준고온 아스팔트 (WMA) 바인더의 고온 등급

High Temperature Performance Grade of WMA Binders

라 일 호* · 지 덕 호* · 도 영 수** · 김 광 우***
La Il H. · Ji Duck H. · Doh Young S. · Kim Kwang W.

1. 서 론

준고온 아스팔트 (Warm-mix asphalt: WMA) 혼합물은 아스팔트 포장 업계에 최근에 도입된 새로 공법의 역청 포장 재료이다. 이는 가열아스팔트 혼합물(Hot-mix asphalt: HMA)의 고온생산온도 약 165℃를 낮추어 준고온인 약 120-140℃로 혼합물을 생산하는 공법으로서, 유기화합물 첨가제, 에멀젼, foaming 첨가제 등과 같이 여러 가지가 있다. 그중에서도 플랜트에서 준고온 혼합물 첨가제 (Warm-mix additive)를 첨가하는 방법이 가장 일반적인 방법으로 혼합물 제조온도를 약 30-40℃ 정도를 낮출 수 있다. 이러한 첨가제 개발 등은 남아프리카 공화국, 유럽, 미국 등의 많은 업체들이 개발하여 왔다.

준고온 아스팔트 혼합의 이점은 혼합물의 제조 공정에서 온도를 낮추어 생산하기 때문에 연료 소비량을 줄일 수 있고, 또한 상당량의 배출가스, 악취, 방출 열 등을 줄 일 수 있다. 게다가 준고온 아스팔트 혼합물은 HMA의 포설 및 다짐온도보다 낮은 대기온도에서 수행할 수 있으며 같거나 더 나은 현장밀도를 얻을 수 있다.

폴리머 개질 아스팔트는 (Polymer-modified asphalt: PMA)는 소성변형이나 균열 등 아스팔트 포장 손상의 주요 원인들을 경감하기 위한 방법으로 개발되어 사용되어 왔다. PMA는 아스팔트 바인더의 점도를 높여 골재와의 결합력을 증진시킨다. 일반적으로 폴리머 개질 아스팔트는 일반 아스팔트보다 성능을 크게 향상시킬 수 있는 반면에 혼합물의 생산과 포설시 보다 높은 온도가 요구되므로 연료 소비량이 크게 늘고 또한 작업성도 떨어진 된다. 또한 일반 아스팔트 혼합물보다 고온에서 생산 및 포설되므로 배기가스, 악취, 방출 열 등이 더 많고, 또한 작업자의 작업 환경을 더 위험하게 한다. 하지만 WMA 첨가제를 사용하면 PMA 혼합물의 작업온도를 낮추는 것이 가능할 것이다.

WMA 첨가제는 아스팔트의 융점을 낮추는 효과를 내므로 공용온도에서의 점도나 stiffness가 낮아질 우려도 있다. 반면에 일부 WMA 첨가제는 이러한 점을 고려하여 자체적으로 아스팔트의 고온 PG 등급을 높여주는 성분을 첨가하여 소성변형에 더 강한 효과를 내기도 한다. 따라서 본 연구의 목적은 외국산 준고온 아스팔트 혼합물 첨가제와 국내 개발 첨가제에 대한 고온 공용성 등급을 평가하여 가장 큰 손상원인인 소성변형의 저항성을 비교 검토하는 것이다.

2. 사용재료 및 실험

2.1 사용재료

본 연구에서 기본 아스팔트 바인더는 침입도 60-80의 AP-5를 사용하였다. 준고온 아스팔트 바인더의 제조를 위한 첨가제는 이미 외국에서 개발되어 상용화되어 사용되고 있는 Evotherm (E)과 Sasobit (S) 그리고 본 연구팀이 개발 중에 있는 CWS와 UWS를 사용하였다. 개질제로는 한 가지 폴리머(P)를

* 강원대학교 대학원 지역건설공학과 석사과정
** 강원대학교 대학원 지역건설공학과 박사과정
*** 강원대학교 지역기반공학과 교수 · 공학박사 · 033-250-6467(E-mail :asphaltech@hanmail.net), 교신저자

사용하였다. 준고온 아스팔트 바인더의 제조는 기본 아스팔트 바인더를 160℃의 오븐에서 2 시간 동안 보관한 후 꺼내어 같은 온도를 유지하면서 일정량의 첨가제를 넣고 유리막대를 이용하여 서서히 저어서 혼합하였다. 이때 혼합은 1~2분 동안 하였으며 여타의 첨가제를 넣지 않았다. 또한 첨가제의 함량은 생산자 추천치를 사용하였으며 E의 경우 전체 바인더 량의 0.5% (E0.5), S는 전체 바인더 량의 2% (S2.0)를 첨가하였고, CWS와 UWS는 CW와 UW를 각각 2%와 S를 CW와 UW의 양에 각각 5% (CWS25, UWS25)를 첨가하여 제조하였다. 준고온 아스팔트 혼합물의 품질 강화를 위해 P를 총 바인더량의 4%를 첨가하였다. 또한 준고온 아스팔트 바인더와 혼합물의 비교대상으로 가열혼합아스팔트(HMA) 기본바인더 AP5와 상용화된 PG76-22 (S76) 바인더로 HMA 혼합물을 제조하여 준고온 재료와 품질을 비교하였다.

2.2 시험 방법

Dynamic shear rheometer (DSR) 시험을 위한 시료는 준비된 첨가제를 넣고 준고온 아스팔트 바인더를 제조한 후 160℃에서 제작하였다. 시료 제작시 아스팔트의 양과 형상을 정확하게 하기 위하여 아스팔트 시료 제조용 실리콘 고무 몰드를 사용하였고 몰드 중앙에 아스팔트를 조금씩 붓고 약 10분 동안 실온에서 냉각시켰다. 간혹 탈형이 않된 시료는 약 5분 동안 냉장고에 보관한 후 탈형 하였다. DSR의 하부 고정판 위에 준고온 아스팔트 바인더 시료를 상부의 스핀들로 압착하기 전에 하부의 고정판과 상부의 스핀들과의 부착력을 좋게 하기 위하여 60℃로 예열하였다.

제작된 시료는 하부의 고정판에 놓고 10분의 안정화 시간을 가졌다. 이 후, 상부의 스핀들 레버를 통해 하부의 고정판과 압착하였다. 이 때 상부의 스핀들과 하부의 고정판 사이의 간격은 1mm로 하였으며 스핀들은 지름 25±0.05mm를 사용하였다.

회전 점도계를 이용한 동점도 시험(Kinematic viscosity: KS F 2392)은 가열 혼합 플랜트에서 아스팔트를 펌핑하고 골재와 혼합할 때 아스팔트의 작업성(workbility)을 평가하는데 유용한 자료로 제공된다. 회전 점도계를 사용하여 측정하며 아스팔트를 펌핑 또는 배합 할 때 충분한 작업성을 갖는지를 비교 평가하는 데 사용된다. 아스팔트와 스핀들의 온도는 135℃를 유지하고 30분간의 안정화를 거친 후 15분간 스핀들을 회전 시킨다. 이때, 스핀들의 회전속도는 20rpm으로 유지하여 필요한 점성 토크(torque)를 1분 간격으로 3회 측정하였다.

이들 바인더를 이용하여 배합설계를 통해 13mm 밀입도 혼합물을 제조하고 반복주행시험으로 준고온 아스팔트 혼합물의 소성변형저항성을 측정하고 이를 가열아스팔트 혼합물과 비교하였다. HMA 혼합물은 혼합물을 믹싱 후 160℃ 오븐에서 1시간 단기노화 후, 그리고 WMA 혼합물의 경우는 135℃ 오븐에서 2시간 단기노화 후 공시체를 제조하였다. WT 시험온도는 60℃이고 90분간 분당 40cycle (pass)로 왕복주행을 통해 최종침하깊이를 측정하였다.

3.결과 및 고찰

3.1 바인더 특성

본 연구에서 제조된 준고온 아스팔트 바인더 및 일반 및 개질 아스팔트 바인더의 고온 공용성 등급 (High-temperature Performance grading) 분석 결과를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 본 연구에 사용된 기본 바인더인 AP-5의 공용성 등급은 일반적으로 알려진 PG 64에 비하여 한 단계 높은 PG 70으로 측정되어 높은 고온 공용성 등급으로 생산되었음을 알 수 있었다. 또한 PG76-22로 판매되는 S76의 경우도 82로 나타나서 매우 높게 생산되었음을 알 수 있다.

S2.0 준고온 아스팥트 바인더의 고온 공용성 등급은 PG 76으로 나타났다. 이는 사용된 기본 아스팔트 바인더인 AP-5보다 한 단계 높은 고온 공용성 등급이다. 이는 S가 일반 바인더에 첨가시 생산온도 및 포설온도를 낮추는 것 뿐 만 아니라 고온 공용성 등급도 한 등급 향상시키는 것으로 판단된다. 또한 그림 2에서 보듯이 동점도도 AP5에 비하여 더 낮아져 준고온에서의 혼합이 가능함을 보였다. 이는 소성변형 저항성과 작업성 향상이 된 것이므로 연료 저감 및 배출가스 저감, 작업환경의 위험 감소 뿐 만 아니라 고온에서의 공용성 증진을 의미한다.

E0.5를 첨가한 준고온 바인더의 고온 공용성 등급은 PG70을 보여 기본 아스팔트 바인더의 고온 등급과 같게 나타났다. 또한 동점도는 AP5에 비하여 낮아져 준고온에서의 혼합이 가능함을 보였다. 이는 기본 바

인더 AP-5의 고온 공용성 등급의 저하가 없이, 혼합물 생산 및 포설온도를 낮추는 것으로 판단된다.

한편 개발 중인 WMA 첨가제 중에서 기본 바인더 (PG 64)에 CWS25와 폴리머(P)를 첨가한 것과 UWS25와 폴리머(P)를 첨가한 것은 둘 다 PG76-22로 높은 고온 공용성 등급을 보였다. 또한 그림 2에서 보듯이 동점도도 상용화된 HMA용의 S76(PG76-22)에 비하여 훨씬 낮게 나타나 준고온에서의 혼합이 가능함을 보였다. 이는 폴리머로 개질한 WMA 바인더의 개발이 가능함을 보인 것이며 융점이 낮은 폴리머의 첨가가 고온 공용성 등급을 기본 아스팔트 바인더보다 한 단계 향상시켰음을 보여준 것이다. 일반적으로 HMA의 경우 PMA 혼합물의 생산이 일반 아스팔트 혼합물의 생산온도보다 10-20℃ 이상의 높은 것을 고려하면 WMA 첨가제로 PMA의 생산온도를 낮출 가능성이 있음을 예상할 수 있다.

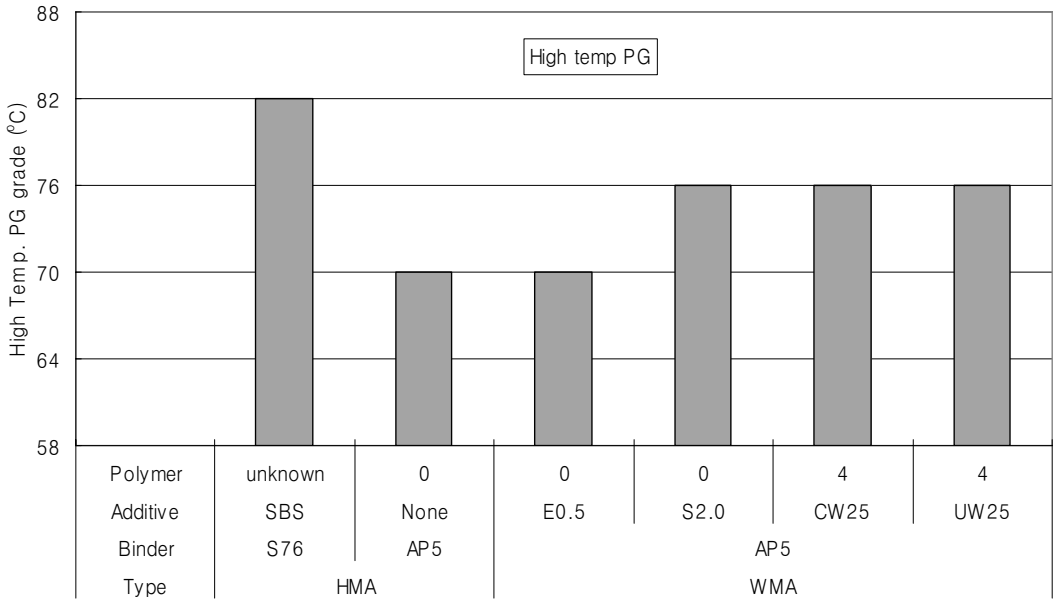

그림 1. 준고온 및 가열혼합 아스팔트 바인더의 고온 공용성 등급

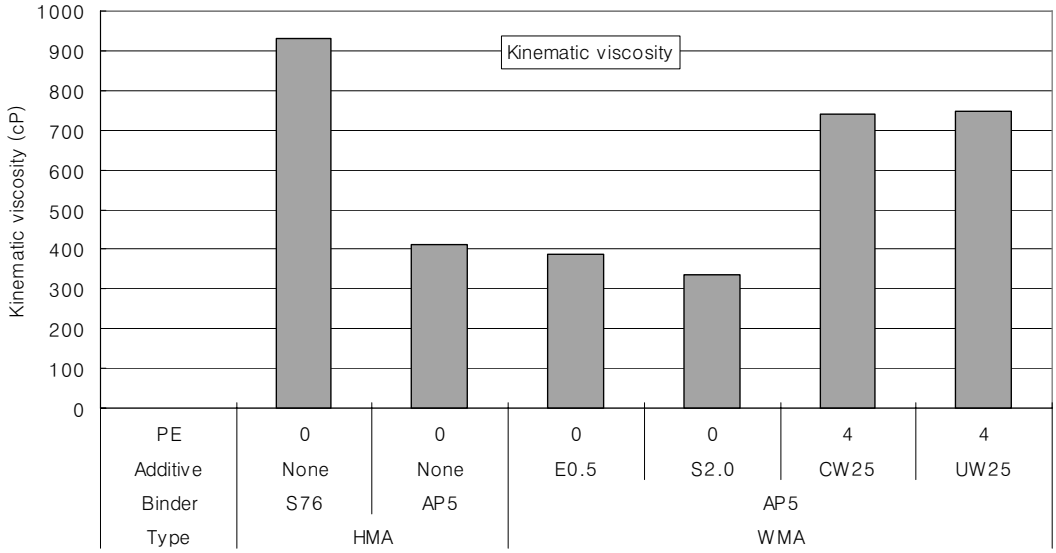

그림 2. 준고온 및 가열혼합 아스팔트 바인더의 동점도

3.2 혼합물의 특성

준고온 아스팔트 바인더와 HMA용 바인더를 이용하여 반복주행 시험을 수행한 결과를 그림 3에서 보여준다. AP5 HMA의 경우 반복주행시험의 최종침하 깊이가 약 10mm에 근접하는 것에 비해 HMA S76의 경우 4mm로 크게 낮았는데 이는 고온등급이 82이기 때문인 것으로 판단된다. S2.0의 경우 WT 침하깊이가 6.7mm로 AP5보다는 낮았지만 같은 PG고온 등급 PG76을 보인 CWS25나 UWS25 보다는 깊었다.

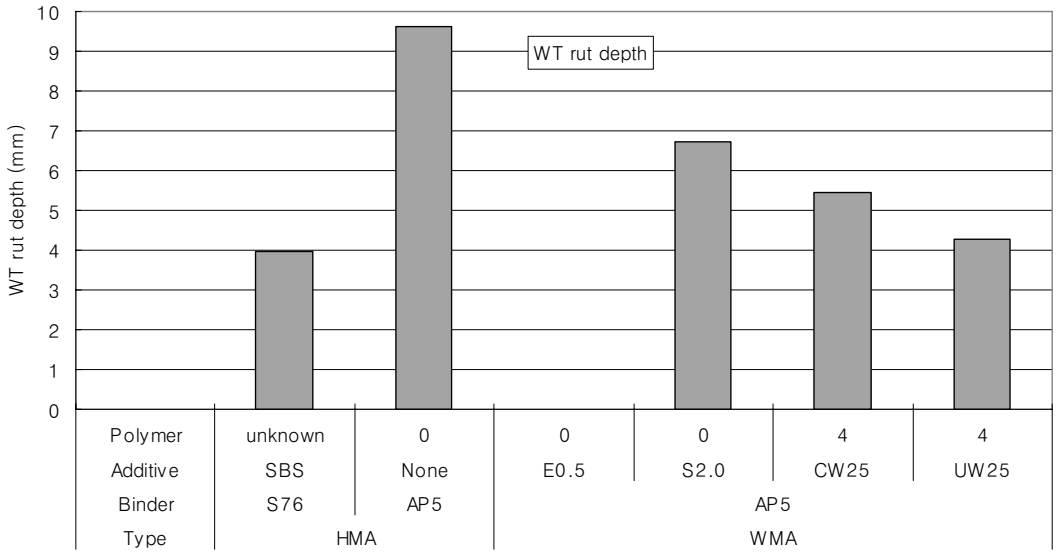

그림 3. 준고온 및 가열 아스팔트 혼합물의 반복주행시험 결과

특히 UWC25의 경우는 4.3mm로 HMA의 S76과 거의 유사한 수준의 깊이를 보여 준고온 혼합물 임에도 개질을 통해 소성변형저항성을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. HMA PMA 혼합물인 S76의 혼합온도 175°C에 비해 40°C나 낮은 135°C로 제조한 준고온 혼합물(UWS25)이 HMA PMA와 유사한 소성변형 특성을 보이는 것은 중요한 결과이며 WMA PMA가 가능함을 보인 것이다. 또한 이는 연료 저감 및 배출가스 저감, 작업환경 개선 등을 이루면서도 소성변형 저항성 향상을 통해 고온에서의 공용성 증진을 이루게 할 수 있을 것이라고 추정할 수 있게 하는 결과이다.

4. 결 론

본 연구는 외국에서 상용화되어 사용되고 있는 준고온 아스팔트 혼합물의 첨가제인 S와 E, 그리고 개발중에 있는 CWS25와 UWS25를 첨가한 준고온 아스팔트에 대한 고온 공용성 등급과 소성변형 특성을 분석한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 준고온화 첨가제 S의 첨가는 기본 아스팔트 바인더의 고온 공용성 등급을 한 단계 향상시키며 동점도 상으로 기본 바인더보다 더 낮게 나타났다.
2. 또 다른 준고온화 첨가제 E의 첨가는 기본 아스팔트 바인더의 고온 공용성 등급의 변화에는 영향을 미치지 않았으며 동점도 상으로 기본 바인더보다 더 낮게 나타났다.
3. 본 연구팀에서 개발 중에 있는 CWS25와 폴리머(P)의 첨가는 기본 아스팔트 바인더의 고온 공용성 등급을 한 단계 높이는 것으로 나타났고, UWS25와 폴리머(P) 첨가도 고온 공용성 등급을 한 등급 높인 PG76으로 나타났다.
4. 반복주행 시험결과 폴리머 개질 준고온 아스팔트는 상용화된 국내산 PG76-22 (PG82로 측정됨)와 유사한

침하깊이를 나타내어 WMA 개질 아스팔트 혼합물의 제조 가능성을 확인할 수 있었다. 이것은 WMA 첨가제를 이용하여 폴리머 개질 아스팔트 혼합물의 생산 온도를 낮추고 고온 등급은 향상시킬 수 있음을 의미한다.

5. 본 연구는 준고온 아스팔트의 첨가제 개발의 초기 단계이므로 준고온 아스팔트 첨가제에 대한 보다 심도 있는 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 석재복합신소재연구센터의 지원 및 장비를 활용하여 이루어진 것입니다.

참고문헌

1. 라일호, 유민용, 김현환, 백성현, 도영수, 김광우, “중열 아스팔트혼합물 개질제로 발포 폴리스티렌의 재활용,” Proceedings, International Symposium for Advanced Technology in Asphalt Pavements (ATAP), Kangwon National University, Korea, Oct 2008. 31-48.
2. Chowdhury, A. and Button, J. W., "A review of warm mix asphalt," Southwest Regional University Transportation Center, Texas Transportation Institute, SWUTC/08/473700- 00080-1, Dec. 2008.
3. Doh, Y. S., Kim, J. C. and Kim, K. W., "Evaluation of selected warm-mix additives for asphalt recycle," Paper submitted to 2010 Annual Meeting of Transportation Research Board, July 2009.
4. Davidson, J.K., (2005), “Evotherm Trial - Aurora Trial,” McAsphalt Engineering Services, Ontario, August 20056. Park, N. W., Jung, J. H. Cho, B. J. and Kim, K. W., "Fundamental Characteristics of monomer-modified Warm-mix Asphalt Concretes," ICPIC Proceedings, Ed. by Yeon, Sept. 2007, 685-690.
5. Lee, S. J., Amirkhanian, S. N., Shatanawi, K. and Kim, K. W., “Sort term aging characterization of asphalt binders using gel-permeation chromatography and selected Superpave binder tests," Construction and Building Materials, 22(11), Nov. 2008, 2220-2227
6. Lee, S. J., Amirkhanian, S. N., Park, N. W. and Kim, K. W. Characterization of warm mix asphalt binders containing artificially long-term aged binders. Construction and Building Materials, 23(6), 2009. 2372-2379
7. Prowell, B. D. and Hurley, G. C. "Warm Mix Asphalt Best Practices," NAPA 53 rd. Annual Meeting. 2008
8. Gandhi, T. S. and Amirkhanian, S. N., “Laboratory Evaluation of Warm Asphalt Binder Properties - A Preliminary Analysis,” 5th International Conference of Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, ParkCity, Utah, 2007, 475-480.