

준고온 아스팔트의 PG 고온 등급과 혼합물 소성변형 특성 비교

Comparison of Rut Test Results of Warm-mix and Hot-mix Asphalt Mixtures with the Same High PG Grading Binders

최정순* · 김남호** · 김광우***

Choi, Jung Soon · Kim, Nam Ho · Kim, Kwang woo

1. 서 론

산업화와 경제개발에 따라 에너지 소비량이 증가하고 있으며, 이에 따라 온실가스 배출로 인한 지구온난화로 세계적인 문제가 발생하고 있다. 우리나라의 동해안 지역의 경우도 급격한 강우 및 폭설 등 기상이변으로 인해 고초를 겪고 있으며, 세계적으로도 유엔기후변화협약, 교토의정서 등을 채택하여 CO₂ 배출량 저감을 제도화 하고 있다.

우리 나라의 도로포장 관련 분야에서도 저탄소 기술은 환경 및 경제 문제를 해결하기 위해 중요하게 취급되고 있다. 특히 도로포장에서 관련 기술이 개발될 경우 대규모로 사용되는 특수성으로 인하여 환경 및 경제에 미치는 파급효과가 매우 클 것으로 판단된다.(정규동 등, 2009)

유럽을 비롯한 선진국에서는 CO₂ 발생억제, 조기교통개방, 에너지·자원 절약을 위한 새로운 포장 공법으로서 준고온 아스팔트(warm-mix asphalt: WMA) 기술개발이 이루어지고 있다. WMA 혼합물은 기존의 가열 아스팔트 혼합물 (hot-mix asphalt : HMA)의 고온생산온도(160~180℃)를 낮추어 준고온인 약 120~140℃로 혼합물을 생산하는 공법이다. 준고온 아스팔트 포장은 가열아스팔트에 비해 CO₂를 상당히 절감시킨다는 이점이 있다. 그러나 모든 아스팔트 콘크리트 포장은 소성변형과 균열의 원인을 파악하는 것이 필요하고 그에 대한 대책을 모색하기 위한 체계적인 아스팔트 혼합물의 연구가 진행되어 왔다.

아스팔트 바인더의 등급 기준은 HMA나 WMA가 모두 같다. 하지만 같은 고온등급의 바인더를 사용 시 준고온 혼합물은 가열 혼합물에 비해 상대적으로 여러 가지 취약성을 보이는 것으로 나타나고 있다. 특히 저온특성보다는 고온 특성인 Rutting에 취약성을 보이는 것으로 나타났다. 이에 따라 본 연구의 목적은 동일 PG 등급을 사용한 가열 혼합물과 준고온 혼합물의 소성변형 특성에 대해 비교하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 연구에 사용된 기본 아스팔트 바인더는 국내에서 널리 사용되는 S사의 침입도 60~80인 AP-5가 사용되었고, 이를 LDPE, EVA, SBS 폴리머와 왁스계의 컴파운드 E, P, S를 준고온화 첨가제로 사용하여 PG76-22 바인더를 제조하였다. 바인더에 첨가된 함량은 Table 1의 함량으로 제조하였다.

* 강원대학교 지역건설공학과 석사과정 · 공학사 · 033-250-7284(E-mail : fireswing@hanmail.net)

** 강원대학교 지역건설공학과 석사과정 · 공학사 · 033-250-7284(E-mail : jjang3504@hanmail.net)

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

Table 1. Designation of each binder and description

Type	Designation	Description
HMA	Control	Pen 60-80 (AP5) without additive
HMA	LV5	AP5 + (LD+EVA) 5%
	SB4	AP5 + SBS 4%
WMA	LV4EP15	AP5 + (LD+EVA) 4%, (E+P) 1.5%
	L5PS225	AP5 + LD 5%, (P+S) 2.25%
	SB4EP20	AP5 + SBS 4%, (E+P) 2.0%

사용 골재는 굵은골재 13mm인 화강암 쇄석과 그 부순모래(screenings)를 잔골재 그리고 석회석분을 채움재(mineral filler)로 사용하였다.

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 유지하였다. 제조된 바인더의 고온특성 분석을 위해 Original 바인더에 대하여 DSR 시험을 하였다(Fig. 1). 특성치로는 G*/sind 값과 그 값이 1kPa 이하가 되는 최고온도(Failure temperature)와 고온등급 값을 구하였다.


Fig 1. Dynamic Shear Rheometer

Fig 2. Gyrotory compactor

혼합물의 제조를 위해 선회다짐기(Fig 2)를 사용하여 개질아스팔트는 100회, 무개질 아스팔트는 75회를 다짐하였다. 그리고 혼합물은 배합설계의 OAC를 이용하여 비빈 후 HMA는 1시간동안 160℃에, WMA는 2시간 동안 135℃의 오븐에 단기노화 후 다짐을 하였다.

혼합물 시험에서는 변형강도 값을 구하기 위해 Kim-test (Fig 3), 소성변형 특성을 평가하기 위해 반복주행(wheel tracking) 시험을 수행하였다(Fig 4). 동적안정도 계산법은 새로이 개발된 DS2 방법을 이용하였다(김광우 등 2006).

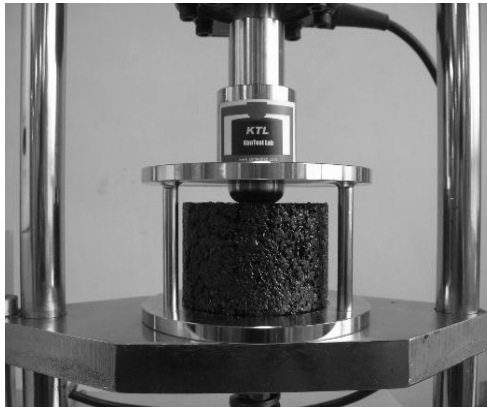


Fig 3. Kim-test setting

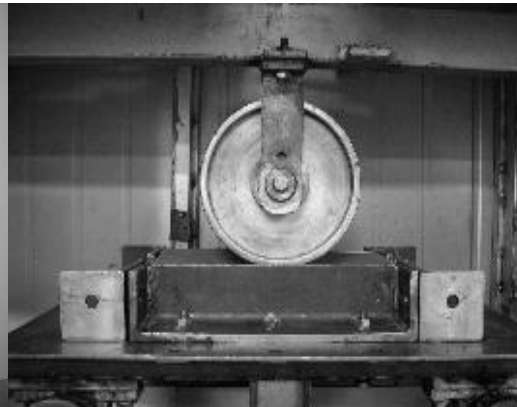


Fig 4. Roller compactor for asphalt mixture slab manufacture

3. 연구결과

3.1 개질 바인더의 DSR 결과 개질된 바인더의 고온등급

Table 2는 개질 바인더의 고온 등급 및 Failure temp를 나타내고 있다. Table 2와 같이 DSR 시험결과 HMA와 WMA 개질바인더는 모두 고온 등급을 동일하게 76등급으로 결정되었다. 그리고 78~80의 비슷한 Failure temp가 얻어졌으며 오히려 failure temp. 상으로 보면 WMA 바인더가 더 고온에 우수한 특성이지는 것으로 나타났다. 하지만 동점도는 135, 115℃에서 WMA 바인더는 HMA에 비해 평균 각각 30, 35% 낮아져 115℃에서 다 낮은 것으로 나타났다.

Table 2. High grade of modified binder

Designation	Temp. (°C)	Modulus (G*)(kPa)	Phase angle(δ)	G*/sinδ (kPa)	High service temp.	Failure temp. (°C)	동점도(cp) at 135/115°C	Binder type
PG64-22	64	1.6633	87.06	1.66557	64	68.15	450/1550	HMA
	70	0.7951	88.17	0.79551				
LV5	76	1.3954	85.16	1.40041	76	79.15	1650/5308	HMA
	82	0.7261	85.11	0.72880				
SBS 4%	76	1.2218	80.59	1.23850	76	78.1	1519/4683	HMA
	82	0.6569	81.37	0.66442				
LV4EP15	76	1.5075	83.87	1.51430	76	79.7	1267/3875	WMA
	82	0.7892	83.74	0.79480				
L5PS225	76	1.5651	82.67	1.57799	76	80.2	786/2261	WMA
	82	0.8917	81.87	0.90082				
SB4EP20	76	1.576	80.54	1.61200	76	80.9	1250/3642	WMA
	82	0.862	80.78	0.87100				

3.2 개질 혼합물의 변형강도와 WT 결과

Table 3은 개질 혼합물의 OAC에 따른 물성과 SD값을 나타내었다.

Table 3. Result of SD test

Mix type	Designation	Compaction		OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	S _D (MPa)	Mean
		Temp. (°C)	No. of Gyration						
Control	PG64-22	160	75	5.7	4.03	17.58	77.07	3.37	3.37
HMA	LV5	160	100	5.7	4.08	17.62	76.84	4.27	4.10
	SB4	160	100	5.5	4.32	17.37	75.16	3.92	
WMA	LV4EP15	135	100	5.8	4.15	17.87	76.80	3.30	3.52
	L5PS225	135	100	5.5	4.32	16.80	74.26	3.80	
	SB4EP20	135	100	5.7	4.14	17.42	76.24	3.47	

Table 3에서 알 수 있듯이 OAC의 수준은 유사한 HMA와 WMA를 혼합물 종류에 따라 변형강도 값을 비교해 볼 수 있다. 공극률도 모두 4% 정도이어서 주어진 온도에서의 다짐이 잘 된 것을 알 수 있다. 하지만 HMA는 control에 비해 확연히 높은 변형강도 값을 나타내었으나 WMA는 control과 비슷하거나 약간 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Table 4는 개질 혼합물 종류에 따른 동적안정도(DS₂)값을 나타내고 있다. WT 시험은 소성변형을 확인할 수 있는 실험으로 두 종류의 HMA 모두 WMA에 비해 상당히 낮은 rut depth와 동적안정도 값을 나타내었다. 이에 비해 WMA는 SD때와 유사하게 Control에 비해 비교적 나은 값을 나타내고는 있으나, HMA에 비하여 매우 낮은 값을 나타냄을 알 수 있었다.

Table 4. Result of wheel tracking test

Mix type	Designation	OAC (%)	Air Void (%)	No.	Rut Depth (mm)	DS ₂ * (cycle/mm)	DS ₂ Mean
Control	PG64-22	5.7	3.91	1	5.72	2,505	2576
				2	5.17	2,646	
				Mean	5.45	2,576	
HMA	LV5	5.7	3.92	1	3.87	3,172	4171
				2	2.79	4,510	
				Mean	3.33	3,841	
	SB4	5.5	4.09	1	2.39	5,243	
				2	3.5	3,758	
				Mean	2.94	4,500	
WMA	LV4EP15	5.8	3.84	1	4.29	2,992	2745
				2	5.05	2,657	
				Mean	4.67	2,824	
	L5PS225	5.5	3.62	1	4.16	3,435	
				2	4.94	2,800	
				Mean	4.55	3,117	
	SB4EP20	5.7	3.59	1	5.52	2,292	
				2	5.56	2,295	
				Mean	5.54	2,294	

*새로이 제시된 동적안정도(김광우 등 2006)

Figs 5, 6은 HMA와 WMA의 WT 시험결과 값을 그림으로 나타내고 있다. 그래프를 통해 HMA의 rut depth와 동적안정도가 WMA에 비해 우수한 것을 알 수 있다. 여기에서의 WMA 혼합물은 HMA 바인더와 같이 PG76 등급이며 동점도 상으로는 30~35%정도 낮은 바인더를 사용한 혼합물이다. 특히 115℃의 동점도가 낮아 그만큼 준고온에서의 혼합 및 다짐이 잘된다는 의미이다. 한편 저온특성인 -20℃에서의 파괴인성은 HMA보다 오히려 좋거나 유사한 것으로 나타났다4). 이에 비해 소성변형특성이 낮은 이유는 WMA의 성공적 실용화를 위해서도 반드시 구명할 필요가 있다.

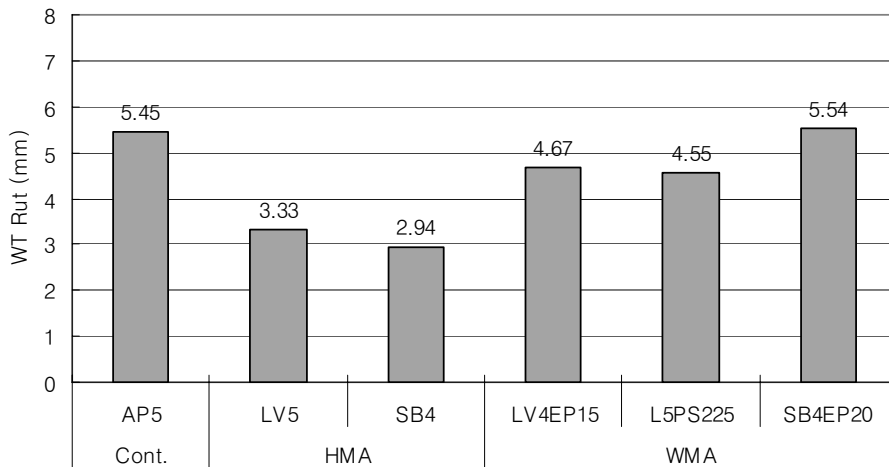


Fig 5. Comparison of WT rut depth data between HMA and WMA

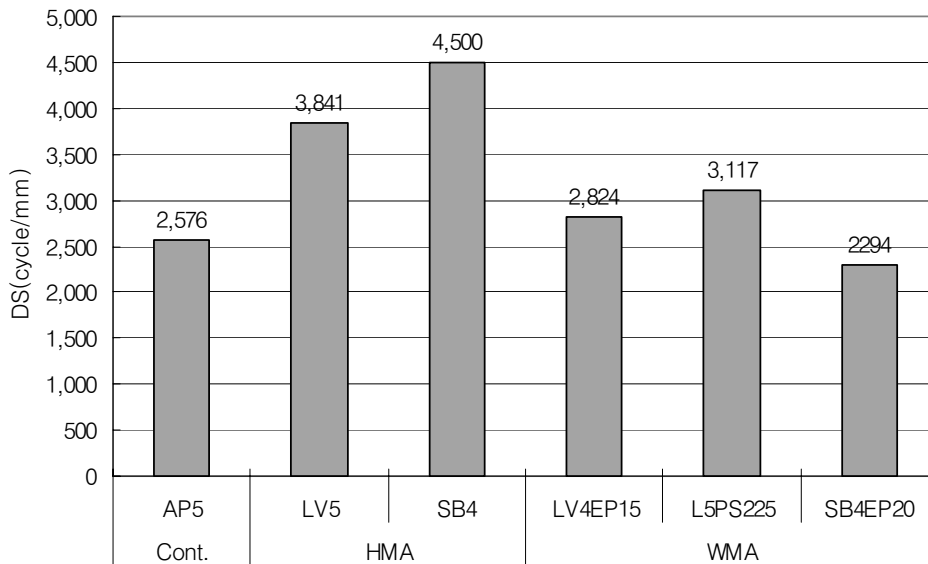


Fig 6. Comparison of dynamic stability data between HMA and WMA

4. 결 론

본 연구에서는 동일한 고온등급의 HMA와 WMA 바인더를 사용한 혼합물의 소성변형 저항성을 비교 분석하여 어떤 차이를 보이는지를 파악하기 위하여 수행되었다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. PG76 등급의 개질 HMA 혼합물은 변형강도가 4.0MPa 이상이나 WMA 혼합물은 유사한 공극률임에도 PG64 등급 control 혼합물보다 약간 높은 3.52MPa를 보였다.
2. 개질 HMA 혼합물은 동적안정도가 4,000(cycle/mm) 이상으로 2,700(cycle/mm) 정도인 WMA보다 크게 높아 소성변형에서 WMA보다 높은 저항성을 갖고 있음을 알 수 있다. 비록 WMA의 동적안정도가 아주 낮은 값은 아니나 일반적으로 개질아스팔트로부터 얻어지는 3,000보다는 다소 낮은 값이다.
3. 골재 가열온도를 낮추어 준고온(125±10℃)에서 혼합시 바인더와의 결합력을 보완하기 위하여 동점도를 낮춘 것이 WMA 바인더이다. 이를 사용하여 유사한 OAC로 같은 다짐에 의해 공극률이 모두 4% 전후 얻어졌음에도 WMA가 HMA보다 소성변형에 취약한 이유는 매우 판단하기 어려운 문제라 사료된다.
4. 따라서 본 연구의 결론은 WMA 혼합물의 소성변형 특성을 WMA용 바인더의 PG등급만으로 HMA와 같이 추정하기 곤란하다는 것이다. 본 연구에서 data 상으로 확인한 문제점은 WMA가 안고 있는 여러 문제점 중 하나일 것이며, 향후 이러한 점들을 하나씩 심도 있는 연구를 통해 구명할 필요가 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 석재복합건설신소재연구소의 지원으로 이루어진 것입니다.

참고 문헌

- [1] 김광우, 도영수, “아스팔트 혼합물 반복주행 시험에서 합리적 동적 안정도의 산정 방법”, 한국도로학회 논문집, 8(1), 2006. 3.
- [2] 유민용, “준고온 아스팔트 혼합물의 저온특성 평가”, 강원대학교 대학원 지역건설공학과 석사학위논문, 2010. 8.
- [3] 정규동, 황성도, 김영민, 양성린, 권수안, “저탄소 첨가제를 이용한 중온 아스팔트 시험시공”, 한국도로학회 학술대회논문집, 2009. pp. 259~263.
- [4] Kim, K. W., Amirghanian, S. N., Kim, H. H., Lee, M. S. and Doh, Y. S., “A New Static Strength Test for Characterization of Rutting of Dense-graded Asphalt Mixtures”, Journal of Testing and Evaluation, 39(1), Jan., 2011, 1-10.
- [5] Yoo, M. Y., Jeong, S. H., Park, J. Y., Kim N. H. and Kim, K. W. “Low Temperature Fracture Characteristics of Selected Warm-mix Asphalt Concretes”, Presented at 2011 TRB meeting and Accepted for Publication in Journal of the Transportation Research Board, 2011.