

## SBS 개질 준고온 아스팔트 바인더의 특성

### Properties of SBS-modified Warm-mix Asphalt Binders

김성운	Kim, Sung Un	정희원 · 강원대학교 석재복합건설신소재연구소 연구원 (E-mail : sungun2001@hanmail.net)
이성진	Lee, Sung Jin	강원대학교 지역건설공학과 석사과정 (E-mail : bluelife86@hanmail.net)
윤여빈	Youn Yeo Bin	강원대학교 지역건설공학과 석사과정 (E-mail : yeobandlclf@hanmail.net)
김광우	Kim, Kwang Woo	정희원 · 강원대학교 지역건설공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : asphaltech@hanmail.net)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The study objective was to evaluate rheology and physical properties of SBS-modified warm-mix asphalt (WMA) binders in comparison with hot-mix asphalt (HMA) binders.

**METHODS :** Four different SBS polymers were used to prepare polymer-modified asphalt (PMA) binders, and three different warm-mix additives (WAD) were used to prepare a total of 12 WMA PMA binders. The kinematic viscosity was measured at 115, 135°C. The PG was determined using DSR and BBR. The pass/fail (P/F) temperatures for high and low PG grading were evaluated for HMA PMA and WMA PMA binders.

**RESULTS :** PG 76-22 binders could be prepared by modifying the base binder (PG 64-22) using 4.5 wt% of SBS. The kinematic viscosity (KV) of SBS PMA was increased by 3 times higher than that of base asphalt. The SBS PMA with WAD showed 10% lower KV than that of the normal SBS PMA at 115°C. The high P/F temperatures showed almost no difference between HMA PMA and WMA PMA binders. The high P/F temperature showed very high correlations with KV ( $R^2 > 0.97$ ). The result of SBS modification caused increase of low P/F temperature by 2.7°C on average.

**CONCLUSIONS :** Since the PMA with WAD showed 10% lower KV than normal (HMA) PMA at 115°C, reducing PMA mixture temperature down to a WMA level was possible in this study. The higher KV binders showed the higher P/F temperature. There was almost no change in high P/F temperature due to the use of WAD. The SBS PMA, showing an increased low P/F temperature, might show somewhat poorer performance at low-temperature, even though the lower PG grade was staying at the same level, i.e., -22°C.

#### Keywords

styrene-butadiene-styrene, SBS, WMA, PMA, HMA, warm mix additive, kinematic viscosity, pass/fail temperature

Corresponding Author : Kim, Kwang Woo, Professor  
Department of Regional Infrastructure Engineering,  
Kangwon National University, 1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si,  
Gangwon-do, 200-701, Korea  
Tel : +82.33 250 6467 Fax : +82.33 241 2095  
E-mail : asphaltech@hanmail.net

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Jan. 20, 2014 Revised Jan. 20, 2014 Accepted Feb. 06, 2014

## 1. 서론

아스팔트에 각종 재료(modifier)를 첨가하면 취약한 아스팔트의 특성을 개선(개질, modification)하여 포장

의 공용수명(service life)을 향상시킨다. 아스팔트의 감온성(temperature susceptibility)을 개선하여 고온에서 연성(ductility)과 저온에서 취성(brittle)을 제어

하면 소성변형(rutting) 저항성, 인장강도(tensile strength)의 증진 및 균열(cracking) 저항성을 향상시킨다. 또한 골재와의 흡착성(adsorption) 향상은 박리(stripping) 저항성 증진 등의 효과를 기대할 수 있다. 이러한 재료 중 SBS (styrene-butadiene-styrene)는 아스팔트의 개질재로 가장 많이 쓰이는 폴리머 중 하나이다. SBS를 첨가한 폴리머 개질아스팔트(polymer-modified asphalt: PMA)는 온도 민감성이 크게 줄어들어 고온 공용온도인 60~80℃에서 탄성이 향상되므로 소성변형에 강해진다. 하지만 SBS PMA는 온도가 낮아지면 작업성(workability)이 나빠지는 단점도 있어 현장의 작업과정에서 온도관리를 잘 못하면 점도가 높아져 다짐 불량을 유발할 수 있고, 장기적으로 노화진행이 빨라 균열이 유발되기도 한다(Kim et al., 2004).

또한 건설분야에서도 친환경기술의 개발이 새로운 화두가 되고 있다. 특히 도로포장재료로 사용하는 가열 아스팔트 혼합물은 제조 및 시공과정에서 필요한 온도 유지를 위해 다량의 CO<sub>2</sub>가 발생된다. 이에 유럽을 비롯한 선진국은 CO<sub>2</sub> 발생억제, 시공 시 안전성 증가, 조기교통개방, 에너지·자원 절약을 위한 새로운 포장 공법으로서 준고온 아스팔트(warm-mix asphalt: WMA) 기술개발이 이루어지고 있다. 따라서 SBS의 활용성 확대를 위해서는 이를 WMA에 활용하는 연구를 통해 그 적용성을 확인할 필요가 있다(Doh et al., 2010, Kim et al., 2011, La et al., 2009).

본 연구의 목적은 다양한 종류의 SBS와 준고온화 첨가제(warm-mix additive: WAD)의 적정한 첨가비율을 결정하여 사용온도를 낮춘 WMA 바인더를 제조하여 바인더의 고온 특성을 평가하는 것이다. 또한 준고온화 첨가제를 사용하지 않은 PMA와 WMA PMA의 특성을 비교하여 적용 가능성을 평가하였다.

## 2. 재료 및 시험방법

### 2.1. 사용재료

본 연구에서는 Pen. 60-80(PG64-22) 등급의 일반 아스팔트를 사용하였고 개질재로 국내 L사의 SBS 3종류, 외국 K사의 SBS 1종류를 사용하였다(Table 1). SBS PMA를 준고온 용도로 만들기 위하여 3가지 WAD를 사용하였다. 이들은 액상인 Evotherm(E), 2종류의 wax와 bio oil 등을 조합한 Pexbol(P), 입상인 Leadcap(L)이다. Fig. 1~3은 본 연구에 사용된 WAD를 보여준다.

Table 1. The Properties of SBS Polymer

Modifier	Density (g/cm <sup>3</sup> )	polystyrene content (%)	Melt Index (200°C, 5kg)	Hardness, shore A (15sec)
SBS A (SA)	0.93	20.0	<1	57
SBS B (SB)	0.94	31.0	<1	79
SBS C (SC)	0.94	33.0	<1	84
SBS D (SD)	0.94	30.5	<1	70



Fig. 1 Pexbol compound



Fig. 2 Evotherm M1



Fig. 3 Leadcap

## 2.2. 시험방법

PMA 제조는 아스팔트를 185℃로 가열 후 SBS를 종류별로 소요량을 서서히 넣으며 Homogenizer를 이용하여 5,000rpm으로 1시간 교반하였다(Fig. 4). 각 WAD는 교반 끝 무렵 5분전에 사용합량별로 넣었다. SBS의 종류에 따라서 HMA와 WMA PMA를 제조하였다. 또한 사용된 WAD의 사용량은 Table 2와 같다.

동점도(kinematic viscosity) 시험(KS F 2392)은 브룩필드 회전점도계(Fig. 5)를 사용하여 표준 온도인 135℃와 WMA 작업 추정온도인 115℃에서도 측정하였다. 아스팔트와 스피너들을 시험온도에 30분간 안정화 시킨 후 15분간 스피너들을 회전속도 20rpm으로 유지하며 필요한 점성 torque를 1분 간격으로 3회 측정하였다.

동전단류계(dynamic shear rheometer: DSR, Fig. 6) 시험은 복합전단계수(complex shear modulus:  $G^*$ ) 및 위상각(phase angle:  $\delta$ )을 측정하여 바인더의 점성 및 탄성거동을 분석하였다.  $G^*/\sin \delta$ 는 바인더의 점탄성 값으로 측정온도에서 바인더의 stiffness를 나타낸다. 또한 이는 rutting factor로도 불리며 바인더의 공용등급(performance grade: PG)을 평가하는데 사용된다.

Table 2. Binder Designation

Binder type	Naming	Modifier	WMA additives(WAD)				
			SBS	P	L	E	
Normal	HMA	N*	No	-	-	-	
	WMA	N (P)		1.7	-	-	
		N (L)		-	1.5	-	
		N (E)		-	-	0.5	
PMA	HMA	SA	SA 4.5%	-	-	-	
	WMA	SA (P)		1.7	-	-	
		SA (L)		-	1.5	-	
		SA (E)		-	-	0.5	
	HMA	SB	SB 4.5%	-	-	-	
		WMA		SB (P)	1.7	-	-
				SB (L)	-	1.5	-
				SB (E)	-	-	0.5
	HMA	SC	SC 4.5%	-	-	-	
		WMA		SC (P)	1.7	-	-
				SC (L)	-	1.5	-
				SC (E)	-	-	0.5
HMA	SD	SD 4.5%	-	-	-		
	WMA		SD (P)	1.7	-	-	
			SD (L)	-	1.5	-	
			SD (E)	-	-	0.5	

※ N: Normal binder (PG64-22)



Fig. 4 Homogenizer



Fig. 5 Brookfield Viscometer



Fig. 6 Dynamic Shear Rheometer

저온에서 바인더의 강성(stiffness)과 변형률을 측정하기 위해서 휨보류계(bending beam rheometer: BBR) 시험(KS F 2390)을 수행하였다. 공학적인 보 이

론을 적용하여 크리프 하중 하에서 아스팔트 보 시편의 강성을 측정하고, log 크리프 stiffness와 log(sec)와의 관계에서 60초일 때 변화율 기울기를 m-value로 나타낸다. 각 시험온도에서 stiffness는 300MPa 이하, m-value는 0.3 이상으로 규정되어 있다.

BBR 시험을 위해 먼저 Rolling thin film oven(RTFO)으로 단기노화 처리한 바인더를 압력노화시험기(Pressure aging vessel: PAV)를 이용하여 장기노화 시켰다. 일정 저온 하에서 아스팔트 보(beam)에 휨 모드의 크리프 하중을 가하며, 그 온도는 methanol이 들어있는 수조에 의해 유지하였다. 시편은 길이 125mm, 폭 12.7mm, 두께 6.35mm의 규격이고, 시편에 100g의 하중을 240초 동안 재하하였다. 이를 통해 stiffness와 m-value를 구하여 PG 저온등급 결정에 활용하였다. Fig. 7은 연구에 사용된 BBR 장비의 사진이다.



Fig. 7 Bending Beam Rheometer

### 3. 결과 및 고찰

PG64-22 아스팔트에 SBS를 4.5% 첨가하였을 때 모두 PG76-22 등급의 PMA를 얻었다. Normal(N) HMA 및 N WMA, SBS PMA와 SBS WMA를 제조하고 바인더 특성 실험을 수행하였다. 그 결과는 Table 3에 나타내었다.

#### 3.1. 동점도

Table 3과 Fig. 8과 같이 SBS로 개질하면 115℃경우 N 바인더에 비하여 3.1~3.7배, 135℃에서는 2.8~3.7배 높은 동점도 값을 나타냈다. 폴리머별로 보면 HMA에서는 SB가 가장 높고 WMA에서는 SA가 평균이 가장 높았고, SC가 HMA, WMA 모두에서 가장 낮은 동점도를 보였다.

Table 3. Results of Binder Tests

Binder	KV		DSR		BBR	
	115℃	135℃	P/F Temp. (℃)	High Service Temp. (℃)	P/F Temp. (℃)	Low Service Temp. (℃)
N	1,392	472	67.7	64	-16	-22
N(P)	1,033	408	67.2	64	-15	-22
N(L)	983	350	66.1	64	-13	-22
N(E)	1,083	366	65.8	64	-16	-22
Avg.	1,033.0	374.7	66.4	64.0	-14.7	
SA	4,983	1,647	81.1	76	-13	-22
SA(P)	4,547	1,542	79.5	76	-14	-22
SA(L)	4,417	1,450	80.5	76	-13	-22
SA(E)	4,684	1,559	80.2	76	-13	-22
Avg.	4,549.3	1,517.0	80.1	76.0	-13.3	
SB	5,161	1,727	80.3	76	-14	-22
SB(P)	4,023	1,351	79.8	76	-14	-22
SB(L)	4,102	1,475	77.8	76	-13	-22
SB(E)	4,841	1,522	78.0	76	-13	-22
Avg.	4,322.0	1,449.3	78.5	76.0	-13.3	
SC	4,400	1,344	78.2	76	-14	-22
SC(P)	4,243	1,334	78	76	-13	-22
SC(L)	4,125	1,325	77.6	76	-13	-22
SC(E)	4,165	1,320	77.8	76	-13	-22
Avg.	4,177.7	1,326.3	77.8	76.0	-13.0	
SD	4,747	1,630	79.2	76	-13	-22
SD(P)	4,233	1,487	78.5	76	-13	-22
SD(L)	4,251	1,413	78.1	76	-13	-22
SD(E)	4,323	1,448	78.9	76	-13	-22
Avg.	4,269.0	1,449.3	78.5	76.0	-13.0	

WAD를 첨가하면 각각 HMA 바인더에 비하여 다소 낮은 동점도를 보였다. Fig. 9, 10에서 보여주듯이 일반 아스팔트에 WAD 첨가는 115℃에서 25% 이상, 135℃에서 20% 이상의 동점도 저하를 보였으나, SBS PMA에서는 평균 10% 정도 낮아져 덜 효과적인 것을 알 수 있다.

SBS 종류별로 HMA와 비교하였을 경우 비율로는 115, 135℃에서 공히 SB가 83% 대로 가장 낮고, SC가 약 95~99%로 (Fig. 9, 10) 높다. 하지만 이는 HMA의 동점도가 높고 낮은 것에 기인한 점이 크다 할 수 있다. 즉, HMA의 동점도가 높은 PMA가 WAD에 의해 동점도가 상대적으로 많이 저하되고 낮은 것은 덜 저하되는 흥미로운 점을 발견하였다. 이 원인에 대해서는 향후 별도의 연구가 있어야 할 것으로 본다.

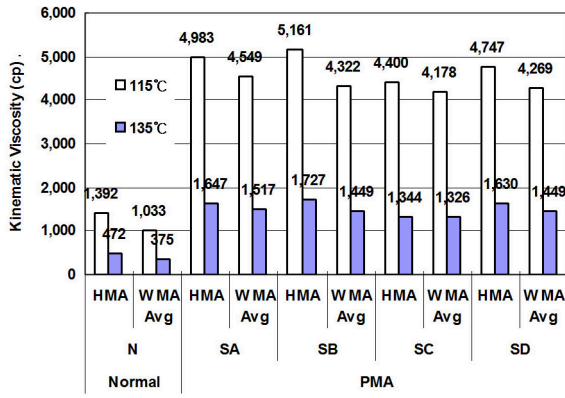


Fig. 8 Kinematic Viscosity (KV) of HMA and WMA Binders

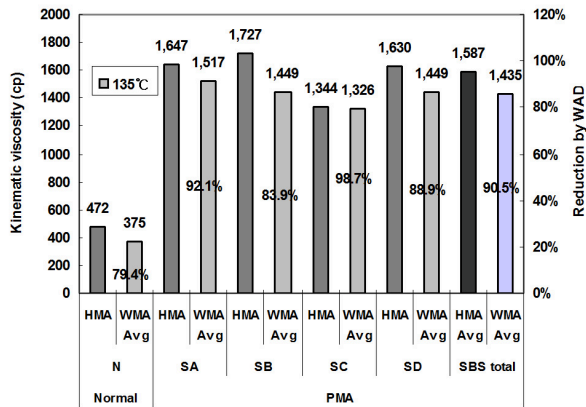


Fig. 9 KV and its Reduction Ratio by WAD at 115°C

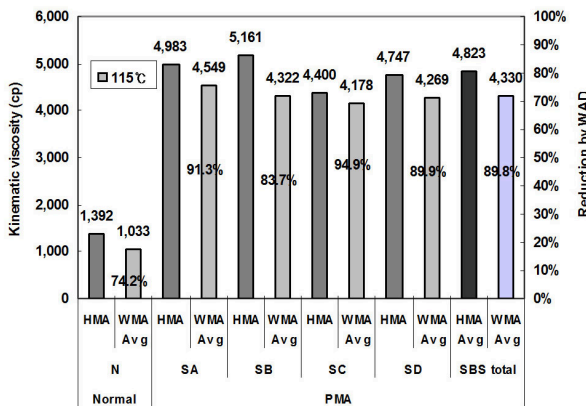


Fig. 10 KV and its Reduction Ratio by WAD at 135°C

### 3.2. DSR

DSR 시험에서 Pass/Fail(P/F) temperature는 Original 바인더의  $G^*/\sin \delta$ 가 기준인 1.0kPa 이상을 만족하는 최고의 온도이며, 또한 기준에 미달하는 가장 낮은 온도이므로 합격/불합격의 판정온도이다. Fig. 11에 나타난 것처럼 N 바인더는 WAD를 사용했을 경우 고온등급의 변화는 없었다. 하지만 N 바인더에 SBS로

개질하면 P/F 온도가 크게 상승하여 소성변형 저항성이 좋아지는 것을 알 수 있다(Kim et al., 2012).

폴리머별 P/F 온도를 보면 HMA와 WMA 모두 78°C ~81°C로 76 등급을 만족했다. WAD 첨가로 인한 P/F 온도의 차이는 매우 미미하여, WMA 바인더의 P/F는 모두 HMA의 약 98% 이상 이었다(Fig. 11). P/F온도가 높은 바인더는 동점도도 높았고 낮은 것은 동점도도 낮은 편이어서 두 특성 간에 상관성이 있음을 추측할 수 있었다. 따라서 동점도와 P/F간의 상관성 분석을 수행한 결과 Fig. 12와 같은 결과를 얻었다. 두 특성 간에는 동점도 측정온도에 관계없이 모두 매우 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

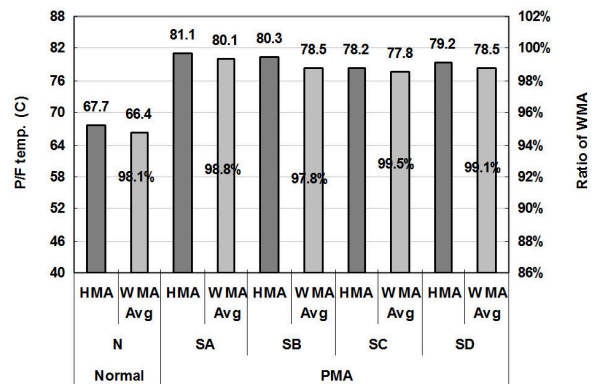


Fig. 11 P/F Temp. and its Ratio of WMA

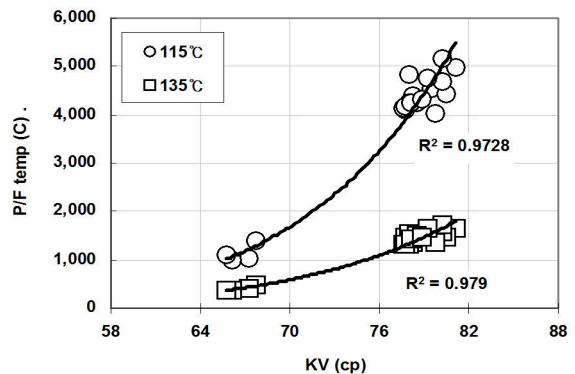


Fig. 12 Relationship of P/F Temp. and Kinematic Viscosity

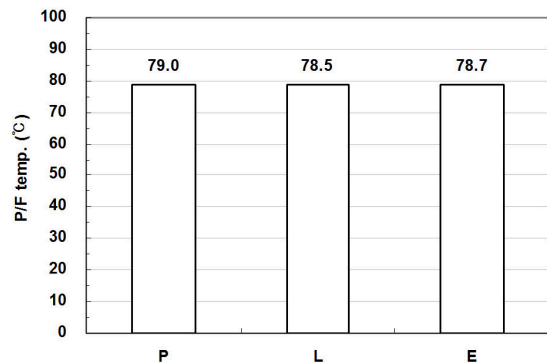


Fig. 13 P/F Temp. of WMA PMAs by WADs

WAD 종류에 따른 P/F 온도는 각각의 평균값을 구하여 Fig. 13에 나타내었다. WAD 종류에 따른 P/F 온도는 0.3~0.5℃ 차이로 미미하게 나타났다. 또한 폴리머에 따라 다소 차이가 있기는 하지만 모두 76 등급을 충분히 유지하고 있음을 알 수 있다.

### 3.3. BBR

저온에서 균열에 대한 저항성을 나타내는 BBR 시험은 Fig. 14와 같은 결과를 보였다. P/F 온도는 저온에서 등급 기준인 m-value 0.3 이상과 stiffness 300kPa 이하를 만족하는 최저온도로, 저온등급의 판정온도이다.

HMA N의 P/F 온도는 -16℃에서 HMA PMA 평균은 -13.5℃로 개질에 의해 저온 P/F 온도가 2.5℃ 높아지는 것으로 나타났다. 이는 개질을 위해 1시간 이상 고온 교반 등에 의한 바인더의 노화와 개질재의 특성 때문인 것으로 추정된다. 반면 WMA N의 P/F 온도는 -14.7℃에서 WMA PMA 평균은 -13.15℃로 개질에 의해 저온 P/F 온도가 1.55℃ 높아지는 것으로 나타나 그 차이가 적었다. 하지만 저온등급은 HMA, WMA 바인더 모두 -22등급을 만족하였다.

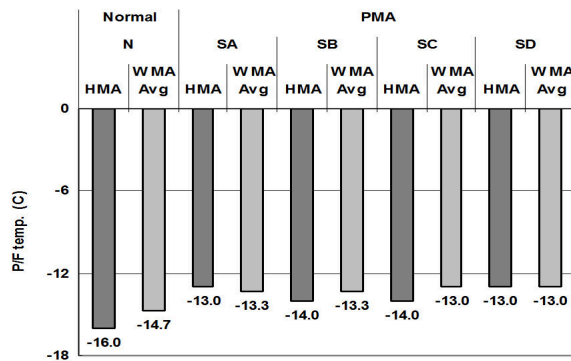


Fig. 14 Low P/F Temp. of HMA and WMA Binders

### 4. 결론

본 연구에서는 일반 아스팔트에 4종의 SBS와 3종의 준고온화 첨가제(WAD)를 첨가하여 HMA 및 WMA PMA를 제조하고 동점도, DSR, BBR 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 바인더의 동점도 시험결과 SBS의 종류에 따라 다소 차이가 있으나 개질 후 약 3~3.7배 높아졌으나, 115℃에서 개질 WMA 바인더가 개질 HMA보다 평균 약 10% 동점도가 낮아 유동성이 향상된 것으로 나타났다.

2. PG64-22 바인더에 4가지 SBS 개질 모두 PG76-22 등급의 바인더가 얻어졌다. 등급판정(P/F) 온도도 개질 WMA와 개질 HMA 바인더에 차이가 미미하였고, 3가지 WAD간에도 차이가 0.2~0.5℃로 거의 없었다.
3. P/F 온도와 동점도 간에는 밀접한 관계( $R^2 > 0.97$ )가 있어 동점도가 높으면 P/F 온도가 높다는 사실을 발견하였다.
4. HMA와 WMA 바인더 모두 저온등급 -22를 만족하였으나 HMA 바인더의 저온 P/F 온도는 -16℃에서 WAD의 첨가로 -14.7℃로 약간 높아졌고, SBS로 개질 후 평균 -13.3℃로 높아졌다.
5. 결론적으로 SBS 개질은 고온성능향상은 확실하나 저온 P/F 온도를 높여 저온성능을 다소 저하시키는 것으로 나타났다. 하지만 개질 WMA 바인더와 개질 HMA 바인더는 유사한 수준이어서 개질아스팔트에 WAD 사용에 따른 저온성능 변화는 거의 없었다.
6. 본 연구에서는 SBS 개질 WMA 바인더의 특성에 대해 몇 가지 중요한 점을 발견하였다. 하지만 이는 제한된 SBS 재료와 한 가지 기본 아스팔트를 사용한 것이므로 보다 일반화된 결론을 위해서는 보다 많은 재료의 사용이 향후 추진되어야 할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 강원대학교의 지원과 석재복합건설신소재연구소의 시설을 이용하여 이루어진 것입니다.

### References

Doh, Y. S., Kim, J. C., Yoo, M. Y. and Kim, K. W., (2010), "Evaluation of selected warm-mix additives for asphalt recycle," Paper presented at 2010 TRB Meeting, Washington, DC

Kim, K. W., Doh, Y. S., and Amirhanian, S. N., "Evaluation of aging characteristics of selected PMA using HP-GPC," Journal of Korean Society of Road Engineers, 6(2), Journal of Korean Society of Road Engineers, 2004. 6. 15-24.

Kim, S. U., Choi, J. S., Kim, K. W. (2011), "Performance Evaluation of Wax Compound for Warm-mix Asphalt Additive," Journal of Advanced Construction Materials, 16(1).

Kim, S. U., Lee, S. J., Yun, Y. B., Park, N. W., Kim, W. W., (2012), "Relationship of binder rutting factor with high-temperature properties of WMA concrete," Journal of Advanced Construction Materials, 17(1)

La I. H., Ji, D. H., Doh, Y. S., Kim, K. W., (2009), "High Temperature Performance Grade of WMA Binders," Proceedings, Annual Conference of Korean Society of Road Engineers, Busan, KOREA, pp. 172-175