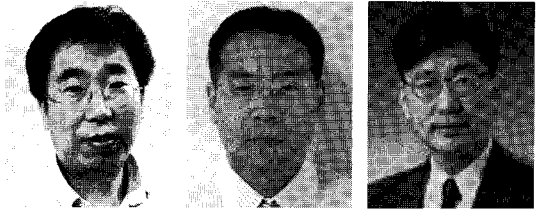


# 폼드 아스팔트 기술을 이용한 친환경 중온 아스팔트 포장

(Warm Mix Asphalt using Foamed Asphalt Technology)



황성도 | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 책임연구원 · 공학박사  
김용주 | 정회원 · 아이오와주립대학교 연구원 · 공학박사  
이호신 | 정회원 · 아이오와주립대학교 교수 · 공학박사

## 1. 서론

전 세계적으로 지구 온난화 및 환경오염에 대한 문제가 이슈화되면서 다양한 방법으로 지구 온난화 및 환경 오염을 감소시킬 수 있는 방법에 관심이 집중되고 있다. 지난해 9월 지식경제부에서는 그린에너지 산업을 성장 동력화하는 전략과 신재생 에너지 보급을 확대하기 위한 계획을 발표하고 '저탄소 녹색성장 전략'을 국가발전 비전의 축으로 제시했다. 이러한 비전이 제시된 가운데 국내의 자동차 회사들은 미래의 고부가가치산업인 친환경 차량 개발에 전력을 기울이고 있으며 기존의 내연기관 대비 효율이 높고 연비가 좋으며 배출가스나 CO<sub>2</sub> 배출량이 적은 클린 디젤차, 하이브리드차, 전기자동차와 연료전지차를 연구 개발하여 출시를 앞두고 있다. 도로포장 분야에서도 에너지 절감, 비용절감, 대기오염 최소화를 기본으로하는 환경친화적인 포장재료 개발 및 기술개발에 관한 연구가 수행되고 있다. 현재 연구 개발중인 대표적인 환경친화적인 포장기술로는 중온

아스팔트 포장(Warm Mix Asphalt Pavement), 차열성 포장(Cool Pavement), 보유성 포장(Energy Storing Pavement), 배수성 포장(Porous Pavement), 저소음 포장(Quiet Pavement), 재활용 포장(Recycled Pavement) 등이 있다.

최근 들어 유럽과 미국에서는 가열 아스팔트보다 30℃ 이상 낮은 온도에서 아스팔트 혼합물의 생산 및 현장 시공이 가능한 환경친화적인 중온아스팔트 기술을 연구 개발하여 고속도로 현장에 적용하고 있으며 다양한 중온 아스팔트 기술을 적용한 신설 도로들이 급속하게 증가하고 있다. 2008년 10월 국내에서도 국내에서 개발된 중온화 첨가제를 사용하여 최초로 중온 아스팔트 포장이 성공적으로 시공되었으며 지속적인 추적조사를 통한 공용성 평가를 진행 중이다.

여기에서는 여러가지 중온 아스팔트 기술 가운데 경제적이며 다양한 분야에 사용되고 있는 폼드아스팔트(Foamed Asphalt) 기술을 이용한 중온 폼드 아스팔트 포장 기술에 대한 내용을 소개하고자 한다.

## 2. 폼드 아스팔트의 원리

폼드 아스팔트의 생산 원리는 매우 간단하다. 폼드 아스팔트를 생산하기 위해서는 가열 아스팔트, 상온의 물 및 압축공기가 필요하다. 그림 1에 나타난 것과 같이 일정한 온도로 가열된 아스팔트가 상온의 물 및 압축공기와 동시에 접촉하면서 액체상태의 아스팔트가 순간적으로 거품형태로 바뀌고 아스팔트는 본래의 체적의 최대 20배 이상 증가하면서 상온이나 중온에서 토질이나 골재를 코팅시킬 수 있도록 아스팔트의 표면적이 증가하고 점도가 감소하게 된다(그림 2).

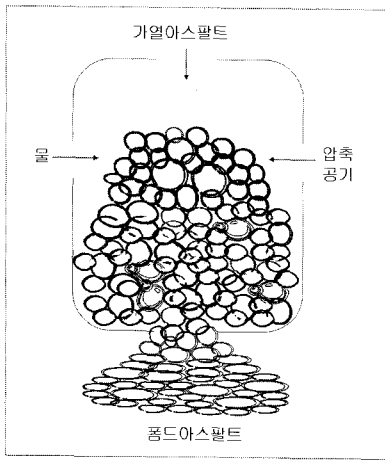


그림 1. 폼드 아스팔트 생산원리

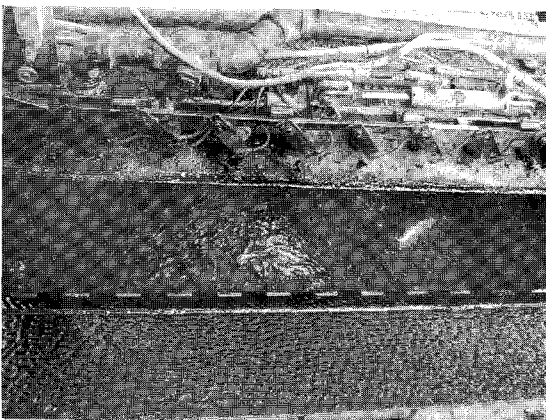


그림 2. 폼드 아스팔트 혼합물 생산

폼드 아스팔트의 장점으로서는 폼드 아스팔트 처리된 토질이나 아스팔트 혼합물은 특별한 저장시설이 없이 장시간 동안 저장하여 사용할 수 있으며 다양한 토질종류나 골재와 함께 사용이 가능하다. 또한 상온 유화 아스팔트와 같은 첨가제에 비하여 적은 양의 아스팔트 함량과 물을 사용함으로써 매우 경제적일뿐만 아니라 양생시에 휘발성 물질이 방출되지 않기 때문에 환경친화적인 포장 공법으로 분류된다. 또한, 폼드 아스팔트는 현장에서 즉시 혼합 및 생산이 가능하고 포설과 다짐 후에도 즉시 교통을 운행시킬수 있을 만큼 조기 경화가 빠르다. 이러한 많은 장점을 가지고 있는 폼드 아스팔트는 다양한 방법으로 세계 각국에서 사용되고 있으며 국내에서는 1999년 폼드 아스팔트가 소개되어 다수의 연구가 수행되었으나 아직까지 실용화되지는 않고 있다.

## 3. 폼드 아스팔트의 역사

폼드 아스팔트 기술은 1957년 미국 아이오아 주 립대에서 처음으로 개발되었다. 처음에 개발된 폼드 아스팔트 기술은 가열 아스팔트에 스팀을 사용하여 폼드 아스팔트를 생산하였으나 1968년 Mobile Oil Australia는 시공 현장에서 일정한 폼드 아스팔트를 생산하기 위해 스팀을 사용하는 대신 상온의 물을 사용하여 폼드 아스팔트를 생산하는 기술을 수정하였다. 이러한 기술들이 1990년까지 유럽과 미국에서 폼드 아스팔트를 사용하여 다양한 토질을 안정화시키는 처리방법으로 사용되었다(그림 3). 폼드 아스팔트에 의해 안정처리된 토질은 점착력, 강도, 탄성, 피로저항, 수분저항을 증가시키는 효과를 나타내었다. 2000년부터는 밀링장비의 향상, 현장 폼드 아스팔트 장비 개발 등으로 현장에서 노후한 아스팔트 포장을 재활용하는 현장 상온 재생 폼드 아스팔트 포장에 사용되고 있다(그림 4). 현장 상온 재생 폼드 아스팔트 포장은 강도, 안정도, 작업성 등을 향상시켜 교통량이 적은 도로를 대상으로 널리 사용되

고 있다. 최근에는 폼드 아스팔트의 생산 중에 낮은 점도 특성을 이용하여 중온으로 가열된 골재와 혼합이 이루어지는 중온 폼드 아스팔트 포장이 시공되고 있다(그림 5).



그림 3. 폼드 아스팔트를 이용한 지반 안정처리 시공 (Iowa State 2007년)

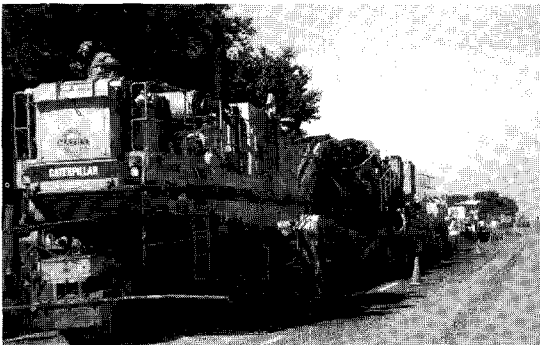


그림 4. 현장 상온 재생 폼드 아스팔트 포장 시공 (Iowa State 2008년)

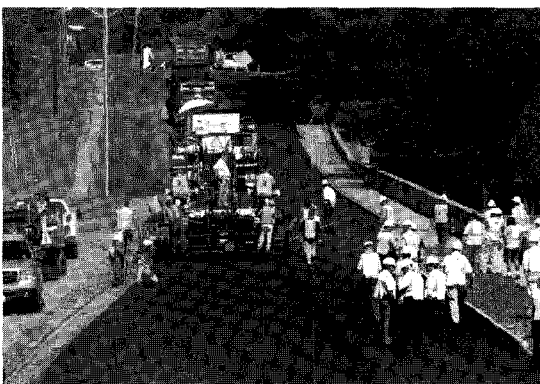


그림 5. 중온 폼드 아스팔트 포장 시공 (Tennessee State 2007년)

#### 4. 중온 아스팔트

1997년 Bitumen Forum of Germany에서 도로 포장 분야에서 유해가스를 감소시킬 수 있는 한 가지 방법으로 중온 아스팔트 기술이 최초로 소개되었다. 중온 아스팔트는 가열 아스팔트와 비교하여 혼합물의 생산, 포설, 다짐작업이 현저히 낮은 온도에서 포장이 가능한 환경친화적인 새로운 포장재료로서 에너지 비용절감 및 이산화탄소와 유독가스를 감소시켜준다. 중온 아스팔트의 적용으로 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

- 30% 이상 에너지 소비 비용 절감
- 이산화탄소와 유해 배출물질의 발생 감소
- 낮은 온도에서 아스팔트 생산 및 시공 가능
- 아스팔트 산화 현상 저감
- 조기 교통개방 가능
- 기후조건 제한 완화(겨울철 시공 가능)
- 재활용 포장재료와 함께 사용가능

2002년 중온 아스팔트 기술이 미국에 처음으로 소개된 이후 다양한 기술이 개발되었고 2004년 시험포장을 시작으로 지방도로는 물론 고속도로에까지 중온 아스팔트 포장이 시공되고 있다(그림 6). 2008년부터 NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)에서는 중온 아스팔트를 위한 배합설계법 개발 및 중온 아스팔트 혼합물의 강도특성, 장기 및 단기 공용성 평가에 대한 연구가 수행되고 있다. NCHRP 프로젝트 9-43에서는 다양한 중온 아스팔트 기술이 적용 가능한 배합설계법을 개발하고 있으며 이와 함께 중온 아스팔트 혼합물에 대한 평가 및 분석절차를 위한 지침에 대한 연구가 진행 중이다. NCHRP 프로젝트 9-47에서는 가열 아스팔트 포장에 공용성 특성을 참고하여 중온 아스팔트 바인더와 혼합물의 공학적 및 역학적 특성평가에 대한 연구가 수행 중이다.

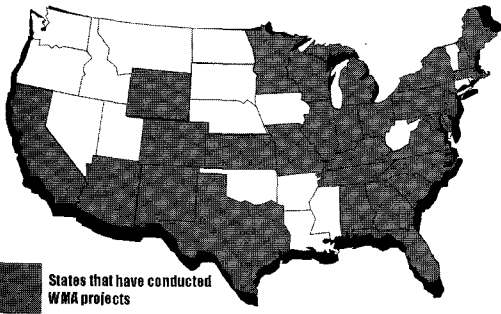


그림 6. 미국의 중온 아스팔트 포장 시공 사례

된다. 첫 번째로는 유기첨가제를 사용하는 방법으로 Sasobit®, Asphaltan-B, Licomont BS-100, Cecabase RT, Kumho KW가 있다. 두 번째로는 아스팔트와 수분 사이에서 발생하는 거품효과를 이용하는 방법으로 Aspha-min®, Advrea WMA, WMA Foam®, Double Barrel Green System, Ultrafoam GX, Warm Mix Asphalt System, Aqua-Black, Low Energy Asphalt가 있다. 마지막으로 화학첨가제를 사용하는 방법으로 Evotherm J1과 Rediset™ WMX가 있다.

표 1에 정리한 것과 같이 현재까지 여러가지 종류의 중온 아스팔트 기술이 개발되었으며 실용화되고 있다. 중온 아스팔트 기술은 크게 3가지로 분류

### 5. 중온 폼드 아스팔트

여러가지 중온 아스팔트 기술 가운데 폼드 아스팔

표 1. 중온 아스팔트 기술

항목	기술명	처리방법/첨가제	개발회사	미국에서 현장적용
유기첨가제	Sasobit	피셔 트롭쉬 왁스	Sasol Wax Americas, Inc.	Yes
	Asphaltan-B	몬탄 왁스	Romanta	No
	Licomont BS-100	지방산 아마이드	Clariant	No
	Cecabase RT	특수 유기첨가제	Ceca	No
	Kumho KW	특수 왁스첨가제	Kumho Pertochemical	No
폼드기술	Aspha-min®	제올라이트	Eurovia	Yes
	Advera WMA	제올라이트	PQ Corporation	Yes
	Double Barrel Green	폼드아스팔트	Astec Industries, Inc.	Yes
	Ultrafoam GX	폼드아스팔트	Gencor Industries	Yes
	Warm Mix Asphalt System	폼드아스팔트	Terex Roadbuilding	Yes
	Aqua-Black	폼드아스팔트	Maxam Equipment	Yes
	WMA Foam®	Soft한 아스팔트와 hard한 아스팔트를 이용한 폼드 아스팔트 처리	Kolo Veidekke, Shell Bitumen	No
	Low Energy Asphalt	수분함유 잔골재와 특수첨가제를 사용한 연속코팅 처리	McConnaughay Technologies	Yes
화학첨가제	Evotherm ET	유화제와 특수 첨가제	MeadWestvaco Asphalt Innovations	Yes
	Evotherm DAT	특수 첨가제		Yes
	Evotherm J1	Evotherm과 REVIX제품을 결합한 특수 첨가제		Yes
	Rediset™ WMX	특수 첨가제		Akzo Nobel Surfactants

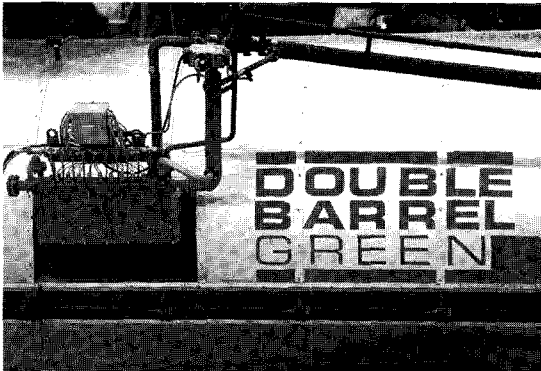
트를 이용하는 중온 폼드 아스팔트의 생산과정은 거품상태의 아스팔트가 중온에서 가열된 골재와 혼합이 가능하도록 작업성을 유지시켜 준다. 일정한 온도로 가열된 아스팔트에 소량의 수분이 첨가되면 수분이 증발하고 증발기체는 아스팔트에서 분리된다. 가열된 아스팔트가 거품상태로 변화하는 동안 일시적으로 아스팔트는 본래 체적을 최대 20배까지 표면적을 증가시켜 거품형태로 만들어지며 동시에 아스팔트의 점도를 낮추어 낮은 온도에서도 골재와 혼합되고 다짐작업이 가능하게 만들어준다.

그림 7과 같이, 폼드 아스팔트를 이용하여 생산되는 중온 폼드 아스팔트는 생산과정이나 플랜트 적용 방식에 따라 현재 5가지 기술이 소개되어 실용화되었다. 폼드 아스팔트를 생산하기 위해서는 수분이

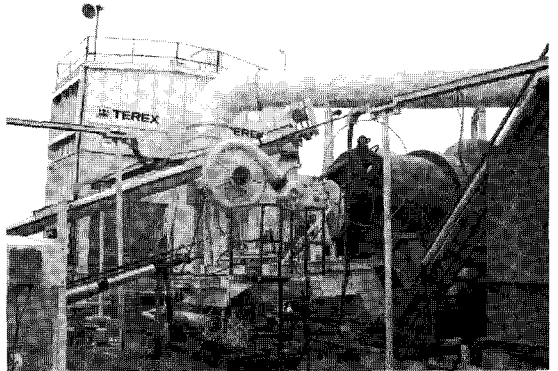
직접 아스팔트에 주입될 수 있도록 특수하게 제작된 노즐이 필요하다. 중온 아스팔트 생산을 위하여 폼드 아스팔트 기술을 사용할 경우 기존에 아스팔트 플랜트의 개조가 요구되지만 유기첨가제나 화학첨가제와 같은 첨가제를 필요로 하지 않기 때문에 장기적인 측면에서 공사비용을 절약할 수 있다.

### 5.1 WMA-foam®

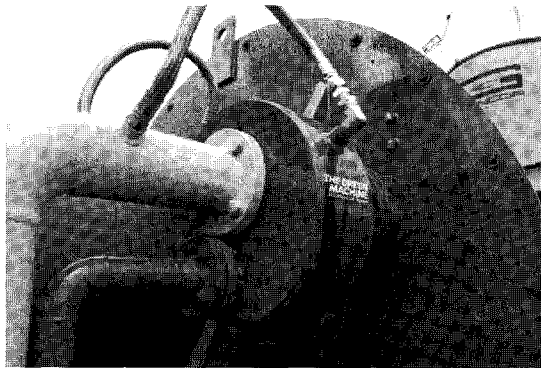
WMA-foam®은 Shell사와 Kolo Veidekke사에 의해 공동 개발되어 노르웨이, 영국, 네덜란드 등 유럽지역에서 많은 시공이 이루어졌다. WMA-foam®은 두 단계의 생산공정을 통해서 생산되는데, 먼저 중온으로 가열된 골재는 매우 연약한 아스팔트를 사



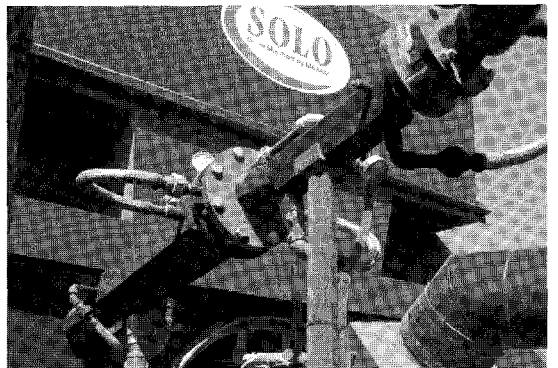
(a) Double Barrel Green



(c) Warm Mix Asphalt System



(b) Ultrafoam GX



(d) Aqua-Black

그림 7. 중온 폼드아스팔트 기술

용하여 골재를 1차 코팅을 실시한 후 1차 코팅된 혼합물은 상대적으로 딱딱한 아스팔트를 사용하여 만들어진 폼드 아스팔트에 의해 2차 코팅을 함으로써 중온 폼드 아스팔트가 만들어진다. 하지만, WMA-foam®은 중온 폼드 아스팔트를 생산하기 위하여 두 단계의 생산공정을 필요로 하는 단점이 있다.

### 5.2 Double Barrel Green

Double Barrel Green은 Astec에서 개발하였으며 가열 아스팔트에 사용되는 Double Barrel 시스템에 폼드 아스팔트를 만들어낼 수 있는 9개의 노즐이 설치된 박스를 장착하여 중온 폼드 아스팔트를 생산하는 방식으로 미국에서는 대부분의 플랜트 회사가 Double Barrel 시스템을 사용하고 있어 손쉽게 폼드 아스팔트 노즐 박스를 설치할 수 있는 장점을 가지고 있으며 현재 가장 많은 중온 폼드 아스팔트의 시공실적을 올리고 있다.

### 5.3 Ultrafoam GX™

Ultrafoam GX™은 보다 정확한 양의 아스팔트와 물의 양을 조절하여 일정한 품질의 폼드 아스팔트를 만들어내기 위해 Genco에서는 특수한 노즐을 개발하였다. Ultrafoam GX™은 두개의 서로 다른 크기에 관이 나란하게 설치되어 직경이 큰 관은 아스팔트와 연결되고 직경이 작은 관은 물탱크와 연결되어 있다. 물이 아스팔트 정중앙에 분사될 수 있도록 설계되어 고효율에 팽창효과를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 이미 Ultrafoam GX™에 의해 생산된 중온 폼드 아스팔트는 성공적으로 시험포장을 완료하였으며 올해부터는 본 포장에 적용되고 있다.

### 5.4 Warm Mix Asphalt System

Warm Mix Asphalt System은 생산과정에서 일정한 아스팔트와 물의 혼합비율을 유지하기 위해 하

나의 팽창챔버를 통해서 중온 폼드 아스팔트가 생산된다. Warm Mix Asphalt System은 폼드 아스팔트가 드럼 밖에서 만들어져 바로 드럼 믹서안으로 바로 투입되어 골재와 혼합이 이루어지기 때문에 보다 균일한 골재코팅 효과를 보여준다. 또한 기존에 모든 드럼 믹서에 간편하게 설치가 가능한 장점을 가지고 있다. 2007년과 2008년에 Warm Mix Asphalt System에 의해 생산된 중온 폼드 아스팔트는 성공적으로 시험시공을 실시하였으며 공용성에 대한 추적조사가 수행중이다.

### 5.5 Aqua-Black

Aqua-Black은 가장 최근에 소개된 중온 폼드 아스팔트 기술로서 MAXMA에서 개발되었다. Aqua-Black의 장점은 가장 저렴한 비용으로 모든 아스팔트 플랜트에 적용이 가능하다는 것이다. 아스팔트 라인에 물이 첨가될 수 있도록 워터제트(water jet)을 설치하고 디지털 통제장치를 설치하여 플랜트 운용자가 통제장치에 혼합물의 양을 입력하면 자동으로 정확한 양의 물을 계산하여 중온 아스팔트를 생산할 수 있도록 구성되어 있다. 중앙집중식 노즐형식은 가장 효과적인 폼드 아스팔트 생산을 유도할 수 있으며 고압력 시스템이 함께 사용되어 적은 양의 물을 사용하고도 최대의 거품을 만들어낼 수 있는 특징을 가지고 있다.

## 6. 맺음말

저탄소 녹색성장이 세계적인 화두로 떠오르고 있는 가운데 국내 도로분야에서도 이에 걸맞는 저탄소 도로 포장 기술 개발에 관심이 집중되고 있다. 그 중에서 한 가지 방법인 중온 아스팔트로 도로를 포장하게 되면 이산화탄소를 비롯한 유해 물질 발생량을 최대 30%까지 줄일 수 있다. 중온 아스팔트는 가열 아스팔트보다 훨씬 낮은 120℃~140℃의 온도에서

생산되므로 탄소 발생을 현저하게 감소시킨다. 전 세계적으로 중온 아스팔트에 대한 다양한 기술이 연구 개발되고 있으며 이미 실용화 단계를 넘어 많은 지방도로 및 고속도로에 시공이 이루어지고 있다. 이러한 여러가지 중온 아스팔트 기술 가운데 지난 50년 동안 지반의 안정처리는 물론 아스팔트 포장의 상온 현장 재활용 포장에 사용되었던 폼드 아스팔트 기술이 중온 아스팔트에 적용되어 환경적, 경제적, 그리고 품질면에서 우수한 결과를 보여주고 있다. 국내에서도 중온 폼드 아스팔트의 기술 개발 또는 보급에 투자를 하는 동시에 배합설계법과 시공기술을 개발하여 국내에 중온 폼드 아스팔트의 보급을 서둘러야만 한다. 폼드 아스팔트를 이용한 중온 폼드 아스팔트는 앞으로 한국뿐만 아니라 유럽과 미국에서 큰 파급 효과가 기대하고 있다. 이제는 저탄소 녹색성장을 위한 중온 아스팔트 포장은 선택의 문제가 아니라 반드시 포장분야에 적용해야 하는 현실로 받아들여지고 있다.

참고 문헌

Anderson, R. M., Baumgardner, G., May, R. and Reinke, G. (2008). "Engineering Properties, Emissions, and Field Performance of Warm Mix Asphalt Technologies." NCHRP 9~47, Interim Report, National Cooperation Highway Research Program, Washington D.C.

Bonaquist, R. (2008). "Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt." NCHRP 9~43, Interim Report, National Cooperation Highway Research Program, Washington D.C.

Crews, E. (2008) "Growth in Warm-Mix Asphalt Technology." Caltrans District 5 Warm-Mix Asphalt Innovation Project Open House and WMA Workshop, Morro Bay, CA.

NAPA (2007) "Warm Mix Asphalt - Best Practices" QIP - 125, National Asphalt Pavement Association, Lanham, Maryland.

NAPA (2008) "Warm-Mix Asphalt: Contractors' Experiences" IS - 134, National Asphalt Pavement Association, Lanham, Maryland.

**학회지 광고접수 안내**

본 학회지에 게재할 광고를 모집합니다. 우리 학회지는 계간으로 매회 2,100부를 발간하여 회원과 건설관련 기관에 배포하고 있습니다. 회사 영업신장과 이미지 제고를 원하시는 업체는 우리 학회지를 이용하시기 바랍니다.

광고료 : 표2 · 표3 · 표4(300만원) · 간 지(200만원)

※ 상기금액은 연간(4회)광고료임.

사단법인 **한국도로학회**

전화 (02) 3272-1992 전송 (02) 3272-1994