

무기질 첨가제를 사용한 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 공용성 평가

Performance Evaluation of Cold-Recycling Asphalt Mixtures with an Inorganic Additive

김경수	Kim, kyungsoo	정회원 · 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 석사과정 (E-mail : ild@naver.com)
김현겸	Kim, HyunKyum	정회원 · 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 석사과정 (E-mail : treesx11@naver.com)
김원재	Kim, WonJae	정회원 · 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 공학박사 (E-mail : mniwjk@naver.com)
박창규	Park, ChangKyu	정회원 · 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 석박통합과정 (E-mail : zepyros123@naver.com)
이현중	Lee, HyunJong	정회원 · 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to estimate the optimum content of an inorganic additive for cold-recycled asphalt mixtures and evaluate its performance.

METHODS : An indirect tensile test, a tensile-strength ratio test, and an indirect tensile-fatigue test were conducted on cold-recycling asphalt mixtures with various additives.

RESULTS : The laboratory performance tests indicated that granulated blast-furnace slag mixed with inorganic and cement activators provided optimum performance. The performance results of the cold-recycled asphalt pavement were similar to the inorganic and cement activators' performance in terms of the indirect tensile strength, tensile strength ratio, and indirect tensile-fatigue test.

CONCLUSIONS : Overall, the performance of a cold-recycled asphalt mixture using inorganic additives and emulsion asphalt was comparable to a warm-recycled asphalt mixture. However, more experiments aimed at improving its performance and studying the effect of the inorganic additives must be conducted.

Keywords

Reclaimed asphalt pavement (RAP), cold-recycling asphalt pavement, indirect tensile test, tensile-strength ratio test, indirect tensile fatigue test

Corresponding Author : Lee, HyunJong, Professor
Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University,
209 Neungdong-ro, GwangJin-gu, Seoul, 05006, Korea
Tel : +82.2.3408.3332 Fax : +82.2.3408.3332
E-mail : hlee@sejong.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Nov. 11, 2017 Revised Nov. 15, 2017 Accepted Feb. 05, 2018

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

지구 온난화 현상이 발생하는 원인으로 주목되는 온실가스 배출 억제를 위하여 세계 각 국가들은 2005 교토의정서, 2015 파리기후협약 등을 통하여 온실가스 감축을 위한 노력을 하고 있다. 이에 우리나라는 2008년

부터 2020년까지 온실가스 배출량 감축목표를 30%로 설정하였다. 도로분야에서도 온실가스 배출 감소를 위한 노력으로 지속가능한 도로포장 기술과 공법 개발이 요구되고 있다.

국내의 도로포장은 지속적인 도로연장 증가와 더불어 포장의 노후화가 급속하게 진행되고 있다. 일반국도의

경우 건설한 기간이 30년 이상 된 도로는 전체의 14%, 약 1,570km에 이르고 있어, 추후 포장 파손이 급격히 증가될 것으로 예상된다. 포장 파손이 증가함에 따라 건설 폐기물과 폐아스팔트 콘크리트의 발생량이 증가하고 있어 아스팔트 순환골재의 재활용은 환경을 보호하고 골재 수급 문제를 해결할 수 있는 효율적인 대안으로 제시되고 있다.

미국 아스팔트 포장협회(National Asphalt Pavement Association, NAPA)에 의하면 2009년부터 2014년까지 아스팔트 순환골재의 재활용 비율이 증가된 것으로 조사되었으며(NAPA, 2014), 유럽의 국가별 아스팔트 생산량과 순환골재 발생량, 재활용 아스팔트 혼합물 생산량 통계자료를 확인한 결과(EAPA, 2014), 순환골재는 주로 가열 재활용 아스팔트 혼합물의 생산에 사용되며 체코와 이탈리아, 슬로베니아는 발생된 순환골재 중 30% 이상을 상온 재활용 혼합물에 사용하였다. 이와 같이 세계적으로 아스팔트 순환골재와 재활용 아스팔트 공법이 활발하게 사용되고 있다.

국내의 경우 연간 생산되는 아스팔트 혼합물은 약 2,300만 톤이며, 이 중 재활용 아스팔트 혼합물의 생산은 약 187만 톤(8.1%)으로 해외에 비해 순환골재의 사용량이 미미한 것으로 조사되었다. 환경부는 2016년 '건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 시행령'을 개정하여 도로신설 및 확장공사뿐만 아니라 유지보수 공사에도 순환골재의 사용을 확대할 예정이다.

현재 상온 재활용 아스팔트 혼합물은 시멘트를 주 첨가제로 사용하고 있다. 시멘트는 저렴하고 조기에 강도를 발현하는 장점이 있으나 균열 및 취성과파괴 특성과 장시간 양생 등의 문제로 인해 유지보수공사에 적합하지 않다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 시멘트를 사용하지 않는 속경화성 무시멘트 첨가제와 소량의 시멘트를 활성화제로 사용하는 무기질 첨가제를 개발하고, 다양한 실내 시험을 통해 본 연구에서 개발한 첨가제를 적용한 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 공용성을 평가하는데 목적이 있다.

1.2. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 국내외에서 사용하고 있는 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 무기질 첨가제 적용 사례와 특징, 양생 방법에 따른 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 특성을 조사하였고, 문헌조사를 통하여 무기질 첨가제와 양생 방법이 상온 재활용 아스팔트의 물리 역학적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 최적의 첨가제 비율을 결정

하기 위해 소석회(Hydrated Lime, HL), 고로슬래그(Granulated Blast-Furnace Slag, GBFS), 시멘트(Ordinary Portland Cement, OPC), 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 규산나트륨(Na_2SiO_3) 등을 일정비율로 조합하여 제작된 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 대하여 간접인장강도시험을 실시하였다. 첨가제의 비율을 결정한 후 이를 적용한 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 물리 역학적 특성평가를 진행하였다. 이를 위해 공극률, 간접인장강도, 인장강도비, 피로균열 저항성 시험을 실시하였다.

2. 기존 연구 및 문헌고찰

2.1. 국내연구

Choi et al.(2017)은 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 현장 적용성 평가를 위한 연구를 실시하였다. 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 채움재 결정을 위해 채움재별 마찰안정도 시험을 진행한 결과 채움재를 첨가한 혼합물은 국내 지침(2011)에 제시된 마찰안정도(60°C , 30분) 기준인 4,900N을 만족하고 석회석분, 소석회, 시멘트보다 1.6~5배 우수하였다.

채움재를 사용한 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 현장 적용성 시험을 실시하였다. 현장 적용성을 판단하기 위해 시험포장을 실시하고 LFWD 현장 시험을 통해 양생시간별 처짐량을 측정하고 다층탄성프로그램을 이용하여 역해석한 결과 일반 가열 아스팔트 기층의 탄성계수와 유사한 것으로 나타났다.

2.2. 국외연구

Nassor 외 3인(2016)은 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 일반 포틀랜드 시멘트(Ordinary portland cement, OPC), 고로슬래그 미분말(Ground granulated blast slag, GGBS), 플라이애시(Fly ash, FA), 실리카흄(Silica fume, SF) 등의 첨가제를 사용하여 9개 혼합물의 역학적 특성 및 내구성 평가를 위한 실내시험을 진행하였다. Indirect Tensile Stiffness Modulus(ITSM), 간접인장강도, 인장강도비, 동적안정도, XRD 분석 결과, 고로슬래그와 실리카흄을 혼합하여 사용한 혼합물이 다른 혼합물의 비해 ITSM, 동적안정도, 간접인장강도가 우수한 것으로 나타났다.

Tao et al.(2015)는 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 골재입도, 양생시간, 유화 아스팔트 종류와 함량, 시멘트 함량의 변화를 주어 영향을 미치는 요인에 대한

역학적 강도 시험을 진행하였으며, 간접인장강도와 인장강도비, 주사전자현미경 분석(SEM)을 실시하였다. 입도별 시험 결과는 상한입도가 하한입도에 비해 간접인장강도와 인장강도비 결과가 우수하며, 시멘트 함량은 1.5%까지 급격한 강도 증가 추세가 나타났다. 유화 아스팔트의 경화속도를 늦추면 시멘트의 강도 발현이 우수하며, 유화 아스팔트 점도는 초기강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3. 실내시험

3.1. 사용 재료

실내시험을 위하여 사용된 순환골재는 충남 대전에 위치한 A사에서 수집된 페아스팔트 콘크리트를 선별, 파쇄 과정을 거쳐 생산된 순환골재로 25~13mm, 13~8mm, 8mm이하 골재이며, 신규골재는 충청북도의 석산에서 수집된 굵은 골재(25~20mm)를 사용하였다.

골재의 합성입도는 국토교통부 '아스팔트 콘크리트 포장 시공지침(2017)' 중 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 사용되는 BB-1CR 기준을 만족하는 입도를 사용하였으며, 실내 시험에 적용된 혼합물 입도는 Fig. 1과 같다.

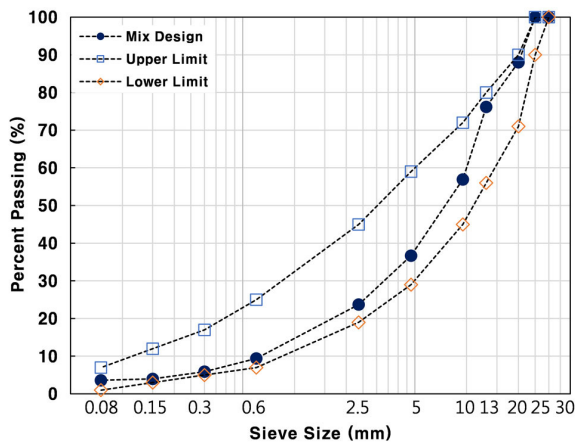


Fig. 1 Aggregate Gradation for Cold Recycled Asphalt Mixtures

Park et al.(2017)의 연구에서 개발된 속경화성 무시멘트 첨가제의 개선을 위해 고로슬래그와 활성화제인 수산화칼슘, 규산나트륨을 다양한 비율로 적용 후 간접인장강도 시험을 통해 최적 비율을 선정하였다. 개선된 무시멘트 첨가제와의 공용성을 비교 평가하기 위하여 고로슬래그와 시멘트를 일정 비율로 혼합하여 개발된 무기질 첨가제를 사용한 혼합물도 함께 제작하였다. 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 공용성 시험을 위한 개질

유화 아스팔트는 국내 K사에서 제조된 SS(C)-1hP를 사용하였다.

3.2. 무시멘트 첨가제 개선을 위한 실내 시험

선행 연구(Park et al., 2017)에서 개발된 무시멘트 첨가제는 수산화나트륨을 활성화제로 혼합하여 사용하였으나 공기 중 습기에 의해 급격한 반응이 발생하여 현상시공성이 떨어지는 것으로 나타났다. 이를 개선하기 위해 물과 개질 유화 아스팔트, 골재비율을 고정하고 소석회와 첨가제의 혼합 비율을 변화시켜 실내 시험을 실시하였다.

최적의 첨가제 혼합 비율을 결정하기 위하여 마샬다짐기를 이용하여 마샬 시편을 제작한 후 간접인장강도 시험을 수행하였다. 마샬안정도 대신 간접인장강도로 적정 혼합비율을 결정한 이유는 본 연구에서 제조한 모든 상온 혼합물이 마샬안정도 기준을 만족하였을 뿐만 아니라 대부분의 국가에서 간접인장강도 기준을 사용하고 있어 간접인장강도 시험 결과를 토대로 무시멘트 첨가제의 개선된 혼합 비율을 결정하였다. 무시멘트 첨가제의 적정 혼합 비율을 결정하기 위한 혼합 비율은 Table 1과 같다.

Table 1. Contents of H.L. and Additive, and Component Ratio of Additive

Additives	H.L. (%)	Additive (%)	Component ratio (%)		
			BFS	Ca(OH) ₂	Na ₂ SiO ₃
1	1.0	2.0	71.43	7.14	21.43
2	1.0	2.0	71.43	21.43	7.14
3	1.0	2.0	83.3	12.5	4.2
4	1.0	2.0	71.4	28.6	-
5	1.0	2.0	71.4	14.3	14.3
6	1.0	2.5	71.43	21.43	7.14
7	1.0	3.0	71.43	21.43	7.14

Table 1의 첨가제 1~5번에 명시된 5가지 무시멘트 첨가제 비율에 따라 간접인장강도를 비교한 결과, 2번 첨가제 비율이 가장 우수한 것으로 판단되었다. 추가적으로 투입량을 0.5, 1.0% 증가시킨 6, 7번 첨가제가 적용된 시편의 간접인장강도 시험이 수행되었으나 투입량 대비 강도 증진 효과가 미흡한 것으로 판단되었다. Fig. 2와 Fig. 3은 각각의 무시멘트 첨가제 혼합 비율별 간접인장강도와 파괴 시 변형량(Failure Deformation) 결과를 나타낸다.

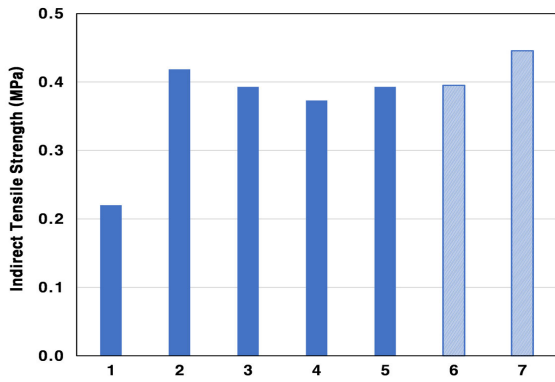


Fig. 2 Result of Indirect Tensile Strength Test for Various Inorganic Additive Components

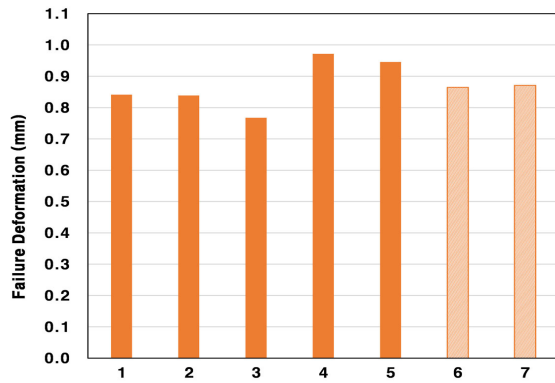


Fig. 3 Failure Deformation Comparison for Various Inorganic Additive Components

국토해양부의 ‘도로포장 통합지침(2011)’에 제시된 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 양생 방법은 총 7일의 장시간이 소요된다. Park et al.(2017)은 장시간이 소요되

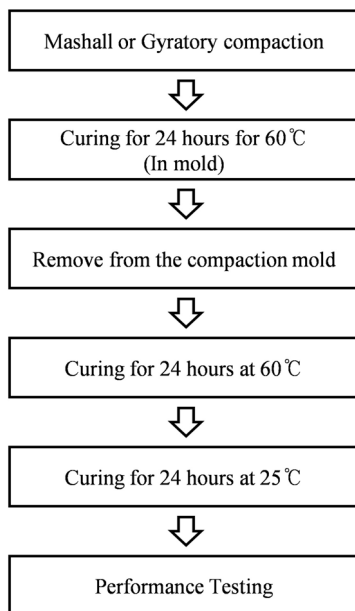


Fig. 4 Curing Method for Cold Recycling Asphalt Mixture Adopted in This Study

는 양생방법을 개선하기 위하여 미국의 ARRA(Asphalt Recycling and Reclaimed Association)의 ‘Basic Asphalt Recycling Manual’을 참고하여 단축된 양생 시간과 온도를 적용하여 실내 시험을 진행하였다. 그 결과 기존보다 양생시간은 감소하였지만 간접인장강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 개선된 양생 방법을 적용하였다.

3.3. 시편제작 및 시험방법

본 연구에서는 폐아스콘과 첨가제를 활용한 상온 재활용 아스팔트 혼합물과의 공용성을 비교 평가하기 위하여 중온 재활용 아스팔트 혼합물의 시편을 제작하여 동일한 시험을 실시하고 결과를 비교하였다. 최근 국내에서는 가열 재활용 아스팔트 혼합물뿐만 아니라 중온 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 관심이 증대되고 사용량이 증가하고 있어 중온 재활용 아스팔트 혼합물을 비교대상으로 선정하였다.

상온 재활용 아스팔트 혼합물은 Table 2와 같이 무시멘트 첨가제(CRAM-A)와 무기질 첨가제(CRAM-B)를 사용하여 제작하였다. 혼합물 제작 시 사용된 순환골재와 신규 골재, 유화 아스팔트, 물, 첨가제의 혼합 비율은 Table 3과 같다. 중온 재활용 아스팔트 혼합물은 Table 4에 명시된 배합설계 결과에 따라 7~8%의 공극률로 시편을 제작하였다.

Table 2. Details of Additives

Name	Additive		
	Filler	Inorganic	Activator
A	Hydrated lime	BFS	Ca(OH) ₂ , Na ₂ SiO ₃
B	-		Portland cement

Table 3. Mix Proportion (Cold Recycling Asphalt Mixture)

Name	RAP (%)	Aggregate (%)	Additive (%)	Asphalt emulsion (%)	Water
CRAM-A	74.4	15.81	2.79	4	3
CRAM-B	74.8	16.36	2.34	4	2.5

Table 4. Mix Proportion (Warm Recycling Asphalt Mixture, WRAM)

Name	RAP (%)	Aggregate (%)	Filler (%)	Asphalt binder (%)	Warm additive (%)
WRAM	33.46	61.18	0.95	4.3	0.11

상은 재활용 아스팔트 혼합물의 물리 역학적 특성 평가를 위하여 공극률, 간접인장강도, 인장강도비, 피로균열 저항성 시험을 실시하였다. 혼합물 시편의 공극률은 KS F 2496(진공 밀봉 방법을 이용한 다져진 아스팔트 혼합물의 겉보기 비중 및 밀도 시험방법)과 KS F 2366(아스팔트 혼합물의 이론 최대비중 시험방법)에 따라 시험하여 확인하였다.

간접인장강도 시험은 KS F 2382(아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험방법)에 따라 시험을 실시하였고, 수분저항성 시험은 KS F 2398(아스팔트 혼합물의 수분저항성 시험 방법)의 규정에 따라 시험을 수행하였다. KS F 2398에 제시된 수분저항성 시험은 시편의 공극률을 $7 \pm 0.5\%$ 에 맞추어 시험을 실시하여야 한다. 그러나 상온 재활용 아스팔트 혼합물은 혼합 시 유화 아스팔트와 물을 투입하기 때문에 양생 시 수분이 증발되어 공극률이 증가한다. 따라서 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 경우 기준보다 높은 공극률의 시편을 사용하여 시험을 수행하였다. 이론최대밀도 시험기를 이용하여 시편을 강제포화 시킨 후 60℃의 항온수조에서 24시간 수침하고 25℃에서 2시간 수침시킨 수분처리 시편과 건조 상태 시편의 간접인장강도를 측정하여 인장강도비를 산정하였다. 피로균열 저항성 시험은 10Hz의 하버사인의 하중을 20℃의 조건에서 간접인장방식으로 수행하였으며, 초기강성 대비 시편의 강성이 50% 이상 감소하였을 때의 하중재하 횟수로 피로수명을 결정하는 방식이다.

4. 시험 결과

4.1. 공극률

상온 재활용 아스팔트 혼합물 2가지와 중온 재활용 아스팔트 혼합물의 공극률을 측정한 결과는 Fig. 5와 같으며, 아스팔트 콘크리트 포장 시공지침(2017)에 제

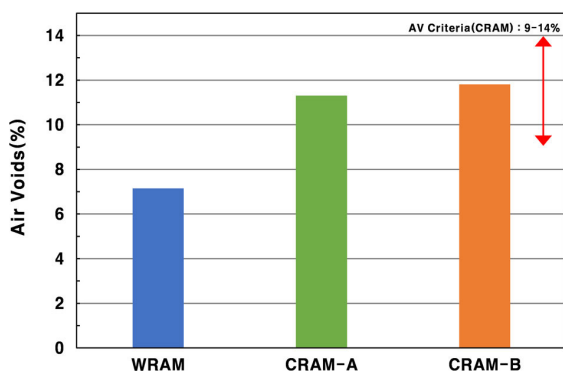


Fig. 5 Air Voids of Asphalt Mixtures

시된 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 공극률 기준범위인 9~14%를 만족하였다.

4.2. 간접인장강도

간접인장강도 시험은 아스팔트 혼합물의 균열 저항성을 측정하는 시험방법이다. 각 혼합물의 간접인장강도를 측정된 결과 Fig. 6에서 보는 바와 같이 모든 상온 재활용 아스팔트 혼합물은 지침에 제시된 기준인 0.4MPa 이상을 만족하였고, 중온 재활용 아스팔트 혼합물의 강도 대비 각각 61, 69%로 나타났다. 파괴 시 변형량은 무시멘트 첨가제를 사용한 혼합물이 무기질 첨가제를 사용한 혼합물보다 높게 나타났다. 터프니스

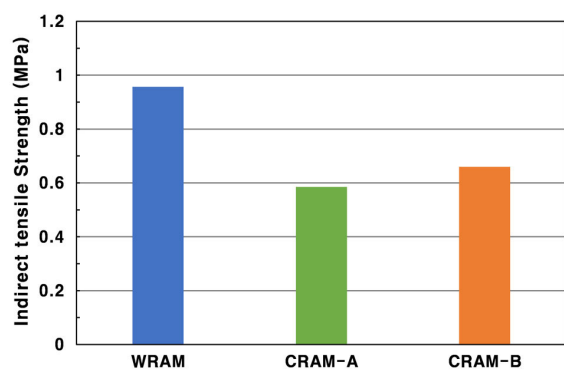


Fig. 6 Result of Indirect Tensile Strength Test

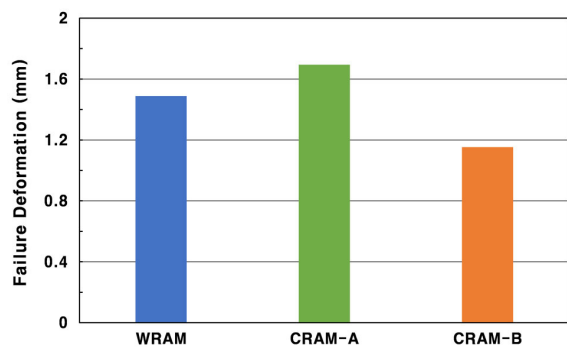


Fig. 7 Failure Deformation Obtained from Indirect Tensile Strength Test

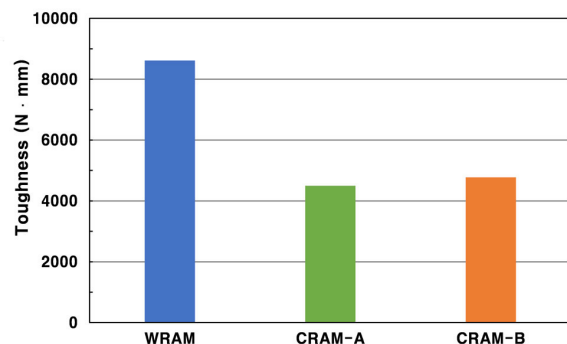


Fig. 8 Toughness Values of Asphalt Specimens Estimated from Indirect Tensile Strength Test Data

는 변형에너지를 흡수할 수 있는 정도를 나타내는 지표로서 혼합물의 균열 저항성을 평가할 수 있으며 중온 재활용 혼합물 대비 각각 약 52, 55% 수준인 것으로 나타났다. 상온 재활용 혼합물의 높은 공극률의 영향으로 인해 간접인장강도와 터프니스가 중온 혼합물에 비해 상대적으로 낮게 측정된 것으로 판단된다.

4.3. 인장강도비(Tensile Strength Ratio, TSR)

아스팔트 혼합물의 수분저항성 평가 방법 중 하나인 인장강도비 시험을 실시하였고, 시험 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Summary of Tensile Strength Ratio for Asphalt Mixtures

Mix	Indirect Tensile Strength (MPa)		TSR
	Dry	Wet	
WRAM	1.02	0.98	0.96
CRAM-A	0.59	0.55	0.93
CRAM-B	0.66	0.63	0.96

국토교통부의 ‘아스팔트 콘크리트 포장 시공 지침 (2017)’에 따르면 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 인장강도비 기준은 0.7 이상으로 명시되어 있고, Table 5 및 Fig. 9의 결과와 같이 무시멘트와 무기질 첨가제는 해당기준을 만족하였다.

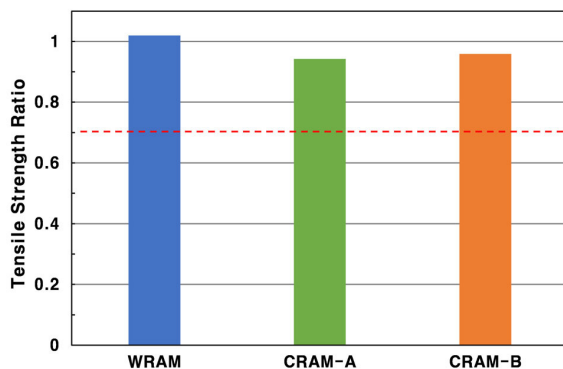


Fig. 9 Tensile Strength Ratio of Asphalt Mixtures

4.4. 피로균열 저항성

첨가제가 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 피로수명에 미치는 영향을 파악하기 위하여 간접인장 피로시험을 실시하였다. 시험온도는 20℃, 하중주기는 10Hz로 일정한 진폭의 하중을 시편에 적용하였다. 혼합물의 피로수명을 단시간에 파악하기 위하여 휴지기 없이 0.1초

주기의 하버사인 하중을 적용하였다. 아스팔트 혼합물의 피로수명은 시편의 초기 강성을 계산하고 강성이 초기 강성의 50%에 도달했을 때 시편에 재하된 하중재하 횟수로 피로수명을 결정하였으며, 시험결과는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에서 보는 바와 같이 초기 응력이 높은 영역에서는 중온 아스팔트 혼합물의 피로수명이 상온 재활용 혼합물에 비해 긴 것으로 나타났고, 초기 응력이 50kPa 이하인 영역에서는 상온 재활용 혼합물이 중온 혼합물에 비해 피로수명이 긴 것으로 추정되었다. 무시멘트와 무기질 첨가제를 사용한 혼합물의 피로수명은 유사한 것으로 나타났다.

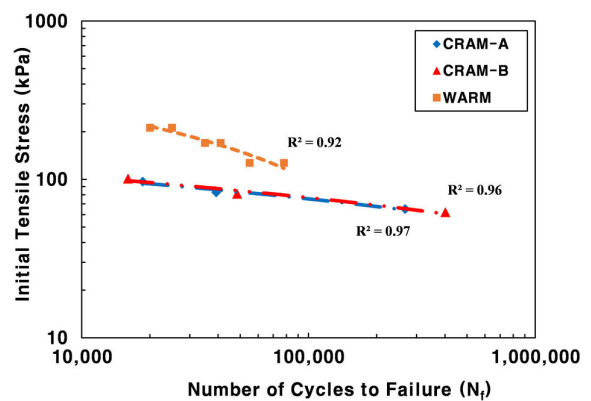


Fig. 10 Indirect Tensile Fatigue Test Results

5. 결론

본 연구에서는 활성화제를 개선하여 제작된 무시멘트 첨가제와 무기질 첨가제를 사용한 상온 재활용 아스팔트 혼합물과 중온 재활용 아스팔트 혼합물의 시편을 제작하여 공극률, 간접인장강도, 인장강도비 및 피로균열 저항성 시험을 수행하였다. 위 시험을 통해 첨가제별 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 물리 역학적 특성 평가를 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 개발된 무시멘트 첨가제의 원활한 현장 적용을 위하여 활성화제의 종류와 혼합 비율, 투입량을 변화시켜 간접인장강도 시험을 실시한 결과 수산화칼슘과 규산나트륨의 혼합비율이 30:10이고, 첨가량은 2%일 때 가장 우수한 결과를 나타내었다.
2. 본 연구에서 사용된 두 종류의 첨가제에 대한 간접인장강도와 인장강도비는 상온 아스팔트 혼합물의 품질기준을 모두 만족하였다. 무기질 첨가제 사용 시 간접인장강도와 터프니스는 무시멘트 첨가제에 비해

- 약 10% 높은 것으로 평가되었으나 파괴 변형량은 무시멘트 첨가제가 우수한 것으로 나타났다. 두 가지 첨가제 모두 인장강도비 기준인 0.7을 만족하지만 인장강도비 시험의 공극률 기준인 $7 \pm 0.5\%$ 보다 높은 공극률을 적용하여 시험하였기 때문에 추후 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 수분저항성 평가 방법에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.
3. 두 종류의 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 인장강도는 중온 재활용 아스팔트 혼합물 대비 각각 61, 69%로 나타났고, 터프니스는 중온 재활용 혼합물 대비 각각 약 52, 55% 수준인 것으로 나타났다. 상온 재활용 혼합물의 높은 공극률의 영향으로 인해 간접인장강도와 터프니스가 중온 혼합물에 비해 상대적으로 낮게 측정된 것으로 판단된다.
 4. 피로균열 저항성 시험 결과, 초기 응력이 높은 영역에서는 중온 아스팔트 혼합물의 피로수명이 상온 재활용 혼합물에 비해 긴 것으로 나타났고, 초기 응력이 50kPa 이하인 영역에서는 상온 재활용 혼합물이 중온 혼합물에 비해 피로수명이 긴 것으로 추정되었다. 무시멘트와 무기질 첨가제를 사용한 혼합물의 피로수명은 유사한 것으로 나타났다.
 5. 추후 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 장기 공용성을 평가하기 위해 포장가속시험 및 현장 시험시공이 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 17TLRP-B079261-04)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Ahmed I. N., Mahmoud K. M., Nicholas T., Tony P. (2016). "Mechanical, durability and microstructure properties of Cold Asphalt Emulsion mixtures with different types of filler." *Construction and Building Materials*, Vol.114, pp.352-363.
- Asphalt Recycling & Reclaiming Association (ARRA) (2015). *Basic Asphalt Recycling Manual(BARM) 2nd Edition*, U.S Department of Transportation, Annapolis, M.D.
- Choi, J. S., Jung, C. H., Lee, C. H., Lim, I. S. (2017). "Study of the curing time of cementless cold central plant recycled asphalt base-layer through field-application review." *Int J. Highw. Eng.*, Vol.19, No. 2, pp.67-74.
- European Asphalt Pavement Association (EAPA) (2014). *Asphalt the 100% Recyclable Construction Product*, EAPA Position Paper, European Asphalt Pavement Association, Brussels, Belgium.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017). *Guidelines for Asphalt Concrete Pavement Construction* (in Korean).
- Ministry of Land Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2012), *Integrated Guidelines for Pavement for Highway Pavement* (in Korean).
- National Asphalt Pavement Association (NAPA) (2014). *Asphalt pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-mix Asphalt Usage:2014, Information Series 138(5th edition)*, NAPA, LanHam, M.D.
- Park, C. K., Kim, K. S., Kim, W. J., Lee, H. J. (2017). "Performance Evaluation of Cold Recycled Asphalt Mixtures with Asphalt Emulsion and Inorganic Additives." *Int J. Highw. Eng.*, Vol.19, No. 2, pp.137-142.
- Tao M., Hao W., Yongli Z., Xiaoming H., Yuhui P. (2015). "Strength Mechanism and Influence Factors for Cold Recycled Asphalt Mixture." *Advances in Materials Science and Engineering*, Hindawi, Vol. 2015, pp.1-10.