

중온화 첨가제(LEADCAP[®])를 사용한 중온 아스팔트 바인더의 특성 평가

A Study of Performance Evaluation of Warm Asphalt Binder Properties using LEADCAP[®] additive

이 재 준 Lee, Jae-Jun
양 성 린 Yang, Sung-Lin
권 수 안 Kwon, Soo-Ahn
황 성 도 Hwang, Sung-Do

정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (E-mail : yijaejun@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 전임연구원 · 교신저자 (E-mail : siyang@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구위원 (E-mail : sakwon@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail : sdhwang@kict.re.kr)

ABSTRACT

The objective of this paper is to evaluate the performance of low CO₂ asphalt binder properties using LEADCAP[®](Low Energy and Carbon Asphalt Pavement) additive as function of various aging methods such as RTFO(Rolling thin film oven), Ultraviolet(UV) lay. In order to simulate the short-term aging of asphalt binder that occurs during the hot-mixing asphalt process, the Rolling Thin Film Oven(RTFO) was used. Asphalt binder using LEADCAP[®] is prepared by addition of a photoinitiator activated by ultraviolet lay. The mechanical and rheological properties of the asphalt binder were estimated using UTM(Universal Testing Machine) and DSR(Dynamic Shear Rheometer). The test results showed that the asphalt binder using LEADCAP[®] additive was improved the rutting resistance at testing temperature (70℃) and increased tensile strength at low temperature. Also, Thermal analysis shows that the Melting Point(Tm) of asphalt binder using LEADCAP[®] additive was constant although the asphalt binder was aged by Ultraviolet.

KEYWORDS

warm asphalt binder, LEADCAP[®] additive, aging

요지

본 연구의 목적은 중온화 첨가제(LEADCAP[®])를 사용한 중온 아스팔트 바인더의 노화 방법에 따른 물성 변화 특성을 평가하고자 하였다. 아스팔트 바인더의 노화 거동을 모사하기 위해 단기노화인 RTFO를 실시하였으며, 햇빛에 의한 자연 노화 거동을 알아보기 위해 자외선 경화기를 이용하여 자외선에 의한 열화거동을 모사하였다. 이러한 열화 중온 아스팔트 바인더의 역학적인 물성과 유변동학적인 특성을 시험하기 위해서 만능시험기(UTM)과 동적전단유동기를 이용하여 직접인장력과 유변동학적인 거동을 평가하였다. 또한, 열분석 장비를 이용하여 온도에 따른 중온 아스팔트 바인더의 특성을 평가하여, 자외선 노출에 따른 열화가 발생하여도 온도에 따른 물성 변화가 많이 발생하지 않음을 발견하였다. 70℃에서 중온화 첨가제가 첨가한 단기노화 중온 아스팔트 바인더의 경우, PG 등급에서의 고온 등급의 기준값을 만족함을 알 수 있었다. 또한 저온에서 중온 아스팔트 바인더의 인장 특성을 평가한 결과, 인장강도 향상과 함께 인장력이 증가됨을 알 수 있었다.

핵심용어

중온 아스팔트 바인더, LEADCAP[®] 첨가제, 노화

1. 서론

전 세계적인 지구온난화와 이상기온 현상 등으로 환경문제에 대한 관심이 고조되면서 지구 온난화 주범인 이산화탄소의 발생을 억제시키고자 하는 노력이 가속화되고 있으며, 1997년 12월 교토에서 지구온난화 방지조약 회의(The 3rd session of the Conference Of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change)를 통하여 2012년까지 1990년의 CO₂ 배출량을 5.2%까지 저감하는 것을 합의하였다(Angelo et al, 2008). 현재 대부분이 도로 포장에서 사용되는 가열 아스팔트 혼합물(Hot Mix Asphalt)은 고온(160~170℃)에서 생산한 후 포설되는 시공 공정을 거쳐 다량의 석유에너지가 소모가 되고 그 과정 중에 이산화탄소와 같은 다량의 유해가스가 대기에 방출되고 있다.(Angelo et al, 2008) 이러한 다량의 에너지 사용 및 지구온실가스인 CO₂ 배출의 문제점을 가지고 있는 현행 가열 아스팔트 포장 공법을 개선한 대체 공법으로서 중온 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 기술(Warm-Mix Asphalt Technology)이 유럽에서 1996년 처음 개발되었다(Prowell and Hurley, 2007; Angelo et al, 2008). 중온 아스팔트 혼합물(Warm-Mix Asphalt, WMA)은 가열 아스팔트 혼합물의 생산 온도(160~170℃)와 비교하여 약 30~50℃ 낮은 온도에서 혼합물의 생산과 시공이 가능하여 에너지 절감은 물론 유해가스 배출을 현저히 감소시킬 수 있는 환경친화적인 포장 기술이다(Angelo et al, 2008). 환경친화적인 중온 아스팔트 포장의 공용성은 유럽에서 가열 아스팔트(HMA) 포장과 비교하여 동등한 장기공용성을 나타내는 것으로 입증되었다(Angelo et al, 2008). 미국의 경우, 2002년에 중온 아스팔트 포장(Warm-Mix Asphalt) 기술이 도입된 이후 배합설계 연구를 비롯한 시방서 개발 연구들이 진행되고 있다(Anderson, 2009). 실내 실험 결과에 의존하지 않고 실제 중온 아스팔트 포장을 현장에 적용하였을 때 그 공용성을 평가하기 위해 워싱턴(Washington) 주 교통국, 버지니아(Virginia) 주 교통국 등에서는 고속도로(Interstate Highway)에 직접 중온 아스팔트 포장 기술을 활용한 시험포장을 통해 일정 기간 동안 추적조사를 실시함으로써 교통량, 환경조건 등 다양한 요소들이 고려된 공용성 평가 연구를 진행 중에 있다(Diefenderfer and Hearon, 2010; Russell et al, 2009).

그러나 중온 아스팔트 포장 재료는 가열 아스팔트 포장 재료에 비해 약 30~50℃까지 낮은 온도(Diefenderfer and Hearon, 2010; Angelo et al, 2008)에서 혼합 및 다짐이 이루어져 가열 아스팔트의 경우에 발생하는 단기노화 특성이 발현되지 않아 시공 직후의 소성변형에 대한 저항성이 저하될 가능성이 있다. 일반적으로 PG 등급에서 고온 등급은 단

기노화의 진행 상태에 따라 그 차이를 보이며 기존 163℃에서 노화 시험을 한 결과와 130℃에서 노화 시험을 한 결과를 비교해 보면 알 수 있다. 특히 130℃에서는 163℃보다는 $G^*/\sin\delta$ 가 낮은 결과를 나타냈으며, 이는 PG 등급에서 고온 등급을 결정하는데 매우 중요한 요소로서 작용되었다. 또한 이 시험을 통하여 고온 등급에 따른 소성변형 발생 정도를 평가한 결과, 최대 12℃ 낮은 고온 등급을 가지는 아스팔트 바인더가 소성변형이 발생할 가능성이 약 4배 정도 높은 것으로 나타났다(NCHRP 9-43, 2008).

이에 본 연구에서는 중온화 첨가제를 사용한 중온 아스팔트 포장을 시공한 후 장시간 동안 태양빛에 노출되어 노화(Aging)된 중온 아스팔트 바인더의 물성 변화 특성을 평가하였다. 이러한 노화 특성을 모사하기 위해 자외선 경화기를 이용하였으며, 자연 환경 하에서 5년 동안 받을 자외선량에 해당하는 3시간 동안의 자외선 램프 노출을 중온 아스팔트 바인더에 가했다. 이를 통해 노화된 중온 아스팔트와 비노화 중온 아스팔트 바인더의 점탄성 거동($G^*/\sin\delta$) 특성을 평가하기 위하여 DSR(Dynamic Shear Rheometer) 시험을 수행하였으며, 이 외에 온도에 따른 중온 아스팔트와 가열 아스팔트 바인더의 열적 거동을 조사하기 위해 열분석 장비 NETZSCH사의 Thermogravimetric Analyzer(TGA, mode STA 409)를 사용하였다. 또한 저온에서의 중온화 첨가제를 사용한 아스팔트 바인더의 물리적 거동을 평가하기 위하여 인장강도 시험을 자외선 노출 여부를 조건으로 수행하였으며, 저온 균열 저항성 및 경화에 따른 인장력을 평가하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1. 사용재료

2.1.1. 아스팔트 바인더

본 연구에서 사용한 아스팔트 바인더(Control Binder)는 국내 S사에서 생산되는 침입도 기준 70~80 및 PG 등급 64-22의 포장용 아스팔트를 사용하였다. 표 1은 아스팔트 바인더의 품질 시험 결과를 나타낸 것이다.

2.1.2. 중온화 첨가제

본 연구에서 사용된 중온화 첨가제인 LEADCAP은 폴리에틸렌 계열 왁스를 기반으로 하며, 아스팔트 바인더의 유동성을 향상시키고 동시에 아스팔트 혼합물의 제조 온도 및 다짐 온도를 감소시키는 효과를 발휘한다. 그럼에도 불구하고 고온에서 발생하는 소성변형에 대한 저항성을 향상시키고 동시에 아스팔트 혼합물의 저온 특성 저하 현상을 억제할 수 있는 개질형 첨가제이다. 일반적으로 폴리에틸렌계 왁스를 제조하는 방법은 다음과 같이 3가지 방법으로 분류할 수 있다.

표 1. 아스팔트 바인더의 품질시험 결과

Original Binder		
Softening point [°C]		52.0
Viscosity [cPs] 27spindle, 60rpm	80°C	23,200
	100°C	4,200
	120°C	1150
	140°C	413
DSR (G*/sinδ) [kPa] 1.0kPa, 1mm	64°C	1.28
	70°C	0.63
	76°C	0.32
RTFO		
DSR (G*/sinδ) [kPa] 2.2kPa, 1mm	64°C	2.58
	70°C	1.20
	76°C	0.58
PAV		
DSR (G* · sinδ) [kPa] 5,000kPa 이하, 2mm	25°C	2,222
	28°C	1,388
	32°C	880
BBR	Stiffness[MPa]	-12°C 188.9
	M-value	-12°C 0.33
Result		
PG		64-22

폴리에틸렌 수지를 만드는 과정에서 나오는 저분자량의 부산물
 폴리에틸렌 수지를 열분해시켜 분자량을 감소시키는 방법
 피셔트로프슈벡(Fischer Tropsch Synthesis)으로 제조하는 방법

폴리에틸렌계 왁스의 물성은 주사슬의 선형성과 분자량에 의해 결정되는데 주사슬의 선형성이 클수록 분자 규칙성이 증가하여 물리적 물성이 높게 되며 분자량이 크면 용융점도 및 물리적 물성이 높게 된다.

중온화에 적합한 왁스는 낮은 점도와 상대적으로 높은 물리적 물성을 가져야 하는데 부산물로 얻어지거나 열분해를 통해 얻어진 폴리에틸렌 왁스는 피셔트로프슈벡에 의해 제조된 폴리에틸렌 왁스에 비해 선형성이 떨어져 물리적 특성을 향상시키려면 점도가 높아져 중온화 첨가제로 사용이 제한적이다.

따라서 본 연구에서는 피셔트로프슈벡에 의해 제조된 폴리에틸렌계 왁스를 사용하였으며, 그림 1과 그림 2는 폴리에틸렌계 왁스의 분자 구조와 본 연구에서 사용된 중온화 첨가제를 나타낸 것이다.

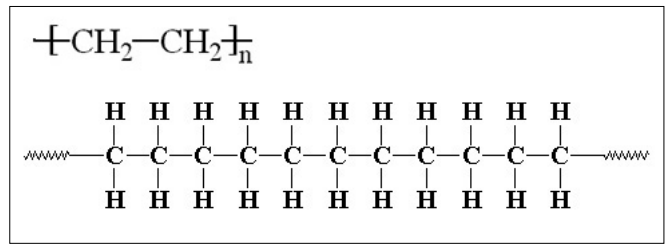


그림 1. 폴리에틸렌계 왁스의 분자 구조



그림 2. 폴리에틸렌계 왁스

2.2. 자외선 경화기

자외선에 장기 노출될 경우, 고분자 화합물들은 쉽게 연결 고리(Main Chain)가 분리되고 이에 따라 그 본래의 특성이 변화하게 되는데 아스팔트 바인더와 같은 경우에는 경화를 촉진시켜 탄성적 거동 특성을 증가시키고 기존 노화시험과 유사한 결과를 나타내는 특징을 가진다(강현승 등, 2009). 본 연구에서는 중압수는 램프를 이용하여 자외선을 발생시키는 자외선 경화기를 사용하였으며, 자외선 경화기는 시간에 따른 경화도를 나타낼 수 있으며 이에 따른 아스팔트 바인더 및 혼합물의 물리적 거동 특성 변화를 평가할 수 있다. 실제 우리나라에 1년 동안 조사되는 자외선 양은 대략 106.9mW/m²(sec⁻¹)이고(조희구 등, 2001), 시편이 자외선 경화기 내부에서 받는 조사량은 18mW/m²(sec⁻¹)이다(강현승 등, 2009; 조희구 등, 2001). 자외선 경화시간을 약 3시간 동안 시료에 노출하였을 경우, 실제 자연 환경하 태양빛에서 5년 동안 노출되는 자외선 량에 해당하며 기존 장기노화 시험(PAV)보다 시험 방법이 간편하고 5년보다 더 오랜 시간 공용된 포장 상태를 모사할 수 있는 것이 장점이다. 따라서 본 연구에서는 5년 후 중온 아스팔트 바인더의 거동을 연구하기 위해서 3시간 동안 자외선에 노출된 바인더의 물리적 거동 측정 평가를 수행하였다.

2.3. 동적전단유동기(Dynamic Shear Rheometer: DSR) 시험

노화 단계별 시험 아스팔트 바인더(가열 아스팔트 바인더, 중온 아스팔트 바인더)의 온도 변화에 따른 점탄성 거동을 파악하기 위해서(그림 3) TA Instrument DSR(Dynamic shear rheometer, Model: AR 1500 EX) 장비를 이용하여 $G^*/\sin\delta$ 를 측정하여 온도에 따른 점탄성 거동에 대한 변화 특성을 평가하였다. DSR 프로그램에서 G^* 값은 다음의 식 (1)을 사용하여 계산되었다.

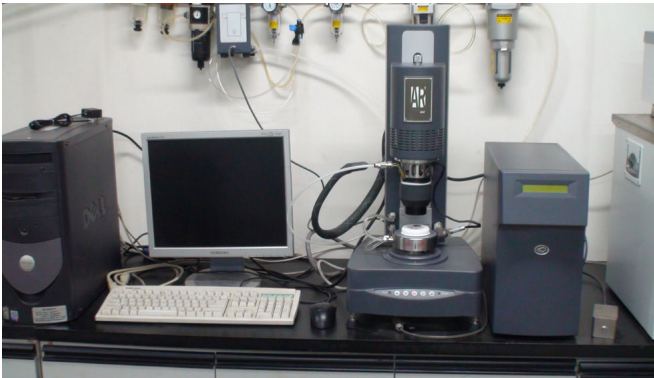


그림 3. DSR 시험기

$$G^* = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}} \quad (1)$$

여기서,

$$\tau = \frac{2T}{\pi r^3}$$

T = 시료에 가해지는 최대 토크

r = 아스팔트시료의 반경

$$\gamma = \frac{\theta d}{2h}$$

d = 아스팔트시료의 직경

h = 아스팔트시료의 두께

2.4. 열분석(Differential Scanning Calorimetry ; DSC) 시험

본 연구를 수행하기 위해(그림 4) NETZSCH사의 Thermogravimetric Analyzer(TGA, Model STA 409)를 사용하여 25~600℃ 구간에서 승온 속도는 10℃/min으로 하여 시료에 열에 의한 변화상태를 열흐름(Heat Flow)과 온도의 함수 관계를 측정하였다. 실험 중 산화를 방지하기 위하여 고순도의 질소를 이용하여 실험을 하였다.



그림 4. 열분석 시험기

2.5. 인장강도 시험

아스팔트 바인더를 가열하여 아령모양의 실리콘 고무틀에 부어 인장강도에 적합한 시편을 제작하였으며, 시편은 시험 전까지 냉온(-10℃)에서 보관하였다. 시편의 인장강도 측정은 만능재료시험기(UTM, Daekyung Co)를 사용하여 측정하였으며, 온도챔버 온도를 -10℃로 고정하여 측정을 하였다. 강현승과 홍영근(2009) 연구로부터 -10℃를 사용하기로 결정하였으며, 이러한 시험결과를 통해 저온에서 아스팔트 바인더의 역학적 특성을 파악할 수 있다. 인장속도는 상대적으로 저속인 10mm/min.으로 시험하였으며, 시료장악(Grip) 거리는 7cm로 고정하였다.

3. 실험 결과

3.1. 열분석(DSC) 측정 결과

열분석(Differential Scanning Calorimeter ; DSC)에 고분자의 중요한 열적 성질인 유리전이온도(Glass Transition Temperature, Tg), 결정화 온도(Crystallization Temperature), 용융온도(Melting Temperature, Tm), 경화, 산화, 화학반응 및 가교반응, 열화(Degradation) 등에 대한 기본적인 분석이 가능하다(화학공학연구정보센터).

비결정성 고분자를 제외한 결정성 고분자는 임의의 온도에서 녹아 용융 상태로 변화를 하는 특성을 지니고 있다. 중온화 첨가제가 사용된 중온 아스팔트 바인더의 열적 거동을 알아보기 위해 TGA 장비를 이용하여 열분석 시험을 수행하였으며, 중온화 첨가제의 사용 유무, 자외선 노출 조건을 다르게 한 조건하에서 열분석을 측정된 결과들은 그림 5, 그림 6 과 그림 7에 나타내었다. 그림 5는 중온화 첨가제를 첨가하지 않은 스트레이트 아스팔트 바인더(침입도 60-80)의 열분

석 결과를 보여주고 있으며, 그림 6은 중온화 첨가제를 투여한 중온 아스팔트 바인더로 자외선에 노출되지 않은 열분석 결과를 설명해주고 있다.

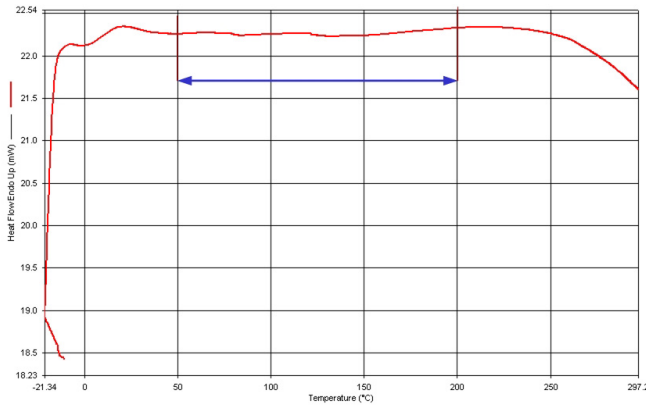


그림 5. 아스팔트 바인더(침입도 60-80) 열분석 결과

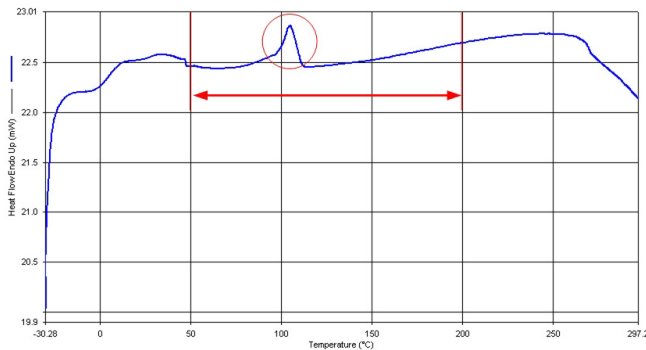


그림 6. LEADCAP® 첨가한 중온 아스팔트 바인더의 열분석 결과

그림 5에서는 50°C에서 200°C 온도 범위 내에서 온도에 변화에 따른 열흐름(Heat Flow) 변화가 없이 일정함을 나타내고 있으나, 그림 6의 중온화 첨가제를 사용한 중온 아스팔트 바인더는 그림 5와 상이한 거동 특성을 나타내었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 50°C~200°C 온도 구간내 100°C 근처에서 열흐름(Heat Flow)가 순간적으로 상승하여 최대점(Peak Point)을 보여주는 결과를 보여주었다. 이는 온도를 일정한 속도로 가열할 때 어느 특정온도에서 흡열을 하여 발생하는 최대점이 나타난 것이다(Saunders, 1988). 이 최대점은 스트레이트 아스팔트 바인더 내에 혼합되어 있는 왁스 타입 중온화 첨가제가 일정하게 공급되어진 열에 의해서 고체에서 액체로 변화하는 용융온도(Melting Temperature ; Tm)이며, 이는 왁스 타입의 중온화 첨가제가 약 110°C에서 고체에서 액체로 변화되면서 점성을 다소 저하시키기 때문에 중온화 첨가제를 사용한 아스팔트 혼합물이 가열 아스팔트 혼합물보다 30~40°C 낮은 온도에서 생산 및 시공이 가능한 것이다.

그림 7은 중온화 첨가제를 사용한 중온 아스팔트 바인더가

자외선에 노출될 경우 그 특성이 변화하는지의 여부를 알아보기 위해서 2 종류의 다른 UV에 노출시간(3시간, 6시간)에 따른 열분석 결과를 보여주고 있다. 그림 7에서 보인 바와 같이 자외선 노출 여부 및 시간에 따른 열적 거동이 타원형으로 표시된 것처럼 거의 동일한 온도대에서 Tm이 나타남을 알 수 있었다. 이는 LEADCAP 첨가제가 자외선에 노출되었을 경우에도 기본 물성의 변화는 발생하지 않고 유지함을 설명해 주는 결과라 할 수 있다.

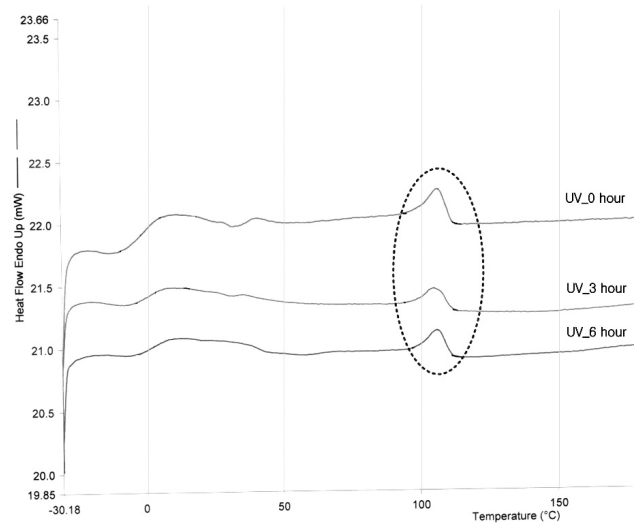


그림 7. LEADCAP® 사용한 중온 아스팔트 바인더의 열분석 결과

3.2. 동적전단(DSR) 특성 측정 결과

SHRP(Strategic Highway Research Program)에서 개발한 슈퍼페이브(Superpave)의 PG 등급 기준에서는 고온 등급으로 원시료에서는 $G^*/\sin\delta$ 가 1.0kPa 이상일 때의 온도를 규정하고 있으며, 단기 노화시료에는 $G^*/\sin\delta$ 가 2.2 이상일 때 온도를 규정하고 있다(Asphalt Institute).

그림 8은 스트레이트 아스팔트 바인더(침입도 60-80)의 온도에 따른 DSR 시험 결과를 나타내고 있으며, 그림 9는 중온화 첨가제를 사용한 중온 아스팔트 바인더의 DSR 시험 결과를 보여주고 있다. 또한 중온 아스팔트 바인더의 온도에 따른 거동 특성을 명확하게 하기 위하여 PG 등급에서 사용되는 고온 등급의 기준값(노화되지 않은 아스팔트 ; 1.0kPa, 단기노화된 아스팔트 ; 2.2kPa)을 각각 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 그림 8에서와 같이 스트레이트 아스팔트 바인더(Pure Virgin)는 단기 노화(RTFO) 후 $G^*/\sin\delta$ 이 증가함을 알 수 있다. 또한 자외선에 3시간 동안 노출된 아스팔트 바인더는 노화 전(Pure Virgin)과 거의 동일한 거동을 하는 것으로 나타났다. 반면 그림 9와 같이 중온화 첨가제(LEADCAP)가 첨가된 중온 아스팔트 바인더에서는 $G^*/\sin\delta$ 값이 시험한 모든 온도 영역에서 약 2~3배 정도로

증가된 것으로 나타났으며, 특히 자외선에 3시간 노출된 아스팔트의 경우와 노화되지 않은 아스팔트의 경우에는 76℃의 고온영역에서 약 2배 정도의 증가를 나타내었다. 또한 중온화 첨가제가 혼입된 중온 아스팔트 바인더는 고온 등급이 PG 70-16으로 2단계를 증가한 결과를 나타내었으며, 노화 전 시료의 경우에는 76℃에서도 기준 값을 만족하는 것으로 나타났다. 이는 중온화 첨가제가 혼입됨으로써 아스팔트 바인더의 점탄성 특성 중 고온에서의 탄성 특성을 증가시켜 변형에 대한 저항성을 크게 증진시키는 것으로 판단된다.

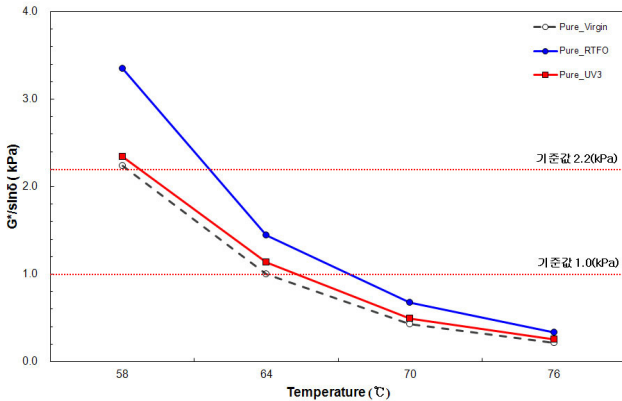


그림 8. 스트레이트 아스팔트 바인더의 DSR 시험 결과

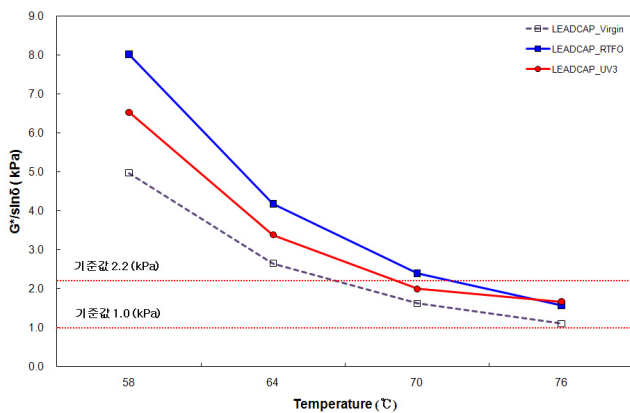


그림 9. LEADCAP® 첨가제를 사용한 중온 아스팔트 바인더의 DSR 시험 결과

그림 10은 자외선 노출로 인하여 노화된 아스팔트 바인더의 DSR 시험 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 위에서 언급한 것과 같이 전반적으로 중온화 첨가제가 혼입된 중온 아스팔트 바인더의 $G^*/\sin\delta$ 가 첨가되지 않은 스트레이트 아스팔트 바인더(Pure_UV0)보다 크게 증가되는 것을 알 수 있다. 특히 온도가 증가됨에 따라 $G^*/\sin\delta$ 값의 변화폭이 중온 아스팔트 바인더보다 첨가되지 않은 스트레이트 아스팔트 바인더가 더 크게 나타났다. 이는 중온화 첨가제가 혼입됨으로써 온도에 따른 아스팔트 바인더의 $G^*/\sin\delta$ 값의 변화폭을 감소시키는 것

으로 판단되며, 실질적으로 현장에 적용될 경우 포장 온도 변화에 따른 균열에 대한 저항성을 증가시킬 것으로 판단된다.

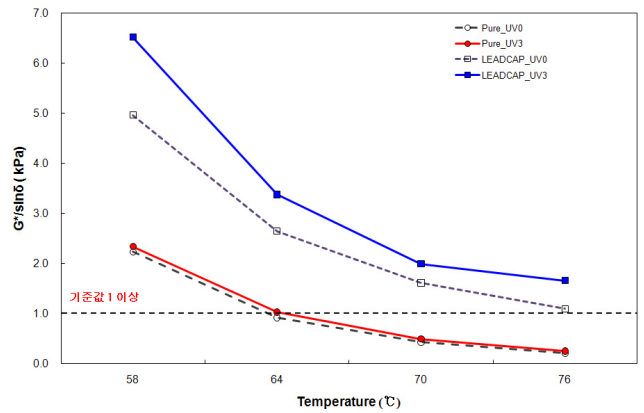


그림 10. 자외선 노출에 따른 노화 아스팔트 바인더의 DSR 시험 결과

그림 11은 단기노화(RTFO) 시료에 대한 DSR 시험 결과에 대한 $G^*/\sin\delta$ 값을 나타낸 것으로, 특히 70℃에서 중온화 첨가제가 혼입된 단기노화 중온 아스팔트 바인더의 경우, PG 등급에서의 고온 등급의 기준값을 만족함을 알 수 있었다. 이는 중온 아스팔트 바인더가 위에서 언급한 것과 같이 고온에서 발생할 수 있는 소성 흐름과 같은 변형에 대한 저항성을 증가시킬 것으로 판단되며, 실제 여름철 고온에 적용하였을 경우 소성변형과 같은 포장 파손에 대한 저항성을 증진시켜 내구성성을 향상시킬 것으로 판단된다.

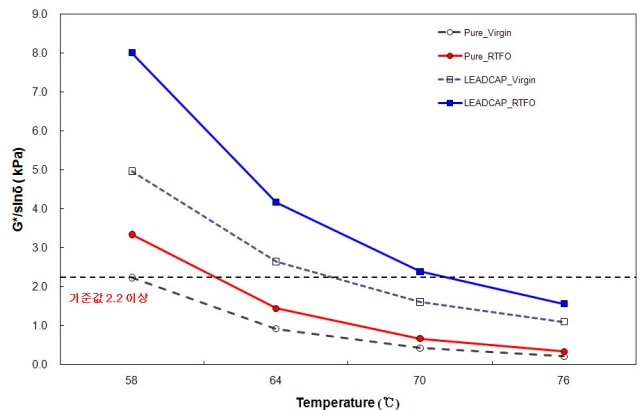


그림 11. 단기노화에 따른 아스팔트 바인더의 DSR 시험 결과

3.3. 아스팔트 바인더 인장강도 결과

대부분의 아스팔트 바인더의 경우 노화 및 경화가 발생되면 아스팔트의 거동 특성은 점성보다는 소성의 특성이 크게 증가하게 되어 고온에서의 변형 저항성이 증가하고 피로균열에 대한 저항성은 감소되는 것이 일반적인 특성이다(강현승 등, 2009). 노화를 모사하기 위한 자외선 노출 방법은 일반적으로 물질을 이루는 기본 분자구조를 파괴하고 이를 재구

성하도록 하는 방법으로 분자의 절단(scission)이라 하고 탄화수소화합물에서 크게 작용하게 된다(Saunders, 1988). 아스팔트 바인더와 같이 90~95%가 여러 형태의 탄화수소로 구성된 고분자의 경우에는 자외선 노출에 의한 분자의 재구성이 크게 작용하여 아스팔트의 노화효과를 모사할 수 있다. 표 2는 중온화 첨가제가 혼입된 중온 아스팔트 바인더와 스트레이트 아스팔트 바인더의 인장시험 결과를 나타낸다. 표 2에서와 같이 중온 아스팔트 바인더의 자외선 노출 전/후의 인장강도를 보면 노출 전보다 노출 후의 값이 약 0.1N/mm² 높은 결과를 나타내는 것을 알 수 있으며, 인장력 역시 약 2배 정도 증가하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 자외선에 노출된 아스팔트 바인더의 경우 노화 및 경화가 더 많이 진행되어 저온에서 취성 특성이 매우 강해 인장강도 및 인장력(elongation)이 감소(강현승 등, 2009)되어야 하는데 오히려 증가되는 것으로 나타났다. 이는 중온화 첨가제가 아스팔트 바인더 내에서 자외선에 따른 분자의 재구성 시 탄화수소 사이의 가교 역할을 하여 아스팔트 바인더의 인장강도 및 인장력을 증가시킨 것으로 판단된다. 또한 저온에서의 신장력 증가로 겨울철 온도저하에 따른 포장의 수축 시 발생하는 균열에 대한 저항성이 증가될 것으로 판단된다. 이는 DSR 시험 결과와 동일한 것으로 온도에 따른 거동 폭이 좁아 온도 균열에 대한 저항성이 증가되는 것으로 판단된다.

표 2. 인장 실험 결과

아스팔트 바인더 종류	인장강도 (N/mm ²)	인장력 (Elongation %)	Work-done (N/mm)
중온 아스팔트 바인더 (노화 전)	0.72	14	50
중온 아스팔트 바인더 (노화, UV 3 hour)	0.86	23	135

4. 결론

본 연구에서는 국내에서 개발된 중온화 첨가제인 LEADCAP 를 사용한 중온 아스팔트 바인더에 대한 실내시험으로 다음과 같은 결론을 도출하였다. 본 실험에서는 중온 아스팔트 혼합물의 실험결과가 포함되어 있지 않은 것이 다소 미진한 부분이어서 향후에는 중온 아스팔트 혼합물 공용성 평가를 수행하여 비교 평가하는 것이 요구되어진다.

1. 중온화 첨가제(LEADCAP)사용한 중온 아스팔트 바인더의 자외선 노출 시간에 따른 열적인 거동의 차이는 발생하지 않고, 거의 일정한 온도대에서 Tm(멜팅온도)이 나타남을 알 수 있었다. 이는 LEADCAP 첨가제가 자외선

에 노출되었을 경우에도 기본 물성의 변화는 발생하지 않고 유지함을 설명해 주고 있다.

- 70℃에서 중온화 첨가제(LEADCAP)가 첨가된 단기노화 중온 아스팔트 바인더의 경우, PG 등급에서의 고온 등급의 기준값을 만족함을 알 수 있었다. 이는 중온 아스팔트 바인더가 위에서 언급한 것과 같이 고온에서 발생될 수 있는 소성 흐름과 같은 변형에 대한 저항성을 증가시킬 것으로 판단되며, 실제 여름철 고온에 적용하였을 경우 소성 변형과 같은 포장 파손에 대한 저항성을 증진시켜 내유동성이 증가될 것으로 판단된다.
- 중온화 첨가제(LEADCAP)를 혼입한 중온 아스팔트 바인더의 자외선 노출 전/후의 인장강도를 보면 노출 전보다 노출 후의 값이 약 0.1N/mm² 높은 결과를 나타내는 것을 알 수 있으며 인장력 역시 약 2배 정도 증가하는 결과를 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 한국건설기술연구원 저비용 저탄소 아스팔트 포장공법 개발 과제('09~'13) 연구결과의 일부입니다.

참고 문헌

강현승, 홍영근(2009) 빛에 의한 아스팔트 개질에 관한 연구, *Elastomers and Composites*, Vol. 44, No.1 pp. 63-68

조희구, 이방용, 이준석, 박선욱(2001) 한국 전역의 지표홍반 자외선 복사 계절기후, *한국기상학회지*, Vol. 37, pp. 525-539

강현승, 빛(자외선)에 의한 아스팔트 개질에 관한 연구(2007), 수원대학교 석사학위 논문

양성철, 황인동, 한승환, 김성민(2009) "단면보수용 콘크리트 패치 재료의 역학적 특성 및 내구성 실험", *한국도로학회 논문집*, 제 11권 3호, pp.23~32

화학공학연구정보센터, *DSC(Differential Scanning Calorimeter)*, <http://www.cheric.org/research/analyzer/pdf/DSC.pdf>

K.J. Saunders, *Organic Polymer Chemistry*, Chapman & Hall, London, 1988

Brian D. Prowell, and Graham C. Hurley, (2007), Warm-Mix Asphalt: Best Practices, *National Asphalt Pavement Association*.

Joe W. Button., Cindy Estakhri., and Andrew Wimsatt. (2007) A Synthesis of Warm-Mix Asphalt, *Texas Transportation Institute*, the Texas A&M University System College Station.

Stacey D. Diefenderfer and Amy J. Hearon. (2010) Performance of Virginia's Warm-Mix Asphalt Trial Sections, *Virginia Transportation Research Council*, 530 Edgemont Road Charlottesville VA 22903

John D' Angelo, Eric Harm, John Bartoszk, Gaylon Baumgardner, Matthew Corrigan, Jack Cowsert, Thomas Harman, Mostafa Jamshidi, Wayne Jones, Dave Newcomb, Brian Prowell. (2008) Warm-Mix Asphalt: European Practice, Federal Highway Administration, U.S.

Department of Transportation American Association of State Highway and Transportation Office.

Michael Anderson, (2009) Engineering Properties, Emissions, and Field Performance of Warm Mix Asphalt Technologies, *National Cooperative Highway Research Program(NCHRP) 09-47*, Transportation Research Board.

Mark Russell, Jeff Uhlmeier, Jim Weston, Jerry Roseburg, Tim Moomaw, Joe DeVol, (2009) Evaluation of Warm Mix Asphalt, *Washington State Department of Transportation Office of Research & Library Service.*

Narional Cooperative Highway Research Program(NCHRP 9-43),(2008) Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt, *Advanced Asphalt Technologies, LLC.*
Asphalt Institute, *Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing Superpave Series No. 1 (SP-1)*

접 수 일 : 2010. 3. 4

심 사 일 : 2010. 3. 5

심사완료일 : 2011. 3. 8