

# 국내외산 바인더의 SBS 개질에 따른 고온특성 분석

## Analysis of high temperature property of modified foreign binders

김현환\* · 박지용\*\* · 최정순\*\* · 김광우\*\*\*

Kim, Hyun Hwan · Park, Ji Yong · Choi, Jung Soon · Kim, Kwang woo

### 1. 서론

현대의 아스팔트 포장은 중차량의 증대와 차량의 대형화 그리고 지구 온난화로 인하여 소성변형에 매우 취약함을 보이고 있다. 소성변형의 문제점을 해결하는 방안으로는 여러 가지가 있으나 국내에서는 여러 가지 폴리머를 첨가시켜 고온등급을 향상시킨 바인더의 사용을 권장하고 있다. 그 중 Styrene Butadiene Styrene(SBS)는 국내를 포함하여 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 아스팔트 개질제이다. 국내에서는 SBS를 첨가한 개질 아스팔트 바인더(Polymer modified asphalt; PMA)를 공장제품으로 PG76-22의 공용등급으로 생산하여 사용하고 있다. 일반적으로 SBS를 많이 첨가할수록 개질 아스팔트의 피로저항성은 향상되나 너무 많이 첨가할 경우 점도가 상승하여 생산성 및 작업성이 현저히 떨어진다(김재환 등, 2007). 뿐만 아니라 플랜트 교반이나 혼합물 운반 중에 단기 노화의 진행이 빠르다는 단점도 가지고 있다.

본 연구에서는 국내의 AP5와 더불어 외국에서 생산된 몇가지 아스팔트 바인더를 기본바인더로 하여 SBS를 첨가한 PMA를 제조하고 바인더의 고온특성 시험인 Dynamic Shear Rheometer(DSR) 시험 후 그 특성을 비교 분석하는 것을 목적으로 하고 있다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 재료

본 연구에 사용된 기본 아스팔트 바인더는 국내에서 널리 사용되는 S사의 침입도 60~80의 AP5와 미국의 North Carolina (NC)와 Texas (TX), 일본(Japan: JP)에서 생산된 기본 바인더이다(표 1). 이를 SBS와 황을 사용하여 PMA를 제조하였다(그림 1, 2). 첨가된 SBS는 국내 L사에서 생산된 것을 사용하였으며 첨가량은 각 바인더의 양에 중량비로 1.5%, 2.0%, 2.5%를 첨가하였다. 그리고 개질제인 SBS 첨가량의 3%의 황을 첨가하였다.

표 1. 기본바인더의 특성

Binder designation	Origin	Kinematic viscosity at 135°C (cP)	Suggested PG grading	Note
AP5	Korea	412	64-22	
NC	USA	658	64-22	
TX	USA	478	64-22	
JP	Japan	369	64-22	

\* 강원대학교 지역건설공학과 박사과정 · 공학석사 · 033-250-7284(E-mail : numgi@hanmail.net)

\*\* 강원대학교 지역건설공학과 석사과정 · 공학사 · 033-250-7284

\*\*\* 강원대학교 지역건설공학과 교수 · 공학박사 · 033-250-6467(E-mail : asphalttech@hanmail.net)

## 2.2 시험방법

개질 아스팔트의 제조 방법은 각각의 기본 바인더를 175℃에서 녹인 후 개질제를 첨가하여 60분 동안 Homogenizer를 이용해 4,000rpm의 속도로 60분 동안 교반하였다. 이 때 바인더의 온도는 항상 170℃ 이상을 유지하였고 교반이 끝나면 첨가된 SBS량의 3%의 비율로 황을 첨가하고 10분간 추가로 교반 하였다.

제조된 바인더의 고온특성 분석을 위해 Original 바인더와 단기노화(Rolling Thin Film Oven: RTFO)를 거친 바인더에 대하여 DSR 시험을 하였다. 특성치로는 G\*/sind 값과 그 값이 1kPa 이하가 되는 최고온도 (Failure temperature)와 PG 고온등급, 동점도를 구하였다.



그림 1. SBS

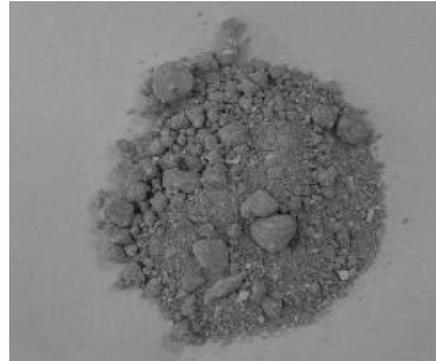


그림 2. 황(sulfur)

## 3. 연구결과

### 3.1 Original 바인더의 DSR 결과

노화를 거치지 않은 SBS PMA 혼합물에 대하여 DSR 시험을 수행하였다. 표 2는 각 바인더에 SBS를 첨가하여 만든 PMA의 DSR과 동점도 시험결과이다.

표 2. 4가지 바인더를 사용한 PMA의 DSR 시험 결과(Original)

Binder	SBS content (%)	Condition	Kinematic viscosity at 135°C (cP)	High service temp. (°C)	Failure temp. (°C)
AP5	0	Orig.	412	64	69.0
	1.5	Orig.	638	70	75.4
	2.0	Orig.	683	76	75.8
	2.5	Orig.	847	76	77.4
NC	0	Orig.	658	70	74.7
	1.5	Orig.	1,186	76	79.2
	2.0	Orig.	1,358	76	80.9
	2.5	Orig.	1,747	82	83.6
TX	0	Orig.	478	64	69.9
	1.5	Orig.	800	76	75.9
	2.0	Orig.	979	76	79.0
	2.5	Orig.	1,196	76	80.1
JP	0	Orig.	389	64	67.1
	1.5	Orig.	514	64	69.1
	2.0	Orig.	592	70	71.6
	2.5	Orig.	719	70	73.1

표에서 알 수 있듯이 모든 바인더들은 SBS의 첨가량의 증가에 따라  $G^*/\sin\delta$ 이 증가하고 고온 공용등급이 상승하는 것으로 나타났다. 하지만 기본 바인더의 종류에 따른 구분도 분명히 나타났다. 텍사스 바인더 (TX)와 국내산 바인더가 동점도아 Failure temperature에서 가장 유사하였으나, NC 바인더는 더 점도도 높고 failure temperature도 높았고 일본 바인더(JP)는 그 반대로 모두 낮았다.

그림 3은 각 PMA의 70°C에서의  $G^*/\sin\delta$  값을 비교하여 나타낸 그래프이다. JP 바인더를 제외하고는 1.5%에서부터 70°C에서의 stiffness 값이 1kPa을 넘었으나 JP는 2% 이상에서 1kPa을 조금 넘었다.

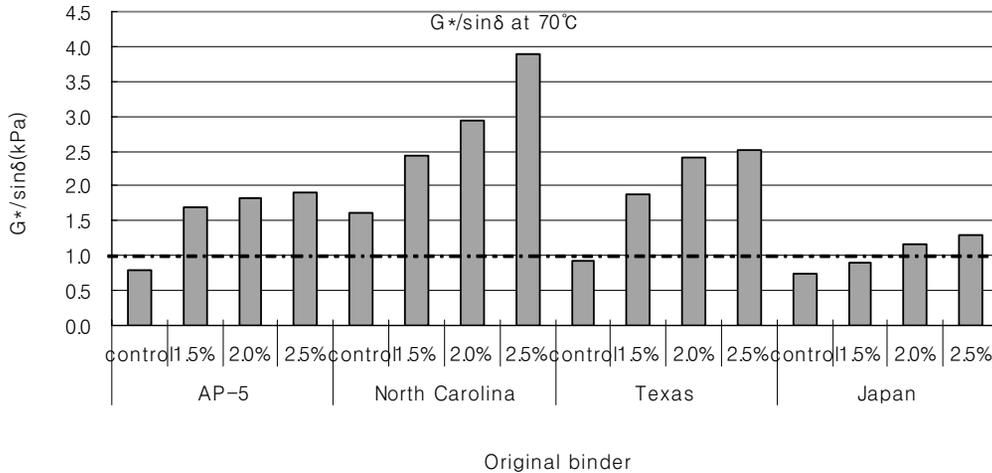


그림 3. Original 바인더의 70°C에서의  $G^*/\sin\delta$  비교

Stiffness 증가 경향을 보면 국내의 AP5를 사용한 PMA의 경우 일단 SBS 1.5% 첨가부터 stiffness ( $G^*/\sin\delta$ )의 향상이 나타나지만 그 후 2.5%까지의 첨가량 증가는 그 향상이 미미한 것으로 나타났다. 반면 미국산 NC와 TX바인더를 사용한 PMA의 경우는 SBS 첨가량에 따라 뚜렷하게 stiffness가 증가되었으며 NC 바인더의 경우 그 차이가 가장 확실하게 나타났다. 하지만 JP의 PMA 경우 SBS 첨가에 의해  $G^*/\sin\delta$  값이 증가는 하였으나 국산보다도 그 값이 상대적으로 작고 증가폭도 미미하게 나타났다.

### 3.2 RTFO 바인더의 DSR 결과

플랜트에서 생산되어 현장까지 이동 중에 발생하는 노화를 모사하기위하여 RTFO 단기노화 시험을 수행하고 노화를 거친 바인더에 대하여 DSR 시험을 하였다. 표 3은 단기노화 후 바인더의 DSR 시험 결과이다.

RTFO를 거친 바인더의 DSR 결과 역시 original 바인더의 DSR 결과와 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. NC 바인더의 stiffness는 Original 바인더 DSR 결과와 마찬가지로 가장 높은 것으로 나타났다. JP 바인더는 역시 Original 바인더와 같이 stiffness가 가장 낮은 것으로 나타났다. 특이한 것은 Original 바인더 DSR 결과에서는 TX 바인더가 AP5보다 높게 나타났으나 RTFO DSR 결과에서는 control을 제외하고 SBS 개질 PMA는 RTFO AP5가 다소 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 그림 4에서 확인할 수 있다. JP의 경우 모든 SBS 함량에서 기준치인 2.2kPa을 70°C에서 모두 미달되었으나, 다른 3 바인더는 모두 그 기준을 모든 SBS 함량에서 통과하였다.

표 3. 4가지 바인더를 사용한 PMA의 DSR 시험 결과(RTFO)

Binder	SBS content (%)	Condition	High service temp. (°C)	Failure temp. (°C)
AP5	0	RTFO	64	65.8
	1.5	RTFO	70	74.7
	2.0	RTFO	76	75.5
	2.5	RTFO	76	78.3
NC	0	RTFO	70	73.6
	1.5	RTFO	76	79.3
	2.0	RTFO	76	81.0
	2.5	RTFO	82	82.6
TX	0	RTFO	64	68.0
	1.5	RTFO	70	74.4
	2.0	RTFO	76	75.9
	2.5	RTFO	76	77.6
JP	0	RTFO	64	64.8
	1.5	RTFO	64	67.0
	2.0	RTFO	64	68.5
	2.5	RTFO	64	68.1

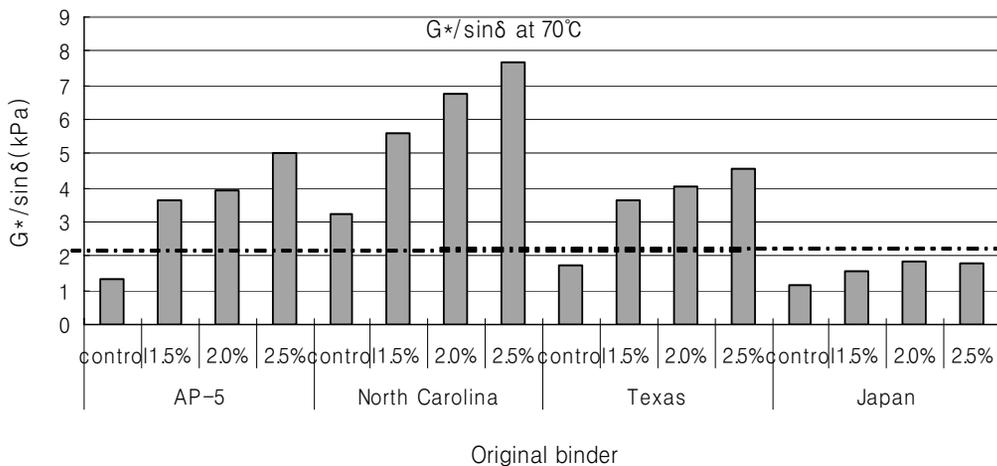
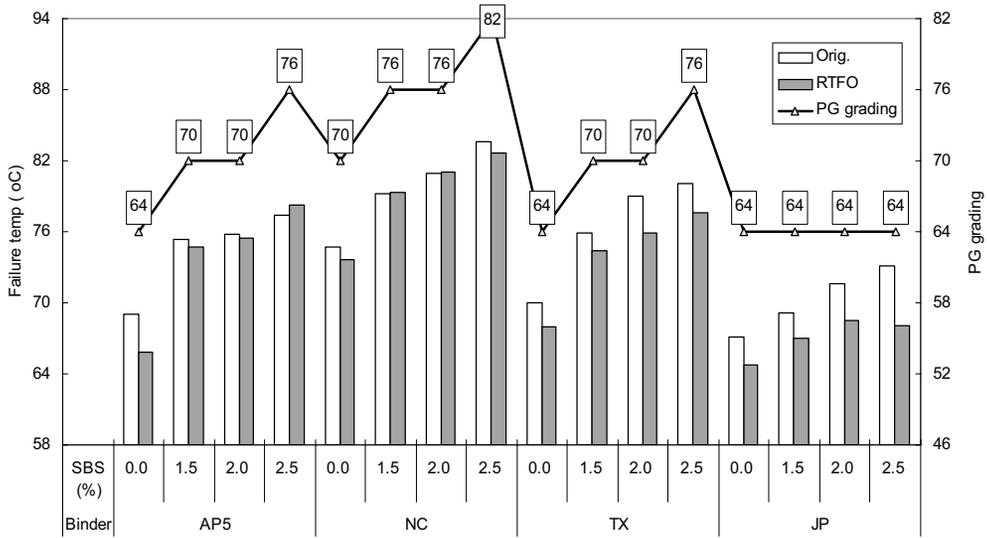


그림 4. RTFO 바인더의 70°C에서의 G\*/sinδ 비교

그림 5는 original binder와 RTFO 처리 후 바인더의 DSR 결과에서 측정된 failure temperature와 PG 고온 등급을 그림으로 나타낸 것이다. 국산 AP5와 TX 바인더는 SBS 2.5% 개질시 PG76로 향상되었고, NC 바인더는 2.5% 개질시 PG82로, 반면 일본바인더는 failure temperature는 좀 올라가지만 PG 등급의 향상은 못 되었다. 따라서 GPC를 이용한 노화상태의 분석 등이 흥미 있는 결과를 가져올 것으로 판단된다.



#### 4. 결론

본 연구에서는 국내 뿐 아니라 외국산 바인더에 국내의 SBS를 첨가하여 개질한 바인더의 고온 특성을 비교분석하기 위하여 1.5%, 2.0%, 2.5%의 SBS를 각 지역별 기본 바인더에 첨가 후 개질바인더를 제조하고 DSR 시험을 통하여 고온 특성을 비교하기 위한 시험들을 수행하였다. 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 노화를 거치지 않은 바인더들의 동점도와 DSR 고온 특성만으로 비교한 결과 같은 PG 등급으로 출하된 제품들이라도 국가 간, 제품 간 상당한 차이를 보이는 것으로 나타났다.
2. DSR 결과에서 미국의 NC 바인더가 단연 높은 결과를 보였다. 이는 바인더의 기본 특성이 결과에 영향을 미친 것으로 판단되며 이와 같은 특성은 개질제 첨가에 따른 성능의 향상에도 영향을 미치는 것으로 사료된다.
3. JP 바인더의 경우 다른 바인더와 달리 SBS 첨가에 따른  $G^*/\sin\delta$  값의 증가가 별로 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 단기 노화 전과 후 모두 같은 경향을 보였으며 심지어 노화 전 고온등급 70을 보이던 바인더도 RTFO 후에는 모두 고온등급이 64로 나타 나서 다른 바인더들에 비하여 상대적으로 노화의 영향을 적게 받는 것으로 추정된다.
4. 반면 국내의 AP5에 SBS를 첨가한 PMA의 경우에는 노화 전에는 TX 바인더 보다 낮은 DSR결과를 보이던 것이 RTFO 후에는 오히려 높아져 단기 노화에 따른 영향이 큰 것으로 판단된다.
5. 이제까지 분석한 국내의 바인더들의 특성 차이에 대한 보다 분명한 확인을 위해 좀 더 세밀한 분석이 필요한 것으로 판단된다. 즉, 저온특성 시험과 GPC를 이용한 중장기 노화특성 시험과 같은 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 LG화학의 지원과 강원대학교 석재복합건설신소재 연구소의 장비를 활용하여 이루어진 것입니다.

### 참고 문헌

1. 김재환, 이현종, “고내구성 교면포장용 SBS 개질 아스팔트 개발 연구”, 한국도로학회 학술발표회 논문집, 2007. 3. 135-144.
2. Baek, S. H., Kim, H. H., Doh, Y. S., Kim, K. W., “**Estimation of High-Temperature Properties of Rubberized Asphalt Using Chromatograph,**” KSCE Journal of Civil Engineers, 13(3), May 2009. 161-167
3. Lee, S. J., Amirkhanian, S. N., Shatanawi, K. and Kim, K. W., “**Sort term aging characterization of asphalt binders using gel-permeation chromatography and selected superpave binder tests,**” Construction and Building Materials, 22(11), Nov. 2008, 2220-2227
4. Kim, K. W., Amirkhanian, S. N., Doh, Y. S. and Jung, J. H., “**Reducing Stiffness of Oxidized Binder in Recycled Asphalt Mixture by Stage Mixing,**” Journal of AAPT, Vol. 78, 2007.
5. Kim, K. W., Kim, K. A., Doh, Y. S. and Amirkhanian, S. N., “**Estimation of RAP’s binder viscosity using GPC without binder recovery,**” Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 18(4), July/August, 2006, 561-567.
6. Kim, K. W., Burati, J. L. and Park, J. S., “**Methodology for Defining LMS Portion in Asphalt Chromatogram,**” Journal of Materials in Civil Engineering, 7(1), ASCE, 1995. 2. 31-40
7. Kim, K. W., and Burati, J. L., “**Use of GPC Chromatogram to Characterize Aged Asphalt Cement,**” Journal of Materials in Civil Engineering, 5(1), ASCE, 1993, 2.