

폴리에틸렌계 왁스를 이용한 저탄소 아스팔트 혼합물의 거동 특성

Properties of Low-carbon Warm Mix Asphalt containing Polyester Wax

양성린* · 정규동** · 황성도*** · 김영민****

Yang, Sung-Lin · Jeong, Kyu-Dong · Hwang, Sung-Do · Kim, Yeong-Min

1. 서론

최근 국제적으로 저탄소 녹색혁신 경제구조의 변혁과 정부의 저탄소 녹색뉴딜 정책기조에 부응하여 건설 분야의 새로운 대체기술에 대한 니즈가 증대되고 있어 국가기간시설물인 도로 건설산업에서 차세대 녹색 원천기술 및 혁신적인 실용기술의 국산화 개발 필요성 강조되고 있다. 유럽 국가는 1996년부터 친환경 건설 공법으로서 Warm Mix Asphalt(WMA, 저탄소 아스팔트) 포장 기술이 소개되어 국제적으로 가장 우수한 기술 수준을 보유하고 있으며, 10년 이상의 적용 성과를 통해 우수한 장기 공용성 확인하였다. 미국은 2002년 유럽으로부터 본격적인 기술 도입을 추진하여 WMA 포장 공법의 시험 적용과 공용성 검증을 활발하게 추진 중이며, 2008년부터는 국가표준화 연구 진행 중이다.

이에 반해 국내에서는 친환경 저탄소형의 아스팔트 포장 기술에 대한 도입 및 기술 개발이 전무한 실정이며, 선진국과는 약 15년의 기술격차를 보이고 있어 국가 주도형의 국산화 기술 개발 및 민간 기술력 증진을 위한 가시적인 대책 마련이 시급한 실정이다.

이에, 본 연구에서는 국산화 기술을 이용하여 저탄소 증온 첨가제를 개발하고 개발된 첨가제를 혼합한 아스팔트 혼합물의 기초적인 실험과 실용화 가능성을 검토하고자 한다. 또한 개질 첨가제를 첨가한 아스팔트 혼합물의 개질 특성과 성능 개선 효과를 실내 실험을 통하여 평가하고자 한다.

2. 사용재료

2.1 개질형 증온 첨가제

본 연구에서 사용된 개질형 증온 첨가제는 폴리에틸렌계 왁스로서 아스팔트의 유동성을 향상시키고 동시에 아스팔트 혼합물의 제조 온도 및 다짐 온도를 감소시키면서도 고온에서 발생하는 소성변형에 대한 저항성을 향상시키고 동시에 아스팔트 혼합물의 저온 특성 저하현상을 억제할 수 있는 개질 첨가제이다. 일반적으로 폴리에틸렌계 왁스를 제조하는 방법은 다음과 같이 3가지 방법으로 분류할 수 있다. 그림 1은 폴리에틸렌 왁스의 분자 구조를 나타내며, 그림 2는 본 연구에서 사용된 폴리에틸렌 왁스를 나타낸다.

- ⇒ 폴리에틸렌 수지를 만드는 과정에서 나오는 저분자량의 부산물
- ⇒ 폴리에틸렌 수지를 열분해시켜 분자량을 감소시키는 방법
- ⇒ 피셔트로프슈법(Fischer Tropsch Synthesis)으로 제조하는 방법

* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사 · 031-910-0614(E-mail:siyang@kict.re.kr)
** 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사 · 031-910-0183(E-mail:kdjeong@kict.re.kr)
*** 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 책임연구원 · 공학박사 · 031-910-0180(E-mail:sdhwang@kict.re.kr)
**** 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사 · 031-910-0148(E-mail:choozang@kict.re.kr)

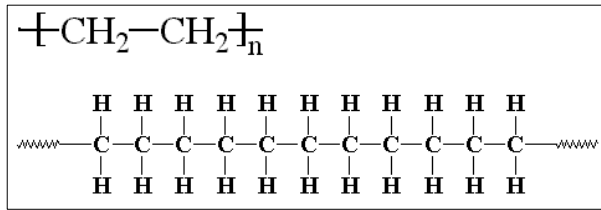


그림 1. 폴리에틸렌 왁스의 분자 구조



그림 2. 폴리에틸렌 왁스

2.2 아스팔트 바인더 및 골재

아스팔트의 분류는 침입도, 연화점 및 점도를 기준으로 하고 있으며, 국내에서는 KS M 2201(침입도 분류에 의한 도로포장용 아스팔트) 및 KS M 2208(점도 분류에 의한 도로포장용 아스팔트)에 따라 아스팔트를 분류하고 있다. 본 연구에서 사용된 기준 아스팔트 바인더(Control Binder)는 국내 S사에서 생산되는 일반 아스팔트 바인더(AP-5)로서 침입도 기준 70~80 등급 및 PG 등급 58-16을 가지는 포장용 아스팔트를 사용하였다. 또한, 본 연구에서 사용된 골재는 국내에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 화강암질 쇄석(경상남도 Y사에서 생산) 골재를 사용하였으며, 골재의 품질시험 결과는 표 1과 같다. 사용된 골재는 체가름 작업에 의해 각 치수별로 분류하여 골재와 채움재를 혼합하여 19mm 밀입도 골재의 합성입도를 결정하였다.

표 1. 골재의 품질시험 결과

구분	비중	흡수율 (%)	마모감량 (%)	안정성 (Na2SO4)	편장석 함유량 (%)	피막박리시험 (%)
규격	2.5이상	3.0이하	40이하	12이하	20이하	95이상
품질	2.62	1.02	21.0	2.5	8.7	100

2.3 배합설계

본 연구에서는 KS 규정에 따라 최적 아스팔트 함량(Optimum Asphalt Content, OAC)을 5.3%로 결정하였으며, 개질형 중온 첨가제를 아스팔트 바인더의 3%를 치환하여 첨가하였다. 공시체 제작은 KS F 2337의 타격식 다짐 방법을 사용하여 아스팔트 혼합물 제조 방법에 따라 제조하였다.

3. 시험 방법 및 결과

폴리에틸렌계 왁스 4종에 대해 간접인장시험(Indirect Tensile Test ; IDT)을 실시하여 각 중온 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수(resilient Modulus), 크리프 컴플라이언스(creep Compliance), m-value, 인장강도(tensile strength), 파괴변형률(failure strain), 파괴에너지(fracture energy) 등의 기본 물성을 결정하였다. 또한 수분에 대한 저항성을 평가하기 위해 수정 Lottman 시험을 수행하였다.

3.1 간접인장시험(Indirect Tensile Test ; IDT)

3.1.1 회복탄성계수(Resilient Modulus ; M_R)

회복탄성계수는 반복하중이 적용될 때 회복 변형에서 적용된 강도의 비율로서 정의되며, 이 시험은 Roque 등에 의해 개발된 시스템에 의해 수행되었다. 시험 방법은 0.1초의 제하기간>Loading Period)과 0.9초의 휴지 기간>Rest Period)을 갖는 방식으로 공시체의 적용된 반복 Haversine 파형의 하중에 의한 하중 조절을 통해 수행되어진다. 그림 3에서와 같이 상온 20°C에서는 KW_1, KW_3, KW_4의 강성의 차이는 거의 없으며 일반 아스팔트 혼합물의 강성이 상대적으로 낮게 나타났다. 또한, 저온 -10°C에서는 상온과는 다르게 일반 아스팔트 혼합물의 강성이 상대적으로 가장 큰 값을 나타냈으며, KW_2보다도 높은 값을 나타내었다. 이는, 일반 아스팔트 혼합물의 온도에 따른 강성 변화가 크게 나타나 온도균열에 대한 저항성이 상대적으로 낮게 나타

났으며, KW_1, KW_3, KW_4은 일반 아스팔트 혼합물 보다 강성 변화의 폭이 작아 온도 균열에 대한 저항성이 우수한 것으로 판단된다. 다만, KW_2의 경우 일반 아스팔트 혼합물 보다는 변화의 폭이 작지만, KW_1, KW_3, KW_4보다는 변화 폭이 높은 것으로 나타나, 온도 균열에 대한 저항성이 다소 낮은 것으로 판단된다.

3.1.2 크리프(Creep Test)

크리프 시험은 아스팔트 혼합물의 소성변형 가능성을 평가하기 위하여 개발되었다. 이 시험은 공시체에 정하중을 가한 후, 시간에 따른 영구변형 값을 측정함으로써 수행된다. 크리프 컴플라이언스는 정하중 하에서 변형량을 의미하며, m-value 값은 누적손상속도와 값은 관계를 가진다(Kim, 2003). 그림 4와 같이 폴리에틸렌계 왁스가 첨가된 KW1~4는 상온에서의 변형량이 일반 아스팔트 혼합물보다 약 6배 정도 낮은 결과를 나타내었으며, KW1~4의 변형량은 거의 동일한 값을 나타내었다. 반면, m-value는 KW1~4가 일반 혼합물보다 높은 값을 나타내었으며 이는 교통량 및 차량하중에 대한 누적 손상율이 크게 작용될 것으로 판단된다.

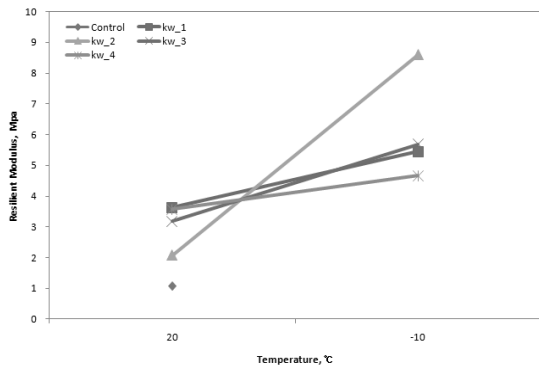


그림 3. 회복탄성계수 시험 결과

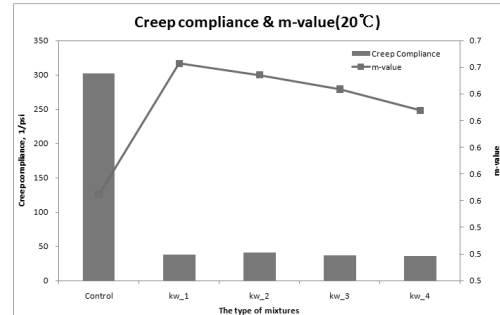
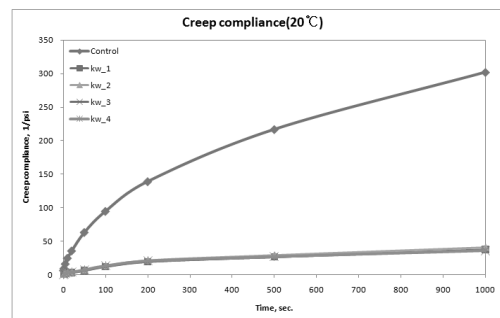


그림 4. 크리프 시험 결과(컴플라이언스&m-value)

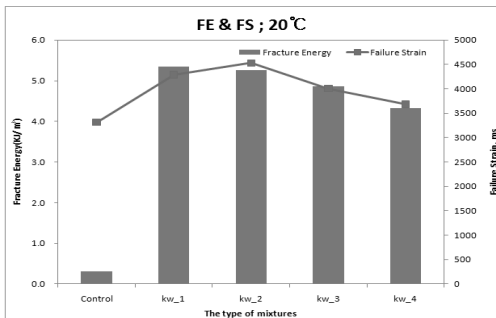
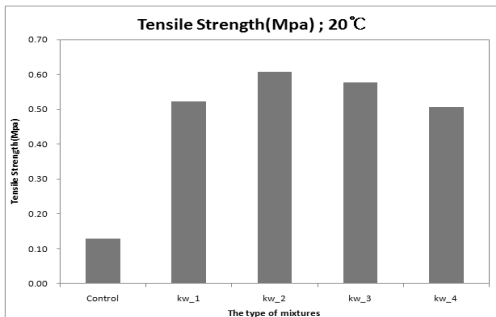


그림 5. 간접인장강도 시험결과 (강도&파괴에너지/파괴변형률)

3.1.3 간접인장강도(Indirect Tensile Strength)

폴리에틸렌계 왁스를 첨가한 아스팔트 혼합물의 균열에 대한 저항성을 평가하기 위해 간접인장강도 시험을 수행하였다. 그림 5와 같이 KW1~4의 인장강도는 일반 아스팔트 혼합물보다 약 4배 이상으로 증가가 된 것으로 나타났으며, 파괴에너지 또한 약 4~5이상 증가된 것으로 나타나 교통량에 따른 반복 하중에 대한 내부 저항성이 증가될 것으로 판단되며, 균열에 대한 저항성도 우수한 것으로 판단된다.

3.2 수정 Lottman 시험(AASHTO T 283 ; TSR)

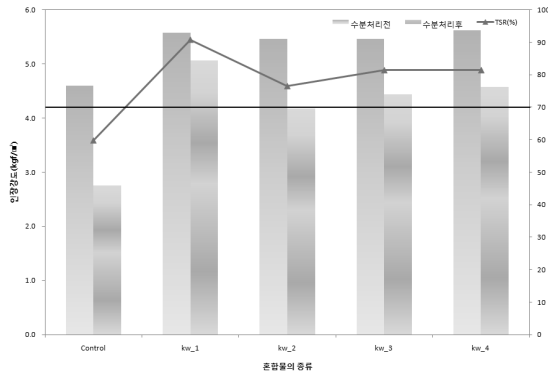


그림 6. 수정 Lottman 시험 결과 (TSR)

은 결과가 나타나 해빙기에 발생될 수 있는 균열에 대한 저항성이 우수한 것으로 판단된다. 다만, 수분처리(동결-융해)를 거치지 않은 기준 공시체에 대한 인장강도는 간접인장시험에서 나타난 결과와 반대로 일반 아스팔트 혼합물이 약 1.5배 정도 높게 나타났지만 수분처리후 급격한 강도감소로 수분에 매우 취약한 것으로 판단된다.

혼합물의 강도는 아스팔트의 점착력과 골재 입자 간의 맞물림, 그리고 골재의 마찰 저항성 등으로 결정된다. 만약 이들 사이의 결합이 나쁘다면, 골재와 아스팔트 사이의 접촉면에서 파괴가 일어나며, 이로 인해 아스팔트 포장체와 혼합물의 조기 파손이 발생하게 된다. 본 연구에서는 중온 아스팔트 혼합물로 제작된 KW1~4는 가열 아스팔트 혼합물과는 달리 100~130℃에서 혼합 및 다짐이 이루어지기 때문에 골재 내부에 잠재되어 있을 수 있는 수분에 대한 영향을 평가하고 분석하는 과정은 중온 아스팔트 포장 시공 시, 반드시 수행되어야 할 항목이다. 그림 6에서와 같이 KW1~4의 인장강도 비(TSR)은 일반 아스팔트 혼합물보다 약 2배 정도 높

4. 결론

본 연구에서는 폴리에틸렌계 왁스를 이용한 중온 아스팔트 혼합물의 실내 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

간접인장시험 결과, KW2를 제외한 나머지 3종(KW1, 3, 4)은 온도에 따른 강성변화의 추이가 상대적으로 일반 아스팔트 혼합물보다 낮은 것으로 나타났다. 따라서, 온도균열에 대한 저항성이 우수할 것으로 판단되며, 상온에서의 크리프 컴플라이언스가 일반 아스팔트 혼합물보다 약 4배정도 낮은 결과를 나타내어 교통하중에 따른 변화량이 감소되어 소성변형에 대한 저항성이 상대적으로 우수할 것으로 판단된다. 또한, 인장강도 및 파괴에너지가 일반 아스팔트 혼합물에 비해 4~6배 정도 높은 결과 값을 나타내어 타이어와 포장면 사이에서 발생하는 전단력(Top-Down Cracking)을 감소시킬 것으로 판단된다.

수분에 대한 저항성 시험 결과, KW1~4의 인장강도 비(TSR)은 일반 아스팔트 혼합물보다 약 2배 정도 높은 결과가 나타나 해빙기에 발생될 수 있는 균열에 대한 저항성이 우수한 것으로 판단된다. 이는 일반 아스팔트 혼합물의 경우, 수분처리(동결-융해) 전 후에 인장강도의 차이가 약 2배정도로 수분에 대한 저항성이 매우 취약한 것으로 판단된다. 반면, KW1~4는 수분처리 전후의 강도 변화가 거의 없는 것으로 나타나 개질 첨가제가 수분 손상에 대한 영향을 크게 감소시키는 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Arnold, J.C. "Sasobit: Characterization of Properties and Effects on Binder and Asphalt." 41st Conference of the Association of Road and Traffic Engineers, Saxonia, Leizig, Germany, 2005.
2. U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration. "Warm Mix Technologies and Research." <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/wma.html>, Accessed February 17, 2004.