

신소재를 활용한 ENOVA 중온 아스팔트 도로 포장기술 개발

Development of ENOVA Warm Mix Asphalt Technology using New Material



이재준 (Jae-Jun Lee) | 전북대학교 토목공학과 조교수 | lee2012@jbnu.ac.kr

양성린 (Sung-Lin Yang)

| 한국건설기술연구원 도로포장연구실 전임연구원 | siyang@kict.re.kr

백철민 (Cheol-Min Baek)

| 한국건설기술연구원 도로포장연구실 수석연구원 | cmbaek@kict.re.kr

이문섭 (Munseop Lee)

| 한국건설기술연구원 도로포장연구실 수석연구원 | truepath@kict.re.kr

권수안 (Soo-Ahn Kwon)

| 한국건설기술연구원 도로포장연구실 선임연구원위원 | sakwon@kict.re.kr

황성도 (Sung-Do Hwang)

| 한국건설기술연구원 도로포장연구실 연구위원 | sdhwang@kict.re.kr

1. 저탄소 중온 아스팔트 기술의 필요성

지구 온실가스 배출 증가로 인하여 지구온난화와 기상이변이 많이 발생하고 있다. 이러한 기후변화에 대처하기 위해서 세계적으로 CO₂ 발생량을 줄이기 위하여 1997년 교토에서는 유엔기후변화협약 당사국 총회(COP3; Third Session of the Conference of Parties to the UNFCCC)를 통하여 교토의정서를 채택하였으며, 효율적으로 이산화탄소를 감축시키기 위해 배출권거래제, 공동이행제도와 청정개발체제를 도입했다. 현재 유럽에서는 이중배출권거래제가 활발히 진행되고 있으며 연간 1조원 이상의 거래가 이루어지고 있다. 이와 같은 세계적으로 CO₂ 저감을 통하여 기후변화를 줄일 수 있는 저탄소 기술은 환경 및 경제문제를 해결하기 위해 국제적으로 중요하게 취급되고 있다. 특히 도로포장분

야에서는 CO₂ 발생을 줄이기 위한 새로운 기술이 필요로 하였으며, 이에 부흥하기 위하여 국내에서도 중온 아스팔트를 생산할 수 있는 첨가제를 개발하였으며, 첨가제를 이용하여 중온아스팔트 혼합물을 생산 시공하기 시작하였다.

2. 저탄소 중온 아스팔트 포장 특징 및 효과

현재 대부분의 도로포장은 160~170℃인 고온의 가열 아스팔트 혼합물을 생산하여 시공하지만, 중온아스팔트 포장은 110~135℃ 정도의 온도에서 아스팔트 혼합물을 생산하여 포장하는 방법이다.

중온 아스팔트 포장 기술은 국제적으로 초기 개발 단계이며, 유럽, 미국, 일본 등을 중심으로 관련 연구 및 일부 시공이 이루어지고 있다. 이 포장 기술은 중온에

서 아스팔트 바인더가 쉽게 연해지는 중온첨가제를 투입하여 골재와 쉽게 혼합할 수 있는 것이 특징이다.

중온 아스팔트 포장은 기존 방법보다 골재 및 아스팔트의 가열 에너지가 절감되고, 생산 및 시공 중에 유해가스 배출량이 감소되는 등 가열 아스팔트 포장과 비교하여 다음과 같은 효과가 있다.

중온 아스팔트 포장은 가열에너지를 30% 정도 절감하고, 생산 및 시공 중에 유해가스 배출량을 감소시키므로 온실가스 저감을 위한 관련 제도와 유가와 매우 밀접한 관련성이 있다. 특히, 석유자원의 고갈 및 이에 따른 고유가를 대비하기 위해 이 기술에 대한 개발이 더욱 증가하고 있다.

중온 아스팔트 포장의 효과는 다음과 정리 할 수 있다.

- ① 아스팔트 혼합물의 생산과 포장의 시공 온도를 약 25% 낮춤
- ② 생산 및 시공시 유해가스 배출량 대폭 감소
- ③ 아스팔트 혼합물 생산 중 연료 소비 약 30% 절감
- ④ 양생시간 단축에 따른 빠른 교통개방
- ⑤ 시공 현장에서 유해 증기나 분진이 발생하지 않으므로, 작업자 안전 확보
- ⑥ 공용온도에서 가열 아스팔트 포장과 비슷한 강도 특성 확보

3. 해외기술 동향

최근 중온아스팔트 포장이 관심을 갖게 되면서 많은 회사들이 다양한 제품을 개발하고 있다. 아래 표에서는 중온 아스팔트 첨가제 종류별 생산회사를 정리하여 나타내고 있다. 이외에 많은 회사에서 중온 아스팔트 첨가제를 개발하기 위하여 꾸준히 노력을 진행하고 있으며, 중온 아스팔트 첨가제의 시장은 점점 커지고 있다.

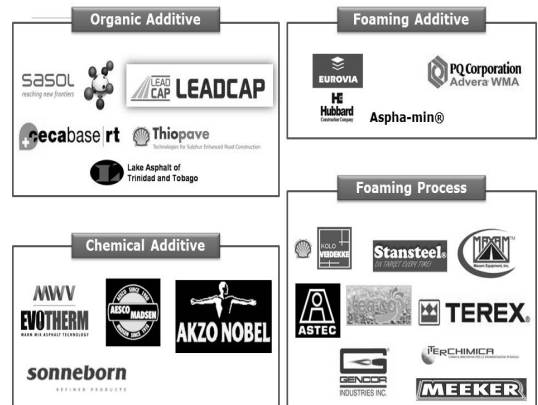


표 2. 중온아스팔트 포장 기술 현황

해외에서 널리 사용되고 있는 중온 아스팔트 포장(WMA) 첨가제들의 몇몇 제품들의 특성을 요약하면 다음과 같다.

- **Aspha-Min:** 제올라이트(zeolite, 비석)의 합성물질로서, Eurovia사에서 생산되어 유럽을 중심으로 활용되고 있다. 이 재료는 건식 방식으로 아스팔트 플랜트에서 아스팔트 혼합물의 생산 과정 중에 혼합물 중량의 약 0.3%를 투입한다. Aspha-Min은 제올라이트 합성물질에 18%의 물로 수화작용을 거친 후 분말형으로 생산된 제품으로서, 저탄소 아스팔트 혼합물의 생산 과정에서 폼드 현상(Foaming, 거품 발생을 통해 골재와 아스팔트의 접착력 증진)을 발생시킨다. 이를 통해 130℃ 전후의 중온 상태에서 아스팔트의 점도가 낮아지고 생산과 시공을 위한 작업성을 얻을 수 있다. 일반적으로 Aspha-Min을 사용한 저탄소 아스팔트 혼합물의 생산온도는 가열 아스팔트 혼합물보다 약 30℃ 정도 낮은 100℃~145℃ 범위이다.
- **WAM-Foam(Warm Asphalt Mix Foam):** 2가지의 아스팔트 합성 물질로서, Shell Ltd(영국)와 Kolo-Veidekke사의 공동 투자로 개발되었다. 이 재료는 아스팔트 플랜트의 생산 과정에서 투입되며 2단계

의 공정을 거친다. 1단계는 낮은 점도의 아스팔트를 100°C~120°C 범위에서 골재와 혼합한다. 2단계는 1단계를 통해 생산된 아스팔트 혼합물에 높은 점도의 아스팔트를 투입한 후 폼드화(물과 공기 주입)를 발생시켜 생산하는 기술이다. 이러한 1, 2단계의 생산 공정을 통해 아스팔트의 점도를 저감시킬 수 있고, 낮은 온도에서 생산과 시공에 필요한 작업성을 확보한다. 특히 본 공법의 포설작업은 가열 아스팔트 포장보다 약 40°C~50°C 낮은 온도에서 이루어진다.

- **Sasobit, Asphaltan B:** 낮은 용해점을 가진 저탄소 첨가제로서, 일반적으로 2종의 소재가 사용되고 있다. 이 중에서 파라핀 왁스(Paraffin Wax)를 주성분으로 한 Sasobit은 Saso Wax사(남아프리카)에서 생산되며, 저분자 에스테르(Low Molecular Weight Ester)를 주성분 한 Asphaltan B는 Romonta GmbH사(독일)에서 생산된다. 이 두 제품은 용해점이 거의 99°C로서 아스팔트에 첨가하면 점도가 낮아지는 특성을 나타낸다. 일반적으로 아스팔트 중량의 약 3~4%를 투입하며, 조기 교통 개방이 필요한 도로 등에 주로 사용되고 있다.
- **Evothem:** Evothem ET(Emulsion Technology), Evothem DAT(Dispersed Asphalt Technology), Evothem 3G(Third Generation) 등 3가지 형태의 중온화 기술을 대표하는 Evothem은 미국 MeadWestvaco 사로부터 개발된 현재 가장 인지도가 높고 수출이 많은 대표적인 중온화 첨가제이다. 이중에서 특히 Evothem 3G는 골재와의 마찰을 줄이는 방법을 써서 중온화 시키는 기술로써 윤활기능을 주는 Base Oil과 계면활성제 그리고 Antistripping Agent등을 조합해서 적은 사용량으로도 중온화시키는 효과를 주고 있다.

4. 해외 연구 동향

Hamzah 외 2인(2010)은 지구온난화 가스의 증가로 인하여 지구온난화 문제가 심각하게 대두되고 있는 상황에서 아스팔트 산업에서 WMA 출현에 따른 믹싱온도와 다짐온도 저감으로부터 CO₂ 배출을 줄일 수 있었다. 본 연구에서는 Sasobit의 가열에너지와 CO₂ 발생량에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 WMA 사용에 따라 Energy Difference Parameter(EDP)가 산화된 바인더 함량이 증가할수록 선형적으로 감소하는 결과와 함께 Sasobit이 CO₂ 발생량을 현저히 감소시킨다는 실험 결과를 얻었다.

미국에 2002년 Warm-Mix Asphalt(WMA) 기술이 도입된 이후 다양한 종류의 WMA 첨가제를 사용한 WMA 포장이 널리 확대되어 사용되고 있으며, 그 공용성을 평가하기 위한 다양한 연구와 WMA Mix Design 연구가 미 연방 도로국(FHWA)에서 진행하고 있다. (Anderson 외 4인 2008, Huley 외 1인 2006, Kvasnak 외 4인 2009, Kvasnak 외 2인 2010) Washington State 교통국에서는 Interstate 90에 Sasobit을 사용한 WMA를 이용하고 시험시공을 한 후 현재 그 구간에 대해서 모니터링을 통하여 공용성을 평가하고 있다. Sasobit을 이용한 WMA 아스팔트의 생산온도는 일반 가열아스팔트보다 30°C 낮은 온도에서 생산하여 시공을 하였다. 본 연구의 공용성 평가는 5년 동안 계속 진행 될 것이며, Washington State 교통국에서는 다양한 지역에 WMA를 시험시공함으로써 지역별 환경조건에 따른 WMA의 장기 공용성 평가와 WMA의 자세한 시방서 또는 품질기준서 편집과 재생아스팔트 혼합물 사용한 저탄소 아스팔트 콘크리트에 관한 연구가 추가로 요구되어진다고 보고하였다. (Russell 외 5인 2009)

버지니아 교통국에서는 두종류의 WMA 포장기술을 이용하여 다양한 위치에 시험시공을 2006년도에 실시하였다. 본 시험시공의 결과로부터 버지니아 교통국의 WMA를 사용할 수 있는 특수 시방서를 제작하는데 사

용하고 있다. 버지니아 교통국에서 사용한 WMA 첨가제는 Sasobit(유기첨가제)과 Evotherm ET 첨가제이며, 본 시험포장 구간은 2년 동안 3개월, 6개월, 1년, 2년간격으로 조사를 하였으며, 현장에서 코어를 채취하여 공극률과 투수성, 아스팔트 바인더를 추출하여 평가를 하였다. 본 실험 결과 공극률, 투수성에서는 HMA와 WMA에서 차이를 발견 할 수 없었으며, HMA와 WMA의 공용성은 같다는 결론을 얻었다. (Diefenderfer 외 1인 2010)

Bennert 외 3인(2010)는 WMA를 활용함으로써 얻는 장점중의 하나인 낮은 다짐온도에 관한 연구를 수행하였다. 폴리머 개질 아스팔트 바인더에 다양한 WMA 첨가제 투입량에 대한 다짐성을 평가 하였으며, 일반적인 아스팔트 바인더의 믹싱과 다짐온도는 다양한 WMA 첨가제의 사용량에 따라 민감하게 반응을 하지 않았다. 다짐률을 평가하기 위해서 Gyrotory Compactor, University of Massachusetts의 Workability 장치와 마살 다짐기를 사용하였다. 2% Rediset, 0.6% Evotherm 3G, 그리고 1.5% Sasobit 이 가장 좋은 다짐률을 나타내었다.

5. ENOVA 의 장점

ENOVA 제품의 많은 장점을 가지고 있으나, 핵심적인 장점 3가지는 다음과 같이 정리 할 수 있다.

ENOVA의 장점은 다른 중온화 첨가제에 비하여 소량(바인더 무게의 0.5%)를 사용함으로써 기존 중온 아스팔트포장 기술에 비하여 경제성 확보가 가능하며 모든 도로 포장 공법(배수성, SMA 등)에 적용 가능한 높은 경제성을 가진 제품이다.

현재 중온 아스팔트 포장기술은 도로포장 친환경 기술의 핵심이며, 여기에 수분에 대한 저항성을 향상시키는 기술을 접목한 ENOVA 기술을 사용함에 따라, 에너지 절약 및 유해가스배출 저감 등이 가능함으로써 도로 포장 친환경 기술의 핵심적인 역할을 한다.

ENOVA 기술은 낮은 생산 및 다짐온도에 의한 생산

성과 다짐성 부족을 극복하고 중온 아스팔트 기술의 최대 약점인 수분민감성에 의한파손을 억제하는 기술을 적용한 고품질의 기술 제품이다.

6. ENOVA 공용성 평가

액상형 중온첨가제(ENOVA)를 이용하여 생산한 중온 아스팔트 혼합물의 공용성 평가를 실내실험을 통하여 실시하였다. 개발된 ENOVA의 공용성능을 비교평

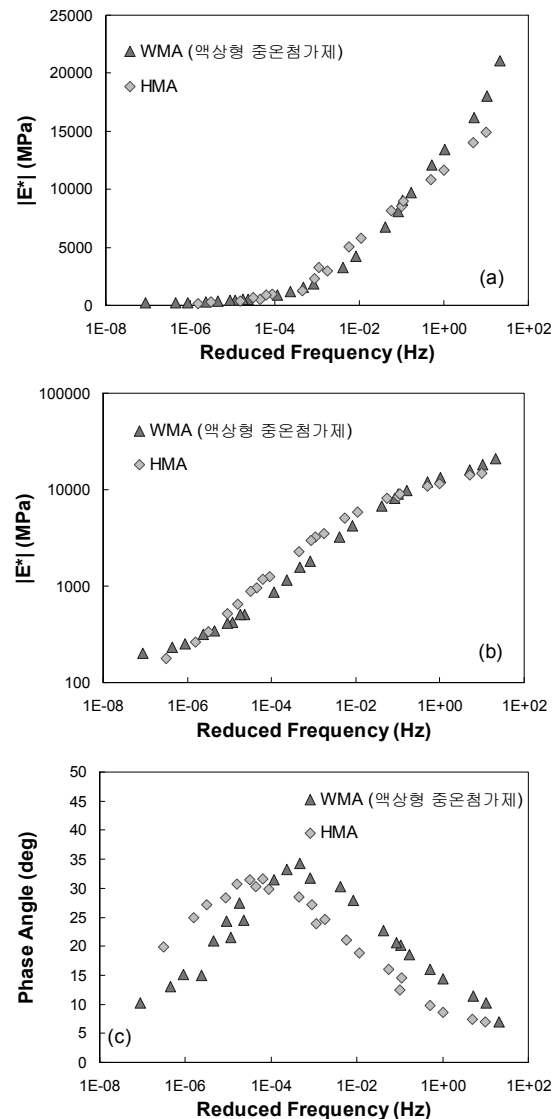


그림 2. WMA(액상형 중온첨가제) 혼합물의 동탄성계수 실험 결과

가 하기 위하여, 일반 가열아스팔트 혼합물과 동일 실험을 실시하여 비교를 하였다. 공용성을 평가하기 위하여 동탄성계수 실험, 피로균열 실험, 그리고 삼축압축 반복하중 실험을 실시하였다. [그림 2]는 액상형 중온첨가제(ENOVA)를 사용한 아스팔트 혼합물의 동탄성계수 실험 결과를 일반 가열아스팔트 혼합물과 비교하고 있다. [그림 2]에서 알 수 있듯이, 저온과 고온부에서는 액상형 중온첨가제 혼합물이 더 높은 동탄성계수를 보여주지만 중간온도 범위에서는 가열아스팔트 혼합물보다 낮은 동탄성계수를 갖는 것으로 나타났다. [그림 2]의 (c)에서 보이듯이, 위상각 마스터곡선으로부터 가열아스팔트 혼합물이 저온과 중간온도에서는 액상형 중온첨가제(ENOVA) 혼합물보다 더 탄성거동을 보이지만, 고온에서는 반대 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

[표 1]과 [그림 3]은 피로균열 실험 결과를 나타내며 그림에서와 같이 동일한 초기 변형률에서 액상형 중온첨가제(ENOVA) 혼합물이 HMA 혼합물에 비해 파괴 횟수가 약 1,200회 높은 결과를 나타내었다. 다시 말해서 인장변형률이 250마이크로 스트레인일 때, HMA 혼합물은 10,400회에서 파손이 발생되었으며 액상형 중온첨가제(ENOVA) 혼합물은 11,800회에서 파손이 발생하는 것으로 나타나 피로균열 저항성이 우수할 것으로 판단된다. [그림 4]는 소성변형에 대한 실험결과이고 이로부터 액상형 중온첨가제(ENOVA) 혼합물이 가열아스팔트 혼합물보다 소성변형에 대한 저항성이 더 클 것으로 사료된다.

표 1. 피로균열 저항성 평가 실험 결과

Mix Type	CX Input (microstrain)	Initial Peak-to-Peak Strain (microstrain)	N _f
HMA	1400	276	7,101
	1000	239	12,500
WMA (액상형 중온첨가제)	2500	420	1,987
	2000	358	3,495
	1500	291	4,824
	1500	224	21,293

- strain amplitudes are measured at the first 50 cycles.

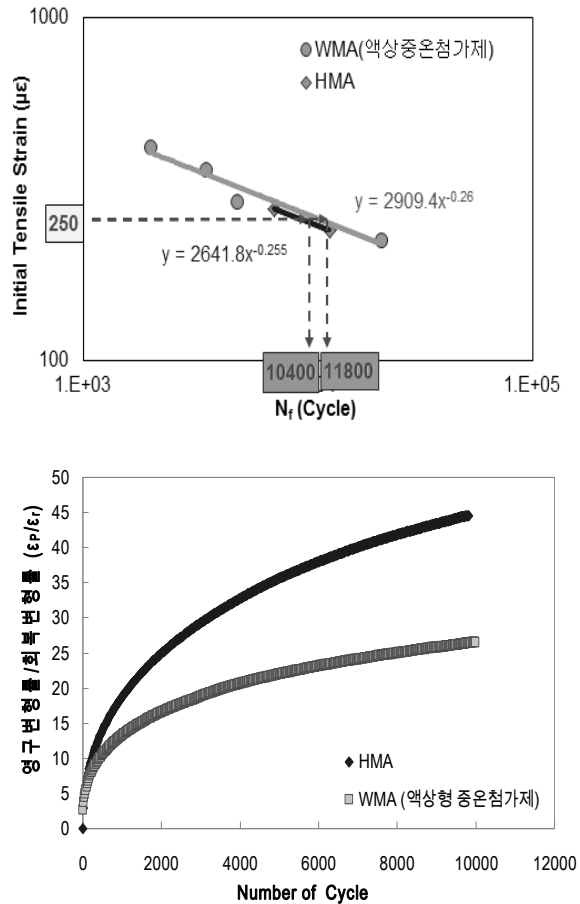


그림 3. WMA(액상형 중온첨가제) 혼합물의 소성변형 공용성 실험 결과

7. 맺음말

고유가 및 기후변화를 대비하기 위하여 세계적으로 중온 아스팔트 첨가제를 사용한 중온 아스팔트 포장 기술 개발에 많은 관심을 가지고 있다. 중온 아스팔트는 친환경 기술로서 현재 세계적으로 관심을 가지고 기상 이변을 줄이기 위한 지구온실가스를 줄이기 위한 친환경 기술로서 매우 중요하다고 할 수 있다. 특히, 생산 및 시공 중에 인체에 해로운 연기의 발생을 줄이고, 양생시간을 감소시킬 수 있으므로 현장 적용 효과도 매우 높은 것으로 파악된다. 순수 국내 기술로 개발된 ENOVA 중온 아스팔트도로포장기술은 액상형 화학첨

가제를 활용하는기술로서 아스팔트함량의 0.5%를 사용하여 기존 가열 아스팔트 도로 포장 생산 및 다짐온도보다 약 30℃ 낮은온도에서 생산 및 다짐이 가능하면서 기존 가열 아스팔트 포장보다 향상된 품질을 확보가 가능하며 특히, 수분민감도에 대한저항성을 향상시켜 포트홀등 수분에 의한 도로포장의 파손을 감소시키는 친환경도로포장기술이다.

순수 국내기술로 제품 개발이 성공함으로써 향후 국제 경쟁력이 충분히 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Bennert, T., G. Reinke, W. Mogawer, and K. Mooney. Assessment of Workability/Compactability of Warm Mix Asphalt, the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2010.
2. Diefenderfer, S.D. and A.J. Hearon. Performance of Virginia's Warm-Mix Asphalt Trial Sections, Virginia Transportation Research Council, Virginia Department of Transportation, 2010.
3. Hamzah, M.O., A. Jamshii, and Z. Shahadan. Effects of Sasobit on the Required Heat Energy and CO₂ Emission on Blend Asphalt Binder Incorporated with Aged Binder, European Journal of Scientific Research, Vol.42 No.1 pp 16-24, 2010.
4. Huley and Prowell. Evaluation of Evotherm for Use in Warm Mix Asphalt, NCAT Report 06-02, National Center for Asphalt Technology, 2006.
5. Kvasnak, A., R. West, J. Moore, J. Nelson, and P. Turner. Case Study of Warm Mix Asphalt Moisture Susceptibility in Birmingham. Presented at 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, WashingtonD.C., 2009.
6. Kvasnak, A., B. Powell, and R. West. National Warm Mix Asphalt Certification. National Center for Asphalt Technology, 2010.
7. Reese, R. Properties of Aged Asphalt Binder Related to Asphalt Concrete Fatigue Life. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, AAPT, Vol. 66, 1997, pp. 604-632.
8. Russell, M., J. Uhlmeier, J. Weston, J. Roseburg, T. Moomaw, and J. DeVol. Evaluation of Warm Mix Asphalt, Washington State Department of Transportation Material Laboratory, 2009.