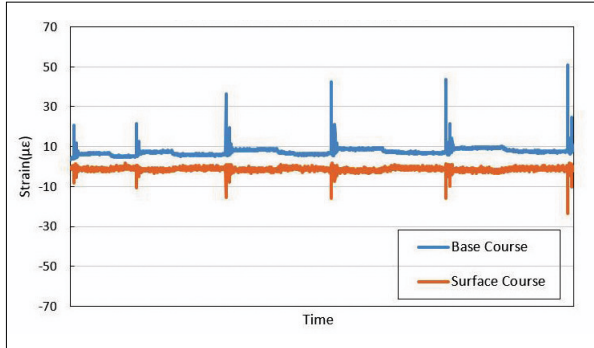


Fig. 8 Strain at 5cm Sectional Reduction Area +Fiber Grid Reinforced Pavement Section

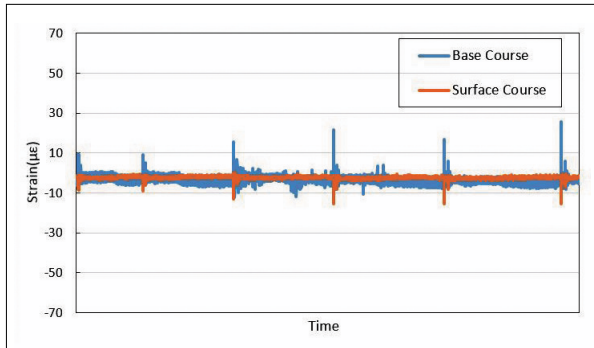


Fig. 9 Strain at Control Section

Table 3. Average Strain at Surface Course and Base Course Applied by FWD Loads

	Strain(µε) at 1 st load (4.1 ton)			Strain(µε) at 2 nd load (8.0 ton)			Strain(µε) at 3 rd load (10.0 ton)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Surface course	-25	-11	-10	-42	-16	-14	-44	-18	-16
The relative strain ratio to 5cm sectional reduction area		56%	60%	62%	67%		59%	64%	
Base course	+30	+22	+10	+55	+38	+20	+60	+47	+22
The relative strain ratio to 5cm sectional reduction area		27%	67%	31%	64%		22%	63%	

※A : 5cm sectional reduction area

B : 5cm sectional reduction area + Fiber grid reinforced pavement area

C : Control section area

결과를 보여준다고 할 수 있다.

표층 하단부에서의 FWD 하중에 의한 변형률 비교를 통해 섬유 그리드로 인한 변형률 감소효과와 기층 두께 증가에 의한 변형률 감소효과를 살펴보았다. 5cm 단면 축소+섬유 그리드 보강 포장 구간과 5cm 단면 축소 구간을 비교해보면, 섬유 그리드로 인해 4.1ton 하중이 가해졌을 때 변형률이 56% 감소하였고, 8ton일 때 62%, 10ton일 때 59%의 변형률이 감소하였다. 또한 일반 비교구간과 5cm 단면 축소 구간을 비교해보면, 하중이 4.1ton일 때 기층 두께 5cm 차이로 인해 변형률이 60% 감소하였고, 8ton일 때 67% 감소, 10ton일 때 64%의 변형률이 감소하였다.

5cm 단면 축소+섬유 그리드 보강 포장 구간과 일반 비교구간의 변형률 차이는 3가지 하중 레벨에서 모두 4%~5%로 거의 차이가 없었다. 즉, 표층 하단부에서의 변형률은 기층의 두께를 5cm 축소했음에도 불구하고 섬유 그리드가 충분히 보강해주고 있음을 보여주고 있는 결과이다. 이와 같은 특성은 섬유 그리드가 내부에 작용하는 응력을 흡수하여 상대적으로 표층에서의 변형률이 작게 발생하는 것으로 판단된다.

우리나라에서와 같이 아스팔트 기층을 사용하는 경우 대부분의 균열이 차량 하중에 의해 Top-Down 형태로 발생됨을 고려할 때 상부 표층에서의 변형률은 균열을 제어하는 가장 중요한 요소이다. 따라서 상기와 같이 일반 비교구간과 5cm 단면 축소+섬유 그리드 보강 포장 구간의 변형률 차이가 거의 없는 결과는 균열 제어 측면에서 볼 때 섬유 그리드를 사용할 경우 아스콘 층의 단면을 5cm 축소시킬 수 있는 가능성을 보여주는 것이다.

한편 기층 하단부에서의 변형률의 변화를 살펴보면, 5cm 단면 축소+섬유 그리드 보강 포장 구간과 5cm 단면 축소 구간을 비교했을 때 섬유 그리드로 인해 하중이 4.1ton일 때 변형률이 27% 감소하였고, 8ton일 때 31% 감소, 10ton일 때 22%의 변형률이 감소하였다. 또한 일반 비교구간과 5cm 단면 축소 구간을 비교해 보면, 하중이 4.1ton일 때 변형률이 67% 감소하였고, 8ton일 때 64% 감소, 10ton일 때 63%의 변형률이 감소하였다. 즉, 기층에서 발생하는 변형률에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 기층 두께이며, 섬유 그리드에 의한 변형률 감소효과는 기층 두께에 의한 변형률 감소 효과의 약 50~60% 정도로 파악되었다.

4. 결론

1. FWD 실험 결과, 5cm 단면축소+섬유 그리드 보강 구간이 5cm 단면축소 구간에 비해 처짐량이 적게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 일반 비교 구간에 비해서는 처짐값이 크지만 처짐량 측정에서 포장 두께가 차지하는 비중이 큰 것을 감안하면 섬유 그리드가 포장체의 구조적 능력을 증가시키는 것을 확인할 수 있었다.
2. 기층 하단부에서의 인장변형률은 일반 비교 구간에 비해서 5cm 단면 축소+섬유 그리드 보강 포장 구간이 크게 발생하였다. 그러나 표층 하단부에서의 변형률이 두 개의 비교구간에서 유사하게 측정되었다. 이는 표층 하단부에 설치된 섬유 그리드가 표층 내부에 작용하는 응력을 흡수하여 상대적으로 표층에서의 변형률을 작게 발생시키는 것으로 판단되며, 섬유 그리드를 사용할 경우 아스콘 층 단면의 일부를 줄일 수 있는 효과가 있음을 보여주었다.
3. 국내 아스팔트 포장 대부분의 균열이 Top-Down 형태임을 고려할 때 표층 하단부에서의 변형률은 균열을 제어하는 요소이며, 일반 비교구간과 5cm 단면축소+섬유 그리드 보강 포장 구간의 표층에서의 변형률 차이가 거의 없는 실험 결과는 섬유 그리드를 사용함으로써 아스콘 층의 단면을 축소시킬 수 있는 가능성을 보여준다.
4. 본 연구 결과, 아스콘 층 단면이 5cm 축소된 시험포장구간에서 포장 상부의 응력을 섬유 그리드가 감소시켜서 일반 비교 구간과 비슷한 변형률을 보여주었다. 5cm 단면 축소+섬유 그리드 보강 포장 구간은 위와 같은 논리로 일반 비교 구간과 유사한 구조적 성능을 나타낼 것으로 판단되지만 향후 다양한 조건에서 소성변형과 균열에 대한 저항성을 판단할 수 있

는 실내 실험과 기존 시험구간의 추적조사 등을 통하여 섬유 그리드 포장의 단면감소 효과가 추가적으로 증명되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Barksdale, R. D. (1991). "Fabrics in Asphalt Overlays and Pavement Maintenance." *Report NCHRP 171*, TRB, Washington, D.C.
- DeBruin, P. W., Visser, Alex T., and Jordan, Gerrit J. (2002). "Modeling the Changes in Pavement Layers During Rehabilitation and the Effect of These Changes on the Structural Capacity." *15th ASCE Engineering Mechanics Conference*, New York, NY.
- Jeon, S.I., Kim, B.I., Kim, J.S., Lim, K.S. (2008). "LTPP-SPS : Evaluation of Structural Capacity on Asphalt Pavement Reinforced with Glass Fiber." *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 10, No. 4, pp. 281-292.
- Joel Sprague, C. and Carri, A. (2000). "Asphalt Overlay Reinforcement." *Geotechnical Fabrics Report*, March, pp. 30-33.
- Kim, B.I., Lee, M.S., Jeon, S.I., Kim, S.K. (2009). "Cost Analysis of Asphalt Pavement Reinforced with Glass Fiber and Polymer Modified Falling Weight Deflectometer." *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 11, No. 4, pp. 153-160.
- Wallenberger, F.T., Watson, J.C., and Li, H. (2001). "Glass Fibers." *ASM Hand Book Vol 21, ASM International*, Materials Park, OH.
- Yeo, D.H., Kim, G. D., Kwon, S. A., Jeong, J. H. (2010). "Evaluation of Early Age Performance of Geogrid Reinforced Asphalt Pavements." *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 12, No. 4, pp. 53-60.
- Yoo, B.S., Seo, W.J., Kim, J.S., Park, D.W. (2016). "Evaluation of Reflection Cracking Resistance of Grid-Reinforced Asphalt Pavement Using Overlay Tester." *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 18, No. 1, pp. 57-62.
- Yoo, P.J. (2014). "Material Characteristics of Polypropylene-Coated Multifilament Glass-Fibre Reinforced Hot-Mix Asphalt Mixture." *1st IRF Asia Regional Congress&Exhibition*.