한국도로포장공학회지
第2券 1號 2000年 3月
pp. 123～133

CRM아스팔트의 바인더특성 분석

Mechanical chracteristics of CRM asphalt

이 경 하*
Lee, Kyung ha

ABSTRACT

The asphalt mixture with CRM(Crumb Rubber Modifier) is known to show a better performance in resisting thermal cracking, fatigue cracking, and rutting compared with the conventional mixture. In this research, the lab tests on the physical and the mechanical characteristics of the domestic crumb rubber modified asphalt binder and conventional asphalts(AP-3, AP-5) were conducted.

The physical test results show that CRM asphalt has better physical characteristics than that of conventional asphalts. The dynamic shear rheometer test results in high temperature show that CRM asphalt has higher complex shear modulus and aging resistance than those of conventional asphalts. And, the bending beam rheometer in low temperature test results show that CRM asphalt has higher resistance to thermal cracking than that of conventional asphalts.

Keywords : crumb rubber, BBR, DSR, asphalt

요 지

폐타이어를 분쇄한 고무분말로써 습식방법에 의해 제조된 CRM아스팔트 혼합물은 일반 아스팔트 혼합물에 비해 온도균열, 피로균열 및 소성변형에 대한 저항성이 증진되는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 국내에서 생성된 폐타이어 고무분말과 아스팔트(AP-3, AP-5)를 사용하여 제조된 CRM 아스팔트 바인더의 물리적 특성 및 CRM아스팔트 혼합물의 역학적 특성을 비교하였다. 시험결과, CRM 아스팔트 바인더는 일반 아스팔트보다 물리적 특성이 증진되었다. DSR을 사용한 아스팔트 바인더의 고온 특성시험결과, CRM아스팔트는 고온에서 내유동성이 증가되는 것으로 기대되며 노화가 감소되는 것으로 나타났고, 저온 역학적 특성시험결과에서는 CRM아스팔트는 저온균열에 대한 저항성이 증가될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 폐타이어 고무분말, BBR, DSR, 아스팔트

* 한국도로공사 도로연구소 아스팔트 포장연구실 책임연구원

1. 서 론

환경오염의 급증에 따라 대두되고 있는 환경 폐재 재활용연구는 국가적인 관심사로 떠오르고 있으며 특히 폐타이어의 심각성은 날로 더해가고 있다. 따라서 폐타이어를 재활용하려는 연구가 여러분야에서 이루어지고 있는데, 이 중에서 폐타이어 고무분말을 사용하여 아스팔트 포장에 사용하는 방안은 환경보호와 포장물성 증진 측면의 두가지를 모두 만족시키고 있어서 폐타이어를 활용한 CRM아스팔트포장의 효과가 기대된다.

CRM(Crumb Rubber Modifer)아스팔트는 폐타이어를 분쇄하여 약 200℃의 온도에서 아스팔트와 혼합하여 만들어진다. 고무분말의 크기는 아스팔트와 고무의 혼합반응시간을 줄이기 위하여 미세한 분말을 사용하며 최대치수는 약 2mm정도이다. 아스팔트와 고무분말의 혼합비율은 고무의 높은 점성 때문에 고무분말의 사용비율을 25% 이내로 제한하고 있다.

CRM아스팔트는 일반아스팔트에 비해 고온에서의 높은 점도와 저온에서의 낮은 강성을 갖게 되는데, 높은 점도는 교통하중에 의해 발생되는 높은 응력과 변형에 대해 저항하는 힘이 크고 저온에서의 낮은 강성은 저온균열에 대한 저항성이 크게 된다. 또한 CRM아스팔트의 신축성으로 인하여 반사균열에 좋은 효과를 주고 있으며 폐타이어내에 존재하는 카본블랙은 아스팔트의 산화를 방지하는 효과를 주고 있어서 아스팔트 포장의 장기노화를 방지하는 효과가 있다.

본 연구에서는 CRM아스팔트 바인더의 물리적 특성 및 역학적 특성을 분석하기 위하여 국내에서 생성된 폐타이어분쇄 고무분말과 아스팔트로 CRM아스팔트를 제조하여 실내시험에 의한 바인더의 특성을 분석하고자 한다.

2. CRM아스팔트의 이론적 고찰

CRM아스팔트는 폐타이어를 분쇄한 고무분말인 CRM과 아스팔트는 약 200℃정도의 고온에서 혼합하여 약 45분간 교반양생시킨 것으로 이때 고무분말은 아스팔트와 반응하여 고무분말의 부피가 증가하는 팽창(swelling)현상이 발생한다. 팽창과정은 아스팔트와 CRM의 물리화학적 특성에 의존한다. 팽창의 변화와 비율은 혼합물의 온도, 시간, 아스팔트와 고무의 물리화학적 특성에 의존한다.

Green과 Tolonen(1977)은 팽창과정을 연구분석하였는데, 고무입자가 팽창하면 고무입자간 거리가 감소하여 CRM아스팔트의 점도가 증가하며 고무는 유분이나 아스팔트유제의 흡수로 팽창한다고 하였다. 이와같이 아스팔트에 CRM이 팽창하는 과정을 reaction(숙성반응)으로 정의할 수 있다. reaction과정에서 CRM의 부피증가와 아스팔트의 변화로 CRM아스팔트의 점도가 증가한다. CRM이 팽창되고 바인더의 점도가 증가함에 따라 CRM아스팔트의 물리적 특성이 변한다. 이 변화는 고온점도 증가, 탄성증가, 저온물성개선과 노화 저항성개선으로 요약될 수 있다.

CRM이 아스팔트에 첨가되면서 시간이 지날수록 점도가 증가하나 CRM의 팽창이 완료된 후 점도는 감소되는데, 이 점도감소 반응은 204℃이상일 때 빨리 진행되며 150~190℃일 때 서서히 반응한다. 고무입자가 팽창하면서 CRM아스팔트는 고온점도 증가, 고온스티프니스와 연화점 증가, 탄성특성 증가, 저온물성 개선, 에이징 저항성 개선과 같은 물리적 특성이 변한다.

CRM바인더의 탄성특성은 ASTM D5329의 resilience시험규정으로 평가할 수 있다. FHWA(1993)에 의하면 아스팔트의 대표적인 탄성회복량은 AC-20 또는 AC-30이 0~5%이고, AC-5는 -5%정도이며 아스팔트에 CRM을 첨가시 탄성

회복량이 일반아스팔트보다 40~50%정도 증가한다고 하였다.

CRM을 사용하는 아스팔트의 대표적인 등급은 AC-2.5 부터 AC-30까지이고 점도가 큰 아스팔트의 사용은 점도가 낮은 아스팔트보다 높은 온도에서 큰 강성을 주나 저온에서는 딱딱해져서 수축균열을 일으킬 수 있다. CRM입자의 크기 및 입도는 CRM아스팔트의 물리적 특성에 영향을 미친다. 세립의 CRM은 표면적 증가로 팽창이 빨리 일어나고 큰 입자의 CRM보다 높은 점도를 가져온다. 매우 작은 입자의 CRM은 가열하는 동안에 매우 빠른 팽창과 잠재적 중합 저해반응으로 인하여 급속한 점도감소를 가져오는 경향이 있다(FHWA, 1993).

CRM과 아스팔트의 숙성반응은 믹싱시간과 온도에 의존하며 높은 온도는 빠른 반응으로 더 많은 팽창을 일으킨다. CRM과 아스팔트 숙성반응의 대표적 온도는 164~204℃이다. CRM으로 만든 CRM아스팔트는 175℃에서 24시간동안 물리적 특성을 계속 유지하며 그 보다 높은 온도(190~204℃)에서는 CRM은 3~6시간내에 물리적 특성이 영향을 받을 수 있는 범위로 중합반응이 저해되기 시작한다(FHWA, 1993).

Rebala와 Estakhri(1995)는 습식방법에 의한 혼합과 배합이 적절하게 설계되었을 때 피로균열에 대한 공용성을 증진시킬 수 있다고 하였다. 그리고, 건식공법에 의한 혼합은 소성변형은 감소시킬 수 있으나 반대로 균열이 커진다고 하였다.

Lee(1996)는 CRM의 크기와 함량은 점도에 영향을 미치며 CRM의 크기가 작을수록, 그리고 CRM의 함량이 높을수록 191℃에서 2시간 양생후의 점도가 높은 것으로 나타났고 단기노화는 CRM아스팔트가 일반아스팔트보다 점도증가가 크다고 하였다. 또한, CRM아스팔트는 일반아스팔트보다 노화후의 중량감소가 적으며 복소전단탄성계수(G*)가 높으며 단기노화후의 복소전단탄성계수(G*)가 더 높은 증가를 나타낸다고 하였다.

Stroup-Gardiner(1996)등에 의하면 pretreated CRM아스팔트 혼합물은 저온에서 온도응력을 분산시키는 능력이 크고 수분 민감성과 저온특성이 증진된다고 하였다. 또한, CRM아스팔트포장의 탄성계수를 FWD(Falling Weight Deflectometer)로 시험하여 역산해석으로 구하였는데, 탄성계수는 일반아스팔트와는 큰 차이가 없는 것으로 보고하였다.

Hossain(1997)등은 CRM아스팔트 덧씌우기에서 FWD시험으로부터 계산된 탄성계수로부터 구한 표층의 상대강도계수는 일반아스팔트표층보다는 낮고, 신설포장에서 CRM아스팔트 표층의 상대강도계수는 일반아스팔트 포장과 비슷하다고 하였다.

3. CRM아스팔트의 물리적 특성시험

아스팔트 혼합물의 wet process(습식방식)에 의한 CRM아스팔트를 사용하는데는 2가지 목적이 있다. 첫 번째는 아스팔트 혼합물의 시공에 최소한의 영향만을 주기 위해 상당한 정도의 개질된 성질은 갖지 않는 CRM아스팔트를 사용하는 것이다.

이 종류의 CRM아스팔트는 CRM이 아스팔트에 최대로 5% 함유하는 밀입도 혼합물용이며 CRM입자는 개립도 아스팔트 혼합물이 조립(No.16 이하)인 반면에 밀입도 아스팔트혼합물에서는 세립(No.50 이하)이어야 한다.

두 번째 방법은 아스팔트를 상당부분 개질하여 공용성이 증가될 수 있도록 CRM아스팔트를 사용하는 것이다. 이 개질방법은 CRM을 10~25%사용하여 아스팔트의 물성을 개선하는 것이다. 이 형태의 CRM아스팔트는 포장재료가 시

공 및 공용시 받게될 온도조건에서 물리적 특성을 상당히 개선시킨다. 그러므로 CRM아스팔트 포장의 설계 및 시공방법은 개질목적에 맞게 적용될 필요가 있다. 밀입도 아스팔트 혼합물은 세립CRM(No.20 이하)이 적당하고 개립도 아스팔트 혼합물은 조립CRM(No.10 이하)이 사용될 수 있다.

일반적으로 아스팔트를 개질시킬 목적으로 사용하는 CRM아스팔트 혼합물에는 개립도와 갭입도 혼합물이 있으며, 개립도와 갭입도 아스팔트 혼합물은 조골재의 접촉면적 증가와 아스팔트 함량이 증가될 수 있도록 VMA를 증가시키기 위하여 입도분포가 밀입도보다 조립화된다. 골재의 조립화는 CRM입자가 들어갈 수 있는 충분한 공간을 제공한다. 따라서 CRM함량을 높일 수 있으며 CRM함량이 높은 CRM아스팔트를 사용한 갭입도 아스팔트 혼합물은 공용성이 증가되는 것으로 밝혀졌으며 일반적으로 CRM 아스팔트의 CRM투입량은 20%내외에서 결정된다.

CRM을 이용한 아스팔트 혼합물의 국내적용성을 분석하기 위하여 국내에서 폐타이어를 분쇄하여 생산된 고무분말과 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 침입도 85~100인 아스팔트(이하 AP-3라 칭함)와 침입도 60~70인 아스팔트(이하 AP-5라 칭함)를 이용하여 CRM아스팔트를 제조하였고, 이 CRM아스팔트의 물리적 특성을 분석하였다. 표 1은 국내에서 생산된 고무분말을 입도분석한 시험결과이다.

표 1. 실내시험을 위한 CRM 입도분석

체 규 격	체통과 중량 백분율 (%)
No. 16	100
No. 30	70
No. 40	44
No. 50	28
No. 80	10
No. 100	6
No. 200	0

CRM아스팔트 혼합물의 실내시험을 위한 제조과정은 다음과 같다. 고무분말을 60℃에서 수분이 완전히 제거될 때까지 건조시킨후 아스팔트를 190℃까지 가열하여 고무와 아스팔트를 혼합하여 오븐에 넣었다. 그리고 30분마다 오븐에서 꺼내어 고무분말이 팽창될 수 있도록 60rpm 정도로 교반시켜준후 30, 60, 90분 3, 6, 24시간 경과시 마다 175℃에서 절대점도를 측정하고, 점도이외의 물성은 60분 경과한 시료에 대하여 측정하였다.

아스팔트 바인더의 온도 민감성을 파악하기 위해서 4℃와 25℃에서의 침입도시험을 실시하였고, 저온에서의 균열에 대한 저항특성을 파악하기 위해서 4℃에서 신도시험을 실시하였다. CRM바인더의 탄성특성을 평가하기 위하여 탄성회복량(Resilience)은 ASTM D5329의 resilience시험규정으로 평가하였으며, 연화점시험을 실시하였다.

표 2는 AP-3 아스팔트 80%와 CRM 20%를 혼합했을 때의 시험결과이고, 표 3은 AP-3 아스팔트 82%와 CRM 18%를 혼합했을 때의 시험결과이며, 표 4는 AP-5 아스팔트 82%와 CRM 18%를 혼합했을 때의 시험결과이다. 표 2~표 4의 시험결과에서 세가지 요인 모두 시간이 지날수록 점도와 Resilience, 연화점이 증가함을 알 수 있다.

그림 1은 숙성(Reaction)시간 변화에 따른 점도특성을 나타낸 것이다. 그림 1에서 숙성시간이 6시간까지는 점도가 증가하고 6시간 이후에는 완만한 증가를 보였으며, AP-3와 CRM함량이 20%인 아스팔트는 6시간후 점도가 거의 일정한 것으로 나타났다. 그림 2는 숙성시간변화에 따른 침입도를 나타낸 것으로써 CRM함량이

표 2. CRM아스팔트의 물리적 특성(AP-3, CRM함량 20%)

구 분	가 열 시 간					
	30분	60분	90분	180분	6시간	24시간
Brookfield 점도 (175℃, cps)	1,240	1,890	2,400	2,500	3,080	3,200
Haake 점도 (175℃, cps)	-	1,900	-	-	2,900	-
침입도, 25℃ (0.1mm)	-	42	-	-	37	39
침입도, 4℃ (0.1mm)	-	24	-	-	-	-
Cone 침입도, 25℃ (0.1mm)	-	34	-	-	30	30
신 도, 4℃ (cm)	-	6.5	-	-	6	6
Resilience, 25℃ (%)	-	28	-	-	38	38
연화점 (℃)	-	63	-	-	65	66

표 3. CRM아스팔트의 물리적 특성(AP-3, CRM함량 18%)

구 분	가 열 시 간					
	30분	60분	90분	180분	6시간	24시간
Brookfield 점도 (175℃, cps)	840	1,180	1,630	1,580	1,470	2,430
Haake 점도 (175℃, cps)	-	1,000	-	-	-	-
침입도, 25℃ (0.1mm)	-	40	-	-	39	33
침입도, 4℃ (0.1mm)	-	22	-	-	-	-
Cone 침입도, 25℃ (0.1mm)	-	35	-	-	31	33
신 도, 4℃ (cm)	-	5.5	-	-	5.5	8
Resilience, 25℃ (%)	-	26	-	-	34	35
연화점 (℃)	-	61	-	-	64	63

표 4. CRM아스팔트의 물리적 특성(AP-5, CRM함량 18%)

구 분	가 열 시 간					
	30분	60분	90분	180분	6시간	24시간
Brookfield 점도 (175℃, cps)	850	1,150	1,380	1,500	1,790	2,250
Haake 점도 (175℃, cps)	-	1,300	-	-	-	-
침입도, 25℃ (0.1mm)	-	41	-	-	34	35
침입도, 4℃ (0.1mm)	-	22	-	-	-	-
Cone 침입도, 25℃ (0.1mm)	-	37	-	-	29	30
신 도, 4℃ (cm)	-	6	-	-	6.5	6
Resilience, 25℃ (%)	-	29	-	-	38	38
연화점 (℃)	-	60	-	-	64	67

18%인 AP-3아스팔트에서 침입도 감소가 큰 것으로 나타났다. 그림 3은 숙성시간변화에 따른 탄성회복량(Resilience)을 나타낸 것으로써 6시간까지는 탄성회복량이 크게 증가하였으며 그 후에는 변화가 없고, CRM함량 20%와 AP-3인 아스팔트가 탄성회복량이 가장 큰 것으로 나타났다. 그림 4는 숙성시간변화에 따른 연화점을 나타낸 것으로써 6시간까지는 연화점이 증가하였으며, 그 후에는 완만하게 증가하거나 오히려 감소하는 경우를 나타냈다.

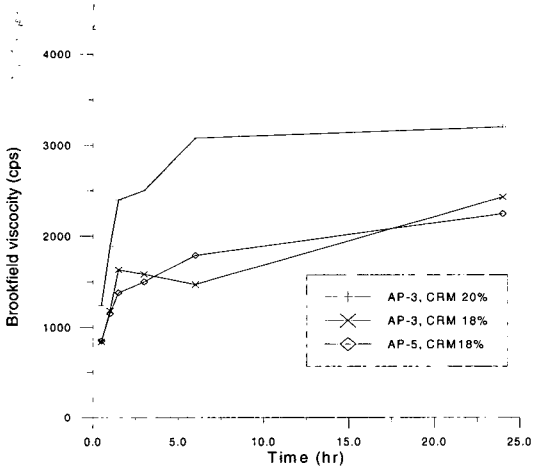

그림 1. 시간변화에 따른 점도특성

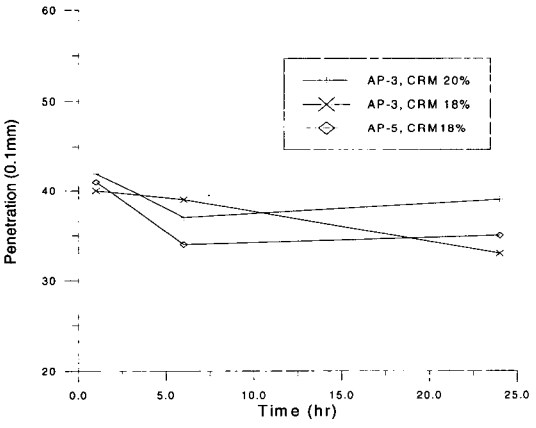

그림 2. 시간변화에 따른 침입도

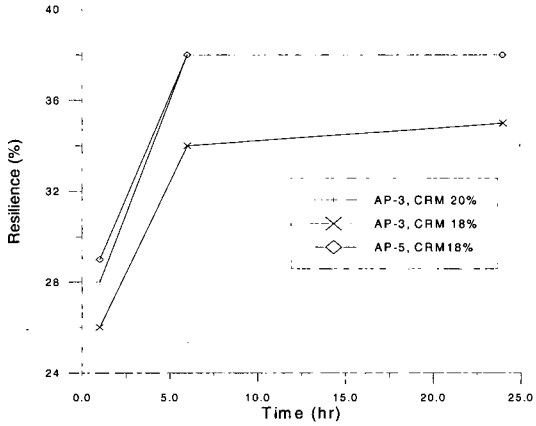

그림 3. 시간변화에 따른 탄성회복량

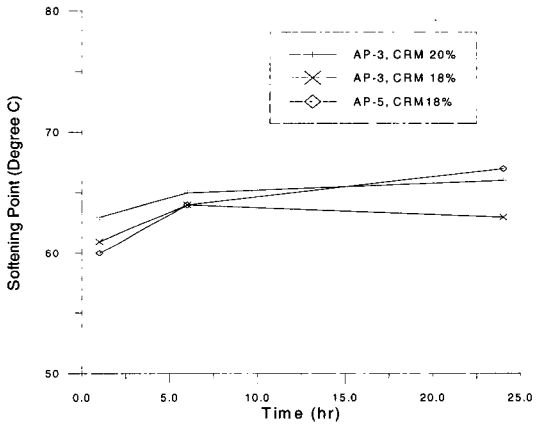

그림 4. 시간변화에 따른 연화점

표 2~표 4의 시험결과치 중에서 60분 숙성한 시료에 대한 시험결과와 일반아스팔트에 대한 시험결과를 표 5에 비교하였다. 표 5에서 AP-3 아스팔트에 CRM을 20% 함유한 CRM아스팔트가 절대점도 및 침입도, 신도, 연화점이 가장 높은 것으로 나타났으며, AP-5 아스팔트에 CRM을 18%함유한 CRM아스팔트가 콘침입도 및 Resilience가 가장 높은 것으로 나타났다.

CRM함량이 18%로 같고 아스팔트의 종류만 달리 했을 때는 점도에서 큰 차이는 없었으며 AP-5가 AP-3보다 저온에서의 신도와 Resilience

가 약간 증가되는 것으로 나타났다. 일반 아스팔트인 AP-3와 비교할 때 CRM아스팔트의 연화점은 대략 30%정도 증가하는 것으로 나타나서 소성변형에 대한 저항성이 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 점도가 높을 경우 저온에서 수축균열을 일으킬 수 있으나, CRM아스팔트의 경우 저온에서의 신도가 일반아스팔트보다 높으므로써 저온균열 물성도 개선되는 것으로 나타났다.

아스팔트의 감온성을 나타내는 물성치로써 침입도지수가 있으며 침입도지수는 아스팔트의 온도변화에 따른 침입도변화를 나타내는 수치이다. 본 연구에서 구한 침입도지수는 25℃에서의 침입도와 연화점으로부터 구하였으며 침입도지수가 클수록 감온성이 적음을 알 수 있다. 표 5에서 침입도지수는 일반아스팔트가 0으로 감온성이 중간정도로 평가되며 CRM아스팔트는 일반아스팔트보다 침입도지수가 커서 감온성이 적은 것을 알 수 있고, CRM아스팔트중에서 Ⅰ형 아스팔트가 가장 크게 나타났고, Ⅱ형, Ⅲ형순으로 나타났다.

4. CRM아스팔트의 역학적 특성시험

CRM아스팔트의 바인더 역학특성시험으로 원시료, 단기노화시료 및 장기노화시료에 대한 고온에서의 동적전단시험과 저온에서의 휨시험을 실시하였다. 동적전단시험에서 플레이트의 간격(gap)을 고려하여 시험에 이용된 시료는 #200체를 통과한 고무분말을 일반아스팔트(AP-3)에 중량비로 20% 치환시킨 시료이다. 동적전단시험은 DSR(Dynamic Shear Rheometer)장비로 온도를 변화시키면서 복소전단탄성계수(G*)와 위상각(δ)을 측정하였다.

DSR시험에서 시편의 지름은 원시료와 단기노화시료가 25mm이고, 장기노화시료가 8mm이며, 시편의 두께는 원시료와 단기노화시료가 1mm이고, 장기노화시료가 2mm이다. 하중주기는 1.6Hz로 두 평판사이의 시료에 대한 비틀림 하중을 가한다.

저온에서의 휨시험은 BBR(Bending Beam Rheometer)을 사용했으며 온도변화에 따른 스티프니스와 m-value를 측정하였다. 고온 및 저

표 5. CRM아스팔트의 물리적 특성비교

구 분	일반아스팔트(AP-3)	CRM아스팔트		
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
Brookfield 점도 (cp)	80	1,890	1,180	1,150
Haake 점도 (cp)	60	1,900	1,000	1,300
침입도, 25℃ (0.1mm)	89	42	40	41
침입도, 4℃ (0.1mm)	57	24	22	22
Cone 침입도, 25℃ (0.1mm)	-	34	35	37
신 도, 4℃ (cm)	0	6.5	5.5	6
Resilience, 25℃ (%)	0	28	26	29
연화점 (℃)	49	63	61	60
침입도지수	0	1.111	0.714	0.526

주) Ⅰ : AP-3, CRM함량 20%
Ⅱ : AP-3, CRM함량 18%
Ⅲ : AP-5, CRM함량 18%

온에서의 시험온도조건은 표 6과 같다.

표 6. 시험온도조건

단계	시 험 온 도 (℃)	
	동적전단시험	저온휨시험
1	52	-6
2	58	-12
3	64	-18
4	70	-24
5	76	-

단기노화시료는 원시료를 RTFO(Rolling Thin Film Oven)장비로 85분간 회전박막가열하여 열과 공기에 의하여 노화시킨 시료로 아스팔트 혼합물 생산시의 단기간 노화과정을 모사한다. 장기노화시료는 위의 과정에서 생산된 단기노화시료를 PAV(Pressure Aging Vessel)장비로 압력과 온도를 이용하여 20시간동안 노화시킨 시료로 장기간 공용중의 노화과정을 모사한다.

그림 5~그림 7은 동적전단시험으로 복소전단탄성계수(G*)를 나타낸 결과이다. 그림 5와 그림 6은 원시료 및 단기노화시료에 대해서 CRM아스팔트의 G*값이 일반아스팔트의 경우보다 큰 것을 보여주고 있는 반면에 그림 7은 장기노화시료에 대해서 CRM아스팔트의 G*값이 일반아스팔트의 경우보다 작은 것으로 나타났다.

그림 5~그림 7의 결과에서 볼 수 있듯이 CRM아스팔트의 G*값(원시료, 단기노화시료)이 일반아스팔트의 경우보다 커서, CRM아스팔트가 소성변형에 대한 저항성이 우수하다고 할 수 있다. 장기노화시료의 G*가 CRM이 일반아스팔트보다 낮은 것은 노화에 의한 G*의 증가폭이 일반아스팔트보다 둔화됨으로써 노화에 대한 저항성이 증가되기 때문인 것으로 볼 수 있다.

그림 8~그림 10은 위상각을 나타낸 것이다. CRM아스팔트의 위상각이 일반아스팔트보다 작게 나타나므로써 CRM아스팔트가 보다 탄성적으로 거동한다고 볼 수 있다. 그림 10은 장기노화시료에 대하여 측정온도별 위상각의 변화를 측정한 것이다. 일반아스팔트의 위상각은 원시료에서부터 장기노화과정에서 급속하게 감소하여(탄성화하여) CRM아스팔트보다 노화가 많이 진행됨을 알 수 있다. 결국 CRM아스팔트가 노화현상에 대하여 보다 좋은 적용성을 보인다고 할 수 있다.

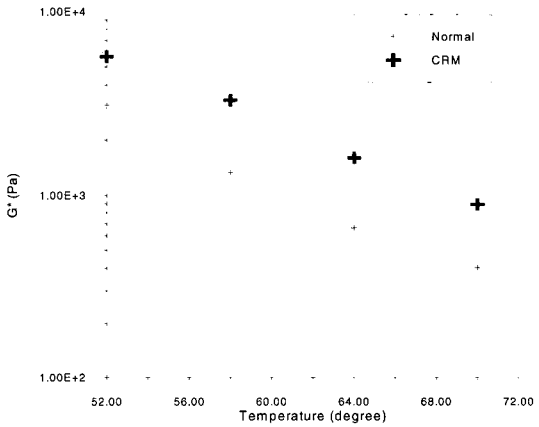

그림 5. 복소전단탄성계수(원시료)

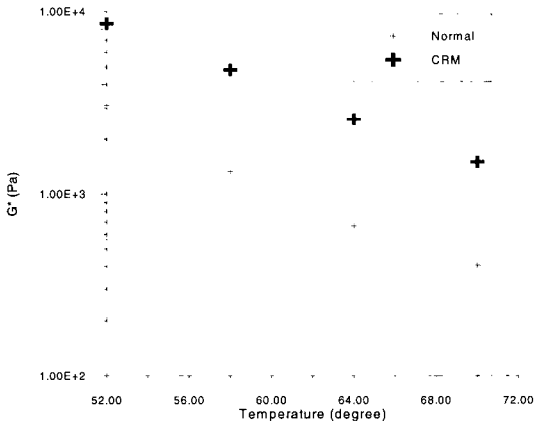

그림 6. 복소전단탄성계수(단기노화시료)

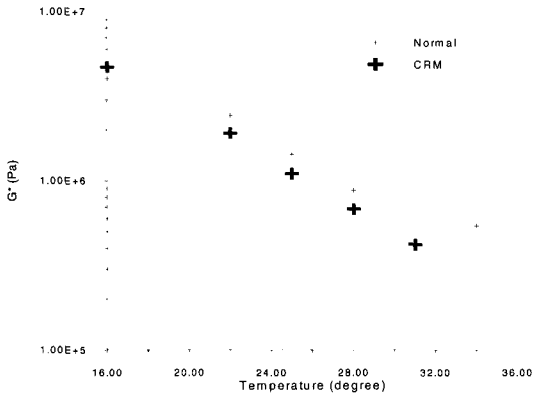

그림 7. 복소전단탄성계수(장기노화시료)

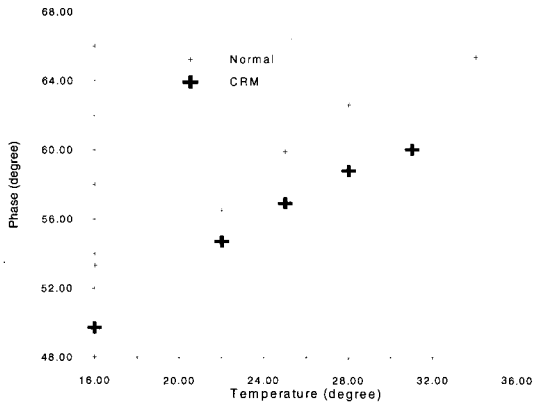

그림 10. 위상각(장기노화시료)

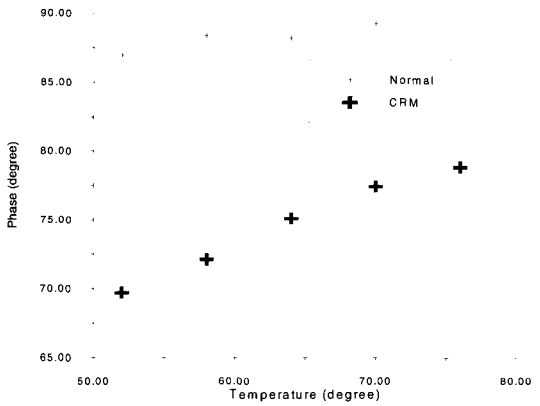

그림 8. 위상각(원시료)

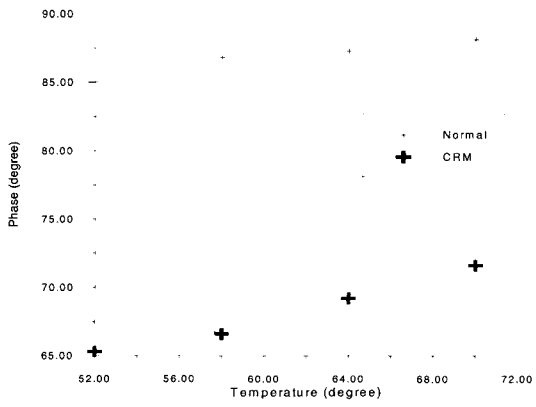

그림 9. 위상각(단기노화시료)

그림 11은 저온휨시험에서 Stiffness를 나타낸 결과로 CRM아스팔트가 일반아스팔트의 Stiffness값보다 작게 나타났다. 저온휨시험에서 Stiffness는 고온에서의 물성과는 반대로 값이 클수록 저온균열에 취약하며 CRM아스팔트가 일반아스팔트보다 Stiffness가 적게 나타나서 저온균열에 대한 저항성이 향상됨을 알 수 있다. 그림 12는 m-value를 나타낸 결과로 m-value는 Stiffness를 이용하여 최종적으로 저온휨시험에서 요구하는 시간변화에 따른 Creep Stiffness의 변화율을 의미하고, 저온휨시험에서 60초 경과

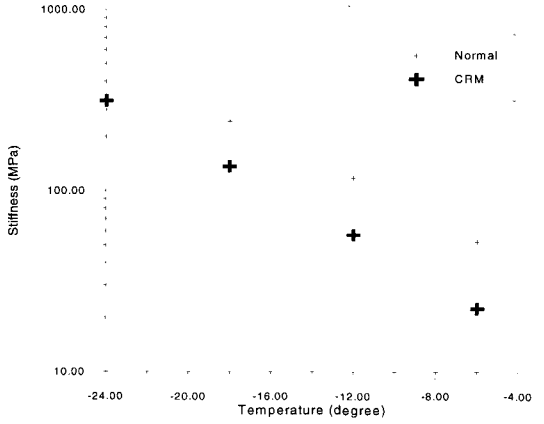

그림 11. 저온스티프니스

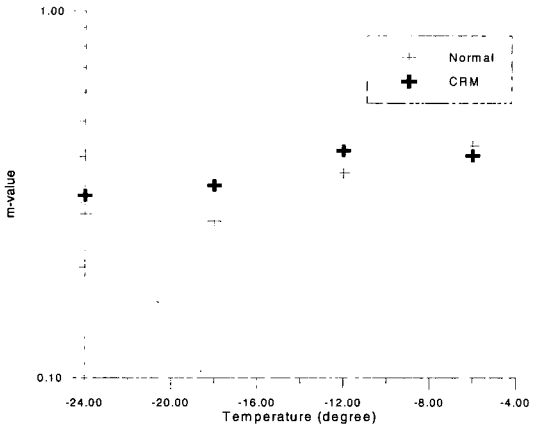

그림 12. m-value

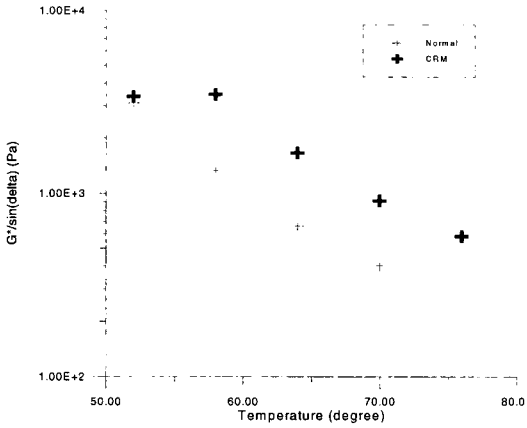

그림 13. G*/sinδ (원시료)

한 시점에서의 값을 측정하며, SUPERPAVE에서는 0.3이상의 값을 규정하고 있다. 그림 12에서 -4℃에서는 CRM아스팔트가 일반아스팔트보다 m-value가 적은 반면에 그 이하의 온도에서는 m-value가 큰 것으로 나타났다.

SUPERPAVE의 PG아스팔트 바인더 규정에서는 고온등급으로 원시료에서는 G*/sinδ 가 1.0KPa이상일 때의 온도를 규정하고 있으며 단기노화시료에서는 G*/sinδ 가 2.2KPa이상일 때의 온도를 규정하고 있다.

그림 13은 원시료에 대한 동적전단시험결과에서 G*/sinδ 를 비교한 것으로 CRM아스팔트의 G*/sinδ 가 일반아스팔트보다 큰 것으로 나타남을 알 수 있다. 그림 14는 단기노화시료에 대한 동적전단시험결과에서 G*/sinδ 를 비교한 것으로 여기에서도 CRM아스팔트의 G*/sinδ 가 일반아스팔트보다 큰 것으로 나타남을 알 수 있다. 그림 13과 그림 14에서 CRM아스팔트가 일반아스팔트보다 고온에서의 변형에 대한 저항성이 큰 것을 알수 있다.

그림 15는 장기노화시료에 대한 동적전단시험결과에서 G*sinδ 를 비교한 것이다. SUPERPAVE의 PG아스팔트 바인더 규정에서는 저온등급으로 원시료에서는 G*/sinδ 가 5000KPa이

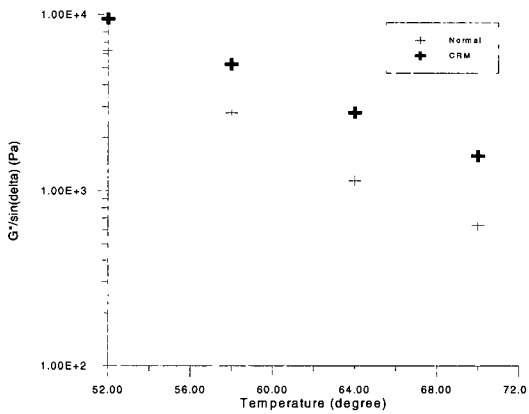

그림 14. G*/sinδ (단기노화시료)

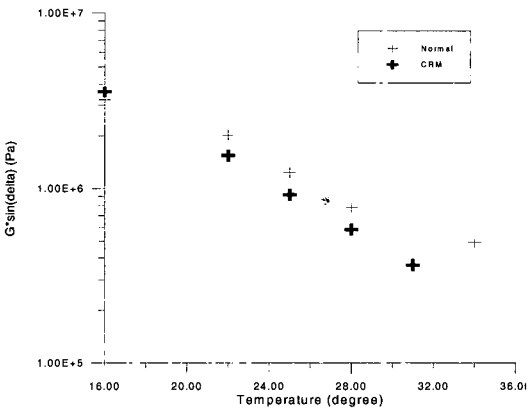

그림 15. G*sinδ (장기노화시료)

하일 때의 온도를 규정하고 있다. 그림 15에서 CRM아스팔트가 $G^*\sin\delta$ 가 일반아스팔트보다 작은 것으로 나타나 저온에서의 균열에 대한 저항성이 향상되는 것으로 기대된다.

5. 결 론

CRM을 이용한 아스팔트 포장은 저온균열, 피로균열 및 소성변형에 대한 저항성이 우수한 것으로 알려져 있으며, 국내에서의 적용 특성을 검토하기 위하여 국내에서 생산되는 고무분말과 아스팔트를 이용하여 물리적 특성과 역학적 특성의 실내시험을 실시하였다. 아스팔트 바인더의 물리적 특성시험결과에서, CRM아스팔트는 175℃에서의 점도, 연화점, 저온에서의 신도, 탄성회복량등의 물리적 특성이 증대되는 것으로 나타났다. 아스팔트 바인더의 고온 역학적 특성 시험결과에서, CRM아스팔트는 고온에서 일반 아스팔트보다 $G^*/\sin\delta$ 가 증가하므로써 내유동성이 증가되는 것으로 기대되며 장기노화시료의 G^*는 일반아스팔트보다 감소하므로써 노화가 감소되는 것으로 나타났다. 아스팔트 바인더의 저온 역학적 특성시험결과에서, CRM아스팔트는 저온에서 일반아스팔트보다 저온스티프니스와 $G^*\sin\delta$ 가 감소하므로써 저온균열에 대한 저항성이 증가될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Federal Highway Administration, Workshop Notes - Crumb Rubber Modifier, 1993.
2. Green, E.L., and Tolonen, W.J., "The Chemical and Physical Properties of Asphalt-Rubber Mixtures-Basic Material Behavior" Report No. ADOT-R5 14(162), Arizona Department of Transportation, July 1977.
3. Hossain, M., Habib, A, LaTorella, T.M.,"Structural Layer Coefficients of Crumb Rubber-Modified Asphalt Concrete Mixtures", Transportation Research Board, Transportation Research Record 1583, 1997, pp62-70.
4. Lee, S.,"Short-Term and Long-Term Aging Behavior of Rubber Modified Asphalt Paving Mixture", Transportation Research Board, Transportation Research Record 1530, 1996, pp11-17.
5. Rebala, S.R., Estakhri, C.K., "Laboratory Evaluation of Crumb Modified Mixtures Designed using TXDOT Mixture Design Method", Transportation Research Board, Transportation Research Record 1515, 1995, pp1-10.
6. Stroup-Gardiner, M., Chadbourn, B., Newcomb, D.E., "Babbit, Minnesota : Case Study of Pretreated Crumb Rubber Modified Asphalt Concrete", Transportation Research Board, Transportation Research Record 1530, 1996, pp34-42.