

# HMA와 WMA용 아스팔트 바인더의 동점도 특성 분석

## Evaluation of Kinematic Viscosity Asphalt Binder for HMA and WMA

박지용<sup>\*</sup> · 김남호<sup>\*\*</sup> · 김현환<sup>\*\*\*</sup> · 이문섭<sup>\*\*\*\*</sup> · 김광우<sup>\*\*\*\*\*</sup>

Jiyong Park · Namho Kim · Hyun H. Kim · Moon S. Lee · Kwang W. Kim

### 1. 서 론

가열아스팔트(Hot-mix asphalt: HMA) 혼합물의 과다한 석탄연료 사용과 탄소발생 문제들 때문에 준고온 아스팔트(Warm-mix asphalt: WMA) 혼합물이 각광을 받고 있다. 하지만 WMA의 생산시 바인더는 HMA와 거의 같이 160℃ 정도를 유지하면서 골재의 온도를 상대적으로 낮게 가열 하여 혼합물을 생산한다. WMA의 생산온도는 약 120-140℃로 HMA 일반 아스팔트의 생산온도 약 150-160℃, 개질아스팔트의 생산온도 약 170-180℃보다는 약 20-60℃ 낮다. 또한 다짐온도는 실험실에서의 경우 생산온도보다 약 10-20℃ 낮은 온도에서 수행되며 현장의 경우 여건에 따라 다르지만 생산온도보다 20-30℃이하 정도에서 시작한다.

동점도(Kinematic viscosity) 또는 회전점도(Rotational viscosity)는 바인더의 펄핑과 골재와의 혼합을 위한 유동성을 충분히 가지는지 확인을 위해 혼합물을 비빔 포설하는 개략적인 온도인 135℃에서 측정한다(Superpave 1994, Introduction... 2001). 제시된 동점도의 상한치는 3,000cP (3Pa.S)이며 이보다 높으면 혼합물을 제조하고 포설하는데 문제가 있다고 본다. 하지만 이는 HMA를 기준으로 제시된 상한치이며 WMA에 적용하기 위해서는 보다 낮은 온도에서의 기준이 필요할 것이다. 즉, WMA는 HMA보다 일반적으로 20-30℃ 낮은 온도에서 가공 및 포설되므로 상기의 기준을 더 낮은 온도에서 만족하거나 별도의 기준이 필요할 것이다. 이를 위해서는 WMA 바인더의 동점도가 135℃보다 더 낮은 온도에서 HMA용 바인더와 어떤 차이를 보이는지를 분석할 필요가 있다.

최근의 한 연구(이문섭 2010)에 의하면 선회다짐기(Superpave gyratory comactor: SGC)로 다짐 경우 다짐 온도에서 상기 바인더의 점도기준보다 더 높은 점도를 보이는 바인더를 사용한 혼합물도 다짐이 잘 될 수 있음을 보여주고 있다. 이 연구에 의하면 HMA의 경우 일반아스팔트는 물론 개질아스팔트도 135℃에서 다짐이 가능하며 WMA 혼합물의 경우는 115℃ 이하에서도 다짐이 가능하였다. 따라서 WMA혼합물의 경우 135℃가 아닌 더 낮은 온도에서의 동점도를 측정할 필요가 있다. 이에 본 연구는 WMA 혼합물이 115℃ 전후해서 포설되는 것으로 추정하고 각종 아스팔트 바인더의 동점도를 135℃는 물론 115℃에서도 측정하고 비교 평가하여 동점도의 특성을 파악하는 것을 목적으로 한다.

### 2. 재료 및 방법

본 연구에서 사용한 아스팔트는 기본 아스팔트인 PG64-22(침입도 60-80, AP5)와 4 종류의 HMA용 폴리머 개질아스팔트(Polymer modified asphalt: PMA), 외국산 2가지와 국내산 3가지 WMA용 바인더를 사용하였다. HMA PMA는 SBS로 개질한 S사의 SPMA, LDPE로 개질한 LPMA, EVA, LDPE 및 EPDM으로 개질

\* 강원대학교 대학원 지역건설공학과 석사과정

\*\* 강원대학교 대학원 지역건설공학과 석사과정

\*\*\* 강원대학교 대학원 지역건설공학과 박사과정

\*\*\*\* 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학박사

\*\*\*\*\* 강원대학교 지역건설공학과 교수 · 교신저자(E-mail: asphalttech@hanmail.net)

한 EPMA, CRM으로 개질한 CPMA로 Table 1과 같다. 또한 WMA용 바인더로 A wax 등을 첨가한 AWMA, A, B wax 등을 첨가한 BWMA, Evotherm을 첨가한 EWMA, Sasobit를 첨가한 SWMA 그리고 BWMA를 개질한 BWPMA를 사용하였다. 각 재료에 대한 사진은 Fig. 1~6에서 보여준다.

Table 1. HMA와 WMA의 첨가재료, 함량 및 PG 등급

Type	Materials	첨가제	함량	PG	비고
HMA	AP5	-	-	64-22	control
	SPMA	SBS	Unknown	76-22	제시된 값
	LPMA	LDPE	//	76-22	
	CPMA	CRM	15%	76-22	
	EPMA	EVA, LDPE, EPDM	//	76-22	
WMA	AWMA	A wax, stearin acid	unknown	64-22	
	BWMA	B wax, A wax	unknown	64-22	
	EWMA	Evotherm	0.5%	64-22	
	SWMA	Sasobit	2.0%	70-22	
	BWPMA	B, A wax, EPMA	unknown	76-22	



Fig. 1. LDPE



Fig. 2. EVA.



Fig. 3. Evotherm.

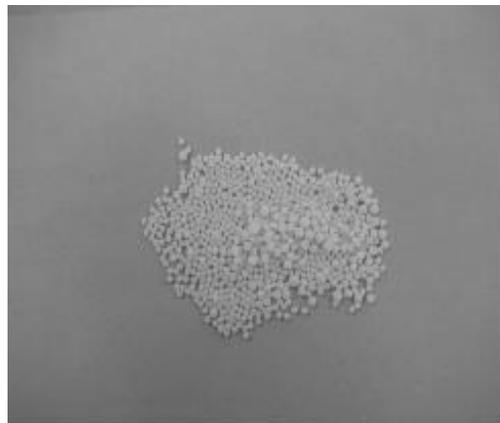


Fig. 4. Sasobit.



Fig. 5. A wax.

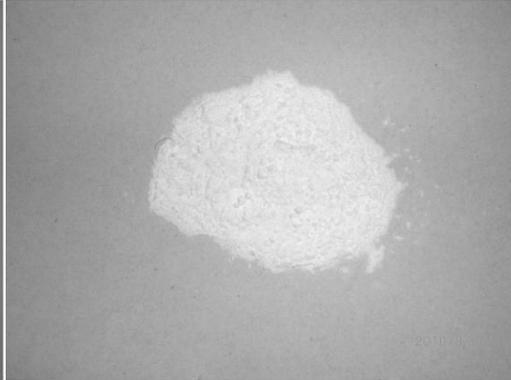


Fig 6. B wax.



Fig. 7. Homogenizer.



Fig. 8. Brook field viscometer.

SMPA는 상용화된 제품을 사용하였고, 그 외 HMA PMA는 아스팔트를 약 180℃로 가열 후 각 첨가제를 소요량만큼 서서히 넣으며 Homogenizer (Fig. 7)로 4,000rpm으로 1시간 동안 교반 제조하였다. 반면 AWMA, BWMA, SWMA는 AP5를 165℃ 가열 후 각 첨가제를 소요량만큼 서서히 넣으며 Homogenizer로 4,000rpm으로 30분 간 혼합하였다. EWMA는 손으로 약 1-2분 혼합하여 제조하였고, BWPMA는 AP5를 165℃ 가열 후 WMA 첨가제와 Polymer를 소요량만큼 서서히 넣으며 Homogenizer로 약 4,000rpm으로 1시간 교반 하였다.

동점도 시험은 약 160℃로 가열된 각 바인더를 측정용 용기에 부어 점도계 Heating bath (Fig. 8의 하단 부분) 넣고 135℃로 맞추어 온도를 유지하면서 30분 이상 안정화시킨 다음 회전점도계(Rotational viscometer 또는 Brook filed viscometer)를 사용하여 측정하였다. 그리고 다음단계 온도로 10℃씩을 낮추어 125, 115℃에서 점도를 측정하였다. 측정된 점도의 단위는 centi-Stoke (cS)이며 이는 1/1,000 Pa.s이다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 2는 각 온도에서 측정된 동점도를 보여준다. 135℃에서의 동점도의 측정결과 일반아스팔트(AP5)의 동점도가 455cS인 것에 비해 WMA 바인더들은 다소 낮기는 하지만 크게 차이는 없었다. Fig. 9, 10은 Table 2의 결과를 일반(비개질) 바인더와 개질바인더로 나누어 비교한 그림이다. 또한 Fig. 11, 12는 일반과 개질바인더의 온도에 따른 동점도의 변화 정도를 비교한 그림이다.

Table 2. 바인더별 3가지 온도에서 동점도의 비교

Type	Materials	Kinematic viscosity (cS) at			PG 고온등급
		115℃	125℃	135℃	
HMA	AP5	1,467	800	455	64
	SPMA	11,508	5,375	2,825	82
	LPMA	3,833	1,982	1,083	76
	CPMA	6,852	3,300	1,865	76
	EPMA	5,068	2,742	1,633	76
WMA	AWMA	1,275	714	430	64
	BWMA	1,125	654	389	64
	EWMA	1,257	650	394	64
	SWMA	796	567	337	70
	BWPMA	4,527	2,172	1,291	76

AP5에 비하여 WMA 바인더의 115℃ 점도는 종류에 따라 차이가 많았으며 일부바인더는 선행연구결과(Choi et al 2010, Doh et al. 2010)들과 유사하다. Fig. 9의 Ratio는 115℃에서 AP5의 동점도 1,467cS에 대한 WMA 바인더들의 동점도 비율이며, SWMA의 경우 그 비율이 0.54로 가장 낮고 나머지들은 0.8 전후의 값을 보이고 있다. 하지만 이는 135℃일 때의 비율보다 평균 0.1정도씩 낮아진 것으로 온도가 20℃ 낮은 상태에서 WMA 바인더들이 HMA 바인더보다 상대적으로 동점도가 낮아 유동성이 더 좋음을 보여주는 것이다. 하지만 그 비율이 SWMA만 크게 낮고 나머지들은 그리 크지 않은 것을 알 수 있다.

그리고 HMA용 AP5의 115℃ 점도 수준이 3,000cS의 반도 안 되므로 WMA 혼합 및 포설온도에서도 작업이 가능해 보인다. 이 추정치는 이문섭(2010)의 연구에서 AP5 혼합물이 115℃에서도 SGC로 어느 정도 잘 다져졌던 것과 비교한다면 근거가 있는 것이라 할 수 있다.

HMA 개질아스팔트 아스팔트의 동점도는 개질제들의 첨가로 인해 크게 높아지는 것으로 나타났다(Fig. 10). 또한 WMA 개질아스팔트의 경우도 135℃에서 1,291cS로 상당히 높아지는 것으로 나타났으나 LPMA를 제외하고 다른 3가지 HMA PMA보다는 낮은 편이다. 특히 SPMA는 2,800 이상으로 월등히 높아 점도가 가장 높게 나타났으며 온도가 내려가 115℃에서는 11,000이 넘는 매우 높은 동점도를 보여 온도가 낮아지면 작업성이 급격히 떨어질 것임을 예측할 수 있다. 또한 이것은 PG고온 등급이 제시된 76보다 한 단계 높은 82로 측정되어 매우 고점도임이 확인되었다.

한편 WMA 개질바인더인 BWPMA의 경우는 115℃에서 3,000cS가 넘었으며 PG고온 등급도 76으로 측정되었다. 이에 비해 LPMA는 HMA용이지만 WMA용 BWPMA보다 전반적으로 동점도가 낮아 BWPMA가 115℃에 사용되었던 점(김진철 등 2010)을 고려한다면 LPMA를 같은 온도에서 사용할 수 있을 것으로 보인다. 그 외의 두 개질 바인더는 모두 135℃에서는 1,600~1,900cS, 115℃에서는 5,000~7,000cS를 보이고 있어 유독 SPMA만 높은 것을 알 수 있다.

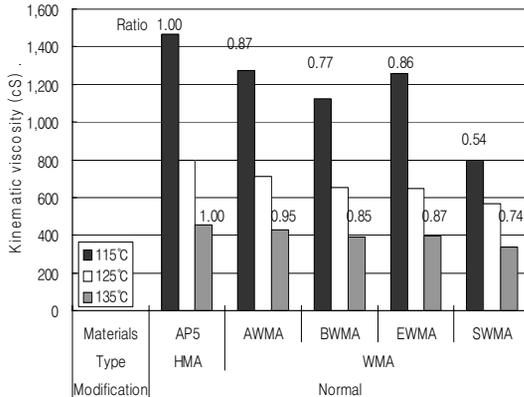


Fig. 9. Kinematic viscosity for normal binders.

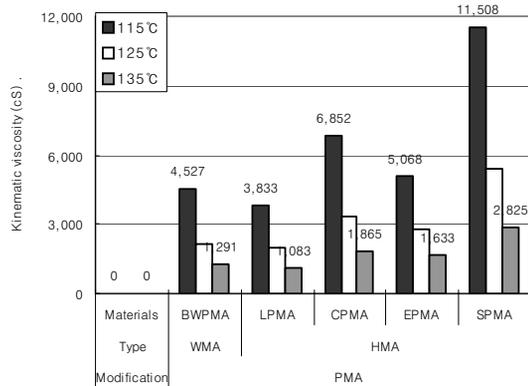


Fig. 10. Kinematic viscosity for PMA binders.

Fig. 11에서 115°C 동점도와 135°C 동점도의 증가 비율을 보면 HMA용 AP5가 가장 높아 온도가 낮아짐에 따라 점도의 증가가 WMA용 바인더에 비해 상대적으로 더 많이 됨을 알 수 있다. 하지만 그 비율의 차이가 적은 편이지만 SWMA와는 차이가 커서 SWMA는 115°C에서 동점도 자체도 낮지만 그 증가율도 낮아 준고온에서 작업성이 가장 우수할 것으로 판단된다.

한편 Fig. 12에서 보면 115°C에서 SPMA의 동점도도 가장 높지만 그 증가비율도 또한 가장 컸다. 그에 비해 다른 PMA들은 증가비율이 상대적으로 낮지만, Fig. 11의 일반바인더들 보다는 모두 커서 개질바인더가 135°C에서의 동점도도 높지만 온도가 낮아지면서 그 증가도 크게 되는 것을 알 수 있다.

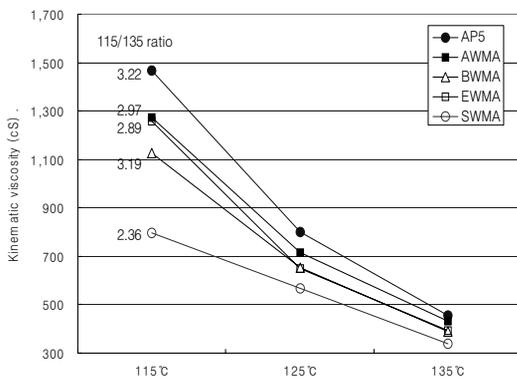


Fig. 11. Viscosity increment ratio for normal binders.

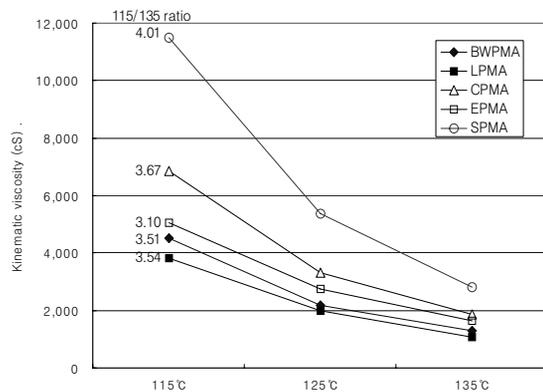


Fig. 12. Viscosity increment ratio for PMA binders.

#### 4. 결론

본 논문은 WMA 혼합물의 포설온도를 115°C 전후로 추정하고 HMA와 WMA용 바인더의 동점도 특성을 135°C는 물론 115°C에서도 측정하여 온도에 따른 동점도의 특성을 비교 평가한 연구이다. 본 연구를 통해서 국산 기본 아스팔트인 AP5의 동점도 특성을 파악하고 이를 비교대상으로 하여 WMA 바인더는 물론 각종 PMA 바인더를 분석할 수 있었다.

연구 결과 WMA 바인더는 종류별로 차이를 보이지만 135°C는 물론 115°C에서도 AP5보다 다소 낮은 점도



를 보임을 알 수 있었다. 또한 개질아스팔트는 개질제의 첨가로 인해 동점도가 월등히 높아지며 일부 PMA는 점도가 매우 높아 온도 관리를 소홀히 하면 작업성이 급격히 떨어질 것으로 추정되었다. 또한 WMA 바인더를 개질할 경우 그 점도특성은 개질제에 좌우되어 HMA용 PMA와 유사한 동점도 수준을 보임을 알 수 있었다.

또한 HMA 개질 아스팔트는 135℃에서 3,000cS를 모두 만족하나, WMA용 개질아스팔트는 동점도 3,000cS 이하를 125℃에서는 만족하나 115℃에서는 만족을 못했다. 하지만 WMA PMA는 115℃에서 점도가 3,000cS에 근접해야 작업성이 좋을 것으로 판단된다. 하지만 이에 대한 기준은 보다 많은 연구를 통해 설정되어야 할 것으로 사료된다.

따라서 각종바인더의 동점도는 다양하며 일반 아스팔트는 135℃ 동점도가 약 400cS 전후, 115℃에서는 약 1,300cS 전후이며 WMA 바인더의 경우 115℃에서 이보다 좀 낮을수록 작업성이 좋을 것이라는 결론을 얻었다.

### 감사의 글

본 연구는 강원대학교 석재복합 건설신소재 연구소의 지원으로 이루어진 것입니다.

### 참고 문헌

- 이문섭, (2010), “아스팔트 혼합물의 용적특성 및 강도특성에 근거한 적정 다짐온도의 결정 연구,” 강원대학교 대학원 지역건설공학과 박사학위 논문.
- 김진철, 유민용, 김남호, 김광우 (2010), “재생 준고온 아스팔트 콘크리트의 소성변형 특성,” 한국도로학회 봄 학술발표회 논문집, 한국과학기술회관, 서울, 63-71
- Choi, J. S., Park, J. Y., Yoo, M. Y., Kim, H. H. and Kim, K. W. (2010), “Effect of warm-mix additive on recycling reclaimed asphalt pavement,” Proceedings, 11th International Symposium for Advanced Technologies in Asphalt Pavements, ATAP 2010, Chun Cheon, Korea, 99-108
- 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, Jan.
- “Superpave: Performance graded asphalt binder specification and testing,” (1994). Asphalt Institute, SP-1.
- “Introduction to asphalt,” (2001), Asphalt Institute, MS-5.