JOURNAL of the Korean Asphalt Institute Vol. 8, No. 2, 79-88, 2018
https://doi.org/10.22702/jkai.2018.8.2.008

pISSN: 2234-0785
eISSN: 2635-9553

Research Article

개질 재활용 아스팔트 혼합물의 실내 물성 평가

함상민[1] · 김부일[2]*
[1]서울특별시 안전총괄본부 도로관리과 주무관, [2]한국건설기술연구원 도로관리통합센터 연구위원

Laboratory Evaluation of Modified Recycle Asphalt Mixtures

Ham, Sang Min[1] and Kim, Booil[2]*
[1]Seoul Metropolitan Government, Safety Management Headquarters, Road Management Division
[2]Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Integrated Road Management Research Center, Research Fellow

***Corresponding author:** Tel. +82-31-910-0240, E-mail. bikim@kict.re.kr

Received: December 19, 2018; **Revised:** December 27, 2018; **Accepted:** December 28, 2018

ABSTRACT

The purpose of this study is to verify the laboratory properties of the modified recycle asphalt mixtures as a asphalt pavement materials. Indirect tensile strength test at 25°C, dynamic modulus test at five different temperatures(-5°C, 5°C, 21°C, 40°C, 54°C) and repeated indirect tensile fatigue test at 25°C were conducted to evaluate the performance of the modified recycle asphalt mixtures as a asphalt pavement materials. The test results showed that the indirect tensile strength and toughness of the modified recycle asphalt mixtures was over the criteria of the specification of Korea Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. Dynamic modulus of the modified recycle asphalt mixtures were bigger than those of the 13mm+PG64-22 typical asphalt mixtures used on Korea asphalt pavement. Repeated indirect tensile fatigue test showed that the fatigue crack resistance of the modified recycle asphalt mixtures was ten times bigger than that of PG64-22 asphalt mixtures. The results of the laboratory tests showed that the potential performance of the modified recycle asphalt mixtures is good enough as a asphalt pavement materials.

Keywords: Recycled Asphalt Mixtures, Modified Asphalt, Asphalt Pavement

© 2018 by Korean Asphalt Institute. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

국내의 도로포장 재료로 광범위하게 사용되고 있는 아스팔트 콘크리트 포장용 아스팔트는 점탄성과 결합성질이 매우 좋은 물질로 알려져 있어 도로 포장용으로 폭넓게 사용되고 있다. 최근 차량의 대형화와 교통량의 증가로 인한 도로의 파손과 노후화는 아스팔트 성능 개선의 필요성을 증가시키고 있으며, 노후화된 도로포장은 포장 보수비용의 과다한 지출뿐만 아니라 보수작업으로 인한 교통체증을 가중시키는 문제점도 가지고 있다. 아스콘 포장의 대규모 보수 및 재포장으로 발생되는 폐아스콘의 처리에 대한 비용 및 환경문제가 심각한 사안으로 대두되고 있어 현장 적용을 위한 현실적인 재활용 방안이 요구되고 있다. 이러한 실정은 폐아스콘 재활용률의 증가 방안과 노화된 물성을 회생시킬 수 있는 개질재 개발에 대한 관심으로 이어지고 있으며, 이를 위해 국내의 폐아스콘 발생재 재활용 방안과 재활용 혼합물의 품질성능 개선을 위한 지속적인 연구가 필요하다.

한편, 경제성장 및 생활수준의 향상에 따라 건설폐기물 발생량도 증가하고 있으며 건설폐기물 처리문제 역시 심각한 실정이다. 환경문제의 주요 이슈로 자리하고 있는 현 시점에서 건설 폐기물의 재활용은 건설 폐기물 적정처리를 통한 건설폐기물처리 문제를 해결하는 최선의 방법이라고 할 수 있다. 2005년 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」에 의하여 일정 규모 이상으로 배출되는 토사, 콘크리트 및 아스팔트 콘크리트 등의 건설폐기물에 대하여 재활용 의무가 고시된 바 있지만 아직도 대부분이 단순 매립에 의존하고 있어 효과적인 재활용을 위한 기술적, 경제적 및 제도적 여건을 개선할 필요성이 시급한 실정이다.

최근 환경부는 재활용 가열 아스팔트 혼합물의 활성화를 위한 제도적 기반 마련을 통하여 2011년까지 폐아스콘 발생량의 13%를 재활용 아스팔트 혼합물로 2020년까지 선진국 수준(50%)이상으로 높여나갈 계획으로 재활용 제품(Goods Recycled)의 품질 표준으로서 재활용 가열 아스팔트 혼합물(GR F 4005)에 대한 국가표준을 개정 완료하였으며(2009.08), 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선 방안에 대한 연구 결과(국토해양부, 2011)를 바탕으로 품질성능 기준을 정립한 국토교통부 「아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침(국토교통부, 2017)」을 제정하였다.

또한 재활용 포장의 활성화를 위해 「순환골재 등 의무사용 건설공사의 순환 골재 · 순환골재 재활용 제품 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시(환경부고시 2014-33호)」 및 건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률 시행령(대통령령 제28367호)」을 통해 순환골재의 사용 촉진 및 순환골재 등을 의무적으로 사용해야하는 건설공사의 적용범위를 모든 도로 포장 공사로 확대하였다.

2. 국내외 현황

Fig. 1과 같이 환경부에서 2015년 발표한 「전국 폐기물 발생 및 처리 현황」 통계자료에 따르면 전체폐기물 발생량은 매년 꾸준히 증가하고 있다(환경부, 2016). 2009년부터 2014년까지 건설폐기물은 하루에 최소 178,120톤부터 최대 186,417톤까지 발생한 것으로 나타난다.

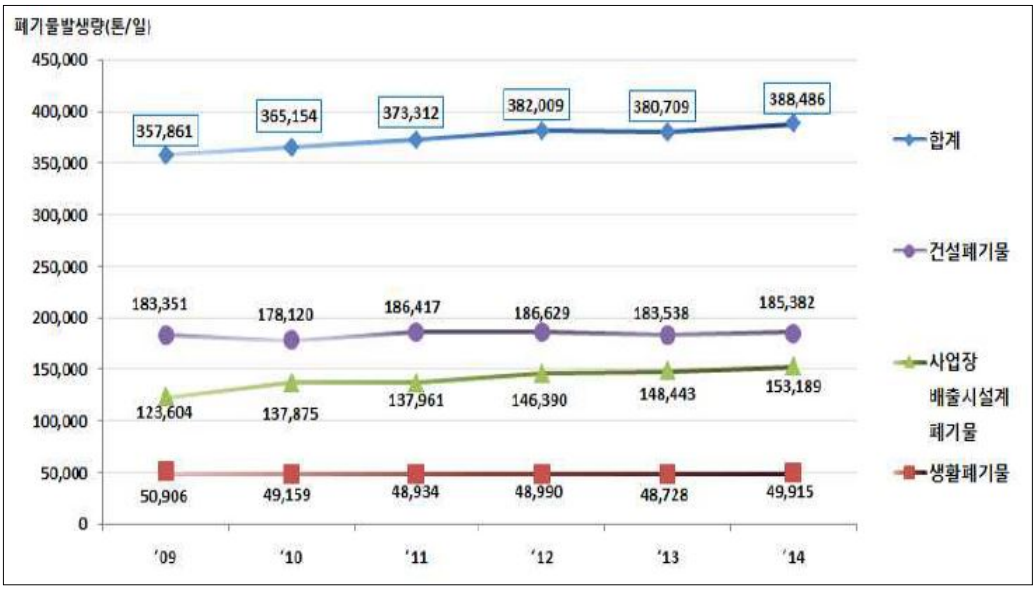


Fig. 1. 연도별 건설폐기물 발생량 변화추이(환경부, 2015)

2015년 전국 폐기물발생 및 처리현황 통계자료에 따르면 Table 1에 정리한 것과 같이 국내 폐아스팔트 콘크리트는 2010년에는 32,535톤/일, 2014년에는 33,725톤/일이 발생하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 1. 폐아스팔트 콘크리트 발생 현황

구 분	2010	2011	2012	2013	2014
폐아스팔트 콘크리트 발생량(톤/일)	32,535	35,245	35,738	35,398	33,725

* 환경부(2015)「전국 폐기물 발생 및 처리현황」

Table 2에서 정리한 것과 같이 가열 재활용 아스팔트 혼합물 사용은 매년 조금씩 증가하고 있으나, 전체 가열 아스팔트 혼합물 사용량 대비 가열 재활용 아스팔트 혼합물 사용량은 약 10% 수준이다.

Table 2. 폐아스팔트 콘크리트 발생 현황

구 분	2009	2010	2011	2012	2013	2014
가열 아스팔트 혼합물[1](천톤/일)	35,060	20,744	19,656	23,179	26,200	23,470
가열 재활용 아스팔트[2] 혼합물(천톤/일)	840	1,161	1,516	2,068	2,396	2,547
재활용 비율(%)	2.4	5.6	7.7	8.9	9.1	10.9

*[1]한국아스콘공업협동조합연합회(2015), http://www.ascon.or.kr
[2]한국재생아스콘협회(2015), http://www.krascon.or.kr

국외 재활용 아스팔트 혼합물 생산량은 국내와는 다른 상황을 보여주고 있다. 유럽의 경우, Table 3과 같이 전체 아스팔트 혼합물 생산량 가운데 재활용 아스팔트 혼합물 생산량이 차지하는 비율이 일본 76.1%, 스웨덴과 네덜란드가 70%를 차지하고 있다. 반면 한국은 9.1% 정도만의 재활용 아스팔트 혼합물을 사용하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 3. 해외 재활용 아스팔트 혼합물 사용 현황

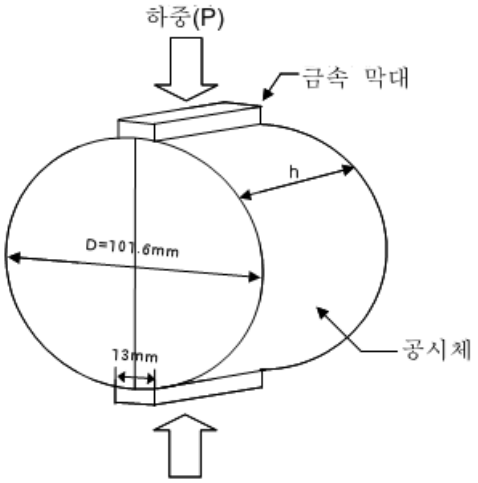
국가별	일본	스웨덴	네덜란드	프랑스	덴마크	벨기에	한국
비율(%)	76.1	70	70	65	58	51	9.1

* European Asphalt Pavement Association, EAPA(2013)

3. 실내 시험

3.1 간접인장강도 시험

간접인장시험은 교통하중 작용 시 또는 표층에서 온도 변화가 심한 지역의 아스팔트 콘크리트층 아래 부분 즉, 인장영역의 응력상태를 모사한 시험으로 피로균열과 저온균열 에 대한 저항성을 평가할 수 있는 시험방법이다. 시험은 KS F 2382 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험방법(ASTM D6931-12 : Standard Test Method for Indirect Tensile(IDT) Strength of Bituminous Mixtures)의 방법에 의해 25°C의 온도에서 50mm/min의 하중을 재하하여 시험을 실시한다. 간접인장강도 측정방법은 Fig. 2와 같다.



$$S_t = \frac{2P}{\pi Dh}$$

여기서, St : 간접인장강도(MPa)
P : 공시체 파괴 하중(N)
D : 공시체 지름(mm)
h : 공시체 높이(mm)

Fig. 2. 간접인장강도 측정 방법

3.1.1 시편 제작

시험 공시체는 KS F 2337 아스팔트 혼합물의 마샬안정도 및 흐름값 시험 방법에 제시된 방법으로 제작하였다. 혼합물을 가열 후 1개의 혼합물 당 약 1200g를 계량한 후 마샬 다짐기를 이용하여 양면 75회를 다져 시편을 제작하였다. 제작 된 시편은 실온에서 12시간 이상 방치 후 공시체를 탈형하여 시편 물성을 측정하였다. Fig. 3과 같이 입도별 3개의 시편을 제작하여 간접인장강도 시험용 시편을 준비하였다.

Fig. 3. 간접인장강도 시험 시편 제작

3.1.2 시험 결과

재활용 개질 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험은 한국건설기술연구원 인증 시험으로 진행하였으며, 그 결과는 Fig. 4~Fig. 6과 같다. 그림에서와 같이 환경콘13(WC2)의 간접인장강도는 3개 시료 평균은 1.53(MPa)으로 측정되었고, 환경콘20(MC1)의 간접인장강도는 평균 1.77(MPa), 환경콘25(BB2)의 간접인장강도는 평균 1.72(MPa)로 측정되었다.

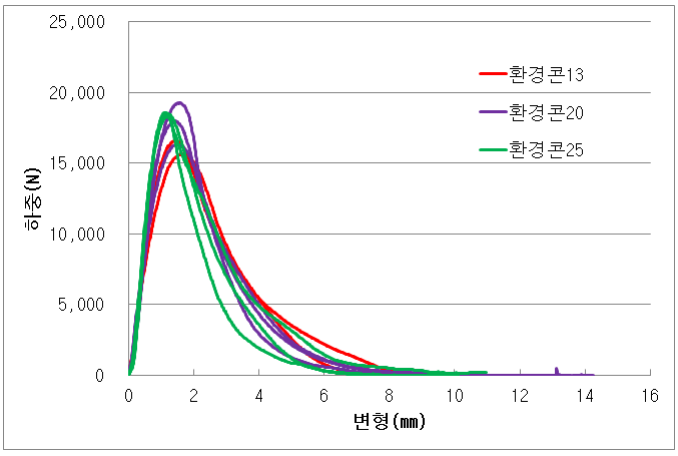


Fig. 4. 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘)의 하중과 변형량 관계

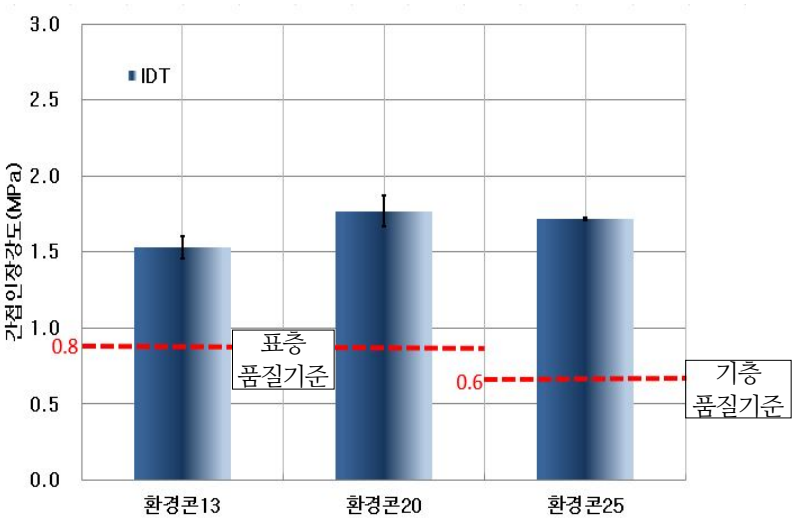
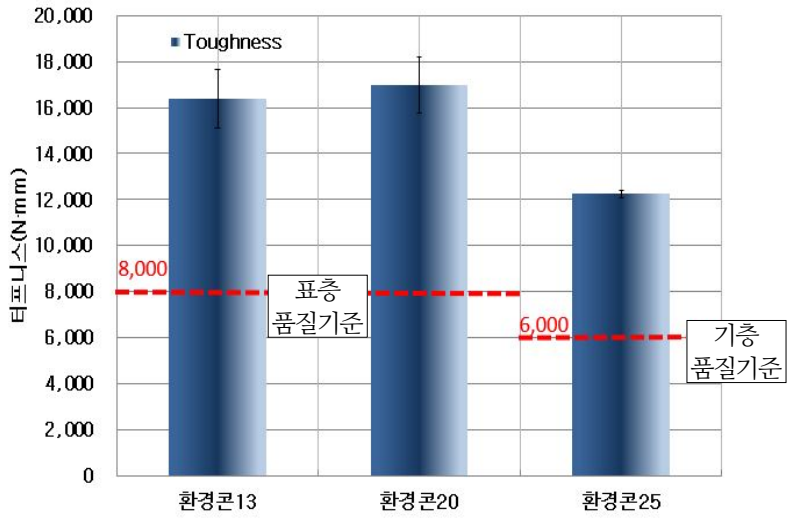


Fig. 5. 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘)의 간접인장강도



* 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침(국토교통부, 2017)에서 품질기준
1) 간접인장강도 - 표층, 중간층 0.8MPa이상, 기층 0.6MPa 이상
2) 터프니스 - 표층, 중간층 8,000N · mm이상, 기층 6,000N · mm 이상

Fig. 6. 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘)의 터프니스

3.2 동탄성계수 시험

3종의 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘), 즉 환경콘13(WC2), 환경콘20(MC1) 및 환경콘25(BB2) 각각에 대한 동탄성계수 시험용 시편을 제작하였다. 시험에 이용된 시편은 IPC Global사의 Servopac 선회다짐기를 이용하여 공극률 7.0%를 목표로 시편을 제작하였다. 가열된 혼합물을 몰드에 넣고 선회다짐기를 이용하여 직경

176mm, 높이 160mm 원통형 시편을 제작한 후, 코어링(coring)하여 직경 100mm, 높이 150mm 원통형 공시체를 시험용 시편으로 제작하였다. 동탄성계수 실험용 시편의 체적 특성 및 시험항목과 시험조건은 Table 4 및 Table 5와 같다.

Table 4. 동탄성계수 실험용 시편의 체적 특성

시편	WC2 #1	WC2 #2	MC1 #1	MC1 #2	BB2 #1	BB2 #2
이론최대밀도 Gmm(g/cm^3)	2.435	2.435	2.443	2.443	2.479	2.479
시편의 단위중량 Gsb(g/cm^3)	2.264	2.261	2.269	2.254	2.313	2.315
공극률 Air Void(%)	7.01	7.17	7.12	7.72	6.71	6.63

Table 5. 동탄성계수 시험항목 및 시험조건

시험항목	시험온도(°C)	주파수(Hz)	응력 상태	변형량(μstrain)
Dynamic Complex Modulus	-5, 5, 21, 40, 54	25, 10, 5, 1, 0.5, 0.1	선형	< 150

동탄성계수 실험 결과는 Fig. 7과 같다. 또한 Fig. 7에서 한국형 포장 설계법 개발과 포장성능 개선 방안 연구-설계 입력 변수 정량화(2011.09)에 제시된 표층용 화강암 13mm+PG64-22 혼합물의 동탄성계수 값을 재활용 개질 아스팔트 혼합물의 동탄성계수 값과 비교하였다. 재활용 개질 아스팔트 혼합물의 동탄성계수 값이 표층용 화강암 13mm+PG64-22 혼합물의 동탄성계수보다 전체적으로 증가하였다.

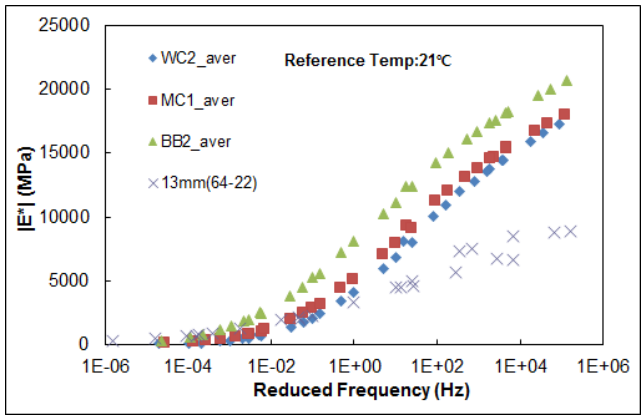


Fig. 7. |E*| Semi-Log Master Curve

3.3 피로균열 시험

아스팔트 혼합물의 피로균열 저항성 평가를 위하여 반복간접인장(repeated indirect tensile test RIT)실험을 수행하였으며, Fig. 8에 나타내었다. 반복 간접인장 시험은 Table 6에서와 같이 0.5sec의 하중재하와 0.5 sec의 휴지기

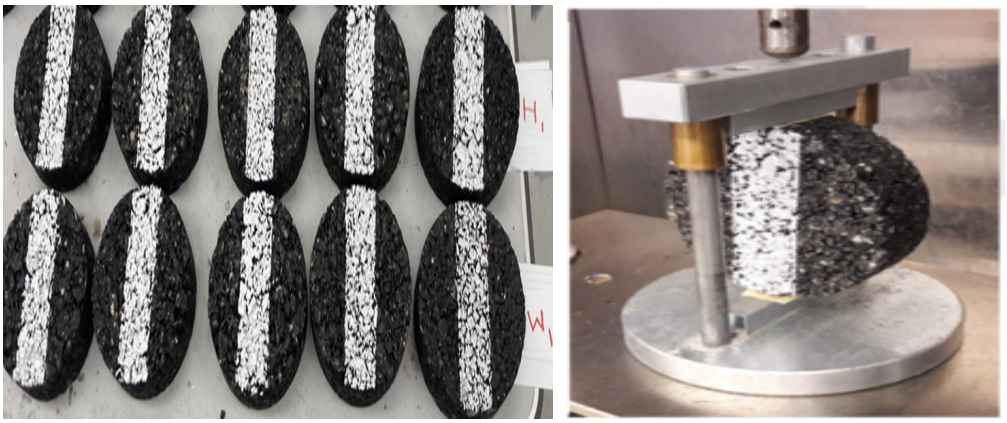
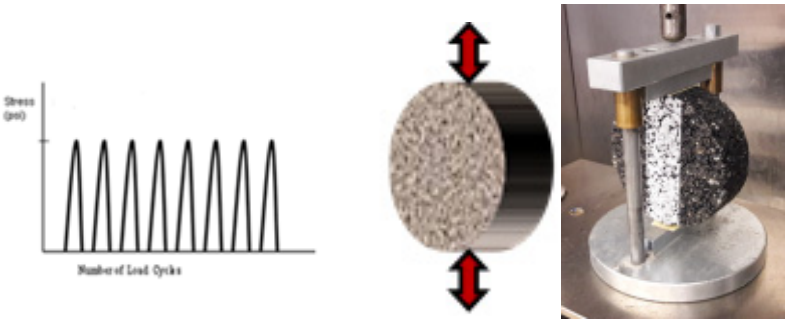


Fig. 8. 반복 간접인장 피로균열시험 setup

Table 6. 피로균열 시험 방법

목록	설 명
시험하중구성 및 회로도	
공시체 크기	150 mm(직경, D) × 50 mm(두께, t)
하중	동적(주기적) 반복 축 방향 압축 반사인파형
하중 모드	하중(응력) 제어
하중 크기	3 kN
하중 주기	1 Hz(0.5 sec 하중재하 + 0.5 sec 휴지기)
Sitting 하중	입력하중의 5%
시험 온도	25 °C
온도 조절	≥2hrs(더미샘플에 삽입한 Thermocouple이용)
변형 측정	액추에이터(RAM)를 통한 수직 이동(mm)
시험 종료	10000 하중주기 or 25 mm RAM 이동, 둘 중 먼저 도달할 때 종료
HMA샘플	공극률7 ± 1 %에서 3 이상, 밀도93 ± 1 %에서 최소 3 개의 샘플(CoV> 30 % 인 경우 추가 샘플 테스트)
시간당 샘플	≤ 3 시간(180 분), 즉 3 샘플의 경우 9 시간
측정 가능 매개 변수	시간, 온도, 하중(응력), 변형 및 순환하중
주요 출력 매개 변수	균열 고장에 대한 하중 반복 수(사이클)(Nc) 및 변위(변형)

를 가지며 3kN의 반복하중을 가하여 시험을 수행하였다. 하중이 반복 제하될 때 수직 변형률을 기록하였으며 아스팔트 혼합물이 파괴되기 전 시험을 멈추기 위하여 수직 변형률을 사용하였다. 반복 간접인장강도시험의 결과인 피로수명은 피로에 의한 파손이 일어날 때까지의 하중 재하 횟수(N_f)로 나타낸다. 피로균열에 의한 파손까지의 하중 재하 횟수가 많을수록 피로균열 저항성이 크다고 할 수 있다. 간접인장 피로균열 시험결과는 Table 7에 정리하였다.

반복 간접인장 시험을 통한 피로균열 저항성을 평가한 결과, 우리나라에서 전형적으로 사용되는 19mm 아스팔트 혼합물과 비교했을 때, 표층용 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘13)은 약 2.5배 이상의 피로균열 저항성을 나타내었고, 중간층용 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘20)은 약 10배의 피로균열 저항성이 나타났고, 기층용 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘25)은 약 14배 이상의 피로균열 저항성을 나타내어 3종 모두 신재료를 사용하는 일반 아스팔트 혼합물 보다 피로균열 저항성이 우수한 것으로 판단된다. 이는 아스팔트의 개질 효과에 기인한 것으로 재활용 아스팔트 혼합물을 개질하여 사용할 경우 피로균열에 대한 저항성은 국토교통부에서 제시하는 품질 기준 이상의 성능을 보일 것으로 판단된다.

Table 7. 간접인장 피로균열 시험결과

Mix	파괴시까지의 반복하중횟수 Nf	Avg. Nf	표준편차 STDEV	공분산 COV	회복탄성계수Mr(Mpa)	Avg(Mr)	표준편차 STDEV	공분사 COV
WC2 (환경콘13)	644	830	174.00	21%	730.30	791.42	52.93	7%
	989				821.83			
	856				822.14			
MC1 (환경콘20)	3791	3263	747.46	23%	958.96	901.86	84.06	9%
	2408				805.34			
	3591				941.29			
BB2 (환경콘25)	5002	4958	1033.19	21%	1316.53	1343.54	202.80	15%
	5969				1558.50			
	3904				1155.60			

4. 결 론

본 연구에서는 3종의 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘13(WC2), 환경콘20(MC1), 환경콘25(BB2))을 대상으로 간접인장강도 시험, 동탄성계수 시험 및 반복 간접인장 피로균열 시험을 수행하였으며, 그 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 간접인장강도 시험 결과 재활용 개질 아스팔트 혼합물 표층용(환경콘13), 중간층용(환경콘20), 기층용(환경콘25) 혼합물은 「아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침(2017, 국토교통부)」에서 제시된 아스팔트 혼합물의 간접인장 강도 품질 기준인 0.8MPa(표층용 또는 중간층용)을 상회하였고, 터프니스 품질 기준인

8,000N · mm(표층용 또는 중간층용), 6,000N · mm(기층용) 기준 역시 모두 초과하였다.

(2) 소성변형과 선형 점탄성 특성을 파악하기 위한 동탄성계수 시험을 5개의 다른 온도(-5, 5, 21, 40, 54°C) 및 6개의 하중주파수(25Hz, 10Hz, 5Hz, 1Hz, 0.5Hz 0.1Hz)에서 수행하였다. 한국형 포장설계법에 제시된 표층용 화강암 13mm+PG64-22과 비교했을 때 상대적으로 큰 동탄성계수 값을 나타내었다. 이는 일반 밀립도 아스팔트 혼합물에 비해 소성변형 저항성이 우수함을 보여주는 결과이다.

(3) 피로균열 저항성 평가를 위한 반복 간접인장 피로균열 시험 결과, 현장에서 일반적으로 쓰이는 19mm 아스팔트 혼합물과 비교했을 때, 표층용 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘13)은 약 2.5배 이상의 피로균열 저항성을 나타내었고, 중간층용 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘20)은 약 10배의 피로균열 저항성이 나타났고, 기층용 재활용 개질 아스팔트 혼합물(환경콘25)은 약 14배 이상의 피로균열 저항성을 나타내어 3종 모두 일반 아스팔트 혼합물 보다 피로균열 저항성이 우수한 것으로 판단된다. 따라서 재활용 아스팔트 혼합물을 개질하여 사용할 경우 피로균열에 대한 저항성은 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침(국토교통부, 2017)에서 제시하는 가열 아스팔트 품질 기준 이상의 성능을 보일 것으로 판단된다.

참고문헌

국토교통부 (2017), 아스팔트 포장 혼합물 생산 및 시공지침, 국토교통부.

국토해양부 (2011), “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구” 3단계 3차년도 최종보고서.

한국아스콘공업협동조합연합회 (2015), http://www.ascon.or.kr.

한국재생아스콘협회 (2015), http://www.krascon.or.kr.

환경부 (2016), 2015 전국 폐기물 발생 및 처리 현황, 환경부.