



저온에서 CRM 아스팔트 콘크리트의 특성

(Characteristics of Crumb Rubber Modified (CRM) Asphalt Concrete at Low Temperature)

김종열*, 이 용 희**, 황성원***, 정용은****

1. 서 론¹⁾

Crumb rubber는 여러 고분자 개질재들과 함께 다양한 과정들에 의해 1950년대 중반부터 아스팔트 콘크리트 혼합물에 첨가 되어왔다 (McDonald, 1966; Esch, 1982; Takallou and Hicks, 1988). Hot mix 아스팔트 콘크리트에 혼합한 crumb rubber의 가장 유망한 변화 가운데 하나는 중합체(polymer)와 crumb rubber를 결합시키는 것이다 (Newcomb et al., 1994). 이러한 생산물들은 성공의 여부에 따라 사용되고 있고 포장재료로서 계속적인 인기를 얻어가고 있다. 하지만 현장 적용에 큰 수정없이 crumb rubber와 중합체의 결합특성 또는 crumb rubber를 중합체화하는 개념은 잘 설명되지 않고 있는 실정이다. 본 연구의 목적은 저온에서 CRM 아스팔트 콘크리트의 기본적인 성질을 실내시험을 통하여 평가하는 것이다. 특히, CRM 아스팔트 콘크리트의 저온 거동과 CRM 아스팔트 콘크리트의 역학적 특성의 온도에 대한 민감성, 그리고 crumb rubber 종류가 CRM 아스팔트 콘크리트의 저온 거동과 온도 민감성에 미치는 영향에 중점을 두었다.

2. 본 론

2.1 시 험

CRM 아스팔트 콘크리트의 저온 거동을 평가하기 위하여 간접인장시험(indirect tensile test)과 CRM 아스팔트 콘크리트의 역학적 특성의 온도에 대한 민감성을 연구하기 위하여 회복탄성계수시험(resilient modulus test)을 시행하였다. 두 시험 모두 직경이 100mm 높이가 65mm인 Marshall 시료를 사용하였다. 각 시험의 조건마다 세 번의 시험을 실시하여 구한 평균값을 그 시험조건의 대표값으로 사용하였다.

* 전남대학교 토목공학과 조교수

** 전남대학교 토목공학과 석사과정

*** 전남대학교 토목공학과 석사과정

**** 전남대학교 토목공학과 박사과정



시료를 만들기 위하여 침입도등급(penetration grade)이 85/100 인 전형적인 아스팔트 시멘트를 사용하였으며 crumb rubber 함량(골재 무게의 0, 3, 5 %)에 따라 세 종류의 골재입도분포(aggregate gradation)를 선택하였다. 시험 결과의 비교에 기준이 되는 표준시료의 골재입도분포(표준입도분포)는 ASTM D3105 (1994)에 규정된 범위에 맞추어 선택하였으며 (gradation A), crumb rubber 혼합물에 대한 골재입도분포는 표준골재입도분포를 수정한 것으로부터 얻었다 (gradation B and C). crumb rubber 입자크기와 같은 골재의 일부를 crumb rubber의 같은 부피만큼 감소시켰다. 골재로는 강 자갈과 색석 화강암을 사용하였고 혼합된 골재의 비중은 2.66이다. 최대 입경이 4.75mm인 두 종류의 crumb rubber(승객용(PA)과 산업용(IN) 타이어)은 oil pitch(고무 무게의 5%)로 처리시켰다. 최적 아스팔트 함량(asphalt content)은 Asphalt Institute (1974) 배합설계법에 의해 결정하였다 (gradation A : 4.3%; gradation B: 6.0%; gradation C: 7.7%). 다양한 온도(간접인장시험: -18, 1°C; 회복탄성계수시험: -18, 1, 25, 40°C)에서 시험들이 수행되기 때문에 항온조 (environmental chamber)와 시료들은 시험온도와 같도록 미리 조절하였다. 간접인장시험에서는 50mm/min의 재하속도를 선택하였고 회복탄성계수시험에서는 1Hz의 재하주기를 선택하였다. 재하장치로는 시험을 수행하는데 요구되는 응력/변형을 경로를 유지할 수 있는 MTS 810 시험장치를 사용하였다.

원통형 시료를 사용한 간접인장시험과 회복탄성계수시험에서 시료의 인장강도(tensile strength)와 회복탄성계수(resilient modulus)는 다음 식들로 표현할 수 있다.

$$S_t = \frac{2P}{\pi Dt}$$

$$M_R = \frac{P[\mu + 0.2734]}{tu_x}$$

여기서, S_t 는 인장강도, P 는 적용된 하중, D 는 시료 직경, t 는 시료 두께, M_R 은 회복탄성계수, μ 는 Poisson's ratio, 그리고 u_x 는 수평 변위이다. 아스팔트 콘크리트의 Poisson's ratio는 온도에 따라 변하므로 본 연구에서는 회복탄성계수를 계산할 때 -18°C와 1°C의 시험 온도에서는 0.2, 25°C에서는 0.35 그리고 40°C에서는 0.5를 사용하였다.

2.2 결과 및 토의

2.2.1 저온 거동

표 1은 시료가 파괴될 때의 인장강도와 수평변위를 나타낸 것이다. 일반적으로, CRM 아스팔트 콘크리트 내의 crumb rubber 함량이 증가함에 따라 인장강도는 감소한다. 저온에서의 이러한 경향은 에너지가 점성흐름(viscous flow)에 의해 소산(dissipation)됨을 의미한다. 재하속도가 빠른 본 연구에서도 (50mm/min) CRM 아스팔트 콘크리트의 변형력이 crumb rubber 함량과 함께 증가됨을 볼 수 있다. CRM 아스팔트 콘크리트의 변형력은 시험온도가 -18°C일 때 crumb rubber가 3%와 5% 증가함에 따라 각각 100에서 300%까지 증가하였다. 시험온도가 1°C 일 때에도, crumb rubber의 종류에 따라 약간의 차이는 있지만, 각각 50에서 110% 정도 증가하였다. 저온에서 CRM 아스팔트 콘크리트의 변형력의 증가는 온도균열(thermal cracking)에 대한 저항력이 증가하였음을 의미한다고 할 수 있다. 그러



므로, 아스팔트 콘크리트에 crumb rubber를 사용하면 실질적으로 아스팔트 콘크리트 포장도로에 발생하는 온도균열을 감소시킬 수 있다고 기대된다.

외부 하중에 의한 CRM 아스팔트 콘크리트 내의 에너지의 소산에 대해 보다 더 충분하게 조사되기 위해서는 시험방법에 변화를 줄 수 있다. 예를 들어, 하중을 느린 속도로 천천히 재하하면 CRM 아스팔트 콘크리트의 점성적 거동(viscous behavior)이 저온에서도 완전하게 발현 할 수 있다. 또한, rutting potential을 평가하기 위하여 상온이나 고온에서 일반적으로 사용되는 영구변형시험(permanent deformation test)을 저온에서도 실행해 볼 수 있다. 이 시험 방법을 사용하면 시료의 점성, 탄성, 소성의 거동을 따로 분리하여 해석할 수 있다.

표 1. 간접인장시험(Indirect Tensile Test)의 결과

Type of Rubber	% of Rubber	% of Voids	-18℃		1℃	
			S_t , kPa	u_x , μm	S_t , kPa	u_x , μm
None	None	4.8	4094	170	3135	590
PA	3	7.5	2325	340	1460	900
	5	8.9	1688	620	1223	1260
IN	3	7.4	2167	380	1643	870
	5	9.1	2020	450	1191	1250

2.2.2 온도 민감성

그림 1은 회복탄성계수시험의 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서 기울기의 변화는 회복탄성계수의 온도 민감성의 변화를 나타낸다. 즉, 경사가 평평해지면 회복탄성계수의 온도 민감성은 감소된다는 의미이다. 이 그림에서 crumb rubber가 아스팔트 콘크리트에 첨가되었을 때 어떤 주어진 온도에 있어서 회복탄성계수의 실제적인 변화가 있는 동안에 선분들의 기울기 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이것은 crumb rubber의 존재가 아스팔트 콘크리트의 역학적 특성(최소한 회복탄성계수)에 대한 온도 민감성에는 그다지 큰 영향을 미치지 못하지만, 모든 온도에 있어서 혼합물의 강도(stiffness)를 감소시킨다는 것을 의미하고 있다. 아스팔트 콘크리트에 crumb rubber의 함량을 증가시키면 crumb rubber의 종류에 상관없이 회복탄성계수가 감소하였다. CRM 아스팔트 콘크리트에서 탄성계수는 각각 crumb rubber가 3%, 5%일 때 시험온도

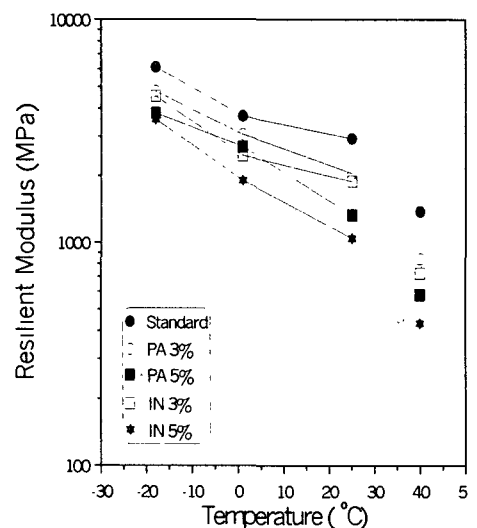


그림 1 회복탄성계수시험(resilient modulus test)의 결과



가 -18°C 일 때에는 각각 20%와 40%, 1°C 일 때에는 각각 40%와 60% 감소하였다.

2.2.3 공극률

CRM 아스팔트 콘크리트의 공극률(voids ratio)은 crumb rubber의 함량을 증가함에 따라 함께 증가하였다 (표 1). 배합설계(mix design)에서 공극률이 4%일 때 최적 아스팔트 시멘트의 함량을 선정하였기 때문에 이러한 공극률의 증가는 놀라운 변화이다. 이러한 현상은 골재입자분포의 변화(crumb rubber 함량의 증가)의 결과로 보인다 (골재입자분포의 변화에 따라 CRM 아스팔트 콘크리트의 공극률은 표준시료의 공극률보다 2.5%에서 4% 정도 더 증가하였다). 만약 이 가정이 사실이라면 (모든 CRM 아스팔트 콘크리트의 공극률이 crumb rubber 함량의 증가에 따라 함께 증가한다면) CRM 아스팔트 콘크리트를 현장에 적용할 때 최소 허용 공극률을 상향 조정해야 할 것이다. 하지만 이러한 결정은 실내시험 뿐만 아니라 여러 조건 하에서 이루어진 현장 시험의 결과 등을 고려해서 이루어져야 한다. 또한, CRM 아스팔트 콘크리트 사이의 이러한 공극률의 증가는 표 1에서 보여준 인장강도의 감소와 그림 1에서 보여준 회복탄성계수의 감소를 잘 뒷받침해주고 있다.

3. 결 론

본 연구의 근거로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CRM 아스팔트 콘크리트의 공극률은 crumb rubber의 함량이 증가함에 따라 함께 증가한다.
- 2) CRM 아스팔트 콘크리트의 인장강도와 회복탄성계수는 crumb rubber의 함량이 증가함에 따라 감소한다.
- 3) 아스팔트 콘크리트에 crumb rubber를 첨가하면 아스팔트 콘크리트의 변형력이 증가함으로 온도 균열에 대한 잠재성은 현저하게 감소된다.
- 4) 회복탄성계수를 예로 한 아스팔트 콘크리트의 역학적 특성의 온도에 대한 민감성은 crumb rubber를 첨가에 현저한 영향을 받지 않는다.
- 5) crumb rubber의 종류는 CRM 아스팔트 저온거동과 CRM 아스팔트 콘크리트의 역학적 특성에 대한 온도의 민감성에 큰 영향을 미치지 않는다.

4. 기 호

본 논문에서 사용한 기호의 정의는 다음과 같다.

- D = 시료직경
- M_R = 회복탄성강도
- P = 적용하중
- S_t = 인장강도
- t = 시료두께
- ux = 수평변위
- μ = Poisson's ratio



5. 참고문헌

- America Society for Testing and Materials (1994). "Annual book of standards." vol. 04.03.
- Asphalt Institute (1974). "Mix Design Methods," The Asphalt Institute Manual Series No. 2.
- Esch, D. C. (1982). "Construction and Benefits of Rubber-Modified Asphalt Pavement," Transportation Research Record, No. 860.
- McDonald, C. H. (1966). "A New Patching Material for Pavement Failures," Highway Research Record, No. 146.
- Newcomb, D. E., M. Stroup-Gardiner, J. R. Kim, B. Allen, and J. Wattenhoffer-Spry (1994). "Polymerized Crumb Rubber Modified Mixtures in Minnesota," Report No. MN/RC-94/08
- Takallou, H. B., and R. G. Hicks (1988). "Development of Improved Mix and Construction Guidelines for Rubber-Modified Asphalt Pavements," Transportation Research Record, No. 1171.