

무시멘트 첨가제를 활용한 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 성능 분석

Performance Evaluation of Cold Recycled Asphalt Mixtures with Asphalt Emulsion and Inorganic Additives

박창규	Park, Chang Kyu	정회원 · 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 박사과정 (E-mail : zepyros123@naver.com)
김경수	Kim, kyungsu	정회원 · 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 석사과정 (E-mail : ild@naver.com)
김원재	Kim, Won Jae	정회원 · 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 박사후연구원 (E-mail : mniwj@naver.com)
이현종	Lee, Hyun Jong	정회원 · 세종대학교 공과대학 건설환경공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to evaluate the performance of asphalt mixtures containing inorganic additive and a high content of reclaimed asphalt pavement (RAP).

METHODS : The laboratory tests verified the superior laboratory performance of inorganic additive compared to cement, in cold recycled asphalt mixtures. To investigate the moisture susceptibility of the specimens, tensile strength ratio (TSR) tests were performed. In addition, dynamic modulus test was conducted to evaluate the performance of cold recycled asphalt mixture.

RESULTS : It was determined that NaOH solution mixed with Na_2SiO_3 in the ratio 75:10 provides optimum performance. Compared to Type B and C counterparts, Type A mixtures consisting of an inorganic additive performed better in the Indirect tensile strength test, tensile strength ratio test, and dynamic modulus test.

CONCLUSIONS : The use of inorganic additive enhances the indirect strength and dynamic modulus performance of the asphalt mixture. However, additional experiments are to be conducted to improve the reliability of the result with respect to the effect of inorganic additive.

Keywords

Reclaimed asphalt pavement (RAP), cold recycling, asphalt emulsion, Indirect tensile test, Indirect tensile strength ratio, Dynamic modulus test

Corresponding Author : Lee, Hyun Jong, 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 Mar. 15, 2017 Revised Mar. 31, 2017 Accepted Apr. 03, 2017

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

세계적으로 온실가스 배출 등으로 인한 지구 온난화 현상 등이 발생함에 따라 저탄소 녹색성장(Low Carbon Green Growth)이 전 세계적으로 주요 현안이 되었으며 교토의정서 가입국들은 글로벌 차원의 온

실가스 저감 대책을 마련 및 추진 중이다. 이에 따라 우리나라 전체 온실가스 배출량의 16%를 차지하고 있는 도로분야에서도 저탄소 녹색성장에 일조하기 위하여 지속 가능한 친환경적인 도로포장 기술의 개발이 요구되고 있다(장봉진 등, 2017).

미국, 일본, 유럽 등 해외의 경우 재활용 아스팔트 생

산이 활성화되어 있어 신규 아스팔트의 30~70%를 재활용 아스팔트 혼합물로 대체하고 있는 실정이다(정규동 등, 2015).

국내의 경우 연간 약 2,300만톤의 아스팔트 혼합물이 생산되지만 재활용 아스팔트 혼합물의 생산은 약 187만톤(8.1%)으로 순환골재의 사용량이 미비한 실정이다. 자원의 재활용 문제가 중요해짐에 따라 정부는 2016년 '자원순환기본법'을 제정, 2018년부터 시행됨에 따라 폐기물의 재사용과 재활용을 점차 확대할 예정이고, 2009년 환경부와 국토교통부는 "순환골재 및 순환골재 재활용 제품의 의무사용에 관한 법률"을 개정하여 순차적으로 순환골재 의무사용비율은 점차 증가될 예정이다.

기존 상온 재활용 아스팔트 혼합물은 주로 저렴하고 높은 강도를 발현시킬 수 있는 시멘트를 첨가제로 사용하였지만 시멘트의 생산 및 운반과정에서 다량의 온실가스 발생, 일부 혼합물에서는 다량의 시멘트 사용으로 인한 포장의 조기파손 발생, 시공 후 장기간 양생으로 인한 조기 교통개방 불가능의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 시멘트를 사용하지 않으면서 양생시간 단축, 조기에 고강도를 발현시킬 수 있는 속경화성 무시멘트 첨가제의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 기존의 상온 재활용 아스팔트의 첨가제인 시멘트를 대체하기 위한 무시멘트 첨가제를 개발 및 활용하여 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 성능을 평가하는데 목적이 있다.

1.2. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 상온 재활용 아스팔트 첨가제가 미치는 영향을 분석하기 위해 문헌조사를 실시하였고, 국내외에서 사용하고 있는 상온 재활용 아스팔트 첨가제의 활용 및 적용사례에 대한 내용과 특성을 조사하였다. 실내시험은 소석회(Hydrated lime, HL), 고로슬래그(Blast-Furnace Slag, BFS), 수산화나트륨(NaOH), 수산화칼슘(Ca(OH)₂), 규산나트륨(Na₂SiO₃) 등을 일정 비율로 혼합하여 무시멘트 첨가제의 함량을 결정하였으며, 이러한 무시멘트 첨가제를 사용하여 간접인장강도, 수분 저항성(TSR), 동탄성계수를 측정하여 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 성능을 평가하였다.

2. 기존 연구 및 문헌고찰

2.1. 국내연구

조효진(2016)은 페아스팔트 순환골재, 유화아스팔트

및 산업부산물을 기반으로 개발된 무시멘트 첨가제를 활용하여 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 역학적 특성 및 내구성능 평가를 위한 시험을 진행하였다. 무시멘트와 시멘트 첨가제를 이용하여 마찰안정도, 간접인장강도, 동적안정도 시험을 진행한 결과, 무시멘트와 시멘트 첨가 시 마찰안정도와 간접인장강도 결과는 유사한 것으로 나타났고 동적안정도는 시멘트보다 무시멘트 첨가제를 사용한 시편이 소형변형에 대한 저항성이 더 우수하였다.

이종만(2011)은 페아스팔트 및 페콘크리트 순환골재와 첨가제로 시멘트, 음이온 유화 아스팔트와 아크릴 폴리머를 첨가한 상온 재활용 아스팔트 혼합물을 제작하였다. 실내시험으로는 마찰안정도, 간접인장강도, 회복탄성계수, 수분민감성, 휠트래킹 시험을 진행하였다. 시험 결과는 가열 아스팔트 혼합물보다 마찰안정도와 간접인장강도 결과가 우수한 것으로 나타났지만 회복탄성계수 시험의 경우 저온(5℃)에서는 가열 아스팔트와 큰 차이가 없지만 고온(40℃)에서는 상온 재활용 아스팔트 혼합물이 양호한 결과를 보였다.

2.2. 국외연구

Oruc(2007)은 시멘트 첨가량이 상온 아스팔트 혼합물의 역학적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 시멘트 첨가량이 증가될수록 강성이 증가되고 소성변형에 대한 저항성이 증가되지만 시멘트 함량이 2% 내외일 때에는 일반 아스팔트 혼합물과 역학적 특성이 유사한 것으로 나타났다.

Niazi(2009)는 소석회 슬러리(Hydrated lime slurry, HLS)와 소석회, 시멘트를 상온 아스팔트 혼합물의 첨가제로 사용하여 역학적 특성 시험을 진행하였다. 소석회 슬러리, 소석회, 시멘트를 첨가한 상온 재활용 공시체로 MSR(Marshall Stability Ratio), 수분 저항성(Tensile Strength Ratio, TSR)시험을 수행한 결과, 첨가제를 사용하지 않은 혼합물보다 수분 저항성이 증대되고, 동적크리프 및 휠트래킹 시험 결과, 소성 변형도 감소한다고 하였다.

Shaowen Du(2015)는 고로슬래그와 소석회를 첨가제로 사용하여 시멘트 첨가제와의 역학적 특성 비교 시험을 진행하였다. 실내시험으로는 첨가제의 유무와 비율에 따라 6가지 혼합물에 대하여 시험을 진행하였다. 간접인장강도, 동적안정도, 저온 휨 시험 결과, 전반적으로 시멘트를 첨가한 혼합물의 결과가 소석회만을 첨가한 경우보다 우수하게 나타났으며, 고로슬래그와 소

석회를 함께 사용한 경우 시멘트 2.5%가 첨가한 혼합물의 결과와 유사하게 나타났다.

3. 실내시험

3.1. 배합재료

실내시험에 사용된 순환골재는 충남 대전에 위치한 A사에서 생산된 25~13, 13~8, 8mm이하 골재이며, 신규골재는 충청북도의 석산에서 수집하였다. 골재의 혼합입도는 국토해양부 ‘도로포장 통합지침(2011)’ 중 기층용 BB-3 기준에 따라서 수행하였으며, 실내시험에 사용된 혼합물의 입도는 Fig. 1과 같다.

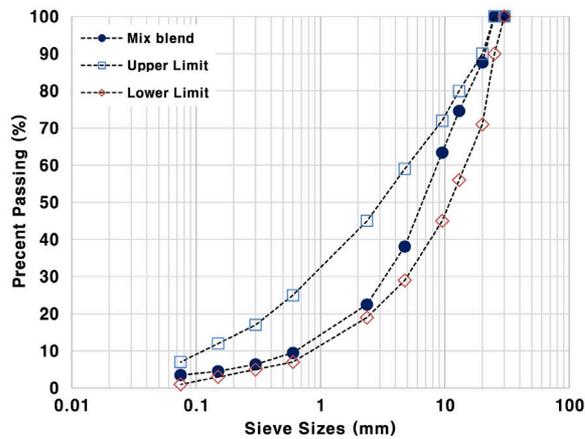


Fig. 1 Gradation Curves of Cold Mix Asphalt Mixtures

본 연구에 사용된 첨가제 중 하나인 고로슬래그는 미분말로 입자표면에 치밀한 불투수성 유리질 피막으로 싸여 있어 고로슬래그의 강도를 발현하기 위해서는 알칼리 혹은 황산염 계열의 활성화제를 함께 사용해야 되기 때문에 분말형의 수산화나트륨, 수산화칼슘, 규산나트륨을 사용하였다. 또한 소석회 1%, 고로슬래그와 활성화제 2%를 적정 비율로 혼합하여 투입하였다.

본 연구에서는 첨가제의 공용성을 평가하기 위하여 포틀랜드 시멘트를 사용한 혼합물도 함께 제작하였다. 실내시험에 사용된 개질 유화아스팔트는 한국건설기술연구원에서 개발한 개질 유화아스팔트 CSS-1hp를 사용하였다.

3.2. 첨가제 최적 비율 및 양생방법 결정

상온 재활용 아스팔트 혼합물 첨가제의 최적 혼합비율 및 강도발현 특성을 파악하기 위하여 Table 1과 같이 순환골재와 신규골재, 소석회, 유화아스팔트, 물의 비율을 고정하고 첨가제의 혼합비율을 변수로 두고 소

성변형과 균열발생 가능성을 평가할 수 있는 간접인장강도 시험을 수행하여 아스팔트 혼합물의 성능을 평가하였다. Table 2와 같이 첨가제를 구성하는 활성화제의 비율을 달리하여 총 4종의 첨가제 배합비를 적용한 시편의 간접인장강도 시험 후 간접인장강도와 터프니스 결과를 토대로 첨가제의 적정 혼합비율을 결정하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 간접인장강도와 터프니스 결과이다.

Table 1. Details of Cold Recycling Asphalt Mix Design

RAP (%)	Aggregate (%)	Additive (%)		Asphalt emulsion (%)	Water (%)
		Inorganic	H.L		
74.4	15.81	1.86	0.93	4	3

Table 2. Details of Additive Mixes

Additives	H.L (%)	Component ratio (%)			
		BFS	NaOH	Ca(OH) ₂	Na ₂ SiO ₃
1	1.0	92.17	6.96	-	0.92
2	1.0	71.43	-	7.14	21.43
3	1.0	71.43	-	21.43	7.14
4	1.0	83.33	-	12.50	4.17

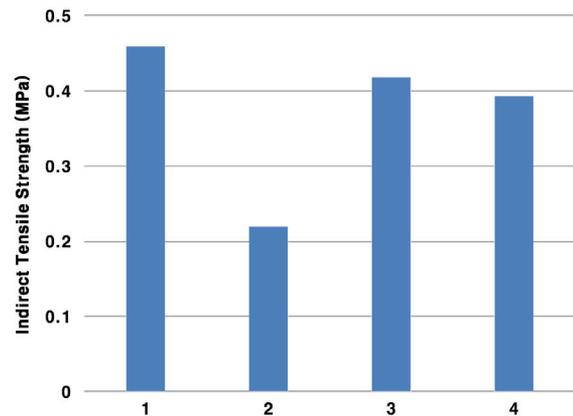


Fig. 2 Result of Indirect Tensile Test

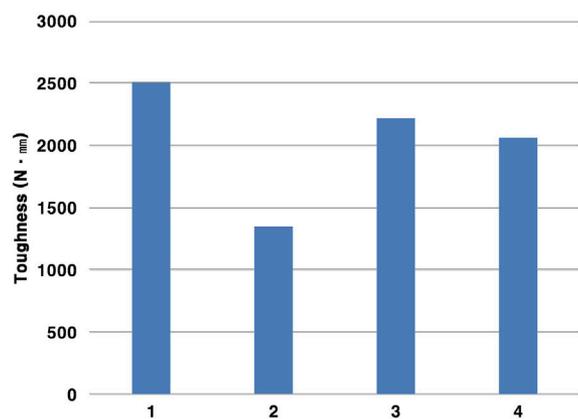


Fig. 3 Toughness Comparison at Inorganic Additive

상은 재활용 아스팔트 혼합물의 첨가제는 혼합비율에 따라 간접인장강도와 터프니스 결과의 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 총 4종의 첨가제 혼합비율 중 첨가제 1은 수산화나트륨으로 인하여 고로슬래그와의 유도기가 없어 수화반응이 급격히 일어나기 때문에 혼합물의 조기강도 발현에 유리하여 첨가제 1이 적정한 것으로 판단된다.

상은 재활용 아스팔트 혼합물 양생 방법은 국토해양부 '도로포장 통합지침(2011)'에 명시된 배합설계 지침과 Dina Kuttah(2014)와 Niazi(2009)의 국외 논문을 참고하였으며 Table 3과 같다.

본 연구에서 결정된 양생방법은 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 시편을 제작 후 몰드내 상온에서 24시간, 탈형 후 시편을 38℃에서 24시간, 상온에서 120시간을 양생하여 실내시험을 진행하였다.

Table 3. Details of Laboratory Curing Procedures

References	Curing procedure
MLTM (2011)	<ol style="list-style-type: none"> 1. After compaction, The specimens were stored at room temperature for 3 days without removing form of the compaction molds 2. Specimens were then extruded out of the compaction molds and where let to sit at room temperature for 4 days
Dina Kuttah (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • 7 days at 40℃ • 4 days at 60℃
Niazi (2009)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Specimens were stored inside the oven at 40℃ for 24 hours without removing form of the compaction molds 2. After 24 hours, specimens were stored at room temperature for 24 hours, still in the compaction molds 3. Specimens were extruded out of the compaction molds and where let to sit at room temperature for 5 days

3.3. 시험방법

개발된 첨가제와 혼합된 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 공용성을 평가하기 위해 간접인장강도, TSR, 동탄성계수 시험을 수행하였다.

실내시험에 적용한 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 첨가제는 Table 4와 같고 혼합물 제작 시 재활용 아스팔트 골재(RAP), 신골재, 첨가제 및 개질 유화 아스팔트의 혼합비율은 Table 5와 같은 배합비로 혼합물을 제작하여 실내시험을 진행하였다.

Table 4. Details of Additive

Name	Additive		
	Filler	Inorganic	Activator
A	Hydrated lime	BFS	NaOH Na ₂ SiO ₃
B		Portland cement	-
C	Lime		

Table 5. Mix Proportion

Name	RAP (%)	Aggregate (%)	Additive (%)	Asphalt emulsion (%)	Water (%)
MIX-A	74.4	15.81	A	4	3
MIX-B	74.4	15.81	B		
MIX-C	74.4	15.81	C	2	5

간접인장강도 시험은 KS F 2382(아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험방법)에 따라 실내시험을 실시하였으며, KS F 2398(아스팔트 혼합물의 수분 저항성 시험 방법)의 규정에 따라 TSR 시험을 수행하였다. 동탄성계수 시험은 선회다짐기를 사용하여 시편을 제작하였고 간접인장방식을 적용하여 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 동탄성계수를 측정하였다. 시험조건은 온도는 -10, 5, 20, 40, 54℃이며, 하중주기는 25, 10, 5, 1, 0.5, 0.1Hz에서 수행하였다.

4. 시험 결과

4.1. 간접인장강도

3가지 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 간접인장강도를 측정된 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 A 혼합물을 사용한 경우가 우수한 간접인장강도 결과를 보였으며, C 혼합물은 A 혼합물에 비해 약 0.2MPa 낮게 측정되었다.

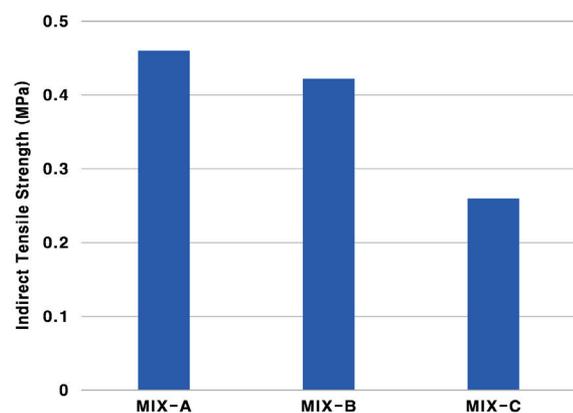


Fig. 4 Result of Indirect Tensile Strength Test

4.2. 수분 저항성(TSR)

기층용 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 수분 저항성 기준은 국내지침에 명시되어 있지 않지만 일반 가열 아스팔트 혼합물에 비하여 낮은 강도 및 점착력을 발현하는 것으로 알려져 있다. 기층용 상온 재활용 아스팔트 혼합물에 수분침투로 인한 수분손상이 발생할 경우 도로포장의 공용수명은 급격히 감소하기 때문에 본 연구에서는 수분 저항성 시험을 실시하였다. 3가지 종류의 혼합물에 대한 시편을 제작하여 KS F 2398의 절차에 따라 60℃에서 24시간, 25℃에서 2시간 동안 수침시킨 시편(Wet)과 건조상태의 시편(Dry)으로 간접인장강도를 측정하여 TSR을 평가하였다.

상온 재활용 아스팔트는 혼합 시 물을 사용하고 양생 중 수분이 증발하면서 발생하는 공극으로 인하여 KS에 명시된 공극율(7±0.5%)을 맞추어 진행하기에는 어려움이 있어 공극율 10±1%가 되는 시편을 이용하여 수침상태의 시편과 건조상태의 시편으로 간접인장강도를 측정하여 TSR을 평가하였다. Table 6은 3가지 혼합물에 대한 Dry와 Wet 시편의 간접인장강도와 TSR 결과값을 보여준다.

Table 6. Result of Tensile Strength Ratio

Mix	Indirect tensile strength (MPa)		TSR
	Dry	Wet	
MIX-A	0.460	0.293	0.64
MIX-B	0.415	0.323	0.78
MIX-C	0.260	0.215	0.83

GR F 4026(순환 상온 아스팔트 콘크리트)에 따르면 TSR은 0.75 이상(표층용 밀입도 기준)을 만족해야 하지만 기층 혼합물에 대한 규정은 없기 때문에 표층용 TSR 기준을 적용하였다. Table 6에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제작된 3가지 혼합물 중 시멘트가 첨가된 B와 C 혼합물은 TSR 기준을 만족하였지만 시멘트가 첨가되지 않은 A 혼합물의 경우 기준을 만족시키지 못하였다.

4.3. 동탄성계수

동탄성계수 시험방법과 조건은 AASHTO T342-1에 따라 수행하였다. 하지만 AASHTO 시험법에 명시된 하중 재하 횟수를 적용할 경우 시편에 손상을 줄 수 있을 것으로 판단하여 AASHTO에서 제시한 하중 재하 횟수를 감소시켜 시험에 적용하였다.

혼합물 C의 경우 시편 성형 과정에서 시편의 골재가 탈리되고 표면이 매끄럽지 않아 게이지 포인트 부착이 불가하여 동탄성계수 시험을 진행하지 못하여, A와 B 혼합물만 시험을 진행하였다. Fig. 5는 PG 64-22 아스팔트 바인더를 사용한 일반 기층용 BB-3 아스팔트 혼합물에 대한 동탄성계수를 추가하여 비교·분석하였다. A 혼합물의 경우 B 혼합물에 비하여 향상된 동탄성계수 결과를 보이며 일반 기층용 BB-3 아스팔트 혼합물 대비 온도 20℃, 하중속도 10Hz에서 약 60% 수준을 보인다.

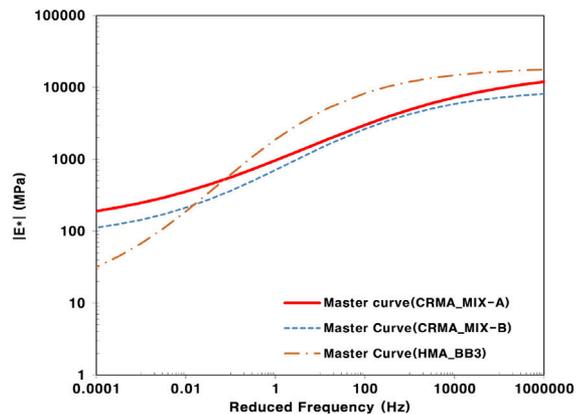


Fig. 5 Dynamic Modulus Master-curve for HMA and CRMA

4.4. 양생방법에 따른 강도변화

상온 재활용 아스팔트 혼합물의 양생방법은 국토해양부 '도로포장 통합지침(2011)'에 제시된 중교통량 양생방법을 수정하여 적용하였다. 기존 양생방법은 기간이 7일로 장시간 양생하는 단점이 있어 이를 개선하기 위해 미국 ARRA의 'Basic Asphalt Recycling Manual'을 참고하여 양생시간과 온도를 변경하였다. 변경된 양생시간은 총 72시간으로 몰드내 60℃에서 24시간, 탈형 후 60℃에서 24시간, 상온에서 24시간이다. 변경된 양생시간을 적용하여 시편을 제작하고 간접인장강도 시험을 수행하였다. Table 7은 양생 방법에 따른 간접인장강도 결과이며, 기존보다 양생시간은 감소하였지만 간접인장강도는 증가하는 것으로 나타났다.

Table 7. Result of Indirect Tensile Strength Test (Curing Period)

Curing period	Indirect tensile strength (MPa)
7days	0.419
3days	0.502

5. 결론

본 연구에서는 일반적으로 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 첨가제로 사용되는 시멘트를 대체하기 위하여 고로슬래그를 활용한 무시멘트 첨가제를 사용하였다.

상온 재활용 아스팔트의 무시멘트 첨가제의 최적 배합 비율을 결정하기 위하여 고로슬래그와 활성화제의 혼합 비율에 따른 간접인장강도, 터프니스 결과를 분석하였다. 결정된 고로슬래그와 활성화제의 최적비율을 적용한 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 공용성을 평가하기 위하여 간접인장강도, 수분 저항성, 동탄성계수 시험을 진행하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 고로슬래그와 활성화제 혼합비율을 변화하여 실내시험을 진행한 결과, 수산화칼슘보다 수산화나트륨을 활성화제로 사용하였을 때 시편의 간접인장강도가 높은 것으로 나타났다. 하지만 수산화나트륨은 대기 중에 장기간 노출 시 활성화제 기능이 저하되는 단점이 있어 추가적인 활성화제 개선 연구가 필요할 것으로 판단된다.
2. 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험 결과, 무시멘트 첨가제를 사용한 A 혼합물의 간접인장강도 값은 시멘트 첨가제를 사용한 B, C 혼합물보다 107% 우수한 결과가 나타났다.
3. 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 수분 저항성 측정 결과, B, C 혼합물은 상온 재활용 아스팔트 혼합물 기준인 0.75를 만족하여 수분에 대한 저항성이 우수한 것으로 측정되었다. 추후 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 수분저항성 실험을 위한 공극률 기준 개선 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.
4. A 혼합물은 일반 기층용 아스팔트(BB-3)에 비해 동탄성계수가 약 60% 수준인 것으로 분석되었으며, 하중주기가 낮은 경우(고온에 해당)에는 상온 재활용 아스팔트가 일반 가열 아스팔트에 비해 향상된 값을 보였다.
5. 국토해양부 도로포장 통합지침(2011)에서 제시된 상온 재활용 아스팔트 혼합물의 양생시간은 장시간 소요되어 미국 ARRA의 양생방법을 참고하여 개선하여 적용하였다. 그 결과 양생시간은 단축하였고 간접인장강도는 증가되었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/교통물류연구개발사업의 연구비지원(과제번호 16TLRP-B079261-03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- AASHTO T342-11 (2011), "Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA)", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- An, J. H., Jeon, S. S., Kwon, S. A. (2015) "Fundamental Study of Alkali-Activated Concrete Properties based on Modified Slag". International Journal of Highway Engineering, Vol. 17. No.2, pp.1-11.
- ASTM Standard D6931 (2012), "Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures" ASTM International, West Conshohoken, PA.
- Cho, H, J. (2016) "An Experimental Study on Properties of Recycled Cold Asphalt Paving Mixtures with Non-Cement and Recycled Aggregates", Thesis of Master Degree, Chungnam National University.
- Dina Kuttah(2014) "Cold Recycling of Asphalt at a central plant". Swedish National Road and Transport Research Institute report, 32A-2014.
- Jang, B. J., Kim, S. W., Song, J. H., Park, H. M., Ju, M. K., Park, C. W., (2013) "Fundamental Characteristics of Carbon-Capturing and Sequestering Activated Blast-Furnace Slag Mortar", International Journal of Highway Engineering, Vol. 17. No.6, pp.95-103.
- Jeong. K. D., Lee. M. S.(2015) "Current State Methodology of Improving Specification of Recycled Asphalt Concrete", Magazine of Recycled Construction Resoure, Vol. 10. No.4, pp.44-49.
- Lee, J. M. (2015) "A Study on Emulsified Asphalt Base Course with Recycled Aggregates and Polymer Admixture", Thesis of Doctor Degree, Kyonggi University.
- MLTM(Ministry of Land Transport and Maritime Affairs) (2012), Integrated Guidelines for Pavement for Highway Pavement, MLTM, Sejong-si (In Korea).
- Seref Oruc, Fazil Celik, M. Vefa Akpinar (2007) "Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 16. Issue 5, pp.578-583.
- Shaowen Du (2015) "Performance Characteristic of Cold Recycled Mixture with Asphalt Emulsion and Chemical Additives", Advances in Materials Science and Engineering, Vol 2015, Article ID 271596, 8 pages.
- Y. Niazi, M. Jalili (2008) "Effect of Portland Cement and lime additives on properties of cold in-place recycled mixtures with asphalt emulsion", Construction and Building Materials, Vol. 23. Issue 3, pp.1338-1348.
- Yoo, J. H., Kawk, G. B., Kim, D. S. (2015) "Performance Evaluation of Carbon-Reducing Soil Pavement using Inorganic Binder". International Journal of Highway Engineering, Vol. 17. No.6, pp.19-26.