

CRM 혼합물의 박리저항성 향상 연구

Stripping Improvement of CRM Modified Asphalt Mixtures

김현환* · 김진철* · 라일호* · 도영수** · 김광우***

Hyun H. Kim · Jin C. Kim · Il H. Ra · Young S. Doh Kwang W. Kim

1. 서론

국내의 페타이어 발생량은 국토 단위면적당으로 볼 때 외국에 비하여 상당히 높은 편이다. 페타이어 발생량은 2005년에 275,072톤이었고 2006년에는 282,990톤으로 발생량이 증가하였다. 따라서 페타이어 발생량은 경제성장과 더불어 점점 증가될 것이고 이로 인한 환경문제는 더욱 심각해질 것으로 판단된다. 페타이어의 이용실태를 살펴보면, 2006년도에 시멘트 킬른의 열원 이용, 고무분말 등의 가공이용, 원형이용 등으로 약 79%가 재활용되었다. 이중 시멘트 공장 킬른(소성로)의 열원으로 사용하는 경우가 61.2%로 재활용의 대부분을 차지하였다(대한타이어공업협회, 2006). 그러나 이 과정에서 많은 분진을 발생시키고 시멘트 제품의 유해 중금속이 많이 나타나 페타이어 소각에 따른 환경문제가 현실적으로 크게 대두되고 있다.

고무분말로 가공 이용(2006년도 11.7%)은 1mm 이상의 고무분말을 사용하여, 고무 개질 아스팔트, 도로 실런트, 고무보도블럭, 고무보도포장, 신발, 방진 Mat(기계 설치용, 아파트 층간 방진재), 철도용 방진 매트, 고무분말이 포함된 단열물탈, 흡음제, 자전거 또는 산업 및 농경용차 타이어, 고무디스크, 링, 고무병마개, 채움제, 충격완화제(도로) 등으로 사용되고 있다.

국내에서 김광우 등 (1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999)은 건식 혼합 방법을 사용한 페타이어 고무분말 (Crumb Rubber Modifier: CRM) 개질 아스팔트 콘크리트의 배합설계를 수행하여 국내에서 규정하는 소요의 성질에 적합한 CRM 아스팔트 혼합물을 제조하였다고 보고하였다. 미국 South Carolina 주에서는 Amirkhanian and Kim (2005) 및 Juan 등 (2005)은 페타이어의 습식 방법에 의한 연구를 통하여 극저온 파쇄 CRM보다 상온 파쇄 CRM이 아스팔트 혼합물의 특성을 향상시키는데 더 효과적이라고 하였다. Kim 등(2006)은 CRM 개질아스팔트 바인더의 stiffness ($G^*/\sin \delta$)를 Gel-permeation chromatograph를 이용하여 추정할 수 있음을 보여주었다.

그러나 국내에서는 CRM 개질 아스팔트 콘크리트 포장이 포설된 후 한 해 겨울이 지나면 포장 표면의 골재가 떨어져 나가는 Raveling 현상이 발생되는데 이를 분석해보면 박리가 그 원인인 것으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 국내의 상온파쇄 방법에 의해 생산된 CRM 입자를 바인더 양의 10%로 사용하여 습식 방법과 건식 방법에 의해 제조된 CRM 개질 아스팔트 혼합물에 박리 저항재를 사용하고 동결융해 시험을 통하여 그 효과를 연구하는 것이다.

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

** 강원대학교 지역건설공학과 · 초빙교수 · 033-251-7285(E-mail: youngsdoh@hanmail.net)

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

2. 재료 및 실험

2.1 재료

본 연구의 기본 아스팔트는 국내에서 생산되는 침입도 60-80의 AP-5를 사용하였다. CRM은 상온 파쇄 방법에 의해 생산된 입자 크기가 #30체를 거의 다 통과한 입자를 사용하였다(그림 1). 골재는 편마암(Gneiss) 파쇄 굵은골재와 잔골재(Screenings)를 사용하였고 채움재(Mineral filler)로는 석회석분과 박리저항제인 소석회를 사용하였다. 품질 시험은 KS F에 규정된 방법에 따라 수행하였으며 그 결과는 표 1과 같다. 입도는 건설교통부 13mm 표층용 밀입도 규격에 적합토록 조정하여 사용하였다. 그림 2는 13mm 표층용 밀입도 혼합물의 합성입도를 나타낸다.

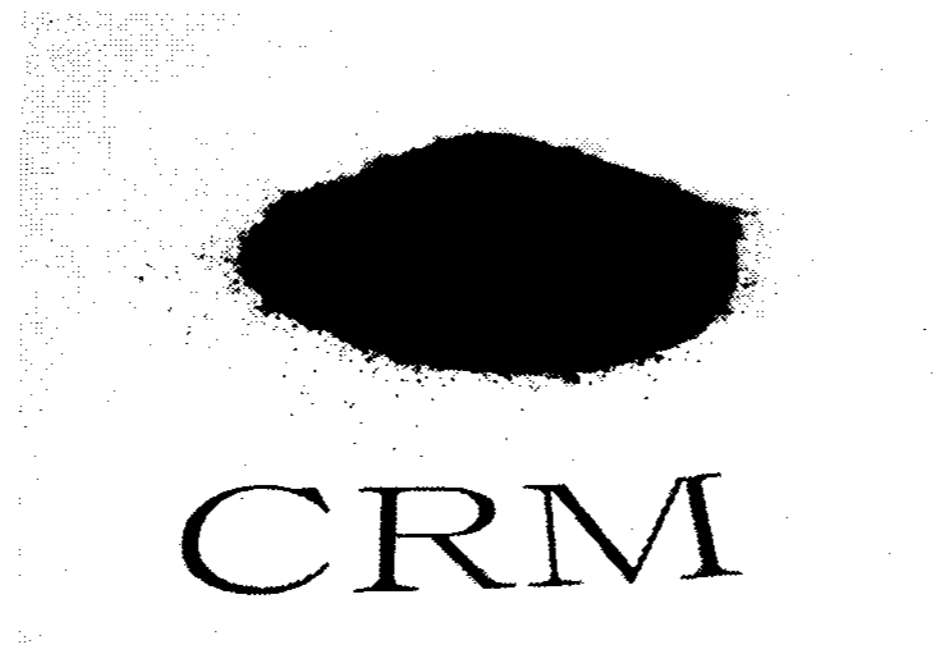


그림 1. CRM(Crumb rubber modifier)

표 1. 편마암 골재 품질 시험 결과

분류	비중	흡수율	마모율
시방기준	> 2.45	< 3.0%	< 35%
13mm 골재	2.60	0.91	24.67
잔골재	2.61	0.79	-
채움재	Filler	-	-
	소석회	2.24	-

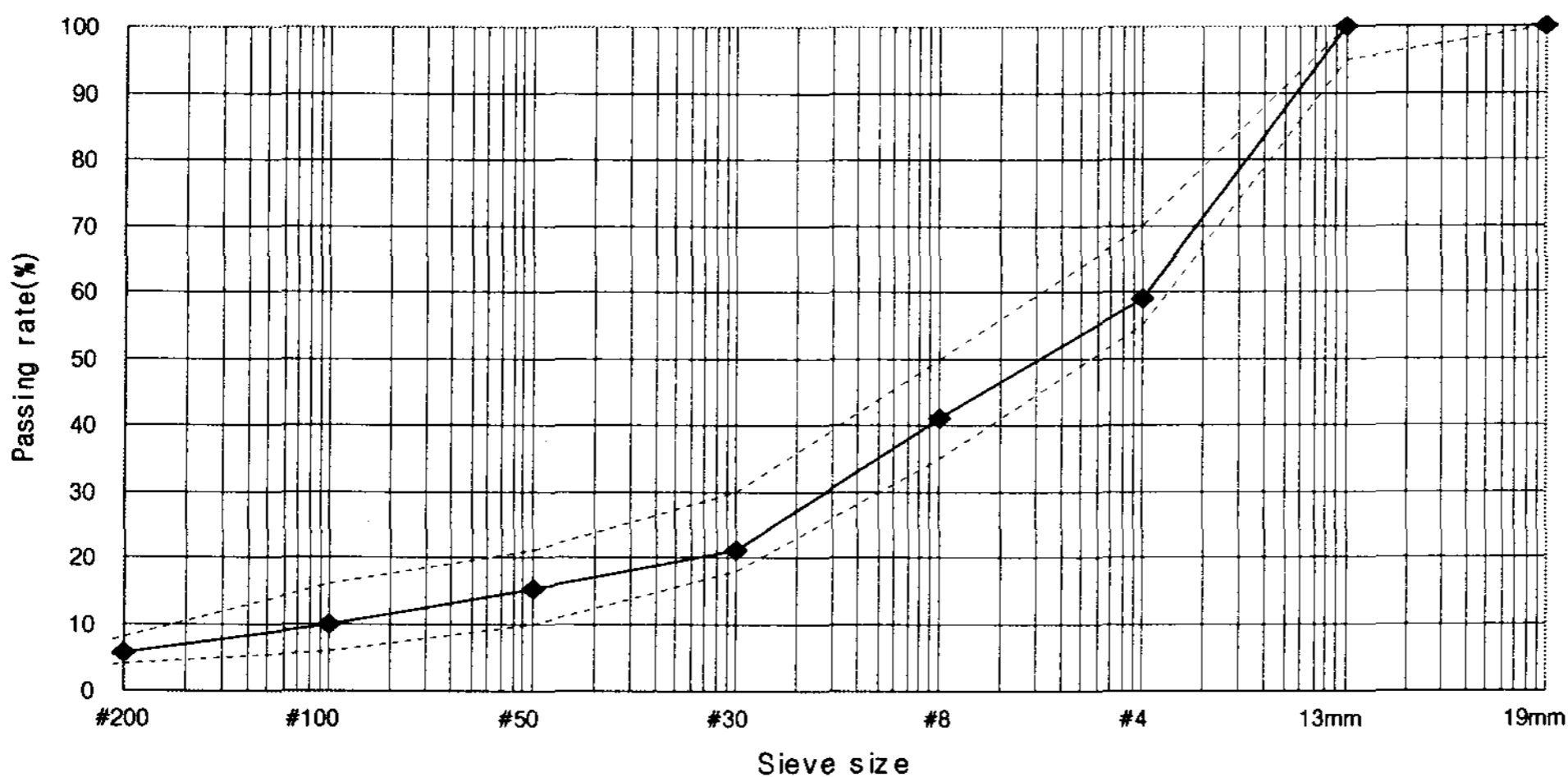


그림 2. 13mm 표층용 밀입도 혼합물 합성입도



2.2 시험

본 연구에서는 CRM 개질 아스팔트 콘크리트 혼합물의 동결융해 저항 특성을 분석하기 위하여 CRM의 첨가 방법을 건식 방법과 습식 방법 두 가지를 사용하여 방법별로 CRM을 바인더량의 10%씩 첨가하였다. 각각의 CRM 개질 아스팔트 혼합물은 마샬 배합설계의 양면 75회 다짐에 의해 표층용 아스팔트 혼합물 기준으로 최적아스팔트함량 (OAC: optimum asphalt content)을 결정하였다. 박리저항제의 첨가량을 혼합물 중량의 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%로 변화시켜가며 공시체를 제작하여 그 효과 분석을 위한 동결융해 시험을 수행하였다.

2.2.1 동결융해 시험

아스팔트 혼합물은 물과 접촉함에 따라 역학적 특성이 저하되는데 이는 골재를 둘러싼 아스팔트 피막이 벗겨지는 박리현상이 주된 원인이다. 또한 공극에 침투한 물이 동결되면 부피가 늘어나며 내부응력을 유발하고, 이 응력에 의해 균열이 발생되어 혼합물의 강도가 저하된다. 이러한 현상은 혼합물 내 골재들을 결합시켜 주는 아스팔트의 결합력이 약한 경우에 더욱 심하게 나타나고, 골재와 아스팔트 간의 친화력과도 깊은 관계가 있다.

본 연구에서는 AASHTO 방법으로 공시체를 동결융해 처리하였다. 이 방법은 25℃의 아스팔트 공시체를 물로 완전 포화시킨 후 6시간 동안에 -18℃로 온도를 하강시키고 이후 14시간 동안 -18℃로 유지시킨 후에 공시체를 60℃ 물에 22시간 수침시켜 총 48시간을 동결융해 처리시킨다. 이후 25℃ 물에 2시간 동안 수침시켜 공시체가 완전히 25℃가 되게 한 후 간접인장강도(ITS)를 측정하였다. 동결융해 시험에 의해 구해지는 인장강도 비는 식 (1)로 구한다.

$$\text{인장강도비 (Tensile strength ratio : TSR(\%))} = \frac{\text{동결융해 후 인장강도}}{\text{무처리 인장강도}} \times 100 \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 배합설계

CRM 10%를 첨가한 습식 방법과 건식 방법 배합설계 결과를 표 2에 나타내었다. 결과에서 보듯이 습식 방법과 건식 방법으로 개질한 CRM 개질 아스팔트 혼합물이 규정을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 마샬 안정도의 경우에는 CRM 개질 아스팔트 혼합물이 일반 AP-5 혼합물에 비하여 높게 나타났으며 건식 보다는 습식이 더 크게 나왔다.

표 2. 마샬 배합설계 결과

구분	AP 함량	공극률(%)	포화도(%)	안정도(kgf)	흐름(0.1mm)
Specification	-	3-5	70-85	>750	20-40
건식CRM 10%	5.9	3.28	77.74	1,556	34
습식CRM 10%	6.0	3.31	80.51	1,659	33



3.2 동결융해 시험

소석회 첨가량과 개질 방법에 따른 혼합물의 간접인장강도와 동결융해처리 후 간접인장강도 및 인장강도비(TSR: Tensile strength ratio)를 표 3과 표 4에 나타내었다.

표 3. 소석회 첨가량에 따른 CRM 10% 건식배합 아스팔트 혼합물의 동결융해 결과

Mixture	소석회 첨가량(%)	ITS (kgf/cm ²) ①	ITS after freeze/thaw (kgf/cm ²) ②	TSR (%) [②/①×100]
CRM-10% 건식배합	0	10.50	6.50	61.9
	0.4	10.44	7.41	70.9
	0.6	8.74	6.32	72.4
	0.8	8.93	6.71	75.2
	1.0	9.95	8.20	82.4

표 4. 소석회 첨가량에 따른 CRM 10% 습식배합 아스팔트 혼합물의 동결융해 결과

Mixture	소석회 첨가량(%)	ITS (kgf/cm ²) ①	ITS after freeze/thaw (kgf/cm ²) ②	TSR (%) [②/①×100]
CRM-10% 습식배합	0	10.40	4.70	41.9
	0.4	7.66	5.65	73.7
	0.6	8.56	6.50	75.9
	0.8	7.39	6.03	81.6
	1.0	8.81	7.15	81.1

표 3과 표 4에서 알 수 있듯이 소석회의 첨가량이 늘어날수록 TSR 값 역시 커지는 것으로 나타났다. 소석회를 첨가하지 않은 CRM 10%의 혼합물의 경우에는 TSR이 50% 이하로 매우 낮은 반면 소석회 0.4% 첨가만으로도 확연하게 TSR이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 소석회를 첨가한 TSR의 최고는 건식배합의 소석회 첨가량 1%에서 가장 높게 나왔지만 평균적으로 습식배합에서의 TSR이 다소 높다는 것을 알 수 있다. 이는 건식배합 방법 보다는 습식배합 방법이 골재의 결합력이나 역학적 특성 면에서 더 우수하다는 것을 의미 한다. 그림 3은 건식 및 습식 배합의 TSR을 비교하여 나타낸 그래프이다. 여기서 건·습식 혼합물에 다소 차이는 있으나 안정적으로 외국에서의 적용 기준인 TRS 75%를 넘으려면 건식은 0.8%, 습식은 0.6%가 소요 첨가량으로 보인다.

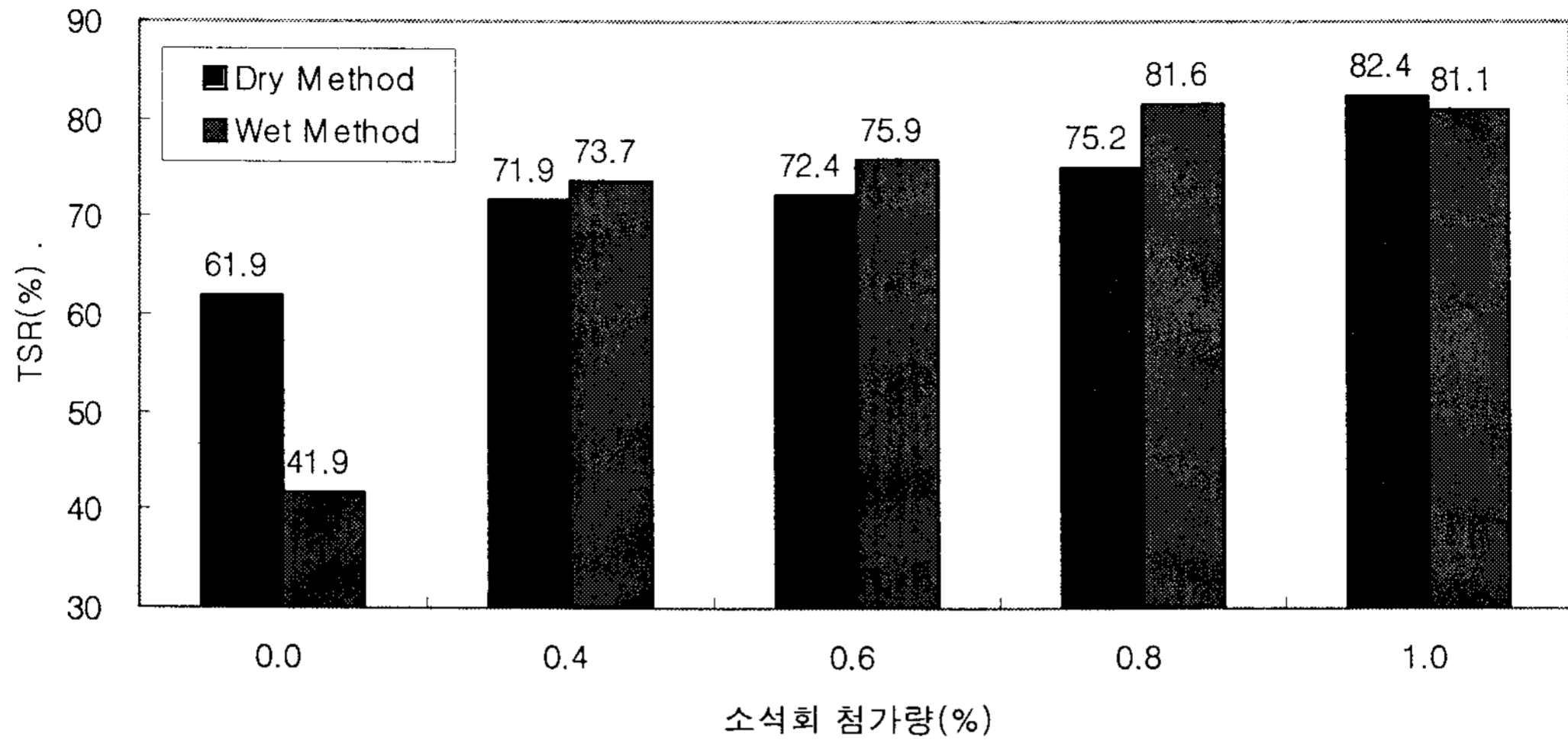


그림 3. CRM 10% 건식 및 습식 혼합물의 TSR 비교

4. 결론

본 연구는 #30체 통과 페타이어어 분말(CRM)을 바인더 량의 10% 첨가하여 습식 및 건식 방법으로 개질한 CRM 개질 아스팔트 혼합물에 대한 수침취약성 시험을 통하여 박리 저항성을 분석하였다. 박리 저감제는 소석회를 사용하였으며 혼합물 중량의 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%를 첨가하여 박리 저항성 향상에 대해 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) CRM 10% 건식 및 습식배합 방법에 의한 개질아스팔트 혼합물의 배합설계 결과는 모든 규정을 만족하였고, 건식배합 방법보다는 습식배합 방법의 안정도가 높게 나타났다.
- 2) CRM 10% 개질 아스팔트 혼합물은 건식 및 습식을 불문하고 동결융해 후 인장강도 유지비(TSR)가 70% 이하로 낮은 반면 소석회 0.4% 첨가만으로도 확연하게 TSR이 증가하는 것을 알 수 있었다.
- 3) 이는 박리저감제로 사용된 소석회가 CRM 개질 아스팔트 혼합물의 박리저항성 향상에 효과가 있음을 의미한다. 건식과 습식혼합물에 다소 차이는 있으나 안정적으로 TRS 75%를 넘으려면 건식의 경우 0.8%, 습식의 경우 0.6%가 소요 첨가량으로 나타났다.
- 4) 건식 및 습식 방법에 의한 CRM 개질 아스팔트 혼합물의 소석회 첨가에 따른 TSR은 건식 CRM 개질 아스팔트 혼합물보다 습식이 소석회 함량 1.0%를 제외하고 전체적으로 더 높게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 석재복합 건설신소재연구소의 시설과 건설교통부 지원 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것입니다.



참고문헌

1. 대한타이어공업협회 (2007), "연도별재활용현황," <http://www.kotma.or.kr>
2. 김광우, 최영규, 박용철 (1995), "페타이어 고무아스팔트 콘크리트의 배합설계," 대한토목학회 학술발표회 논문집, " 중앙대학교, 503-506
3. 김광우, 최영규, 정규동 (1996), "CRM 아스팔트 콘크리트의 특성 연구," 대한토목학회 학술발표회 논문집 (II).
4. 김광우 (1997), "건식혼합 페타이어 아스팔트 혼합물의 국내 적용성연구," 제 221회 산학연교류회 논문집, 한국과학재단.
5. 김광우, 최영규 (1988), "표층재료로 건식혼합 페타이어 아스팔트 혼합물의 적용성 연구," 대한토목학회 논문집, Vol. 18, No. III-2, 173-181.
6. 김광우, 권승준, 이지용, 이순제 (2000), "폴리머 개질 건식혼합 CRM 아스팔트 콘크리트의 특성," 대한토목학회논문집, 제 20권, 제1-D호, 57-65.
7. Amirkhanian, S. N. (1992), "A Feasibility study of the use of waste tires in asphalt concrete mixtures," Report No. FHWA-SC-92-04, Federal Highway Administration, Washington. D.C.
8. Amirkhanian, S. N. and Arnold, L. C. (1993), "A Laboratory and field investigation of rubberized asphalt concrete mixture (Pelham road)," Report No. FHWA-SC-93- 02, Federal Highway Administration, Washington. D.C.
9. Amirkhanian, S. N. and Kim, K. W. (2005), "Rutting index prediction of rubber- modified binder using HP-GPC," Proceedings of 5th ICPT, Ed. by Kim, 392-398.
10. Gowda, G. V., Hall, K. D., and Elliott, R. P. (1996), "Arkansas' Experience with Crumb Rubber Modified Mixes Using Marshall and SHRP Level 1 Design Methods," Annual Conference of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
11. Juan, S., Amirkhanian, S. N. and Kim, K. W. (2005), "The influence of crumb rubber modifier (CRM) microstructure on rheological property of CRM modified binder," Proceedings of 5th ICPT, Ed. by Kim, May 2005, 481-487.
12. Heitzman, M, A. (1992), "States of the practice-design and construction of asphalt paving materials with crumb rubber modifier," Pub. No. FHWA-SA-92-022, FHWA, US Dept. of Transportation.
13. Kim, K. W. and Amerkhanian, S. N. (2004), "Analysis of rheology of rubberized binder using GPC," Proceedings, 5th Symposium of Binder Rheology and Pavement Performance, Baltimore, MD, USA.
14. Kim, K. W., Lee, S. J., Amirkhanian, S. N., "Estimation of rutting characteristics of waste tire rubber- modified asphalt binder using GPC," Proceedings of Urban Transport XII (ISBN: 1-84564-179-5), Prague, July 2006. 463-473
15. Svec, O. J. and Veizer, R. (1994), "Structural Strength of Asphalt Rubber Concrete Developed Through Stone Mastic Asphalt Concrete," Paper No. 940941, Transportation Research Board 73rd Annual Meeting, 1994. January.
16. Stroup-Gardiner, M., Chadbourn, B., and Newcomb, D. E. (1996), "Babbit, Minnesota: A Case Study of Pretreated Crumb Rubber Modified Asphalt Concrete," Paper No. 960827, 75th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
17. Veizer, R. (1993), "Design of a crumb rubber modified asphalt pavement using the stone mastic asphalt concept," MS. dissertation, University of Ottawa, Canada.