



폐불소고무 분말과 SBS로 개질된 아스팔트의 점착 특성에 관한 연구

강 민 규·한 경 아·정 경 호[†]

수원대학교 신소재공학과

(2009년 7월 14일 접수, 2009년 7월 31일 수정 및 채택)

The Study on the Pressure-Sensitive Adhesion Property of Waste FKM Powder and SBS Modified Asphalt

Min-Kyu Kang, Kyung-A Han, and Kyung-Ho Chung[†]

Department of Polymer Engineering, The University of Suwon

(Received July 14, 2009, Revised & Accepted July 31, 2009)

요약 : 건축현장에서 건물 방음 및 단열재의 씰링 용도로 일반 pressure-sensitive adhesive (PSA) tape이 주로 사용되고 있다. 일반 PSA tape은 먼지와 같은 이물질에 의해 점착력이 쉽게 감소하고 두께가 얇기 때문에 외부 자극에 의한 변형 및 파손이 쉽게 발생하여 방음재의 씰링 역할을 제대로 수행하지 못하는 결과가 발생하며, 이는 부실공사의 원인이 되기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 FKM과 SBS를 이용하여 아스팔트를 개질하여 점착제로 적용하고자 하였다. 본 연구에서는 아스팔트의 점착력을 향상 시켜주기 위하여 선형과 방사형의 styrene-butadiene-styrene (SBS) 3, 6, 9 wt.%, 폐불소고무(FKM: fluoroelastomers) 10, 20, 30 wt.%를 아스팔트에 첨가하여 개질 아스팔트를 제조하였고 이들의 연화점, 점도, 인장강도 및 점착력 등의 물리적 특성을 평가하였다. SBS 개질 아스팔트는 SBS가 첨가됨에 따라 연화점 및 점도가 상승하는 거동을 나타냈으며 순수 아스팔트 보다 높은 점착력을 나타내었다. FKM 개질 아스팔트의 경우는 FKM이 첨가 되어도 연화점 및 점도 변화가 없었으며 FKM과 아스팔트의 낮은 계면 결합력으로 점착력이 증가하지 않았다. 온도가 증가할수록 개질 아스팔트의 점도는 감소하였지만 SBS 개질 아스팔트의 경우에는 온도상승에 따른 점도 감소가 적어 상당히 넓은 온도 범위에서 점착력을 유지하였으며 선형 SBS가 6 wt.% 첨가된 것이 최적의 점착 특성을 나타내었다.

ABSTRACT : The pressure-sensitive adhesive (PSA) tapes are widely used as floor-sealing material in Korean constructive industry. However, the general PSA tapes can not seal the apertures completely. This is one of main reasons to cause imperfect finishing. In order to solve the problems, the asphalts were modified by FKM powder and SBS in this study. The physical properties of modified asphalts were examined by measuring the softening point, viscosity, tensile strength and adhesion strength of FKM and SBS modified asphalt. The softening point of SBS modified asphalt was increased greatly due to the formation of network structure in asphalt. Also, the change of adhesion strength of SBS modified asphalt with temperature was not so great comparing to those of pure asphalt and FKM modified asphalt. The best results of pressure-sensitive adhesion could be obtained by the SBS(linear) modified asphalt containing 6 wt.% of linear type SBS.

Keywords : Modified asphalt, SBS, FKM, Network structure, Pressure-sensitive adhesion.

I. 서 론

건축용 방음 및 단열재의 이음 부분 마감재로서 사용되는 pressure-sensitive adhesive (PSA) tape은 주위환경에 따라 점착력의 감소 및 탈리가 발생하며 이로 인해 씰링 역할을 제대로 수행하지 못하여 부실공사의 원인 및 보수 비용 상승의 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 아스팔트를 개질하여 점탄

성이 있는 점착제로 제조함으로써 이러한 기존 PSA tape의 단점을 보완하고자 하였다.

아스팔트는 석유를 구성하고 있는 성분 중에서 경질유분이 제거되고 남은 최종 잔유물로서, 석유로부터 휘발분이 제거되고 남은 고분자의 잔유물(Residue)을 역청질(Bitumen)이라 하고, 역청질을 주성분으로 하여 미네랄물질이 혼합되어 있는 역청 물질을 아스팔트로 구성하여 정의하기도 한다. 상온에서 아스팔트는 흑색을 띠며 점탄성과 결합성질이 매우 좋은 물질로 알려져 있어 포장용으로 폭넓게 사용되고 있다. 또한 아스

[†] 대표저자 E-mail: khchung@suwon.ac.kr

팔트는 끈끈한 반고체 상태로 접착력과 방수력이 강하고 내구성이 있는 재료이며, 산이나 알칼리 또는 염에도 매우 강한 저항성을 가지고 있다. 가열하면 쉽게 액화가 되며, 그 자체가 매우 끈끈한 성질을 지니고 있기 때문에 점착제로써의 활용이 용이할 것으로 사료된다. 이러한 아스팔트의 품질을 결정하는 가장 중요한 인자는 원유이다. 원유의 조성은 일정하지 않고 산지에 따라 다르다. 아스팔트는 원유의 조성과 제조 방법에 따라 여러 가지의 특성을 가진 제품으로 생산된다. 아스팔트는 평균 분자량이 500~2,000 정도의 각종 탄화수소가 주성분이고 그밖에 유황, 질소, 산소, 그리고 미량의 금속화합물로 이루어져 있으며 화학적으로는 대단히 복잡한 구조를 가지고 있다. 아스팔트는 화학적 특징으로 아스팔텐(asphaltenes), 방향족 화합물, 수지상 화합물 및 포화 화합물 등 4가지 구성요소로 분류할 수 있으며, n-heptane을 이용하여 두 가지 상인 말텐(maltenes)과 아스팔텐으로 추출이 가능하다. n-heptane에 녹는 부분을 말텐이라 하고 녹지 않는 부분을 아스팔텐이라 한다.¹⁴

아스팔트의 포장성능을 향상시키기 위한 고분자 개질 아스팔트(Polymer Modified Asphalt, PMA)에 대하여 미국을 중심으로 여러 나라에서 오랜 기간동안 연구되어왔다. 전세계적으로 아스팔트에 개질재를 사용하기 시작한 역사를 살펴보면 이미 50년이나 되었고, 약 10여년 전부터는 다양하고 많은 양의 개질재가 사용되고 있다. PMA의 성능은 아스팔트와 첨가되는 고분자의 특성과 양에 크게 의존하는 것으로 알려져 있으며 PMA에 사용되는 고분자는 주로 탄성체나 열가소성 고분자들이다. 초기의 PMA는 천연고무 또는 스티렌-부타디엔 고무(SBR)를 아스팔트에 첨가한 고무화 아스팔트를 사용하거나 페타이어 고무분말을 첨가한 고무아스팔트 등의 단순한 조성물로, 주로 도로 포장용 바인더 및 봉합재로 사용되었다. 이러한 개질제 가운데 최근 가장 신뢰성이 높은 개질제로는 열가소성 수지 공중합체인 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer) 계통의 폴리머를 들 수 있다. SBS는 삼원공중합체라고도 하며 각각의 끝 부분에 폴리스티렌 블록과 중앙에 부타디엔 블록으로 이루어져 있다. 인접사슬의 폴리스티렌 끝 블록들은 작은 도메인에 모여 있어서 폴리스티렌 클러스터는 폴리부타디엔 매트릭스에 분산되어 있다. 이는 산업용 열가소성 탄성체로서 아스팔트 개질제 외에 타이어, 다층 루핑이나 방수 멤브레인 제조 등에 사용되는 등 용도가 다양하다. SBS는 주로 아스팔트에 미리 섞어서 PMA로 사용한다. SBS 입자의 아스팔트내 분산속도는 입자의 크기, 전단력, 온도에 영향을 받는다. 일반적으로 SBS를 많이 첨가할수록 개질아스팔트의 피로저항성은 향상되나 너무 많이 첨가할 경우 점도가 상승하여 생산성 및 작업성이 현저히 떨어진다. 이에 따라 기존의 국내 SBS 개질 아스팔트는 기초 아스팔트에 SBS를 3~4% 첨가하여 개질 아스팔트를 생산하고 있다.⁵⁻⁷ SBS 개질 아스팔트는 저장안정성, 소성변형 저항성, 내후성 및 접착강

도 등 다양한 물성이 우수하기 때문에 본 연구에서는 SBS를 아스팔트 개질제로 선정하여 개질 아스팔트의 접착력을 향상시키고자 하였으며 첨가량은 점도를 고려하여 3, 6, 9 wt%의 함량을 선정하였다.

자동차 산업의 발달로 페타이어 발생량이 증가하자 1950년대에 페타이어 고무를 아스팔트 개질제로 사용하려는 CRM(Crumb Rubber Modifier) 아스팔트 개념이 확립되었다. CRM 아스팔트는 아스팔트에 15~25%의 페타이어 고무분말을 일정한 시간과 온도 하에서 반응시킨 혼합물로써 일반 아스팔트에 비해 고온에서 높은 점도를 갖게 되어 높은 응집과 변형에 대한 저항하는 힘이 커져 소성변형의 발생을 억제하며, 저온에서 낮은 강성을 갖게 되어 온도균열에 대한 저항성을 증진시킨다. 또한 페고무 내에 존재하는 카본블랙은 아스팔트의 산화를 방지하는 역할을 하기 때문에 개질 아스팔트의 노화를 방지하는 효과가 있고 폴리머와의 결합에 의한 역학적 특성 상승 효과와는 별도로 자외선에 약한 폴리머의 보호를 통한 내구성 증진과 혼합물의 강성 향상에 도움이 되는 것으로도 알려져 있다.⁸⁻¹⁰ 고무 종류 중 불소고무는 내열성, 내화학적 및 내후성 등 다양한 물성이 우수한 고무이기 때문에 산업에서 발생하는 폐불소고무(FKM: fluoroelastomers)를 아스팔트 개질제로 사용함으로써 본 연구에서는 성능이 향상된 개질 아스팔트 점착제를 개발하고자 하였다. FKM의 첨가량은 CRM 아스팔트의 고무함량을 고려하여 10, 20, 30 wt%의 함량을 선정하였다. 이러한 SBS와 FKM 개질 아스팔트 점착제의 최적 조성을 구축하고자 개질제의 함량에 따른 점착물성 및 연화점, 모폴로지, 점도, 인장강도 등을 평가하였다.

II. 실험

1. 재 료

아스팔트는 침입도가 (80~100)인 AP-3를 사용하였으며 구성성분을 Table 1에 나타내었다. 아스팔트 개질제로는 SBS와 FKM을 사용하였으며, SBS는 LG화학에서 구입한 방사형인 LG-411과 선형인 LG-501을 사용하였다. 폐불소고무는 입자 크기가 평균 100 μm 인 분말을 (주)폴리원으로부터 공급받아

Table 1. Composition of Asphalt Used in This Study

Elements	Composition Ratio (wt.%)
Carbon (C)	80~85
Hydrogen (H)	9~10
Oxygen (O)	2~8
Nitrogen (N)	0.5~1.0
Sulfur (S)	0.5~7.0
Metal (Fe, Ni)	Very small amounts

사용하였다.

2. 아스팔트의 개질

상온에서 고상인 아스팔트를 철제 비이커에 넣은 후 180 °C의 oil bath에서 10분간 열을 가하여 액상으로 녹인 다음, 개질제를 넣고 아스팔트 혼합기를 이용하여 40분간 아스팔트를 개질하였다. 개질제의 종류 및 첨가량은 SBS(선형) 3, 6, 9 wt.%와 SBS(방사형) 3, 6, 9 wt.% 그리고 페블소고무 분말 10, 20, 30 wt.%로 하여 총 9개의 개질 아스팔트를 제조하였다.

3. 연화점

개질제 함량에 따른 개질 아스팔트의 온도 의존성을 알아보기 위하여 각 시편의 연화점을 측정하였다. 연화점 측정은 역청 재료의 연화점 시험 방법(환구법)으로 KS M 2250 규격에 맞추어 실험을 진행하였다. 배합된 개질 아스팔트를 가열하여 연화점 시험 몰드에 부어 공랭하여 시험편을 제조하였다. 비이커에 증류수로 높이를 100~110 mm 정도로 맞춘 후 증류수 온도를 5 °C로 유지하였다. 비이커 바닥으로부터 45 mm 위에 제조된 2개의 시편을 고정시키고 2개의 철제 환을 각각의 시편 위에 올려놓고 가열하였다. 가열 시작 3분 후부터 연화점에 도달할 때까지 중탕온도가 5 ± 0.5 °C/min의 속도로 상승하도록 조절하였다. 시료가 점차 연화되어 철제 환이 밀바닥에 닿을 때의 온도계 눈금을 읽고 이것을 연화점으로 기록하였다.

4. 모폴로지 분석 및 점도

개질 아스팔트의 개질제 종류에 따른 분산특성은 Image Analyzer를 이용하여 관찰하였고 온도에 따른 개질 아스팔트의 점도는 Plane-plate Rheometer(MCR300, USA)를 이용하여 1 s⁻¹의 전단속도에서 50~120 °C의 온도 변화를 주어 측정하였다.

5. 인장강도

개질 아스팔트의 자체물성이 점착력에 미치는 영향을 비교 분석하기 위하여 KS M 6782 규격에 따라 개질 아스팔트를 dumbbell 형 시편으로 제조한 후 만능재료시험기를 사용하여 -10 °C의 온도와 100 mm/min의 Crosshead 속도 조건에서 개질 아스팔트의 인장물성을 측정하였다.

6. 점착력 시험

제조된 개질 아스팔트들의 점착력을 측정하기 위해 KS M ISO 11339의 규격에 따라 점착력 실험을 수행하였다. 시편의 형태 및 규격을 Figure 1에 나타내었다. 피착재는 두께 3 mm의

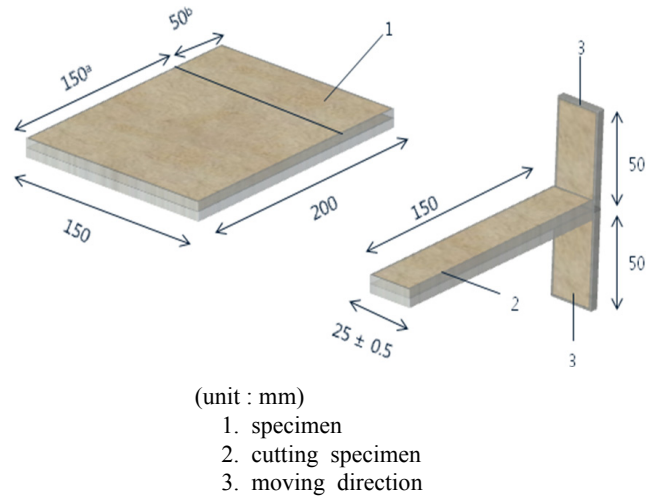


Figure 1. Specimen geometry for peel test.

PE foam과 두께 0.2 mm의 PET film을 사용하였으며, 만능재료 시험기(대경 DUT-500CM)를 이용하여 0, 20, 40 °C의 온도와 100 mm/min의 Crosshead 속도 조건에서 점착력을 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 개질 아스팔트의 기본물성 평가

아스팔트는 온도변화에 따른 점도변화가 민감한 물질로써 아스팔트의 점착력에도 영향을 미치게 된다. 개질 아스팔트의 점착제 적용에 있어 온도상승으로 점도가 낮아질 경우 아스팔트의 점착력과는 무관하게 응집과괴 현상을 나타내게 된다. 본 실험에서는 개질 아스팔트들의 온도에 대한 거동 및 열안정성을 평가하기 위하여 SBS(방사형), SBS(선형)와 페블소고무(FKM) 개질 아스팔트들의 연화점을 측정하여 Table 2에

Table 2. Softening Point of SBS and FKM Modified Asphalt

		wt. %	Softening point(°C)
AP-3		-	41.5
SBS	Radical	3	45.0
		6	51.5
		9	62.5
	Linear	3	51.0
		6	77.5
		9	91.5
FKM	10	44.0	
	20	44.5	
	30	43.5	

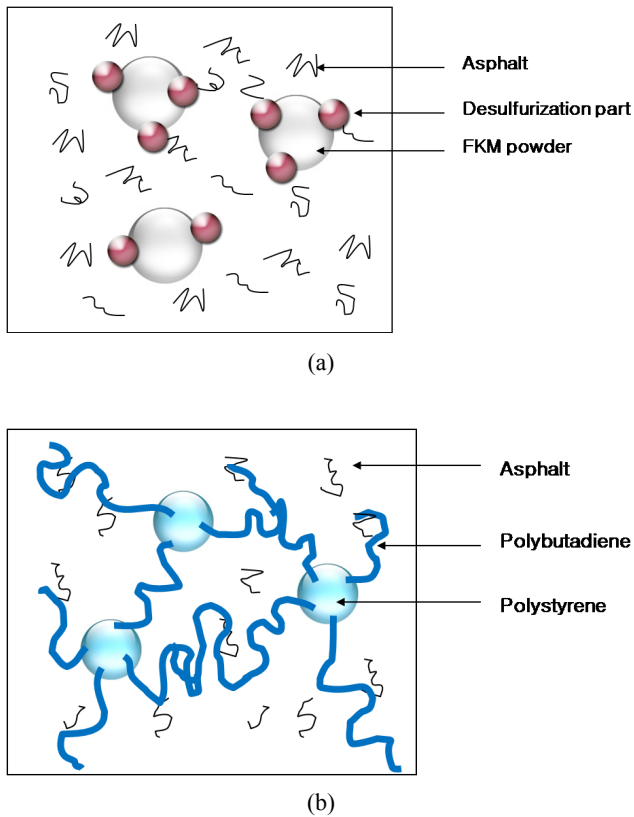


Figure 2. Schematic representation of SBS and FKM powder in asphalt (a) FKM, (b) SBS.

나타내었다. 연화점 측정을 통하여 SBS와 FKM 개질 아스팔트의 차이점과 SBS의 선형과 방사형의 차이점을 분석하였다.

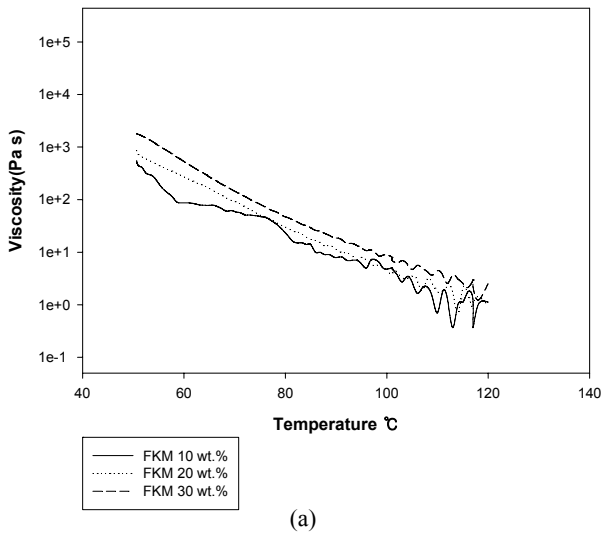
SBS 개질 아스팔트는 SBS 함량이 증가함에 따라 연화점이 상승하였으나 FKM 개질 아스팔트는 FKM 분말의 함량에 따른 연화점의 변화가 없었다. SBS 개질 아스팔트와 FKM 개질 아스팔트가 이러한 연화점 차이를 나타낸 것은 개질제인 SBS와 FKM 분말이 아스팔트와 혼합하여 각각 다른 구조를 형성하기 때문이다.¹⁰ FKM 개질 아스팔트와 SBS 개질 아스팔트의 구조적 차이를 Figure 2에 나타내었다. FKM 분말은 Figure 2(a)와 같이 아스팔트에 단순히 분산된 형태로 존재하며 일부 FKM 분말의 활성화된 부분만이 아스팔트와 결합하여 아스팔트의 구조변화에 직접적인 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되며, 이 같은 FKM 분말과 아스팔트의 혼합특성 때문에 FKM 함량에 따른 연화점의 변화가 나타나지 않는 것으로 사료된다. SBS 개질 아스팔트는 SBS가 아스팔트와 혼합과정에서 Figure 2(b)에 나타낸 바와 같이 부타디엔 부분이 아스팔트와 화학적으로 결합하는 것으로 알려져 있다. A. Adedeji et al.⁷와 J-F. Masson et al.⁸의 연구결과에 따르면 SBS의 스티렌 부분은 아스팔트와 상용성이 없으며 아스팔트와 화학적 결합을 하지 않지만 부타디엔 부분들이 스티렌 부분들과 결합할 뿐만 아니라 부타디엔의 불포화결합 부분들이 아스팔트의 말렌 부분과

화학적 결합을 형성하여 아스팔트의 물성 자체를 변화시켜준다. 이러한 구조를 네트워크 구조라고 하며 고무의 가교결합과도 유사하여 아스팔트의 물성자체를 변화시켜준다. 또한 SBS 함량이 증가함에 따라 네트워크 구조의 밀도가 증가하여 연화점을 상승시켜 주는 것으로 사료된다.

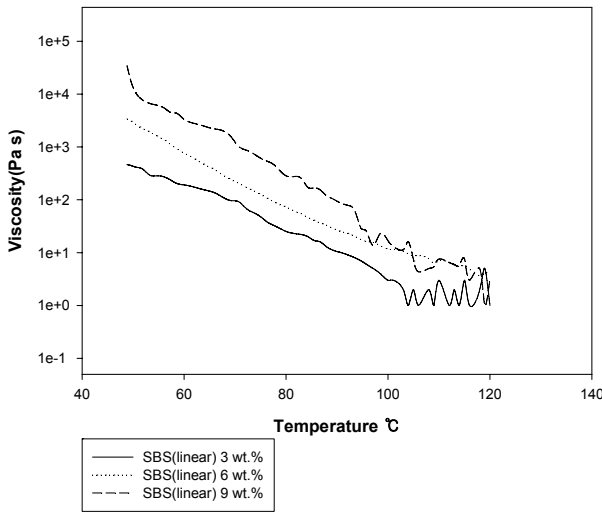
SBS 개질 아스팔트의 경우 개질제인 SBS(선형, 방사형)의 구조 차이에 따라 연화점 상승폭이 다르게 나타났으며, 이 주된 원인은 선형과 방사형이 아스팔트와 혼합되어 네트워크 구조를 형성하는 구조와 양이 다르기 때문이다. 방사형은 부타디엔 부분들이 가지처럼 뻗어있는 방사형이기 때문에 삼차원적인 네트워크 구조를 형성하게 되며 부타디엔 부분들은 고분자 사슬의 가지 역할을 하여 입체장애를 발생시키기 때문에 선형 보다 네트워크 구조를 형성하는 비율이 떨어지게 된다. 반대로 선형은 입체장애에 대한 영향을 적게 받아 아스팔트와 밀도 높은 네트워크 구조를 형성할 수 있다.¹¹ 이와 같은 선형과 방사형의 구조적 특징으로 인하여 SBS(선형) 개질 아스팔트의 연화점의 상승폭이 SBS(방사형) 개질 아스팔트 보다 크게 나타난 것으로 사료된다.

본 연구에서는 각 개질 아스팔트의 흐름거동특성을 알아보기 위하여 SBS와 FKM 개질 아스팔트의 50~120 °C의 온도변화와 함량에 따른 점도변화를 측정하여 Figure 3에 나타내었다. Figure 3(a)는 온도에 따른 FKM 개질 아스팔트의 점도변화를 함량 별로 나타낸 그래프이다. FKM 개질 아스팔트의 경우 FKM 분말 함량이 증가함에 따라 점도가 증가하는 거동을 보이지만 증가 폭이 크게 나타나지 않았다. 50 °C에서 10 wt.%와 30 wt.% 첨가한 FKM 개질 아스팔트의 점도를 비교해 보았을 때, 약 3.29배 증가하였으며 Figure 3(b)와 Figure 3(c)에 나타난 바와 같이 같은 온도에서 SBS 개질 아스팔트는 3 wt.%와 9 wt.%를 비교해 보았을 때, 선형은 74.62배, 방사형은 253.75배로 FKM 개질 아스팔트와 비교해 점도가 크게 상승하였다. 이러한 점도 상승차이는 SBS가 아스팔트와 네트워크 구조를 형성하여 아스팔트의 구조를 변화시켜 점도가 크게 상승한 것이라고 사료된다. 특히 SBS 방사형의 경우 6 wt.% 이상 첨가되었을 때 온도 상승에 따라 점도 감소가 크게 나타나지 않음을 알 수 있었다. SBS 방사형의 경우 입체장애로 인해 네트워크 구조를 형성하는 비율은 선형보다 낮지만 삼차원 네트워크 구조로 선형의 네트워크 구조보다 사슬 꼬임풀림 현상이 적게 발생하여 선형보다 점도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 현재로서는 정확한 원인을 규명하지는 못했지만 SBS(방사형)가 아스팔트와 반응하여 삼차원 네트워크 구조를 형성하는 특징이 이러한 현상에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 삼차원적 구조는 수 평균 분자량을 증가시킬 뿐만 아니라 꼬임 현상이 발생하는 원인이 되어 점도가 더욱 상승하게 되는 것으로 사료된다.¹¹

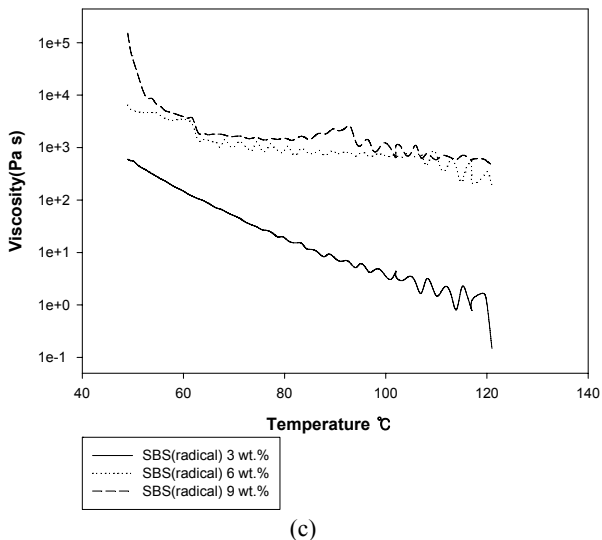
각 개질 아스팔트의 표면을 Image Analyzer를 통해 600배로 관찰하여 Figure 4에 나타내었다. Figure 4(a)는 FKM 개질 아스



(a)

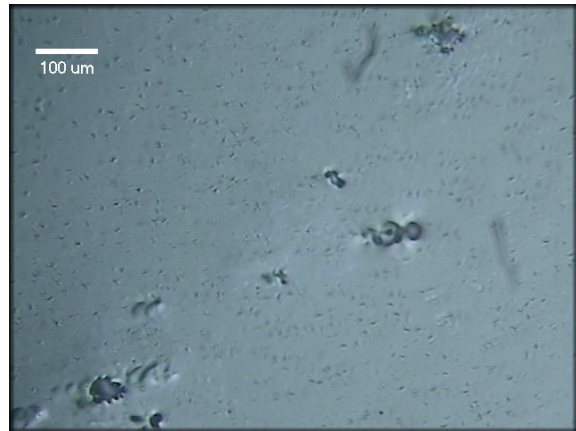


(b)

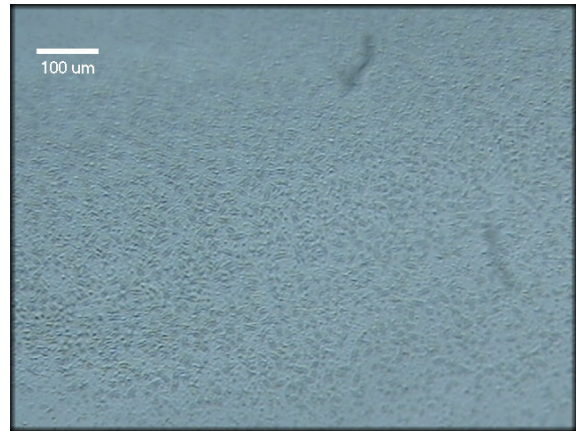


(c)

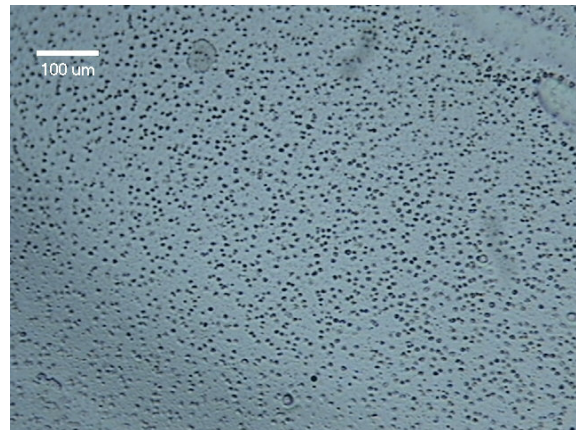
Figure 3. Viscosity of SBS and FKM modified asphalt (a) FKM, (b) SBS(linear), (c) SBS(radical).



(a)



(b)



(c)

Figure 4. Morphology of FKM and SBS modified asphalt (X600) (a) FKM, (b) SBS(linear), (c) SBS(radical).

팔트 표면으로 FKM의 분말들이 아스팔트에 단순히 분산된 형태로 개질 아스팔트의 표면에서 관찰되었으며, SBS(선형, 방사형) 개질 아스팔트인 Figure 4(b)와 Figure 4(c)에서 선형은 전체적으로 균일한 표면을 나타냈지만 방사형은 표면에서 기

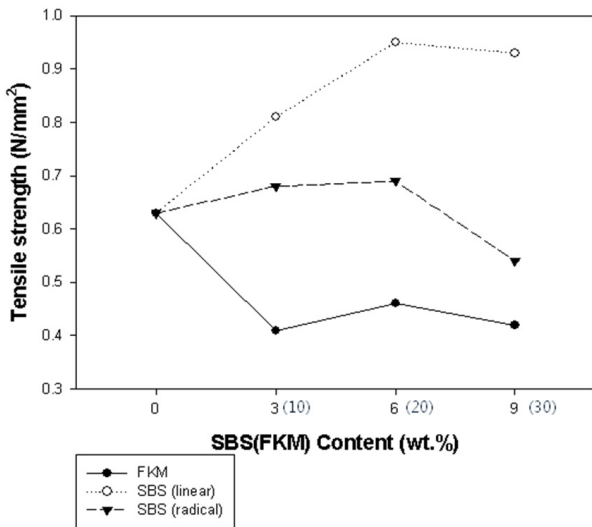


Figure 5. Tensile strength of SBS and FKM modified asphalt at -10°C.

포들이 관찰되었다. 혼합기를 이용하여 아스팔트를 개질하는 동안 발생하는 일부 기포들이 SBS(방사형) 개질 아스팔트의 높은 점도로 인해(Figure 3(c) 참조) 증발하지 못하고 개질 아스팔트 안에 남아있기 때문에 이 같은 기포들이 관찰된 것이라 사료된다. 또한 SBS(방사형) 개질 아스팔트 안에 남아있는 기포들은 SBS(방사형) 개질 아스팔트의 연화점과 인장강도에도 영향을 주어 SBS(선형) 개질 아스팔트에 비해 낮은 점착력을 나타낼 것으로 사료된다.

Figure 5는 -10°C에서 개질제의 첨가량에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다. 아스팔트 및 개질 아스팔트는 점탄성 성질을 가지며 상온에서는 흐름 특성과 자체 점착력을 가지고 있다. 그리고 온도 상승에 따른 점도 변화가 매우 민감하기 때문에 아스팔트 및 개질 아스팔트의 인장강도를 측정하기 위해 시편의 모양을 유지할 수 있는 -10°C의 조건에서 인장강도를 측정하였다. -10°C에서 모든 개질 아스팔트들은 매우 brittle한 성질을 나타냈으며 인장강도는 전체적으로 1 N/mm² 이하의 낮은 인장강도를 나타내었다. SBS(선형) 개질 아스팔트는 앞에서 언급한 바와 같이 네트워크 구조 형성으로 개질제 첨가량이 증가하면 인장강도가 증가하다가 6 wt.% 이상에서 거의 일정한 인장강도를 나타내었다. 반면에 SBS(방사형) 개질 아스팔트는 아스팔트 내에 존재하는 다량의 기포에 의한 영향으로 순수 아스팔트와 비슷한 인장강도를 나타내었고 9 wt.% 첨가시 인장강도가 감소하였다. SBS 개질 아스팔트의 경우 아스팔트의 말텐 부분과 SBS의 부타디엔 부분들이 결합하여 네트워크 구조를 형성하게 되는데 SBS 6 wt.% 이상 첨가시 아스팔트 내에 반응할 수 있는 말텐 부분들이 남아있지 않아 더 이상의 네트워크 구조를 형성하지 않는 것으로 사료되며 이로 인해 SBS 6 wt.% 이상 첨가하여도 인장강도가 증가하지 않는 것으로 판단된다. FKM 개질 아스팔트는 FKM 분말의

일부 활성화된 부분들이 아스팔트와 결합을 형성하지만 단순히 분산된 형태이며 아스팔트와의 낮은 계면 결합력으로 인해 순수 아스팔트보다 낮은 인장강도를 나타낸 것으로 사료된다. FKM 개질 아스팔트의 인장강도 뿐만 아니라 연화점 및 점도 변화가 없는 것도 이와 같은 이유 때문으로 판단된다. 따라서 불소고무의 여러 우수한 물성에도 불구하고 아스팔트와의 낮은 계면 결합력은 아스팔트 개질제로의 사용에 제약이 될 것으로 사료된다. 현재 불소고무 분말 표면 활성화에 따른 아스팔트와의 계면 결합력 향상에 대한 연구가 진행중에 있으며, 계면 결합력이 향상될 경우 불소고무의 장점을 부여할 수 있는 개질 아스팔트 점착제가 개발될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 개질 아스팔트의 점착력 평가

본 연구에서는 개질 아스팔트의 점착력을 평가하기 위하여 피착재로는 방충 및 방음재에 주로 사용되는 PE foam을 사용하였다. 20°C에서 peel test를 진행한 후 순수 아스팔트, FKM 개질 아스팔트 그리고 SBS 개질 아스팔트 시편의 파괴 단면을 Figure 6에 나타내었다. 순수 아스팔트 AP-3는 Figure 6(a)와 같이 주로 아스팔트와 피착재 간의 파괴인 계면파괴(IF: Interfacial failure)가 일어났으며 점착력은 평균 10.36N을 나타내었다. FKM 개질 아스팔트의 경우는 Figure 6(b)와 같이 부분적으로 점착제에서 파괴되는 응집파괴(CF: Cohesive failure)가 발생하였으며 점착력은 평균 12.36N으로 다소 증가하였다. 점착조인트에서 파괴가 발생할 때 외부에서 가해지는 힘은 점착제와 피착재 계면 뿐만 아니라 점착제 자체 및 피착재 자체에도 영향을 미치게 된다. 따라서 점착력은 계면 결합력과 더불어 점착제 및 피착재 자체의 강인성에도 크게 영향을 받는다. FKM 개질 아스팔트의 경우 FKM으로 아스팔트를 개질함에

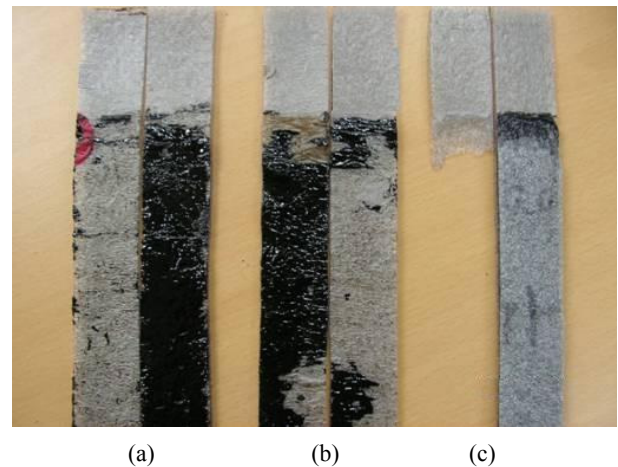


Figure 6. Failure locus of specimen of SBS and FKM modified asphalt (a) Asphalt, (b) FKM 20 wt.%, (c) SBS(linear & radical) 6 wt.%.



(a) Radical (b) Linear

SBS	average
Linear	1.8±0.8 N
Radical	2.7±0.7 N

Figure 7. Failure locus and peel strength of SBS.

의해 계면 젖음 특성 향상과 더불어 아스팔트의 강인성을 향상시켜 점착력이 다소 상승할 수 있었다고 추론하였다. 본 결과에 대해서는 추가적인 증명이 필요할 것으로 사료된다. Figure 6(c)는 SBS 개질 아스팔트로 선형과 방사형 모두 피착재 자체에서 파괴가 일어나는 현상을 나타냈는데 이는 SBS 개질 아스팔트와 PE foam과의 점착력이 피착재인 PE foam 자체의 강도보다 높았기 때문이다.

SBS 개질 아스팔트의 점착력 상승으로 인하여 피착재가 파괴되는 현상을 나타내었는데 개질제로 사용한 SBS의 점착력 상승원인을 규명하기 위하여 아스팔트를 사용하지 않은 SBS 자체만을 사용하여 점착 조인트를 구성한 후 점착력을 측정하였다. 고상인 SBS를 톨루엔에 용해시켜 액상으로 만든 후, 개질 아스팔트의 실험방법과 같은 방법으로 peel test를 진행하고 그 파괴 면과 점착력을 Figure 7에 나타내었다. Figure 7에 나타난바와 같이 파괴양상은 SBS와 피착재 사이의 IF 파괴가 일어났으며, 그 점착력은 순수 아스팔트만을 사용하였을 경우 보다 낮은 점착력을 나타내었다. 순수 아스팔트만을 사용하였을 경우 약 10.36N의 점착력을 나타냈으나 SBS만을 사용하였을 경우 선형과 방사형의 점착력의 차이가 다소 있었지만 오차범위 내에 있었고 평균 점착력은 2~3N 정도를 나타내었다. SBS 자체의 점착력을 측정함으로써 SBS가 아스팔트와 혼합되면서 네트워크 구조를 형성하여 개질 아스팔트의 강인성이 크게 증가하였기 때문에 점착력이 상승하였음을 간접적으로 확인할 수 있었다.

SBS 개질 아스팔트의 경우 피착재인 PE foam이 파괴되어

Table 3. Peel Strength of Modified Asphalt with Temperature

		wt. %	0 °C	20 °C	40 °C
Asphalt	-	-	59.3N	17.2N	3.8N
FKM	-	10	58.7N	19.2N	3.2N
		20	57.3N	20.1N	2.9N
		30	59.5N	21.7N	3.1N
SBS	Radical	3	56.8N	58.2N	4.2N
		6	63.1N	68.9N	4.9N
		9	81.5N	79.2N	6.3N
	Linear	3	58.9N	57.3N	4.2N
		6	68.8N	67.2N	5.3N
		9	72.9N	85.3N	15.9N

점착력을 정확히 측정할 수 없어 온도와 함량에 따른 FKM과 SBS 개질 아스팔트의 점착력을 비교 평가하기 위하여 PE foam보다 강도가 높은 PET film을 피착재로 사용하여 peel test를 진행하였다. 온도와 개질제의 함량변화에 따른 점착력을 Table 3에 나타내었다. Table 3에 나타난 바와 같이 순수 아스팔트와 FKM 아스팔트의 경우는 온도에 따른 점착력의 거동이 유사하였다. 0 °C에서 20 °C로 온도가 증가함에 따라 점착력은 약 30% 정도를 유지하였으며 40 °C로 증가함에 따라 20 °C에서의 점착력의 약 25% 정도를 유지하였다. FKM 아스팔트의 경우 FKM 함량에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다. 그러나 SBS 개질 아스팔트는 다소 다른 경향을 나타내었다. 상온(20 °C) 이하에서는 온도에 따른 점착력의 변화는 크게 없었으며 온도가 40 °C로 증가할 경우 점착력은 크게 감소하였다. SBS 개질 아스팔트의 경우 역시 SBS 종류 및 함량에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다. 앞서 언급한 바와 같이 SBS는 아스팔트 내에서 네트워크 구조를 형성하여 아스팔트의 점도를 상승시키며 아스팔트의 점도상승은 아스팔트의 온도민감성을 감소시켜주어 SBS 개질 아스팔트가 더 넓은 온도 범위에서 점착력을 유지할 수 있는 역할을 하였다. 40 °C는 순수 아스팔트의 연화점으로써 점도감소로 인해 점착력이 감소하였으나 SBS 개질 아스팔트는 FKM 개질 아스팔트보다 다소 높은 점착력을 나타내었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 페블소고무 분말과 SBS를 이용하여 아스팔트를 개질 하였다. 개질 아스팔트의 연화점, 점도, 인장강도 및 점착력을 평가하여 개질 아스팔트의 온도와 함량에 따른 거동을 이해하고 점착제로써 적용 가능성을 평가하였다.

연화점 측정을 통해서 FKM 개질 아스팔트는 페블소고무의 활성화된 부분들만이 아스팔트와 결합하여 단순히 분산된 형태로 그 함량이 증가하여도 연화점이 증가하지 않았음을 확인

하였다. SBS 개질 아스팔트는 SBS가 아스팔트와 네트워크 구조를 형성하여 연화점이 상승하였으며, SBS의 함량이 증가함에 따라 연화점이 상승하는 결과를 나타내었다.

개질 아스팔트의 경우 개질제인 FKM과 SBS의 함량이 증가하면 점도가 증가하였는데 SBS의 경우 아스팔트와의 네트워크 구조 형성으로 인해 FKM 개질 아스팔트 보다 점도가 높았다. 또한 온도가 증가하면 개질 아스팔트의 점도가 감소하는데 SBS(방사형) 형의 경우 6 wt% 이상 첨가되었을 때 점도는 온도에 크게 영향을 받지 않았다.

인장강도는 SBS(선형) 개질 아스팔트가 가장 높게 나타났으며 SBS(방사형) 개질 아스팔트는 높은 점도로 인하여 아스팔트 개질 동안 발생하는 기포들을 내포하고 있어 선형보다 낮은 인장강도를 나타내었다. FKM 개질 아스팔트는 페블소 고무 분말과 아스팔트의 낮은 계면 결합력으로 인하여 가장 낮은 인장강도를 나타내었다.

SBS 자체 점착력을 측정함으로써 SBS가 아스팔트와 화학적 결합을 형성하여 SBS 개질 아스팔트의 점착력을 증가시킬 수 있었음을 간접적으로 확인할 수 있었다. FKM과 아스팔트의 계면 결합력이 향상될 경우 불소고무의 장점을 부여할 수 있는 개질 아스팔트 점착제가 개발될 수 있을 것으로 사료되며, 개질 아스팔트의 물성 및 점착력 평가의 결과와 가공성을 고려하였을 때 SBS(선형) 6 wt.%를 첨가하는 것이 현재 점착제로 적용하기에 최적의 함량으로 사료되었다.

참 고 문 헌

- 류명찬, 차순만, 박석주, “아스팔트 및 아스팔트 개질제 혼합물”, *한국도로포장공학회*, **25**, 2 (2000).
- G. Wen and Y. Zhang, “Vulcanization Characteristics of Asphalt/SBS blend in the Presence of Sulfur”, *J. Appl. Polym. Sci.*, **989** (2000).
- H. B. Takallou, R. G. Hicks, T. S. Vinsen, and D. C. Esch, “Performance of Rubber-Modified Asphalt Pavement in Cold Region”, *Cold Region Engineering, Proceeding of the Fifth International Conference*, **99**, 86 (1988).
- Weidong Cao, “Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process”, *Constr. Build. Mater.*, **21**, 1011 (2007).
- G. Wen, Y. Zhang, K. San, and Y. Fan, “Rheological characterization of storage-stable SBS-modified asphalts”, *Polymer Testing*, **21**, 295 (2002).
- Z. Vlachovicova, C. Wekumbura, J. Stastna, and L. Zanzotto, “Creep characteristics of asphalt modified by radial styrene-butadiene-styrene copolymer”, *Constr. Build. Mater.*, **21**, 567 (2007).
- A. Adedeji, T. Grunfelder, F. S. Bates, and C. W. Macosko, “Asphalt modified by SBS triblock copolymer structures and properties”, *Polym. Eng. Sci.*, **36**, 12 (1996).
- J-F. Masson, G. Polomark, and P. Collins, “Glass transitions and amorphous phases in SBS-bitumen blends”, *Thermochimica Acta*, **436**, 96 (2005).
- B. Sengoz and G. Isikyakar, “Analysis of styrene-butadiene-styrene polymer modified bitumen using fluorescent microscopy and conventional test methods”, *J. Hazard. Mater.*, **150**, 424 (2008).
- A. Ait-Kadi, B. Brahim, and M. Bousmina, “Polymer blends for enhanced asphalt binders”, *Polym. Eng. Sci.*, **36**, 12 (1996).
- Y. Zhang, S. Zhao, Y. Li, L. Xie, and K. Sheng, “Radiation effects of styrene-butadiene-styrene copolymer”, *Constr. Build. Mater.*, **21**, 1528 (2007).