폐타이어 고무분말 개질 아스팔트의 물리적 특성에서 유연제의 영향

Influence of Plasticizer on the Physical Properties of Crumb Rubber Modified Asphalts

김두병* 김종석**
Kim, Doo Byung Kim, Jong-Seok

1. 서론

현재 국내도로는 차량의 대형화와 교통량의 증가에 따라 도로의 파손과 노후화가 심각한 편이다. 파손되고 노후화된 도로를 보수하는 작업으로 교통체증이 증가하고, 보수비용이 과다 지출의 문제점을 갖고 있다. CR개질 아스팔트는, 이러한 문제점을 개선하기 위한 방안으로 검토되고 있다. CR개질 아스팔트는 안정성, 내산성 및 내균열성이 우수하여, 골재를 피복하는 막의 두께와 내산화성이 증가하여 포장수명이 증가하는 것으로 알려져 있다 (김진광, 1990). 그러나 국내에서 CR개질 아스팔트를 시험 포장을 한 결과, 기술적인 문제점이 노출되었다. 그 동안 아스팔트의 종류와 첨가제, 제조시간 및 온도의 변화에 따른 기술적 데이터가 축적되어 있지 않기 때문에, 문제점을 해결하기 위해서는 균일한 혼합을 위한 첨가제를 개발하고 관련된 기술적 데이터를 축적할 필요가 있다고 판단된다 (김진국, 1997). 본 연구에서는 CR 개질 아스팔트에서 CR과 아스팔트의 혼합온도와 유연제의 함량에 따라 CR 개질 아스팔트혼합물의 물리적 특성과 저온접착력에 대해 고찰하였다.

2. 재료 및 실험

2.1 재료

바인더로 사용된 아스팔트는 SK사의 침입도 등급이 80-100인 AP-3 스트레이트 아스팔트를 사용하였다. 아스팔트 바인더의 개질제는 CR을 사용하였으며, 입자크기가 30 mesh인 CR을 자원재생공사에서 구입하여 사용하였다. 국내에서 얻어지는 CR은 대형 타이어의 연마공정에 의하여 얻어지며, 고무성분에서 천연고무가 주성분으로 구성되었다. 아스팔트의 유연제(flexibilizer)는 로드씰사의 파라핀계 오일인 R-3을 사용하였으며, 유연제의 유동점은 -60℃이고, 인화점은 265℃인 특성을 보였다.

2.2 CR 개질 아스팔트의 제조

AP-3는 원료 그대로 사용하였으며, CR표면에 존재하는 수분을 제거하기 위해 80℃로 유지된 진공건조기에서 24시간 건조 하였다. 혼합반응조건은 아스팔트가 완전 용융되었을 때 개질제인 CR을 아스팔트에 대해 10wt%를 소량씩 나누어 첨가하여 혼합반응 시켰다. 혼합반응조건은 600rpm의 교반속도로 180℃의 온도에서 최대반응시간을 1시간으로 하였다. 유연제 함량에 따른 CR의 물리적 특성을 조사하기 위해 아스팔트 바인더에 대해 유연제를 2~15wt%첨가한

* 회원 · (주)로드씰 책임연구원 · 공학석사 · 063-222-4744 (E-mail: twobottles@hotmail.com)
** 정회원 · 전북대학교 화학공학부 부교수 · 공학박사 · 063-270-4056 (E-mail: js-kim@chonbuk.ac.kr)

후 CR을 10wt%를 소량씩 나누어 첨가하여 혼합반응 시켰다. 혼합반응조건은 600rpm의 교반속도로 210oC의 온도에서 최대반응시간을 1시간으로 하였다.

2.3 침입도 및 연화점 측정

침입도의 측정은 ASTM D5에 따라 7회 이상 반복하여 침입도 값을 측정하였으며, 최대 침입도 값과 최소 침입도 값을 제외한 5개의 침입도 측정치를 평균한 값을 침입도로 결정하였다. 연화점의 측정은 ASTM D36에 따라 3회 이상 반복하여 연화점을 측정하였다.

2.4 인장접착력의 측정

저온에서 CR 및 SBS로 개질한 아스팔트의 인장접착력은 ASTM D5329에 따라 측정하였다. 시험시편은 콘크리이트 블록 대신에 화강암블록(13mm×25mm×50mm)을 제작하였다. 화강암 블록은 시험 전 표면의 불순물을 제거하기 위해 아세톤으로 세척 후 상온에서 2시간 건조하여 사용하였다. 두 개의 화강암블록 양쪽 끝에 12.5mm×12.5mm ×25mm크기의 인조대리석 블록지지대를 설치한 후 빈 공간에 CR 개질 아스팔트를 채운 뒤 상온에서 24시간 냉각하였다. 시험시편을 -20℃에서 2시간 이상 정치시킨 다음 측정하였다. -20℃ 온도가 유지된 챔버가 설치된 만능시험기를 이용하여 crosshead speed는 12.5mm/min로 3회 이상 반복하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

평균입자크기가 30 mesh인 CR로 고정시키고 CR의 함량에 따른 침입도와 연화점을 Table 1과 Figure 1에 나타내었다. 일반적으로 고분자 개질 아스팔트의 연화점과 침입도는 고분자 개질제의 물리적 특성과 고분자의 함량에 의존한다 (Palit et al. 2004). CR 개질 아스팔트는 아스팔트바인더에 비해, 침입도는 감소하는 반면, 연화점은 증가하는 경향을 보이고 있다.

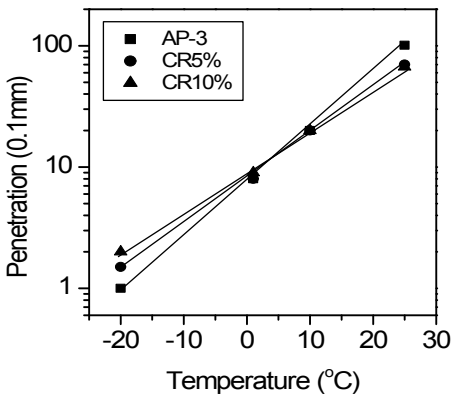

Figure 1. Variationof penetration of CR modified asphalts as a function of CR contents at 180℃, 1hr.

Table 1. The Properties of CR modified Asphalt

Property	Content (wt%)		
	0	5	10
Penetration at 25℃ (0.1mm)	100	69	68
Softening point (℃)	48	55	63
Penetration index (PI)	−0.70	0.51	1.11

침입도 지수는 아스팔트바인더의 온도 민감성을 나타내는 물리적 특성의 척도로 사용되고 있다. 온도 민감성은 아스팔트바인더를 이용한 도로포장 및 도로 보수재료들에 중요한 특성 중에 하나이다. 저온영역에서 아스팔트바인더는

골재와의 계면에서 분리와 공극에 침투된 수분의 영향으로 응력균열이 발생하게 된다. 따라서 아스팔트바인더의 연성은, 포장용 아스팔트뿐만 아니라 도로 및 교량유지 보수제로 사용되고 있는 아스팔트 실란트에 가장 필요한 물리적 특성이라 판단된다. 침입도 지수가 증가할수록 아스팔트 바인더의 온도 민감성이 감소한다. CR의 함량이 5wt%에서 침입도 지수가 아스팔트 바인더의 범위에 있음을 나타냈으나, 10wt%이상에서 침입도지수가 1이상을 나타내었다. 이러한 결과로부터 CR의 함량이 10wt%이상에서 온도 민감성이 감소하는 것을 알 수 있다.

교반속도를 600rpm으로 하여 혼합반응이 지속적으로 이루어진 상태에서 혼합온도, 반응시간 및 유연제의 첨가에 따른 침입도와 연화점의 변화를 측정하였다. 반응온도가 180℃와 210℃ 조건에서 물리적 특성을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Properties of CR modified Asphalt as the Temperatures

Composition (wt%)		Processing Condition	Penetration (0.1mm)	Softening point (℃)	PI
CR	R-3				
0	0	-	100	48	-0.70
10	0	180℃, 1hr	68	63	1.11
0	2	180℃, 1hr	166	46	0.49
10	2	180℃, 1hr	96	56	1.54
10	2	210℃, 1hr	130	56	1.43

CR의 함량이 10wt%로 개질한 아스팔트혼합물에 파라핀계 오일을 2wt% 첨가한 경우, 연화점은 일정한 반면, 침입도는 감소함을 보였다. 또한 온도 민감성을 나타내는 침입도지수가 증가하였다. 이는 CR의 구성성분인 SBR과 NR에 오일성분이 확산되었음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 유연제에 의해 CR의 팽윤이 증가되어 침입도가 감소한 것으로 판단된다. 타이어의 제조에서도 가황공정에서 오일을 사용하고 있으며, 오일은 고무에 침투해 점도를 저하시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 혼합온도가 증가한 데 따른 물리적 특성을 확인하기 위해, 210℃에서 침입도가 크게 증가함을 보였다. 이는 혼합반응온도가 210℃에서 오일에 의한 CR의 해리가 가속화되면서 아스팔트혼합물의 연성이 증가한 것으로 생각된다. CR개질 아스팔트혼합물을 -20℃에서 측정한 접착인장강도를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Low Temperature Tensile Adhesion Properties of CR modified Asphalt as the Temperatures

Composition (wt%)		Processing condition	Tensile adhesion strength (MPa))
CR	R-3		
0	0	-	0.198
5	0	180℃, 1hr	0.237
10	0	180℃, 1hr	0.278
10	2	180℃, 1hr	0.243
10	2	210℃, 1hr	0.395
10	5	210℃, 1hr	0.472
10	10	210℃, 1hr	0.606
10	15	210℃, 1hr	0.597

모든 CR개질 아스팔트 혼합물들은 피착재의 표면에서 떨어지는 접착파괴(adhesive failure) 현상을 보였다. 이는 저온에서 개질 아스팔트혼합물과 석재 사이의 접착강도가 개질 아스팔트의 인장강도 보다 약하기 때문에 일어나는 현상이다. 유연제인 R-3를 첨가한 개질 아스팔트의 경우 혼합반응온도가 210℃는 180℃보다 인장접착강도는 62%와 강인성이 230% 증가하였다. CR의 팽윤이 증가할수록 연성이 증가하여 인장접착강도가 증가함을 확인할 수 있다. 이러한 결과들로부터 저온에서 온도 민감성을 향상시킨 CR 개질 아스팔트는 혼합반응시간보다는 혼합반응온도와 유연제가 더 효과적인 인자임을 알 수 있다. 210℃에서 유연제의 함량을 변화하여 저온에서 저온 접착강도를 측정하였다. 유연제의 함량이 10%에서 2%에 비해 153% 증가한 결과를 보였다. CR 개질 아스팔트에서 유연제의 함량이 10%에서 가장 우수한 저온인장접착특성이 우수함을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 유연제의 함량이 증가할수록 CR의 팽윤을 증가시킨 결과로 CR과 아스팔트바인더간의 상용성과 연성을 증가시킨 결과로 예측할 수 있다. 따라서 저온에서 아스팔트바인더의 유연성이 소성변형을 증가시킴으로 저온인장강도가 증가함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 폐타이어 고무분말(crumb rubber)과 아스팔트를 기본성분으로 하고 혼합온도 및 유연제를 첨가한 공정조건에 따른 물성변화를 조사하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유연제에 의해 개질된 아스팔트혼합물은 아스팔트바인더에 비해 온도 민감성이 작음을 알 수 있었다.
2. 유연제를 첨가한 CR개질아스팔트는 혼합시간이 증가함에 따라 저온인장접착 특성이 증가하였다.
3. 아스팔트에 유연제를 첨가한 아스팔트혼합물은, 반응온도가 210℃가 180℃에 비해 저온인장접착강도와 강인성이 크게 증가하였다. 반응온도가 210℃에서 유연제가 증가함에 따라 CR 개질 아스팔트의 저온특성이 향상되었다.

참고문헌

김진광 (1990) "폐타이어를 이용한 고무아스팔트 포장" 타이어고무, 10-19

김진국 (1997) "폐타이어 개질 고무 아스팔트" 고분자과학과 기술, 8, 754-760.

ASTM (2006) "Standard test method for penetration of bituminous materials" D5-06

ASTM (2006) "Standard test method for softening point of bitumen (ring-and-ball apparatus)" D36-06

ASTM (2007) "Standard test methods for sealants and fillers, hot applied, for joints and cracks in asphaltic and portland cement concrerete pavements" D5329-07

Palit, S.,Reddy, S., and Pandey, B., (2004) "Laboratory evaluation of crumb rubber modified asphalt mixes." Journal of Materials in Civil Engineering, 16, 45-53.