

친환경형 중온 폴리머 개질 아스팔트 바인더의
상대적 물성 비교평가

김 낙 석 (경기대학교 토목공학과 교수)

이 진 구 (경기대학교 토목공학과 박사과정수료)

Relative Property Evaluation of Pro-Environmental
Warm Polymer-Modified Asphalt Binder

Kim, Nakseok

Lee, Jingoo

Abstract

In this paper, warm asphalt binder was proposed as a substitute for the polymer-modified asphalt binder to get higher viscosity than that of the polymer-modified at the same temperature. Performance grade test and rotational viscosity of warm asphalt binder were conducted to evaluate the property variations due to the addition of admixture. Research results showed that the viscosity of warm asphalt binder at 100° C was similar to that of the conventional asphalt binder. The performance and durability of warm asphalt binder were also comparable to those of the polymer-modified. It is considered that the active applications of warm asphalt binder can reduce environmental damages due to less diffusions of carbon dioxide compared to the conventional.

[Key word: Binder, Durability, Warm Asphalt, Viscosity, Performance Grade, Carbon Dioxide]

I. 서 론

국내 도로포장의 90% 이상을 차지하는 아스팔트 콘크리트의 정식 명칭은 포장용 가열 아스팔트 혼합물(hot-mix asphalt mixtures for pavement)이다.(KS F 2349) 즉, 가열 아스팔트의 특징은 높은 온도로 가열하여 생산 및 시공을 하는 것이다. 이와 같이 재료를 가열하는 것은 온도를 높이기 위해 사용하는 연료비로 인한 원가의 상승, 온도 관리에 따른 시공의 어려움 등이 문제였으나, 지구 환경 오염으로 인해 온실 가스 배출을 감소시켜야만 하는 상황에서는 환경적 문제점이 더욱 부각되고 있는 실정이다.

도로 포장 재료중 아스팔트 콘크리트의 경우 소성변형 저항성의 증가와 균열 저항성의 향상과 같은 공용 성능의 개선을 위한 노력을 계속해 왔으며, 이러한 기술 중 대표적인 것으로 아스팔트에 폴리머(polymer)와 같은 첨가제를 넣어 아스팔트 바인더의 성능을 개질 하는 폴리머 개질 아스팔트가 있다. 폴리머 개질 아스팔트는 미국, 유럽 및 일본 등에서 오래전부터 사용되어 왔으며, 국내에서도 널리 적용되면서 그 성능을 확인 받았다. 폴리머 개질 아스팔트의 경우 기본적인 메커니즘은 고분자 물질을 스트레이트 아스팔트(straight asphalt)에 첨가하여 아스팔트의 점도(viscosity)를 높이는 것이다. 따라서 폴리머가 첨가된 아스팔트는 기존의 스트레이트 아스팔트 바인더를 사용한 경우보다 더 높은 온도로 가열하여야 생산 및 시공을 위한 충분한 유동성을 확보할 수 있는 단점이 있다. 이는 더 높은 온도로 골재와 아스팔트 바인더를 가열하기 위한 생산 비용의 증가뿐만 아니라 높은 온도를 유지하면서 시공해야 하는 시공 관리상의 문제를 갖게 한다. 그리고 더 많은 연료 사용과 유해가스의 배출로 인해 대기 환경에 나쁜 영향을 주게 된다.

이와 같은 이유로 최근 아스팔트의 가열 온도를 낮춰 연료 소비를 저감하고, 유해가스의 배출을 감소시키기 위한 기술인 중온 아스팔트(warm-mix asphalt)에 대한 관심이 폭발적으로 증가하고 있다. 본 연구에서는 아스팔트 콘크리트 포장의 내구성 향상을 위해 사용되는 폴리머 개질 아스팔트의 내구성을 유지하면서 생산 및 시공 온도를 낮춰 환경 부하를 경감 할 수 있도록 하기 위해 중온 아스팔트 기술을 도입한 중온 개질 아스팔트의 특성을 파악하고 공용성능을 평가하여 이러한 기술을 도로 포장에 적용하고자 한다.

II. 중온 폴리머 개질 아스팔트

1. 폴리머 개질 아스팔트(polymer modified asphalt)

아스팔트 바인더의 성능을 향상시켜 내구성을 증가시키기 위해 사용하는 폴리머(polymer)는 많은 단위분자를 서로 화학적으로 반응시켜 긴 체인이나 덩어리로 이루어진 매우 큰 분자를 말한다. (Roberts 외, 1996) 이런 폴리머를 아스팔트 바인더에 첨가하여 아스팔트 바인더의 점성을 증가시키거나, 탄성을 강화하는 등의 물성변화를 통해 도로 포장에 적합하도록 변화시킨 아스팔트 바인더를 폴리머 개질 아스팔트라고 한다. 주로 사용되는 폴리머로는

SBS(styrene butadiene styrene), SBR(styrene butadiene rubber), LDPE(low density polyethylene) 등이 있다.

2. 중온 아스팔트(warm mix asphalt)

중온 아스팔트 포장 기술의 핵심은 기존 가열 아스팔트 포장에 비해 고온(100℃ 이상의 혼합 및 시공이 가능한 온도 영역)에서 아스팔트 바인더가 부드러워지는 개질첨가제를 추가하거나 수분을 이용한 폼드(foamed) 아스팔트 생산 기술을 적용하는 방법 등이며, 기존 가열 아스팔트 포장과 비교하여 낮아진 혼합 및 다짐 온도의 효과는 다음과 같다.

① 유해가스 배출 감소

중온 아스팔트의 생산 시 현장 배출가스 측정을 통해 아스팔트 플랜트의 생산 과정에서 다량의 유해가스 배출이 감소하는 것을 알 수 있었다. 가열 아스팔트 포장과 비교하여 일반적으로 알려진 배출가스별 감소율은 이산화탄소(CO₂) 및 이산화황(SO₂)이 30~40%, 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% 정도 감소시키는 것으로 알려져 있다.

③ 현장 다짐도 확보

가열 아스팔트 포장의 현장 시공온도에 비해 약 30℃ 낮은 온도조건에서 충분한 다짐도 확보가 가능하고 장거리 운송에 따른 온도 저감에도 충분한 작업성을 발휘할 수 있다. 낮은 온도에서 다짐이 가능하다는 것은 동절기나 야간 공사와 같이 기온이 낮은 상황에서도 작업이 가능하다는 것을 의미하기 때문에 아스팔트 콘크리트 포장의 작업 가능 기간을 늘릴 수 있다.

④ 현장 작업자의 유해가스 노출 감소

아스팔트 혼합물의 포설 및 다짐 공정 중 배출되는 유해가스인 저분자량의 방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbon, PAHs)가 가열 아스팔트 혼합물과 비교하여 약 30~50%에 감소하는 것으로 알려져 있다.

중온 아스팔트 첨가제는 투입방식에 따라 아스팔트 바인더에 미리 혼합하는 습식 방식과 플랜트 생산과정 중 퍼그밀(pug mill)에 투입하는 건식 방식이 있다. <표 2-1>과 <표 2-2>는 미국에서 사용되는 대표적인 중온 첨가제의 투입방식과 첨가량을 나타낸 것으로 Advera WMA를 제외한 모든 첨가제는 아스팔트 바인더 질량을 기준으로 0.25~3.0%로 투입되는 것으로 보고되고 있다.(김용주, 2009)

<표 2-1> 미국 및 기타 국가 중은 아스팔트 첨가제 기술 현황

구 분	공정 / 첨가제	개발사	미국 현장
유기 첨가제	Sasobit	Sasobit	Yes
	Asphaltan	Romonta	No
	Licomont BS-100	Clariant	No
	Cecabase RT	Ceca	Yes
폼드 첨가제 폼드 플랜트	Advera	Eurovia	Yes
	Aspha-Min	PQ Corporation	Yes
	Low Energy Asphalt	McConnaughay Tech.	Yes
	Duble-Barrel Green	Astec	Yes
	Ultrafoam GX	Gencor	Yes
	Terex WMA System	Terex	Yes
	Aquablack Warm Mix Asphalt	Maxam Equipment Inc	Yes
화학 첨가제	WAM-Foam	Kolo Veidekke, Shell	No
	Evotherm G3	MeadWestVaco/Mathy	Yes
	Rediset™ WMA	Akzo Nobel	Yes

<표 2-2> 중은 아스팔트 첨가제 투입방식 및 첨가량

첨가제	투입 방법	첨가량
Sasobit	건식 / 습식	바인더 양의 1.5%
Asphaltan B	건식	바인더 양의 2.5~3.0%
CECABASE RT	습식	바인더 양의 0.3~0.5%
Aspha-min	건식	바인더 양의 1.0~2.0%
Advera WMA	건식	혼합물량의 0.25%
Rediset™	건식	바인더 양의 1.0~2.0%
Evotherm G3	습식	바인더 양의 0.4%

3. 사용 재료

본 연구에서 검토된 중은 폴리머 개질 아스팔트에 사용된 개질제는 크게 고분자 화합물 (polymer)과 중은 개질제로 크게 나눌 수 있으며 기타 첨가제가 혼합되어 있는 분말 형태의 개질제이다. 중은 폴리머 개질제의 주요 성분인 고분자 화합물과 중은 개질제의 특성은 다음과 같다.

1) 고분자 화합물

중은 폴리머 개질제에 사용된 폴리머는 SBR과 SBS이다. 아스팔트 개질제로 주로 사용되

는 SBR과 SBS는 엘라스토머(elastomer) 폴리머로서 응력이 제거될 때 신속하게 그 형태를 회복하고, 긴장함으로써 응력으로 생기는 변형에 저항한다. 아스팔트에 SBR을 첨가할 경우의 효과는 침입도가 작아지고, 연화점은 높게, 신도는 크게 되며, 고온에서 점도가 증가하고 감온성을 크게 개선시키는 것으로 알려져 있다. 특히, 소성변형 저항성이 높아지고 고무의 탄성을 유지하기 때문에 노화 저항성이 커서 내구성이 좋아 진다.(이석홍, 2005), SBS는 SBS 고분자 사슬과 아스팔트 분자간의 망상조직(network)을 형성하여 아스팔트 내부로 전달되는 응력을 흡수 및 완화시켜주는 역할을 하며, 특히 고온에서는 스프링과 같은 탄성체의 역할을 하여 아스팔트 바인더에 발생된 변형을 원상태로 회복시키려는 특성을 가지고 있다.(박희문 외, 2005)

2) 중온 개질제

중온 개질제로 사용될 수 있는 것은 여러 가지가 있을 수 있다. 본 연구에서 사용된 재료는 중온 개질제로 가장 널리 사용되는 방식 중 하나인 왁스(wax) 타입의 개질제이다. 본 연구에서 사용된 왁스는 Fisher tropesch계 합성왁스로 미세하고 긴 지방족 탄화수소 체인으로 구성된 고분자 물질이다. 70~115℃의 높은 녹는점(melting point)을 가지며 낮은 침입도와 낮은 점도의 특성을 나타낸다. Fisher tropesch계 왁스는 아스팔트 바인더의 온도 115℃ 이상에서 녹기 시작하며 아스팔트 바인더 분자에 분산되어 재가열하여도 재료 분리가 발생하지 않는다.

Ⅲ. 실험 방법 및 배합 설계

1. 바인더 실험

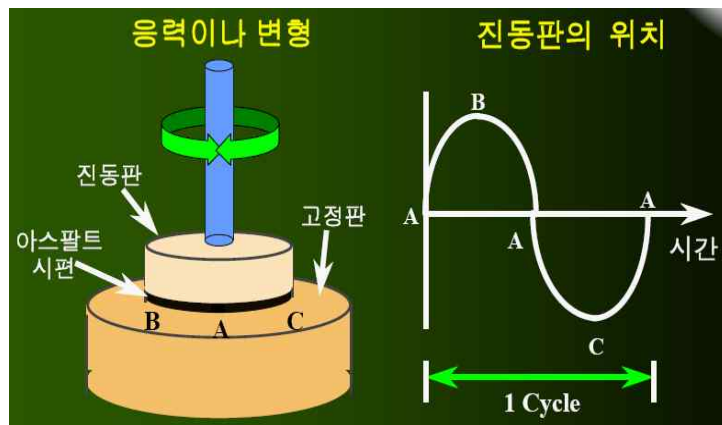
1) 공용성 등급 실험

아스팔트 바인더의 공용성 등급(PG grade : Performance Grade)은 미국 SHRP(Strategic Highway Research Program)의 연구 성과로 아스팔트 바인더의 물리적 특성에 기초한 지방 규정으로써 현재 국내에서도 기존의 침입도 등급과 함께 아스팔트 바인더의 물성을 평가하는 기준으로 삼고 있다. 공용성 등급은 아스팔트 바인더가 사용될 현장의 기후 조건을 기초로 결정한 것으로, 7일간의 평균 최고 포장 설계 온도와 1일간의 최저 포장 설계 온도를 기초로 결정한 것이다. 아스팔트 바인더의 공용성 등급을 결정하기 위한 실험은 아스팔트 바인더의 고온, 상온, 저온 영역에서 요구되는 다양한 성질들에 대한 평가로 이루어지기 때문에 아스팔트 바인더의 성능과 특성을 평가하는데 유용하게 사용될 수 있다.

(1) 동적전단유동기(dynamic shear rheometer, DSR)

아스팔트 바인더의 거동은 시간 및 온도의 영향을 받으므로 시간 및 온도에 대한 영향을

동시에 측정하는 것이 이상적이다. 동적전단유동기를 사용함으로써 이상적인 실험을 실시할 수 있는데 높은 온도와 중간 온도에서 공용중인 아스팔트 바인더의 복합전단계수(G^*)와 위상각(δ)을 측정함으로써 아스팔트 바인더의 점성 및 탄성거동을 실험, 분석하는데 사용된다. 복합전단계수(G^*)는 지속적으로 전단작용을 받는 조건하에서 재료가 가지고 있는 변형에 대한 전단저항력으로 탄성(회복) 및 점성(비회복)의 두 부분으로 구성되어 있다. 위상각(δ)은 탄성 및 점성변형의 상대변위를 나타낸다. <그림3-1>은 동적전단유동기의 실험 원리를 나타낸 것이다.



<그림 3-1> 동적전단유동기 실험의 원리

(2) 회전박막가열시험(rolling thin film oven, RTFO)

<그림 3-2>와 같은 회전박막가열시험은 캘리포니아주 도로국에서 개발되었으며 AASHTO T 240과 ASTM D 2872에 자세히 서술되어 있다. 회전박막가열시험은 박막가열시험(TFO)과 마찬가지로 혼합물을 생산 및 시공하는 동안 발생하는 아스팔트 바인더의 단기 노화를 모사한다.



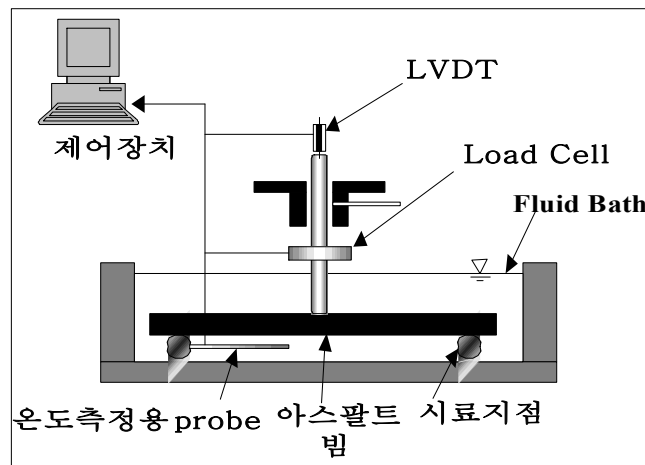
<그림 3-2> 회전박막가열시험기

(3) 압력노화시험(pressure aging vessel, PAV)

압력노화시험은 아스팔트 연구와 고무제품의 노화에 대하여 오래 전부터 사용되어 왔다. 압력노화 시험방법은 아스팔트의 장기노화를 위해서 표준시험방법(ASTM D 454, ASTM D 572)에 의해 수행된다. 압력노화시험은 5년에서 10년 정도가 경과된 현재 공용중인 아스팔트 포장의 노화를 모사하기 위해서 SHRP에 의해 개발되었다. 아스팔트 포장의 아스팔트는 생산과 시공단계에서 단기노화를 거쳤기 때문에 PAV시험에 사용되는 아스팔트는 RTFO에서 노화된 아스팔트를 사용한다.

(4) 아스팔트 바인더의 휨 크리프 강성 시험(bending beam rheometer, BBR)

저온균열에 대한 아스팔트 바인더의 저항성을 측정하기 위해 매우 낮은 온도에서 BBR시험을 실시한다. BBR 시험은 AASHTO TP1의 시험절차에 따라 실험하며 <그림 3-3>과 같은 형식으로 실험이 수행된다. BBR 시험을 통해 크리프 스티프니스(stiffness : $S(t)$)와 m -value 값을 구할 수 있으며 크리프 스티프니스는 일정한 하중 하에서의 아스팔트 강성을 나타내는 물성이다. m -value는 점탄성 물성의 하나로서 시험재료의 점탄성 특성을 평가하는 지표이다. 일반적으로 $S(t)$ 가 낮은 재료일수록 저온균열에 유리한 것으로 평가되고 있다. m -value는 $S(t)$ 와 시간의 대수관계곡선의 기울기를 나타내는 인자로서 재료가 탄성적인 거동을 할수록 하중재하시간의 변화에 따른 스티프니스의 변화가 적기 때문에 m 은 0에 가까운 값을 갖게 된다. 따라서 m 값이 큰 재료일수록 점성에 가까운 거동을 하게 되고 응력을 완화시키는 성질이 많아 저온균열에 유리하다고 할 수 있다. 따라서 규정에는 $S(t)=300\text{MPa}$ 이하, $m=0.3$ 이상으로 규정하고 있다.

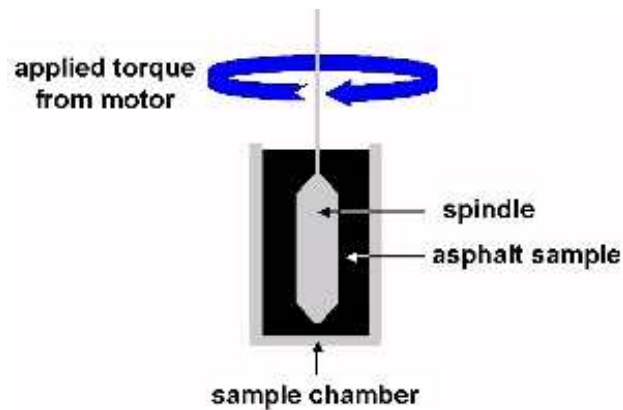


<그림 3-3> BBR 시험의 개략도

(5) 회전점도시험(rotational viscometer)

회전점도 실험은 고온(135°C)에서 아스팔트 바인더의 작업성을 평가하기 위해 SHRP에서

채택한 실험법으로, 아스팔트 바인더가 펌핑 및 혼합을 하기에 충분한 유동성을 가지는 것을 확인하기 위한 실험법이다. <그림 3-4>는 회전점도시험의 원리를 설명한 것으로 아스팔트 바인더에 스피들(spindle)을 넣고 회전 시키면서 이때 발생하는 저항을 측정하여 점도를 측정하는 것이다. 회전 점도 시험은 ASTM D 4402나 AASHTO TP 48의 브룩필드 써모셀 (Brook field Thermosel) 장치를 이용하여 측정된다.



<그림 3-4> 회전점도계의 원리

IV. 실험결과 및 분석

중온 폴리머 개질 아스팔트는 첨가제의 첨가량에 따른 특성을 분석하기 위해 스트레이트 아스팔트 중량의 4.5%를 첨가한 것(K-1)과 5.2%를 첨가한 것(K-2)로 실험을 실시하였으며, 비교 평가를 위해 스트레이트 아스팔트(AC 60-80)와 SBS를 주원료로 하는 폴리머 개질 아스팔트(PMA)를 실험하였다.

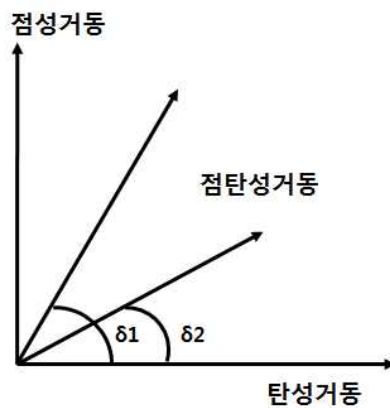
1. 공용성 등급 실험(performance grade test, PG) 결과

스트레이트 아스팔트와 중온 폴리머 개질 아스팔트의 공용 등급 실험을 실시하였다. 실험은 KS F 2389에 따라 수행하였으며, 3회 실험을 하여 그 평균값을 <표 4-1>에 정리 하였다.

본 연구에서 수행한 실험결과 국내에서 사용되는 스트레이트 아스팔트 바인더(straight asphalt binder)중 AC 60-80 등급의 일반적으로 알려진 공용성 등급 PG 64-22의 결과를 얻을 수 있었다. 중온 폴리머 개질 아스팔트의 경우 K-1과 K-2 모두 82℃에서 원 아스팔트(original asphalt) 상태에서 1.0kPa를 훨씬 상회한 값을 나타냈으며, RTFO에서는 $G^*/\sin\delta$ 의 값이 K-1의 경우는 4.37kPa, K-2의 경우 9.35kPa로 측정되어 바인더 등급으로 예측해 보았을 때 소성 변형 저항성이 상당히 우수할 것으로 예상된다. 또한 첨가량이 증가 할수록 더 높은 소성 변형 저항성을 나타내는 것을 알 수 있었다.

저온 등급을 결정하기 위한 -12℃에서의 BBR 실험 결과 스트레이트 아스팔트에 비해 중

온 폴리머 아스팔트의 스티프니스 값은 커지고 m-value 값은 작아지는 것을 알 수 있었는데, 이는 왁스가 온도가 내려가면 아스팔트 바인더 내에서 경질화 되면서 아스팔트 바인더를 딱딱하게 만들기 때문이다. 일반적으로 왁스류 개질제의 경우 베이스 아스팔트 바인더의 저온 등급을 한 단계 높여 PG 저온등급 -22℃의 경우 -16℃ 또는 -10℃으로 만들지만 본 연구에서 사용된 중온 폴리머 개질 아스팔트에 첨가된 폴리머가 저온에서 탄성 회복(elastic recovery)을 증가시키며 신도(ductility)를 향상시키는 것으로 알려져 있는데(Yufeng Cong, 2006) 이러한 특성이 중온 폴리머 개질 바인더의 저온 성능에 도움이 된 것으로 판단된다.



<그림 4-1> 아스팔트 바인더의 점성 및 탄성 작용

<그림 4-1>은 동적전단유동실험(DSR)에서 측정되는 위상각(δ)의 의미를 나타내는 것으로 위상각이 크면 아스팔트의 점성적 거동이 큰 것을, 위상각이 작으면 탄성적 거동을 하는 것을 의미한다. 실험결과 스트레이트 아스팔트 바인더의 경우 온도가 증가함에 따라 위상각이 증가하는 것으로 나타났는데 이는 아스팔트 바인더의 온도가 증가함에 따라 점성적 거동 특성이 강해지는 경향을 보이는 것이다. 하지만 중온 폴리머 개질 바인더의 경우는 스트레이트 아스팔트 바인더에 비해 작은 위상각을 가지며 온도가 증가할수록 위상각이 작아지는 경향을 나타냈다. 이는 왁스가 온도가 상승함에 따라 유동성이 증가하여 아스팔트 바인더 분자사이에 녹아들어 윤활제와 같은 역할을 하는데 중온 폴리머 개질 바인더의 경우 첨가되어 있는 고분자 화합물인 SBR과 SBS가 탄성적 거동 특성을 발휘하는데 유리하게 되기 때문인 것으로 판단된다. 이는 Hurley(2005)의 연구에서 Sasobit 왁스와 SBS 폴리머를 합성하였을 경우에도 유사하게 발생함을 확인 할 수 있었다.

아스팔트 바인더의 공용성 등급을 정리하면 다음과 같다.

- 스트레이트 아스팔트(AC 60-80) : PG 64 - 22
- 중온 폴리머 개질 아스팔트(K-1) : PG 82 - 22
- 중온 폴리머 개질 아스팔트(K-2) : PG 82 - 22

<표 4-1> 공용성 등급 실험 결과

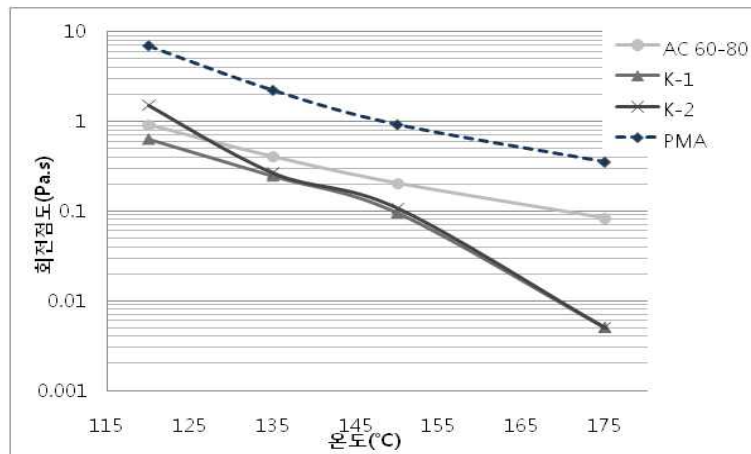
공용성 등급	온도 ℃	AC 60-80		
		G* (kPa)	δ (°)	G*/sinδ (kPa)
Original G*/sinδ 1.0kPa 이상	58	3.22	85.8	3.23
	64	1.48	87.3	1.48
	70	0.73	88.6	0.73
RTFO G*/sinδ 2.2kPa 이상	58	7.31	85.2	7.33
	64	3.12	86.8	3.13
	70	1.42	88.1	1.42
PAV G*×sinδ 5000kPa 이하	25	G* (kPa)	δ (°)	G*×sinδ (kPa)
		3060.7	58.6	2611.8
BBR Stiff:300MPa이하 M-value:0.3이상	-12	Stiffness(MPa)		M-value
		119.274		0.3318
공용성 등급	온도 ℃	K-1		
		G* (kPa)	δ (°)	G*/sinδ (kPa)
Original G*/sinδ 1.0kPa 이상	70	5.39	62.7	6.06
	76	3.46	60.6	3.97
	82	2.24	58.9	2.61
RTFO G*/sinδ 2.2kPa 이상	70	10.27	63.3	11.49
	76	6.02	60.6	6.92
	82	3.68	57.5	4.37
PAV G*×sinδ 5000kPa 이하	34	G* (kPa)	δ (°)	G*/sinδ
		1603.4	55.9	1327.2
BBR Stiff:300MPa이하 M-value:0.3이상	-12	Stiffness(MPa)		M-value
		235.575		0.307433
공용성 등급	온도 ℃	K-2		
		G* (kPa)	δ (°)	G*/sinδ (kPa)
Original G*/sinδ 1.0kPa 이상	70	4.27	74.7	4.42
	76	2.6	74	2.7
	82	1.63	73.1	1.7
RTFO G*/sinδ 2.2kPa 이상	70	14.8	56.7	17.65
	76	9.95	53.3	12.4
	82	7.12	49.5	9.35
PAV G*×sinδ 5000kPa 이하	34	G* (kPa)	δ (°)	G*/sinδ
		1939.4	49.7	1480.2
BBR Stiff:300MPa이하 M-value:0.3이상	-12	Stiffness(MPa)		M-value
		216.9755		0.308971

2. 회전 점도 실험(rotational Viscosity)

회전 점도 실험은 아스팔트 바인더의 점도를 측정하여 아스팔트 혼합물의 혼합 및 다짐 온도를 결정하는 실험이다. 스트레이트 아스팔트와 중온 폴리머 개질 아스팔트인 K-1, K-2 아스팔트 및 기존의 PMA 아스팔트를 통해 중온 폴리머 개질 아스팔트의 생산 및 시공 온도 저감 효과를 비교 하였다. 측정 결과는 <표 4-2>와 <그림 4-2>와 같다.

<표 4-2> 회전 점도 실험 결과

온도	회전 점도(cP)			
	AC 60-80	K-1	K-2	PMA
120	905	632	1500	6875
135	400	245	165	2200
150	202.5	95	107.5	912.5
175	82.5	5	5	350



<그림 4-2> 온도에 따른 아스팔트의 회전 점도 변화

<표 4-2>의 결과는 브룩필드 점도 시험기의 결과 값으로 측정단위가 cP(centi poise)이다. 이를 그래프로 표현하기 쉽도록 Pa·s로 변환하여 도식화 한 것이 <그림 4-2>이다. 회전 점도 실험결과 중온 폴리머 개질 아스팔트 바인더가 기존의 PMA 아스팔트 바인더에 비해 낮은 점도를 나타내는 것을 알 수 있었으며, 혼합온도에 있어 스트레이트 아스팔트를 사용하였을 때보다 낮은 온도에서 생산이 가능한 것으로 나타났다. 다만 K-2 아스팔트 바인더의 경우 120°C 에서는 스트레이트 아스팔트보다 더 높은 점도를 나타내어 다짐 온도 관리에 주의를 기울여야 할 것으로 보인다.

회전점도 실험은 아스팔트 바인더의 혼합 및 다짐과 관련된 작업성(workability)을 측정하는데 사용된다. <그림4-2>와 같이 스트레이트 아스팔트(AC60-80)와 PMA의 경우 거의 직선에 가까운 모습을 나타내는데 반해 중온 개질아스팔트의 경우 왁스성분으로 인해 S자형 커브를 그리는 것을 볼 수 있다. 이는 왁스를 첨가했을 때 나타나는 현상으로 왁스가 뜨거울

아스팔트에 첨가되면 특정온도에서 녹게 되고, 아주 미세한 상태로 바인더 내에 분산되게 된다. 이때 아스팔트 분자사이에서 윤활(lubrication)작용을 함으로써 아스팔트 바인더의 점도를 현저히 감소시키게 된다. 반대로 아스팔트 바인더의 온도가 내려가면, 특정 온도에서 미세한 상태로 분산되어 있는 왁스가 고체화 되면서 아스팔트 바인더내에 고체 Filler로써의 역할을 하게 되며, 아스팔트의 컨시스턴시(consistency)를 증가시키게 된다.

Superpave Mix Design(2001)에서 아스팔트 혼합물의 혼합 온도에서 요구되는 점도가 150~190cP임을 감안했을 때 실험결과를 보면 스트레이트 아스팔트 바인더의 경우 약 150~160℃에서 혼합이 가능하며, K-1과 K-2 아스팔트 바인더의 경우 140℃이상이면 혼합이 가능하다. 반면 PMA 아스팔트 바인더의 경우는 175℃에서도 점도가 350cP로 회전점도실험으로 혼합온도 결정이 어렵다.

V. 결론

우수한 내구성 및 공용성능을 나타내어 도로 포장에 널리 사용되고 있는 폴리머 개질아스팔트(PMA)는 개발 초기부터 꾸준히 제기되어온 단점으로 높은 혼합온도(mixing temperature)와 다짐온도(compact temperature)로 인한 가열 연료의 소비와 CO₂ 등의 유해가스의 발생, 그리고 높은 온도에서 다짐을 수행하여야 하기 때문에 발생하는 시공 관리의 어려움 및 교통개방의 지연 등의 문제를 가지고 있었다. 이를 해결하기 위한 방안으로 중온 아스팔트(warm mix asphalt) 기술의 접목을 고려하였으며, 중온 아스팔트 기술 중 적용성이 편리한 중온 첨가제 방식을 폴리머 개질 아스팔트 바인더에 적용함으로써 높은 생산 및 시공온도를 낮추고 기존의 폴리머 개질 아스팔트의 성능은 유지할 수 있도록 하고자 하였다. 이러한 중온 폴리머 개질 아스팔트 바인더의 물성을 평가하였다.

스트레이트 아스팔트에 중온 폴리머 개질제를 첨가하는데 최적 첨가량을 확인하기 위해 스트레이트 아스팔트 중량의 4.5% 첨가한 것(K-1)과 5.2% 첨가한 것(K-2)으로 실험을 실시하였으며, 일반 아스팔트와 PMA 아스팔트와 비교 실험을 수행하였다. 중온 폴리머 개질 아스팔트 바인더의 공용성 등급 실험 결과 PG 82-22의 등급을 얻을 수 있었다. 첨가량이 5.2% 많은 K-2의 경우 단기노화 후 $G^*/\sin\delta$ 가 9.35kPa의 높은 값을 나타내어 첨가량이 증가함에 따라 바인더의 소성변형 저항성도 증가함을 알 수 있었다.

회전점도 실험결과는 중온 폴리머 개질 아스팔트 경우 135~145℃에서 급격하게 점도가 낮아지는데, 이는 개질제의 성분 중 왁스가 용해되어 아스팔트 바인더 분자 사이에 분산되면서 윤활제의 작용을 하기 때문이며, 이를 통해 기존 폴리머 개질 아스팔트바인더에 비해 낮은 온도에서 혼합 및 다짐이 가능한 것으로 판단되었다. 첨가량이 많은 K-2의 경우는 125℃ 이상의 온도에서는 스트레이트 아스팔트에 비해 낮은 점도를 갖지만 125℃ 이하에서 급격히 점도가 증가하여 스트레이트 아스팔트 보다 높은 점도를 나타내는데 이는 시공에서 다짐 온도 관리의 어려움을 유발할 수 있다.

본 실험 결과 아스팔트 바인더 중량의 4.5%를 첨가하였을 경우, PG 82-22의 높은 공용등급을 나타내며, 생산 및 시공온도 저감 효과가 우수한 K-1의 경우가 적합한 것으로 판단되

였으며, 폴리머 개질 아스팔트의 성능을 유지하면서 스트레이트 아스팔트 바인더와 유사한 수준의 생산 및 시공 온도를 확보 할 수 있을 것으로 판단되었다.

[참 고 문 헌]

1. 박희문, 김부일, 김제원, 엄병식, 최지영, 안덕순, 이현종, 김지원, “고내구성 교면포장 기술 개발 연구(4차년도)”, 한국건설기술연구원, 2005.
2. 이석홍, 『개질 및 특수아스팔트포장 핸드북』, 2005.
3. Yufeng Cong, Kejian Liao, Wei Huang, and Yuchun Zhai, “Performanc of SBR-modified asphalt”, Petroleum Science and Technology, 2006.
4. Graham C. Hurley and Brian D. Prowell, "Evaluation of Sasobit for Use in Warm Mix Asphalt", National Center for Asphalt Technology, 2005.
5. Asphalt Institute, "Superpave Mix Design", Asphalt Institute, 2001.
6. Freddy L. Roberts, Prithvi S. Kandhal, E. Ray Brown, Dah-Yinn Lee, and Thomas W. Kennedy, 『Hot mix asphalt materiasl, mixture design, and construction』, 1996.

논문접수일 : 2010년 3월 11일

심사의뢰일 : 2010년 3월 25일

심사완료일 : 2010년 4월 28일