

그리드형 보강재와 분산성 섬유를 활용한 도로 포장층의 현장 적용 특성

박주원¹, 김훈겸², 김성보^{3*}

The Field Applicability of Road Pavement Layer with Grid Typed Reinforcement and Dispersive Fiber

Ju-Won Park¹, Hun-Kyum Kim², Sung-Bo Kim^{3*}

Abstract: This study analyzed the field applicability through the combination of environment-friendly grid-typed reinforcements and pre-mixed fiber with filler. The film of the grid-typed reinforcement is made by recycled PE resin. And, Ascon fiber is obtained the dispersion by pre-mixing of filler. To be able to recognize in advance the various circumstances that could arise in the construction of the road pavement layer, we conducted a basic field application test of the (Mock Up) pavement layer. As a result, it was found that the pavement with environment-friendly grid-typed reinforcement and dispersive fiber construction had improved strength, stress, and rutting resistance. It is consistent with the strength and stress results of the actual test of the mock up specimen. It is expected to perform an effective role in the safety as well as the use of environment-friendly fibers in actual construction.

Keywords: Field application, Composite fiber, Eco-friendly reinforcement, Dispersive fiber, Asphalt pavement

1. 서 론

도로 포장층에서 발생할 수 있는 손상을 방지하기 위해 본 연구에서 선정한 실험재료는 재생 수지를 활용한 친환경 그리드형 보강재와 아스콘 첨가제인 선분산시킨 섬유이다. 제시된 복합섬유를 사용하여 도로 포장층의 소성변형 및 균열 등 손상을 억제하고, 이를 통해 하부층의 열화를 저감시키고자 하였다.

도로의 성능을 향상시키고 연성 포장재료인 아스팔트의 균열 및 처짐 저항성을 개선하기 위한 수많은 연구가 진행되었으며, SBS, MMA, 폴리우레탄 등 개질제를 사용한 연구가 활성화되고 있다(Kim et al., 2015; Hwang et al., 2007). 그러나, 분산성을 향상시키고 친환경성을 가진 보강재를 사용하여 성능을 개선시킨 공법은 아직까지 상용화되지 못하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 이러한 친환경성과 성능 개선 효과를 가진 복합 섬유 보강재를 활용한 포장재료의 현장 적용 특성을 분석하였다.

이전 연구에서 재료를 개발하는 과정 및 개발 재료에 대한 기초 물성을 확인하였고, 재료를 혼입한 아스콘 시편을 제작

해 실내에서 기초 실험을 진행하였다(Park et al., 2017). 본 논문에서는 이렇게 개발된 재료를 Mock Up 형태로 적용함으로써, 실제 현장에서의 성능 발현 형태와 제반 문제점을 도출하는 과정을 진행하였다. 이를 통해, 상용화 이전에 예상되는 품질 및 특성을 파악하고 이를 바탕으로 적극적인 적용 방안을 구현하고자 하였다.

2. 적용 재료

재료 개발에 대한 연구는 현장 적용성 연구 이전에 이루어진 부분으로(Park et al., 2017), 본 논문에서는 적용 재료에 대한 부분은 간단하게 언급하기로 하고, 현장 적용성을 중심으로 설명하고자 한다.

2.1 친환경 그리드형 보강재

재활용 자원을 이용해 친환경성을 향상시킨 제품을 확보하기 위해 가정용 및 산업용 투명필름을 활용한 친환경 필름을 개발하였고, 이를 쉬트형 보강재에 적용하였다(Park et al., 2017).

재활용 필름은 재생 수지와 신재수지의 비율을 50:50으로 혼입하여 Fig. 1과 같이 표면에 특별한 손상 없이 생산할 수 있었고, 이를 이용한 친환경 그리드형 보강재를 Fig. 2와 같이 제작할 수 있었다.

¹정희원, 충북대학교 토목공학과 박사과정

²정희원, 서울시청 도로시설과

³정희원, 충북대학교 교수, 교신저자

*Corresponding author: sbkim@chungbuk.ac.kr

Department of Civil Engineering, Chungbuk National University, Chungdae-ro 1, Seowon-Gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 6월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 7월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

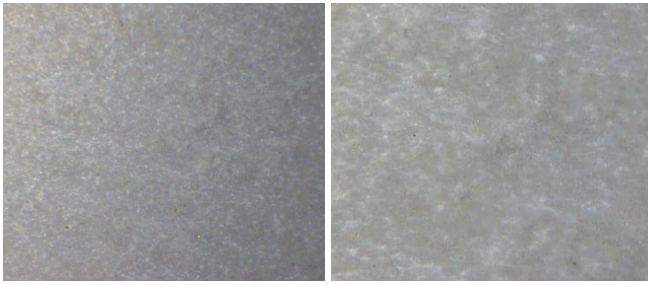


Fig. 1 Recycled film surface



Fig. 2 Compound and film prototype for recycled film

2.2 분산성 섬유

아스콘 혼입 섬유의 뭉침이 발생하지 않고 포장층에 고르게 분포되도록 하기 위해서 충전재와 섬유의 사전 혼입을 통해 분산성 섬유를 생산하였다(Park et al., 2017).

사전 혼입(Mixing)을 통한 선분산 작용이 이루어지는 조건을 찾기 위한 실험 결과, PP 및 PVA 계열 단섬유를 사용하여 교반 시간 2~3분, (섬유 : 충전재) 배합비 1 : 10에서 가장 적절한 분산작용이 발생함을 알 수 있었다. Fig. 3은 생산된 분산성 섬유 샘플이며, 사전 혼입으로 인해 섬유의 결이 분리되어 분산성이 향상된 상태를 유지 가능하게 되었다.

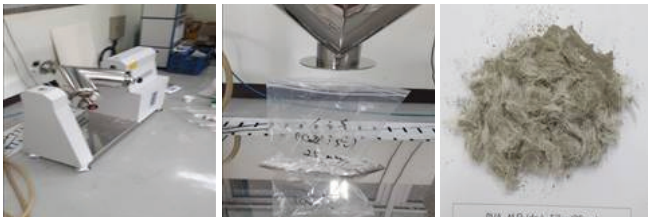


Fig. 3 Fiber dispersion result using 25 μ m filler

3. 현장 적용성 분석

이전 연구에서 개발 재료의 일반적인 물성 실험을 통해 아스콘 포장에 적용 가능한지에 관한 기초 실험을 진행하였다.

본 논문에서는 이를 현장 적용하기 위한 절차로써 Mock Up Test를 진행하여 실 현장에서의 사용 가능성 유무를 분석하는 실험을 진행하였다.

개발된 재료의 현장 사용성을 분석하기 위해 실제 도로 형태를 갖는 Mock Up Test를 진행하였고, 변수는 다음과 같다.

- Type 1 : 무보강 일반 포장 (코어채취용)
- Type 2 : 그리드형 보강재 (코어채취용)
- Type 3 : 그리드형 보강재+분산성 섬유 (코어채취용)
- Type 4 : 그리드형 보강재+분산성 섬유 (표면 관찰용)

현장 변수는 친환경 그리드 보강재와 분산성 섬유를 적용한 포장층(Type 3)을 기본 변수로 선정하였고, 보강재를 활용하지 않은 무보강 포장층을 비교 변수로 선정하였다(Type 1). 또한, 그리드 보강재 단독으로 포장했을 때의 상태를 분석하기 위한 변수를 추가적으로 선정하였다(Type 2). 현장 적용에 대한 기본 성능을 분석하기 위해서 변수별 코어를 채취하여 실험을 진행하였고, 표면 관찰을 위한 변수를 부가적으로 선정하였다(Type 4).

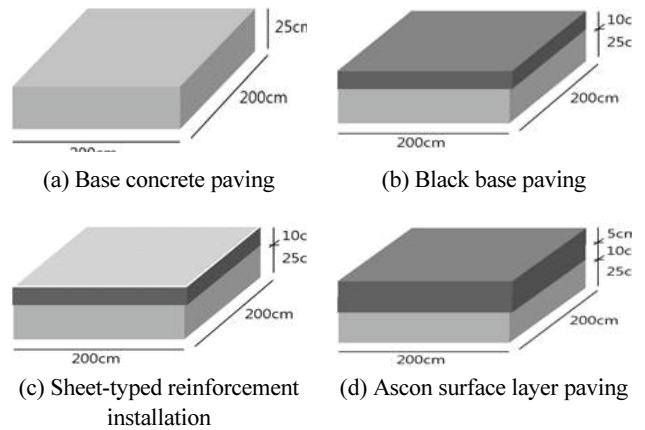


Fig. 4 Mock up specimen size



Fig. 5 Mock up construction



Fig. 6 Mock up coring

Mock Up 설치 과정은 Fig. 4와 같다. 먼저, 하부에 기초가 되는 콘크리트층을 포설하고(Fig. 3(a)), 텍코팅제 도포 후 상부에 아스팔트 기층을 포설한다(Fig. 3(b)). 그리고, 다시 텍코팅제 도포 후 그리드 보강재를 설치한다(Fig. 3(c)). 마지막으로, 섬유 보강 표층을 포장하는 순이다(Fig. 3(d)). 이에 대한 현장 적용 사진은 Fig. 5와 같다.

시공된 Mock Up 공간에 관련 실험을 진행하기 위해 Fig. 6과 같이 코어를 채취하였다. 변수별 40여개 정도의 코어를 채취하여 실험을 실시하였고, 코어를 채취하기 전에 충분한 양생을 위한 약 3개월간의 양생 기간이 있었다.

3.1 압축 강도

섬유 보강 포장층의 역학적 특성을 분석하기 위해 코어 채취된 지름 10cm 원형 시편을 가지고 UTM을 이용하여 Fig. 7과 같이 압축 강도 시험을 진행하였다.

적용된 유형 중, 주요 포장층인 복합 보강 섬유 혼입층(Type 3)과 비교 포장층인 무보강층(Type 1)을 중심으로 결과를 도출하였다.

이전 연구에서 간접인장강도 등 아스콘 물성에 대한 일반적인 실험을 진행하여 우수한 결과를 도출하였다. 일반적으로 아스팔트 혼합물은 연성재료이기 때문에 직접 압축시험은 진행하지 않고 있으나, 본 논문에는 외부 하중을 견딜 수 있는 정도를 직접적으로 관찰하기 위해 섬유를 포함하지 않은 일반 혼합물을 포함한 비교 강도 실험을 진행하였다.

섬유를 사용한 아스콘과 일반 아스콘의 강도 실험 결과는 Table 1과 같다. 현장에 적용된 Mock Up 시험체에서 채취한 코어를 가지고 실험을 진행한 결과, 섬유 혼입 아스콘의 압축 강도가 무혼입 아스콘에 비해 2배 가까이 강도가 증진되는 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 7 Compressive strength test

Table 1 Comparison of compressive strength according to the use of composite fiber

Fiber use status	Maximum load (kgf)	Cross section (mm ²)	Compressive strength (MPa)	Average (Comp. strength) (MPa)
Non fiber (Type 1)	1	3,524	7,850	4.4
	2	2,806	7,850	3.5
Fiber reinforcing (Type 3)	1	6,088	7,850	7.6
	2	6,328	7,850	7.9

3.2 응력 및 변형률

적용 구간 포장층의 응력 및 변형률을 측정하였다. 압축강도 시험에서와 마찬가지로 UTM을 사용하여 작용하중에 대한 변위를 분석해 응력과 변형률을 도출하였다.

Fig. 8의 응력-변형률 곡선에서 보는 것과 같이, 섬유 미혼입 포장층 구간(Type 1)은 강도 측면에서 상부 피크점을 확인하고 하강 곡선을 그리고 있는 것을 확인할 수 있었고, 섬유 혼입 포장층(Type 3)에서는 아스콘의 변형이 계속해서 상승 곡선을 유지하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 연성재료인 아스콘의 변형이 종료될 때까지 지속적인 강도의 상승이 발생한다고 할 수 있다.

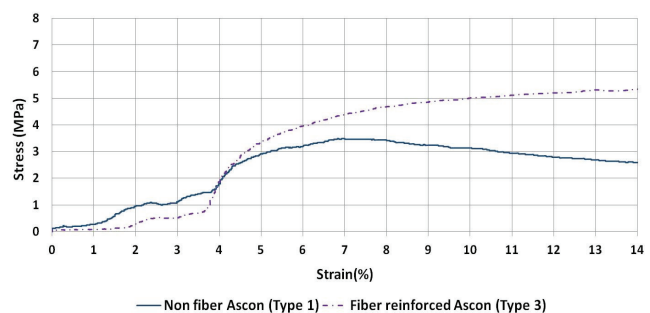


Fig. 8 Stress-strain curve according to the use of composite fiber

3.3 탄성계수

UTM을 이용하여 현장 적용 구간의 하중과 변위 관계를 정립하고, 이로부터 얻어지는 응력과 변형을 관계를 통해 탄성계수를 Fig. 9와 같이 도출하였다.

역학 특성 및 성능 향상에 관여하는 탄성계수가 섬유 무혼입 포장층(Type 1)보다 혼입 구간(Type 3)에서 약 18% 향상된 값을 나타내었다. 역학적인 특성뿐만 아니라 도로의 처짐 저항성 측면에서도 유리한 포장 방법이 될 수 있을 것이라고 판단된다.

Table 2 Elastic modulus according to the use of composite fiber

Fiber Use Status	Elastic Modulus (MPa)
Non fiber (Type 1)	3,166
Fiber reinforcing (Type 3)	3,728

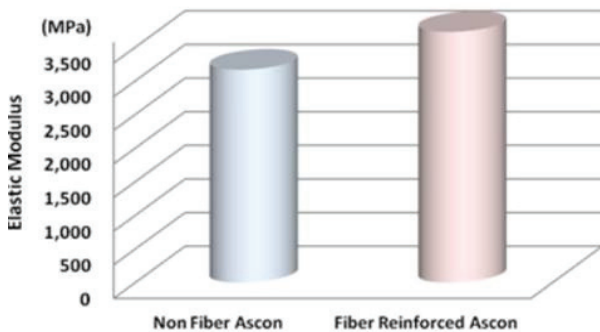


Fig. 9 Elastic modulus according to the use of composite fiber

3.4 휨강도 측정

섬유 혼입에 대한 내하력 증진효과를 분석하기 위해 포장층 모사를 한 세가지 유형의 시험체 (Type 1, 2, 3)에 대해 휨강도 시험을 실시하였다. 휨강도 시험은 실험 변수인 세가지 유형의 직육면체 공시체에 하중을 가하여 Fig. 10과 같이 실험을 실시하고, 이에 대한 극한 강도 및 변위를 분석하였다. 그리드

형 보강재 및 보강 섬유로 인해 상부에 작용하는 하중에 대한 저항성 향상을 판단하기 위함이다.



Fig. 10 Flexural strength test

시험 결과, Fig. 11과 같이 섬유 혼입 포장층(Type 3)에서 무혼입(Type 1)시보다 약 2배 이상의 내하력을 발휘하였다. 1차적으로 아스콘 혼입 섬유에 의한 골재간 결합 상태 향상과 함께, 2차적으로 포장층 상·하부에 균열이 발생해도 그리드형 보강재로 인해 처짐에 저항하여 상부로 향하는 응력 결과에 기인한다고 볼 수 있다.

또한, 극한강도 발현점의 변위를 살펴보면 무보강층에서는 약 0.4mm에서 최대점을 나타냈고, 섬유 보강층에서는 약 2.0mm에서 최대점을 나타냈다. 즉, 환경에 의한 도로 내부 변형이 발생해도 섬유 보강층에서는 하중에 저항하는 특성이 지속적으로 나타나 현상태를 유지하려는 특성을 확인할 수 있었다.

그러므로, 두 가지 형태의 섬유 보강을 통해서 압축강도 뿐만 아니라, 휨에 대한 저항성 측면에서도 중요한 역할을 수행할 수 있다고 판단된다.

3.5 시공성 및 친환경성

Mock Up 포설 과정에서의 시공성 및 다짐성 등에 대해 확인하였다. 재료를 현장에 적용함에 있어 시공성에 문제가 발생한다면 재료에 대한 현장 활용 가능성이 현격히 저하되기

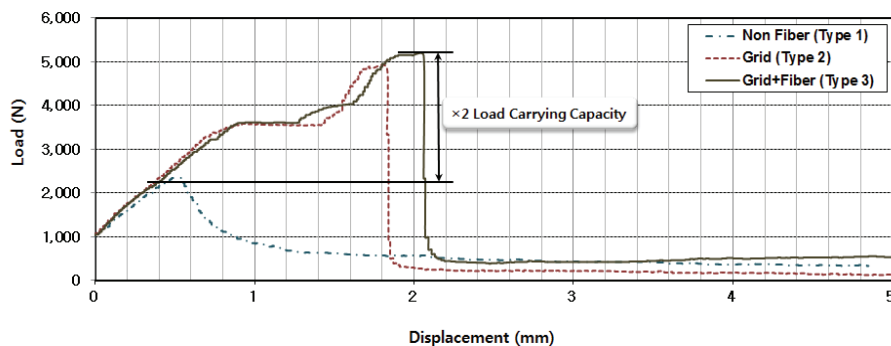


Fig. 11 Load carrying capacity according to the use of composite fiber

때문이다. Fig. 12와 같이 시공에 있어서는 일반 아스콘 포설 공정과 동일한 공정으로 진행이 되었고, 특별한 난점은 발생하지 않았다. 다짐에 있어서는 장비 바퀴가 지나가는 주변 구간의 밀림이 일반 아스콘 포설 구간에 비해 현격히 줄어든 상황을 연출했으며, 이로 인해 주변 손상에 대한 전파 성향은 다분히 저감되리라고 판단된다. 시공 관련한 작업성은 일반 아스콘과 유사하며 시공과정에서의 문제점은 발생하지 않았다.



Fig. 12 Constructivity test

또한, 폐기된 수지를 활용하여 필름을 생산하는 재활용 소재를 함유하고 있기 때문에, 환경 유해성에 대한 기초 실험으로 중금속 용출 시험을 진행하였다. 시험 결과, Fig. 13과 같이 8개 금속 모두 기준 이하의 무해한 형태가 도출되었다. 중금속의 일반적인 검출한계인 5 mg/kg 이내로서 재활용 소재의 환경성에 있어서 안전성을 확보하였다.

Analyte	Mean Corrected	Calib.	Std. Dev.	Sample	Std. Dev.	RSD
	Intensity	Conc. Units		Conc. Units		
Pb 220.353	-28.5	0.001 mg/L	0.0045	-0.059 mg/kg	0.2046	347.72
Cd 228.802	46.1	0.001 mg/L	0.0003	0.060 mg/kg	0.0117	19.42
Hg 253.652	125.0	-0.025 mg/L	0.0046	-1.150 mg/kg	0.2110	18.35
Cr 267.716	65.9	0.001 mg/L	0.0004	0.035 mg/kg	0.0162	46.50
Ba 233.527	613.7	0.007 mg/L	0.0005	0.314 mg/kg	0.0221	7.04
As 188.979	51.9	0.014 mg/L	0.0066	0.623 mg/kg	0.3020	48.49
Se 196.026	-30.6	0.000 mg/L	0.0100	0.018 mg/kg	0.4572	>999.9
Sb 206.836	50.5	0.007 mg/L	0.0186	0.340 mg/kg	0.8494	250.16

Fig. 13 Heavy metal elution test

3.6 내부 결합 상태 확인

Mock Up 시험을 통해 첨가된 분산성 섬유의 아스콘 내부 결합상태를 확인하기 위해 그리드 보강재 및 분산성 섬유를 혼입한 Type 3의 표층부에 대해 SEM 관찰을 실시하였다. 섬유 혼입시 가장 문제가 되는 부분이 섬유 뭉침에 의해 골재의 결합력을 퇴보시키는 부분이기 때문에, 골재 사이의 섬유 결합 상태를 확인하였다.

통계적 접근이 필요한 부분이지만, 구간에서의 샘플 채취 조사 결과에 의하면 Fig. 14와 같이 섬유의 결합 상태에 있어 골재끼리의 맞물림 작용이 지속적으로 진행되고 있었다. 그러나, 이는 개발 제품의 현장 테스트를 준비하기 위해 철저한 공정 관리를 수행했기 때문에 도출된 결과일 수 있으므로, 향후 현장 적용에 있어서도 철저한 현장 관리가 이루어져야 할 것이다.

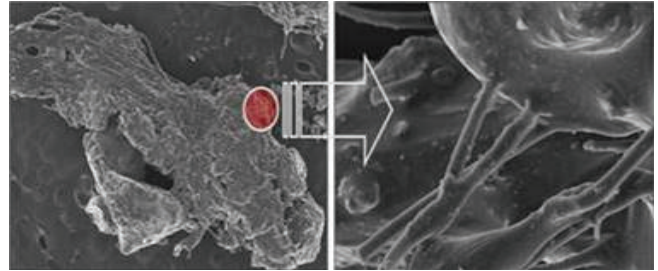


Fig. 14 Fiber condition in asphalt pavement

3.7 동해 저항성

동절기와 같이, 동결 및 융해가 반복되는 시기의 재료 저항성을 판단하기 위해 Mock Up 현장의 무보강(Type 1) 및 섬유 보강(Type 3) 시편을 가지고 동해 저항성 시험을 진행하였다. 재료가 밀실하지 않고 구성요소의 맞물림이 약하게 이어져 있으면, 공극에 있는 내부 수분 등이 동결하여 균열이 발생하고 결국은 이로 인해 파괴가 일어난다. 이에 대한 저항성을 판단하기 위한 시험을 진행하였다.



Fig. 15 Freeze-thaw tester and specimen

Fig. 15와 같이 코어 채취한 테스트 시편을 동결융해 시험기에 넣고 시험을 진행하였다. 동결 융해시험은 공시체 중심부의 온도를 기준으로 4°C에서 -18°C로 떨어뜨리고, 다음에 -18°C에서 4°C로 상승시키는 것을 1사이클로 한다. 각 사이클에서 공시체 중심부의 최고 및 최저 온도는 각각 (4±2)°C 및 (-18±2)°C의 범위 내에 있어야 하고, 언제라도 공시체의 온도가 -20°C 이하 또는 6°C 이상이 되어서는 안 된다. 위 조건하에서 100 사이클을 진행하였고, 이에 대한 상대동탄성계수를 측정하였다.

시험 결과 표기는 초기 동탄성계수를 100%로 하였을 때, 시험 후 동탄성계수 저하율을 %로 나타내었다.

Table 3 Freeze-thawing test of compressive strength according to the use of composite fiber

Fiber Use Status	Relative dynamic elastic modulus (%)	Remarks
Non fiber (Type 1)	74	26% Down
Fiber reinforcing (Type 3)	85	15% Down

Table 3과 같이 동결융해 시험 결과, 섬유 혼입 시편(Type 3)에서 동해에 대해 저항성이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 즉, 시험 전 초기 동탄성계수를 100%로 했을 때, 시험 후 동탄성계수 저하율이 무보강 시편(Type 1)보다 11% 포인트 작게 나타나 동결기 환경 저항성이 더 강화되었다고 할 수 있다.

충진재의 혼입에 의한 골재 맞물림으로 인해 내부가 더 밀실한 상태로 유지되어 나타난 결과라고 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 이전 연구에서 개발된 그리드형 보강재와 보강섬유를 활용하여 도로 포장층에 적용한 Mock Up 테스트를 수행하였다. 실제 현장 조건을 구현한 실험으로부터 개발된 재료의 현장 적용성을 파악한 결과 도출된 결과는 다음과 같다.

- 1) Mock Up 테스트 시편의 압축강도 시험 결과, 섬유 혼입 포장층에서의 압축 강도가 일반 무혼입 포장층에 비해 약 2배 정도의 강도 증진을 가져왔다. 이는 휨강도 평가 실험에서 섬유 혼입 포장층의 경우 2배 이상 휨강도가 증진된 부분과 비슷한 경향성으로 실제 도로 포장층의 강도를 향상시킬 수 있는 방안으로 판단된다.
- 2) 탄성계수에 있어서 18% 향상된 결과가 도출되었고, 골재와 섬유의 결합상태에 있어서 재료간의 맞물림 작용이 적절히 이루어진 상태를 나타내었으며, 현장 직접 시공시 상부 포장층의 밀림이 없이 밀실하게 포장을 진행할 수 있었다. 그러므로, 시공시 뿐만 아니라 공용 중에 발생하는 유해물질 침투로 인한 내부 열화 저항성이 더욱 강화된 재료가 될 것으로 판단된다.

- 3) 본 논문에서 사용한 재료는 재활용 자원을 사용한 재료로써, 환경에 유해한 불순물이 함유되지 않은 것으로 확인되었고, 동해 저항성에 있어서도 약 11% 향상된 결과를 도출했다.
- 4) 본 연구에서 수행한 현장 Mock Up 실험 결과 그리드형 보강재와 보강 섬유를 활용한 도로 포장층은 기존의 무보강 포장층에 비하여 역학적 거동이 우수하고 친환경적이므로 향후 상용화 가능성이 높다고 평가된다.

References

- Ahn, T.B., Yang, S.C., Cho, S.D., and Kim, N.H. (2001), Stress-strain behavior of flexible pavement reinforced with geosynthetics, *Journal of Korea Society of Road Engineers*, 3(1), 151-163.
- Hwang, K.S., Ahn, W.S., Suh, S.H., and Ha, K.R. (2006), Synthesis and applications of reactive polymer modifiers for asphalt(1), *The Polymer Society of Korea*, 31(1), 68-73.
- In, S.Y., Kim, H.B., Ahn, S.S., and Suh, Y.C. (2004), Viscoelastic behaviors of geosynthetic-reinforced asphalt pavements, *Korea Society of Road Engineers*, 6(2), 37-45.
- Kim, J.W., and Chun, B.S. (2012), A study on the field application of superior recycled pavement of the waste asphalt, *Korean Geo-Environmental Society*, 13(2), 67-73.
- Kim, Y.M., Im, J.H., and Hwang, S.D. (2015), Evaluation of emergency pothole repair materials using polyurethane-modified asphalt binder, *Journal of Korea Society of Road Engineers*, 17(1), 43-49.
- Korea Society of Road Engineers. (2015), A study on the introduction of new paradigm for road pavement.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). (2015), Guide of production and construction of asphalt mixture.
- Ohm, B.S., Yoo, P.J., Ham, S.M., and Suh, Y.C. (2016), A study on field application of glass fiber reinforced asphalt mixtures, *Korea Society of Road Engineers*, 18(3), 67-74.
- Park, H.M., Choi, J.Y., Lee, H.J., and Hwang, E.U. (2007), Performance evaluation of the high durability asphalt mixture for bridge deck pavement, *Journal of Korea Society of Road Engineers*, 9(2), 51-62.
- Park, J.W., Kim, H.S., Kim, H.J., and Kim, S.B. (2017), Development of a composite fiber reinforcement pavement using eco-friendly grid and dispersive fibers, *Korea Society of Road Engineers*, 19(6), 57-66.
- Peltonen, P. (1991), Wear and deformation characteristics of fibre reinforced asphalt pavements, *Construction and Building Materials*, 5(1), 18-22.

Received : 01/30/2018

Revised : 04/25/2018

Accepted : 04/30/2018

요 지 : 본 논문에서는 재활용 필름을 사용한 친환경 그리드형 보강재와 사전에 충전재의 혼입을 통해 분산성을 향상시킨 섬유를 도로 포장층에 복합적으로 적용한 공법의 현장 적용성을 분석하였다. 그리드형 보강재를 구성하고 있는 필름은 폐기된 PE수지를 재활용하여 친환경성을 강조하였고, 아스콘 혼입 섬유는 아스콘 충전재의 사전 혼입을 통한 섬유의 분산성을 확보한 것이다. 복합 섬유를 혼입한 교량 포장층을 시공함에 있어 발생할 수 있는 계반 상황을 사전에 인지할 수 있도록, Mock Up 포장층에 대한 기본적인 성능 분석을 실시하였다. 분석 결과, 친환경 그리드 보강재와 분산성 섬유를 함유한 포장층에서 강도 및 응력, 처짐 저항성에서 모두 기능성이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 그러므로, 섬유 실제 현장 적용시 친환경성 재료 도입과 더불어 안전성 측면에도 효율적인 공법이라고 판단된다.

핵심용어 : 현장 적용, 복합 섬유, 친환경 보강재, 분산성 섬유, 아스팔트 포장
