

PBSC 개질아스팔트의 역학적 특성연구

Characteristics of PBSC Modified Asphalt Concrete

김완상* · 이석홍** · 박영렬*** · 최준호****

Kim, Wansang · Lee, Suckhong · Park, Youngyul · Choi, Joonho

1. 서론

PBSC(Polymer Bitumen Stabilizer with Cellulose Fiber) 개질아스팔트는 기존의 아미드계 폴리머 안정제를 사용한 PBS(Polymer Bitumen Stabilizer) 개질아스팔트에 Cellulose fiber를 첨가하여 경제적인 효과와 함께 소성변형 억제, 다짐효과의 증진, 그리고 풍화 및 노화 저항성의 향상 등 보다 효과적인 물리적 특성의 향상을 위하여 개발 되었다.

PBSC 개질아스팔트는 생산비용이 저렴하여 경제적이며, 아스팔트 플랜트에 별도의 장치 없이 투입, 간단히 아스팔트 혼합물을 생산할 수 있는 장점을 갖고 있으며, 중차량의 통행이 많은 지역의 소성변형 억제와 점착력의 증가와 다짐효율의 증가를 가져오는 것으로 진행되고 있다. 그래서 본 연구는 PBSC 아스팔트의 실내 실험을 실시하여 현장 적용성의 평가와 바인더 특성을 알아보하고자 한다 .

2. 재료 및 방법

앞서 언급한 대로, PBSC 개질아스팔트는 기존에 사용되던 PBS 개질아스팔트의 성능을 더욱 개선하기 위하여 Cellulose Fiber를 첨가한 제품으로, PBSC 개질아스팔트의 특성을 이해하기 위해서는 기존의 PBS 개질아스팔트의 특성을 파악할 필요가 있다.

PBS 개질제는 백색에 가까운 아미드계 폴리머 분말로 되어 있고, 골재나 아스팔트 혼합물의 혼합과정에서 쉽게 용해되며 온도, 혼합 시간을 별도로 변화 시킬 필요가 없고 취급하기 쉬운 현장에서 사용량의 조절 및 품질관리가 간편하다. 따라서 다른 개질아스팔트에 비하여 경제적이며 사용이 편리하다. 그러나 온도가 100℃이하로 감소되어 여름철의 도로의 공용온도 범위근방에서는 PBS 개질제는 골재 및 아스팔트바인더를 상호 결합시켜 점성을 현저히 증가시킨다. 따라서 소성변형의 온도영역에서 소성변형에 대한 저항성이 증대된다. 저온에서는 일반 아스팔트와 큰 차이가 없다. 하지만 PBS 개질제가 첨가되

*정회원 · 현대건설기술연구소 팀장/책임연구원 · 031-280-7451, 2000hyundai@hanmail.net)

**정회원 · 현대건설기술연구소 주임연구원 · 031-280-7058, kimws@hdec.co.kr)

***정회원 · 삼덕특수아스콘 부사장 · 02-573-8036, parkyoungyul2@yahoo.co.kr)

****정회원 · 삼성건설기술연구소 과장 · 031-289-6650, gosancha99@samsung.com)



면 시공단계(포설 및 다짐)에서 일반 아스팔트에 비해 좀 더 부드러운 가열 아스팔트 혼합물 얻을 수 있어 동절기 포장시에 현장의 다짐밀도 관리에 도움을 줄 수 있다. 다짐온도에 가까운 높은 온도(100℃ 이상)범위에서는 PBSC는 아스팔트 바인더 사이의 분자간의 상호작용에 의하여 아스팔트 바인더의 점성을 줄인다. 결국 이러한 장점은 현장에서의 포설 및 다짐온도에서 다짐성능을 증대시켜 내구성이 우수한 포장단면을 만들 수 있도록 한다.

본 연구에 사용된 아스팔트 혼합물은 S사에서 수행한 배합설계를 기준으로 13mm 밑인도 아스팔트와 같은 골재 입도에 아스팔트 중량의 3%의 PBSC 개질제를 첨가한 PBSC 개질아스팔트 혼합물을 제작하여 비교시험을 실시하였다.

3. PBSC 개질아스팔트 혼합물의 역학적 특성 시험

3.1 간접인장강도

간접인장강도(Indirect Tensile Strength Test) 시험은 1953년에 Akazawa에 의해 시멘트 콘크리트의 인장 강도를 측정하기 위한 시험법으로 처음 소개되었고, Messina와 Breen이 아스팔트 혼합물의 시험에 적용하였다. 이 후 1965년에 Hadley 등에 의하여 시험 방법이 정립되었다. 간접인장시험은 수직인 직경 면을 따라 평행하게 작용하는 정적 압축 하중을 원통형 공시체에 작용시킴으로서 수행되며, 아스팔트 혼합물을 특성화하는데 있어 유용한 두 가지의 특성을 제공한다. 첫 번째 특성은 인장강도인데 이것은 아스팔트 혼합물의 균열 발생 가능성을 평가하는데 사용되고 두 번째 특성은 파괴 시의 인장 변형률인데, 이것은 균열 발생 가능성의 시점을 예측하는데 유용하게 사용된다. 즉, 파괴에 앞서 높은 변형률에 견딜 수 있는 혼합물은 그렇지 못한 혼합물보다 균열에 대한 저항성이 더 크다는 것을 의미한다.

3.2 회복탄성계수

교통하중에 의한 반복적인 하중 조건 하에서 아스팔트 도로포장체의 탄성 거동 특성을 파악하기 위해 회복탄성계수(Resilient Modulus, M_r)를 측정한다. 이는 온도별로 다양하게 변화하는 아스팔트 혼합물의 거동 특성을 판단하는데 적용할 수 있다. 즉 아스팔트 혼합물이 고온에서 회복탄성계수가 상대적으로 크거나 높은 증가율을 보였다면, 이 혼합물은 포장의 소성 변형에 대한 저항성이 크다는 것을 의미한다. 또한 저온에서 상온에 이르는 온도 변화에 따른 회복탄성계수의 변동 폭이(온도변화에 따른 회복탄성계수 값의 변화) 상대적으로 작다면, 이런 혼합물은 온도 균열의 발생 원인중 하나인 감온성(Temperature Susceptibility)의 영향을 작게 받는다는 것을 의미한다.

3.3 피로시험

피로균열(Fatigue Cracking)에 대한 저항성의 평가를 위해 반복하중 간접인장시험(Repeated Load Indirect Tensile Strength Test)을 실시하였다. 반복하중 간접인장 시험은 원통형의 시편에 간접인장 시험 방법으로 일정한 크기의 수직 하중을 반복 제하하여



수직 또는 수직 지름의 방향과 평행하게 인장 응력이 분포되도록 하는 이른바 응력 조절(stress-controlled test) 시험이다. 이 시험 방법은 아스팔트 혼합물의 공시체에 균일한 인장 응력을 발생시키면서 피로 균열의 발생 정도를 모사하고, 피로 수명을 예측하는데 유효한 실내 시험이라 할 수 있다. 또한 반복하중 간접인장 시험은 다른 유사 시험 방법에 비하여 운용이 용이하고, 아스팔트 혼합물의 기본적인 탄성 역학적 물성을 적절히 검증하는데 효율적인 방법으로 간주되고 있어서, 최근까지 미국을 비롯한 도로 선진국에서 많은 연구자에 의해 검토되고 발전되어져 왔다. Mathew와 Monismith의 연구에 따르면 반복하중 간접인장시험은 피로 수명을 예측할 수 있는 시험 방법들에 대한 평가 중에서도 매우 우수한 것으로 조사되었다.

3.4 마찰안정도

마찰실험법은 아스팔트 혼합물의 경험적인 물성을 측정하는 것으로, 목적은 표준 실험실 다짐도로 다져진 아스팔트 혼합물의 강도를 측정하기 위한 것이다. 시험의 개략적인 방법은 2개의 반원형 제하 헤드를 통하여 직경 101.6 mm, 높이 63.5 mm인 원통형 공시체에 분당 50.8 mm(2 inch/분)의 속도로 압축 하중을 공시체가 파괴될 때까지 가하면서 이루어지며, 공시체는 60 ℃수조에 30분 동안 수침 된 후에 상온에서 파괴된다. 이는 여름철 포장체의 대략적인 최고 포장 온도를 나타내는 것으로 아스팔트 혼합물에 대한 가장 열악한 온도 조건을 모사하기 위함이다.

3.5 크리프

크리프시험은 소성변형 특성을 평가하는 시험으로 아스팔트 혼합물에 대해 60℃에서 정적시험으로 수행하며 시험 실시전에 공시체를 3시간 동안 온도 양생실에서 양생을 실시하여 공시체의 온도평형 상태가 되도록 하였다. 공시체에 150Kpa의 수직하중을 3,600초 동안 가하고 이후 5,400초까지 하중을 제하여 이 때 발생한 영구변형량을 측정하였다.

3.6 운하중 주행실험

운하중 주행실험은 영국의 도로교통 운수교통소(TRRL)에서 개발된 것으로 실제 도로에서 고운시 중차량에 의해 생기는 소성변형이나 니딩(kneading)작용의 영향을 실내에서 모형적으로 재현하는 아스팔트혼합물의 유동성을 평가하는 시험이다. 시험방법은 30cm×30cm×5cm의 몰드에 공시체를 제작한 후 실온에서 12시간이상 양생시킨 후 시험 시작하기 전 5시간이상을 60±2℃ 온도로 항온실에서 양생한 후 공시체를 시험기에 고정하여 시험 운하중인 70±1kg의 하중으로 시험을 실시한다.

4. 결과 및 분석

4.1 간접인장강도실험

저온인 5℃의 경우 간접인장강도는 PBSC 개질아스팔트 혼합물이 일반 아스팔트혼합

물보다 약 6 % 정도 증가하였고, 터프니스와 파괴시 변위량은 12 %와 25 %가 증가하였다. 20℃ 상온에서는 PBSC 개질아스팔트 혼합물의 간접인장강도가 23 % 증가하였는데 터프니스는 13 %, 파괴시 변위량은 10 % 감소하는 특이한 결과를 보였다. 이 원인은 표 PBSC 개질아스팔트 혼합물 공시체 중에 한 개 시료의 터프니스 값이 작게 계산되 시료의 불균질성이 원인이것으로 보인다. 높은 온도범위인 40℃에서는 PBSC 개질아스팔트 혼합물의 간접인장강도가 13 %에 증가하였고 터프니스 또한 14 % 정도 증가하였으며, 파괴시 변위량은 4 % 증가하였다.

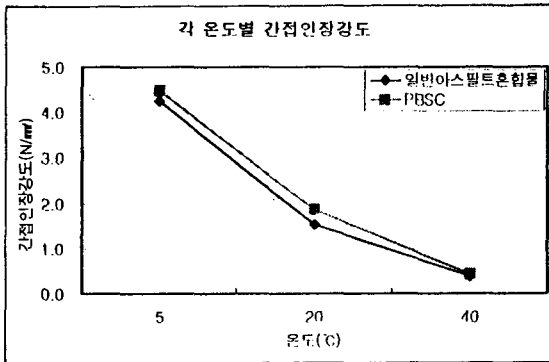


그림 1. 각 온도별 간접인장강도

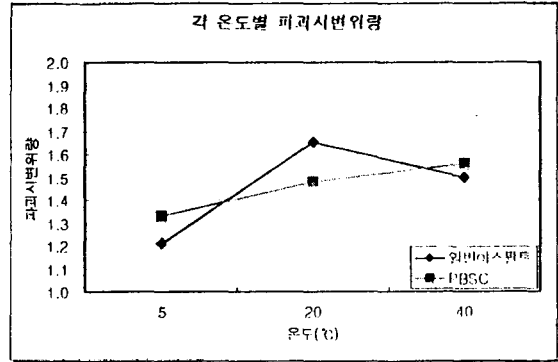


그림 2. 각 온도별 파괴시변위량

4.2 회복탄성계수실험

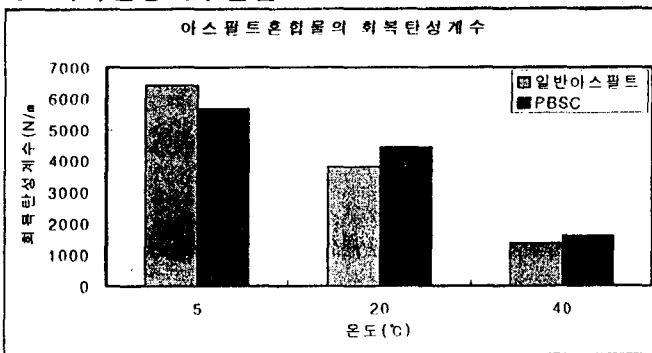


그림 3. 각 온도별 회복탄성계수

PBSC 개질아스팔트 혼합물의 시료 중 상대적으로 작게 측정된 첫 번째 실험시료를 제외하면 일반 아스팔트혼합물 보다 높을 것으로 추정된다. 결국 PBSC 개질아스팔트의 온도 변화에 대한 탄성계수의 변화가 일반아스팔트 보다 적어 겨울철에는 균열저항성이, 여름철에는 소성변형에 대한 저항성이 우수하다고 볼 수 있다.

4.3 피로실험

그림 4는 각 작용하중에 따른 일반아스팔트 혼합물과 PBSC 개질아스팔트 혼합물의 피로파괴 횟수를 나타낸 것이다. 결과를 보면 반복하중의 크기에 상관없이 PBSC 개질아



스팔트 혼합물의 피로파괴 횟수가 크게 나타나 일반아스팔트 혼합물보다 PBSC 개질아스팔트 혼합물이 피로 파괴에 대해서 보다 강한 저항성을 보여주고 있음을 알 수 있다. Load level 800kg에서는 PBSC 개질아스팔트 혼합물이 일반아스팔트 혼합물보다 190% 높게 나타났으며, Load level 700kg와 600kg에서는 각각 240%, 310%로 나타나 반복하중의 크기가 낮아질수록 두 재료간의 피로파괴 횟수는 더 큰 차이를 보여주고 있다.

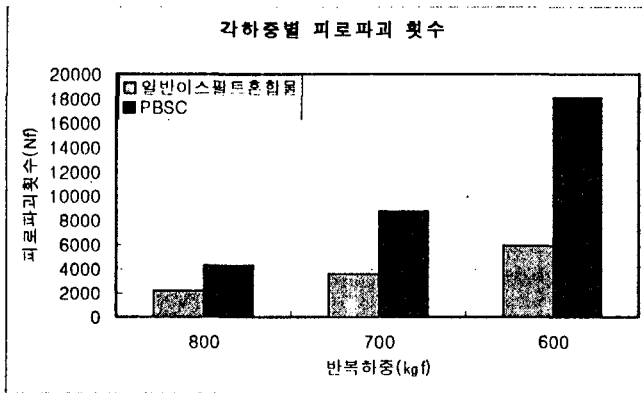


그림 4. 각 반복하중별 피로파괴 실험 결과

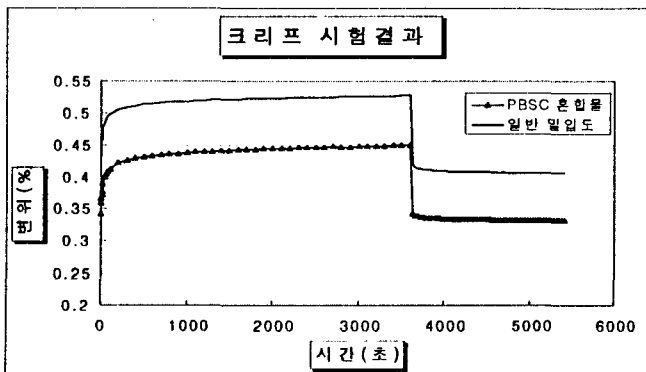


그림 5. 크리프 시험 결과 비교

4.4 마찰안정도실험

마찰안정도 실험 결과 PBSC 개질아스팔트 혼합물이 일반 아스팔트 혼합물보다 안정도는 11 %, 흐름값은 17 % 큰 것으로 나타났으며, 동일한 비교에서 수침 후 마찰안정도 실험 결과 안정도의 경우 18 %가 크고 흐름값은 유사한 것으로 나타났다.

4.5 크리프실험

PBSC 개질아스팔트 혼합물, 일반 밀입도 아스팔트 혼합물의 2종류에 대해 소성변형 저항성을 평가하기 위해 크리프 시험을 실시하였다. 시험결과 그림 5 에서 보는바와 같이 일반 밀입도 아스팔트혼합물보다 PBSC 개질아스팔트 혼합물은 영구 변형율이 작게 나타나 소성변형 저항성에 강한 것으로 나타났다.

4.6 윤하중 주행시험

PBSC 개질아스팔트 혼합물, 일반 밀입도 아스팔트 혼합물 2종류에 대해서 소성변형 저항성을 평가하기 위해 윤하중 주행 시험을 실시하였다. 윤하중 주행 시험결과 그림 6에서 볼 수 있듯이 일반 밀입도 아스팔트혼합물 보다 PBSC 개질아스팔트 혼합물은 동적안정도가 크게 나타나 소성변형 저항성에 강한 것으로 나타났다.

5. 결론

□ 간접인장강도 시험결과 PBSC 개질아스팔트 혼합물의 인장강도가 모든 온도 범위에서 일반아스팔트에 비해 우수한 것으로 나타났다. 특히 5℃에서는 6%, 20℃에서는 23%

그리고 40℃에서는 13% 만큼 PBSC 개질아스팔트 혼합물의 인장강도가 증진되었다.

- 회복탄성계수시험 결과를 보면, 상온에서 PBSC 개질아스팔트 혼합물의 회복탄성계수는 일반 아스팔트 혼합물보다 16% 증가하였고 고온에서는 17% 증가하였으며, 저온부에서는 오히려 13% 감소하였음을 알 수 있다. 저온에서의 계수

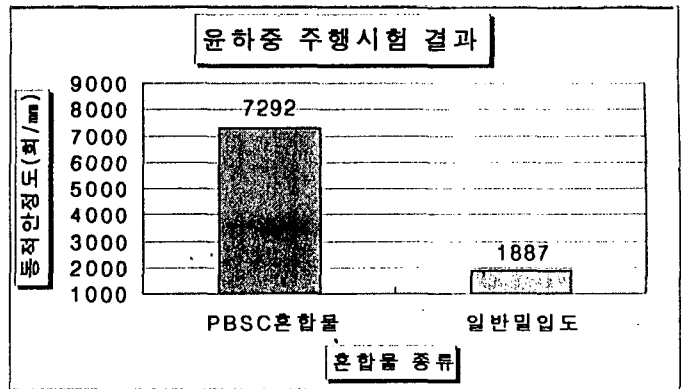


그림 6 윤하중 주행시험 결과 비교

가 작고 상온과 고온에서 큰 탄성계수 값을 갖는다는 사실은 PBSC 개질아스팔트 혼합물이 온도변화에 대하여 훨씬 완만한 회복탄성계수의 변화를 갖는다는 의미이며, 이는 균열저항성이 높다는 의미이다.

- 소성변형의 저항성을 측정하기 위하여 수행된 크리프 시험과 wheel tracking 시험의 결과 PBSC 개질아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성이 훨씬 우수하다고 사료된다.
- 강도레벨을 3 가지(800, 700, 600kg)로 반복하중을 준 결과 800kg에서는 PBSC 개질아스팔트 혼합물이 일반아스팔트 혼합물보다 190% 높게 나타났으며, 700kg와 600kg에서는 각각 240%, 310%로 나타나 반복하중의 크기가 낮아질수록 두 재료간의 피로파괴 횟수는 더 큰 차이를 보여주고 있다.
- 마찰안정도 시험과 간접인장강도를 통한 수분민감성 시험결과에서도 PBSC 개질아스팔트 혼합물이 일반 아스팔트 혼합물보다 안정적인 거동을 보였으며, 기타 개질아스팔트 혼합물과의 간접적인 비교에서도 대등한 성능을 보였다.
- 본 연구에서 수행한 모든 종류의 역학시험을 통하여, 결론적으로 PBSC 개질아스팔트 혼합물이 일반 아스팔트 혼합물보다 모든 면에서 우수한 공용성능을 발휘할 것으로 사료된다. 다만 본 연구는 아스팔트 혼합물에 중점을 두고 추진되어, PBSC 개질아스팔트의 점도를 포함한 유변학적인 거동은 기존의 자료를 사용하였다. 본 연구를 통한 아스팔트 혼합물의 놀라운 역학적 특성을 보다 근본적으로 규명하기 위하여 추후에 PBSC 개질아스팔트의 역학적인 거동특성 연구의 필요성이 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 아스팔트 포장 연구회, 아스팔트 포장공학 원론, 1999
2. 한국도로포장공학회, “셀룰로스 화이버를 첨가한 PBS 개질아스팔트 혼합물의 역학적 특성규명을 위한 실험적 연구”, 2002
3. Asphalt Institute, Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing (S P-1), 1996