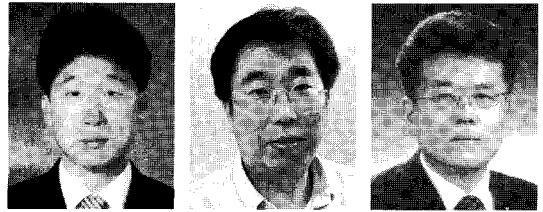


유럽의 저탄소 중온 아스팔트 포장(WMA)의 기술 현황



조 동 우 | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 Post doc. · 공학박사
 황 성 도 | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 책임연구원 · 공학박사
 임 광 수 | 정회원 · 국토해양부 간선도로과 사무관

1. 중온 아스팔트 포장의 개발 배경

아스팔트 포장 산업과 정부 관계 기관들은 도로 포장의 기능성을 개선하면서 시공 효율성 증진, 자원 보전 그리고 친환경적인 기술 개발 등의 노력들을 지속적으로 모색하고 있는 중이다. 이러한 기술 중의 하나로서, 최근 저탄소 효과가 우수한 것으로 평가되고 있는 포장 공법이 중온 아스팔트 포장(Warm-Mix Asphalt, WMA)이다. 이 공법은 도로 포장에서 일반적으로 적용하고 있는 가열 아스팔트 포장(Hot Mix Asphalt, HMA)의 생산과 시공 온도를 낮추는데 목표를 두고 기술 개발이 이루어져 왔다. 이 기술은 아스팔트의 점성을 낮추어 낮은 온도 조건에서 골재와의 코팅 및 생산 효율을 향상시키는데 중점을 두고 있다. 즉, 중온 아스팔트 포장은 가열 아스팔트 포장에 비해 약 20~55℃ 정도 낮은 온도에서 생산 및 시공이 이루어진다. 일반적으로 중온 아스팔트 포장은 기존의 가열 아스팔트 포장을 대체한 공법으로서, 밀입도, 갱입도, 개입도 아스팔

트 혼합물을 포함하여 모든 종류의 포장 재료에 사용하고 있다. 그리고 다양한 층 두께 범위와 다양한 교통수준의 도로에서 중온 아스팔트 포장이 적용되고 있다. 이러한 중온 아스팔트 포장의 주요한 특징 중의 하나는 낮은 온도 조건에서의 우수한 작업성으로 인한 다짐도의 향상으로 포장체내로의 투수성을 줄이고 노화현상을 저감시켜 아스팔트 피막의 경화를 억제하는 효과가 있다. 이는 결과적으로 아스팔트 포장의 균열 및 수분민감성을 개선시키는 부가적인 효과를 기대할 수 있다.

현장 시공 환경 측면에서는 동절기에 도로 포장을 시공하는 경우나 아스팔트 혼합물의 장거리 수송이 필요한 경우에도 중온 아스팔트 포장 기술은 품질 확보에 큰 장점을 가지고 있다. 아스팔트 혼합물의 생산 온도와 대기 온도 사이의 차이가 작으면 작을수록 온도 저하율도 떨어지기 때문에 중온 아스팔트 혼합물은 낮은 온도에서도 쉽게 다짐할 수 있고 다짐도 증진에도 유리하다. 또한 에너지 부문에서의 효과로는 생산 온도의 저하에 따른 저에너지형 건설

재료라는 측면이다. 2000년 이후 세계경제의 팽창에 따라 최근 몇 년 동안 에너지 비용은 가파르게 증가해 왔다. 만약에 아스팔트 혼합물 생산 온도가 본래 생산 온도로부터 28℃ 정도 낮추어진다면, 골재를 가열하고 건조하는데 필요한 연료 소모량을 약 30% 이상 줄일 수 있다.

이외에 에너지 소비에 따른 온실가스 배출 측면에도 중온 아스팔트 포장은 기존 공법에 비해 온실가스 저감에 큰 효과가 있다. 즉, 화석연료의 사용 저감에 따라 이산화탄소의 배출도 동일한 저감 효과를 나타내는 것이다. 일반적으로 화석연료의 사용 비율과 이산화탄소의 저감 비율은 동일한 것으로 알려져 있다.

중온 아스팔트 포장 공법은 최초로 유럽에서 시작되었으며, 현재 여러 관련 업체에서 다양한 제품을 개발 및 보급하고 있다. 이러한 중온 아스팔트 포장의 선진화 기술 현황을 파악할 목적으로 2002년도 미국 국립아스팔트포장협회(NAPA)는 유럽 지역에 관련 공무원 및 실무자를 파견하였다. 본 조사 결과를 통해 미국 내에서 중온 아스팔트 포장 기술에 대한 관심이 증가하였으며, 미국연방도로교통국(FHWA)은 연구 집중 대상 분야로 본 기술을 지정하였다. 현재 많은 주정부의 참여로 다수의 시험포장 구간이 설치되고 있으며, 미연방도로교통국(FHWA)과 국립아스팔트포장협회(NAPA)는 중온 아스팔트 포장 기술 작업그룹(WMA TWG)을 구성하여 중온 아스팔트 포장의 기술 현황 조사 및 시험포장 구간의 설치를 주도하고 있다. 본 기사는 이러한 미국 기술조사팀의 보고 결과를 정리하여 소개하고자 한다.

2. 유럽 중온 아스팔트 포장의 기술 조사 개요

미국도로교통협회(AASHTO)와 미국연방도로교통국(FHWA)은 유럽의 중온 아스팔트 포장 기술의 현황을 조사 분석하고자, 유럽 기술조사팀을 구성하여 유럽의 관련 개발 기관, 공급 업체와 더불어 기술

발전을 도모한 전문 포장업체 및 시공 도급업체의 기술자와 접촉하였다. 이를 통해 조사팀은 중온 아스팔트 포장의 적용 역사가 가장 오래된 유럽에서의 공용 특성과 기능성 등을 확인할 수 있었다.

이러한 유럽 기술조사팀은 총 13인으로 구성되었으며, 2007년 5월 유럽내 국가들의 중온 아스팔트 포장 기술 현황을 조사 평가하고자, 유럽 4개국(벨기에, 프랑스, 독일, 노르웨이)을 방문했다. 이를 통해 조사팀은 중온 아스팔트 포장 관련 다수의 기술들을 조사하였고, 이 기술의 사용목적 및 범위, 방법 등에 대해 정부 기관의 관계자와 다수의 토론을 진행하였다. 또한 실제 적용 현황을 파악할 목적으로 많은 공사 현장을 방문하였으며, 시공 모습을 직접 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 유럽 국가에서 중온 아스팔트 포장의 지속적인 발전을 도모한 다음의 요소들을 분석 구분하였다.

- 환경적인 요소들 그리고 지속가능한 발전을 위한 관심: 적극적인 에너지 의존성 감소 및 이산화탄소 배출 억제
- 현장 다짐 등 시공 기술의 발전: 온도 영향에 따른 다짐도 보장을 통한 시공 시기의 확장 및 포장재료의 장거리 운송 가능
- 현장 시공 기능원의 복지: 현장 시공 중 배출 유해가스의 저감을 통한 시공 기능원의 피폭 요인 제거



그림 1. 유럽 기술 조사팀 모습

3. 중온 아스팔트 포장의 적용 장점

유럽 중온 아스팔트포장의 기술 조사 결과, 중온 아스팔트 포장의 적용에 따른 장점으로 다음과 같은 항목을 제시하였다.

- ① 유해가스 배출 감소 : 현장 배출가스 측정을 통해 아스팔트 플랜트의 생산 과정에서 다량의 유해가스 배출이 감소하였다는 것을 알 수 있었다. 가열 아스팔트 포장과 비교하여 일반적으로 알려진 배출가스별 감소율은 이산화탄소(CO₂) 및 이산화황(SO₂)이 30~40% 정도, 휘발성 유기화합물(VOC)이 50%, 일산화탄소(CO)는 10~30%, 질소산화물(NO_x)은 60~70%, 그리고 먼지는 20~25% 정도이다.
- ② 화석연료 사용 감소 : 일반적으로 가열 아스팔트 혼합물을 생산하는데 필요한 에너지와 비교하여 중온 아스팔트 혼합물은 약 11~35% 정도를 감소시키는 것으로 알려져 있다.
- ③ 현장 다짐도 확보 : 가열 아스팔트 포장의 현장 시공 온도에 비해 약 30℃ 낮은 온도 조건에서 충분한 다짐도 확보가 가능하고, 장거리 운송에 따른 온도 저감에도 충분한 작업성을 발휘할 수 있다.
- ④ 현장 작업자의 피폭 감소 : 아스팔트 혼합물의 포설 및 다짐 공정 중에 배출되는 유해가스인 저분자량의 방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbon, PAHs)가 가열 아스팔트 혼합물과 비교하여 약 30~50%에 감소하는 것으로 알려져 있다.

4. 유럽 중온 아스팔트 포장 기술의 분류

중온 아스팔트 포장 기술들은 다양한 방법으로 분류되고 있으나, 가장 일반적인 방법은 생산 온도의 분포로 구분하는 방법이다. 다음의 그림 2와 같이

중온 아스팔트 혼합물은 크게 2가지로 구분된다. 즉 약 80~100℃ 사이의 하프 워름 아스팔트(Half Warm Asphalt)와 110~140℃ 사이의 워름 아스팔트(Warm Asphalt)이다. 그림에서 보는 바와 같이 2가지 종류의 중온 아스팔트는 일반적인 가열 아스팔트에 비해 적게는 30℃에서 많게는 60℃까지 낮은 온도를 나타낸다.

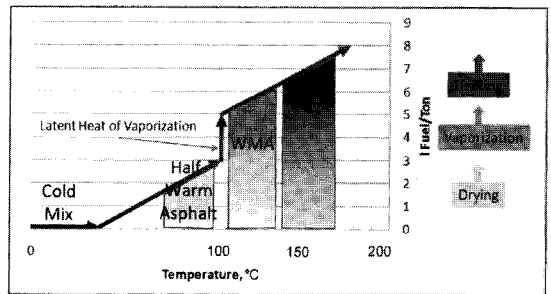


그림 2. 온도의 범위에 따른 중온 아스팔트의 분류

이러한 중온 아스팔트 포장 기술을 분류하는 또 다른 방법은 재료 형태에 의한 것이다. 이는 아스팔트의 중온화를 위해 물 첨가 또는 점도 저하에 영향을 주는 유기 첨가물 등 첨가물 재료로 구분하는 것이다. 각 재료 형태에 대한 내용은 다음과 같다.

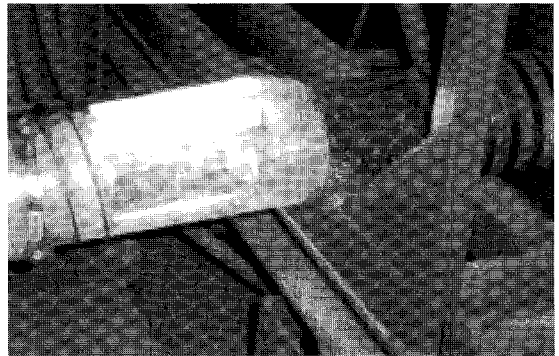
4.1 유기 첨가제

Sasobit은 피셔-트롭셔(Fischer-Tropsch) 파라인 왁스 종류로서 촉매 및 증기를 이용한 석탄의 증류 과정에서 얻어진다. 이 왁스는 98℃보다 높은 용융점과 함께 낮은 온도에서의 높은 점성과 높은 온도에서 낮은 점성 특성을 나타내는 왁스이다. 이 왁스는 규칙적으로 분포된 미시적 막대모양의 입자들 속에서 65℃와 115℃ 사이에 굳는다. 이 재료는 아스팔트의 개질을 목적으로 사용되기도 하고 또는 혼합물에 직접 첨가하기도 한다.

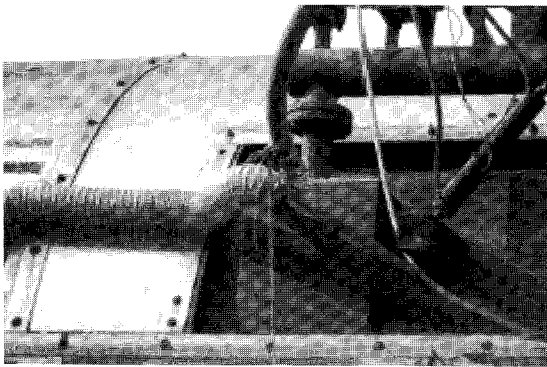
이 외에 Asphaltan-B는 지방성 산 아마이드(fatty acid amide)를 가지고 섞은 정제된 몬탄(Montan) 왁스로서, 화석화된 식물 왁스 종류이다. 이 왁스의



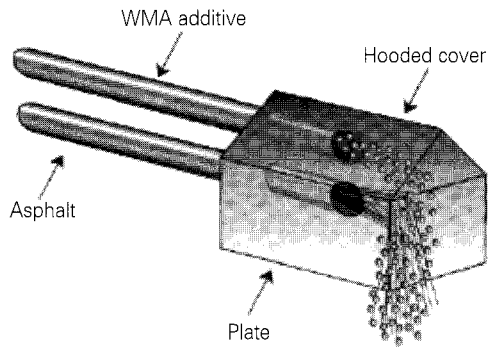
(a) 투입장비 전경



(b) 피드(Feeder)



(c) 투입구(Inlet Port)



(d) 혼합기(Mixing Box)

그림 3. 생산 공장에서 첨가물 넣는 장치

용융점은 82~95℃이다. 이 재료는 오랫동안 아스팔트의 점성 개질제로서 다양한 제품 형태로 사용되어 왔다.

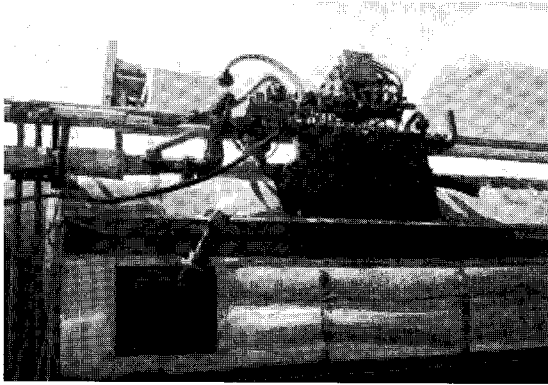
4.2 폼드화(Foaming) 공정

아스팔트의 증온화를 위한 폼드화 기술은 물 또는 습윤성 골재 등을 가열 아스팔트에 투입하면서 발생하는 증기에 의한 아스팔트의 순간적인 체적 팽창으로 점도가 감소하는 원리이다. 여기에서 체적 팽창에 영향을 주는 요소는 첨가되는 물의 양과 아스팔트의 온도 등이다.

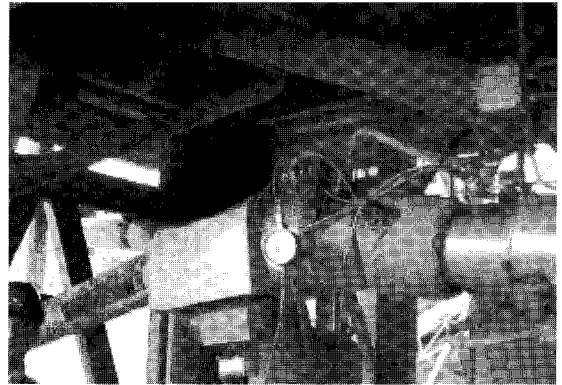
Aspha-min은 알칼리 금속의 alumino-silicates

의 합성 제올라이트(zeolite)를 사용한다. 여기에는 대략적으로 약 20% 정도의 물이 포함되어 있으며, 높은 온도 상태에서 증기로 변화하면서 방출되는 특성을 가지고 있다. 일반적으로 혼합물 무게의 약 0.3% 정도의 제올라이트를 아스팔트에 투입하던지 혼합물 생산 시 투입하는 방법이 적용된다. 제올라이트는 매우 작은 양의 물을 방출하면서 아스팔트의 부피 팽창과 함께 점도가 감소하는 폼드화(foaming)가 진행된다. 이 과정에서 물은 점진적으로 방출되면서 6~7시간까지 낮아진 점도로 현장에서 포설 및 다짐 공정까지 작업성을 확보할 수 있는 것으로 알려져 있다.

LEA(Low Energy Asphalt), EBE(enrobé à



(a) Double-Barrel Green 공법

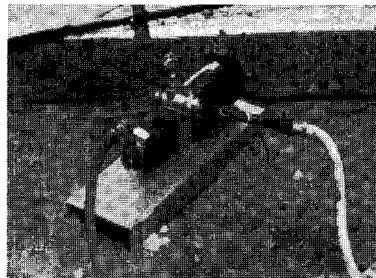


(b) WAM-Foam 공법

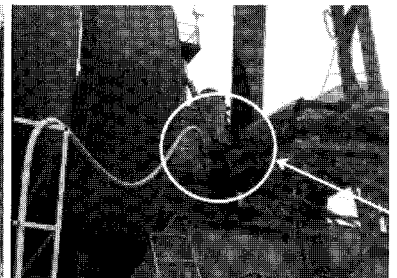
그림 4. 폼드화(Foaming) 공법



(a) 첨가제(Additive)



(b) 첨가제 공급장치

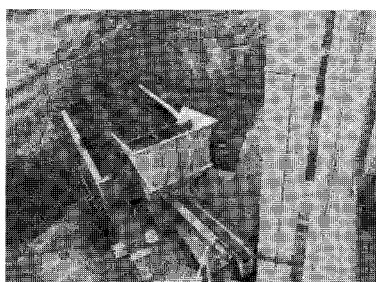


(c) 아스팔트 투입장치

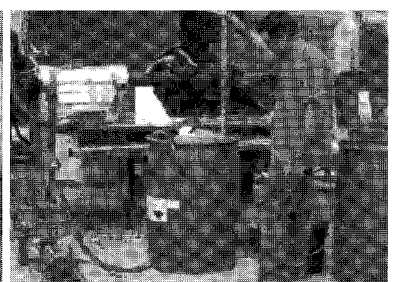
그림 5. Evotherm™ DAT 공정



(a) 잔골재의 수분 조정



(b) 수분 잔골재의 콜드빈 및 엘리베이트



(c) 투입 펌프 및 첨가제

그림 6. Low Energy Asphalt 생산 공정

basse énergie), 그리고 EBT(enrobe basse temperature)는 아스팔트의 폼드화를 위해 골재에 포함되어 있는 수분을 사용하는 공법이다. LEA 공법은 먼저 굵은골재를 약 150℃까지 가열하고 필요한 바인더를 혼합한다. 다음으로 아스팔트가 코팅된

굵은골재에 약 3%의 물이 포함된 상온의 잔골재를 투입하여 혼합한다. 이 과정에서 가열상태의 굵은골재와 혼합되면서 수분의 증기화로 폼드화가 발생하면서 아스팔트 혼합물은 약 100℃ 정도가 되는 중온화 상태가 된다.

5. 유럽 중온 아스팔트 포장의 종류 및 적용

밀입도 아스팔트 혼합물, SMA, 개립도 아스팔트 혼합물 등 모든 종류의 아스팔트 혼합물에 중온 아스팔트 기술들이 적용되고 있다. 이 외에 중온 아스팔트는 고분자 개질 아스팔트 및 재생 아스팔트에도 사용하고 있다. 이러한 중온 아스팔트 포장 기술은 중교통 조건의 도로뿐만 아니라 비행장, 버스정류장 등에도 적용되고 있다.

본 조사 기간 동안 방문한 유럽의 도로관리기관들은 중온 아스팔트 포장이 가열 아스팔트 포장과 동일한 기능성과 강성특성을 가지는 것으로 제시하였다. 중온 아스팔트 포장을 미국에 적용하는 데에 영향을 미치는 유럽 기관들의 경험은 최소 2~5년 정도의 하자보증 기간이 계약조건에 포함되어 있다는 것이다. 이 외에도 프랑스와 독일의 경우에는 본 공법을 적용하기 위한 평가 및 인증 시스템을 가지고 있다.

이러한 조사 과정 동안 유럽의 실무자 사이에 중온 아스팔트 포장의 설계, 생산 및 포설 공정에서 몇 가지 차이점이 있다는 것을 파악하였다. 일반적으로 유럽에서 아스팔트 혼합물을 생산하기 위해 규정하고 있는 골재의 함수율은 보통 2% 이하였고, 프랑스에서는 1% 이하였다. 이에 반해 미국의 일부 지역에서 아스팔트 혼합물을 생산하는데 규정하고 있는 골재의 함수율은 약 5%로 높은 수치를 적용하고 있다. 이에 유럽의 실무자들은 중온 아스팔트의 생산을 위해서는 낮은 함수율로 골재를 건조하도록 별도의 기준 마련이 필요함을 제안하였다.

6. 중온 아스팔트 포장 기술의 향후 과제

미국 기술조사팀은 미국이 중온 아스팔트 포장을 도입할 경우 요구되는 향후 과제를 제안하였다. 향후 과제는 장기공용성 검증, 생산 품질의 평가 인증

기준 및 품질관리, 생산량 향상을 위한 기술 개선, 건조 골재 사용 기준, 발주 계약 기준 등이 포함되어 있다.

또한 조사결과에 따르면 미국은 중온 아스팔트 포장을 사용하는 데에 장기적 관점에서 제약 요소가 없는 것으로 판단하고 있으나, 일부 조사 및 평가가 필요한 것으로 생각하고 있다. 결과적으로 기술조사팀의 공통된 판단은 중온 아스팔트 포장이 매우 실용적인 기술이고, 미국 고속도로 관련 정부 기관들과 가열 아스팔트 포장 산업은 이러한 길을 추진하는데 다각적으로 협력할 필요가 있다는 것을 제시하였다. 다음은 조사팀에서 제시한 주요한 실행 목적을 정리한 것이다.

- 중온 아스팔트 포장 공법이 가열 아스팔트 포장과 동일한 품질기준이라면, 중온 아스팔트 포장은 도급업자의 재량에 의해 가열 아스팔트 포장의 대체 공법으로 사용되어야 한다.
- 중온 아스팔트 포장 공법을 위한 새로운 품질 인증 시스템이 개발되어야 한다. 이러한 인증 시스템은 포장 공용성에 기반을 두면서 현장 시험으로 보완되어야 한다. 이는 기존에 사용되고 있는 가열 아스팔트 포장의 기술보다 넓은 범위에서 강구되어야 한다.
- 중온 아스팔트 혼합물을 생산하면서 특히 최선의 골재 품질기준을 마련할 필요가 있다. 이는 골재의 함수량, 저장방법, 건조기술 등이다.
- 중교통 조건을 가진 도로를 대상으로 중온 아스팔트 포장에 대한 시험시공의 확대가 필요하다. 이러한 시험포장은 일정한 규모를 가질 필요가 있고 적정한 품질관리기준 내에서 실시되어야 한다.

참고 : 이 기사는 Warm-Mix Asphalt: European Practice의 내용을 발췌해서 요약한 내용입니다.