

페타이어 개질 고무 아스팔트

김 진 국

1. 고무 아스팔트 정의

고무 아스팔트란 ASTM D-899에서 “아스팔트, 시멘트, 재활용 고무 그리고 일정 첨가물의 블렌드로서 고무 성분이 전체 성분의 중량비로 최소 15%로 구성되어 있고 고무 입자가 아스팔트 시멘트 속에서 팽창하도록 충분히 반응이 되어 있는 것”이라고 정의되어 있다.

2. 고무 아스팔트의 역사적 배경

고무 아스팔트의 출발은 1840년대에 천연 고무를 아스팔트에 첨가하여 적용한 것으로부터 시작된다. 자동차 산업의 발달로 페타이어 발생량이 증가하자 페타이어 고무를 아스팔트 개질제로 사용하려는 CRM(crumb rubber modifier)을 이용한 아스팔트 개념이 1950년대에 확립되었다. 1964년 Chales Mcdonald가 가교된 CRM을 이용하여 Sky Harbor 공항과 도로에 “Band-aid”라는 이름으로 최초의 고무 아스팔트를 실제 포장에 사용하였고, 당시는 crack sealant로 사용하여 1967년까지 관찰, 평가하여 만족한 결과를 얻었다.

1968년에 최초로 기계 시공(고무 아스팔트를 살포하고 골재를 살포하는 살포기와 slurry seal기계 사용) SAM(stress absorbing membrane) 공법의 개발로 인하여 생산량이 증대하였으며, SAM의 적용에 문제점으로 부각된 바인더와 골재와의 접촉력 부족으로 골재가 이탈하는 현상(loose aggregate)을 방지하기 위하여 SAM 윗층에 hot mix asphalt(HMA)를 덧씌우는 공법인 SAMI(stress absorbing membrane interlayer)를 개발하여 1972년에 이를 적용하였다.

1970년 초까지의 고무 아스팔트는 비경제적이어서

Phoenix사는 경제적이고 신뢰성있는 대체 방법을 개발하고자 노력을 하여, 1975년에 ARC(asphalt rubber concrete)가 개발되었다. 이는 기존의 공법(Sahuaro mix)을 개선하여 80% 아스팔트에 20%의 가공된 CRM과 혼합시키는 공법으로 이 기술은 계속하여 개선되어 습식 방법의 Mcdonald 기술이 탄생하였다.

한편 고무 분말을 골재의 일부분으로 보는 건식 기술방식이 유럽에서 발달하여, 1960년대말 스웨덴에서 “Rubit”이라는 제품명의 고무 아스팔트가 개발되었는데 아스팔트 혼합물에 중량비로 3~4%의 폐고무 분말을 혼합하여 표층에 사용하였으며 “PlusRide 기술”이라고 분류된다. 한편 Oregon 주립대학 Takallau팀에 의하여 고무 분말을 아스팔트에 혼합하는 방식이 1986년에 개발되었다(“Generic RUMAC” 기술이라 한다). 고무 아스팔트를 HMA로 처음 사용된 것은 1975년 아리조나주, 1981-1982년에 CRM과 아스팔트를 혼합하기 위한 블렌드가 개발되었다. 이에 1988년 플로리다 루이터는 아스팔트에 페타이어 고무의 성분을 혼합하도록 하고 있는 미국내 「고형 폐기물 관리」에 관련 산업을 포함시켰으며, 1991년의 시험을 포함하여 여러 가지 기술을 발달시켰으나 1994년에 의무 규정이 폐지되어 다소 주춤한 실정인



김진국

1978 연세대학교 화학공학과(학사)
1981 연세대학교 화학공학과(석사)
1989 아크론대학교 고분자공학과(Ph.D)
1989~ 경상대학교 고분자공학과 부교수, 생산기술연구소

Crumb Rubber Modified Rubber Asphalt

경상대학교 고분자공학과(Jin Kuk Kim, Department of Polymer Sci.& Eng., Gyeongsang National University, Gyeongnam 660-701, Korea)

다. 그러나 추후 예고되는 환경적인 측면에서 고무 아스팔트 기술 개발은 필연적이라 할 수 있다.

3. 아스팔트 개질에 사용되는 고분자

천연 고무를 아스팔트 포장에 첨가하여 사용한 이후 다양한 고분자가 아스팔트 포장 산업에 이용되고 있다. 도로 포장용 아스팔트 개질제를 혼합시 아스팔트 콘크리트 포장의 질을 향상시킨다고 보고되고 있다. 이러한 도로 포장에 사용되는 고분자 개질제의 형태는 크게 3가지 종류로 분류할 수 있는데 첫째, 블록 공중합체와 기타 열가소성 플라스틱, 둘째, 합성 고무 또는 천연 고무, 셋째, 기타 물질이다.

3.1 블록 공중합체와 기타 열가소성 플라스틱

여기에 속하는 개질제는 주로 end block으로 스티렌, mid block으로 탄력있는 부타디엔을 가지는 공중합체로 구성되며, SB, SBS, SIS, SEBS, ABS 등이 있다. 몇몇 공중합체를 탄성체처럼 거동시키기 위해서는 가황이 요구된다. 또한 LDPE, EVA, EPDM과 같은 열가소성 고분자도 같은 그룹에 포함된다.

3.2 합성 고무와 천연 고무

합성 고무와 천연 고무는 보통 고온에서도 유효하지 않은 연속 network를 형성하기 위해서 가교제가 필요하고, NR, SBR, poly(2-chloro-1,3-butadiene)이 개질제로 많이 사용된다.

3.3 기타(CRM과 섬유)

개질제의 나머지 형태는 크게 타이어, 섬유, antistripping agent 등이 이에 속한다. 접합체 아스팔트(아스팔트-고무)와 타이어를 섞는 것은 지난 몇해 동안 주요 과제로 많이 토의되었고, 아스팔트-고무에 부가 되면 혼합체의 성상에 영향을 끼친다. 이미 언급된 다른 고분자 개질제와는 달리, 섬유는 아스팔트 바인더와 화학적으로 상호 작용을 하지 않는다. 그들의 주요한 목적은 피로와 파단 과정동안 흡수되는 에너지의 양을 증가 시킴에 의해 아스팔트 혼합체의 인성을 증가시키는 것이다.

섬유류는 0.0002~0.012 m의 크기 범위를 가지며 셀룰로오스, 폴리에스테르, 폴리프로필렌, 폴리비닐 클로라이드 또는 폴리아미드 등이 있다.

Antistripping agents는 고분자 개질제의 다른 형태이며, 대부분의 antistripping agents는 천연 고분자가 아니라 할지라도 밀입도(dense-graded) 아스팔트 혼합체에서 일반적인 첨가제로 사용되며, 시중에는 현재 폴리아민과 폴리부타디엔의 두 종류가 있다. 폴리아민은 침해성에 문제점이 있다. 폴리부타디엔은 균일층을 형성하기 위해 혼합체의 표면에 가해준다. Antistripping agents는

표 1. Characteristics of Crumb Rubber

Bulk density	1.15
Sulfur content(%)	1.74
Polymer base(NR/SBR/BR)	60/20/20
Rubber	65.82
Carbon black	28.77
Ash	5.41
Total	100.00

일반적으로 아스팔트 콘크리트 포장의 수분 침해방지를 위해 사용된다.

4. CRM(Crumb Rubber Modifier)

CRM(crumb rubber modifier)에서 crumb rubber란 페타이어로부터 분쇄하여 얻어지는 고무 가루로서 그의 조성은 표 1에 나타낸 바와 같이 천연 고무(NR)와 합성 고무(SBR, BR)이고 카본 블랙과 첨가제로 구성되어 있다. 우리나라에서 얻어지는 crumb rubber는 대형 타이어 buffing으로 인하여 얻어지며 이는 주로 천연 고무로 구성되어 있다. Crumb rubber로 분쇄하는 방법에는 상온 분쇄와 냉온 분쇄, 용액 분쇄로 나뉘어지는데 상온 분쇄법은 50 mm이하로 분쇄기에서 분쇄하고 자력 선별기로서 철분을 분리 처리한 뒤 2차 분쇄하여 분말화하는 방법이다. 냉온 분쇄법은 분쇄기와 페타이어 간의 마찰열을 줄이고자 액체 질소를 냉매로 사용하여 분쇄시 발생하는 마찰열을 억제시킴과 동시에 유리전이온도(T_g) 이하에서 분쇄되도록 하여, 입도 크기 0.3~0.15 mm 정도의 분말이 얻어진다.

또한 극미세 분쇄 방법으로서 용액 분쇄법은 페타이어를 작은 덩어리로 분쇄한 뒤 지방산에 침지시켜 일정한 시간이 흐른 뒤 꺼내어 고체 알칼리를 섞어 분쇄한 다음 시료를 물과 혼합하여 수용성 혼탁액을 만들어 산에 의해 응고시킨 후 수분을 증발시키는 방법이다.

CRM을 200 °C의 아스팔트에 혼합하여야 하는데 이때 CRM을 아스팔트 개질제로 사용하기 위하여는 고무 가루를 부풀려서 아스팔트와 결합력을 가지도록 해야 한다. 이 결합력은 다음 몇가지 사항과 관련이 있다.

가. 아스팔트와 CRM의 자체 물성

나. 혼합 기술

다. 첨가제

라. 고무와 아스팔트의 친화성 등이다.

CRM의 특성은 아스팔트와의 접착력을 좌우하는 중요한 변수인데, CRM의 입도크기, 비중, 양, 표면적, 화학 조성, 오염도 등을 들 수 있다.

입도크기의 예를 들면 미세한 분말일수록 점도가 올라가고 신율은 증가하지만 연화점은 변화가 없는 것으로 알

표 2. Characteristics of CRM Asphalt with Various Particle Size of Crumb Rubber

물리적 특성	일반 아스팔트	고무분말입도		
		10-20	-20	-80
Brookfield Viscosity(cp)	0분	-	-	-
	15분	-	550	2,400
	30분	-	700	2,900
	60분	-	1,200	4,000
	120분	-	1,700	4,400
신율, 25 °C (cm)	100+	14	26	45
연화점 (°C)	42	61	62	56

려져 있다(표 2). CRM의 오염도 가공상의 문제를 일으키는데 수분을 많이 함유하고 있으면 저장 탱크에서의 유출이 생기고, 섬유가 많이 있으면 점도가 증가하고 연화점이 올라가고 침입도가 낮아진다고 알려져 있다. Oil의 첨가는 점도를 낮추는 효과가 있으나 고무 아스팔트의 낮은 온도에서의 강도를 감소시킨다.

5. 고무 아스팔트 혼합 기술

고무 아스팔트 혼합 기술은 크게 2가지로 분류되는데 미세 crumb rubber와 약 200 °C의 아스팔트를 혼합해서 만드는 고무 아스팔트 바인더와 골재를 혼합하여 아스팔트 혼합물을 생산하는 기술인 습식(wet)기술과 crumb rubber를 골재의 일부분으로 취급해 골재와 먼저 건조한 상태로 혼합한 후에 일반 아스팔트와 다시 혼합하여 아스팔트 혼합물을 생산하는 건식(dry)기술이다(그림 1). 습식기술에는 고무분말을 아스팔트 중합비로 15~20% 첨가해 162~190 °C에서 반응시키는 회분식(Batch) McDonald 기술과 미세분말을 아스팔트에 5~16% 첨가하는 연속식 블렌딩 기술이 있다. 습식기술에서는 아스팔트 혼합물 플랜트에 이동식 블렌딩 장치를 갖추고 고무 아스팔트를 제조한다.

건식방법은 1960년대에 스웨덴의 Skega AB와 AB Vaegfoerbaetring가 "Rubitol"라고 알려진 제품 개발로 시작되었으며 1978년에 "PlusRide"의 기술로 특허를 취득하였다. 이 방식은 아스팔트 혼합에 앞서 갭입도(gap-graded) 골재에 고무분말을 골재의 일부로 첨가하여 고무 아스팔트 혼합물을 제조하는 원리이다. 고무분말은 비교적 굵은 고무입자(10체, 1.6~64 mm)를 중량비 3~6%를 섞는데 고무분말 투입은 25 kg단위의 폴리에틸렌 포장체로 도로 포장에 투입된다.

또한 1986년 오레곤 주립대학의 Takallou가 개발한 Generic 건식기술이 있는데 밀입도와 갭입도 HMA에 CRM을 혼합시키는 기술로서 갭입도 기술만으로 한정돼 있는 PlusRide와는 "generic" aggregate gradation을 사용할 수 있는 장점이 있다.

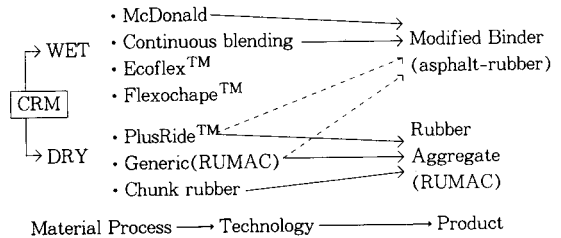


그림 1. Basic hierarchy of the CRM technologies.

표 3. Proposed Specification for Rubber Asphalt Binder in HMA

Test Parameter	Climate Usage		
	Hot	Moderate	Cold
Apparent Viscosity(c)@175 °C, spindle #3, 12 ram (ASTM D 2669)	min 1000 max 4000	min 1000 max 4000	min 1000 max 1000
Penetration, 25 °C, 100 g 5 sec, (ASTM D)	min 25 max 75	min 50 max 100	min 75 max 150
Penetration, 4 °C, 60 sec, (ASTM D)	min 15	min 25	min 40
Softening Point (ASTM D 3407)	min 130	min 120	min 110
Resilience, 25 °C, % (ASTM D 3407)	min 20	min 10	min 0
Ductility, 4 °C, 1cm/min (ASTM D 113)	min 5	min 10	min 15
Thin-film residue (ASTM D 1754)	min 75	min 75	min 75
Penetration retention, 4 °C, % of original	min 50	min 50	min 50
Ductility retention, 4 °C % of original			

Chunk 고무 아스팔트 기술이 건식방법으로서 개발되었는데 Plus Ride의 공법을 CRREL(Cold Regions Research and Engineering Laboratory)가 개발한 공법으로 HMA의 혼합 crumb rubber의 사용을 극대화하기 위한 것이다.

6. 고무 아스팔트 특성 규명

고무 아스팔트 특성은 표준 아스팔트 시멘트 시험법에 따라 침입도, 절대 점도, 연화점 등을 조사하는데 Schweyer rheometer, sliding plate viscometer, dynamic mechanical analysis 등의 기구가 사용된다. 이들은 고무 아스팔트 바인더를 조사할 때 쓰인다. 표 3은 HMA에서 고무 아스팔트 바인더 규정치를 나타낸 것이며, 표 4에 일반 아스팔트와 고무 아스팔트 특성을 비교하여 정리하였다.

표 4. Characteristics of Conventional Asphalt and Rubber Asphalt

Test Parameter	AC-10	Rubber Asphalt
Penetration, 25°C (1/10 mm)	106	67
Viscosity, 60°C (poise)	1.071	2.174
asphalt	8.6	10.8
Chemical resin	13.8	15.2
Composition(%) cyclic	74.5	70.7
saturates	3.1	3.3

6.1 부풀음(Swelling)

Crumb rubber는 아스팔트 시멘트에 첨가시키며 부풀음 현상이 일어난다. 부풀음의 정도는 혼합온도, 반응시간, 아스팔트와 crumb rubber의 특성치 등에 의하여 좌우된다. 고무와 아스팔트, 두 물질 모두 긴 사슬을 가지고 oil 또는 유체가 확산에 의하여 고분자 물질로 물질 전달이 일어난다.

따라서 고무의 부풀음 점도는 가교도, 상호간섭인자(interaction parameter)와 온도의 함수로 표현된다.

6.2 유변학 특성

아스팔트 고무는 변형과 응력 관계가 시간에 따른 비선형 물질이다. 유변학적 특성을 조사하기 위하여 rheometer를 사용하여 점도와 크리프 강도(creep stiffness) 등을 측정하고, 동적 점도 특성으로서 G' (loss modulus), G'' (storage modulus)와 $\tan \delta$ 등을 측정한다.

크리프 강도, $S(t)$,는 다음과 같이 계산된다.

$$S(t) = \frac{PL^3}{4bh^3\delta(t)} \quad (1)$$

여기서 P : 외부 작용힘

L : 빔 지지대 사이의 간격

b : 빔의 폭

h : 빔 두께

$\delta(t)$: 측정 시간 동안의 변형

동적 점도는 G^* 복합 모듈러스(complex modulus)와 $\tan \delta$ 를 사용하는데 SHRP은 바인더의 특성을 규정하기 위하여 $G^*\sin \delta$ 을 피로특성과 관련지었고 $G^*/\sin \delta$ 은 영구변형(permanent deformation)과 관련지어 설명하였다. SHRP 규정에 의하면 $G^*/\sin \delta$ 은 최소 1.0 KPa이상 되어야 하고 노화후에는 2.20 KPa 이상이어야 한다고 규정하고 있다.

또한 $G^*\sin \delta$ 은 10 rad/sec의 주파수에서 5000 KPa 이상되어야 한다고 규정하고 있다.

6.3 노화특성

고무 아스팔트의 노화는 아스팔트 포장체의 수명을 단축시킨다. 노화현상은 주로 바인더가 노화되어 딱딱해지

표 5. Changes of Properties of Rubber Asphalt

물리적 성질	개선 정도
고온 점도	일반 아스팔트 보다 100배 정도 증가
공용온도 stiffness	연화점이 15°C 증가 절대 점도(60°C) 100,000cp 이상 증가
탄성회복 특징	Resiliency가 50% 증가
저온 물성	저온 stiffness 감소 4°C 신도 증가
노화	TFOT 잔사 침입도비 65~90% 증가

고 접착성이 약화되고 아스팔트와 CRM이 시간에 따라 줄어들어 생기는 현상이다.

노화현상 측정방법도 rolling thin film oven test (RTFOT)와 thin film oven test(TFOT)를 사용하여 단기간 측정하는 방법이 있고 장기간 측정 방법(long-term test)에는 pressure aging vessel(PAV)방법이 있다.

6.4 탄성특성

고무 아스팔트의 탄성특성은 ASTM D 5329의 반발탄성 시험 규정으로 평가할 수 있으며 CRM을 첨가하면 기존 아스팔트보다 40~50% 증가하는 것으로 평가되었다.

7. 고무 아스팔트 특징

고무 아스팔트가 포장재료로 도입된 이유는 차량의 대형화와 교통량 증가에 따른 도로의 파손과 노후화, 잦은 보수작업에 의한 교통체증과 보수비의 과다 지출의 문제점을 해결하기 위해 채택되었다. 이것은 안정성, 내산성 및 내균열성이 우수하며, 골재를 피복하는 막의 두께가 두꺼워지고, 고무 속에 함유된 카본블랙의 내산화성이 결합체의 산화에 대한 저항성을 강화시켜 포장수명이 길어지며, 점도가 높아 영구변형에 대한 저항성을 증가시키고, 높은 탄성의 특성으로 반사균열과 열균열 발생에 대해 잘 견디기 때문이다. 고무성분 사용의 가장 큰 이유는 고무성분의 첨가에 따른 감온성의 저하 및 유연, 탄력성 향상에 있다. 감온성이 둔화되면 아스팔트의 적용온도 범위가 넓어져 온도의 변화에 따른 고온변형 및 저온 마모 파괴현상이 현저히 줄어들며, 동시에 유연성과 탄력성이 부과될 경우 충격흡수 효과가 크며, 외부하중에 대한 변형과 파손이 방지된다. 표 5에 고무 아스팔트의 물리적 특성 변화를 정리하였다. 고무 아스팔트의 특징으로는

첫째, 내구성이 증대된다. 고무에 포함되어 있는 카본블랙이 두꺼운 층을 형성, 내 산화성이 증가하여, 기존 아스팔트보다 노화 진행이 더디게 함으로써 포장체의 수명이 연장된다.

돌재, 감온성 개선이다. 고무 아스팔트의 연화점이 기존 아스팔트보다 10~15℃ 높아 고온에서 흘러내리지 않으며, 또한 유리전이온도가 낮은 고무 성분을 포함하여 저온에서 균열발생을 하지 않기 때문에 역청 결합재 경직도의 변화를 줄여 온도 변화가 심한 곳에 유용하다.

셋째, 고무의 탄성, 신장성, 복원성과 일반 아스팔트의 특징을 지니고 있어 바닥의 진동, 균열, 외부의 충격과 압축에 뛰어나다.

넷째, 투수율이 상당히 낮아 방수기능이 우수하다.

다섯째, 미끄럼 방지 및 마모 저항성과 내화학적 성질이 우수하다.

여섯째, 열가소성 고무성분의 페타이어를 사용함에 따라 폐기물 재활용의 의미 뿐 아니라 저렴한 가격으로 양질의 품질보장을 가능하게 한다.

일곱째, 하중과 시간에 매우 안정한 물질이므로, 외부 응력 초기에는 탄성의 특성으로 대처하며 후기에는 점성의 특성으로 대응하므로 높은 하중이 장시간 부하되는 곳에 유용할 뿐만 아니라 피로강도도 우수하다. 또한 일반 아스팔트보다 강한 인장강도를 가지고 있다.

8. 고무 아스팔트 포장

고무 아스팔트 포장의 종류에는 SAM, SAMI, ARC로 나뉘어진다. SAM은 표층 처리용으로 도로 표면에 고무 아스팔트 바인더를 살포하고 골재는 그 위에서부터 고무 아스팔트 바인더와 골재를 결합시키는 침설 공법을 이용하여 9~19mm의 두께로 포장하는 공법이다. 이 방법은 기층 균열의 표층 상층을 억제하기 때문에 주로 균열이 많은 도로에 시공하는 방법이다.

그러나 SAM의 공법은 조직이 치밀하지 못한 단점이 있어, SAMI공법이 개발되어 1971년에 피닉스 시에서 처음 시도되었다. 이 공법은 고무 아스팔트와 골재를 혼합하여 제조하는 plant mixing 방법이며 층의 두께는 6~13mm정도로 하고 있다.

ARC(asphalt rubber concrete)는 표면 처리용 SAM과 SAMI의 우수함이 증명된 후 도로의 구조, 균열의 크기 등 사용 목적에 따라 다양하게 사용될 수 있는 새로운 바인더의 필요성에 따라 개발되었다. 아스팔트 바인더에 고무 분말이 첨가된 고무 아스팔트 접합제 입도 분류에 따라 밀입도(dense graded), 갭입도(gap grade)와 개립도(open grade) 고무 아스팔트로 나눌 수 있다. 갭입도 고무 아스팔트 콘크리트는 개립도에서 발생하기 쉬운 균열 및 골재 탈리를 방지하기 위하여 고무 아스팔트를 혼합하는 방법이며, 갭입도 고무 아스콘 설계와 포설점도는 재래식 밀입도(dense grade) 아스콘과 비슷해서 Marshall이나 Hveem 설계 절차가 적용된

표 6. Gap-graded HMA aggregate requirements(International Surfacing, Inc., 1992)

Sieve size	Gradation, Percent passing		
	Max. size : 3/8"	Max. size : 1/2"	Max. size : 3/4"
1 in.	100	100	100
3/4 in.	100	100	90-100
1/2 in.	100	90-100	65-85
3/8 in.	78-92	70-90	50-70
No. 4	28-42	24-42	22-42
No. 8	15-25	15-25	15-25
No. 30	5-15	5-15	5-15
No. 200	3-7	3-7	3-7

표 7. Dense-graded HMA aggregate requirements(International Surfacing, Inc., 1992)

Sieve size	Gradation, Percent passing		
	Max. size : 3/8"	Max. size : 1/2"	Max. size : 3/4"
1 in.	100	100	100
3/4 in.	100	100	90-100
1/2 in.	100	90-100	70-90
3/8 in.	90-100	75-95	60-80
No. 4	60-80	50-70	40-60
No. 8	40-60	35-50	30-45
No. 30	18-30	15-18	12-22
No. 50	8-18	6-16	5-14
No. 200	2-8	2-8	2-6

다. 표 6에 갭입도의 요구치를 정리하였고 표 7에 밀입도에 대하여 정리하였다. 개립도 고무 아스팔트 콘크리트는 갭입도보다 아스팔트 함량이 많이 들어가며, 이 혼합 방법은 반사균열(reflection crack) 산화작용을 방지하는데 효과가 있다고 알려져 있다. 또한 포장 표면에 물이 고이는 것을 막아주는 효과가 있어서 수막형성에 의한 미끄럼 방지에도 탁월한 효과를 나타낸다.

고무 아스팔트 포장은 아스팔트, crumb rubber, 첨가제 등 여러 가지 재료가 혼합되기 때문에, 포장에 착수하는 데에는 각 재료의 혼합비, 각 재료의 밀도, 기포제거, 안정성 등을 고려하지 않으면 안된다. 고무 아스팔트를 포장에 사용하기 위하여 기존 아스콘 장비들을 사용하면 되나 아스팔트 가열 탱크, 혼합장비인 블렌더와 온도 조절과 교반이 가능한 숙성탱크 등의 장비가 추가적으로 필요하다.

9. 국내에서 시험포장 뒤에 지적된 다음의 몇가지 기술적인 문제점과 대책

9.1 저장 안정성의 문제

시간이 지남에 따라 고무분말과 아스팔트분이 분리되어 골재와의 접착불량의 원인이 될 수 있으므로 계속적으로 적정온도를 유지해야 한다. 이로 인해 48시간 이상

표 8. Economic View of Rubber Asphalt

구 분	일반 아스콘	CRM (고무) 아스콘	
		갹입도	갹립도
아스콘 단가 톤당	26,000	57,000	61,300
아스콘 소요량 (1 km 포장시)	426.9톤	255.5톤	212.9톤
아스콘 가격 (대비 %)	11,099천원 (100)	14,563천원 (131)	13,050천원 (118)

(폭원 3.6 m 1차선 1 km 기준)

보관이 어렵고 재사용시는 143 ℃ 이상으로 가열해야 한다. 점도유지를 위하여 AP-3 또는 고무가루와 첨가제를 혼합하여야 하며, 숙성탱크가 필요하다.

9.2 시공문제

고무 아스팔트는 일반 아스팔트보다 온도가 20 ℃ 정도 높아 두께가 얇아지기 때문에 상대적으로 온도가 빨리 떨어지므로 온도관리에 특별한 신경을 써야 한다. 교통 장애 등을 고려할 때 예비 혼합(premixing)으로 시공지점까지 완전한 상태로 고무 아스팔트를 운반하는 것은 어렵고, 시공시에도 일반시공에 비해 공기연장, 악취(공해원인) 등의 장애요소가 있다.

또한 최초의 다짐장비의 신속한 투입과 점착방지용 석회수를 충분히 살포해야 하므로 시공상의 제한이 있으며, 새로운 시공 시스템을 위한 기능숙달이 필요하다.

9.3 설비의 보정문제

현재의 premixing type으로는 연속생산이 불가능하다. 왜냐하면 혼련과 온도 조절이 불가능하며 이에 따라 균일한 혼합이 이루어지지 않는다.

이외에도 아스팔트의 종류, rubber, 첨가제, 제조시간 및 온도의 변화에 따른 기술적인 데이터가 축적되어 있지 않다는 점을 문제점으로 들 수 있다. 이에 대한 대책으로는 혼련과 온도 조절이 가능한 이동식 plant가 필요하며 균일한 혼합을 위한 첨가제 개발이 필요하다. 또한 포장 시공기술의 개발과 기술데이터 축적이 필요하다.

10. 고무 아스팔트 경제성 검토

고무 아스팔트가 개발된 초창기에는 일반 아스팔트 포장보다 3배가 비싸 가격면에서 경쟁력이 없었으나 포장 공법의 개발로 인하여 가격이 많이 내려 왔다.

표 8은 일반 아스콘과 CRM 아스콘을 1 km 포장하였을 때의 재료비를 비교하였다. 표에서 보는 바와 같이 고무 아스팔트 경우 약간의 재료비 상승요인이 발생하나 포장 두께가 얇아지는 까닭에 포석비, 운반비, 인건비, 포장비에서 20~30% 원가 절감의 효과가 발생되어 약 10% 증액 요인만이 발생함을 알 수 있다.

11. 결 언

1960년대 페타이어로부터 얻은 crumb rubber를 도로 포장용 아스팔트에 처음 사용한 후 꾸준한 연구결과, 고무계질 고무 아스팔트는 도로의 수명을 연장해주고 저온에 의한 균일발생에 대한 저항성이 크고 소성변형에도 상당히 우수한 것으로 알려졌다. 그동안 문제시 되었던 경제성 문제는 시공기술 개발로 일반 아스팔트 포장과 경쟁력을 가질 수 있는 정도까지 접근하였다. 인건비 상승과 보수비 절감 효과를 고려하면 기존 아스팔트와 경쟁력을 지니고 있다. 또한 포장의 질이 개선되고 소음 감소의 효과를 가져올 뿐만 아니라 폐자원의 이용 측면에서 자원 절약과 환경적인 측면에서의 폐자원 처리 등의 효과가 기대된다. 그러나, 우리나라의 경우 고무 아스팔트의 이해가 부족, 혼합장비와 기술축적의 미비와 여러 가지 시공 방법 등의 어려움으로 아직 실용화되지 않고 시험포장에 따라 시험하고 있는 단계이다. 따라서 앞으로 자원 절약과 페타이어 처리라는 환경적 측면에서 시험 결과가 입증되면 고무 아스팔트의 기술축적과 함께 실용화하기 위한 제도적인 장치가 필요하다고 판단된다.

감사의 글: H.사의 이석홍 박사와 U.사의 김봉섭 부회장의 기술자료 제공에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. S. Lee, Ph. D. Dissertation, "Laboratory Study of Rubber Modified Asphalt Paving Materials", U. of Akron, 1995.
2. J. W. H. Oliver, "Modification of Paving Asphalt by Degestion with Scrap Tire", TRR 821, p. 37 (1981).
3. S. Lee, "Aging Behavior of CRM Asphalt Paving Materials", preparation (1997).
4. Technical Report of Unix Rubber, "UNIX ARC", 1997.
5. C. A. Bell, Y. Abwahab, and M. E. Christi, "Laboratory Aging of Asphalt-Aggregate", Serviceability and Durability of Construction Materials, Proceedings of the First Materials Engineering Congress, ASCE, Denver, Colorado (1990).
6. C. H. McDonald, HRR, 146, 1 (1966).
7. Quintus Von, H. L., NCHRP 338: Asphalt Aggregate Mixture Analysis System, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 1991.
8. AASHTO Provisional Standards, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1994.
9. R. B. McGennis and H. U. Bahia, "Background of SUPERPAVE Asphalt Binder Test Methods", FHWA Report FHWA-sa-94-069, U.S. Department of Transportation, 1994.
10. H. Al-Abdul-Wahhab and G. Al-Amri, ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 3, 189 (1991).
11. I. Ahmed and C. W. Lovell, "Use of Rubber Tires in

- Highway Construction", Utilization of Waste Material in Civil Engineering Construction, Proceedings of Material Engineering, ASCE, p. 166 (1992).
12. D. A. Anderson and T. W. Kennedy, "Development of SHRP Binder Specification", Association of Asphalt Paving Technologist(AAPT), p. 481 (1993).
 13. G. L. Anderson, "Evaluation of Asphalt Rubber Binders in Porous Friction Courses," US Army Corps of Engineers, Interim Report CPAR-GL-92-1, May, 1992.
 14. D. A. Anderson, D. W. Christensen, R. S. Dongre, M. G. Runt, and J. Jordhal, "Asphalt Behavior at Low Service Temperatures", U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, FHWA-RD-88-078, Mar., 1990.
 15. H. U. Bahia, D. A. Anderson, and D. W. Christense, "The Bending Beam Rheometer; A Simple Device for Measuring Low-Temperature Rheology of Asphalt Binder", AAPT, p. 182 (1992).
 16. M. Blumenthal and J. L. Zelibor, "Scrap Tires in Rubber-Modified Asphalt Pavement and Civil Engineering Applications", Utilization of Waste Material in Civil Engineering Construction, Proceedings of Material Engineering, ASCE, p. 182 (1992).
 17. J. Cano and E. Charania, "Gap-Graded Asphalt Hot Mix Used in the City of Phoenix, Arizona", 1992 International Public Works Congress and Exposition, Boston, Massachusetts (1992).
 18. J. O. Cano, E. Charania, and R. H. Schnormeier, "Twenty-year Study of Asphalt-Rubber Pavements in Phoenix, Arizona", TRR 1307, p. 29 (1991).
 19. R. N. Doty, "Flexible Pavement Rehabilitation Using Asphalt-rubber Combinations : Progress Report", TRR 1196, p. 212 (1989).
 20. R. A. Eaton, R. J. Roberts, and R. R. Blackburn, "Use of Scrap Rubber in Asphalt Pavement Surfaces", Special Report 91-27, US Army Corps of Engineers, Cold Regions & Engineering Laboratory (1991).
 21. C. K. Estakhri, J. W. Button, and E. G. Fernando, "Use, Availability, and Cost-effectiveness of Asphalt-Rubber in Texas", TRR1339, p. 30 (1992).
 22. E. L. Green and W. J. Tolonen, "The Chemical and Physical Properties of Asphalt-Rubber Mixtures, Part I-Basic Material Behavior", FHWA-AZ-HPR14-162, Arizona Department of Transportation (1997).
 23. M. Heitzman, "State of the Practice-Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier", FHWA-SA-92-022, Federal Highway Administration (1992).
 24. D. M. Hyot, R. L. Lytton, and F. L. Robert, "Performance Prediction and Cost-Effectiveness of Asphalt-Rubber Concrete in Airport Pavement", TRR 1207, p. 88 (1989).
 25. Y. H. Huang, "Pavement Analysis and Design", Prentice Hall, NY, 1993.
 26. B. J. Huff and B. A. Vallergera, "Characteristics and Performance of Asphalt-Rubber Material Containing a Blend of Reclaim and Crumb Rubber", TRR 821, p. 29 (1981).
 27. T. R. Jacob, "Design Parameters for Use of Reinforced Stress-Absorbing Membrane Interlayers", TRR 1272, p. 130 (1991).
 28. R. A. Jimenez and W. R. Meir, Jr., "Laboratory Evaluation of an Asphalt-Rubber SAL", TRR 1034, p. 86 (1985).
 29. W. J. Kenis, "Prediction Design Produces", VESYS Users Manual : AnInterim Design Method for Flexible Pavements Using the VESYS Structural Subsystem, FHWA-RD-77-154, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (1978).
 30. N. C. Krutz and M. Stroup-Gardiner, "Permanent Deformation Characteristics of Recycled Tire Rubber-Modified and Unmodified Asphalt Concrete Mixtures", TRR 1339, p. 38 (1992).
 31. S. W. Lee and K. L. Fishman, 119(3), 433 (1993).
 32. G. C. Page, B. E. Ruth, and R. C. West, "Florida's Approach Using Ground tire Rubber in Asphalt Concrete Mixtures", TRR 1339, p.16 (1992).
 33. G. W. Maupin, Jr., "Viginia's Experimentation with Asphalt Rubber Concrete", TRR 1339, p. 9 (1992).
 34. G. R. Morris and C. H. McDonald, "Asphalt-Rubber Stress-Absorbing Membranes : Field Performance and State of the Art", TRR 595, p. 52 (1976).
 35. G. C. Page, "Florida's Initial Experience Utilizing Ground Tire Rubber in Asphalt Concrete Mixes", AAPT, p. 446 (1992).