



미국의 중온아스팔트 기술 및 현장적용

State of the Art Review of American Warm Mix Technology

이호신*	김용주**	황성도***	정규동****
Lee, Hosin	Kim, Yongjoo	Hwang, Sung-Do	Jeong, Kyudong

1. 서론

미국은 1970년 대기오염방지법 (Clean Air Act) 통과를 기점으로 가열아스팔트 (Hot Mix Asphalt: HMA) 포장분야에서는 아스팔트 플랜트에 공해관리시스템 (Baghouse Filtration System) 설치, 재생 아스팔트골재 (Reclaimed Asphalt Pavement: RAP)의 재활용을 위한 다양한 기술 및 장비개발, 아스팔트 포장 현장 환경의 개선을 위한 지침서 (Engineering Controls for Highway Class Asphalt Paver and Best Practice Guidance)를 출간하는 등 많은 노력을 기울여 왔다. 대기오염을 방지하고 에너지 절감을 위하여 가열아스팔트포장의 대안으로 2002년 NAPA (National Asphalt Pavement Association)에서 중온아스팔트 (Warm Mix Asphalt: WMA) 기술에 관심을 기울이기 시작했다. 아스팔트 플랜트의 믹싱온도를 6℃정도만 낮추더라도 유해성 가스배출을 감소시킬 수 있다는 NAPA의 연구결과에 근거하여 본격적으로 중온아스팔트 기술에 대한 연구가 시작되었다 (NAPA 2008). 중온아스팔트 기술은 가열아스팔트 기술보다 20℃에서 55℃정도 낮은 온도에서 아스팔트 혼합물을 생산하여 포장하는 기술이다. 중온아스팔트 기술의 기본원리는 아스팔트 바인더의 점도를 낮추어 중온에서 골재를 코팅하여 아스팔트 혼합물을 생산하는 방법으로 환경친화적인 도로건설을 위해 매우 합리적인 기술로 평가받고 있으며, 미국에서는 이미 실용화 단계를 거쳐 중온아스팔트 혼합물에 대한 시공과 장기공용성 평가가 이루어지고 있다. 이 논문에서는 여러 중온아스팔트 기술과 그들의 장점을 소개하였으며 현재 미국에서 사용중인 중온아스팔트 기술의 현장적용사례를 요약 정리하였다.

2 중온아스팔트의 개발역사 및 발전

1996년 독일에서는 아스팔트포장 시 발생하는 유독가스에 노출되어 일하는 사람들의 작업환경에 대한 문제점을 제기하였고 같은 시기에 유럽에서는 아스팔트혼합물 생산에서 발생하는 온실가스 (Greenhouse Gas)를 감소시키기 위해 중온아스팔트 기술이 개발 중이었다. 유럽의 여러 국가들은 아스팔트 혼합물 생산에서 발생하는 유해가스를 감소시킬 수 있는 가장 효과적인 방법으로 플랜트에서 아스팔트 혼합물의 생산온도 및 포장온도를 낮추는 방법이라고 믿고 있었다. 1995년 MHI (Mitteldeutsche Hartsteinindustrie AG)는 Aspha-min® 제올라이트를 사용한 중온아스팔트 기술을 최초로 시도하였으며 1996년 Shell Biyumen과 Kolo Veidekke는 폼드아스팔트를 이용한 중온아스팔트 기술을 개발하였다. <그림 1>과 같이 1997년에는 독일의 Hamburg에서 Sasobit® 첨가제를 사용하여 최초의 중온아스팔트 포장이 수행되었고 1999년 폼드아스팔트를 이용한 중온아스팔트 포장이 노르웨이에서 처음으로 시도되었으며

* 종신회원 · 아이오아대학교 토목환경공학과 부교수 · 공학박사 · 319-335-6818 · hlee@engineering.uiowa.edu
 ** 정회원 · 아이오아대학교 공공정책센터 박사 후 연구원 · 공학박사 · 319-335-8230 · yongkim@engineering.uiowa.edu
 *** 정회원 · 한국건설연구소 선임연구원 · 공학박사 · 031-910-0180 · sdhwang@kict.re.kr
 **** 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원 · 박사과정 · 공학석사 · 031-910-0183 · Korea.kdjeong@kict.re.kr



Aspha-min® 제올라이트를 사용한 중온아스팔트 포장은 독일에서 처음으로 현장에 적용되었다 (NAPA 2008).

2002년, NAPA는 유럽의 현장방문을 통하여 중온아스팔트 기술을 미국에 처음으로 소개하였다. 2005년, NAPA는 미연방도로국 (FHWA)과 함께 중온아스팔트 기술에 대한 연구를 위해 기술위원회를 조직하여 미국내에서 중온아스팔트 기술개발 및 보급을 위한 연구를 착수하였다. 2006년에 미연방도로국 (FHWA)과 미국 도로교통 주공무원협회 (AASHTO)는 중온아스팔트 기술의 현장적용 과 장기공용성에 대한 정보를 수집·검토하였다. 2007년에 FHWA와 AASHTO는 유럽을 다시 방문하여 기존의 중온아스팔트 기술뿐만 아니라 새로운 중온아스팔트 기술에 대한 평가 및 검토를 실시하여 미국 내에서 중온아스팔트 포장의 현장 적용을 적극 유도하였다.



(a) Sasobit®, 1997



(b) Aspha-min®, 1999



(c) 폼드아스팔트, 1999

〈그림 1〉 유럽에서 중온아스팔트 기술의 현장적용

3. 중온아스팔트의 장점

중온아스팔트 기술은 환경친화적인 도로건설과 관련하여 다양한 장점을 제공하고 있다. 중온아스팔트 기술에서 아스팔트의 점도감소는 다짐효과 증대, 포장공사의 기간연장, 혼합물의 장거리 수송가능, 다량의 재생아스팔트 골재 사용 등 많은 시너지효과를 보여주고 있다. Timm et al. (2008) MultiCool 프로그램을 사용하여 중온아스팔트의 온도가 배송시 온도부터 42℃까지 떨어지는 비율을 조사하여 비교하였다. 163℃, 135℃, 107℃의 아스팔트 배송온도가 42℃까지 떨어지는데 각각 5분, 7분, 12분이 소요되었다. 따라서, 107℃의 다짐온도를 중온아스팔트 포장에 사용할 경우 가열아스팔트 포장보다 긴 시간동안 다짐을 할 수 있을 뿐만 아니라 기후조건이 열악한 추운지역이나 겨울철에도 아스팔트포장을 할 수 있게 된다. 2007년 11월 뉴욕에서는 -1℃에서 PG 82-28의 아스팔트 바인더에 Sasobit®을 첨가하여 중온아스팔트 포장을 실시하였다. 독일에서도 낮은 대기온도 (-3℃와 +4℃)에서 여러 가지 중온아스팔트 기술을 사용하여 아스팔트 포장을 실시한 결과 동일한 다짐수준에서 가열아스팔트와 비교하여 상대적으로 높은 다짐밀도를 나타내었다. 중온에서 아스팔트 바인더의 점도감소는 다짐효과를 향상시킬 뿐 아니라 산화작용을 감소시켜 많은 양의 아스팔트 재활용골재와 함께 사용할 경우 균열발생을 억제시키는 결과를 보여주었다. 미국에서는 15%에서 50%까지 아스팔트 재활용 골재를 중온아스팔트 혼합물에 함께 사용하고 있다.

Cervarich (2007)는 이론적인 계산을 통해 28℃의 온도를 감소시키면 11%의 에너지를 절약할 수 있다고 제안하였으며 많은 중온아스팔트 프로젝트를 통하여 일반적으로 20%에서 30%의 에너지가 절감되며, 골재의 수분함유 정도에 따라 50%까지 에너지를 절약할 수 있다고 보고하였다. D'Angelo et al. (2007)는 각 나라에서 사용한 중온아스팔트 기술에 대한 대기오염물질의 감소율을 <표 1>과 같이 정리하였다. EES, Inc. (2006)은 가열아스팔트와 중온아스팔트 포장현장에서 TPM (Total Particulate Matter)와 BSM (Benzene Soluble Matter)을 각각 측정하였다. 중온 아스팔트 포장은 가열아스팔트 포장과 비교하여 TPM은 67%에서 77% 감소되었으며, BSM은 72%에서 81%까지 감소된 것으로 보고하였다.



〈표 1〉 증온아스팔트 기술의 대기오염물질 감소율

오염물질	국가				
	노르웨이	이태리	네덜란드	프랑스	캐나다
CO ₂	31.5%	30%-40%	15-30%	23%	45.8%
SO ₂	N/A	5%	N/A	18%	41.2%
VOC	N/A	50%	N/A	19%	N/A
CO ₂	28.5%	10%-30%	N/A	N/A	63.1%
NO _x	62.5%	60%-70%	N/A	18%	58.0%
DUST	54.0%	25%-55%	N/A	N/A	N/A

4. 미국의 증온아스팔트 기술현황

현재 미국에서 사용중인 증온아스팔트 기술은 크게 3가지로 분류된다. 첫 번째 기술은 폼드아스팔트 (Foaming)를 사용하는 방법이고, 두 번째 기술은 화학첨가제 (Chemical Additives) 사용하는 방법, 마지막으로 유화아스팔트 첨가제 (Emulsion Additives)를 사용하는 방법이다. 〈표 2〉는 각 증온아스팔트 기술을 3가지로 분류하여 현장적용 시기, 기본원리와 장점을 정리하였다.

〈표 2〉 미국의 증온아스팔트기술 요약 및 장점 (NAPA 2008)

처리 방법	증온 아스팔트기술	현장 적용	기본원리	장 점
Foaming	Double Barrel® Green	2007	<ul style="list-style-type: none"> Mixing a small amount of water and AC together to create microscopic bubbles 10 production valve assemblies in the multi-nozzle arrangement 	<ul style="list-style-type: none"> Increased coating thickness by 18 times Using 50% RAP, save \$11.00/ton 11% less fuel and 11% higher production
	Ultrafoam GX™ Process	2008	<ul style="list-style-type: none"> Provides variable orifices for both AC and water and a means to keep the two flows in intimate contact 	<ul style="list-style-type: none"> No loss of pressure drop and mixing energy All of the mixing energy is provided by the pumping system
	Terex® Warm Mix Asphalt System	2007	<ul style="list-style-type: none"> Heated liquid AC with a percentage of water, which causes the AC to expand once it's injected inside the drum (single expansion chamber) 	<ul style="list-style-type: none"> Reduces mix temperatures by up to 32°C without costly additives
	Low Energy Asphalt (LEA®)	2006	<ul style="list-style-type: none"> Dynamic process (hot coating coarse aggregate and expanded coating fine aggregate) 	<ul style="list-style-type: none"> Energy savings more than 50% Reduction of Greenhouse emission, VOC and NOx more than 50%
	Aspha-Min®	2004	<ul style="list-style-type: none"> Synthetically manufactured zeolite contains approx. 18-20 % water of hydrated aluminosilicate by mass. Added to asphalt mixtures at a rate of 0.3% weight of the mix 	<ul style="list-style-type: none"> Reduction of temp. 22°C - 28°C Increased 24.7% cost (\$/cy) Reduction in emissions: SO₂-17.6%, NO_x-6.1%, THC-35.3%
	Advera WMA	2007	<ul style="list-style-type: none"> Synthetic zeolite contains approx. 20 % water of crystallisation by mass Added to asphalt mixtures at a rate of 0.25% weight of the mix 	<ul style="list-style-type: none"> Reduces emissions up to 60% at plant Paving temp. be 10-21°C cooler Energy savings up to 40%
Chemical Additives	Rediset™ WMA	2007	<ul style="list-style-type: none"> Cationic surface active agent (surfactants) and rheology modifier 	<ul style="list-style-type: none"> Moisture not introduced into the mix Increased cohesive strength of asphalt



			(organic additives in solid form <ul style="list-style-type: none"> ■ Added at a rate of 2.0% of the AC content 	
	REVIX™	2007	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reduced temperature HMA (RTHMA) process ■ Liquid type additives 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 66% reduction in total organic produced ■ Use in PMA
	Sasobit®	2008	<ul style="list-style-type: none"> ■ Synthetic fischer-tropsch paraffin waxes ■ Added at a rate of 2-3% of AC content above 115°C 	<ul style="list-style-type: none"> ■ RAP usage can be increased to 35% to 45% or even higher. ■ Increased 18.0% cost (\$/cy)
Emulsion Additive	Evotherm™	2008	<ul style="list-style-type: none"> ■ Emulsion based material (approximately 85% water / 15% chemical package) ■ Added at a rate of 5.0% of the AC content 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reduction of temp. by 56°C ■ Reduction of fume by 40% ■ Reduction of fuel usage by 50% ■ Increased 27.8% cost (\$/cy)

〈그림 2〉-(a)에서 볼 수 있듯이, Astec Inc.는 기존의 double barrel 드럼플랜트에 10개의 폼드아스팔트 노즐을 설치한 Double Barrel Green System을 개발하였다. 폼드아스팔트 노즐은 아스팔트 바인더에 물이 첨가되어 생산된 마이크로 버블이 골재를 코팅할 수 있도록 설계되었다. 〈그림 2〉-(b)는 Gencor Inc.에서 개발한 Ultrafoam GX™ 장비로서 플로우 비율과 온도 및 압력이 조절 가능하여 일정한 폼드아스팔트를 생산할 수 있도록 설계되었다. 〈그림 2〉-(c)에서 보는 바와 같이 Terex에서 개발한 중온아스팔트 시스템은 한개의 폼드아스팔트 노즐만을 설치하여 아스팔트와 물의 비율을 균일하게 조절하도록 설계하였다.



(a) Double Barrel Green



(b) Ultrafoam GX™



(c) Terex® WMA system

〈그림 2〉 폼드아스팔트를 이용한 중온아스팔트 기술

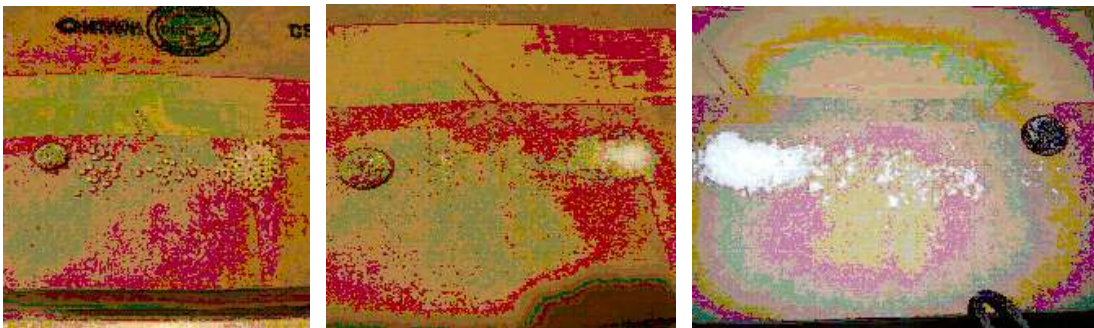
〈그림 3〉과 같이 중온아스팔트에 사용되는 제올라이트는 sodium-aluminum-silicate crystals로서 수분의 결정체를 분자의 공극 내에 저장하여 아스팔트 혼합물에서 순간적인 수분의 증발에 의해 수증기가 발생하여 폼을 발생시켜 아스팔트의 점도를 저하시키는 역할을 한다. 제올라이트 내에 수분은 한 순간에 증발하지 않고 일정 시간을 두고 조금씩 증발하므로 충분한 시공 시간을 확보할 수 있다. 제올라이트는 아스팔트 혼합물의 전체무게에 0.25%~0.3%을 골재에 직접 투입하여 사용한다.

Sasobit®은 파라핀 왁스가 주성분을 이루며 70°C와 115°C에서 녹으므로 중온에서 아스팔트 바인더에 녹아 바인더의 점성을 감소시켜주는 역할을 한다. 〈그림 4〉와 같이 3가지 크기의 Sasobit®이 생산되고 있으며 0.8%~4.0%의 Sasobit®이 아스팔트 바인더에 첨가되어 중온아스팔트 혼합물을 생산하게 된다.



(a) Aspha-min® (Eurovia 회사제품) (b) Advera WMA (PQ Corp. 회사 제품)

〈그림 3〉 중온아스팔트에 사용되는 제올라이트



(a) 직경 5mm

(b) 직경 1mm

(c) 파우더

〈그림 4〉 중온아스팔트에 사용되는 3가지 크기의 Sasobit®

최근에는 새로운 두 가지 중온아스팔트 기술이 개발되었다. 하나는 Akzo Nobel이 개발한 Redise™ WMX이고, 다른 하나는 Mathy Technology and Engineering Services Inc. and Paragon Technical Services Inc.에 의해 개발된 REVIX™이다. 〈그림 5〉와 같이, Redise™ WMX은 알갱이 형태로 제조되어 있으며 플랜트에서 아스팔트 바인더 양에 2.0%가 첨가되며 아스팔트바인더 또는 골재에 혼합되어 사용된다. REVIX™은 액상의 상태로 제조되어 아스팔트 바인더와 혼합하여 사용된다.



〈그림 5〉 중온아스팔트에 사용되는 Redise™ WMX



5. 중온아스팔트 기술의 현장적용

〈표 3〉에 정리한 것처럼 다양한 종류의 중온아스팔트 기술이 현장에 적용되었다. 중온아스팔트 포장에 가열아스팔트 포장에 비하여 상대적으로 낮은 온도에서 다짐이 수행되었지만 가열아스팔트 포장과 비슷하거나 높은 다짐밀도를 나타내었으며 에너지 절감은 물론 대기오염물질의 배출량을 감소시켜주는 것으로 나타났다.

〈표 3〉 미국의 중온아스팔트 현장적용 사례 (NAPA 2007; 2008)

처리방법	중온아스팔트기술	현장적용
Foaming	Double Barrel® Green	<ul style="list-style-type: none"> ■ 0% and 30% RAP, Astec Industries, Chattanooga, Tennessee (April 2007) ■ 50% RAP, North Terrace Rd. Chattanooga, Tennessee (June 2007) ■ Johnson County, North Carolina (Sep. 2007) ■ S.R. 46 from US 431 to S.R. 96, Tennessee (Oct. 2007) ■ 20-30% RAP, Columbus, Ohio (Oct-Nov. 2007) ■ 50% RAP, York County, South Carolina (Oct. 2007) ■ 40% RAP, SR 11, Daytona Beach, Florida (Dec. 2007)
	Ultrafoam GX™ Process	<ul style="list-style-type: none"> ■ N/A
	Terex®Warm Mix Asphalt System	<ul style="list-style-type: none"> ■ Oklahoma City, Tennessee (2008)
	Low Energy Asphalt (LEA®)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Suit Kote Plant, Cortland, New York (July 2006) ■ RT 11 (Homer), 96b (Ithaca), Bomax Rd (Lansing). RT 38 (Groton), RT 13 (Cortland), RT 79, (Ithaca) New York (July-Sep. 2007)
	Aspha-Min®	<ul style="list-style-type: none"> ■ Parking lot in Orlando, Florida (Feb. 2004) ■ Charlotte, North Carolina (Sep. 2004) ■ Montreal, Quebec, Canada (2004) ■ Columbus, Ohio (October 2005) ■ Hookest, New Hampshire (Dec. 2005) ■ Belmont, New Hampshire (March 2006) ■ OGFC in Orlando, Florida (Feb.2006) ■ SR 541 in Cambridge, Ohio (2006)
	Advera WMA	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hillsboro Pike, Tennessee (2007) ■ City Street, Vermont (2007) ■ Miller Park, Wisconsin (2007) ■ Yellowstone NP Entrance Rd, Wyoming (2007) ■ I-70, Colorado (July 2007)
Chemical Additives	Rediset™ WMX	<ul style="list-style-type: none"> ■ Baldwin Contracting Company's Chcio Asphalt Plant , California (Nov. 2007)
	REVIX™	<ul style="list-style-type: none"> ■ 20% RAP, Private Road, Wisconsin (Aug. 2007) ■ 20% RAP CTR 11, Goodhue City, Minnesota (Sep. 2007) ■ 30% RAP, STH 33, La Crosse County, Wisconsin (Sept. 2007) ■ Commercial Job, Hattiesburg, Mississippi (Nov. 2007) ■ 15% RAP, State Ret. 53, Gainesboro, Tennessee (Nov. 2007) ■ 15% RAP, Highway 25, Smithville, Mississippi (Nov. 2007) ■ 100% RAP, CIR project, HWY 346, Iowa, (Aug. 2008)



	Sasobit®	<ul style="list-style-type: none"> ■ 45% RAP, SR 28, Montgomery Co. Maryland (June 2005) ■ 35% RAP, I-95, Waldorf, Maryland (Dec. 2005) ■ 10% RAP, Hall Street, St. Louis, Mississippi (May 2006) ■ 14% RAP, Ryan Road, Milwaukee, Wisconsin (June 2006) ■ 20% RAP, Route 211 and Route 220, Virginia (August 2006) ■ 10% RAP, SR 541, Kimbolton, Ohio (Sep. 2006) ■ I-70, Silverthorne, Colorado (July-Aug.2007) ■ Yellowstone, National Park, (Aug.- Sep. 2007) ■ SR 46, Nashville, Tennessee (Oct. 2007)
Emulsion Additive	Evotherm™	<ul style="list-style-type: none"> ■ 15% RAP, County Road 900E, Brownsburg, Indiana (July 2005) ■ NACT Pavement Test Track, Alabama (Nov. and Oct. 2005) ■ 10% RAP, Hall Street, St. Louis, Missouri (May 2006) ■ 15% RAP, OH 541, Kimbolton, Ohio (Sep. 2006) ■ 20% RAP, Route 143, York Co. Virginia (Oct. 2006) ■ 30% RAP, Maple Street, Summerville South Carolina (April 2007) ■ 15% RAP, US 79, Birmingham, Atlanta (Aug. 2007) ■ 30% RAP, City Streets, San Antonio, Texas (Sep.-Oct. 2007)

6. 요약 및 향후 연구방향

최근 에너지 절감과 자연 환경보존에 대한 문제들이 사회적인 이슈로 등장하면서 도로포장 산업에서도 에너지 소비절감과 환경친화적인 도로포장재료의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 하지만, 아스팔트 포장에 사용되는 가열아스팔트 혼합물은 고온에서 혼합물이 생산되고 시공이 이루어지므로 많은 에너지를 필요로 하며 이산화탄소와 같은 유해가스를 대기에 방출시킨다. 또한, 시공 후 포장의 온도가 일정온도 이하로 내려갈 때까지 교통의 통행이 불가능하기 때문에 이로 인하여 발생하는 높은 간접비용이 발생한다. 미국에서는 높은 온도에서 생산과 시공이 이루어지는 가열아스팔트 혼합물의 생산온도를 낮춤으로 인하여 에너지 절감효과는 물론 자연환경 보존과 시공의 효율성을 극대화 시킬 수 있으므로 중온아스팔트 기술개발에 대한 연구 및 현장적용이 활발히 이루어지고 있다. 2002년 중온아스팔트가 미국에 처음으로 소개된 후, 2008년 현재 중온아스팔트 기술에 대한 다양한 기술적 검토와 평가를 통하여 10가지 정도의 중온아스팔트 기술이 상용화되어 사용되고 있으며 2009년까지는 5가지에서 10가지 정도의 새로운 중온아스팔트 기술이 더 개발될 것으로 예상된다.

중온아스팔트기술의 성공적인 현장적용으로 경제·환경적 측면에서 우수한 평가를 받고 있으나 보다 우수한 중온아스팔트 기술의 보급을 위해 많은 연구들이 제안되어 수행되어지고 있다. 현재, 다양한 중온아스팔트 기술은 표준 배합설계 방법이 없이 사용되고 있어 중온아스팔트에 대한 표준배합설계법 개발에 대한 연구가 수행되고 있다. 2004년부터 미국에 현장 적용된 중온아스팔트 기술은 현재까지 우수한 현장공용성을 제공하고 있는 것으로 보고되고 있으나 몇 개의 프로젝트에서 소성변형과 수분손상에 의한 포장파괴가 발견되어 중온아스팔트 포장의 장기공용성에 대한 연구가 요구되고 있다. 또한 중온아스팔트 기술의 효과적인 보급을 위하여 중온아스팔트 기술에 대한 승인절차를 만들어 기술제공에 대한 비용 상승을 방지하고 자유경쟁을 유도하려는 계획을 가지고 있으며, 새로운 중온아스팔트 기술에 대해서는 실내시험 및 현장적용을 통한 결과물들을 공식적으로 제출하여 중온아스팔트 기술의 신뢰를 높이고자 계획하고 있다. 또한, 아스팔트 시공업자들의 자발적인 참여를 유도하기위해 중온아스팔트 기술을 사용할 경우 발생하는 손이익을 계산하여 중온아스팔트기술의 보급을 확대하려는 연구가 함께 수행중이다. 현재 아이오와 대학에서는 한국건설연구소와 공동 연구과제로서 한국에 맞는 폼드아스팔트를 이용한 중온아스팔트 혼합물의 생산 및 시공기술 개발을 하고 있다. 미래에는 많은 중온아스팔트 기술의 현장적용을 통해 포장성능에 문제없이 재생아스팔트 골재를 50%이상 사용 할 수 있는 것으로 평가되는 바 중온아스팔트에 신골재 대신 재생아스팔트 골재를 사용하는 연구가 진행되리라 생각한다.



참고문헌

- Cervarich, M., (2007) "Foaming the Asphalt: New Warm-Mix Technique Challenges Conventional Wisdom," Hot Mix Asphalt Technology, Vol/. 12, Number 14, National Asphalt Pavement Association, Lanham, MD.
- D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowert, J., Harman, T., Jamshidi, M., Jones, W., Newcomb, D., Prowell, B., Sines, R., Yeaton, B. (2007) "Warm-Mix Asphalt: European Practices." International Technology Scanning Program, Federal Highway Administration.
- EES Group, Inc. (2006) "Asphalt Emission Study:Shelly and Sands Conventional Mix and Warm Mix Asphalt Paving, State ZRoute 541," Doblin, OH.
- NAPA (2008) "Warm-Mix Asphalt: Contractors' Experiences" IS-134, National Asphalt Pavement Association, Lanham, Maryland.
- NAPA (2007) "Warm-Mix Asphalt: Best Practices" QIP-125, National Asphalt Pavement Association, Lanham, Maryland.
- Timm, D. Voller, V. and Newcomb, D. (2008) Multicool Software version 3.0. Auburn University.