

친환경 쉬트형 보강재 및 분산성 섬유를 적용한 복합 섬유 보강 포장 개발

Development of a Composite Fiber Reinforcement Pavement using Eco-Friendly Grid and Dispersive Fibers

박 주 원	Park, Ju Won	충북대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : pcw5498@naver.com)
김 형 수	Kim, Hyeong Su	이에스지산업(주) 대표이사 (E-mail : gudm6864@esg.kr)
김 혁 중	Kim, Hyeok Jung	정회원 · 금호석유화학 중앙연구소 공학박사 (E-mail : ceasare@kkpc.com)
김 성 보	Kim, Sung Bo	충북대학교 교수 · 교신저자 (E-mail : sbkim@chungbuk.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study develops eco-friendly asphalt reinforcement materials applicable to bridge deck pavement. The main purpose is to ensure highly reliable quality applicable to structures and the possibility of practical application. The main target of the study is to develop materials that are environmentally friendly and capable of improving performance.

METHODS : The application of double-reinforcement fiber improves the performance of the road pavement. 1. We use recycled film for application of sheet-typed reinforcement. 2. We use preprocessing fibers to reinforce the properties of composite pavement materials.

RESULTS : The developed products may produce materials that fit the purpose of achieving stability and environmental friendliness. Sheet-typed reinforcements use more than 50% recycled resin. The most important type of damage to the asphalt layer is deflection (plastic deformation). These products have a very high deflection resistance of not less than 6,000 cycles/mm. In addition, all performance is excellent. Thus, it will be easier to access the field in the future.

CONCLUSIONS : Fiber-reinforced asphalt pavement showed excellent performance. Sheet-typed reinforcements containing 50% recycling resin produced good performance in terms of functionality as well as environmental friendliness. Thus, enhancing the field applicability will enhance the usability of the reinforcements.

Keywords

Reinforcement, Asphalt mixture, Fiber, Asphalt Pavement, Performance Improvement

Corresponding Author : Kim, Sung Bo, Professor
Department of Civil Engineering, Chungbuk National University,
Chungdae-ro 1, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk, 28644, Korea
Tel : +82.43.261.3241 Fax : +82.43.275.2377
E-mail : sbkim@chungbuk.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Oct. 11, 2017 Revised Oct. 12, 2017 Accepted Nov. 22, 2017

1. 서론

1.1. 연구 배경

우리나라 전체 산업의 근간을 이루는 SOC 산업의 양적 팽창으로 인해 관련 건설 재료의 사용이 급격하게 증가하게 되었고 선진사회로 진입하게 되었으나, 초기에

개통된 구 도로에 있어서는 공용기간이 증가하면서, 보수비용의 상승과 함께 교통 통제에 따른 사회적 비용의 증가가 빈번하게 발생하고 있다.

이는 포장 재료적인 측면에서 공용 초기에 발생하는 것으로 알려진 소성변형의 영향이 크다고 할 수 있는데,

이로 인한 막대한 투자손실 및 잦은 보수, 수막현상으로 인한 사고발생, 조향성, 주행성, 승차감 저하 등 다양한 문제점을 내포하고 있다. 또한, 장기간 사용으로 인한 통과차량(차량 대수 및 중차량)의 증가, 결빙을 없애기 위한 염화물의 침투 등 복합적인 요인으로 소성변형 등 사용성 저하가 발생하며, 도로에 대한 전체적인 신뢰도가 낮아지는 문제가 발생하고 있다. 근래 들어 포장재료의 질적 향상은 꾸준히 이루어지고 있지만 보수비용은 지속적으로 증가 추세에 있다(한국도로학회, 2015).

그러므로 여러 가지 공용상의 사용성 저하 문제 해결과 함께 경제적으로 비용을 절감할 수 있는 진일보한 도로 시공방법이 필요하며, 세계적으로 화두가 되고 있는 재활용 자원을 통한 환경 친화적인 부분을 만족시킬 수 있는 재료 개발이 필요하다 할 수 있다.

국내에서 사용하는 대부분의 보강재는 해외 선진국에서 생산한 제품을 국내에 도입한 것으로, 그리드 및 필름 이외에 형태를 잡아주기 위한 아스팔트 함침 및 함침유제에 의한 끈적임 방지를 위한 상부 규사층 등 복잡한 구성 재료의 사용을 기반으로 하고 있다. 또한, 상부 표층에 있어서 일부 도로에 아스팔트 보강 섬유를 혼입한 아스팔트 포장을 적용하고 있지만, 뭉침 현상 등 분산성이 원활하지 못해 섬유가 가지고 있는 성능 발현을 수행하지 못하는 경우가 다수 발생하고 있다(엄병식 등, 2016).

즉, 상부 포장층의 소성변형 및 균열을 저감하기 위한 보강재 사용이 이루어지고 있지만, 기능성을 향상시킬 뿐만 아니라 폐자원을 활용(폐비닐 등 재활용 제품 적용)한 제품은 아직까지 개발되지 않고 있다. 구성재료의 사용을 간소화하면서 재활용 자원을 활용한 쉬트형 보강제품은 세계적으로 전무한 기술이 될 것이며, 포장 상부층 이중보강을 통한 기술 개발로 관련 분야의 선진 기술을 이룩할 수 있는 밑거름이 될 것으로 판단된다.

외국의 기술선진국은 이미 쉬트형 보강재를 도로 포장에 널리 사용하고 있고, 성능 개선 효과 또한 우수하여 지속적으로 생산 증진 및 연구·개발 진행 중에 있다(인식연 등, 2004).

아스팔트 보강재의 경우, 주로 섬유의 인장강도와 신율, 섬유 코팅층에 중점을 두어 개발되고 있으나, 친환경성을 강조하여 재활용 필름에 요소기술을 적용한 제품을 개발한다면 세계시장 진입이 상대적으로 수월해질 것으로 판단된다.

Fig. 1은 개발 제품의 모식도를 나타낸 것이다. 도로 포장층에 있어서 재활용 필름을 적용한 복합섬유 보강

쉬트층 및 분산형 섬유 보강 아스콘층으로 친환경성 및 성능 향상을 목적으로 하고 있다.

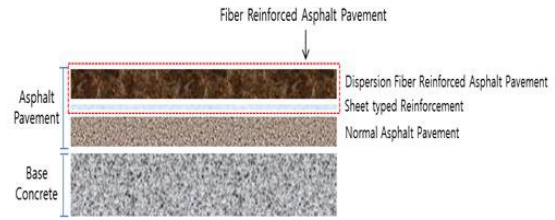


Fig. 1 Enhancement of Road Performance by Double Layer Duplex

1.2. 연구 내용

도로 포장층 보강을 위한 방안으로(특히, 아스팔트 포장도로) 여러 가지 보강재 및 첨가재(개질제) 등을 활용하여 질적인 부분을 상승시키고 있으나, 친환경성과 함께 성능을 향상시키는 방안은 아직까지 미미한 수준이다. 이로써, 좀 더 진취적이고, 환경 친화적인 재료 개발을 통해서 국내의 기술을 한층 상승시키고자 한다.

포장층 구조는 상부 표층부에 위치하는 고분산성 섬유를 함유한 아스팔트 혼합물층과 하부에 위치하는 재활용 필름을 포함하는 보강 쉬트층의 이중구조로 내구성을 강화시키고자 하는 내용이다.

먼저, Fig. 2와 같이 쉬트형 보강재에 있어서 기존의 PP, PE 등의 신재 수지를 사용한 필름을 개선하여 폐비닐 등 재활용 필름의 재생수지 함량을 50% 이상 첨가한 환경 친화적인 제품 개발을 진행하였다.

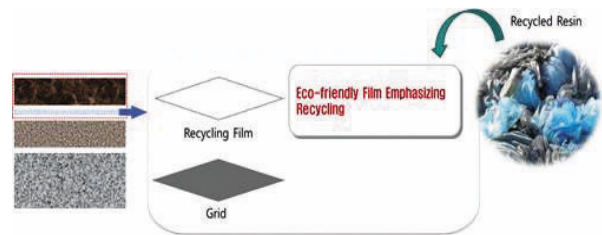


Fig. 2 Sheet Type Reinforcements using Recycled Film

재활용 필름을 사용하여 근래 들어 환경적인 문제로 크게 대두되고 있는 폐비닐의 처리를 종용함으로써 환경 문제 해결 및 성능 개선을 추구하고자 한다.

또한, Fig. 3과 같이 쉬트형 보강재 상부에 위치하는 표층에 부가적으로 분산성을 향상시킨 기능성 섬유를 활용, 아스팔트 혼합물의 균열 및 소성변형 저항성을 증진시키는 이중 보강 장치를 구축하고자 한다.

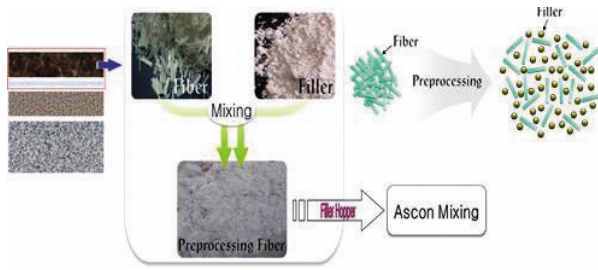


Fig. 3 Enhancement Procedure of Dispersion for Fiber Reinforced Asphalt Mixture

이로써, 도로 포장층의 성능을 향상시키는 동시에 재활용 재료의 사용으로 환경 친화적인 보강재를 개발하고자 하였다.

2. 친환경 아스팔트 보강재 시제품 개발

2.1. 친환경 필름 적용 쉬트형 보강재 개발

2.1.1. 친환경 필름 개발

재활용 소재인 폐비닐을 선정하는데 있어서 공업용 투명 필름(Wrap Film, 지퍼백 등)을 활용하여 주위에 확보가 용이한 생활 수지를 사용하였다. Fig. 4와 같이 재활용 소재의 Scrap을 수거하여 다시 압출하는 과정을 거쳤으며, 색상이 투명하고 수지 조성이 균일하면서 일정량 이상이 발생하는 수지를 선택하였다.



(a) Recycled Materials Scrap (b) Recycled PE Resin

Fig. 4 Resin Recycling

보강재 필름을 생산하기 위한 컴파운드 1차 가공은 Table 1에서 보는 것과 같이, 보강재의 통기성을 발현하기 위해 무기물인 CaCO₃를 함량 87.5%인 M/B(Master Batch) 상태로 사용하였다. 그리고, 신재 사용없이 재생 PE수지를 100% 사용하여 필름으로서의 성능을 확보할 수 있는지 분석하였다.

Table 1. Compound Mixing Table for Recycling Film (1 stage)

Material	Percentage (%)	Weight (kg)
Recycled PE	28.9 %	86.7 kg
CaCO ₃ M/B(87.5%)	59.4 %	178.3 kg
CaO	2.0 %	6.0 kg
A/O 1010	0.2 %	0.6 kg
A/O 168	0.3 %	0.9 kg
LICA12	0.2 %	0.6 kg
TiO ₂ (Rutile)	0.0 %	0.0 kg
Elite5220G(3.5/0.915)	7.2 %	21.6 kg
IR-302(Mg-st)	0.3 %	0.9 kg
etc.	1.5 %	4.5 kg
1Batch	100.0 %	300.0 kg

1차 가공 결과, 컴파운드의 연신율이 상당히 낮고, 압출 시 잦은 끊어짐이 발생해 필름을 구성하는데 어려움을 나타냈다. 즉, 필름으로 가공이 어려운 상태가 되어 보강재용 필름을 제작하기 어려웠다.

컴파운드 2차 가공은 1차 가공 시의 재활용 수지 100% 사용으로 연신율이 낮아져 필름으로서 활용을 하지 못하는 상태에 있었기 때문에 재생수지:신재수지를 3:7의 비율로 배합하였다. Table 2는 2차 배합표를 나타낸 것이다.

Table 2. Compound Mixing Table for Recycling Film (2 stage)

Material	Percentage (%)	Weight (kg)
Recycled PE	11.9 %	35.8 kg
Raw PE	27.9 %	83.6 kg
CaCO ₃ Powder	50.0 %	150.0 kg
CaO	2.0 %	6.0 kg
A/O 1010	0.2 %	0.6 kg
A/O 168	0.3 %	0.9 kg
LICA12	0.2 %	0.6 kg
TiO ₂ (Rutile)	0.0 %	0.0 kg
Elite5220G (3.5/0.915)	7.2 %	21.6 kg
IR-302 (Mg-st)	0.3 %	0.9 kg
etc.	0.0 %	0.0 kg
1Batch	100.0 %	300.0 kg

그리고, 무기필러인 CaCO₃의 함유율을 50%로 책정하였다. 제조설비에 있어서도 필름을 생산하기 위한 공급장치인 Main Feeder로 모든 원료를 투입하다 보니 막힘 현상이 나타나 이를 이원화하여 Fig. 5와 같이 부공급장치인 Side Feeder에서 CaCO₃를 공급하고, 나머지 원료는 Main Feeder에서 공급하는 방식으로 제조 공정을 진행하였다.

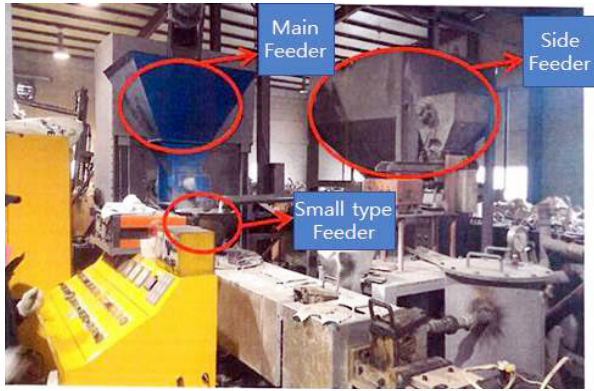


Fig. 5 Supply and Extrusion Facilities of Raw Materials

그 결과, 연신율이 1차 가공 시보다 크게 향상되었으나, 보강재용 필름을 제조하기 위한 상태까지는 도달하지 못했고, 필름 표면에 있어서도 손상이 부분적으로 발생하였다.

필름용 컴파운드 3차 가공에 있어서는 연신율 향상 및 표면손상을 방지하기 위해서, Table 3과 같이 첨가 원료의 배합비를 조정하고, 재생수지의 함유율을 높여 재활용성을 강화하였다(재생수지:신재수지=5:5).

Table 3. Compound Mixing Table for Recycling Film (3 stage)

Recycled PE	19.9 %	59.7 kg
CaCO ₃ M/B(87.5%)	19.9 %	59.7 kg
CaO	50.0 %	150.0 kg
A/O 1010	2.0 %	6.0 kg
A/O 168	0.2 %	0.6 kg
LICA12	0.3 %	0.9 kg
TiO ₂ (Rutile)	0.2 %	0.6 kg
Elite5220G(3.5/0.915)	0.0 %	0.0 kg
IR-302(Mg-st)	7.2 %	21.6 kg
etc.	0.3 %	0.9 kg
1Batch	100.0 %	300.0 kg

또한, 2차배합 시 무기필러를 한꺼번에 Side Feeder에 투입하여 배합을 진행하였기 때문에, 이동 시 한곳으로 집중되어 흐름이 원활하지 않는 병목현상이 나타났다. 이로 인해, 필름 제조 시 원료의 불균일성이 발생하여 무기 필러를 Main Feeder와 Side Feeder에 6:4로 분리하여 투입하였다.

3차배합 결과, Table 4와 같이 필름을 생산하기 위한 적정 연신율을 확보할 수 있었고, 인장강도 및 충격시험 등 기본 물성에서 만족한 결과를 확보할 수 있었다. 이러한 3차 배합을 이용해 Fig. 6과 같이 보강재용 필름을 생산하였다.

Table 4. Fundamental Property According to 3-stage Mixture

Test item (Unit)	IZOD	Tensile strength	Elongation	Moisture	Ash
	J/M	kgf/cm ²	%	ppm	%
No.1	NB	113.65	82.70	702	55.56
No.2	NB	125.94	115.80	698	55.50
No.3	NB	127.29	121.10	700	55.40
Average	NB	122.29	106.53	700	55.56



Fig. 6 Compound and Film Prototype for Recycled Film

2.1.2. 친환경 필름 적용 쉬트형 보강재 생산

개발된 재활용 필름에 고강도 유리섬유(탄성계수 81GPa) 그리드를 결합하여 도로에 적용 가능한 쉬트형 보강재를 생산하였다. Fig. 7과 같이 섬유 원사를 직조하고, 개발된 필름에 아크릴계 점착제를 사용하여 그리드와 일체화 작업을 진행하였다. 생산된 보강재의 흠집이나 손상 등의 유무를 확인하고, 제조상의 문제점이 나타나지 않는지 확인하였다.

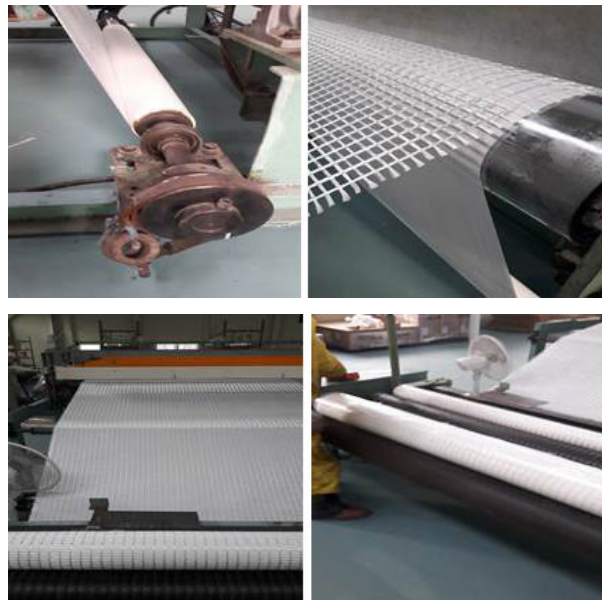


Fig. 7 Sheet-typed Reinforcement Production using Recycled Film

생산 작업은 순조롭게 진행되었으며, 생산 후 특별한 손상이나 흠은 나타나지 않았다.

2.2. 분산성 섬유 개량

친환경 스위트형 보강재 적용 이외에, 상부 아스팔트 혼합물층의 성능을 개선하여 복합적인 성능을 향상시키기 위한 섬유 혼입 과정을 진행하였다.

2.2.1. 실험 변수 선정

아스팔트 혼합물에 섬유를 적용하기 전에 분산성을 개선시키기 위한 섬유 전처리 작업을 진행하기로 하고, 먼저 Table 5와 같이 토목섬유 및 충전재에 대한 실험 변수를 선정하였다.

Table 5. Experimental Variable by Materials

Classification		Contents
Fiber	Type	PVA, PP, Cellulose, Nylon, etc.
	Spec.	6mm short fiber
Filler	Type	SiO ₂ , Slag powder, etc.
	Size	-2mm, -1mm, 25 μ m

또한, 배합방법에 따른 개선 사항을 분석하기 위해 Table 6과 같이 섬유/충진재 배합비 및 교반 시간 등을 실험변수로 선정하였다.

Table 6. Experimental Variable According to Mixing Ratio and Mixing Time

Classification	Contents
Fiber/Filler mixing ratio	1:3, 1:5, 1:10, 1:100(weight ratio)
Mixing time	1min., 2min., 3min., 15min., 30min., 50min.

2.2.2. 섬유 분산성 실험 결과(입경별)

먼저, 2mm 이하 주문진 규사를 충전재로 사용하여 각각의 섬유를 Fig. 8과 같이 교반하였고 이에 대한 상태를 분석하였다. 실험 결과, 충전재가 섬유 사이에 충전되지 않아 1차 분산이 이루어지지 않았고, Fig. 9와

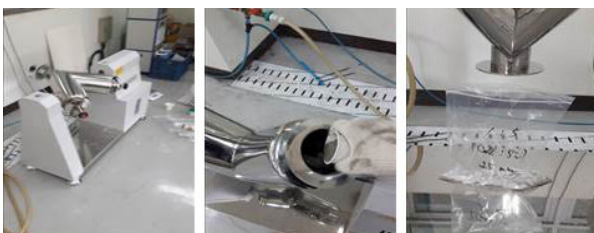


Fig. 8 Fiber Mixture

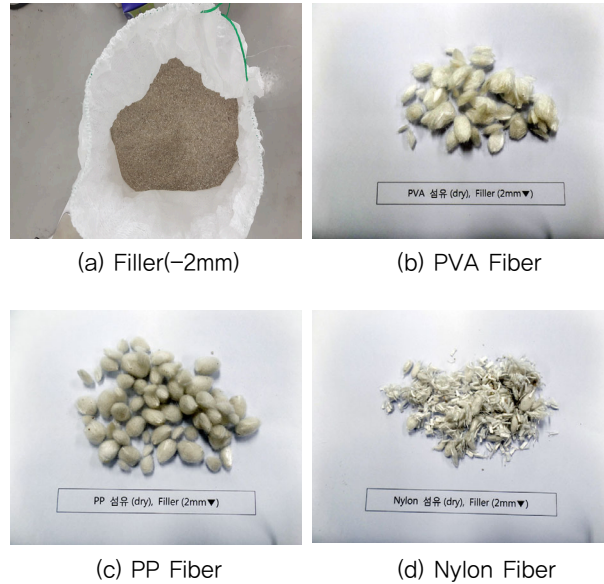


Fig. 9 Dispersion Results Using -2mm Filler

같이 섬유끼리 뭉침 현상이 발생했다. 원인은 충전재의 입자 크기가 상대적으로 크기 때문에 섬유 사이 공극에 충전되지 않았기 때문으로 분석되었다.

충진재 입경 1mm 이하에서는 PVA, PP 등 교반이 잘 이루어지는 섬유를 대상으로 실험을 진행하였으며, 1mm 이하 주문진 규사를 사용하여 사전 배합을 실시하였다. 2mm 이하 입경에서는 과입경에 의해서 공극 사이의 충전효과가 나타나지 않았으나, 1mm 이하 입경에서는 Fig. 10과 같이 약간의 충전 효과가 나타났다. 그러나 뭉친 섬유를 분리시켜 분산효과를 나타내기에는 부족한 상태를 지속하였다.

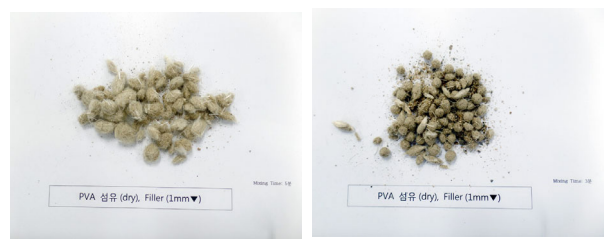


Fig. 10 Dispersion Results Using -1mm Filler

충진재 입경 25 μ m 내외 미분말을 사용한 실험에서는 섬유 공극 충전효과가 우수하게 나타났다. 충전효과로 인해 섬유 다발이 날개로 분리되어 분산성이 확보된 형태를 가지고 있었다. 가장 적절한 소재는 PP 및 PVA로 나타났고, 충전재와 혼입되면서 골고루 공극이 충전되면서 단섬유 결을 따라 선분리된 형태를 확보할 수 있었다. 입경이 25 μ m 내외의 충전재를 사용하여 섬유의 사전 혼입 시 Fig. 11과 같이 분산성을 갖출 수 있는 것으로 나타났다.

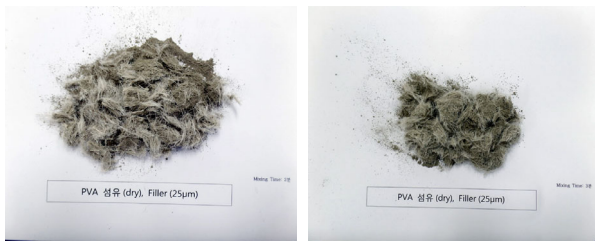


Fig. 11 Dispersion Results Using 25µm Filler

2.2.3. 섬유 분산성 실험 결과(배합비 및 시간별)

적정 소재를 선택하고, 섬유와 충전재의 중량별 배합비 선정과 적정 시간을 선정하는 실험을 진행하였다.

섬유/충진재 배합비는 앞서 언급한 것처럼, 1:3, 1:5, 1:10, 1:100으로 변수를 선정하여 실험하였고, 교반시간은 1분, 2분, 3분, 15분, 30분, 50분 등으로 변수를 선정하여 실험을 진행하였다. 가장 적합한 섬유/충진재 배합비는 1:10으로 나타났고, 교반시간은 2~3분 정도가 가장 적합하였다. 교반시간이 그 이상이 되면, 섬유끼리 뭉쳐지는 현상이 나타나 2~3분의 단시간 동안 배합을 진행하는 것이 가장 합리적이었다.

2.2.4. 섬유 분산성 실험 결과(아스콘 섬유 혼입비율)

아스팔트 혼합물에 적당한 섬유 혼입율을 찾기 위해서 기본적인 역학적 특성을 판단할 수 있는 간접인장장도를 기준으로 시험을 실시하였다. 연성재료인 아스콘

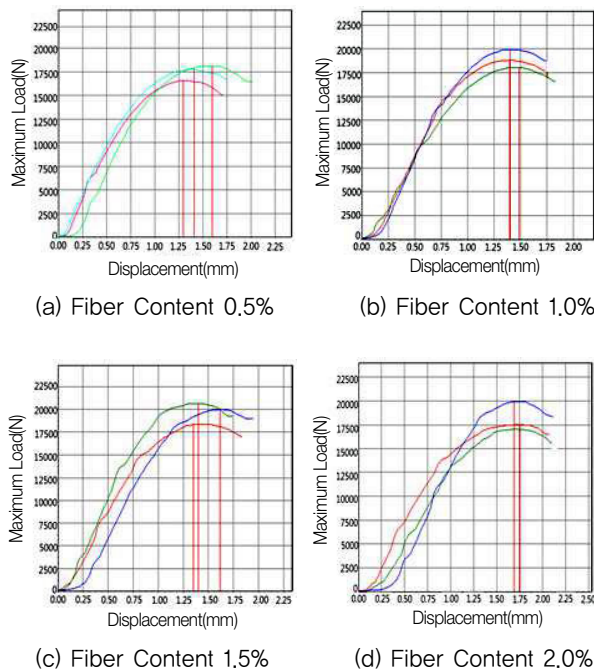


Fig. 12 Indirect Tensile Strength According to Fiber Content

의 직접 인장 시험이 까다롭고 신뢰성 있는 데이터가 도출되지 않는 경우가 많아 원주형 시험편의 측면에 압축하중을 가해 하중축에 대한 일정한 인장응력이 발생하는 것으로 역학특성을 판단하게 된다.

Fig. 12에서와 같이, 혼입율별 3번의 실험을 통해 결정된 데이터를 수집하였고, 이를 통한 적정 혼입율을 분석하였다.

Table 7. Indirect Tensile Strength by Fiber Content

Classification	Diameter (mm)	Maximum load(N)	Displacement (mm)	Indirect tensile strength (N/mm ²)
Fiber content 0.5%	1	101.6	16,600	1.30
	2	101.6	17,785	1.41
	3	101.6	18,140	1.60
Average				1.78
Fiber content 1.0%	1	101.6	18,785	1.40
	2	101.6	18,045	1.49
	3	101.6	19,950	1.40
Average				1.92
Fiber content 1.5%	1	101.6	18,365	1.35
	2	101.6	20,705	1.40
	3	101.6	20,010	1.61
Average				1.98
Fiber content 2.0%	1	101.6	17,525	1.75
	2	101.6	17,040	1.69
	3	101.6	19,955	1.69
Average				1.80

Table 7에서 보는 것과 같이, 혼입율 1.0~1.5%에서 역학적인 특성이 가장 잘 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 1.5%를 넘어서면 아스팔트 혼합물을 배합하는 작업성이 현저하게 떨어져 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 역학 특성 평가 결과와 작업성 측면에서 아스팔트 혼합물 중량 대비 1.0%의 섬유 배합이 가장 적합한 상태를 확보할 수 있다고 판단된다. 작업성에 영향을 끼치지 않는 한도 내에서 성능을 최대한 발휘할 수 있는 혼입율을 확보하고자 한다.

3. Mock Up Test

3.1. Mock Up 제작 준비

복합섬유 보강재 현장 모사시험을 위해 한국건설생활환경시험연구원 서산 옥외폭로시험장에서 Fig. 13과 같

은 형태의 시험체를 제작하여 현장 적용성을 분석하였다. 시험에 적용된 계열은 다음과 같은 4가지 형태로 구성되었고, 이에 대한 시공이 이루어졌다.

- 시편1: 친환경 슈트식 보강재
- 시편2: 친환경 슈트식 보강재+분산성 섬유(표면 관찰용)
- 시편3: 친환경 슈트식 보강재+분산성 섬유(코어 채취용)
- 시편4: 보강재 無적용(일반 계열)

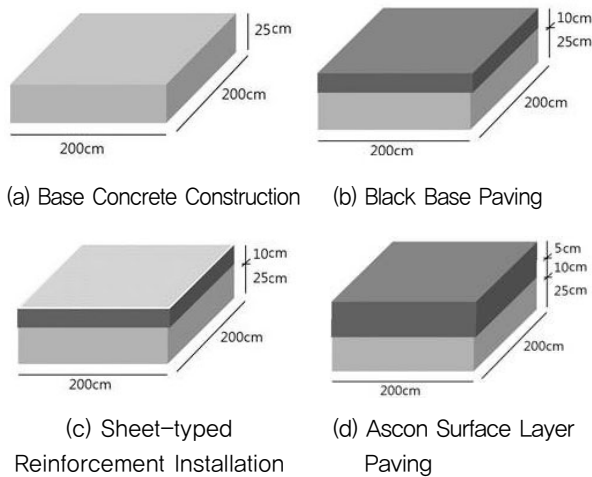


Fig. 13 Mock Up Specimen Size

3.2. Mock Up 시험체 제작

Mock Up 시험체는 먼저 기초 콘크리트를 타설하고, 콘크리트의 적당한 양생을 위해 약 3달간의 거치기간을 가진 후, 상부에 아스콘 포장을 진행하였다. 아스콘층 포장에 있어서 일반 기층 아스콘을 먼저 포설하고, 슈트형 보강재를 설치한 후, 섬유 혼입 아스콘(표층)을 포설하는 절차로 시험을 진행하였다. Fig. 14는 Mock Up 시험체의 시공과정을 나타낸 것이다.

시공과정에서 특별한 공정상의 문제나 특이사항은 나타나지 않았다. 슈트형 보강재와 섬유 혼입 아스콘 포설 시 양호한 과정을 거쳐 시공이 이루어졌다. 더불어, 다짐 시 상부 섬유 혼입 아스콘층에서는 일반 아스콘 포설층에 비해 주변 포장부가 밀리지 않고, 우수하게 다짐이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

내부 상태와 접착강도 등의 관련 성능을 확인하기 위해서 Mock Up 공간에 코어채취를 진행하였다. 보강재를 혼입한 구간의 상태가 더 견고한 형태를 취하고 있었고, 밀실한 내부 상태를 확인할 수 있었다.



Fig. 14 Mock Up Construction Procedure

4. 기본 성능 시험 결과

4.1. 동적안정도

아스팔트 혼합물은 연성재료로서 누르면 쉽게 들어가는 성질을 가지고 있어, 차량의 통행으로 인해 서서히 표면이 침하되는 형태가 나타나게 된다. 특히, 차륜이 지나가는 구간에서 처짐이 크게 발생하게 되는데 이러한 소성변형에 대한 저항성이 포장을 수행하는데 중요한 성능 요소가 된다. 이러한 소성변형 저항성을 시험하는 것이 동적안정도 시험이며, 이는 규격화된 몰드(30×30×10cm)에 아스팔트 혼합물을 제작하고, 제작된 혼합물에 일정한 차륜하중을 반복적으로 가해 1mm 처짐이 발생하는 동안 몇 회의 반복하중이 가해졌는지를 측정하여 소성변형에 대한 저항성을 판단하는 것이다.

Fig. 15와 같이 섬유 보강을 한 구간의 동적안정도가 6,000회/mm 이상으로 일반 아스콘에서 약 3,000회/mm의 안정도를 나타내는 것을 감안한다면 상당히 우수한 결과를 나타냈다고 할 수 있다.

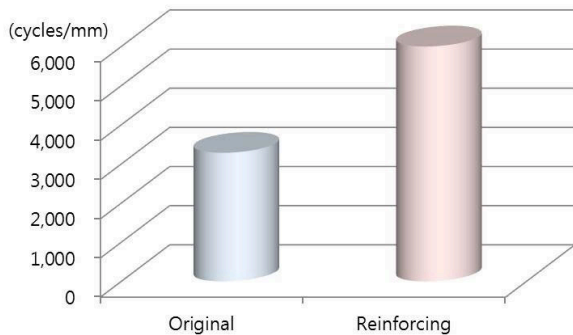


Fig. 15 Dynamic Stability of Fiber Reinforced Asphalt Mixture

4.2. 필름 융점

도로 포장 시 필름이 아스팔트 포설온도에 의해 완전히 녹아 없어져야 하기 때문에 재활용 필름에 대한 융점 시험을 진행하였다. 필름 융점은 KS M ISO 11357-3의 시험방법에 준하여 실시하였고, 온도 범위 40~300℃, 승온 속도 20℃/분으로 온도를 상승시키면서 필름이 녹는 온도(℃)를 찾아내는 과정이다.

시험 결과, 일반 아스팔트 포장의 포설온도인 140~150℃보다 훨씬 낮은 113.9℃에서 융점이 형성되어 친환경 요소인 재활용 제품을 사용하면서도 기능성을 갖춘 형태를 나타내었다.

4.3. 재활용 필름 통기성

통기성(투습도)은 ASTM E 96(Water법)의 시험방법에 준하여 실시하였다. 이는 규정된 온도(38±1)℃와 상대습도(50±2)% 하에서 1일동안 1m²를 통과하는 수증기의 무게를 나타내는 것으로, 투습도의 값이 높을수록 투습 기능(통기성)이 뛰어남을 의미한다.

쉬트형 보강재에 대한 통기성 기준이 없는 관계로 자체 기준인 1,100g/m²/day 이상을 목표로 설정하였는데, 이를 훨씬 웃도는 2,517g/m²/day를 나타내어 보강재 설치 후 하부의 텍코팅제 양생에 우수한 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

4.4. 인장강도 및 신율

경사 및 위사로 직조된 쉬트형 보강재의 소성변형 저

항성 등 성능을 발현하기 위해서는 인장강도가 개선되어야 하고, 신율이 일정수준 이하로 낮아져야 가능하다. 실험 결과, Table 8과 같이 인장강도는 경사 78.58kN/m, 위사 80.22kN/m로 우수하게 나타났으며, 신율 또한 경사 1.7%, 위사 1.5%로써 기준 이하의 값을 나타내어 보강재로서의 효율성은 크다고 할 수 있다.

Table 8. Tensile Strength and Tensile Elongation of Sheet-typed Reinforcement

Classification		Result
Tensile strength	Warp(Wp)	78.58kN/m
	Weft(Wt)	80.22kN/m
Tensile elongation	Warp(Wp)	1.7%
	Weft(Wt)	1.5%

4.5. 현장 포장층 계면 부착성

포장층의 계면 부착성은 외부의 충격을 하부에 전달하여 고통을 분담하게 되는 중요한 메커니즘적 영향을 끼치게 된다. Fig. 16과 같이 Mock Up 시험을 실시하여 양생 후 코어를 채취하여 확인한 결과 계면에서의 부착상태가 우수하게 나타나 표층에서의 차량 등 하중을 하부에 적절하게 분담할 수 있는 준비된 형태를 가지고 있었다. 현장에서의 내부 상태를 가늠할 수 있는 중요한 결과로 상용화에 긍정적인 영향을 끼치게 되었다고 할 수 있다.



Fig. 16 Internal State of Mock Up Pavement Layer

4.6. 섬유 혼입상태 관찰

섬유 혼입에 의한 아스팔트 혼합물 상태를 확인하기 위한 SEM 관찰을 실시하였다. Fig. 17과 같이 사전 배합을 하지 않은 섬유를 혼입한 경우에는 특수한 부분에 섬유가 뭉쳐져 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 18과 같이 사전 배합을 통한 분산성 섬유는 골고루 혼입되어 있는 형태로 혼합물의 성능을 향상시킬 수 있는 기저를 확보하였다고 할 수 있다.

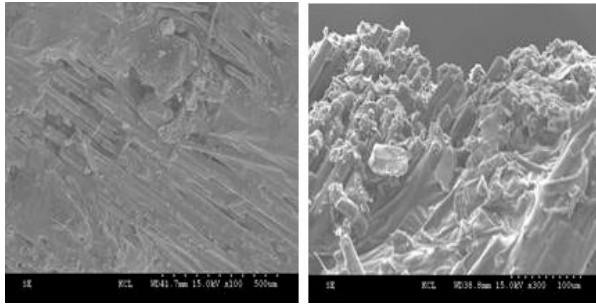


Fig. 17 State of Asphalt Mixture Using Raw Fiber

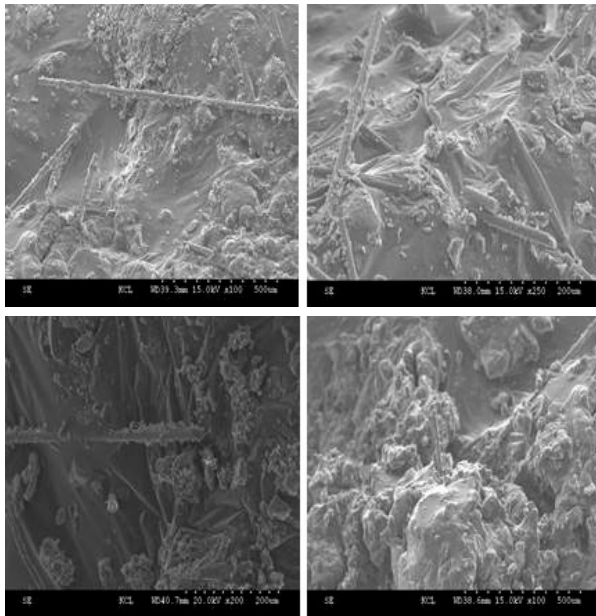


Fig. 18 State of Asphalt Mixture Using Dispersion Fiber

4.7. 전단접착강도

아스팔트 포장층에서 표층이 밀립 등에 의해서 횡으로 하중이 작용해 손상이 발생하는 경우가 다수 발생한다. 이러한 손상을 방지하기 위해서 아스팔트 혼합물의 전단접착강도를 Fig. 20(a)와 같이 측정하게 되는데, 이는 포장층 상·하면의 전단작용에 의한 층분리 저항성을 판단하기 위함이다. 본 성능이 양호하게 나타나면 밀

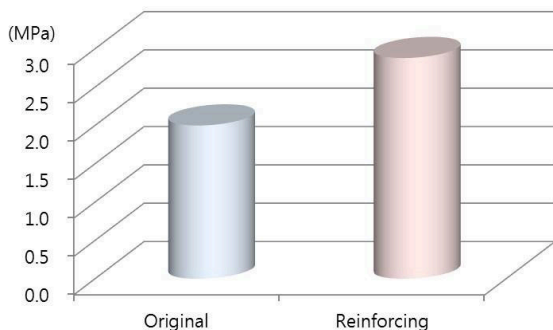


Fig. 19 Longitudinal Shear Strength of Fiber Reinforced Asphalt Mixture



(a) Longitudinal Shear Strength (b) Tensile Strength

Fig. 20 Longitudinal Shear Strength & Tensile Strength of Specimens

립이나 표층 굴곡 등으로 인한 포장층의 2차 손상을 방지할 수 있다. 시험 결과, Fig. 19와 같이 전단강도가 2.88MPa로 측정되어 일반 보강재 측정 시 2.00MPa를 초과하기 힘든 점을 감안하면 전단저항성에 아주 우수한 특성이 있다고 할 수 있다.

4.8. 인장접착강도

개발 제품을 적용한 아스팔트 포장층의 부착성을 분석하기 위하여, Fig. 20(b)와 같이 인장 접착강도를 측정하였다. 일반적으로 부착강도를 측정할 때, 포장층과 수직인 면으로 하중을 가하여 부착성을 측정하게 되는데 이러한 포장계면에서의 부착능을 측정하기 위한 방법이다. 포장층 상·하부 사이에 스위트형 보강재를 첨가하고, 상부에 분산성 섬유를 혼입한 구간의 코어를 채취하여 인장접착강도를 측정한 결과, Fig. 21과 같이 1.27MPa로 나타나 일반적으로 나타나는 인장강도(일반적으로 1.00MPa 내외)와 비교하여 동등 이상의 결과를 나타냈다.

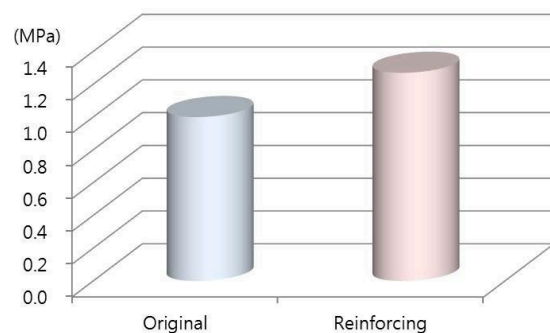


Fig. 21 Tensile Strength of Fiber Reinforced Asphalt Mixture

4.9. 재활용 필름 표면 분석

보강 스위트 필름은 포장층 포설온도(약 140℃) 내에서

자연적으로 녹아 없어지는 소재이지만 그리드를 고정하는 역할을 위해 어느 정도 표면이 고르게 생산이 되어야 하기 때문에 표면에 대한 상태를 광학현미경을 통해 확인하였다.

개발 초기의 재활용 필름 상태는 Fig. 22와 같이 표면의 불균일성이나 이물질이 포함되어 사용상에 문제가 있을 소지가 있었으나, 3차에 의한 개선을 통해 표면의 균일한 재활용 필름 상태(Fig. 23)를 확보할 수 있었다.

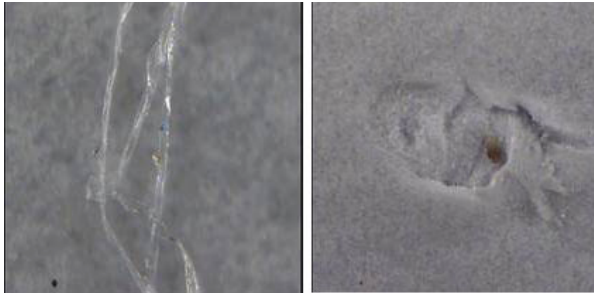


Fig. 22 Surface Condition of First Stage for Development of Recycled Film

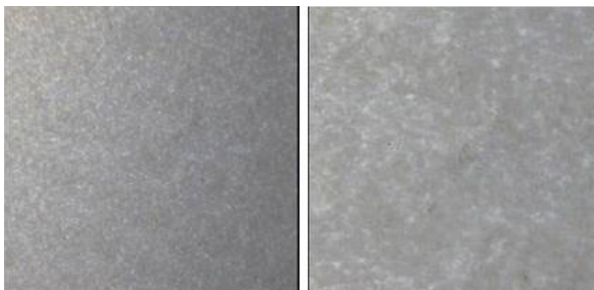


Fig. 23 Surface Condition of Completion Stage for Development of Recycled Film

5. 결론

본 논문에서는 재활용 필름을 사용한 쉬트형 보강재 및 분산형 섬유 혼입재를 적용한 친환경 포장 시스템을 개발하였으며, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 재활용 자원을 함유(재활용 수지 50% 이상 함유)한 필름 생산과 이를 포함하는 쉬트형 보강재 직조에 있어서, 재생수지와 신재수지의 함유 비율을 조정하여 실제 현장적용이 가능한 보강재용 필름을 제작하였다.
2. 재활용 필름을 사용한 쉬트형 보강재의 성능은 재활용 소재를 사용하기 전과 비교하여 제품 향상을 나타

내는 여러 역학적 물성치가 동등 이상의 값을 나타내었다. 통기성 같은 경우에는 기존보다 128% 향상된 성능을 나타내고 있어, 성능에 친환경성을 추구한 제품의 효율성이 우수함을 확인하였다.

3. 동적안정도 시험 결과 6,000회/mm 이상으로 아주 우수한 처짐 저항성을 나타내었다. 일반 포장층에 비해 약 3배 가까운 저항성을 나타내어 본 논문에서 개발된 포장실험의 소성변형 저항성능이 강화된 점이라고 판단된다.
4. 분산성을 가진 섬유 혼입 아스콘의 배합 작업성은 일반 아스콘과 비슷한 수준이었고, 현장에서 나타나는 다짐에 있어 일반 아스콘에 비해 더욱 안정적인 거동을 나타내었다.

감사의 글

본 논문은 한국산업기술진흥원(대전지역사업평가단) 사업인 “소성변형 저항성을 2배 이상 향상시킨 교면 포장용 친환경 복합 섬유보강재(섬유보강시스템) 개발”의 연구지원으로 수행되었으며 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

REFERENCES

- In, S.Y., Kim, H.B., Ahn, S.S., Suh, Y.C. (2004). “Viscoelastic behaviors of geosynthetic-reinforced asphalt pavements.” *Korea Society of Road Engineers*, Vol. 6, No. 2, pp.37-45 (in Korean).
- Korea Society of Road Engineers. (2015). *A study on the introduction of new paradigm for road pavement* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2015). *Guide of production and construction of asphalt mixture* (in Korean).
- Ohm, B.S., Yoo, P.J., Ham, S.M., Suh, Y.C. (2016). “A study on field application of glass fiber reinforced asphalt mixtures.” *Korea Society of Road Engineers*, Vol. 18, No. 3, pp.67-74 (in Korean).
- Park, H.M., Choi, J.Y., Lee, H.J., Hwang, E.U. (2007). “Performance evaluation of the high durability asphalt mixture for bridge deck pavement.” *Journal of Korea Society of Road Engineers*, Vol. 9, No. 2, pp.51-62 (in Korean).
- Peltonen, P. (1991). “Wear and deformation characteristics of fibre reinforced asphalt pavements.” *Construction and Building Materials*. Vol. 5, No. 1, pp.18-22.