개질첨가재를 이용한 아스팔트 혼합물의 성능개선 효과와 포장두께 설계시 적용성 연구

A Study on Performance Improvement Effect of Hot Mixed Asphalt Mixture and Application of Pavement Depth for Using Drain Asphalt Modified Additive

진정훈* · 최한길** · 손원표*** · 조규태****
Jin, Jung Hoon · Choi, Han Kil · Sohn, Won Pyo · Cho, Gyu Tae

1. 서 론

우리나라의 도로는 1960년대말 고속도로가 건설되면서 본격적으로 아스팔트 포장기술이 도입되었다. 그러나 30여년이 지난 현재까지도 아스팔트포장이 갖는 문제점 즉, 고온에서의 소성변형 및 저온에서의 균열파괴 현상은 계속되고 있는 실정이다. 특히, 여름철 고온에 의한 아스팔트 포장체의 온도상승으로 도심구간의 도로와 중차량이 통행하는 주요간선 도로에 많은 소성변형과 겨울철에 과다한 반복하중에 의한 균열발생 등 치명적인 약점을 안고 있어 이에 대한 개선의 필요성이 꾸준히 요구되어 왔고, 이러한 문제를 극복하기 위하여 과거에는 배합설계와 아스팔트 바인더의 등급 변경을 통하여 아스팔트 혼합물의 일부 향상을 얻었지만, 오늘날에는 아스팔트 바인더의 물리·화학적 성질을 개선 할 수 있는 다양한 개질재가 개발되어 사용되고 있다. 본 연구는 아스팔트 바인더에 개질 첨가재의 함량을 0%, 0.5% 1%로 증가시켜서 5종류(밀입도 19mm, 배수성입도 13mm, 배수성입도 19mm, 슈퍼페이브입도 19mm, SMA입도 19mm)의 골재입도를 갖는 아스팔트 혼합물에 첨가함으로서 얻을 수 있는 효과를 포장두께 설계시 적용하는 자료를 얻는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 재료 선정

2.1 골 재

본 연구에서 사용한 골재는 쇄석으로 19mm, 13mm, 스크리닝스, 모래, 채움재를 사용하였다. 사용된 골재의 기본물성 및 입도시험결과는 표1, 2와 같다.

표 1 골재의 기본물성 시험결과

시험항목	시험방법	시방규정	19mm	13mm	스크리닝스	모래	채움재
비중	KS F 2503	2.45이상	2.603	2.584	2.623	2.616	2.700
흡수율(%)	KS F 2503	3.0이하	1.302	1.295	1.352	0.752	-
마모율(%)	KS F 2508	35이하	13.317	12.977	-	-	-

* 정회원 · 인천대학교 대학원 토목환경시스템공학과 박사과정 · 032-770-8915 · (E-mail: jinrino@kornet.net)
** 정회원 · 인천대학교 대학원 토목환경시스템공학과 박사과정 · 02-3400-5709 · (E-mail: oneway1950@hanmail.net)
*** 정회원 · 인천대학교 대학원 토목환경시스템공학과 박사과정 · 02-509-4753 · (E-mail: wpshon@samaneng.com)
**** 정회원 · 인천대학교 ITS 연구센터 선임연구원 · 공학박사 · 032-770-8915 · (E-mail: chogt@yahoo.co.kr)

표 2 사용된 골재의 입도분포

체 크 기		25mm	19mm	13mm	10mm	#4	#8	#30	#50	#100	#200
통과 백분율 (%)	19mm	100	99.46	37.38	4.57	0.10	0.09	0.08	0.06	0.04	0.03
	13mm	100	100	100	52.90	1.00	0.50	0.40	0.40	0.30	0.20
	스크리닝스	100	100	100	100	83.20	38.80	14.80	9.50	4.70	1.6
	모 래	100	100	100	100	100	100	77.50	36.22	1.67	0.51
	석 분	100	100	100	100	100	100	100	100	97.03	79.43

2.2 개질첨가재 성분

본 연구에서는 아스팔트 혼합물의 품질개선을 위한 첨가재로 특수 고점도 아스팔트 개질 첨가재의 한종류인 Drain Asphalt Modify Additive(DAMA)를 사용하였다. 개질 첨가재의 성분은 석유계 열가소성 수지(50±5%)와 고품질 폐타이어 고무분말(CRM;45±5%) 및 카본블랙 미립분 외에 기타 재료(5±2%)가 혼합된 미립분 복합재로 이루어졌다. 개질 첨가재는 열가소성 비닐백에 담겨서 생산되며, 아스팔트 콘크리트 생산공장에서 혼합기(Mixer)내에 직접 투입 사용하는 공법으로서 일반적인 플랜트에서 아스팔트 혼합물에 간편하게 사용이 가능하다. 개질 첨가재를 투수성 포장에 사용하면 기존의 투수성 포장이 가지는 결점인 결합력 부족 현상을 개선하여 차도 포장이 가능하도록 하고, 폐타이어 분말에 포함된 자외선 방지제와 산화방지제는 다공성 포장의 내구성을 더욱 증진시켜 흡음성과 배수성을 갖는 고기능 도로포장을 만들 수 있게 한다.

3. 실내 시험 결과

마샬 배합 설계를 통하여 결정된 최적 아스팔트 함량으로 제작된 5종류의 입도(밀입도19mm, 배수성입도13mm, 19mm, 슈퍼페이브입도19mm, SMA입도19mm)의 아스팔트 혼합물에 개질 첨가재의 함량(0%, 0.5%, 1%)에 대하여 마샬 안정도(KS F 2337), 간접인장강도(KS F 2376), 압축강도, 회복탄성계수(KS F 2376), 휠트랙킹 시험(KS F 2374)을 실시하여 다음과 같은 결과들을 얻었다.

3.1 마샬시험결과

마샬 시험 결과치는 표 3과 같으며 마샬안정도는 그림 1, 흐름값은 그림 2와 같이 나타내었다.

표 3 마샬시험결과

마 샬 시 험 결 과																			
개질 첨가재 함량	밀입도 19mm				배수성 13mm				배수성 19mm				슈퍼페이브 19mm				SMA 19mm			
	안정도	증가율	흐름값	증가율	안정도	증가율	흐름값	증가율	안정도	증가율	흐름값	증가율	안정도	증가율	흐름값	증가율	안정도	증가율	흐름값	증가율
0%	985	-	28.26	-	716.33	-	24.35	-	681	-	25.33	-	1228.33	-	27.8	-	513.67	-	24.56	-
0.5%	1081.33	9.8%	30.56	8.1%	823.50	15%	27.79	14.1%	909.33	33.5%	29.53	16.6%	1451.33	18.2%	32.33	16.3%	861	67.6%	31.73	29.2%
1.0%	1521	54.4%	34.43	21.8%	1178.67	64.5%	33.28	36.7%	1176.67	72.8%	34.7	37%	1680	36.8%	35.1	26.3%	1165.67	127%	36.23	47.5%

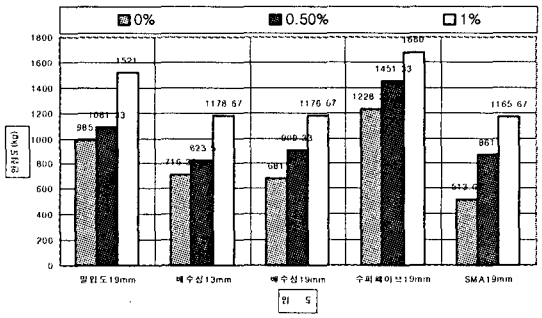


그림 1 마샬안정도 그래프

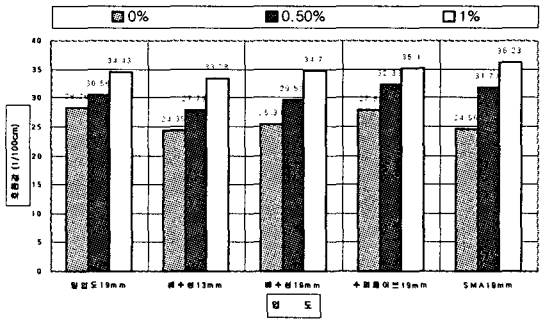


그림 2 흐름값 그래프

3.2 압축강도 시험결과

본 연구에서는 ASTM D 1074를 응용한 CBR2.5 관입시험을 통해 아스팔트 혼합물의 변형에 대한 저항성을 살펴보았다. 시험온도는 KS F 2349 마샬기준에 준하여 무더운 여름철의 온도를 고려하여 60℃에서 실시하였으며 재하속도는 50.8㎜/분으로 시험을 실시하였다. 압축강도 결과는 표 4와 그림 3과 같은 결과를 얻었다.

표 4 압축강도시험결과

압 축 강 도 시 험 결 과										
개질첨가제 함량	밀입도 19mm	증가율	배수성 13mm	증가율	배수성 19mm	증가율	슈퍼페이브 19mm	증가율	SMA 19mm	증가율
0%	34.52	-	13.9	-	13.7	-	34.525	-	18.868	-
0.5%	38.038	10.2%	19.87	42.9%	20.374	48.7%	38.891	12.6%	19.320	2.4%
1.0%	49.228	42.6%	22.78	63.9%	29.658	116%	41.651	20.6%	23.836	26.3%

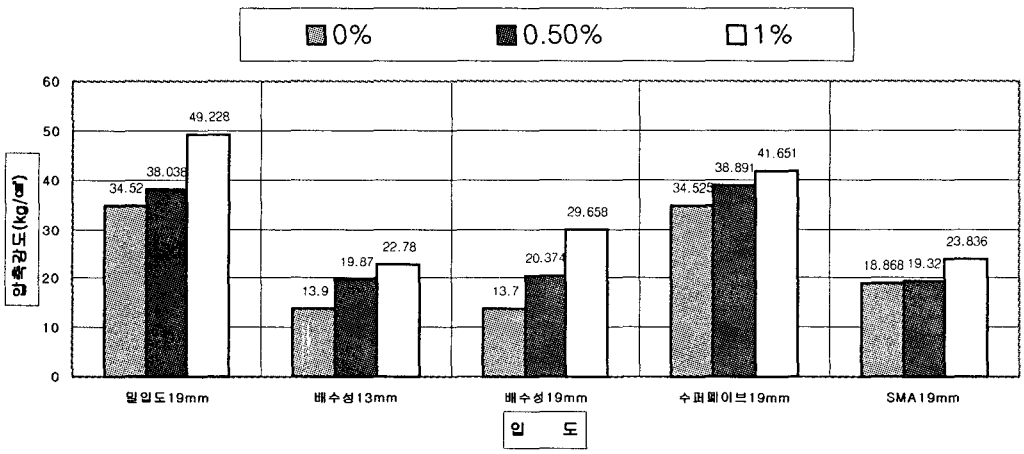


그림 3 압축강도 그래프

3.3 간접인장강도 시험결과

간접인장 시험결과는 표 5과 그림 4와 같다.

표 5 간접인장강도 시험결과

간 접 인 장 강 도 시 험 결 과										
개질첨가재 함량	밀입도 19mm	증가율	배수성 13mm	증가율	배수성 19mm	증가율	슈퍼페이브 19mm	증가율	SMA 19mm	증가율
0%	6.519	-	2.996	-	3.154	-	4.052	-	3.382	-
0.5%	7.27	11.5%	3.561	18.9%	3.929	24.6%	6.154	51.9%	3.522	4.14%
1.0%	7.749	18.7%	4.871	62.6%	5.119	62.3%	7.08	74.7%	4.261	26%

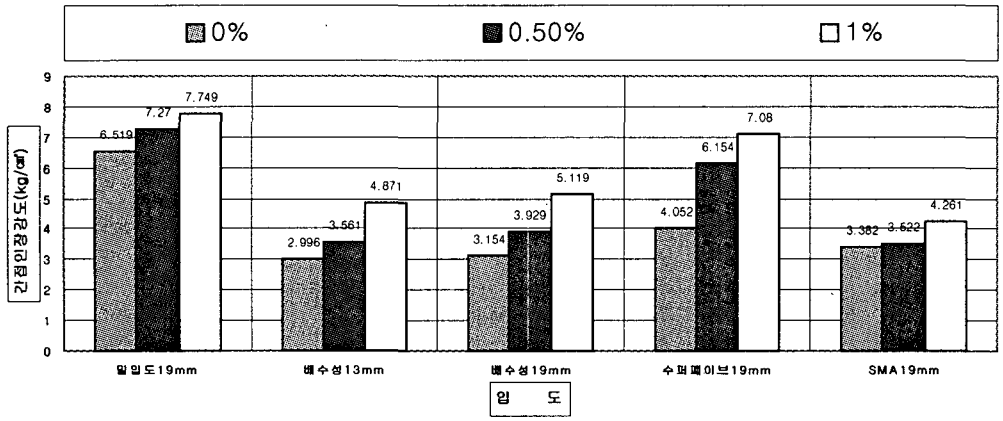


그림 4 간접인장강도 그래프

3.4 휠트랙킹 시험결과

휠트랙킹시험은 여름철과 같은 고온의 포장조건하에서 실제 차량하중이 통과함에 따라 발생하기 쉬운 소성변형을 실내에서 재현하여 평가하는 속성시험으로, 반복주행으로 인한 파퀴패임 깊이의 변화를 측정함으로써 아스팔트 혼합물의 동적안정도(Dynamic Stability)를 결정할 수 있다. 표 6과 그림 5, 6은 각 입도와 개질첨가재의 첨가량에 따른 동적안정도와 변형률을 나타낸 것이고, 그림 7과 그림 8은 휠트랙킹 시험이 끝난 후 시료의 단면을 절단한 모습이다.

표 6 휠트랙킹 시험결과

휠 트 랙 킹 시 험 결 과(건자재 시험연구원 DATA)															
개질첨가재 함량	밀입도19mm			배수성입도13mm			배수성입도19mm			슈퍼페이브입도 19mm			SMA입도19mm		
	동적 안정도 (회/mm)	증가율	변형률 (mm/분)	동적 안정도 (회/mm)	증가율	변형률 (mm/분)	동적 안정도 (회/mm)	증가율	변형률 (mm/분)	동적 안정도 (회/mm)	증가율	변형률 (mm/분)	동적 안정도 (회/mm)	증가율	변형률 (mm/분)
0%	3005	-	0.0140	1192.4	-	0.0353	429	-	0.098	3864.1	-	0.0111	1818	-	0.0231
0.5%	5568	85.3%	0.0076	1433.9	20.3%	0.0293	1093.5	155%	0.0384	5410	40%	0.0078	4067	124%	0.0104
1.0%	6342	111%	0.0067	4212.5	253%	0.0099	3802.3	786%	0.0111	7293.3	88.7%	0.0058	4543	150%	0.0093

※ 배수성 13mm 개질 첨가재 1% : 건설기술연구원 DATA

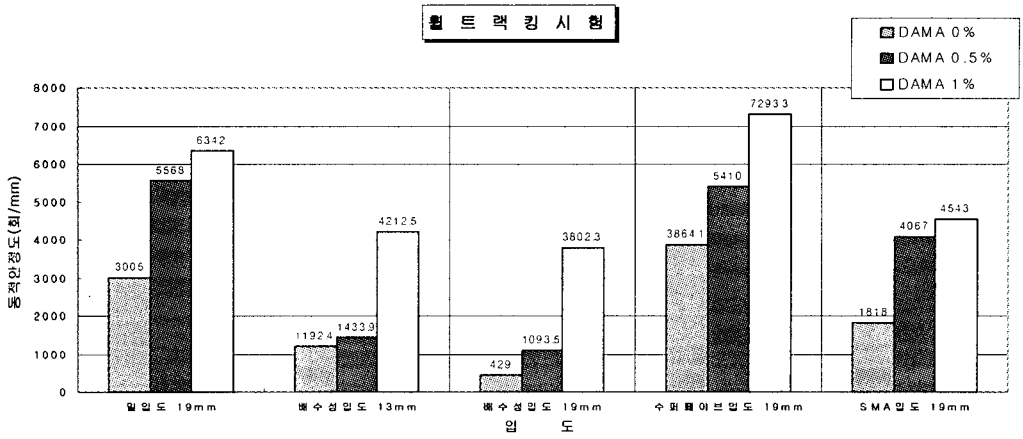


그림 5 동적안정도 그래프

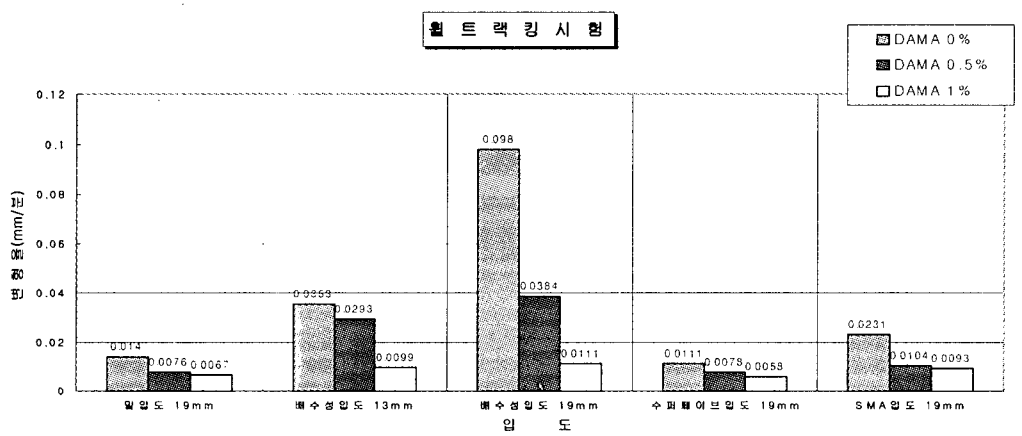
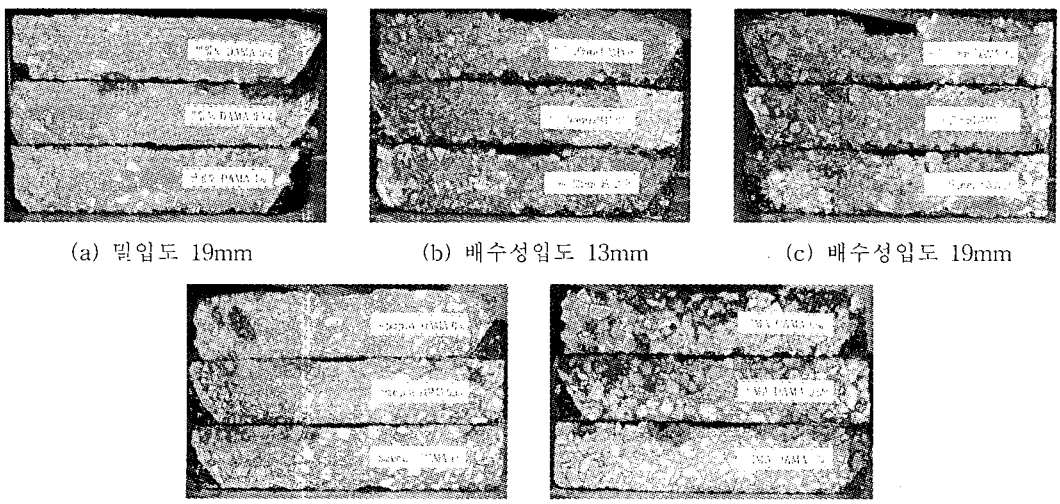


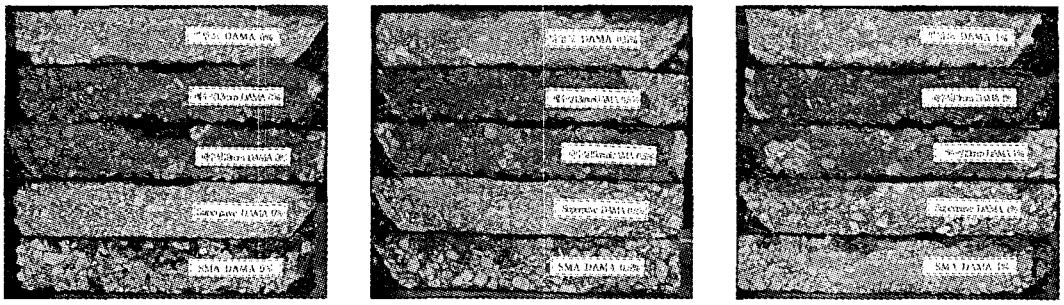
그림 6 변형율 그래프



(a) 밀입도 19mm (b) 배수성입도 13mm (c) 배수성입도 19mm

(d) 슈퍼페이브입도 19mm (e) SMA입도 19mm

그림 7 휠트랙킹 시험 후 혼합물의 단면(입도별)



(a) 개질 첨가재 0%　　(b) 개질 첨가재 0.5%　　(c) 개질 첨가재 1%

그림 8 휠트랙킹 시험 후 혼합물의 단면(개질 첨가재 함량별)

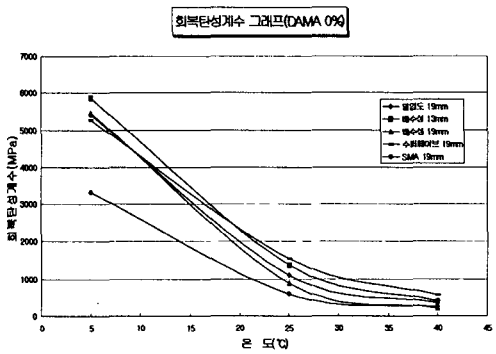
3.5 회복탄성계수 시험결과

회복탄성계수시험은 KS F 2376의 규정에 따라 5℃, 25℃ 및 40℃에서 실시하였다. 회복탄성계수는 온도변화에 따른 혼합물의 감온성을 측정하기 위한 시험으로 각 시험온도에서 온도의 변화에 따라 계수의 변화가 심하지 않을 경우 온도변화에 대한 민감성이 낮기 때문에 우수한 혼합물로 평가하게 된다. 또한, 저온에서의 계수가 낮은 혼합물이 높은 혼합물에 비하여 강성이 낮기 때문에 저온에서 균열 발생이 적은 혼합물로 평가하게 된다. 5가지 입도의 회복탄성계수 실험결과는 다음 표 7과 같다.

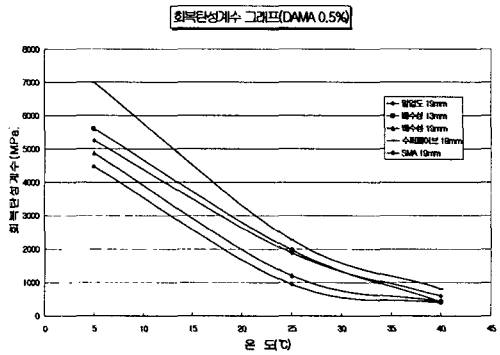
표 7 회복탄성계수 시험결과

구 분		온도별 회복탄성율(건자재 시험원구원 DATA)					
종 류	개질 첨가제 함량(%)	5℃		25℃		40℃	
		MPa	kgf/㎠	MPa	kgf/㎠	MPa	kgf/㎠
밀입도 19mm	0.0	5407	55136	1102	11237	368	3752
	0.5	5246	53494	1883	19201	591	6026
	1.0	6398	65241	3085	31458	1797	18324
배수성입도 13mm	0.0	5850	59653	1385	14123	396	4038
	0.5	5600	57104	1972	20108	425	4333
	1.0	6659	67903	2588	26390	852	8688
배수성입도 19mm	0.0	5462	55697	889	9065	213	2172
	0.5	4864	49599	1206	12297	427	4354
	1.0	6225	63477	2935	29928	1412	14398
슈퍼페이브입도 19mm	0.0	5271	53749	1554	15846	574	5853
	0.5	6994	71319	2272	23168	811	8269
	1.0	6666	67974	3792	38667	2343	23892
SMA 19mm	0.0	3317	33824	585	5965	256	2610
	0.5	4463	45510	945	9636	392	3997
	1.0	4977	50751	2487	25360	1311	13368

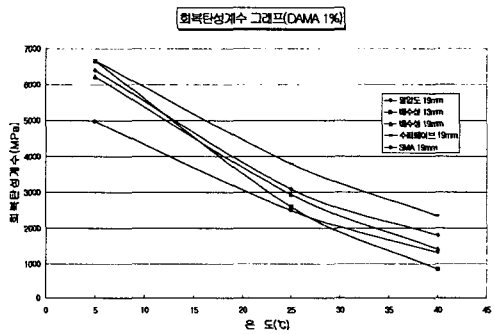
※ 1 MPa = 10.197 kg/㎠



(a) 개질 첨가재 0%



(b) 개질 첨가재 0.5%



(c) 개질 첨가재 1%

그림 9 회복탄성계수 시험결과

3.6 상대강도 계수

본 연구에서 각 입도별 DAMA 함량에 따른 회복탄성계수 결과로 구한 상대강도계수는 표 8과 같다.

표 8 각 입도별 상대강도계수

구 분		AASHTO식에 의한 방법	우리나라 상대강도유도식에 의한 방법 (도로공사)	건설교통부 도로공사 설계 적용기준(2000.8)
종 류	개질 첨가재 함량(%)			
밀입도 19㎜	0.0	0.104	0.100	아스콘 표층(안정도 750kg이상) 상대강도계수 0.157 아스콘 중간층(안정도 500kg이상) 상대강도계수 0.145
	0.5	0.141	0.137	
	1.0	0.175	0.172	
배수성 13㎜	0.0	0.120	0.116	
	0.5	0.145	0.141	
	1.0	0.163	0.160	
배수성 19㎜	0.0	0.090	0.085	
	0.5	0.111	0.107	
	1.0	0.172	0.168	
슈퍼페이브 19㎜	0.0	0.128	0.124	
	0.5	0.154	0.151	
	1.0	0.189	0.186	
SMA 19㎜	0.0	0.061	0.056	
	0.5	0.094	0.090	
	1.0	0.160	0.157	

4. 결 론

본 연구는 5종류(밀입도19mm, 배수성입도13mm, 배수성입도19mm, 슈퍼페이브입도19mm, SMA입도19mm)의 입도를 마샬 배합 설계로 결정된 최적 아스팔트 함량으로 혼합물을 제작하였다. 아스팔트 혼합물 개질재인 개질 첨가재(Drain Asphalt Modify Additive)를 각각의 혼합물에 첨가하므로서 얻을 수 있는 효과를 마샬 안정도, 압축강도, 간접인장강도, 휠트랙킹, 회복탄성계수 등을 측정하여 다음과 같은 혼합물의 성능을 평가하였다.

1. 마샬 배합 아스팔트 혼합물은 혼합물 종류에 따라 안정도 및 흐름치에 다소의 차이를 나타냈으나, 모두 시방규정(밀입도, 슈퍼페이브입도, SMA입도 마샬안정도 500kg이상, 배수성입도 마샬안정도 350kg이상, 흐름치 20~40)을 만족하는 것으로 나타났고, 개질 첨가재 함량이 증가할수록 안정도 값이 증가하였다.
2. 개질 첨가재 함량이 증가함으로서 흐름값이 증가하여 비첨가시 보다 동절기에 취성파괴에 대한 억제효과가 크다.
3. 압축강도는 밀입도 아스팔트 혼합물이 개질 첨가재 함량이 1%일 경우 49.228kg/㎠으로 가장 크게 나타났고, 슈퍼페이브입도, 배수성입도, SMA입도 순으로 나타났다. 동일한 아스팔트 바인더를 사용하였지만 개질 첨가재를 첨가함에 따라 압축강도가 더 높아졌다.
4. 휠트랙킹 시험으로 상대적인 비교를 한 결과 각종 혼합물에 개질 첨가재 함량과 비례하여 동적안정도가 증가하는 것으로 나타났다.
5. 밀입도 19mm와 배수성입도 혼합물이 슈퍼페이브입도 19mm, SMA입도 19mm 혼합물에 비하여 온도변화에 따라 회복탄성계수가 크게 변화하는 것으로 나타났다.
6. 개질 첨가재 함량이 1%일 경우 회복탄성계수로 구한 상대강도 계수는 각 입도별(밀입도19mm 0.172, 배수성입도13mm 0.160, 배수성입도19mm 0.172, 슈퍼페이브입도19mm 0.189, SMA입도19mm 0.157)로 건설교통부 기준에 우리나라의 일반밀입도 표층에 사용하는 0.157보다 큰 값을 나타났다.

참고문헌

1. 아스팔트 포장연구회, 가열 아스팔트 혼합물의 배합설계지침, 1998
2. 한국도로교통협회, 아스팔트포장 설계·시공요령, 1997
3. 최민규, 아스팔트콘크리트 포장의 합리적인 층별 두께에 관한 연구, 2001
4. 한국도로공사, 고속도로 아스팔트 포장 설계법 개선에 관한 연구, 1994
5. Yang H. Huang, Pavement Analysis and Design, 1993
6. E. J. Yoder and M. W. Witczak, Principle of Pavement Design