JOURNAL of the Korean Asphalt Institute Vol. 9, No. 2, 131-144, 2019
https://doi.org/10.22702/jkai.2019.9.2.008

pISSN: 2234-0785
eISSN: 2635-9553

Technical Note

중온아스팔트의 적용현황 및 고려사항에 관한 조사연구

조상갑[1]* · 박태순[2]
[1]서울과학기술대학교 건설시스템공학과 박사과정, [2]서울과학기술대학교 건설시스템공학과 교수

A Research on the application status and considerations of warm mix asphalt

Sang Gab Cho[1]* and Tae Soon Park[2]
[1]PhD Student, Seoul National University of Science & Technology Department of Civil Engineering
[2]Professor, Seoul National University of Science & Technology Department of Civil Engineering

***Corresponding author:** Tel. +82-2-3499-2099, E-mail. dominator83@naver.com

Received: December 10, 2019; **Revised:** December 26, 2019; **Accepted:** December 30, 2019

ABSTRACT

This paper provides an extensive literature review especially on Warm Mix Asphalt (WMA) technology. A wide considerations of construction example, current issues and future research topics on WMA were performed. It is well known that WMA is an environment friendly, next generation asphalt pavement technology. However, due to lack of long-term performance evaluation and corresponding results, more prudent consideration on applying WMA on asphalt pavement field is needed. In addition, more extensive studies on gas ventilation system development, evaluation during WMA production and optimized additives development with application process are crucially recommended. Based on this paper, readers can understand advantages, disadvantages and challenges on WMA well in many specialized areas.

Keywords: Warm Mix Asphalt (WMA), Long-term performance, Additives, Gas, Recycle

1. 서 론

중온 아스팔트 콘크리트 포장은 가열 아스팔트 콘크리트 포장 이상의 품질을 유지하면서, 가열 아스팔트 콘크리트 포장에 비하여 생산 및 시공 온도가 약 30°C 낮게 생산된 저에너지 소비형 도로포장 기술로서, 중온화 첨가제 또는 중온화 아스팔트를 혼합하여 생산한 중온 아스팔트 혼합물을 사용하여 시공한 것을 말한다. 중온아스팔트는 생산과 포장의 시공 온도를 약 25% 낮추고, 아스팔트 혼합물 생산 중 석유계 연료 약 30% 저감, 조기 교통 개방, 유해 증

© 2019 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.

기나 분진 미발생 등의 특징을 갖고 있다. 성능 및 장기 공용성 측면에서 많은 연구가 이루어져있고 미래지향형 공법으로 분류되고 있으나, 본 조사연구를 진행하면서 추가적으로 고려되어야할 사항들에 대해 고찰하여 제시하였다.

중온아스팔트의 장기공용성 검증을 위해 Monitoring하고 새로운 첨가제를 지속적으로 개발하고 있으나, 아직 국내 도입된 기간이 짧아, 기존도로와 같이 장기적인 공용성에 대한 검증기간이 짧았다.

재생골재에 첨가제를 이용하여 중온 재생아스팔트를 생산하는 연구는 지속되고 있으나, 중온 아스팔트를 재활용하는 연구는 아직 미비한 실정이다. 첨가제가 재활용에 어떤 영향을 끼칠지에 대한 연구도 필요하다. 그리고 중온아스팔트 생산시 발생하는 유해가스 측정은 생산플랜트의 상부에서 측정되고 있으나, 이산화탄소 등 배출가스는 공기보다 무겁고, 날씨나 습도에 대한 영향을 많이 받을 수 있다. 현장 시공 시 날씨, 습도 등 환경요인에 대한 보정 기준을 추가적으로 연구할 필요가 있어 보인다.

본 연구에서는 중온아스팔트의 국내 적용현황 및 향후 전반적 발전을 위한 고려사항에 대하여 정리하였다.

2. 중온아스팔트의 적용현황

2.1 중온아스팔트의 정의 및 효과

중온아스팔트 포장은 가열 아스팔트 포장과 동일한 내구성 및 품질을 가지면서, 기존 보다 생산 및 포장 온도가 30~50°C 낮은 온도로 시공하는 저에너지 소비형 도로 포장 기술이다. 현재 대부분의 도로포장은 160~170°C 고온의 가열 아스팔트 혼합물을 생산하여 시공 하지만, 중온아스팔트 포장은 110~135°C 정도의 온도에서 아스팔트 혼합물을 생산하여 시공한다. 이 기술은 아스팔트가 쉽게 연해지는 개질첨가제를 사용하거나, 화학 개질재 또는 수분을 사용하여 아스팔트에 거품을 만들어 중온에서도 골재와 쉽게 혼합할 수 있는 것이 특징이다. 중온아스팔트 포장공법은 기존 가열방법에 비해 골재 및 아스팔트의 가열에 소모되는 에너지가 절감되고, 생산 및 시공 중에 유해가스 배출량이 감소되는 등 가열 아스팔트 포장과 비교하여 다음과 같은 효과가 있다(Jung et al., 2008).

① 아스팔트 혼합물의 생산과 포장의 시공 온도를 약 25% 낮춤
② 생산 및 시공과정에서 대기 중에 방출되는 카본 다이옥사이드 가스의 방지와 유해 가스 억제(온도가 10°C 씩 저하되면 유해가스 배출량 절반 감소)
③ 아스팔트 혼합물 생산 중 석유계 연료 약 30% 저감
④ 시공 후 양생시간 감소에 따른 빠른 교통 개방
⑤ 시공 현장에서 유해 증기나 분진이 발생하지 않으므로, 작업자 안전 확보
⑥ 공용온도에서 가열 아스팔트 포장과 비슷한 강도 특성 확보

2.2 중온아스팔트의 국내 적용

중온아스팔트 포장 기술을 2008년 10월 국내 최초로 적용한 결과 Fig. 1과 같이 가열 아스팔트 혼합물은 유해

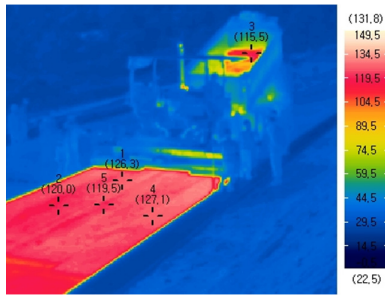
가스가 발생하였으나 중온아스팔트 포장시에 유해 연무의 발생이 없는 것으로 나타났다.

Fig. 1. Hazardous Gas Generation During Production and Construction of WMA

Production temperature

Temperature at pavement

Temperature just after Pavement



Thermal image temperature

Fig. 2 Temperature Measurement During Production and Construction of WMA

아스콘의 생산온도는 Fig. 2와 같이 가열 아스팔트 포장에 비해 약 30°C 이상 낮은 130°C 정도였다. 그리고 포설온도는 120°C, 포설직후 온도는 110°C로써 포설 및 다짐 온도도 기존 기술에 비해 30°C 정도 낮았으며, 포설 전폭에 대해 균일한 포설온도를 유지하였다.

아스콘 생산 중에 벙커-C유는 약 32.3% 절감하였으며, 이산화탄소 88.1%, 먼지 39.5%, 질소산화물 33.3%, 황산화물 23.8% 및 일산화탄소 18.3%를 저감한 효과가 측정되었다(Table 1).

Table 1. Comparison of Fuel and Hazardous Gases in Asphalt Mixture Production

Division	Fuel (L/ton)	Dust and harmful gases				
		CO_2 (%)	Dust (mg)	Nitrogen oxide NoX (ppm)	Sulfur oxide SoX (ppm)	CO (ppm)
HMA	9.3	16	11.4	30	210	1040
WMA	6.3	1.9	6.9	20	160	850
Savings	32.3%	88.1%	39.5%	33.3%	23.8%	18.3%

*Carbon dioxide is measured when applying the Country road test pavement for Wonju Regional Construction Management Administration

포장 완료 후 포장의 코어를 채취하여 다짐밀도를 측정한 결과 가열 아스팔트 포장과 중온아스팔트 포장의 결과가 비슷하였다. 중온아스팔트 혼합물의 성능 특성은 중온첨가제 PG 70-22 제품의 경우 기존 가열 아스팔트 혼합물과 비교하여 동적안정도가 약 5배 증가하고, 수분저항성(TSR)은 약 1.4배 증가하여 소성변형과 수분에 대한 저항성 등의 특성이 우수한 것으로 나타났다(Table 2).

Table 2. Mixture Performance Characteristics (PG 70-22) of WMA

Division	Production temperature	Porosity (%)	Dynamic stability (count/mm)	Water resistance (TSR, %)	Recovery modulus (MR, GPa)
WMA	130°C	4%	2,480	81%	3.18
HMA	160°C	4%	500	60%	1.08
Improvement rate	30°C Reduction		5 times	1.4 times	3 times

그리고 중온아스팔트 혼합물의 단가는 중온첨가제를 3% 사용하였을 때 가열 아스팔트 혼합물 보다 약 1.7% 가격이 상승하였으나, 향후 기술 개발로 중온첨가제를 2% 사용할 경우 가열 아스팔트 혼합물과 단가가 비슷(45원/톤 절감)한 것으로 나타났다.

중온아스팔트 포장은 기존 아스팔트 포장 기술을 효과적으로 대체할 수 있는 기술이다. 즉, 기존의 생산 장비, 시공 장비를 그대로 사용하고, 비용의 상승도 크지 않으면서 에너지 절감, 유해 가스 배출 감소 등의 효과를 얻을 수 있는 고유가를 대비한 친환경 기술이다. 특히, 생산 및 시공 중에 인체에 해로운 가스의 발생을 줄이고, 양생시간을 감소시킬 수 있으므로 현장 적용 효과도 매우 높은 것으로 파악된다. 2006년부터 국내에서 기술의 개발이

시작되고, 현재 시험포장을 실시하여 국내에서도 중온기술 활용을 위한 기반을 조정한 상태이다. 따라서 초기 시장인 중온포장 기술의 국제적인 추세를 주도하고 앞서나가기 위해서는 이후 수행되는 기술 및 정책 연구를 통해 첨단 기술을 개발할 뿐만 아니라 현장에서 폭넓게 활용되어서 연구에 피드백 되어야 할 것이다. 또한 이러한 기술 개발을 통해 국내 산업 전반의 중온기술의 개발 및 발전에 기여할 것을 기대한다.

3. 중온아스팔트의 고려사항

3.1 장기 공용성(Long-Term Performance) 검증 기간 부족

교토의정서 이후 국내에서도 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 중온아스팔트에 많은 관심이 주목되고 있으며, 국내에서도 중온아스팔트기술 개발하고 실용화를 위해 노력하고 있다.

유럽에서는 1996년부터 친환경 건설 공법으로서 Warm Mix Asphalt(WMA) 포장 기술이 소개되어 국제적으로 가장 우수한 기술 수준을 보유하고 있으며, 20년 이상의 적용 성과를 통해 우수한 장기 공용성 확인되고 있다. 미국은 2002년 유럽으로부터 본격적인 기술 도입을 추진하여 WMA 포장 공법의 시험적용과 공용성 검증을 활발하게 추진 중이다. 이에 반해 우리나라는 친환경 중온아스팔트 포장 기술에 대한 도입 및 기술 개발이 선진국과는 약 15년의 기술격차를 보이고 있어 국가 주도형 연구뿐만 아니라 민간차원에서도 적극적인 연구가 요구되고 있다.

최근 친환경 녹색성장 정책에 의해 많은 사람들이 친환경 중온아스팔트 콘크리트 포장에 관심을 가지고 있으며, 국내 아스팔트 포장 회사에서도 해외 중온형 첨가제를 수입하고 있는 실정이다. 이에 따라, 친환경 중온아스팔트 콘크리트 포장의 국내 개발로 인하여, 중온아스팔트 콘크리트 포장 시공 구간이 점차 많아질것이라 사료된다. 이미 국내에서도 중온아스팔트 콘크리트 포장의 공용성 평가가 수행되어지고 있지만 국내 도입 시기가 늦어 10~20년 이상의 장기 공용성 검증은 아직 이뤄지지 않고 있는 실정이다.

이에 따라, 중온 아스팔트 콘크리트 포장의 장기 공용성 검증이 요구되어 지고 있으며, 국내에서도 중온 아스팔트 혼합물에 대한 공용성검증을 위한 움직임이 점차 활발해지고 있다.

건설기술연구원은 중온화 첨가제에 대한 실내 공용성 평가를 위해 개발 첨가제 총 5종에 대하여 수분민감도, 동탄성계수, 소성변형 저항성 및 피로균열 저항성에 대한 실험을 수행하였다. 각 개발된 중온화 첨가제를 혼입한 아스팔트 혼합물 별 선형 점탄성 특성(linear viscoelastic property)을 평가하기 위해 동탄성계수 시험(Dynamic Modulus Test)을 수행하였으며 소성변형 저항성 평가를 위해 삼축압축 소성변형 저항성 시험(triaxial repeated load permanent deformation)을 수행하였다. 또한 각 혼합물의 피로 균열 특성을 평가하기 위해 일축반복하중 피로시험(cycle fatigue test)을 수행하였으며 수분에 대한 저항성을 평가하기 위해 인장강도 비(tensile strength ratio) 시험을 수행하였다. Table 3과 Fig. 3은 실내 공용성 평가 항목과 평가 분석을 위한 역학적 특성 시험을 나타낸다.

Table 3. Indoor Commonness Evaluation Items and Mechanical Properties

Division	Testing Method	Mechanical Properties	Testing Temperature	Note
Water resistance	ASHTO T 283 KS F 2398	TSR, %	25°C	
Linear viscoelastic properties	ASHTO TP 62 KS F 2485	Dynamic modulus $\|E^*\|$	5, 20, 40, 54°C	
Plastic deformation resistance	ASHTO TP 79-11	ϵ_p & ϵ_r	54,40°C	See NCHRP Report 465
Fatigue crack reduction	-	N_f, stiffness	19°C	Under US AASHTO standard certification evaluation

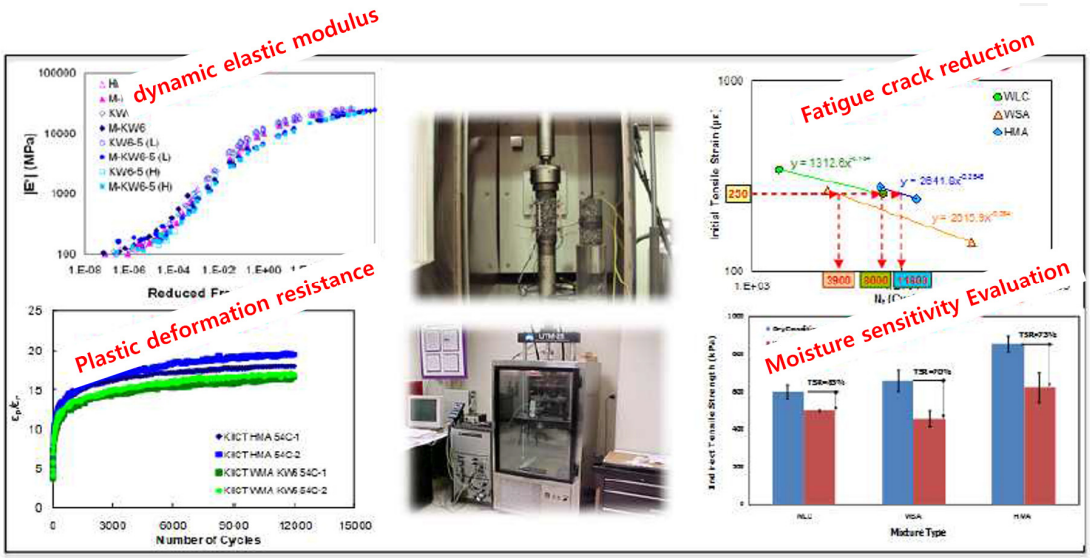


Fig. 3. Indoor Commonness Evaluation Items and Mechanical Properties

중온화 첨가제 국내 실용화를 위하여 수차례 시험 포장을 실시하였으며 이에 따른 현장 공용성 평가를 수행하였다. Fig. 4은 국내 적용된 시험 포장 구간을 나타내며 Table 4은 현장 시험포장에 대한 개요 및 현황을 나타낸다. 그림과 표에서와 같이 국내에 적용된 시험 포장구간은 1) 고속국도(1건), 2) 일반국도(7건)으로 진행되었으며 신설구간의 본 포장구간은 일반국도(1건), 유지보수도로 포장 구간은 시범사업을 포함하여 총 7가지 구간에 대하여 시험 포장을 수행하였다.

Table 4. Status and Overview of Test Pavement Section

Division	Section	Status
National Road Primary Test Pavement (2008. 10)	Shinnyeong-Kono (Line 28)	- Owner : Busan Regional Construction and Management Administration - Contractor : Daewoo E&C - Additive : 2 Type - Formation : Intermediate layer, HMA(120m), WMA(240m)
National Road Secondary Test Pavement (2009. 04)	Moorung-Sabuk (Line 38)	- Owner : Wonju Regional Construction and Management Administration - Contractor : Limkwang E&C - Additive : 2 Type - Formation : Surface layer, HMA(200m), WMA(400m)
National Highway 3rd, 4th Test Pavement (2009. 10~11)	Hyunri-Shinpal (Line 37)	- Owner : Seoul Regional Construction and Management Administration - Contractor : Kumkwang E&C - Additive : 3 Type - Formation : Intermediate layer, HMA(380m), WMA(540m)
National Highway 5th Test Pavement (2010. 06)	Jincheon-Gumwang (Line 21)	- Owner : Daejon Regional Construction and Management Administration - Contractor : Ilsung E&C - Additive : 3 Type - Formation : Intermediate layer, HMA(300m), WMA(900m)
National Road 6th Test Pavement (2010. 10)	IYANG-Neungju (Line 29)	- Owner : Iksan Regional Construction and Management Administration - Contractor : KOLON E&C - Additive : 3 Type - Formation : Surface layer, HMA(200m), WMA(900m)
Highway Test Pavement (2010. 11)	Yeongdong Expressway	- Owner : The Korea Expressway Corporation - Contractor : Hyundai E&C - Additive : 1 Type - Formation : Base course, HMA(300m), WMA(300m)
National Road 7th Test Pavement (2011. 09)	Waegwan-Sukjeok (Line 68)	- Owner : Pusan Regional Construction and Management Administration - Contractor : KyeRyong Construction Industrial - Additive : 3 Type - Formation : Intermediate layer, HMA(300m), WMA(900m)
National Road Main Pavement (2012. 06)	Janggye-Anui (Line 26)	- Owner : Iksan Regional Construction and Management Administration - Contractor : Samsung Remicon - Additive : 1 Type - Formation : Surface layer, WMA(8,800m)
1st National Road Pilot Project (2013. 05)	Buan-Kimje (Line 23)	- Owner : Jeonju National Highway Maintenance Office - Additive : 1 Type - Formation : Surface layer, WMA(6,600m)
2nd National Road Pilot Project (2013. 09)	Jincheon-Gumwang (Line 21)	- Owner : Yesan Regional Management Office - Additive : 1 Type - Formation : Surface layer, WMA(3,550m)
3rd National Road Pilot Project (2013. 11)	Line 6	- Owner : Uijeongbu Regional Construction Management Office - Additive : 1 Type - Formation : Surface layer, WMA(4,224m)
4th National Road Pilot Project (2013. 12)	Line 46	- Owner : Hongcheon National Territory Management Office - Additive : 1 Type - Formation : Surface layer, WMA(4,833m)

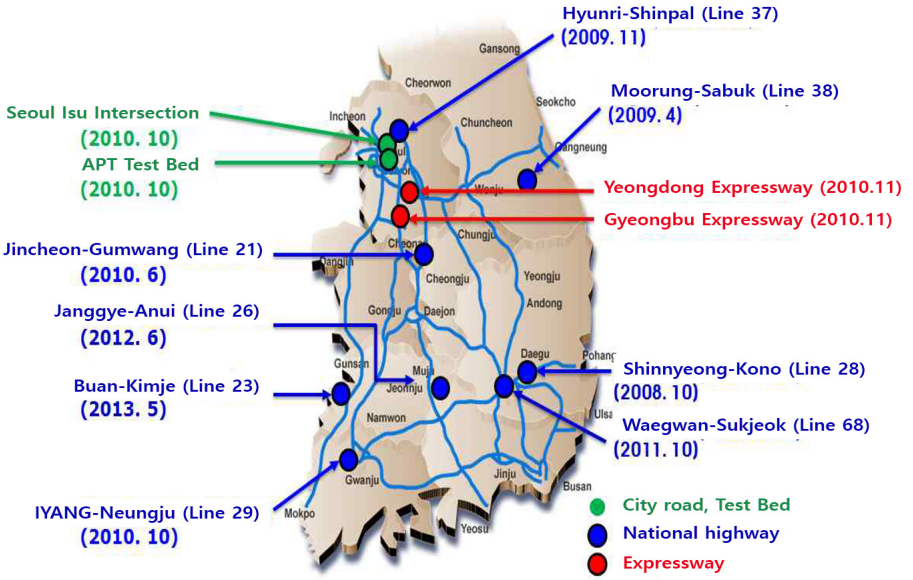


Fig. 4. Domestic Test Construction Application Status

Fig. 5. Pavement Evaluation Surveyor

시험 포장 구간에 대한 모니터링과 현장 노면 조사 차량인 PES(Pavement Evaluation Surveyor, Fig. 5) 장비 및 육안 조사를 통한 추적조사를 수행하였고, 중온 아스팔트 시험포장 구간의 노면상태를 조사한 후 평탄성, 균열률, 소성변형에 대한 측정값을 분석중이다.

그 외에도 계면 활성제, 증류수 및 식물성 팜유가 혼입되어 형성된 것을 특징으로 하는 중온 아스팔트 첨가제 개발 및 이를 이용한 중온 아스팔트 도로의 시공방법을 제시함으로써, 경제적이고 친환경적이며, 시공이 용이하고 공용성을 향상시킴과 아울러, 도로의 장기적 수명을 확보하는 등 지속적인 연구 개발이 이루어지고 있다.

이와 같이 중온 아스팔트 공법의 확대를 위한 많은 노력이 있음에도, 장기 공용성에 대하여 확신을 갖기에는 국내 도입된 시기가 짧아 향후 몇 년간의 추가적인 검증은 필요할 것으로 생각된다.

3.2 중온아스팔트의 재활용 가능여부 미검증

지구 온난화, 에너지 가격 상승, 온실가스 감축, 그리고 다양한 환경규제 때문에 세계적으로도 중온 아스팔트에 관한 관심은 높아지고 있고, 전 세계적으로 재활용 아스팔트 혼합물에 중온화 첨가제를 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 재생아스팔트 20%와 30%, 준고온 아스팔트 첨가제(Sasobit, Evotherm), 그리고 LD(low-density polyethylene)을 복합적으로 사용한 준고온 재생 아스팔트 혼합물의 성능을 평가하였다. 변형강도는 재생 혼합물이 신규 혼합물보다 큰 값을 나타내었고, 재생 혼합물간에서는 재생아스팔트 20%보다 30%가 더 큰 값을 보여주었다. 간접인장강도(ITS)도 변형강도 결과와 비슷한 경향을 보여주었으며, LD 첨가 시 대부분의 혼합물에서 향상된 성능을 보여주었다. 수분민감성 시험에서도 준고온 재생 아스팔트 혼합물이 신규 아스팔트 혼합물보다 높은 TSR 값을 보여주었다(Kim et al., 2010).

중온 아스팔트의 배합설계에 RAP을 사용한 배합설계를 포함하는 AASHTO R35 초안인“Special Mixture Design Considerations and Methods for Warm Mix Asphalt(WMA)”개발에 관한 연구를 수행하였다. 중온 아스팔트 혼합물의 양생시간에 따른 성능변화 결과로 인하여 단기노화와 양생시간 모두를 만족하는 시간으로 2시간 오븐가열을 제안하였으며, 기본적으로 가열 아스팔트와 중온 아스팔트의 부피특성은 매우 유사한 것으로 나타났다. 피로균열 저항성도 매우 유사한 것으로 평가되었다(Ramon, 2011).

중온아스팔트 첨가제 Sasobit, RAP(50%, 100%), RAS, 그리고 Bioasphalt를 적용한 재료의 저온 특성을 평가하기 위해 BBR과 ABCD(Asphalt Binder Cracking Device)를 사용한 연구를 수행하였다. Sasobit 중온화 첨가제를 적용할 때 적정량 이상을 사용하면 저온물성을 저하시키는 것으로 나타났다.

RAP 50%를 사용한 아스팔트 바인더의 BBR 시험결과는 Superpave 기준을 만족하지 못하였으며, Bioasphalt는 아스팔트의 저온물성 개선에 효과를 보여주었다(Zhanping et al, 2011).

재생아스팔트 0%, 50%, 100%을 사용한 재생아스팔트 혼합물의 미끄럼저항성을 평가하기 위하여 재생 아스팔트 혼합물에 중온화 첨가제를 사용하여 116°C에서 공시체를 제작하였다. 재생아스팔트를 사용한 중온 재활용 아스팔트 혼합물도 만족할만한 미끄럼저항성을 나타내는 것으로 확인하였다(Jesse et al., 2011).

국내에서는 중온화 첨가제를 첨가한 재생 아스팔트 혼합물의 성능을 평가하기 위하여 기본적인 아스팔트 바인더 시험인 침입도 시험(KS M 2252), 연화점 시험(KS M 2250), 신도 시험(KS M 2254), 회전점도 시험(KS F 2392) 및 PG 공용성 시험(KS F 233, KS F 2390, KS F 2259, KS F 2391)을 수행하여 평가한 바 있다.

또한, 아스팔트 혼합물 공용성 평가를 위하여 배합설계(KS F 2337)를 수행하여 간접인장강도(KS F 2382), TSR 시험(AASHTO T 283), 동적수침시험(EN12697-11), 휠트래킹 시험(KS F 2374), 동탄성계수 시험(AASHTO TP62-03)을 수행하였다(Lee et al., 2013).

Fig. 6는 재생 중온아스팔트의 성능 검토를 위해 각각 다른 조건을 적용한 5개의 시료에 대하여 수행되는 시험의 절차를 나타내었다.

순환골재에 중온화 첨가제를 적용하여 생산한 중온 재생 아스팔트와 아스팔트 혼합물을 평가하기 위하여 아스팔트의 물리적 특성 및 유변학적 물성을 통해 중온화 첨가제가 재생 아스팔트의 재료적 성능과 물리적 성능 개선에 효과가 있는 것으로 분석하였다. 또한, 소성변형, 균열, 강성, 박리, 그리고 수분 민감성 등의 재생 아스팔트 혼

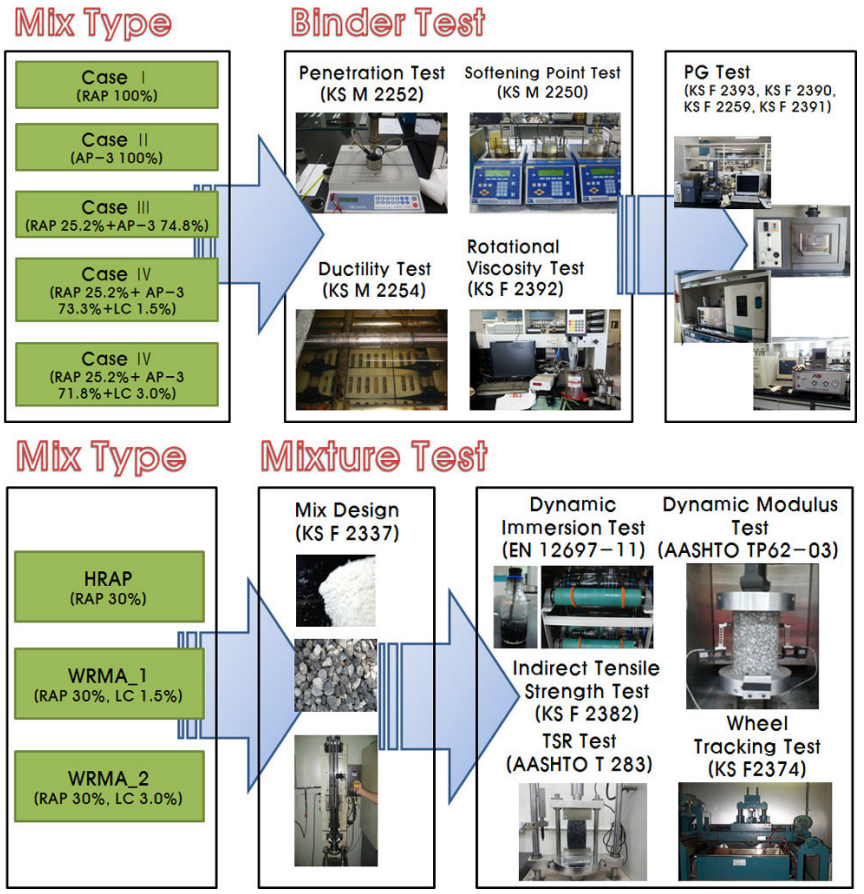


Fig. 6. Test Procedure of Recycled WMA

합물 물성 관련 시험을 통해 중온화 첨가제가 순환골재 30%를 함유한 중온 재생 아스팔트 혼합물의 성능을 평가한 결과 가열 재생 아스팔트 혼합물과 유사한 결과를 나타내었다. 도로포장 분야에서는 중온 및 재생 아스팔트 포장 사용을 정책적으로 유도하고 있으며 실용화와 활성화가 급속하게 이루어지고 있다.

지금까지는 기존의 아스팔트(HMA) 분쇄 후 순환골재를 만들어 중온화 첨가제를 통해 친환경적인 중온 아스팔트를 활성화 하는데에 주목하였다면, 또 다른 의문점을 가질 수 있다.

『순환골재등 의무사용건설공사의 순환골재·순환골재 재활용제품 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시』(환경부, 국토교통부 공동 고시)에 따라 2016년부터 40%이상 순환골재 의무사용이 시행되고 있고, 20년 이상 사용되어진도로가 점차 늘어나고 있는 실정이다. 이미 중온아스팔트로 시공된 도로가 일정시간이 지나 보수 및 보강이 필요한 시기가 올 경우, 재생아스팔트에 첨가제를 추가하여 만든 중온 아스팔트를 또 다시 재활용 할 수 있는가에 대한 추가적인 연구도 필요할 것이라 생각된다.

많은 연구들을 통해 중온아스팔트의 긍정적인 효과가 증명되었고, 차세대 아스팔트로써 빠른속도로 자리매김하고 있는 가운데, 중온아스팔트의 재활용 가능성 또는 재활용 시 필요한 첨가제 개발에 대한 연구 또한 고려해야 할 시기가 도래하고 있다.

3.3 중온아스팔트의 배출가스 측정방법의 적정성

최근에는 제조 부문에 대한 온실 가스 저감 노력이 강조되고 있고 건설 산업 부문에서도 기후변화 대응 등 환경 부하 저감을 위한 핵심 기술 개발이 국제적으로 추진되고 있어 이에 대응하기 위해서는 실용화된 대체 기술 및 국산화 노력이 절실한 실정이다.

국내 주변 자연생태를 고려한 도로포장 형식 선정과 건설 과정에서 에너지 저감형 공법을 적용하기 위해 대기오염물질의 배출 억제 및 에너지 비용 절감 효과를 기대할 수 있는 혁신적인 차세대 도로 포장 기술인 중온 아스팔트 콘크리트 포장 공법의 원천 기술을 개발하고 이를 경쟁력 있는 국산화 기술로 발전시키는 산업화 전략이 필요하다.

중온아스팔트 혼합물은 약 130°C에서 생산하고, 생산 시 온도관리는 아스팔트 혼합물의 배출온도를 적외선 온도계로 측정하며 조정한다.

아스팔트 혼합물은 Fig. 7과 같이 유증기나 불쾌한 냄새가 없이 생산되었으며, 이 과정에서 이산화탄소를 비롯한 배출가스의 발생량을 Fig. 8 및 Fig. 9와 같이 측정하였다. 연료 사용량은 아스팔트 플랜트에서 사용되는 벙커-C 유 탱크의 유량 지시계의 눈금 옆에 줄자를 붙여서 눈금의 감소량과 탱크의 직경으로 유량을 측정하였다(Jung

Fig. 7. Production of WMA Mixture

Fig. 8. Emission Gas Measurement Such as CO_2

Fig. 9. Emissions Measuring Instrument

et al., 2009).

이 결과 Table 5와 같이 연료 사용량은 가열 아스팔트 혼합물은 7.7 L/ton이었으며, 중온아스팔트 혼합물은 5.0 L/ton으로 약 35% 절감되는 것으로 나타났다. 연료사용량을 이용하여 CO_2 연료사용량과 배출계수 등을 이용하여 CO_2 발생량을 계산한 결과는 약 35.1% 절감되는 것으로 나타났다.

Table 5. Fuel Consumption in Asphalt Mixture Production & CO_2 Reduction Effect

Division		unit	HMA	WMA	Note
per tonne of asphalt mixture	Bunker C oil usage	L	7.7	5.0	- 2.7
	CO_2 emission quantity (3.026 kg/L)	kg	23.3	15.1	- 8.2
35,060 tons of asphalt mixture	Bunker C oil usage	L	269,962,000	175,300,000	- 94,662,000
	Amount of oil conversion (scale factor :0.935)	TOE	252,414	163,906	- 88,509
	CO_2 mission quantity	kg	816,905,012	530,457,800	- 286,447,212
CO_2 emission rate		%	100	64.9	- 35.1

Table 5에서 아스팔트 혼합물 35,060천톤은 아스팔콘공업협동조합연합회의 2009년 아스팔트 혼합물 생산 통계자료를 이용하였으며, 국내 아스팔트 혼합물을 중온아스팔트 혼합물로 대체할 경우 CO_2 배출량이 약 286,447톤 절감되는 것으로 나타났다. 또한, 벙커-C유 사용량의 절감에 따라 절감되는 량을 석유환산량으로 환산하면 약 88,509 TOE에 해당하였다.

아스팔트 플랜트에서 실제 측정한 배출가스량은 Table 6과 같이 CO_2의 절감효과가 33.3%로 가장 컸으며, 실제 연료사용량으로 계산한 절감률과 비슷한 것으로 나타났다.

Table 6. Estimated Emissions from Asphalt Mixture Production

Division		Production temperature (°C)	Fuel (L/ton)	Dust and harmful gases				
				CO_2 (%)	Dust (mg)	NoX (ppm)	SoX (ppm)	CO (ppm)
Asphalt mixture	HMA	160	7.7	6.3	8.51	38	8	1,300
	WMA	130	5.0	4.2	8.01	34	7	1,200
	Reduction ratio	30	35%	33.3%	5.9%	10.5%	12.5%	7.7%

이는 시험시공에 의해 산출된 수치로 실제 시공시 발생할 수 있는 환경적인 변수로 인하여 고정적인 결과치는 나오지 않을수도 있다고 생각된다. 일단 공기를 대부분 차지하고 있는 것은 산소이고, 이산화탄소는 공기보다 무겁다. 그리고 날씨나 습도에 대한 영향도 많이 받을 수 있다.

플랜트의 정상부에서 배기가스를 측정하는 것보다는 플랜트 하부에서 측정하는 것이 맞지 않을까 하는 의문을

갖을 수 있었고, 현장 시공시 날씨, 습도 등에 대한 보정할 수 있는 기준을 추가적으로 연구할 필요가 있어 보인다.

또한, 시공시 유의사항으로 중온 아스팔트 혼합물은 포설할 표면이 얼어있거나 습윤상태 이거나 불결할 때, 또한 비가 내리거나 안개로 인해 시야에 방해가 있을 경우 시공하지 않아야 하며, 시공 중 비가 내리기 시작하면 즉시 작업을 중지하여야 한다.

시공 현장의 기온이 2~5°C 일 경우에는 감독자와 협의하여 중온아스팔트 혼합물의 온도를 일반적인 생산온도보다 20°C 이상 높여서 생산 및 시공한다. 단, 2°C 이하일 경우에는 시공하지 않아야 하며, 긴급을 요하는 공사일 경우에만 감독자와 협의하여 시공여부를 결정한다(Hwang et al., 2010).

4. 결 론

본 조사연구는 중온아스팔트의 국내 적용현황 및 향후 중온아스팔트의 발전을 위한 고려사항에 대하여 정리한 것이다.

중온아스팔트 포장은 기존 아스팔트 포장 기술을 효과적으로 대체할 수 있는 기술이고, 공용성 검증을 위한 움직임이 지속되고 있으나, 장기 공용성에 대하여 확신을 같기에는 국내 도입된 후 기간이 짧아 향후 몇 년간의 추가적인 검증이 필요할 것이다.

에너지 가격 상승, 온실가스 감축 등 다양한 환경규제로 중온화와 재생이라는 Key word가 주목받고 있으며, 재생아스팔트와 중온화 첨가제가 만나 중온 재생아스팔트로 환경훼손을 최소화하여는 노력이 계속되고 있다. 추후에는 중온아스팔트의 재활용에 대한 연구도 필요할 것이다.

중온아스팔트는 일반아스팔트에 비해 생산 및 시공온도가 약 30°C가 낮음으로써 배출가스 배출량도 현저히 낮아지는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 다만 배출가스 측정이 플랜트의 상부가 아닌 하부에서 이루어지며 날씨 및 습도등의 환경적인 변수를 보정할 수 있는 방안에 대하여 조금 더 고려해볼 필요가 있다.

마지막으로, 미국은 기존 폼드 아스팔트 혼합물의 품질을 향상시키기 위해서 더블 배럴 드럼에서 중온으로 가열하며, 아스팔트를 폼드화 시켜 혼합하는 장비 및 기술을 개발하여 사용하는 반면, 우리나라는 중온화 첨가제를 사용하는 중온아스팔트 기술이 발전하고 있다. 중온아스팔트 개발의 원래 취지는 환경 훼손을 최소화하기 위함으로 화학첨가제를 사용한 개발뿐만 아니라, 기계적인 방식의 연구개발이 병행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내학술연구비 일부 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

AAHSTO (2007). Standard method of test for determining dynamic modulus of Hot Mix Asphalt (HMA),

AASHTO TP62, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.

AASHTO (2007). Resistance of compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to moisture-induced damage, AASHTO T283, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.

Baek, C. M., Yang, S. R., Kim, Y. M. and Jung, K. D. (2012). “A study on field application and laboratory performance evaluation of warm mix asphalt”, Korea Institute of Construction Technology, International Journal of Highway Engineering, 14(4), pp. 9-18.

Hwang, S. D., Kwon, S. A., Kim, Y. J., Jung, K. D., Kim, Y. M. and Yang, S. R. (2010). Provisional guidelines for the production and construction of low carbon warm mix asphalt mixtures, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.

Jesse, D. D. and Isaac, L. H. (2011). Laboratory assessment of skid resistance for hig RAP content warm mixed asphalt, geo-frontiers congress 2011, American Society of Civil Engineers, doi.org/10.1061/41165(397)462.

Jung, K. D. and Hwang, S. D. (2008). Domestic and overseas technology status of warm mix asphalt pavement, The Korean Society of Road Engineers.

Jung, K. D. and Yang, S. R. (2009). Development of long-term pavement performance and pavement design system (Phase 1), Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.

Kim, N. H., Kim, J. C., Hong, J. P. and Kim, K. W. (2010). “Evaluation of fundamental properties of warm-mix recycled asphalt concretes”, Journal of the Korean Society Road Engineers, 12(4), pp. 111-120.

Kwon, S. A., Kim, B. I., Yoo, I. K., Hong, J. C., Beck, C. M., Kim, Y. J., Yang, S. R., Kim, K. H., Ahn, J. H., Lee, T. H., Son, J. R., Hwang, J. S. Han, Y. N., Lee, K. H. and Lee, Y. H. (2013). Development of long-term pavement performance and pavement design system, Korea Institute of Civil Engineering And Building Technology.

Lee, J. W., Lee, M. S., Kim, Y. J., Cho, D. W. and Kwon, S. A. (2013). “Evaluation of warm-recycled asphalt mixtures using polyethylene wax-based additive”, International Journal of Highway Engineering, 15(4). pp. 43-51.

Park, T. S. and Kim, K. T. (2016). KR101594070B1 Warm mix asphalt additives and warm mix asphalt mixtures using the same, Construction Method of Warm Mix Asphalt Road Using Warm Mix Asphalt Mixture, Korean Intellectual Property Office.

Ramon Bonaquist, NCHRP Report 691 (2011). Mix design practices for warm mix asphalt, Transportation Research Board.

Zhanping, Y., Julian, M.-B., Elham, F., Shu, W. G. and Baron, C. (2011). “Evaluation of low-temperature binder properties of warm-mix asphalt, extracted and recovered RAP and RAS and bioasphalt”, Journal of Materials in Civil Engineering 23(11), pp. 1569-1574.