Int. J. Highw. Eng. Vol. 20 No. 4 : 27-34 AUGUST 2018
https://doi.org/10.7855/IJHE.2018.20.4.027

유리섬유 보강재를 이용한 재활용 아스팔트 혼합물의 물리적 특성에 관한 연구

A Study on the Physical Properties of Recycled Asphalt Mixtures Using Glass Fiber Reinforcement

박 기 수 Park, Ki Soo | 정회원 · 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 신진연구원 · 교신저자 (E-mail : kisoopark@kict.re.kr)
유 평 준 Yoo, Pyeong Jun | 정회원 · 한국건설기술연구원 건설산업진흥본부 연구위원 (E-mail : pjyoo@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to evaluate the physical properties of recycled asphalt mixtures reinforced with glass fiber.

METHODS : Firstly, mixing design was conducted on recycled asphalt mixture for use of 50% recycled aggregate. Various laboratory tests were performed on four types of recycled asphalt mixtures with different glass fiber content to evaluate the physical properties. The laboratory tests include indirect tensile strength test, dynamic modulus test, Hamburg wheel tracking test and tensile-strength ratio to evaluate cracks, rutting and moisture resistance of mixtures.

RESULTS : The indirect tensile strength of fiber reinforced glass increased about 139.4%. As a result of comparing the master curves obtained by the dynamic modulus test, the elasticity was low in the low temperature region and high in the high temperature region when the glass fiber was reinforced. The glass fiber contents of PEGS 0.3%, Micro PPGF 0.1% and Macro PPGF 0.3% showed the highest moisture resistance and rutting resistance.

CONCLUSIONS : The test results show that use of glass fiber reinforcement can increase the resistance to cracking, rutting, and moisture damage of asphalt mixtures. It is also necessary to validate the long-term performance of recycled asphalt mixtures with glass fiber using full scale pavement testing and field trial construction.

Keywords
Glass Fiber-Reinforced Asphalt, Recycled Asphalt Mixture, Dynamic Modulus Test, Hamburg Wheel Tracking Test

Corresponding Author : Park, Ki Soo, Researcher
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0569 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : kisoopark@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Aug. 01, 2018 Revised Aug. 02, 2018 Accepted Aug. 10, 2018

1. 서론

2016년 우리나라의 도로포장 유지보수비용은 약 7,772 억원으로 이 중, 덧씌우기로 약 3,400 억원이 소요되어 2013년 대비 약 25%(2,716 억원)가 증가한 것으로 나타났다(MOLIT, 2018).

일반국도의 경우, 공용후 10년 이상인 노후구간이 전체 연장의 약 60%인 것을 감안할 때 향후 도로포장 유지보수비용은 계속적으로 증가할 것으로 판단된다.

(Engineering daily, 2017)

기존 도로의 노후화에 따른 포장의 유지보수는 기존 포장층 제거에 따른 폐아스콘의 발생과 이의 처리에 대한 문제를 야기시키며, 이에 따라 정부에서는 순환골재를 재활용 하는 재활용 아스콘의 의무 사용 확대 등의 정책을 적극적으로 촉진하고 있다. 그러나, 국내 재활용 아스팔트 혼합물의 사용률은 2014년 기준으로 10% 내외이며, 50% 이상 사용하고 있는 유럽 및 미국 등의 선진국에 비하여 매우 저조한 실정이다.

최근 들어, 환경부에서는 "순환골재 등 의무사용건설공사의 순환골재·순환골재 재활용제품 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시(2014년)"에서 순환골재를 40% 이상 의무적으로 사용하도록 하였으며, "건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률 시행령(2015년)"에서는 유지보수 공사까지 확대 적용하도록 하고 있다.

일반적인 가열식 재활용 아스팔트는 순환골재를 20%에서 30% 정도 사용하며 폐아스콘의 구재 아스팔트의 성능을 개선시킬 수 있는 첨가제를 첨가하여 생산된다. 재활용 아스팔트 혼합물은 일반 아스팔트 혼합물 품질 수준에서 관리하고 있으나, 재활용 관련 기술의 부족 및 품질관리 부실 등으로 국가기술표준원에서는 재활용 아스팔트 혼합물의 품질 혁신을 강조하고 있으며 소성변형과 피로균열에 강한 재활용 아스팔트 혼합물 기술 개발이 요구되고 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 순환골재 50%를 사용한 재활용 아스팔트 혼합물에 균열 및 소성변형 저항성능이 우수한 유리섬유 보강재를 첨가하여 역학적 성능을 평가하고 새로운 재활용 아스팔트 혼합물 기술로서 타당성을 검토하였다.

2. 유리섬유 보강 아스팔트

2.1. 유리섬유 보강 원리

순환골재를 사용하게 되면 노화된 구 아스팔트로 인하여 피로균열 성능이 약화되며, 약화된 성능을 회복시키기 위하여 일반적으로 구 아스팔트의 점도를 회복하기 위한 재생첨가제를 사용한다. 이러한 재생첨가제의 종류는 오일류, 중온형 개질제, 폴리머 계열 개질제 등 다양하며, 대부분의 재활용 아스팔트 혼합물 기술은 재생첨가제를 이용하고 있다.

본 연구에서는 바인더의 점도 개선 측면에서의 보강이 아닌, 유리섬유 보강재를 이용하여 물리적으로 보강할 수 있는 기술을 사용하였다.

이 기술은 순환골재를 사용하여 내구성을 높이기 위하여 다발성 유리섬유를 아스팔트 혼합물에 첨가를 통해 여러 개의 섬유가 골재 및 바인더와 함께 3차원 형태로 보강하는 것이 특징이다. 즉, 아스팔트 혼합물내 유리섬유는 Fig. 1과 같이 아스팔트 혼합물내 3차원으로 섬유가 분산되며, 골재와 골재 사이에 분산된 섬유는 피로 균열에 대한 저항성을 가지게 된다.

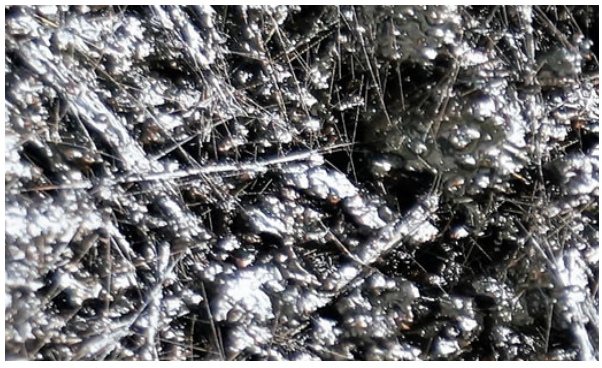

Fig. 1 3D Reinforcement of Glass Fiber-reinforced Asphalt Mixtures (GFRA)

2.2. 섬유 보강재 특징

일반적으로 아스팔트 혼합물에 사용되는 보강용 섬유는 셀룰로스 섬유, 광물성 섬유, 폴리에스터 섬유, 폴리프로필렌 섬유, 아라미드 섬유, 유리 섬유 등이 있으며, 본 연구에서는 균열 저항성 향상에 도움이 되는 유리섬유를 사용하였다. 유리섬유를 특별한 처리 없이 사용하게 되면, 혼합물 제작 시 섬유끼리 뭉치는 현상이 발생되며, 이에 따라 플라스틱으로 코팅 처리된 유리섬유를 사용하였다.

유리섬유를 플라스틱(PP 또는 PE)으로 코팅하게 되면, 골재와 유사한 형태를 가지며, 섬유 운반 및 생산시 섬유의 뭉침 현상이 현저히 감소되는 특징이 있다. 또한, 생산 시에는 아스팔트 플랜트 혼합 온도(160도~170도)에서 플라스틱(PP 또는 PE)이 녹아 유리섬유만 남고, 골재와 골재 사이로 분산되어진다.

첨가되는 유리 섬유는 세 가지 종류로, 길이가 짧은 봉형 유리섬유, 길이가 긴 봉형 유리섬유, 파분형 유리섬유이다.

길이가 짧은 봉형 유리섬유(Micro Polypropylene Glass Fiber, Micro PPGF)는 4~6mm 길이를 가진 다발형 섬유로 폴리프로필렌 수지로 코팅한 섬유이다(Fig. 2). 길이가 짧은 봉형 유리섬유는 초기 미세균열에 대한 저항성을 발현하도록 한 것이 특징이다.

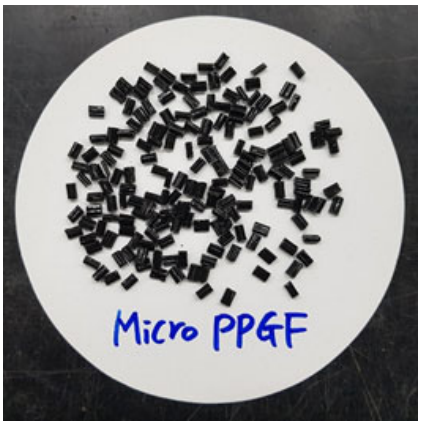

Fig. 2 Micro PPGF

길이가 긴 봉형 유리섬유(Macro Polypropylene Glass Fiber, Macro PPGF)는 10~15mm 길이를 가진 다발형 섬유이며, 폴리프로필렌 수지로 코팅한 섬유이다(Fig. 3).

Fig. 3 Macro PPGF

파분형 유리 섬유(Polyethylene Glass Scrap, PEGS)는 유리섬유 가루를 폴리에틸렌 수지로 코팅하여 골재형태로 가공한 것으로 미세한 가루가 골재간 마찰력을 증진시키도록 첨가되는 섬유이다(Fig. 4).

Fig. 4 PEGS

3. 시험방법 및 혼합물 조성

3.1. 시험방법

본 연구에서는 유리섬유로 보강된 재활용 아스팔트 혼합물의 물리적 특성을 분석하기 위하여 실내시험을 Fig. 5에서 제시하는 절차에 따라 수행하였다.

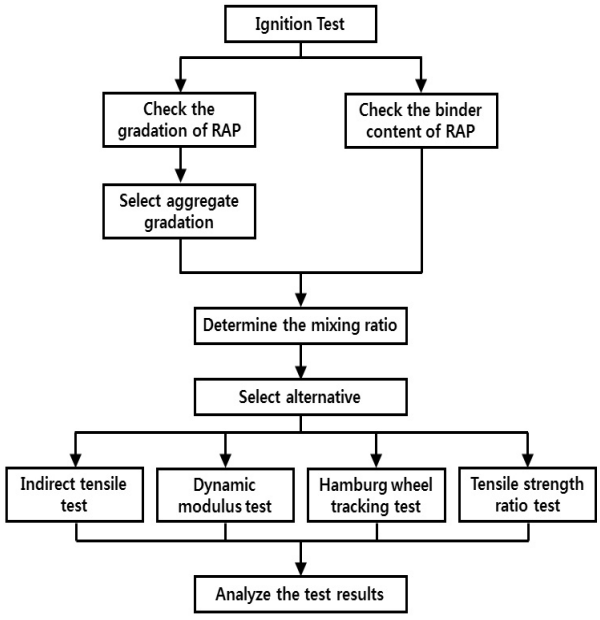

Fig. 5 Test Procedure

3.2. 혼합물 조성

3.2.1. 페아스콘 바인더 함량 및 골재입도 확인

페아스콘의 바인더 함량 및 입도 확인을 위해 Fig. 6과 같은 Asphalt Ignition Oven을 사용하여 KS F 2490 규격에 따라 540±5℃의 온도에서 연소를 실시하여 페아스콘의 바인더 함량을 측정하였다. 연소시험 결과는 Table 1과 같으며, 페아스콘의 바인더 함량은 5.3%로 확인되었다.

Fig. 6 Asphalt Ignition Oven

Table 1. Results of Ignition Test

Weight (g)		Weight of asphalt (g)	Asphalt content (%)
Before (Agg+AP)	After (Agg)		
2,053	1,944	109	5.3

폐아스콘 연소 후 아스팔트 바인더가 포함되지 않은 순환골재의 입도를 체가름 시험을 통해 확인하였다. 체가름 시험은 KS F 2502에 따라 실시하였으며, 체가름 시험에 따른 골재입도는 Table 2와 같다. 체가름 시험 결과 순환골재의 입도는 국내 표층용 아스팔트 혼합물의 입도기준 중 WC-2 범위 내에 있음을 확인하였다.

Table 2. Aggregate Gradation of RAP

Sieve size(mm)	Aggregate gradation	WC-2	
		Upper	Lower
20	100	100.0	100.0
13.2	98.7	100.0	95.0
9.5	88.4	92.0	84.0
4.75	64.2	70.0	55.0
2.36	44.9	50.0	35.0
0.60	24.0	30.0	18.0
0.30	16.5	21.0	10.0
0.15	10.5	16.0	6.0
0.08	6.6	8.0	4.0

3.2.2. 합성입도 선정

본 연구에서 순환골재의 적용비율은 50%로 계획하였으며, 순환골재와 동일한 입도의 신규골재를 추가하여 Fig. 7과 같이 재활용 아스팔트 혼합물의 합성입도를 결정하였다.

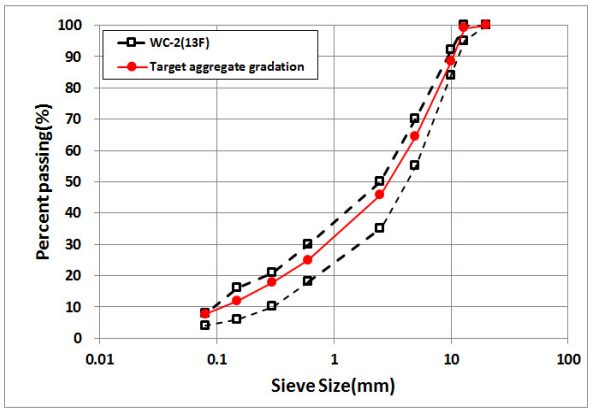

Fig. 7 Aggregate Gradation Curve

3.2.3. 재활용 아스팔트 혼합물 배합비 결정

본 연구에 사용할 재활용 아스팔트 혼합물의 아스팔트 함량은 Eq. (1)에 의해 합성입도의 추정 아스팔트 함량 5.7%로 선정하였다.

$$P_b = 0.035a + 0.045b + Xc + F \tag{1}$$

P_b : 추정 아스팔트 함량(%)

a : 2.5mm에 남은 골재의 백분율(%)

b : 2.5mm에 통과하고 0.08mm에 남은 골재의 백분율(%)

c : 0.08mm에 통과한 골재의 백분율(%)

X : c의 값에 따라 X의 값을 사용

F : 골재 흡수율에 따라 결정, 데이터가 없을 경우 0.7% 사용

Eq. (1) 에 의해 도출된 추정 아스팔트 함량과 폐아스콘의 바인더 함량 5.3%, 순환골재 및 신규골재 비율을 고려하여 Eq. (2)에 의해 계산한 결과 신규 아스팔트 함량은 3.06%로 도출되었다. 본 연구에서는 재생첨가제를 배제하였으므로 아스팔트의 점도를 최대한 낮추기 위하여 침입도 등급 AP-3의 신규 아스팔트를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 재활용 아스팔트의 배합은 Table 3과 같다.

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}} \tag{2}$$

P_{nb} : 가열 재활용 아스팔트 혼합물에 추가하는 신 아스팔트 함량(%)

P_b : 가열 재활용 아스팔트 혼합물의 아스팔트 함량(%)

P_{sb} : 아스팔트 콘크리트 순환골재의 아스팔트 함량(%)

r : 100-전체 골재 중 아스팔트 콘크리트 순환골재의 비율(%)

Table 3. Mix Design of RAP

Aggregate (%)		Asphalt binder (%)		Total(%)
Recycled	New	Aged	New (AP-3)	
47.15	47.15	2.64	3.06	100

3.2.4. 비교대안 및 시험항목 선정

결정된 재활용 아스팔트 혼합물의 배합에 대하여 Table 4와 같이 유리섬유 보강재 첨가량에 따른 4개의 혼합물 배합을 결정하였다. 유리섬유 보강재를 첨가하지 않은 재활용 아스팔트 혼합물을 Control로 선정하였으며, 그에 따른 유리섬유 보강재 첨가 총량 0.7%를 기준으로 3개의 보강재 비율에 따라 혼합물 대안을 선정하였다.

Table 4. Comparative Alternative Settings

No.	Asphalt content (%)	Glass fiber content (%W)			
		PEGS	Micro PPGF	Macro PPGF	Sum
A (Control)	5.7	–	–	–	–
B		0.3	0.3	0.1	0.7
C		0.1	0.3	0.3	0.7
D		0.3	0.1	0.3	0.7

※ PEGS replaces for filler

본 연구에서 각 혼합물의 비교평가를 위해 선정한 시험은 Table 5와 같다. 간접인장강도 시험은 아스팔트 혼합물의 균열 저항성을 평가하는 시험이다. 동탄성 계수 시험은 아스팔트 혼합물의 온도변화에 따른 동탄성을 측정하는 시험이다. 수분저항성(인장강도비)시험은 아스팔트 혼합물의 수분저항성을 평가하는 시험이다. 함부르크 휠 트래킹 시험은 아스팔트 혼합물의 소성변형 및 수분저항성을 평가하는 시험이며, 본 연구에서는 함부르크 휠 트래킹 시험을 통해 소성변형 저항성만을 평가하였다.

Table 5. Test Item Settings

Test type	Mixture type		
Indirect tensile	A(Control)	B	
Dynamic modulus	A(Control)	B	
Tensile strength ratio	A(Control)	C	D
Hamburg wheel tracking	A(Control)	C	D

4. 실내 시험

본 연구에서는 재활용 아스팔트 혼합물에 유리섬유 첨가 배합에 따라 실험용 공시체를 제작하고, 간접인장강도 시험, 동탄성 계수 시험, 수분저항성 시험, 함부르크 휠 트래킹 시험을 수행하였다.

4.1. 간접인장강도 시험

간접인장강도 시험은 아스팔트 혼합물의 균열 저항성을 평가하는 기본적인 시험으로서 원통형 시편에 대하여 50mm/min의 속도로 하중을 재하하여 측정된 최대 하중값에 Eq. (3)을 이용하여 간접인장강도를 도출한다.

$$S_T = \frac{2P}{\pi Dh} \tag{3}$$

S_T : 간접인장강도(MPa)

P : 공시체 파괴 하중(N)

D : 공시체 지름(mm)

h : 공시체 높이(mm)

일반 재활용 아스팔트 혼합물과 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험을 위하여 양면 75회의 마샬다짐을 통하여 목표 공극률 4%의 시편을 제작하였으며, KS F 2382 (2013) 표준에 의한 시험방법으로 간접인장강도 시험을 수행하였다. 간접인장강도 시험 결과는 Table 6과 같이 나타났으며, 유리섬유로 보강한 재활용 아스팔트 혼합물이 무보강 혼합물 대비 139.4%의 간접인장강도 증진을 보였다.

Table 6. Results of Indirect Tensile Test (25℃)

Value	Indirect tensile strength (MPa)		Increase rate (%)
	A(Control)	B	
Avg.	1.37	1.91	139.4
Max.	1.38	1.93	
Min.	1.35	1.90	
Std.	0.02	0.02	

4.2. 동탄성계수 시험

일반 재활용 아스팔트 혼합물과 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물의 동탄성 계수 시험을 위해 선회다짐을 통하여 목표 공극률 4%, 직경 150mm, 높이 170mm의 시편제작을 하였다. 제작한 시편에 대하여 코어링 및 커팅을 통해 직경 100mm, 높이 150mm로 가공하였으며, Fig. 8과 같이 거치 및 120도 간격으로 3개의 LVDT 부착 후 동탄성 계수 시험을 실시하였다. 시험에 사용된 장비는 IPC Global사의 EN Standard Tester를 사용하였으며, UST006 2.22b SPT Dynamic Modulus Test 프로그램을 통해 실험을 진행하였다. 동탄성 계수 시험의 시험온도는 -5℃, 5℃, 21℃, 40℃, 54℃의 5개 온도에서 실시하였으며, 시험주기는 25Hz, 10Hz, 5Hz, 1Hz, 0.5Hz, 0.1Hz, 0.01Hz에서 실시하였다. 동탄성 계수 시험 결과는 Table 7, 8에 자세히 정리하였다.

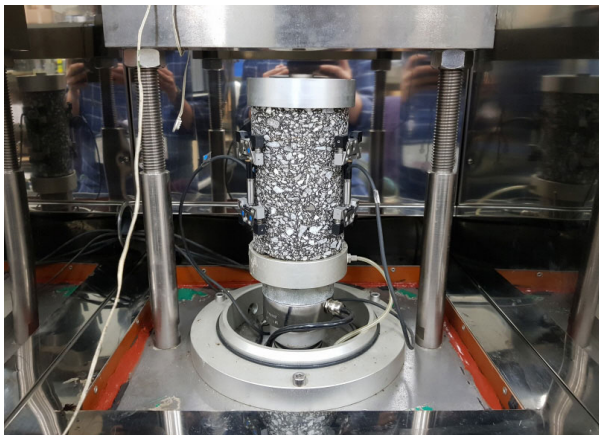

Fig. 8 Specimen Mounting and LVDT Attachment

Table 7. Results of Dynamic Modulus Test for Mixture A

Type	Temp (℃)	Freq (Hz)	E* (MPa)	Phase angle	Average Micro-strain
A	-5	25	20,189	5.3	81
		10	19,186	5.7	88
		5	18,355	6.1	94
		1	16,380	7.2	97
		0.5	15,498	7.8	98
		0.1	13,411	9.4	101
		0.01	10,419	12.4	101
	5	25	15,955	8.4	94
		10	14,647	9.2	97
		5	13,630	9.9	97
		1	11,339	12.0	98
		0.5	10,337	13.1	99
		0.1	8,134	16.0	101
		0.01	5,368	20.7	99
	21	25	8,437	17.2	100
		10	7,115	19.0	96
		5	6,202	20.4	96
		1	4,358	24.0	97
		0.5	3,723	25.1	98
		0.1	2,435	28.2	98
		0.01	1,231	30.3	100
	40	25	2,828	31.2	99
		10	2,178	31.7	87
		5	1,757	31.9	90
		1	995	32.6	95
		0.5	780	31.9	97
		0.1	429	31.0	101
		0.01	192	28.8	111
	54	25	1,125	35.9	83
		10	809	34.0	83
		5	605	33.2	90
		1	320	31.1	97
		0.5	248	29.7	98
		0.1	148	27.2	101
		0.01	82	23.7	107

Table 8. Results of Dynamic Modulus Test for Mixture B

Type	Temp (℃)	Freq (Hz)	E* (MPa)	Phase angle	Average Micro-strain
B	-5	25	18,221	5.9	81
		10	16,875	6.4	94
		5	16,641	6.1	99
		1	15,900	6.3	98
		0.5	15,369	6.7	99
		0.1	13,693	8.0	100
		0.01	11,077	10.3	101
	5	25	15,559	7.5	93
		10	14,424	8.2	97
		5	13,559	8.7	97
		1	11,603	10.3	98
		0.5	10,745	11.1	99
		0.1	8,806	13.3	101
		0.01	6,277	16.9	100
	21	25	9,073	14.6	99
		10	7,862	16.0	96
		5	7,023	17.1	96
		1	5,228	20.0	97
		0.5	4,580	21.0	98
		0.1	3,229	23.8	98
		0.01	1,848	26.4	98
	40	25	3,675	26.0	96
		10	2,947	27.0	90
		5	2,477	27.5	91
		1	1,563	29.1	95
		0.5	1,298	28.9	96
		0.1	797	29.0	99
		0.01	406	28.0	104
	54	25	1,673	31.7	50
		10	1,293	31.5	84
		5	1,037	30.8	89
		1	602	30.2	96
		0.5	489	29.1	97
		0.1	301	28.0	100
		0.01	168	25.7	103

다양한 온도에서 수집된 데이터는 하중시간에 대해 상대적으로 이동시켜 다양한 곡선들을 하나의 Master Curve로 정렬할 수 있으며, 이를 통해 점탄성 재료의 물성을 비교할 수 있다.

각 혼합물의 시험 온도 및 주기에 따라 측정된 동탄성계수 값을 21℃의 기준온도에 대하여 하중시간과 온도의 중첩원리를 적용하여 Fig. 9, 10과 같이 Master Curve를 도출하였다. 하중시간과 온도의 중첩원리 적용을 위한 전이함수(Shift Factor)는 최소자승법을 이용하여 전체 오차를 최소화하는 비선형 회귀분석을 통해 결정하였다.

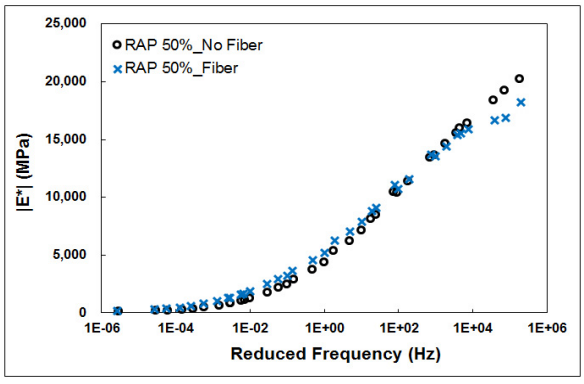

Fig. 9 Semi-log Master Curve (Ref. Temp : 21℃)

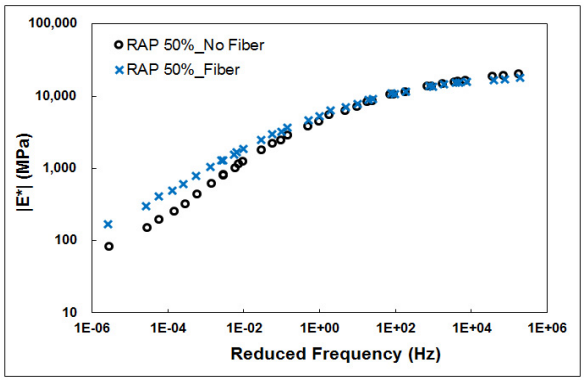

Fig. 10 Log-log Master Curve (Ref. Temp : 21℃)

Fig. 9에 나타난 바와 같이 저온(고주파수)영역에서 유리섬유로 보강한 재활용 아스팔트 혼합물이 일반 재활용 아스팔트 혼합물보다 낮은 동탄성을 보였다. 또한 Fig. 10에 따르면 고온(저주파수)영역에서는 유리섬유로 보강한 재활용 아스팔트 혼합물이 보강하지 않은 일반 재활용 아스팔트 혼합물보다 높은 동탄성을 보였다.

4.3. 수분저항성(인장강도비) 시험

수분저항성(인장강도비) 시험은 아스팔트 혼합물의 건조상태 건조 상태에서의 간접 인장 강도와 수분 포화 동결융해 후 상태에서의 간접 인장 강도를 측정하여 수분 저항성을 측정하는 인장 강도비를 시험하는 것으로서, 구해진 결과는 혼합물에 발생되는 박리 현상을 예측하는데 이용된다. KS F 2398(2017) 표준에 따라 일반 재활용 아스팔트 혼합물과 유리섬유 보강재 함량을 일부 수정한 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물에 대하여 수분저항성 시험을 수행하였다. 각 혼합물 대안에 따라서 목표 공극률 7%의 시편을 8개씩 제작하였다. 제작된 시편을 건조시편과 동결융해 시편으로 나누었으며, 건조시편은 25℃의 온도 조성 후 간접인장강도 시험을 실시하였다. 동결융해 시편은 70~80% 포화 후 -18℃의 온도에서 16시간 동결, 60℃의 온도에서 24시간 수침, 25℃의 온도에서 2시간 수침 후 간접인장강도 시험을 실시하였다. 건조시편과 동결융해 시편의 간접인장강도를 통해 인장강도비를 산출하였으며, 결과는 Table 9에 정리하였다.

Table 9. Results of Tensile Strength Ratio Test (25℃)

Type	Indirect tensile strength (MPa)				Tensile strength ratio
	Dry	Increase (%)	After Frozen-Thaw	Increase (%)	
A (Control)	0.93	-	0.67	-	0.72
C	1.08	116.1	0.68	101.5	0.63
D	1.27	136.6	0.98	146.3	0.77

수분저항성(인장강도비) 시험결과 D 혼합물에서 0.77의 가장 높은 인장강도비를 보였으며, 모든 시편 상태에서 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물(C, D)이 일반 재활용 아스팔트 혼합물(A)보다 증가된 간접인장강도를 보였다.

4.4. 함부르크 휠 트래킹 시험

일반 재활용 아스팔트 혼합물과 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물에 대하여 함부르크 휠 트래킹 시험을 실시하였다. 함부르크 휠 트래킹 시험은 AASHTO T324 (2016)에 따라 선회다짐을 통하여 목표 공극률 7%, 직경 150mm, 높이 60mm의 시편을 제작하여 실시하였다. 함부르크 휠 트래킹 시험은 아스팔트 혼합물의 소성변형 및 수분저항성을 평가하는 시험으로 시편을 수침시킨 후 철륜을 통해 하중을 재하하여 그에 따른 변위를 측정하는 시험이다. 본 연구의 함부르크 휠 트래킹 시험의 수침온도는 55℃에서 수행하였으며, 시험결과는 Table 10과 같다.

(a) Mixture A (b) Mixture C (c) Mixture D

Fig. 11 Pictures of Each Mixture After Hamburg Wheel Tracking Test

Table 10. Results of Hamburg Wheel Tracking Test (55℃)

Type	Rut depth (mm)				
	2,500	5,000	10,000	15,000	20,000
A (Control)	4.7	10.6	18.0	N/A	N/A
C	2.7	8.1	16.3	N/A	N/A
D	2.5	4.9	10.4	14.6	17.3

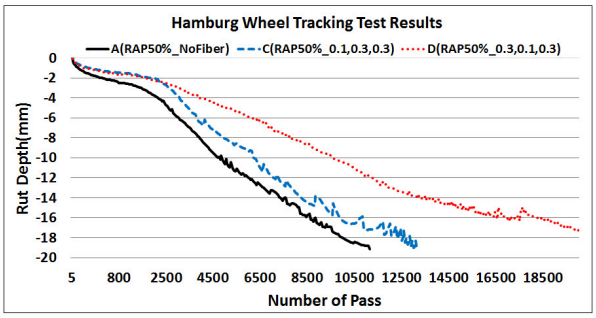

Fig. 12 Results of Hamburg Wheel Tracking Test (55℃)

함부르크 휠 트래킹 시험 결과 A, C 혼합물의 경우 15,000회 하중재하 전 20mm 이상의 소성변형이 발생하였으며, D 혼합물의 경우 20,000회 하중재하 시 17.3mm의 소성변형을 보였다.

5. 결론

본 연구에서는 순환골재 비율 50%의 재활용 아스팔트 혼합물에 대하여 유리섬유 보강재의 첨가량에 따른 실내시험을 수행하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 간접인장강도 시험 결과, 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물(PEGS 0.3%, Micro PPGF 0.3%, Macro PPGF 0.1%)이 일반 재활용 아스팔트 혼합물(No Fiber) 대비 139.4%의 간접인장강도 증진을 보였다.
2 동탄성계수 시험에 따라 도출된 마스터 커브를 비교한 결과 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물(PEGS 0.3%, Micro PPGF 0.3%, Macro PPGF 0.1%)이 일반 재활용 아스팔트 혼합물(No Fiber)에 비해 저온에서 더 낮은 동탄성을 보였으며, 고온에서 더 높은 동탄성을 보였다.
3. 수분저항성(인장강도비) 시험결과 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물(PEGS 0.3%, Micro PPGF 0.1%, Macro PPGF 0.3%)이 0.77의 가장 높은 인장강도비를 보였으며, 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물(PEGS 0.1%, Micro PPGF 0.3%, Macro PPGF 0.3%)이 0.63의 가장 낮은 인장강도비를 보였다.
4. 수분저항성(인장강도비) 시험에서 간접인장강도의 절대값을 비교한 결과 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물(PEGS 0.3%, Micro PPGF 0.1%, Macro PPGF 0.3%)이 일반 재활용 아스팔트 혼합물(No Fiber) 대비 건조 시편에서 136.6%의 강도증진을 보였으며, 동결융해 후의 시편에서 146.3%의 강도증진을 보였다.
5. 함부르크 휠 트래킹 시험결과 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물(PEGS 0.3%, Micro PPGF 0.1%, Macro PPGF 0.3%)이 20,000회의 하중재하 시 17.3mm의 변형을 보였으며, 일반 재활용 아스팔트 혼합물(No Fiber), 유리섬유 보강 재활용 아스팔트 혼합물(PEGS 0.1%, Micro PPGF 0.3%, Macro PPGF 0.3%)의 경우 15,000회 하중재하 전 20mm 이상의 변형을 보였다.

본 연구를 통해 유리섬유 보강 시 재활용 아스팔트 혼합물의 균열, 소성변형 및 수분 저항성능의 증진을 확인하였다. 향후 적정 유리섬유 함량 도출을 위한 연구와 포장가속시험 및 시험시공 등과 같은 장기 공용성 검증 연구 수행이 필요하며, 유리섬유 보강을 통해 재활용 아스팔트 혼합물의 적용성을 높일 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요 사업인 "포트홀 프리 도로포장시스템 개발"의 연구 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

AASHTO T 324 (2016). *Standard method of test for hamburg wheel-track testing of compacted hot mix aspahlt. American Association of State Highway and Transportation Officials.*

Engineering daily (2017). *Severe road aging, over 60% durability on public roads*. Available at: http://www.engdaily.com/news/articleView.html?idxno=7482 (Accessed: Feburary 6, 2018).

KS F 2382 (2013). *Standard test method for indirect tension of asphalt mixtures*. Korean Standard Association.

KS F 2398 (2017). *Standard test method for resistance of compacted asphalt mixtures to moisture induced damage. Korean Standard Association.*

KS F 2485 (2005). *Standard test method for dynamic modulus of asphalt mixtures. Korean Standard Association.*

Ministry of Environment (2014). *Recycling Aggregates Recycling aggregates and recycled aggregates in construction work Notification on the use and use of recycled products.*

Ministry of Environment (2015). *Law Enforcement Order to Promote Recycling of Construction Wastes.*

Ministry of Land, Infrastructure and Trasport (2018). *Road Statistics and Maintenance Information System*. Available at: http://www.rsis.kr/maintenance_summary_profit.htm (Accessed: Feburary 6, 2018).