

온도와 아스팔트 피막두께 변화에 따른 중온 아스팔트의 접착성질에 관한 연구

A Study of Warm-Mix Asphalt's Bonding Properties in the Change of Applied Temperatures and Film Thicknesses

유인상* · 조동우** · 황성도*** · 이석근****

Yoo, In Sang · Cho, Dong Woo · Hwang, Sung Do · Rhee, Suk Keun

1. 서 론

중온 아스팔트 (Warm-Mix Asphalt)는 세계적으로 추구하고 있는 친환경 정책에 맞춘 도로포장기술개발 결과물 중의 하나이다. 기존의 가열아스팔트는 상당히 안정적인 생산성, 작업성 그리고 공용성을 가지고 있지만 생산·시공시 높은 가열온도를 사용해야 하기에 에너지 소모가 크고 또한 높은 온도를 사용한 가열은 온실가스 배출량 또한 높은 단점이 있다. 그러므로 에너지 절약 및 가스 배출을 억제하기 위해 가열 아스팔트보다 낮은 온도에서 생산, 시공을 하면서도 가열아스팔트와 비슷한 생산성, 시공성, 그리고 공용성을 유지할 수 있는 재료의 개발이 국내외적으로 요청되고 있는 실정이다. 중온 아스팔트는 이처럼 생산온도와 다짐 온도를 낮추어도 가열아스팔트의 작업성 및 공용성을 가열 아스팔트와 동등하게 유지 할 수 있는 새로운 포장재료이다. 최근 중온 아스팔트 포장 재료와 관련해 중요한 사안이 되는 것이 아스팔트와 골재 사이의 접착성이다. 실험실에서 혼합물 시료를 만들 때 주어진 온도에서 다짐성 및 적절한 밀도가 보장 된다 해도 여러 가지 실내 성능 시험을 통과한다는 보장이 없기 때문이다. 또한 실내 성능 시험을 위한 아스팔트와 골재 재료들의 조합에 따라 자원 및 시간적인 소비가 클 수가 있기에 미리 적합한 재료를 선별할 수 있는 시험방법이 필요하다. 본 논문은 이러한 재료 선별 방법을 위한 시도로써 국내 연구진에 의해 개발된 중온 아스팔트 재료를 가열 온도와 피막두께의 여러 가지 조합을 통해 각 온도별 그리고 피막두께별로 중온 아스팔트의 접착성질에 어떻게 영향을 미치는지 연구를 하였다.

2. 수정된 DSR 수분손상시험방법 (DSR Moisture Damage Test)

본 실내 실험은 조동이 개발한 DSR Moisture Damage Test를 수정하여 실시하였다. DSR Moisture Damage Test는 아스팔트 혼합물에서 건조상태와 습윤상태의 간접인장시험을 통해 물성값을 비교 측정하던 수분민감성을 골재와 아스팔트 접착면 사이의 물성값을 건조상태와 습윤상태에서 비교함으로써 온도 및 피막두께 그리고 다양한 종류의 용매를 사용해 다양한 시험조건을 줄 수 있는 시험이다. 이처럼 다양한 시험조건을 줄 수 있다는 것은 중온 아스팔트 같은 새로운 재료를 사용할 때 온도와 피막두께를 다양하게 변화시킴으로써 물성이 어떻게 변하는지 확인해서 분석할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 상당히 얇은 피막조건으로 시험해야할 경우 본래 DSR Moisture Damage Test에 사용한 Paar Physica MCR300는 충분한 회전전단 응력을 줄 수가 없다는 단점이 있다. 그러므로 얇은 피막조건에서 시험할 때 충분한 회전전단응력을 줄 수 있는 장비는 성공적인 시험수행을 위한 필요조건이 된다. Advance Rheometric Expansion System (ARES)는 이러한 조건을 만족하는 장비로서 DSR Moisture Damage Test의 시험방법을 도입하고 응용해서 수정된

* 정회원 · 국토해양부 대전지방국토관리청 청장 · 공학박사(E-mail:lsyoo@mltm.go.kr)

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 공학박사(E-mail:dongwoocho@kict.re.kr)

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 · 공학박사(E-mail:sdhwang@kict.re.kr)

**** 정회원 · 경희대학교 토목공학과 교수 · 공학박사(E-mail:skrhee@khu.ac.kr)

수분손상시험방법을 만들었다. ARES장비는 이처럼 얇은 피막을 좀 더 심도 있게 연구할 수 있는 장점이 있는 반면 수분을 공급하기에는 외형적인 한계가 있다는 단점이 있다.



그림 1. ARES

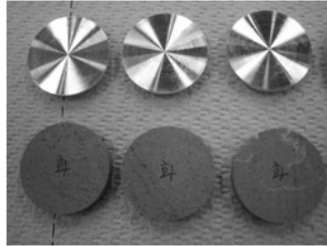


그림 2. 시험을 위한 금속플레이트와 가공한 골재 디스크



그림 3. ARES에 장착한 골재 디스크



그림 4. 아스팔트 시료 세팅



그림 5. Strain Sweep 시험 끝난 후

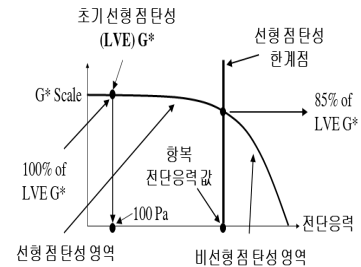


그림 6. Stress Sweep Test

3. 아스팔트 피막두께에 따른 아스팔트 전단저항의 변화

골재와의 실제 접촉성질을 평가하기 전에 기본적인 재료의 물성경향을 파악하고 실험 결과들을 분석해서 좀 더 나은 실험방법을 만들기 위해 DSR 장비의 금속 플레이트와 아스팔트 사이의 접촉성질을 평가할 필요가 있다. 그림 7, 그림 8, 그림 9는 ARES의 금속 플레이트 사이에 있는 아스팔트의 피막두께가 얇아지면서 변화되는 전단응력의 변화경향을 Strain Sweep Test를 통해 보여주고 있다.

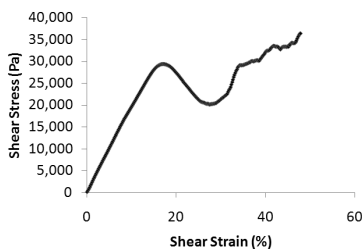


그림 7. 피막두께 1mm

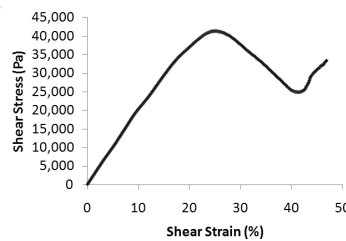


그림 8. 피막두께 0.4mm

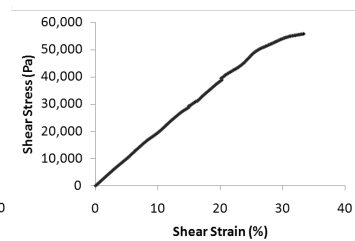


그림 9. 피막두께 0.2mm

위 그림들에서 보여지는 것처럼, 피막두께가 얇아질수록 전단응력과 전단변형이 비선형적으로 거동하는 비율이 적어지고 피막두께 0.2mm에서는 거의 일정하게 거동하는 모습을 보이고 있다. 그러므로 1mm같은 두꺼운 피막두께보다는 0.4, 0.2mm 같은 얇은 피막두께에서 응력변화에 따른 민감도가 적게 발생한다는 것을 알 수 있었다.

표 1은 아스팔트 피막두께 1mm, 0.4mm, 그리고 0.2mm에서 측정한 선형점탄성 G^* , 85% 선형 점탄성 G^* , 그리고 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단 응력값을 도표화 한 것이다. 표 1에서 보이는 선형 점탄성 G^* 의 평균값은 1mm 피막두께에서 0.4mm 피막두께로 갈 때 PG64-22나 PG64-22를 중온화 개질한 PG64-22+KW3 둘다 약간 증가하는 경향을 보이다가 (PG64-22: 200kPa에서 216kPa로 증가, PG64-22+KW3: 206kPa에서 214kPa로 증가), 다시 0.2mm의 피막두께에서 감소하는 경향을 (PG64-22: 216kPa에서 184kPa로 감소, PG64-22+KW3: 214kPa에서 182kPa로 감소) 보이고 있다. 이렇게 피막두께에 따라 선형적이지 않은 변화는 아스팔트 피막두께에 따른 물성치를 평가할 때 혼동을 일으킬 수 있다. 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단응력을 구하기 위해 구한 85% 선형 점탄성 G^* 의 평균값 또한 이와 비슷한 경향을 보이고 있는 반면에, 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단응력의 평균값은 점점 증가하는 경향을 (PG64-22: 29kPa에서 44kPa, 그리고 53kPa로 증가, PG64-22+KW3: 28kPa에서 39kPa, 그리고 52kPa로 증가) 보이고 있다. 이런 결과를 통해 볼 때 아스팔트 피막두께의 물성비교평가를 할 때 G^* 값보다 전단응력값이 더 안정적인 값을 제공할 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 1. 피막두께에 따른 선형 점탄성 G^* 값과 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단응력 값

아스팔트	세팅 온도 (°C)	실험 온도 (°C)	아스팔트 피막두께 (mm)	선형점탄성 (LVE) G^* 의 평균값 (kPa)	85% 선형 점탄성 (LVE) G^* 평균값 (kPa)	85% 선형 점탄성 (LVE) G^* 에서의 전단응력의 평균값 (kPa)
PG64-22	60	40	1.0	200	171	29
			0.4	216	185	44
			0.2	184	161	53
PG64-22+KW3	60	40	1.0	206	175	28
			0.4	214	180	39
			0.2	182	163	52

4. 골재 종류와 세팅온도의 변화에 따른 아스팔트 전단저항의 변화

위에서 본 3장 “아스팔트 피막두께에 따른 아스팔트 전단저항”의 결과를 살펴볼 때 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단응력값이 피막두께와 무관하게 안정적인 값을 제시할 수 있다는 결론을 내렸다. 이 결과에 따라 골재 종류와 세팅온도의 변화에 따른 물성치의 변화를 보기위한 값으로 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단응력을 선정했다. 그림 10과 그림 11은 0.4mm 피막두께에서 화강암과 석회암 각각을 60°C와 70°C 세팅온도에서 Strain Sweep Test를 한 뒤 분석을 통해 구한 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단응력 평균값들을 보여주고 있다. 이 두 그림은 같은 스케일에서 그려졌기에 화강암과 석회암에서의 값들 또한 비교할 수가 있다. 그림에서 볼 때 화강암과 석회암의 값의 차이는 명확하게 보이지만 세팅온도 60°C와 70°C사이에서는 값이 그다지 차이가 있어 보이지 않는다. 석회암은 온도와 아스팔트 종류의 변화에 관계없이 전단응력값들이 27kPa에서 33kPa 범위에 퍼져 있고 화강암은 60°C의 PG64-22+KW3를 제외하고 또한 18kPa에서 21kPa 범위에 퍼져 있다. 그러므로 석회암과 화강암의 전단응력값의 차이는 9kPa에서 12kPa 정도가 나기 때문에 골재 종류에 따른 변별력은 명확하게 보인다. 반면에 온도 차이는 60°C와 70°C 사이에 3kPa에서 6kPa정도 밖에 차이가 나지 않기 때문에 변별력이 있다고 할 수가 없다.

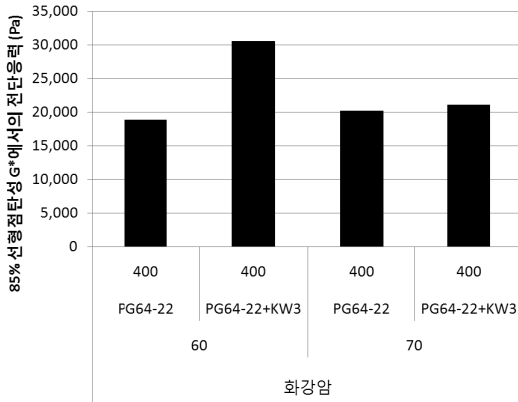


그림 10. 화강암의 세팅온도 변화에 따른 물성값

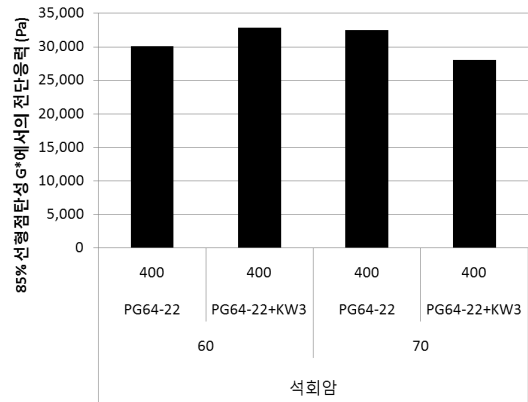


그림 11. 석회암의 세팅온도 변화에 따른 물성값

5. 결론

온도변화에 대한 중온 아스팔트의 집착성질 평가를 위한 프로토콜 개발로서 본 연구를 수행하였고 수행한 연구결과에 대한 요약 및 결론은 다음과 같다.

1. 아스팔트 피막두께에 따라 선형 점탄성 G^* 값은 선형적인 값의 변화를 보이지 않았지만 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단응력값은 피막두께가 얇아짐에 따라 커지는 선형적 값의 변화를 보였다.
2. 그러므로 아스팔트 피막두께의 변화에도 안정적인 값을 제공하는 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단응력값이 선형 점탄성 G^* 보다 덜 민감한 집착성질을 평가하는 값으로서 사용될 수 있는 것을 알 수 있었다.
3. 85% 선형 점탄성 G^* 에서의 전단응력값을 사용해서 골재 종류와 세팅 온도에 따른 물성변화를 살펴보면 60°C와 70°C 사이 온도변화 따른 물성 변화는 그렇게 크지 않은 것으로 나타난 반면에, 골재 종류에 따른 물성변화는 큼을 알 수 있었다.
4. 그러나 단지 10°C 차이가 나는 온도변화에서 측정된 값으로 온도변화에 따른 물성 변화가 크지 않다고 일반화 할 수는 없다. 그러므로 좀 더 넓은 폭의 온도변화에 대한 연구가 필요하다.
5. 본 연구는 제한된 시료와 조건을 사용해서 나온 결과이므로 모든 상황에 적용할 수 있는 일반화된 결론은 아니다.

참고 문헌

1. 조동우, 이태식, “DSR 수분민감성 시험과 전은 조건과 마른 조건의 항복전단응력 비”, 제 34회 대한토목학회 정기 학술대회 및 Civil Expo 2008
2. 조동우, 황성도, 임광수 “유럽의 저탄소 중온 아스팔트 포장(WMA)의 기술 현황”, 도로학회지 제 11권 2호, 2009. 6
3. Cho, D.W. “Bahia, H. U. “Effect of Aggregates’ Surface and Water on Rheology of Asphalt Films.” Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No 1998, TRB, National Research Council, Washington, D.C., P10-17, 2007
4. Cho, D.W. “Study of Asphalt-Aggregate Bond in Simple Simulation Using the Dynamic Shear Rheometer”, Ph.D Dissertation, University of Wisconsin, Madison, WI, 2008
5. Cho, D.W. “A New Parameter to Evaluate Moisture Damage of Asphalt-Aggregate Bond in Using Dynamic Shear Rheometer” American Society of Civil Engineering (ASCE): Journal of Materials in Civil Engineering, P267-276, Mar. 2010