

준고온 첨가제를 사용한 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 역학적 특성 연구

Mechanical Characteristics of SBS Polymer Modified Asphalt Mixtures Using Warm Mix Additives

박태순* · 정필구** · 김용주***

Park, Tae Soon · Chung, Pil Gu · Kim, Yong Joo

1. 서 론

전 세계적으로 지구온난화에 대한 문제가 사회적인 이슈로 부각되면서, 국내에서는 녹색성장이라는 모토 아래 전 산업분야에서 녹색성장 정책에 기여하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 도로분야에서도 녹색성장 정책에 기여하고자 에너지 절감, 비용절감, 대기오염 최소화를 기본으로 하는 다양한 환경 친화적인 도로포장 기술에 대한 연구가 수행되어 실용화되고 있다. 특히, 아스팔트 포장분야에서는 일반 가열 아스팔트 혼합물의 생산 및 시공과정에서 골재를 고온으로 가열하기 위해 많은 양의 화석에너지를 필요로 하고 다량의 이산화탄소(CO₂)를 배출하는 문제점이 제기되었다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 가열 아스팔트 혼합물의 생산 및 포설온도를 30℃정도 낮춰 시공 할 수 있는 준고온(중온, 저탄소, Warm Mix Asphalt) 아스팔트 기술이 개발되었다. 준고온 아스팔트 기술은 일본, 미국, 유럽 등 여러 선진국에서 환경 친화적인 공법으로 인정받고 있으며 우수한 성능을 제공하고 있다. 준고온 아스팔트 기술은 아스팔트 혼합물의 온도를 30℃정도 낮춤으로써 에너지 절감, 유해배출가스 감소, 아스팔트 노화 감소, 시공가능 기간연장, 재활용 아스팔트 골재의 사용량 증가 등과 같은 여러가지 장점을 제공해 주고 있다.²⁾ 준고온 아스팔트 기술의 기본원리는 일반 가열 아스팔트 혼합물에 30℃정도 낮은 온도에서 혼합되어 다짐이 이뤄질 수 있도록 아스팔트의 점도를 낮추는 것으로 준고온에서 아스팔트의 점도를 낮출 수 있는 다양한 첨가제가 개발되어 상용화되고 있다.

하지만, 대부분에 준고온 첨가제는 일반 밀입도 아스팔트 혼합물에 주로 적용하고 있을 뿐 특수 아스팔트 혼합물에는 적용하는 사례는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 여름철 고온특성과 겨울철 저온특성을 향상시킨 국내 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물에 3가지 종류의 준고온 첨가제를 사용하여 준고온 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 역학적 성능을 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물과 비교하여 준고온 첨가제의 효과를 평가하였다.

2. 준고온 첨가제 종류

준고온 아스팔트 기술은 가열 아스팔트 혼합물을 제조하는 과정에서 첨가제를 아스팔트와 먼저 혼합하여 골재와 함께 혼합하는 습식방식과 아스팔트와 골재를 함께 혼합할 때 첨가제를 투입하는 건식방식 모두 적용이 가능하다. 표. 1은 준고온 첨가제 종류와 개발 국가를 정리한 것이다. 표. 1에 정리한 것처럼, 준고온 첨가제는 크게 4 가지로 (1) 유기첨가제, (2) 거품첨가제, (3) 발포첨가제, (4) 화학첨가제로 분류된다. 먼저, 유

* 서울산업대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 02-970-6946(E-mail : tpark@snu.ac.kr)

** 서울산업대학교 토목공학과 석사과정 · 02-970-6946(E-mail : pilgidogu@empal.com)

*** 한국건설기술연구원 · 선임연구원 · 공학박사 · 031-9100-248(E-mail : yongjook@kict.re.kr)

기첨가제는 아스팔트의 점도를 감소시켜 낮은 온도에서 아스팔트가 골재를 코팅할 수 있도록 한다. 대표적인 유기첨가제로는 Sasobit으로 피셔-트롭셔 (Fischer-Tropsch) 파라핀 왁스계열의 종류이다¹⁾. 둘째로, 거품첨가제는 수분의 결정체를 분자의 공극내에 저장하고 있는 제올라이트라는 광물을 가열 아스팔트 혼합물에서 사용할 경우 순간적인 수분증발이 일어나 폼드화를 발생시켜 아스팔트의 점도를 저하시키는 역할을 한다. 대표적인 거품첨가제로는 Aspha-min과 Advera가 있다. 세 번째로, 발포첨가제는 일본에서 개발되어 내수용으로 주로 사용하고 있는 것으로 아스팔트 안에 미세거품을 발포시켜 준고온에서 아스팔트와 골재가 혼합이 가능하게 만들어 주고 미세거품의 베어링적인 기능에 의해 다짐도를 향상시켜준다. 대표적인 재료로는 에코파인과 AMS2000가 있다.^{4) 5)} 마지막으로 화학첨가제는 계면활성제와 같은 재료와 화학적으로 합성하여 아스팔트에 첨가하여 준고온에서도 아스팔트가 골재를 코팅할 수 있도록 도와준다. 대표적인 화학첨가제는 Evotherm G3와 RedisetTM WMA가 있다.

표. 1 준고온 첨가제 종류와 개발 국가

분류	제품명	개발국가
유기첨가제	Sasobit®	남아프리카 공화국
	Asphaltan®	독일
	Licomont BS-100	스위스
	Cecabase RT	프랑스
거품첨가제	Advera	미국
	Aspha-min®	독일
발포첨가제	ECOFINE	일본
	AMS2000	일본
화학첨가제	Evotherm G3	미국
	Rediset TM WMA	스웨덴

3. 첨가제 선정 및 배합설계

3.1 첨가제 선정

본 연구에서 표. 2는 준고온 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물에 사용한 첨가제의 종류로 총 3가지 종류의 준고온 첨가제를 선정하였다. 첨가제 I은 독일에서 개발한 유기 첨가제의 한 종류로서 아스팔트 혼합물의 산화 및 노화에 대한 안정성을 발휘하여 안정성이 뛰어난 것으로 평가받고 있다. 첨가제 II는 일본에서 개발한 발포 첨가제로서 준고온에서 분해발포가 서서히 발생하고 장시간 발포상태를 유지시켜 아스팔트 혼합물의 다짐도를 향상시켜준다. 첨가제 III은 국내에서 개발한 발포 첨가제로서 고무계열(NR, SBR, Hi-styrene & Neoprene)의 재료를 주성분으로 발포 및 분산시 미세 발포구조를 형성하여 혼합성 및 작업성을 증가시켜준다.³⁾

표. 2 준고온 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물에 사용한 첨가제 종류

	첨가제 I	첨가제 II	첨가제 III
분류	유기첨가제	발포첨가제	발포첨가제
개발국가	남아프리카 공화국	일본	한국
사진			

3.2. 배합설계

3 가지 종류의 첨가제를 사용한 준고온 SBS 고분자 아스팔트 혼합물과 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물에 대한 배합설계를 수행하였다. 표. 3은 준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 배합설계변수를 정리한 것이다, 모든 혼합물은 75회 마샬다짐으로 배합설계를 실시하였고 입도는 최대입경 13mm 밀입도를 동일하게 사용하였다. 준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물은 매우 유사한 다짐특성을 보여주었으며 5.8%의 동일한 최적 아스팔트 함량이 결정되었다²⁾.

표. 3 준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 배합설계변수

혼합물 종류	준고온 SBS 고분자 개질 아스팔트	일반 SBS 고분자 개질 아스팔트
골재온도	140	180
아스팔트 온도	155	155
양생조건	1 시간동안 다짐온도에서 양생	1시간동안 다짐온도에서 양생
다짐온도	120	150
최적아스팔트 함량	5.8%	5.8%
첨가제 함량	2.5% (첨가제 I), 8.0% (첨가제 II) 8.0% (첨가제 III)	사용안함

4. 역학적 시험

마샬 배합설계를 수행하여 결정한 최적 아스팔트 함량에서 준고온 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물과 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물에 대한 역학적 시험을 수행하기 위해 75회 마샬다짐된 100mm 지름을 가진 공시체를 표. 3에 배합설계변수를 사용하여 준비하였다. 모든 혼합물은 균열 저항성을 평가하기 위해 25℃의 온도에서 간접인장강도를 수행하였으며 수분으로 아스팔트 혼합물의 손상을 평가하기 위해 수분민감도 시험을 수행하였다. 또한, 온도에 대한 감온성을 평가하기 위하여 5℃, 25℃, 40℃에서 회복탄성계수 시험을 수행하였고 마지막으로 소성변형에 대한 저항성을 평가하기 위해 40℃에서 크리프시험을 수행하였다. 본 역학적시험을 수행한 가장 큰 이유는 일반 가열 아스팔트 혼합물보다 상대적으로 높은 온도에서 혼합물의 생산 및 다짐이 이루어지는 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물이 준고온 첨가제를 사용할 경우 30℃정도 온도를 낮추었을 경우 온도저감에 따른 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물 특성변화를 평가하는 것이다.

4.1 간접인장강도 시험

준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 균열 발생 가능성을 평가하기 위하여 KS F 2382에 따라 간접인장강도 시험을 실시하였다. 그림. 1은 준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험결과를 비교한 것이다. 그림. 1에서 알 수 있듯이 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 생산 및 다짐온도와 관계없이 유사한 간접인장강도 값을 보여주었다. 이 결과는 준고온 첨가제를 사용하여 30℃정도 온도를 낮추어 준고온 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물을 생산 및 다짐 할 경우 온도저하로 인한 균열저항성의 저하는 없는 것으로 평가되었다.

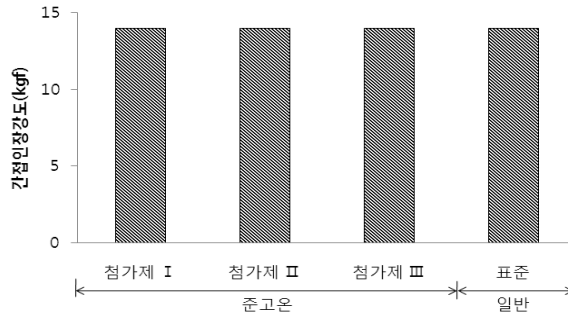


그림. 1 준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 결과 비교

4.2 수분민감도 시험

아스팔트 혼합물은 수분침투로 인하여 아스팔트가 골재부터 벗겨져 나가는 현상이 발생하게 되고 아스팔트 포장에 내구성을 감소시켜 수분침투로 인한 파손을 발생시키고 있다. 이러한 아스팔트 혼합물의 수분에 대한 저항성을 평가하는 방법으로 건조상태에서 간접 인장강도 값과 수분 포화상태에서 간접 인장강도 값을 측정하여 두 인장강도 사이의 비를 수분민감도의 평가기준으로 사용하고 있다. 수분민감도 시험방법은 KS F 2398에 규정되어 있으며 6개의 마찰 다짐 공시체를 준비하여 각각 3개의 공시체를 두 그룹으로 나눈다. 그룹-1은 동결 용해의 처리 없이 기준공시체로 하고, 그룹-2 공시체는 55~80%의 포화도를 갖도록 물로 진공 포화된 공시체를 15시간 동안 -18℃ 동결시키고 24시간 동안 60℃에서 용해 처리를 한다. 그림. 2는 준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 수분민감도 시험결과를 비교한 것이다. 그림. 2에서 알 수 있듯이 첨가제 I 과 III을 사용한 준고온 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물은 일반 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물과 비슷한 수분민감도를 보여주었다. 하지만, 첨가제 II를 사용한 경우, SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물 수분에 대한 저항성이 감소하는 하는 것으로 나타났다.

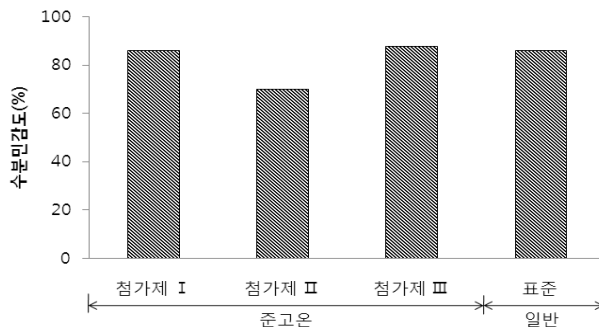


그림. 2 준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 수분민감도 결과 비교

4.3 회복탄성계수 시험

반복적으로 작용하는 차량하중에 의한 아스팔트 포장의 거동특성인 응력-변형률 관계를 모사하기 위해 저온, 상온, 고온에서 아스팔트 혼합물의 스티프니스를 측정할 수 있는 회복 탄성계수시험을 KS F 2376에 따라 수행하였다. 노팅햄 아스팔트 시험기(Nottingham Asphalt Tester, NAT)를 사용하여 0.1초 동안 하중을 가하고 0.9초 동안 휴지시간을 갖는 사이클을 반복적으로 가하여 5℃, 25℃, 40℃에서 회복탄성계수를 측정하였다. 각 온도에서 푸아송 비는 0.25 (5℃), 0.35 (25℃), 0.40 (40℃)을 각각 사용하였다. 그림. 3은 준고온

및 일반 SBS 개질 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수 값을 비교한 것이다. 그림. 3에서 볼 수 있는 것처럼 첨가제 I 과 II를 사용한 준고온 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물은 일반 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물과 비슷한 온도감온성을 보여주었다. 하지만, 첨가제 III을 사용한 준고온 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물의 경우 일반 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물에 비하여 낮은 회복탄성계수 값이 나타났다. 따라서, 첨가제 III은 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물의 스티프니스를 감소시키는 것으로 평가되었다.

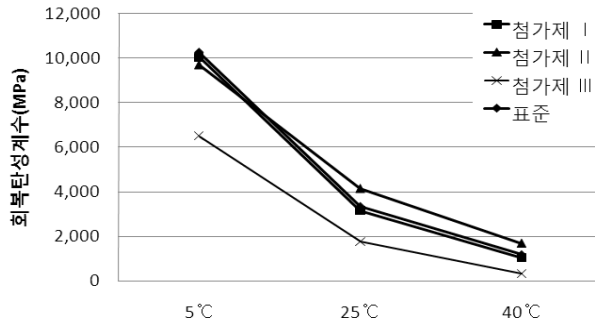


그림. 3 준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수 비교

4.4 크리프 시험

크리프 시험은 여름철 고온에서 아스팔트 포장에서 발생하는 소성변형 가능성을 평가하기 위해 개발되었다. 이 시험은 아스팔트 공시체에 하중을 작용시키고 하중에 대한 변수로서 축적된 영구 변형률을 기록하여 아스팔트 혼합물의 소성변형 특성을 평가한다. 크리프 시험은 60분 동안 하중 재하 후 30분 하중을 제거하여 발생하는 회복 변형률을 측정하였다. 그림. 4는 준고온 및 일반 SBS 개질 아스팔트 혼합물의 영구 변형률을 비교한 것이다. 첨가제 I 과 II를 사용한 준고온 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물은 일반 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물과 유사한 영구 변형률을 보여주었다. 하지만, 첨가제 III을 사용한 준고온 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물의 경우 일반 고분자 SBS 개질 아스팔트 혼합물에 비하여 2배 정도의 영구 변형률이 나타나 첨가제 III에 사용 할 경우 소성변형 저항성을 감소시키는 것으로 평가되었다.

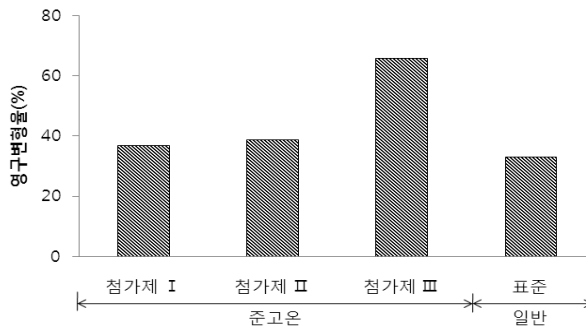


그림. 4 준고온 및 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 영구 변형률 비교

5. 결 론

가열 아스팔트 혼합물의 생산 및 다짐온도를 30℃ 정도 낮추어 포장할 수 있는 준고온 첨가제를 사용하는 기술이 개발되었다. 본 연구에서는 높은 온도에서 혼합물의 혼합 및 다짐이 이루어지는 SBS 고분자 개질 아스팔트에 준고온 첨가제를 사용할 경우 온도저감에 따른 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 공용성을 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물과 비교하여 평가하였다.

준고온 첨가제를 사용하여 120℃ 다짐온도에서 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물에 대한 마찰 배합설계를 실시 한 결과 혼합물의 생산 및 다짐온도 저하로 인한 혼합물의 작업성이나 다짐도에 큰 영향을 미치지 않았다. 이는 준고온 첨가제가 아스팔트 혼합물의 온도를 낮추어 다짐하는데 효과적인 것으로 평가할 수 있다. 간접인장도의 경우, 준고온 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물과 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물 사이에 차이점은 발견 할 수 없었다. 하지만, 준고온 첨가제Ⅱ를 사용할 경우 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 수분저항성을 감소시키는 것으로 나타나 이에 대한 보완이 필요할 것으로 판단되었다. 준고온 첨가제 Ⅲ을 사용할 경우에는 온도에 따른 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 스티프니스가 작고 고온에서 소성변형에 대한 저항성이 감소하는 것으로 나타나 이에 대한 보완이 필요한 것으로 나타났다. 전체적인 역학적 시험결과에 의하면 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물에서 준고온 첨가제 I를 사용할 경우 일반 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물과 비교하여 동일하거나 우수한 성능을 나타내 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물에 가장 적합한 준고온 첨가제로 평가되었다.

참고 문헌

1. 문성호, “중온 아스팔트 첨가제 SASOBIT 성능평가”, 한국도로학회 도로학회지, 2009
2. 박태순, 정규동, 이홍재, 김명, 김윤수, “중온 아스팔트 혼합물의 성능 및 특성 연구”, 한국도로학회 학술 발표논문집, 2007
3. 박태순, “준고온 첨가제를 사용한 각종 아스팔트 혼합물의 다짐도 변화 연구”, 한국도로학회논문집, 2009
4. 서울산업대학교, “폼드 아스팔트의 실용화 연구”, 서울산업대학교 건설기술연구소, 1999
5. 황성도, 김용주, 이호신 “폼드 아스팔트 기술을 이용한 친환경 중온 아스팔트 포장”, 한국도로학회 도로학회지, 2009