



PE Wax를 첨가한 아스팔트 바인더의 물리적 특성

Evaluation of the Effect of PE Wax on Asphalt Binder Properties

김 부 일*	전 성 일**	이 문 섭***	조 윤 호****
Kim, Boo Il	Jeon, Sung Il	Lee, Moon Sup	Cho, Yoon Ho

Abstract

Generally, asphalt binder modifier increases the viscosity at high temperature as well as at mixing and paving temperature, so that higher temperature is required to produce the hot-mix asphalt. Otherwise, wax is able to improve workability by means of decreasing the viscosity of asphalt binder. In this study, the effect of PE wax used to modify the asphalt binder was evaluated in laboratory. The properties of PE wax modified binder were compared with those of SBS and Crumb Rubber Modified binders. The results showed that wax type I has an effect on strengthening rut resistance as well as improving workability. However, wax type I weaken crack resistance due to making binder harder at intermediate temperature. The results also showed that wax type II has an effect on improving workability and on strengthening crack resistance due to making binder softer.

Keywords: PE wax, asphalt binder, modifier, workability, rut resistance, crack resistance

요 지

일반적으로 아스팔트 개질재의 경우 아스팔트 바인더의 고온 점성을 증가시킬 뿐만 아니라 믹싱 및 포설온도에서의 점도 또한 증가시켜 높은 생산온도 및 시공온도를 요구하게 된다. 이와 달리 Wax의 경우 아스팔트 바인더의 강성을 증가시키기도 하지만 일정 온도가 넘으면 물처럼 유동성을 확보해 믹싱 및 포설온도에서의 점도를 낮추어 작업성을 높이는 효과가 있다. 본 연구에서는 실내실험을 통해 PE Wax가 아스팔트 바인더에 첨가되었을 경우 그 특성을 분석하였다. 이를 위해 SBS, 페타이어 고무분말 개질 아스팔트 바인더와 비교 분석하였다. 또한 Wax가 기존 개질재인 SBS, 페타이어 고무분말과 함께 사용되었을 경우 그 효과를 분석하였다. 실험 결과, Wax type I 은 내유동성 강화에 큰 효과가 있으며 작업성 개선에 약간의 효과가 있는 것으로 나타났다. Wax type II 는 아스팔트 바인더의 작업성 개선에 크게 기여하고, 상온에서 부드러운 특성으로 균열에 대한 저항성을 증진시키는 것으로 나타났다.

핵심용어 : PE wax, 아스팔트 바인더, 개질재, 작업성, 내유동성, 균열저항성

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원
 ** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원
 *** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원
 **** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수



1. 서론

일반적으로 아스팔트 개질재의 경우 아스팔트 바인더의 고온 점성을 증가시킬 뿐만 아니라 믹싱 및 포설온도에서의 점도 또한 증가시켜 높은 생산온도 및 시공온도를 요구하게 된다. 이와 달리 Wax의 경우 아스팔트 바인더의 강성을 증가시키기도 하지만 일정 온도가 넘으면 물처럼 유동성을 확보해 믹싱 및 포설온도에서의 점도를 낮추어 작업성을 높이는 효과가 있다. 따라서 플랜트 생산 온도에서 뿐만 아니라 시공 온도에서도 타 개질 아스팔트 보다 낮은 생산 및 시공 온도를 갖게 한다.

이러한 Wax의 일반적인 특징에도 불구하고, 개질재로서의 Wax에 대한 연구사례는 많지 않으며, 특히 본 연구에서 적용한 PE(Polyethylene) Wax에 대해서는 국내에 연구사례가 전혀 없는 상황이다.

이에 본 연구에서는 PE Wax를 단독으로 첨가한 경우 아스팔트 바인더의 물리적 특성 변화를 분석하고, 국내에서 가장 많이 이용되고 있는 개질재인 SBS, 페타이어 고무분말이 첨가된 아스팔트 바인더와 비교·분석하였다. 또한 PE Wax가 기존 개질재인 SBS와 페타이어 고무분말과 혼합되어 사용되었을 때 Wax가 어떠한 기능을 하는지 실내 실험을 통해 그 특성을 분석하였다.

2. 개질재 특성

2.1 Wax

Wax란 상온에서는 고체 상태이면서 온도를 높이면 유체로 변하는 분자량 수백 정도의 물체이다. Wax는 광택, 윤활 작용 및 방수, 방부 효과가 있기 때문에 이와 같은 특징을 필요로 하는 여러 분야에 단독 또는 기타 수지류와 혼합하여 사용된다. 또한 양초 및 접착제, 잉크, 계면활성제의 원료로도 많이 사용된다. Wax에는 수많은 종류가 있으나, 주로 녹

는 온도(융점, 融點)에 따라 저융점 Wax(일반 파라핀 왁스, 밀납 등)와 고융점 Wax(마이크로크리스탈린, 카나우바, 합성 Wax 등)로 나누기도 하며, 원료에 따라 석유계 Wax(파라핀, 마이크로크리스탈린 Wax), 동물성 천연 Wax, 식물성 천연 Wax, 합성 Wax 등으로 분류하기도 한다. 그림 1은 일반적인 Wax의 분류를 나타내고 있다.

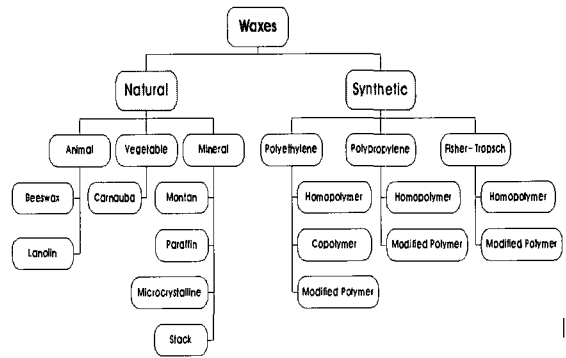


그림 1. Wax의 분류

본 연구에 사용된 PE(Polyethylene) Wax는 에틸렌을 중합시켜 만들며 중합을 중간 단계까지 시킨 물질이다. 중합을 끝까지 시킨 물질은 레진 계열인데, 이러한 PE 레진에서 나온 찌꺼기에 열을 가해 분자고리(chain)를 열분해(cracking)하여 왁스 계열로 환원시키기도 한다. PE Wax는 아래와 같은 4가지 정도로 분류가 된다.

- Homopolymer(LD계)
- Oxidized Homopolymer(LD계)
- High Density Oxidized Homopolymer(HD계)
- Copolymer (LD계 또는 HD계)

단위 부피당 들어가 있는 분자량의 많고 적음에 따라 HD(High Density)와 LD(Low Density)로 나뉘게 되는데, 본 연구에서는 H사의 High Density Oxidized Homopolymer(HD계)와 Oxidized Homopolymer(LD계) Wax를 사용하였는데, 구분의 편의상 본 연구에서는 전자는 type I으로 후자는 type II로 명명하였다. 표 1은 H사에서 제공한 PE Wax의 기본 물성값을 나타내고 있다.



표 1. PE Wax의 기본 물성값

	High Density Oxidized Homopolymer	Oxidized Homopolymer
Mettler drop point(℃)	137	88
Hardness(dmm)	< 0.5	90
Density(g/cc)	1.00	0.85
140℃ Viscosity(cP)	2,500	35
Acid Number(mg KOH/g)	41	15

- Mettler drop point : 액상화되어 떨어질 때의 온도
- Acid Number : 시료 1g중에 함유되어 있는 산을 중화하는데 소비되는 KOH의 mg수

2.2 SBS

SBS(Styrene Butadiene Styrene) 개질 아스팔트는 국내에서 가장 많이 사용되는 개질 아스팔트의 하나로, 일반 아스팔트에 비해 변형(소성 및 피로)과 균열에 대한 저항이 우수한 것으로 알려져 있다. 아스팔트 바인더에 SBS를 첨가하게 되면 SBS 고분자 사슬과 아스팔트 분자간의 망상조직(network)을 형성하여 아스팔트 내부로 전달되는 응력을 흡수 및 완화시켜주는 역할을 하며, 고온에서 스프링과 같은 탄성체의 역할을 하여 아스팔트 바인더에 발생된 변형을 원상태로 회복시키려는 특성을 가지게 된다(건설기술연구원, 2000). 그림 2는 SBS 고분자의 구조를 나타내고 있다.

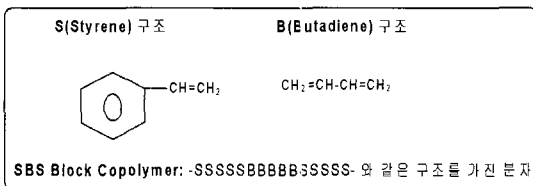


그림 2. SBS 고분자의 구조(건설기술연구원, 2000)

국내에서 사용 가능한 SBS 개질재는 분자 구조에 따라 linear type과 radial type이 생산되고 있다. 일반적으로 linear type의 경우 radial type에 비해 분자량이 적고, 아스팔트와의 교반이 용이하며 저장

성 또한 좋은 것으로 알려져 있다. radial type은 linear type보다 고온 강성을 증가 시켜주지만 그만큼 점도 또한 증가되며, 연화점이 더 높은 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 사용된 SBS는 4가지 종류로 L사와 K사의 linear 및 radial type을 사용하였으며, 제조 사별 type I 과 type II 로 구분하였다.

2.3 페타이어 고무분말

페타이어 고무분말은 차량용 페타이어를 재생한 생고무분말이다. 일반적으로 페타이어를 첨가한 아스팔트는 일반 아스팔트에 비해 고온에서 높은 점도와 저온에서 낮은 강성을 갖게 되는데, 고온에서 높은 점도 유지는 교통하중에 의해 발생하는 높은 응력과 변형에 대해 저항하는 힘이 커서 소성변형의 발생을 억제하며, 저온에서 낮은 강성은 온도균열에 대한 저항성을 크게 한다(류명찬, 2000).

본 연구에서 사용된 페타이어 고무분말은 C사에서 생산되는 고무분말 중에 냉동분쇄기술을 이용해 제조된 80mesh(180 μ m), 120mesh(125 μ m) 입자 크기의 고무분말을 사용하였다.

3. 실험 재료 및 방법

3.1 실험 계획

그림 3은 본 연구의 실험개요를 보여주고 있다. 그림에 나타낸 것과 같이 Wax·SBS·페타이어 고무분말 각각의 타입마다 base 아스팔트인 AP-5에 첨가하여 개질재로서 단독으로 사용되었을 때 각각의 물리적 특성을 비교·분석하였다. 이 분석내용을 바탕으로 Wax·SBS·페타이어 고무분말 각각 1종류씩을 우선 선정하였다. 이후 Wax가 다른 개질재와 혼합되어 첨가되었을 때 아스팔트 바인더의 특성을 확인하기 위하여 Wax와 SBS, Wax와 페타이어 고무분



말을 혼입비율별 첨가하여 아스팔트 바인더의 물리적 특성을 분석하였다.

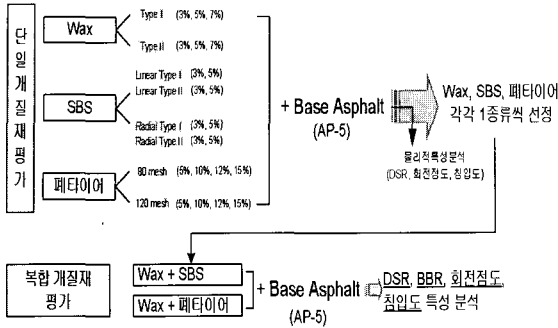


그림 3. 실험개요

3.2 아스팔트 바인더 실험 방법

(1) DSR(Dynamic Shear Rheometer) 실험

DSR 실험은 아스팔트 바인더의 점탄성적 물성을 파악하기 위해 수행된다. 본 연구에서는 TA Instruments사의 CSA500 시험장비를 사용하였다. 본 실험은 하부의 고정판과 상부의 스피들 사이에 시료를 장착하고 스피들에 의해 일정한 strain이 발생하도록 비틀림을 가하고 이때 발생하는 토크(T)와 위상각(δ)을 측정하여 복합전단계수 (complex shear modulus, G^*)를 계산한다. 고온에서의 PG 기준치는 original 바인더에 대해 $G^*/\sin\delta$ 값이 1.0kPa 이상, 단기노화 바인더에 대해 $G^*/\sin\delta$ 값이 2.2kPa 이상이다.

(2) BBR(Bending Beam Rheometer) 실험

저온에서의 아스팔트 점탄성 거동을 파악하기 위해, BBR 실험이 적용되고 있다. 본 연구에서는 미국의 ATS사에서 제작한 BBR 시험기를 사용하였다. BBR 실험은 장기노화시킨 아스팔트 바인더를 12.5 × 6.25 × 102mm 크기의 빔 시편으로 만들어 양단을 지지하고, 포장 구조체가 경험하게 될 가장 낮은 온도조건 하에서 빔의 형태로 제작된 아스팔트 시료에

creep 하중(일정하중)을 240초 동안 가하며 처짐을 측정하고 creep하중에 대한 저항능력인 크리프 강성(S(t))과 강성의 변화율(m-value)을 측정하게 된다. 저온에서의 PG 기준치는 실험온도에서 S(t)가 300MPa 이하, m-value가 0.3 이상으로 규정되어 있다.

(3) 침입도 실험(penetration test)

고체 또는 반고체상태의 아스팔트에 대하여 굳기(consistency)를 측정하는 가장 간단하면서 신속한 시험법으로, 국내 아스팔트 시멘트의 경우 그 침입도의 범위에 따라서 제품의 등급을 구분한다. 실험방법은 아스팔트 포장의 공용 중 평균온도라고 가정된 25℃에서 100g의 하중이 재하된 바늘이 5초 동안 아스팔트 바인더 시료에 관입된 깊이를 0.1mm 단위로 측정한다. 아스팔트의 굳기(consistency)가 부드러울수록 침입도는 커지며, 침입도 2 이하와 500 이상의 값은 신뢰할 수 없는 범위로 보고 있다.

(4) 회전점도 실험(brookfield test)

아스팔트 바인더를 hot-mix 플랜트에서 다룰 때는 펌핑 또는 배합이 용이하도록 가능한 충분히 액체 상태를 유지해야 한다. 회전점도실험은 믹싱 온도에서 아스팔트 바인더의 작업성(workability)을 측정하는 데 사용된다. 약 135℃의 아스팔트 시료 내에 원통형 스피들이 일정한 회전속도를 유지하는데 필요한 토크를 측정하여 바인더의 점도를 자동적으로 계산하고 계기반에 표시한다. PG 기준점도는 3Pa-s (3000 cP) 이하이다.

(5) 인화점 실험 (flash point test)

인화점 실험은 점화의 위험이 없이 안전하게 아스팔트 바인더를 가열할 수 있는 온도를 의미하며, 본 연구에서는 클리블랜드 오픈컵(cleveland open cup)방법을 이용하였다.



3.3 개질 아스팔트 바인더 제조 방법

개질재를 단독으로 첨가한 경우, $150 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 가열된 base 아스팔트(AP-5)에 Wax를 교반기에 투입하여 $130 \sim 140^\circ\text{C}$ 에서 혼합을 실시하고, SBS와 페타이어는 교반기에 투입하여 $150 \sim 160^\circ\text{C}$ 에서 혼합을 실시하여 개질아스팔트 바인더를 제조하였다.

두 가지 종류의 개질재를 첨가한 경우, $150 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 가열된 base 아스팔트(AP-5)에 Wax를 교반기에 투입하여 $130 \sim 140^\circ\text{C}$ 에서 1차 혼합을 실시한 후, SBS 또는 페타이어를 교반기에 투입 $150 \sim 160^\circ\text{C}$ 에서 2차혼합을 실시하여 개질아스팔트 바인더를 제조하였다.

4. 개질 아스팔트 바인더의 물리적 특성

4.1 Wax를 첨가한 아스팔트 바인더의 물리적 특성

Wax type I, II 각각에 대하여 첨가량을 3%, 5%, 7%씩 변화시켜 base 아스팔트에 첨가하여 DSR(original), 회전점도, 침입도 실험을 수행하였다. 그림 4는 DSR(original) 실험결과를 나타내고 있다. Wax type I의 경우 첨가비율이 증가함에 따라 아스팔트 바인더의 $G^*/\sin\delta$ 값이 증가함을 알 수 있다. 특히 실험온도 64°C 에서 Wax 3% 첨가 시 base 아스팔트에 비해 $G^*/\sin\delta$ 값이 2배 정도, Wax 7% 첨가 시 4배 정도 증가하였다. Wax type II의 경우 base 아스팔트에 비해 $G^*/\sin\delta$ 값이 약간 감소하거나 거의 유사한 값을 보여 주는데, 첨가비율이 증가함에 따라 $G^*/\sin\delta$ 값이 약간씩 감소함을 알 수 있다. PG 고온등급을 평가해보면 Wax type I 이 첨가된 바인더의 경우 시험온도 82°C 에서도 PG 기준치 이상을 나타내고 있으나, Wax type II가 첨가된 바인더는 시험온도 64°C 에서도 PG 기준치를 넘지 못하였다.

그림 5는 Wax type별 함유량에 따른 회전점도 실험

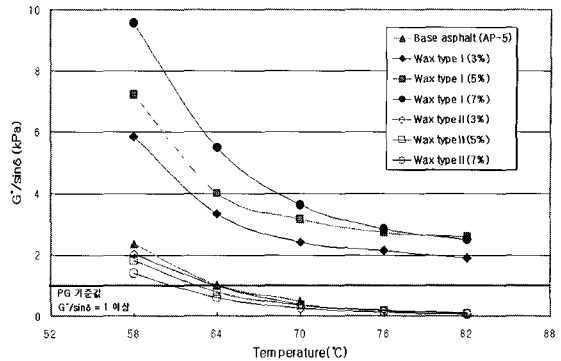


그림 4. Wax 함유량에 따른 DSR(original) 실험결과

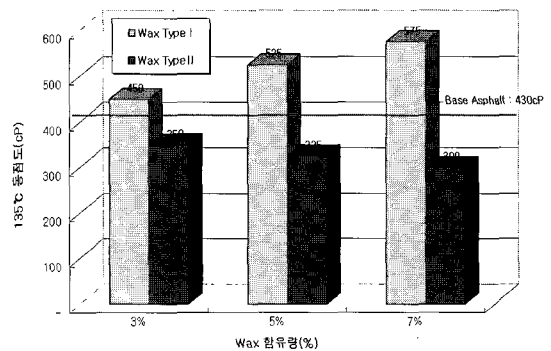


그림 5. Wax 함유량에 따른 회전점도 실험결과

결과를 나타내고 있다. 그림에서 나타낸 것과 같이 Wax type I의 경우 첨가비율이 증가함에 따라 회전점도가 약간씩 증가하며, Wax 3% 첨가 시 base 아스팔트에 비해 회전점도가 약 5%, Wax 7% 첨가 시 34% 정도 증가하였다. 이에 반해 Wax type II의 경우 첨가비율이 증가함에 따라 회전점도가 감소하며, Wax 3% 첨가 시 base 아스팔트에 비해 회전점도가 약 19%, Wax 7% 첨가 시 약 30% 감소하였다.

그림 6은 Wax type별 함유량에 따른 침입도 실험 결과를 나타내고 있다. 그림에서 나타낸 것과 같이 Wax type I의 경우 첨가비율이 증가함에 따라 침입도가 감소하고, Wax 3% 첨가 시 base 아스팔트에 비해 침입도가 약 44%, Wax 7% 첨가 시 51% 정도 감소하였다. Wax type II의 경우 첨가비율이 증가함에 따라 침입도가 증가하고, Wax 3% 첨가 시 base 아스팔트에 비해 침입도가 약 5%, Wax 7%

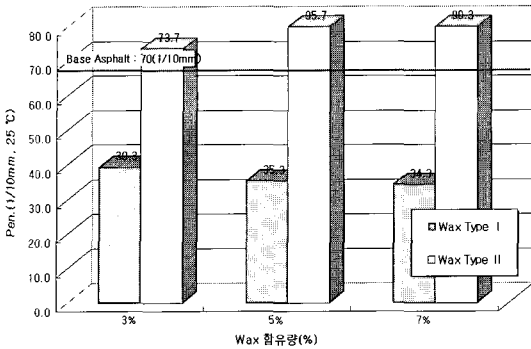


그림 6. Wax 함유량에 따른 침입도 실험결과

첨가 시 약 29% 증가하였다.

이와 같은 결과를 종합하여 보면, Wax type I 은 함유량이 증가함에 따라 고온에서의 바인더 점성을 증가시킬 수 있다. 즉, Wax type I 은 아스팔트 바인더의 소성변형에 대한 저항성을 증진시키는 효과를 발휘한다. 한편 Wax type I 은 135°C에서의 회전점도값 역시 증가시켜 작업성 개선 효과에는 크게 기여하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 고온에서의 내유동성은 약 200~400% 증가된 반면 135°C에서의 회전점도값은 3%~34% 증가한 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과는 다른 개질제(SBS, SBR, 페타이어 고무분말)를 첨가한 바인더의 특성과 비교했을 때, 상대적으로 작업성 개선효과가 크게 발휘된다고 볼 수 있다. Wax type II 는 DSR 실험결과, base 아스팔트와 거의 유사한 값을 보여주는 반면 회전점도값은 크게 감소시켰다. 따라서 Wax type II 는 소성변형에 대한 저항성은 떨어뜨리지 않으면서 아스팔트 바인더의 작업성을 크게 개선시킬 수 있다. 또한 상온에서의 부드러운 특성으로 인해 균열에 대한 저항성을 증진시키는데 큰 효과를 발휘할 수 있다고 판단된다.

Wax를 첨가한 경우에 아스팔트 바인더의 안전성 문제를 파악하기 위해, Wax 첨가량 7%에 대하여 인화점 실험을 수행하였다. 표 2는 인화점 실험결과를 나타내고 있다. 표에서 나타낸 것과 같이 Wax를 첨가한 아스팔트 바인더의 인화점이 base 아스팔트에

비해 작은 값을 나타내고 있으나, AP-5의 기준이 260 이상인 것을 감안한다면, 인화점이 문제가 되지 않는 것으로 판단된다.

표 2. 인화점 실험결과

바인더 종류	인화점
Base Asphalt (AP-5)	348
Base Asphalt + Wax type I 7%	300
Base Asphalt + Wax type I 7%	270

4.2 SBS를 첨가한 아스팔트 바인더의 물리적 특성

SBS는 linear type과 radial type 각각 2종류에 대하여 함유량을 3, 5%씩 변화시켜 base 아스팔트에 첨가하여 DSR(original), 회전점도, 침입도 실험을 수행하였다. 그림 7은 DSR(original) 실험결과를 나타내고 있다. SBS의 첨가비율이 증가함에 따라 아스팔트 바인더의 $G^*/\sin\delta$ 값이 증가하며, radial type I 과 linear type I 이 다른 것에 비해 좀 더 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있다. 특히 실험온도 64°C에서 linear type I 5% 첨가 시 base 아스팔트에 비해 $G^*/\sin\delta$ 값이 약 200% 증가하였으며, radial type I 5% 첨가 시 base 아스팔트에 비해 $G^*/\sin\delta$ 값이 약 250% 증가하였다. 하지만 실험온도 82°C에서 모든 바인더가 PG 기준치를 넘지 못하였다. SBS가 첨가된 바인더와 Wax가 첨가된 바인더의

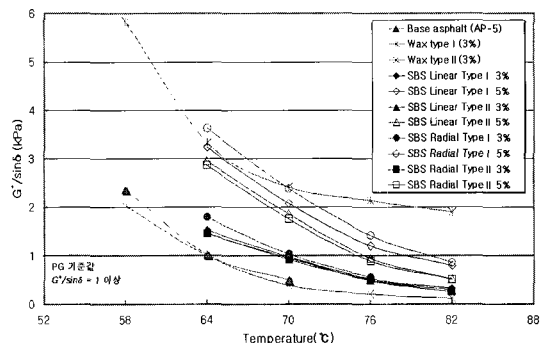


그림 7. SBS 함유량에 따른 DSR(original) 실험결과



$G^*/\sin\delta$ 값을 비교해 보면, Wax type I 은 SBS type I 과 유사한 값을 보이지만 온도 감온성이 적음을 알 수 있다. 또한 Wax type II 는 base 바인더와 유사한 거동을 보이고 있다.

그림 8은 SBS 함유량에 따른 회전점도 실험 결과를 나타내고 있다. 그림에서 나타낸 것과 같이 SBS 함유량이 증가함에 따라 회전점도는 증가하였으며, 특히 linear type I 5% 첨가 시 base 아스팔트에 비해 회전점도가 약 225%, radial type I 5% 첨가 시 약 490% 증가하였다.

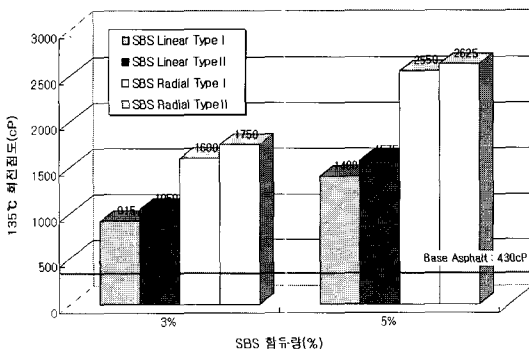


그림 8. SBS 함유량에 따른 회전점도 실험결과

그림 9는 SBS 함유량에 따른 침입도 실험 결과를 나타내고 있다. 그림에서 나타낸 것과 같이 SBS 함유량이 증가함에 따라 침입도가 감소하는 경향을 나타내었으며, type별로는 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. base 아스팔트와 비교하여 보면 SBS 3% 첨가 시 침입도가 약 24%, SBS 5% 첨가 시 약

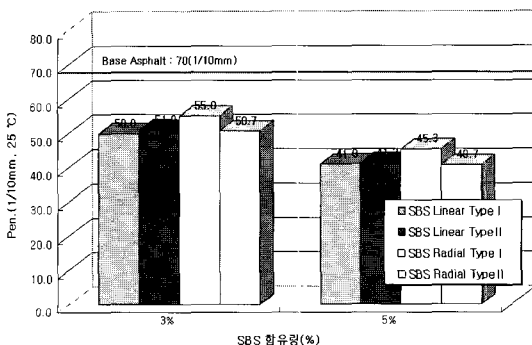


그림 9. SBS 함유량에 따른 침입도 실험결과

39% 감소하였다.

이와 같은 결과를 종합하여 보면, SBS radial type I 과 linear type I 이 아스팔트 바인더의 소성 변형에 대한 저항성을 증진시키는데 좀 더 큰 효과를 발휘한다고 판단되며, 작업성 측면에서는 linear type이 radial type에 비해 좀 더 우수한 것으로 판단된다.

4.3 페타이어 고무분말을 첨가한 아스팔트 바인더의 물리적 특성

페타이어 고무분말은 80 mesh와 120 mesh에 대하여 각각 5%, 10%, 12%, 15%씩 변화시켜 base 아스팔트에 첨가하여 DSR(original), 회전점도, 침입도 실험을 수행하였다. 그림 10은 페타이어 고무분말 함유량에 따른 DSR(original) 실험결과를 나타내고 있는데, 페타이어 고무분말의 첨가비율이 증가함에 따라 $G^*/\sin\delta$ 값이 증가하는 것을 알 수 있으며, 페타이어 고무분말 80mesh와 120mesh 간에 큰 차이를 나타내고 있지 않다. base 아스팔트와 비교하여 보면, 실험온도 64°C에서 페타이어 고무분말 5% 첨가 시 $G^*/\sin\delta$ 값이 약 70%, 페타이어 고무분말 15% 첨가 시 약 380% 증가하였다. 또한 실험 온도 76°C에서 페타이어 고무분말을 15% 첨가한 아스팔트 바인더만이 PG 기준치를 넘는 것으로 나타났으며, 시험온도 82°C에서는 모든 바인더가 PG 기준치를 넘지 못하였다.

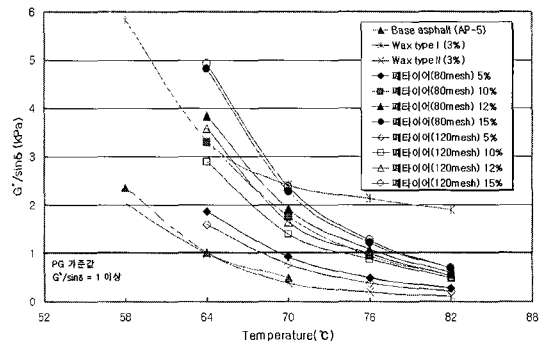


그림 10. 페타이어 고무분말 함유량에 따른 DSR(original) 실험결과



그림 11은 페타이어 고무분말 함유량에 따른 회전점도 실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 페타이어 고무분말 첨가비율이 증가함에 따라 회전점도는 증가하며, 페타이어 고무분말 5% 첨가 시 base 아스팔트에 비해 약 60%, 페타이어 고무분말 15% 첨가 시 약 600% 증가하였고, 페타이어 고무분말 80mesh와 120mesh 간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 하지만, 페타이어 고무분말 12%와 15%가 첨가된 아스팔트 바인더의 경우 회전점도값은 120mesh가 약간 작게 나왔다. 이는 80mesh의 경우 입자크기가 크기 때문에 혼합과정에서 모든 입자들이 바인더에 완전히 녹았다고 보기 힘들며, 이로 인해 미세한 페타이어 고무분말 입자들이 바인더 속에 존재하게 되는데, 첨가비율이 높아지면 이런 미세한 입자들의 비율도 높아지기 때문에, 회전점도가 상대적으로 약간씩 큰 값을 나타내는 것으로 판단된다.

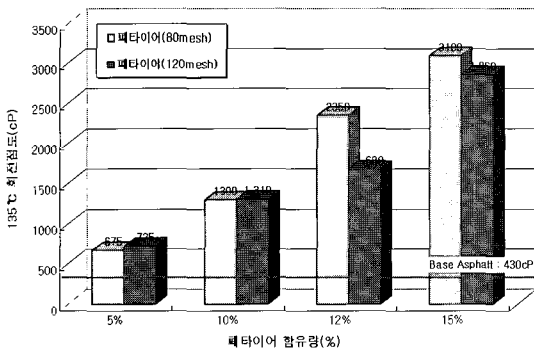


그림 11. 페타이어 고무분말 함유량에 따른 회전점도 실험결과

그림 12는 페타이어 고무분말 함유량에 따른 침입도 실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 페타이어 고무분말 첨가비율이 증가함에 따라 침입도는 감소하며, 페타이어 고무분말 80mesh와 120mesh 간에 큰 차이를 나타내지 않았다. base 아스팔트와 비교하여 보면, 페타이어 고무분말 5% 첨가 시 침입도는 약 30%, 페타이어 고무분말 15% 첨가 시 침입도는 47% 감소하였다.

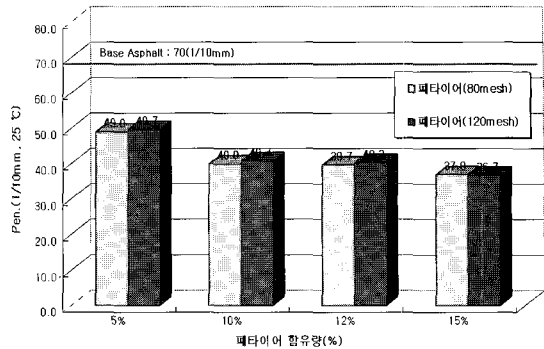


그림 12. 페타이어 고무분말 함유량에 따른 침입도 실험결과

4.4 단일 개질재가 첨가된 아스팔트 바인더들의 물리적 특성 비교 평가

표 3은 위의 결과들을 종합하여 base 아스팔트에 대한 개질 아스팔트의 시험데이터 증가/감소율을 나타낸 것이다. 표에서 나타난 것과 같이 Wax type I은 SBS·페타이어 고무분말 보다 고온에서의 내유동성을 강화하는데 더 큰 효과를 발휘함을 알 수 있다. 또한 Wax type I은 회전점도값 증가율이 SBS·페타이어 고무분말보다 훨씬 더 낮아 상대적으로 작업성 개선에도 효과가 있음을 알 수 있다.

Wax type II는 고온에서의 내유동성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 Wax type II는 회전점도값이 base 아스팔트에 비해 크게 감소하여 작업성 개선 효과가 매우 큰 것으로 나타났다.

침입도 실험결과에서는 Wax type I이 SBS·페타이어 고무분말에 비해 침입도 감소율이 약간 크게 나타났지만 큰 차이를 보이지는 않았다. 하지만 Wax type II는 침입도 실험결과 base 아스팔트에 비해 오히려 증가하여 상온에서 부드러운 특성을 강화하게 만드는 것으로 나타났다.

일반적으로 Wax는 다른 개질재와 혼합되어 사용 되는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 Wax와 다른 개질재가 혼합되어 사용될 경우, Wax가 바인더에 미치는 특성을 분석하고자 하였다. 이를 위해 이 제까지의 실험결과를 토대로 각각의 개질재 중에서

그 특성이 우수한 재료를 아래와 같이 선정하여 복합 개질재(두 가지 재료가 혼합된 개질재)의 재료로 이용하고자 하였다.

표 3. 단일 개질재가 첨가된 아스팔트 바인더의 DSR, 회전점도, 침입도 증가/감소율 비교

개질재 종류	타입	첨가 비율	G*/sinδ(64℃) 증가/감소율(%)	회전점도 증가/감소율(%)	침입도 증가/감소율(%)
Wax	type I	3%	+227	+5	-44
		5%	+294	+22	-50
		7%	+438	+34	-51
	type II	3%	-3	-19	+5
		5%	-23	-24	+37
		7%	-41	-30	+29
SBS	linear type I	3%	+49	+113	-29
		5%	+217	+226	-41
	linear type II	3%	+44	+144	-27
		5%	+190	+266	-41
	radial type I	3%	+75	+272	-21
		5%	+225	+493	-35
	radial type II	3%	+42	+307	-28
		5%	+181	+510	-42
페타이어	80 mesh	5%	+82	+57	-30
		10%	+223	+202	-43
		12%	+277	+447	-43
		15%	+373	+621	-47
	120 mesh	5%	+56	+69	-29
		10%	+184	+205	-42
고무분말	120 mesh	12%	+251	+291	-42
		15%	+383	+565	-48

(증가/감소율은 base 아스팔트에 대한 상대적인 값임)

▷ Wax의 경우, type I 과 type II가 모두 Wax 본래의 특성인 작업성 개선 효과는 우수한 것으로 나타났다. 그러나 type I 이 type II에 비해 고온에서의 내유동성이 증진어도 효과가 있으며, 특히 type I 3% 첨가 시 DSR 시험온도 82℃에서도 PG 기준치를 통과하여, SBS와 페타이어 고무분말보다 더 좋은 내유동성을 나타내었다. 따라서

총 6가지 Wax type 및 함유량 중에서 Wax type I 3%를 선택하였다.

▷ SBS의 경우, linear type I 과 radial type I 이 다른 것과 비교하여 좋은 결과를 나타내었다. 그러나 radial type의 경우 분자량이 많고, 재료분리가 일어나 저장안정성이 문제점이 야기될 가능성이 있기 때문에 본 연구에서는 SBS linear type I 을 선택하였다.

▷ 페타이어 고무분말의 경우, 80mesh와 120mesh 모두 비슷한 특성을 나타내었다. 하지만 입자크기가 가는 것이 좀 더 안정적인 아스팔트 바인더를 제조하는데 효과가 있다고 판단하여, 본 연구에서는 페타이어 고무분말 120 mesh를 선택하였다.

5. 복합 개질 아스팔트 바인더의 물리적 특성 평가

Wax가 다른 개질제와 혼합되는 경우 어떠한 특성을 나타내는지 확인하기 위하여, 4장에서 선정된 각각의 개질제에 대하여 표 4와 같이 재료 및 혼합비율을 정하였다. 또한 각각의 개질 아스팔트 바인더에 대하여 DSR(original, RTFO), BBR, 동점도, 침입도 실험을 수행하였다.

표 4. 개질 바인더의 명칭 및 혼합비율

바인더명칭	혼합비율
S3W3	Base Asphalt+SBS(Linear Type I) 3% + Wax(Type I) 3%
S5W3	Base Asphalt+SBS(Linear Type I) 5% + Wax(Type I) 3%
C5W3	Base Asphalt+페타이어 고무분말(120mesh) 5%+Wax(Type I) 3%
C10W3	Base Asphalt+페타이어 고무분말(120mesh) 10%+Wax(Type I) 3%
C12W3	Base Asphalt+페타이어 고무분말(120mesh) 12%+Wax(Type I) 3%
C15W3	Base Asphalt+페타이어 고무분말(120mesh) 15%+Wax(Type I) 3%



5.1 DSR 실험결과

그림 13과 그림 14는 개질 아스팔트 바인더의 DSR 실험결과를 나타내고 있다. DSR(original) 실험의 경우, 모든 개질 아스팔트 바인더가 실험온도 82℃에서 기준치 이상을 나타내고 있다. 또한 그림 13을 그림 7과 그림 10에서 SBS와 페타이어 고무분말만을 첨가한 실험결과와 비교하여 보면, Wax와 SBS가 복합 개질재로 사용된 경우 SBS가 단독으로 사용한 경우에 비해 500% 이상의 내유동성이 증가되었음을 알 수 있다. 따라서 Wax가 SBS와 함께 개질재로 사용되었을 경우에도 고온에서의 내유동성을 증가시키는데 크게 기여하고 있음을 알 수 있다. 그림 14의 DSR(RTFO) 실험의 경우, C5W3과 C10W3을 제외한 나머지 개질 아스팔트 바인더는 실험온도 82℃에서 PG 기준치 이상을 나타내고 있

다. 이와 같은 실험결과를 종합하여 보면, SBS와 페타이어 고무분말에 Wax를 첨가함으로써 고온에서의 점성이 증가하여 PG 82를 만족하는 아스팔트 바인더 제조가 충분히 가능함을 알 수 있다.

5.2 BBR 실험결과

그림 15와 그림 16, 표 5는 개질 아스팔트 바인더의 BBR 실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 실험온도 -12℃에서 C5W3, C12W3, C15W3이 PG 기준치 이상을 나타내고 있다. 기준치를 통과하지 못한 개질 바인더에 대하여 실험온도 -6℃와 0℃에서 BBR 실험을 수행하였는데, C10W3의 경우 실험온도 -6℃에서 PG 기준치 이상을 나타내었으나, S3W3과 S5W3의 경우 실험온도 -6℃와 -0℃ 모두에서 PG 기준치를 넘지 못하였다.

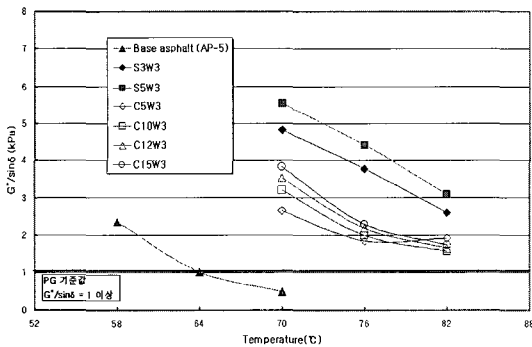


그림 13. 복합 개질 아스팔트 바인더의 DSR(original) 실험결과

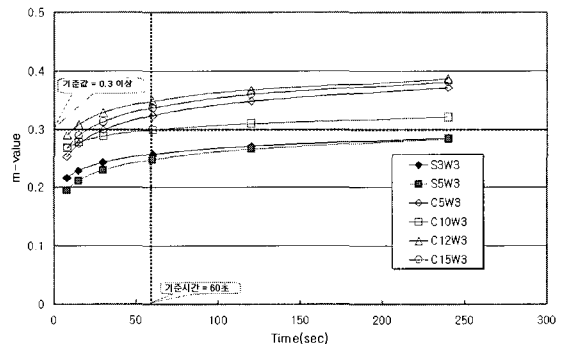


그림 15. 복합 개질 아스팔트 바인더의 BBR(실험온도:-12℃) 실험결과

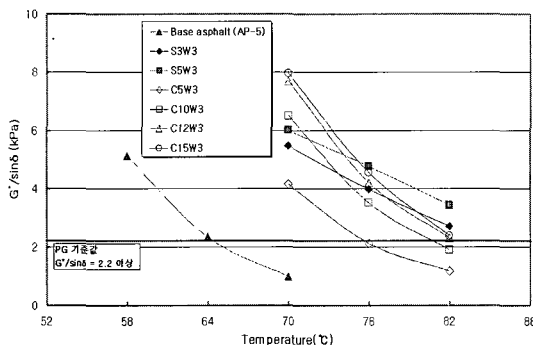


그림 14. 복합 개질 아스팔트 바인더의 DSR(RTFO) 실험결과

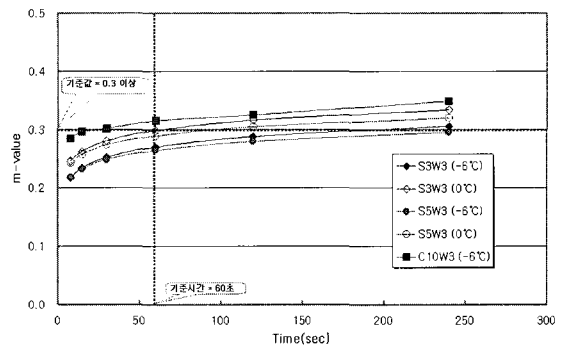


그림 16. 복합 개질 아스팔트 바인더의 BBR(실험온도:-6.0℃) 실험결과

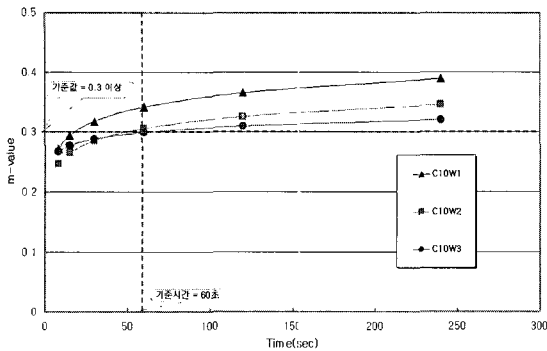


그림 17. Wax 함량변화에 따른 BBR(실험온도:-12℃) 실험결과

표 5. 복합 개질 아스팔트 바인더의 BBR 실험결과 비교

(실험시간:60초)

시험 온도 (℃)	데이터 항목	개질 아스팔트 바인더					
		S3W3	S5W3	C5W3	C10W3	C12W3	C15W3
-12	stiffness	225	249	218	199	133	131
	m-value	0.257	0.247	0.323	0.299	0.348	0.336
-6	stiffness	189	214		164		
	m-value	0.270	0.264		0.315		
0	stiffness	161	177				
	m-value	0.298	0.289				

이와 같은 결과로부터 개질 아스팔트 바인더 C5W3, C12W3, C15W3은 저온등급 PG-22를, C10W3은 저온등급 PG-16을 만족하며, S3W3과 S5W3은 저온등급 PG-10에도 미치지 못하는 것으로 나타났다.

Wax가 저온특성에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위하여, 페타이어 고무분말을 10%로 고정하고 Wax를 1%, 2%, 3% 변화시켜 제조한 개질 아스팔트 바인더의 BBR(실험온도:-12℃) 실험을 수행하였으며, 그 결과는 그림 17에 나타내었다. 그림에서 나타난 것과 같이 Wax의 첨가비율이 증가하면서 m-value 값이 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

위의 결과를 종합해 볼 때, Wax와 SBS는 저온에서 너무 딱딱한 성질을 유지하여 저온균열 저항성을 약화시키는 단점이 있으며, 페타이어 고무분말은 저온균열 저항성을 증진시키는데 효과가 있는 것으로

판단된다.

5.3 회전점도 실험결과

개질 아스팔트 바인더에 대한 회전점도 실험결과를 그림 18에 나타내었다. 그림에서 나타난 것과 같이 SBS, 페타이어 고무분말의 첨가비율이 증가함에 따라 회전점도값이 커지는 것을 확인할 수 있으며, 특히 C15W3의 경우 3,125cP 값을 나타내어 일반적인 PG등급기준에 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

그림 18의 결과를 그림 8, 그림 11과 비교하여 보면, Wax를 SBS/페타이어 고무분말과 함께 첨가한 바인더가 SBS/페타이어 고무분말만을 첨가한 바인더에 비해 작은 회전점도값을 보여주고 있다. 이러한 결과는 Wax가 복합 개질재로 사용될 경우에도 작업성 개선에 효과가 있음을 짐작하게 한다. 특히 Wax와 SBS/페타이어 고무분말이 함께 첨가된 바인더가 고온등급이 더 높다는 것을 감안한다면, Wax가 고온에서의 내유동성 강화와 작업성 개선에 크게 기여한다고 판단된다.

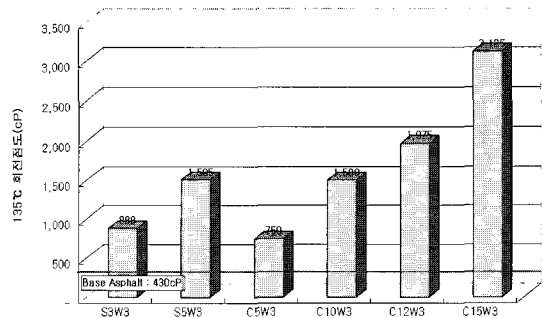


그림 18. 복합 개질 아스팔트 바인더의 회전점도 실험결과

5.4 침입도 실험결과

그림 19는 개질 아스팔트 바인더의 침입도 실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 SBS, 페타이어 고무분말의 첨가비율이 증가함에 따라 침입도값이 전반적으로 감소하는 것을 알 수 있으



며, C5W3을 제외한 나머지 바인더는 침입도값이 30 이하를 나타내고 있다. 또한 3장에서 그림 6, 그림 9, 그림 12의 침입도 결과와 비교해 보면, Wax, SBS, 페타이어 고무분말 모두가 침입도값을 감소시키는 데 영향을 미치고 있으며, 이는 개질 바인더의 성질이 상온에서 딱딱하여 균열에 대한 저항성이 감소할 수 있는 가능성을 보여주는 결과이다.

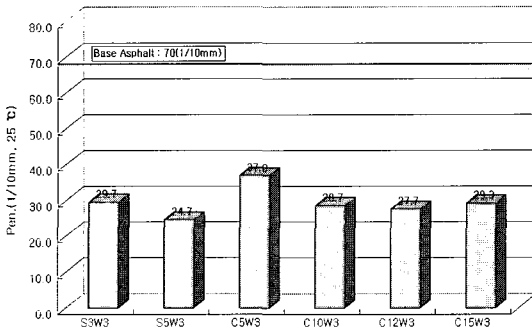


그림 19. 복합 개질 아스팔트 바인더의 침입도 실험결과

5.5 복합 개질재 비교 평가

표 6은 위의 결과들을 종합하여 base 아스팔트에 대한 복합 개질 아스팔트의 실험결과 증가/감소율을 나타낸 것이다. 표에서 나타낸 것과 같이 노화되지 않은 바인더의 $G^*/\sin\delta$ 증가율은 Wax와 SBS를 첨가한 것이 크게 나왔고, 단기 노화된 바인더의 $G^*/\sin\delta$ 증가율은 Wax와 페타이어 고무분말을 첨가

표 6. 복합 개질재별 DSR, 회전점도, 침입도 증가/감소율 비교

바인더 명칭	$G^*/\sin\delta(70^\circ\text{C})$ 증가/감소율(%) -Original-	$G^*/\sin\delta(70^\circ\text{C})$ 증가/감소율(%) -RTFO-	회전점도 증가/감소율 (%)	침입도 증가/감소율 (%)
S3W3	+873	+456	+106	-58
S5W3	+1,016	+511	+250	-65
C5W3	+436	+323	+74	-47
C10W3	+547	+561	+249	-59
C12W3	+613	+682	+359	-60
C15W3	+674	+709	+627	-58

(증가/감소율은 base 아스팔트에 대한 상대적인 값임)

한 것이 더 크게 나왔다. 또한 단일 개질 아스팔트의 결과를 나타낸 표 2와 비교해 보면, 복합 개질 아스팔트의 $G^*/\sin\delta$ 증가폭이 훨씬 큰 반면에 회전점도 증가율을 거의 같은 수준을 유지하고 있다. 이는 Wax의 내유동성 강화와 작업성 개선 효과 때문인 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 Wax가 첨가된 개질 아스팔트 바인더의 물리적 특성을 실내실험을 통해 평가하였다. 이를 위해 Wax, SBS, 페타이어 고무분말을 단독으로 사용하였을 경우와 Wax+SBS, Wax+페타이어 고무분말을 사용한 경우에 대하여 DSR, BBR, 회전점도, 동점도 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

▷ 단일 개질재로서의 Wax의 영향

- high density oxidized homopolymer 형태의 Wax(Wax type I)가 첨가된 바인더는 oxidized homopolymer 형태의 Wax(Wax type II)에 비해 고온에서 내유동성이 크게 증가되며, 특히 3% 첨가 시 DSR 실험온도 82°C에서도 PG 기준치를 통과하여, SBS와 페타이어 고무분말보다 더 좋은 내유동성을 나타내었다. 반면에 Wax type I은 첨가비율의 증가에 따라 회전점도값이 소폭으로 증가하나 고온에서 내유동성이 크게 강화되는 것을 고려한다면 상대적으로 믹싱, 포설, 다짐 등 작업성(workability)을 개선할 수 있는 것으로 판단된다.

- Wax type II는 아스팔트 바인더의 작업성 개선 효과를 크게 하고, 상온에서 부드러운 특성으로 균열에 대한 저항성을 증진시키는데 큰 효과를 발휘하지만, 고온에서의 내유동성에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

▷ 복합 개질 아스팔트(Wax+SBS, Wax+페타이어



고무분말)에서 Wax의 영향

- Wax type I 과 SBS를 함께 첨가한 개질 아스팔트 바인더는 고온등급 PG 82를 나타내지만, 저온등급 PG-10에 도달하지 못하여, 저온균열 발생 가능성을 높게 만드는 단점이 나타났다. 이는 Wax type I 과 SBS 모두 저온에서 너무 딱딱한 성질을 만들기 때문인 것으로 판단된다. Wax type I 과 페타이어 고무분말을 함께 첨가한 개질 아스팔트 바인더는 페타이어 고무분말 첨가비를 12% 이상에서 고온등급 PG 82를 나타내었으며, 저온등급은 페타이어 고무분말 첨가비를 10%를 제외하고는 모두 PG-22를 나타내었다. Wax type I 이 저온특성을 약화시킨다는 점을 고려한다면 페타이어 고무분말이 Wax의 단점을 보완하여 저온균열 저항성을 증진시키는데 효과가 있음을 알 수 있다.
- 한편 Wax type I 과 SBS/페타이어 고무분말을 첨가한 복합 개질 바인더가 SBS/페타이어 고무분말만을 첨가한 단독 개질 바인더와 비슷한 회전점도 값을 나타내었다. 따라서 위에 기술한 것처럼 Wax type I 과 SBS/페타이어 고무분말을 첨가한 복합 개질 바인더가 고온등급이 더 높다는 것을 감안한다면, Wax가 작업성을 약화시키지 않으면서 고온에서의 내유동성을 크게 향상시킬 수 있다.

- 본 결과를 종합하여 보면, Wax type I 은 고온에서 내유동성 강화와 작업성 개선에 효과를 발휘하는 것으로 판단된다. 그러나 상온과 저온상태에서 바인더의 딱딱한 성질을 유지하게 하여 균열에 대해 취약하게 만드는 단점도 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원에서 주관하는 산학연 연구과제인 “4S 포장시스템 개발 연구”의 연구비 지원을 받아 이루어졌습니다. 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건기원, “슈퍼팔트(SBS-PMA)의 현장공용성 및 효과분석 연구” 최종보고서, 2000년
2. 류명찬, 차순만, 박석주, “아스팔트 및 아스팔트 개질제”, 한국도로포장공학회지 제 2권 2호, 2000년 6월

접 수 일: 2006. 9. 11
 심사 일: 2006. 9. 26
 심사완료일: 2006. 12. 4