



CRM 개질아스팔트 혼합물의 소성변형 및 박리저항 특성

Evaluation of Stripping and Rutting Properties of CRM Modified Asphalt Mixtures

도 영 수* 박 태 원** 김 현 환** 김 광 우***
Doh Young S. Park Tae W. Kim Hyun H. Kim Kwang W.

Abstract

Evaluation of the asphalt mixture modified with crumb rubber modifier (CRM) was performed to estimate possibility of using it as a paving material. OACs (optimum asphalt content) of CRM modified asphalt mixtures by dry process and wet process were determined by Marshall mix design and Wheel tracking test and moisture susceptibility test by freezing and thawing were carried out with CRM modified asphalt mixtures at OACs. The results from these tests, resistance of permanent deformation of CRM modified asphalt mixtures were superior to one of AP-5 while showing very low resistance of moisture sensitivity by freezing and thawing. This means that CRM modified asphalt mixtures are very sensitive to freezing and thawing. However, CRM modified asphalt mixture with anti-stripping material showed high improvement to resistance of moisture susceptibility by freezing and thawing. Therefore, it is recommended that when CRM mixtures were used in domestic, CRM modified asphalt mixtures should be with prevention against freezing and thawing resistance by moisture susceptibility.

Keywords : CRM modified asphalt mixture, dry process, wet process, permanent deformation, freezing and thawing resistance, moisture susceptibility

요 지

본 연구는 산업부산물인 페타이어인 #30 체를 거의 다 통과한 CRM 입자를 아스팔트 콘크리트 혼합물의 개질재로서 8%, 10%, 12%를 각각 습식 및 건식방법의 CRM 개질아스팔트 혼합물에 대하여 동결융해에 의한 수분취약성 시험을 통하여 동결융해저항성을 평가하였다. 건식 및 습식방법에 의한 CRM 개질아스팔트 혼합물의 배합설계를 통하여 최적아스팔트 함량을 결정하였고, OAC로 제조한 CRM 개질 혼합물은 반복주행시험과 수분취약성시험을 수행하였다. 그 결과, CRM 개질아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성은 일반 AP-5 혼합물보다 우수하게 나타났다. 그러나 수분취약성시험에 의한 동결융해 저항성이 상당히 낮게 나타나 동결융해에 의한 수분취약성에 아주 민감한 것으로 나타났다. 반면에, CRM 개질아스팔트 혼합물에 박리저항제의 첨가는 동결융해에 의한 수분취약성에 대한 저항성을 상당히 향상시키는 것으로 나타났다. 따라서 국내에서 CRM 개질아스팔트 혼합물을 사용할 때에는 반드시 수분취약성에 대한 동결융해저항성에 대한 예방책이 제시된 혼합물을 사용될 것이 권장된다.

핵심용어 : 페타이어, CRM, 수분취약성시험, 동결융해저항성, 건식방법, 습식방법, 소성변형, 개질아스팔트 혼합물

* 정희원 · 강원대학교 석재복합신소재연구소 연구교수

** 정희원 · 강원대학교 지역기반공학과 석사과정

*** 정희원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수



1. 서론

국내의 페타이어 발생량은 국토 단위면적당으로 볼 때 외국에 비하여 상당히 높은 편이다. 2002년부터 2004년까지의 페타이어는 타이어 교체시 80~85%, 자동차 폐차시 15~20%가 발생하는 것으로 나타났다. 페타이어 발생량은 2005년에 275,072톤이었고 2006년에는 282,990톤으로 발생량이 증가하였다. 앞으로 페타이어 발생량은 경제 성장과 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 킬른(소성로)의 열원으로 사용하는 경우가 61.2%로 재활용의 대부분을 차지하였다(대한타이어공업협회, 2006). 그러나 이 과정에서 많은 분진을 발생시키고 시멘트 제품에 유해 중금속량이 많이 나타나 페타이어를 연료로 사용함에 따른 환경문제가 현실적으로 크게 대두되고 있다.

페타이어를 분쇄한 입자(Crumb rubber modifier : CRM)로의 가공이용(2006년도 11.7%)은 대부분 1mm 전후 크기의 고무입자가 사용되며, 고무 개질아스팔트, 도로 실런트, 고무 보도블럭, 고무 보도포장, 신발, 방진 Mat(기계설치용, 아파트 층간방진재), 철도용 방진 매트 등이 있다. 그리고 고무분말이 포함된 단열물탈, 흡음재, 자전거 또는 산업 및 농경용차타이어, 고무디스크, 링, 고무병마개, 채움재, 충격완화재(도로) 등으로도 사용되고 있다.

국내에서 김광우 등 (1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999)은 CRM을 아스팔트 믹서에 바로 투입하는 건식혼합방법을 사용한 CRM 개질아스팔트 콘크리트의 배합설계를 수행하여 국내에서 규정하는 소요의 성질에 적합한 CRM 아스팔트 혼합물을 제조하였다고 보고하였다. 미국 South Carolina 주에서는 CRM 첨가 아스팔트 콘크리트 혼합물에 대한 실험실 및 현장조사 프로젝트로 건식방법으로 약 1

마일의 도로를 포장하였다(Amirkhanian 1992, Amirkhanian and Arnold 1993). 공용성능상으로 성공적이거나 현장 코어의 골재입도분석결과 전반적으로 입도분포가 아래 부분으로 나타났으며, 아스팔트 바인더의 양은 재래의 추출방법으로는 결정하기가 어렵다고 하였다. 수분취약성을 나타내는 인장강도비는 시간에 따라 상당히 향상되는 것으로 나타났지만 마찰저항성은 불만족스럽고 다른 기관에 의해 보고된 기대치와 일치하지 않았다고 하였다. 그 외에도 많은 연구가 수행되어 CRM 개질아스팔트 혼합물은 충분히 실용성이 있어 실제 외국은 물론 국내에서도 많은 포장에 CRM 개질아스팔트로 이루어져 왔다(Gowda 1996, Heitzman 1992, Juan et al 2005, Kim and Amirkhanian 2004).

Amirkhanian and Kim (2005) 및 Juan 등 (2005)은 페타이어의 습식방법에 의한 연구를 통하여 페타이어의 파쇄방법에 따른 효과에 있어서 극저온 파쇄된 페타이어의 CRM보다 상온파쇄된 페타이어의 CRM이 아스팔트 혼합물의 특성을 향상시키는 데 더 효과적이라고 하였다.

캐나다의 Veizer(1993)는 표층용으로 SMA 개념을 기층용으로 LAM (large aggregate mix) 개념을 적용한 결과, CRM 개질아스팔트 시멘트를 사용한 SMA 혼합물이 일반 SMA 혼합물보다 우수한 것으로 나타났으며 그중 CRM 함량이 10%인 아스팔트 바인더를 사용한 것이 가장 우수한 특성을 보였다. 또한 이 연구는 유럽에서 일찍이 개발되었으나 캐나다에서는 골재의 성질상 각광을 받지 못했던 SMA에 페타이어 재료의 유연성 등을 이용함으로써 그 사용 가능성이 있음을 보여 주었다(Svec and Veizer 1994).

Stroup-Gardiner 등 (1996)은 1993년에 2.38mm 이하의 CRM을 저점도 석유제품으로 처리하여 건식법으로 아스팔트 혼합물을 제조한 후 온도 변화의 영향, 수분취약성, 저온거동 등을 실험하여 5곳에 시험 포장을 한 결과 CRM 아스팔트 혼합물은 저온에서 우수한 성질을 보이고 온도응력에 대한 저항성이 좋은 것으로 나타났고 수분취약성도 양호하



였다고 보고하였다.

외국에서는 이와 같이 고부가가치가 있는 페타이어에 대하여 많은 연구가 여러 분야에서 수행되어 왔다. 특히 아스팔트 콘크리트포장 재료의 개질재로서 연구가 많은 국가 및 그 나라의 주정부산하에서 수행되어 왔다. 그러나 외국의 자료를 그대로 국내에 들여와와 적용한다는 것은 그곳의 기후조건과 재료조건 등이 국내와 많이 다르기 때문에 문제가 있다고 할 수 있다. 더구나 국내에서는 CRM 개질아스팔트 콘크리트포장이 포설된 후 한 해 겨울이 지나면 포장표층의 표면이 떨어져 나가는 박리현상이 발생되어 공용수명이 짧다. 하지만 이러한 문제를 해결하기 위한 연구가 전혀 이루어지지 않아 왔다. 따라서 본 연구의 목적은 국내의 상온파쇄방법에 의해 생산된 CRM 입자로 습식과 건식방법으로 제조한 CRM 개질아스팔트 혼합물에 대해 반복주행시험과 수분취약성 시험을 수행하여 소성변형저항성 및 동결융해저항성을 평가하고 CRM 개질아스팔트 혼합물의 사용성에 관하여 제언을 하고자 하는 것이다.

2. 재료 및 실험

2.1 재료

본 연구에서 골재는 편마암(Gneiss)으로서 파쇄된 굵은골재와 잔골재(Screenings)를 사용하였고 채움재(Mineral filler)로는 석회석분을 사용하였다. 이들을 KS F에 규정된 방법에 따라 품질시험하였으며 그 결과는 표 1과 같다. 또한 굵은골재 최대치수를 13mm로 하여 잔골재, 채움재와 혼합하여 건설교통부 13mm 표층용 밀입도 규격에 적합한 입도로 표 2와 같이 조정하여 사용하였다.

본 연구의 기본 아스팔트 바인더는 국내에서 생산되는 AP-5 (Pen. grade 60-80)의 아스팔트를 사용하였다. CRM은 상온파쇄방법에 의해 생산된 입자크기가 #30체를 거의 100% 통과한 입자를 사용하

였으며 그림 1과 같고 CRM의 입도분포는 표 3과 같다. 또한 혼합물의 박리저항성을 향상시키기 위하여 소석회를 박리저감제로 filler량의 50%를 소석회로 대체하여 사용하였다.

표 1. 편마암의 골재 품질시험결과

분류	시방 기준	13mm 골재	잔골재	Filler
비중	> 2.45	2.686	2.696	2.75
흡수율	< 3.0%	1.143	1.297	
마모율	< 35%	22.44		

표 2. 편마암의 골재의 입도분포

체	표층용 밀입도 기준		배합입도
	하한	상한	
19mm	100	100	100.00
13mm	95	100	99.96
#4	55	70	58.17
#8	35	50	41.39
#30	18	30	23.63
#50	10	21	15.22
#100	6	16	8.66
#200	4	8	5.32

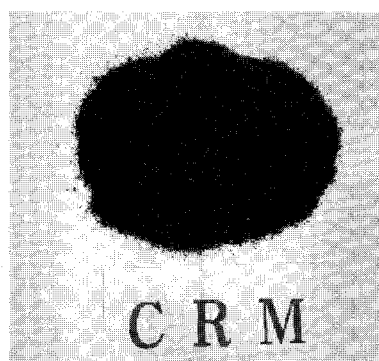


그림 1. CRM (Crumb rubber modifier)

Juan 등 (2005)의 연구결과에 의하면 CRM은 페타이어를 극저온파쇄한것보다 상온파쇄로 제조된 것이 아스팔트 혼합물의 특성을 향상시키는데 더 효과



적이라고 하였다. 따라서 본 연구에서는 국내 생산된 입자 크기 #30체를 거의 100% 통과한 미분을 사용하였으며 CRM의 입자분포는 표 3과 같다.

표 3. Gradation of CRM

Sieve	#30	#50	#100	#200	pan
Passing (%)	99.85	26.98	6.37	0.81	0.00

2.2 시험

본 연구에서는 CRM 개질아스팔트 혼합물을 동결 용해 처리하여 박리저항특성을 분석하기 위한 시험에 진식방법과 습식방법을 모두 사용하였다. 두 방법 모두 CRM의 첨가량은 8%, 10%, 12% 세 가지로 하였다. 진·습식방법에 의한 각 CRM 개질아스팔트 혼합물은 마샬 다짐기로 양면 75회 다짐하여 표준용 아스팔트 혼합물의 배합설계방법으로 최적아스팔트 함량 (OAC: optimum asphalt content)을 결정하였으며, 각각의 OAC로 혼합물을 제작하여 아래와 같은 시험을 수행하였다.

2.2.1 반복주행시험 (Wheel tracking test)

본 시험에서는 배합설계를 거쳐 결정된 최적 아스팔트 함량으로 305×305×62mm의 슬래브 공시체를 공극률 4±0.5 를 목표로 제작하여, 24시간 양생 후 60℃에서 6시간 이상 보관후 반복주행시험을 수행하였다. 그림 2는 반복주행시험기에 아스팔트 슬래브 공시체를 거치한 내부광경을 보여준다. 반복주행시험기는 지름 200mm, 너비는 53mm로 한 강재(鋼材) 바퀴를 사용하였으며, 이 바퀴의 왕복주행회수에 따른 수직침하량을 측정하였다. 또한 강재와 아스팔트 콘크리트의 직접접촉에 의한 골재의 파손 등을 방지하기 위하여 얇은 폴리프로필렌 부직포를 공시체 표면에 덮었다. 차륜축하중은 70kgf, 주행거리는 200mm이며 분당 42회 왕복속도로 1.5시간에 3,600cycle (7,200 pass)의 반복주행에 따른 침하

량을 축에 설치한 LVDT를 통해 측정·기록하였다. 시험결과로 최종침하 깊이(Rut depth: RD)와 혼합물이 1mm 침하되는데 요구되는 주행회수(pass)를 의미하는 동적안정도(Dynamic stability: DS)를 구하였다. 반복주행시험에서 동적안정도가 크고 침하 깊이가 작을수록 소성변형에 대한 저항성이 우수하다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 KS방법의 동적안정도 산출방법(KS F 2374, 2000.)과 초기점인 500cycle, 중앙점인 1,800cycle, 종점인 3,600cycle의 기울기 역수(m_i)를 취해서 더한 값을 사용하였다(김광우 등 2006). 즉, 새로운 동적안정도 산출방법은 식 (1)과 같다.

$$DS_2(\text{pass/mm}) = 2 \times \left[\frac{500}{D_{500}} + \frac{1,800}{D_{1,800}} + \frac{3,600}{D_{3,600}} \right] \quad (1)$$

여기서 D_{500} = 500cycle 에서의 침하깊이(mm)

$D_{1,800}$ = 1,800cycle 에서의 침하깊이(mm)

$D_{3,600}$ = 3,600cycle 에서의 침하깊이(mm)

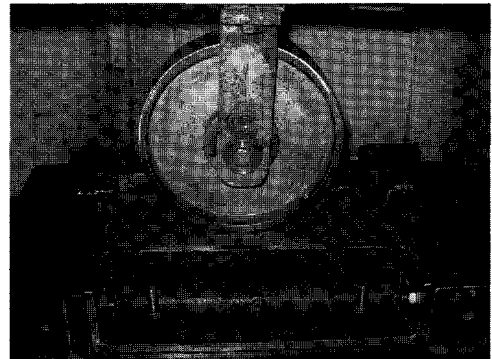


그림 2. 반복주행시험장치

2.2.1 수분취약성 시험

아스팔트 혼합물은 물과 접촉함에 따라 취약해진 다. 이는 골재를 에워싸고 있는 아스팔트 바인더의 피막이 골재로부터 벗겨지는 박리현상에 주로 기인한다. 또한 물을 포함한 혼합물이 동결하면 공극 내의 수분이 팽창하여 내부응력을 유발하고, 이 내부응



력에 의하여 미세균열이 발생되어 혼합물의 강도가 저하된다. 이러한 현상은 혼합물내 골재들을 서로 결합시켜 주는 아스팔트 바인더의 결합력이 약한 경우에 더욱 심하게 나타나며, 골재와 아스팔트 바인더의 친화력과도 깊은 관계가 있다.

본 연구에서는 아스팔트 혼합물 공시체의 동결융해처리를 세 가지 방법으로 수행하였다. 첫 번째 방법 ④는 AASHTO 방법으로 세 가지 방법 중 아스팔트 혼합물에 최고 강한 동결융해조건을 적용하는 것이다. 즉, 25℃ 상온의 아스팔트 공시체를 진공을 사용하여 물로 완전 포화시킨 후 이 공시체를 -18℃로 6시간 동안에 온도를 하강시키고 이를 14시간 동안 -18℃로 유지하고 다시 6시간 동안에 20℃로 온도를 상승시킨 후 공시체를 60℃ 물에 22시간 수침시켜 총 48시간을 처리시킨 후 이를 25℃ 물에 2시간 수침후 간접인장강도(Indirect tensile strength: ITS)를 측정하였다.

두 번째 방법 ⑤는 ④의 동결융해의 조건을 수정한 것이다. 즉, 1 사이클을 25℃ 공시체를 5시간 동안에 -18℃로 온도를 하강시켜 5시간 유지하고 다시 5시간 동안에 25℃의 온도로 상승시켜 5시간을 25℃로 유지하여 총 20시간의 동결융해처리한 후 공시체를 25℃ 물에 1시간 유지후 ITS 시험을 수행하였다.

세 번째 방법 ⑥는 ASTM D 4867/D 4867M-04의 방법에 의한 동결융해 처리이다. 이 방법은 아스팔트 공시체를 완전 포화시키는 것이 아니라 525mmHg 진공으로 공극의 55~80%를 포화시킨다. 이렇게 포화된 공시체를 랩으로 단단하게 두 겹으로 싸고 테이프를 고정한다. 이 공시체들을 지퍼 잠금 등의 비닐 백에 넣고 약 3ml의 증류수를 넣고 잠근다. 공시체를 -18±2℃로 15시간 이상 동결시킨 후 공시체를 꺼내어 비닐 백에 들어있는 상태에서 60±1℃에서 24시간 동안 수침한다. 공시체 표면이 융해된 수침 3분 후에 비닐 백과 랩을 제거하고 수침 처리된 공시체를 25±1℃ 수조에서 1시간 유지시킨다. 그런 다음 간접인장강도를 측정한다. 수분취약성

시험에 의해 구해지는 인장강도비는 다음 식 (2)에 의하여 구한다.

$$\text{인장강도비}(\%) = \frac{\text{동결융해 처리 후 인장강도}}{25^\circ\text{C 인장강도}} \times 100 \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 배합설계

CRM 첨가비율에 따른 CRM 개질아스팔트 혼합물의 배합설계결과를 표 3에 나타내었다. 표 4에서, 건식 및 습식으로 개질한 CRM 개질아스팔트 혼합물이 규정에 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한 마찰안정도는 개질하지 않은 Control (AP-5)에 비하여 상당히 상승하였고, 건식보다는 습식이 더 큰 상승을 보였다. 첨가비율에 따라서는 12%의 CRM 첨가가 가장 높게 나타났다.

표 4. 마찰 배합설계 결과

특성	규격	AP-5	CRM8% 건식	CRM10% 건식	CRM12% 건식	CRM8% 습식	CRM10% 습식	CRM12% 습식
OAC (%)	-	4.9	5.3	5.4	5.6	5.3	5.5	5.7
공극률 (%)	3~6	4.08	4.32	3.93	4.73	3.76	3.85	4.26
포화도 (%)	70~85	73.58	73.82	77.15	76.13	76.46	76.88	75.31
안정도 (kg)	> 750	1,236	1,513	1,692	1,797	1,714	1,757	1,806
흐름값 (0.1mm)	20~40	28	32	38	39	34	36	35

3.2 반복주행(Wheel tracking) 시험

반복주행시험 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 일반 AP-5의 최종침하 깊이가 7.41mm로 나타난 반면에 CRM 개질아스팔트 혼합물은 그보다



적게 나타나 페타이어의 개질효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 CRM 12% 습식혼합물은 최종침하 깊이가 상당히 적게 나타나 소성변형저항성에 가장 우수함을 나타냈다.

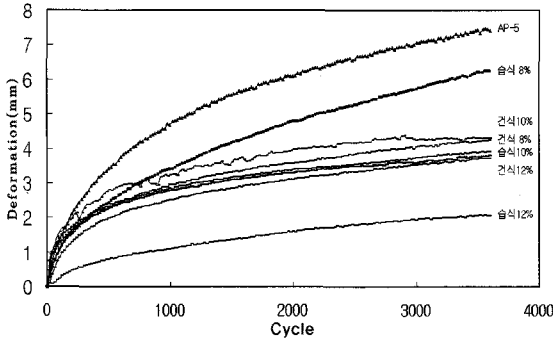


그림 3. 일반 및 CRM 개질아스팔트혼합물의 반복주행 시험 최종침하 깊이

반복주행시험에 의해 산출되는 동적안정도 (Dynamic stability: DS)는 표 5에 나타내었다.

KS 규정에 의한 DS는 새로이 제시된 DS₂(김광우 등 2006)로 구한 것과 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 KS 규정에 의한 DS가 반복주행시험 마지막 15분 만을 반영하여 계산한 것이기 때문에 일반적으로 동적안정도가 크게 나타난다. 이는 CRM 8% 습식 개질아스팔트 혼합물에서 잘 나타나 있다. 즉, 모든 CRM 개질아스팔트 혼합물에서 8% 습식 개질아스팔트 혼합물의 최종침하 깊이가 가장 크게

표 5. 일반 및 CRM 개질 아스팔트혼합물의 동적안정도

	Dynamic stability (Pass/mm)		Rut depth (mm)	Mean by group
	KS	DS ₂		
AP-5	2172	1875	7.41	7.41
CRM-8%(건식)	4200	3367	3.91	3.96
CRM-10%(건식)	4345	3172	4.25	
CRM-12%(건식)	4065	3634	3.72	
CRM-8%(습식)	4846	2963	6.11	3.98
CRM-10%(습식)	4667	3446	3.79	
CRM-12%(습식)	6000	7145	2.06	

발생했는데 KS의 DS는 CRM 12% 습식을 제외하고 가장 높게 나타난 반면에 DS₂에서는 CRM 개질 아스팔트 혼합물 중에서 동적안정도가 가장 적은 것으로 나타났다. 이것으로 볼 때, 현재 KS에서의 동적안정도 산출방법은 개정될 필요가 있는 것으로 판단된다.

CRM 12% 개질아스팔트 혼합물의 DS₂가 7,000 이상으로 나타나 소성변형 저항성에 상당히 우수한 것으로 나타났다.

3.3 간접인장강도 및 수분취약성 시험

각 혼합물에 대한 동결융해처리 전후의 간접인장강도 및 인장강도비(TSR: Tensile strength ratio)를 표 6~표 9에 나타내었다. 표 6은 동결융해처리를 보다 약조건으로 하여 수행한 A방법의 결과이다. 표 6에 나타난 바와 같이 모든 혼합물의 TSR은 규정인 70% 이하로 나타났고 CRM 혼합물의 전체평균은 33% (AP-5 제외)이었다. 인장강도비가 낮은 것은 그만큼 동결융해처리로 인해 혼합물이 박리(Stripping), 와해(Disintegration) 등의 손상을 입었다는 의미이다. 특히 CRM 개질아스팔트 혼합물이 AP-5보다도 인장강도비가 낮은 것으로 나타나 CRM 혼합물이 동결융해에 취약함을 보여준다. 이

표 6. AASHTO 방법에 의한 동결융해처리후 인장강도비

Mixture	ITS (kgf/cm ²) ①	ITS after freeze/thaw (kgf/cm ²) ②	TSR' (%) [②/①×100]	Mean by group
AP-5	13.2	9.0	68.18	68.18
CRM-8%(건식)	14.4	7.1	49.30	38.49
CRM-10%(건식)	15.5	7.5	48.38	
CRM-12%(건식)	14.4	2.6	17.80	
CRM-8%(습식)	15.2	5.3	34.87	28.33
CRM-10%(습식)	14.4	4.7	32.64	
CRM-12%(습식)	14.3	2.5	17.48	
CRM 평균			33.41	

* TSR : tensile strength ratio.



는 국내에서 CRM 개질아스팔트 혼합물 표층이 한 해 겨울이 지나면 떨어져 나가는 박리현상과 무관하지 않다고 판단된다.

표 7은 ㉔방법보다 완화하여 동결융해처리한 두 번째 시험방법 ㉕로 수행한 수분취약성 시험의 결과이다. 표 7에서는 동결융해처리후에도 상당히 높은 간접인장강도를 유지하는 것으로 나타났다. 수정된 동결융해처리에 의해서는 모든 혼합물의 TSR이 규정인 70% 이상이 나타났고 CRM 혼합물 평균이 94% 이상을 보였다. 이는 앞의 방법보다 큰 차이를 보이는 것으로 동결융해의 효과가 공시체에 별로 작용하지 못한 것으로 보인다.

표 7. ㉕방법 동결융해처리후 CRM 개질아스팔트혼합물의 수분취약성 결과

Mixture	ITS (kgf/cm ²) ①	ITS after freeze/thaw (kgf/cm ²) ②	TSR* (%) [②/①×100]	Mean by group
AP-5	13.5	12.0	88.89	95.72
CRM-8%(건식)	14.2	13.5	95.07	
CRM-10%(건식)	14.0	13.3	95.00	
CRM-12%(건식)	13.7	13.3	97.08	
CRM-8%(습식)	14.7	13.8	93.87	92.86
CRM-10%(습식)	14.0	13.5	96.43	
CRM-12%(습식)	14.5	12.8	88.27	
CRM 평균			94.29	

* TSR : tensile strength ratio.

따라서 표 8은 방법 ㉔를 사용하고 동결융해저항성을 향상시키기 위하여 박리저감제로 filler의 50%를 대체하여 공시체를 제조한 혼합물에 대한 수분취약성시험의 결과를 나타내었다. 표 6과 유사하게 박리저감제를 사용하지 않은 CRM 개질아스팔트 혼합물들의 TSR 평균은 42%로 동결융해에 상당히 취약한 것으로 나타났다. 반면에 박리저감제를 첨가한 CRM 개질 아스팔트 혼합물은 TSR이 평균 약 85%로 두 배 이상 향상된 것으로 나타났다. 이는 소석회 박리저감제가 동결융해저항성을 향상시키는데 상당한 효과가 있음을 보여준 것이며, CRM 개질아스팔트

트 혼합물로 도로포설을 할 때에는 포설전에 반드시 혼합물에 대한 동결융해저항성을 점검하고 필요시 박리저감제를 사용해야 할 것으로 판단된다.

표 8. 박리저감제 유무에 따른 AASHTO 방법에 의한 동결융해처리후 인장강도비

Anti-stripping additive	Mixture	Air void (%)	ITS (kgf/cm ²) ①	ITS after freeze/thaw (kgf/cm ²) ②	TSR*(%) [(②)/①×100]	Mean by group	
No additive	AP-5	6.87	10.1	5.4	53.5	38.20	
	CRM8%건식	7.27	11.0	4.8	43.6		
	CRM10%건식	7.57	10.6	3.7	34.9		
	CRM12%건식	7.06	9.7	3.5	36.1		
	No additive	CRM8%습식	6.96	11.7	5.4	46.2	46.67
		CRM10%습식	7.40	11.3	5.4	47.8	
		CRM12%습식	6.93	11.3	5.2	46.0	
		CRM 평균				42.43	
Hydrated lime	AP-5	-	-	-	-	84.40	
	CRM8%건식	7.36	11.0	9.3	84.5		
	CRM10%건식	7.39	11.0	9.1	82.7		
	CRM12%건식	7.54	10.0	8.6	86.0		
	Hydrated lime	CRM8%습식	7.70	10.3	8.7	84.5	85.03
		CRM10%습식	7.79	10.0	9.0	90.0	
		CRM12%습식	7.65	10.3	8.3	80.6	
		평균				84.72	

* TSR : tensile strength ratio.

표 9는 세 번째 방법 ㉔인 ASTM D 4867/D 4867M-04의 방법에 의한 동결융해처리후 인장강도비의 계산결과를 나타낸다. ASTM 방법도 AASHTO 방법(㉔방법)과 유사하게 인장강도비가 얻어졌다. 따라서 ㉔, ㉔ 두 방법은 결과면에서 유사하나 ㉔방법은 처리방법에 문제가 있어 보인다. 따라서 ㉔방법을 수정하여 동결융해강도를 완화시킨 ㉔처리법은 그리 효과적이지 못하며 변별력도 없어 보인다. 특히 겨울이 지나며 장시간 동결융해가 반복되는 우리나라 현실상황과 비교하면 이 방법은 너무 약한 처리방법으로 보여진다.

한편 건식과 습식의 TSR 비교를 보면 표 6, 7에서



표 9. 박리저항제 유무에 따른 ASTM 방법에 의한 동결융해 처리후 인장강도비

Anti-stripping additive	Mixture	Air void (%)	ITS (kgf/cm ²) ①	ITS after freeze/thaw (kgf/cm ²) ②	TSR*(%) [(②/①) × 100]	Mean by group
No additive	AP-5	7.31	9.9	4.51 (76)	45.6	45.60
	CRM8%건식	7.21	11.2	4.5 (78)	40.2	42.87
	CRM10%건식	6.49	12.5	5.4 (77)	43.2	
	CRM12%건식	6.53	11.5	5.2 (78)	45.2	
	CRM8%습식	6.38	13.1	6.9 (76)	52.7	54.20
	CRM10%습식	6.75	13.3	7.7 (75)	57.9	
	CRM12%습식	7.04	12.3	6.4 (72)	52.0	
	CRM 평균				48.53	
Hydrated lime	AP-5	6.77	9.4	8.5 (75)	90.4	90.40
	CRM8%건식	6.64	9.6	8.2 (76)	85.4	81.30
	CRM10%건식	6.50	9.7	8.3 (70)	85.6	
	CRM12%건식	6.51	10.7	7.8 (73)	72.9	
	CRM8%습식	6.44	13.1	10.1 (69)	77.1	80.80
	CRM10%습식	6.49	12.3	9.9 (67)	80.5	
	CRM12%습식	6.86	10.5	8.9 (73)	84.8	
	평균				81.05	

* TSR : tensile strength ratio.

표 10. 건식과 습식방법에 따른 ITS 평균의 차이 비교 (표 6 ~ 9 data 사용)

Anti-stripping additive	Mixture	ITS (kgf/cm ²)	Mean ITS (kgf/cm ²)	ITS after freeze/thaw (kgf/cm ²)	Mean ITS (kgf/cm ²)
No	CRM-8%(건식)	11.68	12.73	7.48	7.03
	CRM-10%(건식)	12.70		7.48	
	CRM-12%(건식)	13.15		6.15	
	CRM-8%(습식)	13.68	13.34	7.85	7.47
	CRM-10%(습식)	13.25		7.83	
	CRM-12%(습식)	13.10		6.73	
Yes	CRM-8%(건식)	10.30	10.33	8.75	8.55
	CRM-10%(건식)	10.35		8.70	
	CRM-12%(건식)	10.35		8.20	
	CRM-8%(습식)	11.70	11.08	9.40	9.15
	CRM-10%(습식)	11.15		9.45	
	CRM-12%(습식)	10.40		8.60	

는 건식이 높고, 표 8에서는 습식이 높으나, 표 9에서는 어떤 방법이 더 우수한지를 구분하기가 힘든 것으로 나타났다. 하지만 ITS 자체를 보면 표 10에서 알 수 있듯이 습식방법이 전반적으로 5~7% 정도 높게 나타났다. 표 10의 ITS 값들은 표 6부터 9까지의 ITS 값들을 건, 습식별로 동결융해전후에 따라 평균을 낸 것이다.

따라서 습식방법이 인장강도, 안정도에서 더 우수하게 나타났고 소성변형저항성은 Rut depth의 평균(표 5)이 유사한 것으로 보인다. 하지만 Wheel tracking 시험의 습식 8%의 다소 의외의 결과를 제외하면 습식방법이 모두 우수하게 나타났다.

4. 결론

본 연구는 #30체를 거의 다 통과한 CRM 입자를 아스팔트 콘크리트 혼합물의 개질재로서 8%, 10%, 12%를 습식 및 건식방법으로 첨가하여 제조한 CRM 개질아스팔트 혼합물에 대하여 소성변형저항성과 동결융해저항성 분석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. CRM 8%, 10%, 12% 건식 및 습식방법의 개질 아스팔트 혼합물의 배합설계결과는 모든 규정을 만족하였고, CRM 첨가량에 따라 최적아스팔트 함량이 일반 AP-5보다 0.4%~0.8%까지 증가하는 것으로 나타났다.
2. 반복주행시험을 통한 소성변형저항성 분석결과, 일반 AP-5 혼합물보다 CRM 개질아스팔트 혼합물이 소성변형저항성에 우수한 것으로 나타났다. 그러나 반복주행시험으로 산출되는 동적안정도에 있어서, KS 규정에 의한 산출은 개정이 필요한 것으로 판단된다.
3. 동결융해에 의한 수분취약성 시험에서 인장강도비가 일반 AP-5에 비하여 CRM 개질아스팔트 혼합물이 상당히 낮게 나타나 동결융해에 의한 저항성이 낮은 것으로 판단된다.



4. 이는 주로 박리 때문에 발생하는 것으로 판단되어 박리저감제를 첨가하였다. 그 결과 동결융해에 의한 저항성이 상당히 향상되는 것으로 나타났다. 따라서 국내에서 CRM 개질아스팔트 혼합물을 사용할 때에는 박리저감제를 첨가하여 동결융해에 의한 수분취약성에 대한 저항성을 향상시키는 것이 권장된다.
5. 습식방법이 인장강도, 안정도에서 건식방법보다 더 우수하게 나타났고 소성변형저항성에서도 일부 의외의 data를 제외하면 습식방법이 모두 우수하게 나타났다.

감사의 글

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

참고문헌

대한타이어공업협회 (2007), "연도별재활용현황," <http://www.kotma.or.kr>

김광우, 최영규, 박용철 (1995), "페타이어 고무아스팔트 콘크리트의 배합설계," 대한토목학회 학술발표회 논문집, 중앙대학교, 503-506

김광우, 최영규, 정규동 (1996), "CRM 아스팔트 콘크리트의 특성 연구," 대한토목학회 학술발표회 논문집 (II).

김광우 (1997), "건식혼합 페타이어 아스팔트 혼합물의 국내 적용성연구," 제 221회 산학연교류회 논문집, 한국과학재단.

김광우, 도영수 (2006), "아스팔트 혼합물 반복주행 시험에서 합리적 동적안정도의 산정 방법," 한국도로학회 논문집, Vol 8, No. 1, 77-87

김광우, 최영규 (1988), "표층재료로 건식혼합 페타이어 아스팔트 혼합물의 적용성 연구," 대한토목학회 논문집, Vol. 18, No. III-2, 173-181.

김광우, 권승준, 이지용, 이순제 (2000), "폴리머 개질 건식혼합 CRM 아스팔트 콘크리트의 특성," 대한토

목학회논문집, 제 20권, 제1-D호, 57-65.

"역청 포장 혼합물의 휠 트래킹 시험 방법," (2000), KS F 2374

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Veizer, R. (1993), "Design of a crumb rubber modified asphalt pavement using the stone mastic asphalt concept," *MS. dissertation, University of Ottawa, Canada*.

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.

접 수 일: 2007. 9. 18

심 사 일: 2007. 10. 9

심사완료일: 2007. 12. 6