

저점도 아스팔트를 적용한 재활용 아스팔트 혼합물 기준 정립 방향 소개

Introduction to guideline establishment direction for recycled asphalt mixtures with low-viscosity asphalt



황성도 Sung-Do Hwang
한국건설기술연구원
연구위원
E-mail : sdhwang@kict.re.kr



김동혁 Dong-Hyuk Kim
한국건설기술연구원
박사후연구원
E-mail : my91kim@kict.re.kr



양성린 Sung-Lin Yang
한국건설기술연구원
수석연구원
E-mail : siyang@kict.re.kr

1. 서론

아스팔트를 재활용하는 개념은 1915년 Warren Brothers에 의해 최초로 제안되었으며, 1920년 싱가포르에서 최초로 시공되었다(McKinney, 1980). McKinney(1980)에 따르면, 재활용 아스팔트를 사용하는 이유는 경제, 에너지, 환경 세 가지 영역에서 찾을 수 있다.

먼저 경제적 관점에서는 유가가 상승함에 따라 아스팔트 비용도 상승하며, 아스팔트의 일부를 재활용 아스팔트로 대체함으로써 아스팔트 포장의 건설 비용을 25% 이상 절감할 수 있다. 다음으로 에너지적 관점에서는 재활용 아스팔트를 사용한다면, 아스팔트를 생산하고 아스팔트 혼합물을 시공하는 전 공정에서 50%의 에너지를 절감할 수 있다. 마지막으로 환경적인 관점에서는 에너지를 절감함으로써, 배출되는 탄소량을 저감함과 동시에 버려지는 재료를 재활용하여 폐기물을 저감할 수 있다. 이러한 이유로 국내에서도 재활용 아스팔트의 사용을 권장하고 있으며, 재활용 아스팔트 혼합물로 인정받기 위해서는 최소 25%의 순환골재를 혼입하고, 품질기준을 만족하기 위해 별도의 재생첨가제를 추가해야한다.

최근 과학계, 공학계 전반에 걸쳐 탄소중립, 제로 에너지 등의 환경, 에너지에 관련한 문제가 주요 이슈로 떠오르고 있다. 이에 따라 저렴하고, 에너지 사용량이 적으며, 환경적으로도 우수한 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 수요가 높아지고 있다. 높아지는 수요에 대응하기 위해 재활용 아스팔트 혼합물에 관련한 신기술, 신재료들이 개발되고 있다.

가열 재활용 아스팔트 혼합물은 순환골재에서 추출된 아스팔트의 점도 특성 및 함량에 따라 설계 기준을 만족시키기 위해 재생첨가제를 별도로 첨가하여 아스팔트를 회생시키는데, 재생첨가제의 특성과 사용비용 및 단가 차이에 따라 품질과 적용성 등의 차이가 발생한다. 최근 재생첨가제 기능을 아스팔트 바인더 자체에 통합한 새로운 개념인 저점도 아스팔트 바인더가 개발되었다. 이 기술을 통해 별도의 재생첨가제 없이 가열 재활용 아스팔트 혼합물

을 생산할 수 있다.

하지만, 저점도 아스팔트 바인더를 적용한 가열 재활용 아스팔트 혼합물의 성능은 아직 검증되지 않았으며, 기준 또한 미비된 상태이다. 따라서, 본 고에서는 기준 마련을 위해 저점도 아스팔트 적용 가열 재활용 아스팔트 혼합물의 성능을 검토하고, 기준 정립방향을 소개하고자 한다.

2. 아스팔트 분류 및 선정

국내에서 아스팔트 바인더에 대한 등급은 침입도 또는 PG로 분류하고 있다. 침입도 등급은 KS M 2201(2021)에 따라 20~40, 40~60, 60~80, 80~100, 100~120 등으로 분류되어 있으며, 국내에서는 아스팔트 혼합물용으로 [표 1]의 60~80과 80~100 두 가지 등급의 아스팔트를 주로 사용하고 있다. PG는 KS F 2389(2019)에 따라 PG XX-YY로 표현되며, XX는 고온등급으로 아스팔트 포장의 최고 온도, -YY는 저온등급으로 아스팔트 포장의 최저온도 개념이다. 고온등급과 저온등급은 [표 2]에 따라 결정된다.

아스팔트의 분류는 침입도 등급 또는 PG로 관리되고 있으나, 재활용 아스팔트 혼합물에 대한 배합설계 품질기준 및 품질관리는 KS M 2208(2017)에 따라 절대점도(2,000poise)를 기준으로 관리되고 있다(국토교통부, 2017). 점도에 의한 아스팔트의 분류는 원유의 종류에 따라 총 3개 종류(1종, 2종, 3종)로 관리되고 있다. 본 고에서 다루는 아스팔트는 2종에 해당된다.

최근 시장에서 유통되고 있는 저점도 아스팔트의 점도는 600~1,200poise로, 2종의 AC-5, AC-10 점도 분류 기준에 해당된다. 현행 AC-10의 경우 침입도가 80~100으로 사용되기 때문에 AC-10보다 낮은 AC에 해당하는 점도 기준을 적용한 아스팔트가 적절하다고 판단되었다. 또한, AC-5 점도를 가지는 도로포장용 아스팔트는 점도 400~600poise를 가지며, 이는 현재 국내에서 사용되고 있는 아스팔트보다 저점도이다. 따라서, 가열 재활용 아스팔트 혼합물에 적용할 저점도의 아스팔트로 점도 분류 상 2종, AC-5를 선정하였다.

[표 1] 침입도 분류에 의한 스트레이트 아스팔트 품질 기준

항목	침입도 등급	
	60~80	80~100
침입도 (25 °C, 100g, 5초)	61~80	81~100
연화점 (°C)	44~52	42~50
신도 (15 °C, cm)	100~	100~
톨루엔가용분 (무게 %)	99.0~	99.0~
인화점 (°C)	260~	260~
박막가열 후 질량변화율 (무게 %) 침입도 잔유율 (%)	~0.6 55~	~0.6 50~
증발 후 침입도 비 (%)	~110	~110
밀도 (15 °C, g/cm ³)	1~	1~

[표 2] 아스팔트 공용성 등급 기준

PG		평균 7일 최고 포장설계온도 (°C)	최저 포장설계온도 (°C)
고온등급	저온등급		
	-10	~52	-10~
	-16		-16~
	-22		-22~
	-28		-28~
	-34		-34~
	-40		-40~
58	-46	~58	-46~
	-16		-16~
	-22		-22~
	-28		-28~
	-34		-34~
64	-40	~64	-40~
	-10		-10~
	-16		-16~
	-22		-22~
	-28		-28~
	-34		-34~
	-40		-40~

3. 순환골재 첨가비율 결정

선정된 기준에 해당하는에 해당하는 A사, B사의 저점도 아스팔트를 기반으로 순환골재 첨가비율을 결정하였다. 배합설계에 사용될 순환골재를 선정하기 위해 전국의 재활용 아스팔트 혼합물 생산 플랜트를 대상으로 15개 종류의 순환골재를 채취하였다. 순환골재로부터 구제 아스팔트를 추출한 후 점도 시험을 수행한 결과는 [표 3]과 같다.

15개 종류 중, K사의 구제 아스팔트는 점도가 284,454poise로 개질 아스팔트 혼합물로 판단되어 순환골재 첨가비율 결정에서 제외하였다. 반대로, 버려진 아스팔트 혼합물로 판단되는 3종(4,018poise, 7,617poise, 4,104poise) 또한 제외하였다. 이들을 제외한 순환골재의 평균 절대 점도는 약 22,000poise로, 최저 14,644poise에서 최대 31,589poise로 확인되었다.

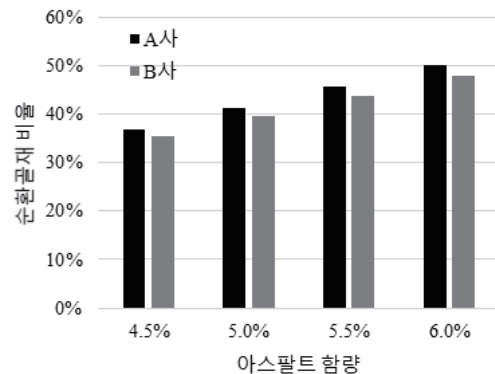
가장 높은 절대점도를 가진 I사의 31,589poise 순환골재를 기반으로 A사와 B사의 저점도 아스팔트를 적용한 순환골재

[표 3] 순환골재 추출 후 절대점도 시험결과

플랜트 업체	추출 후 절대점도 (poise)
A	21,357
B	20,777
C	18,105
D	30,246
E	22,733
F	4,018
G	24,778
H	11,783
I	31,589
J	7,617
K	284,454
L	14,973
M	14,644
N	4,104
O	29,611

첨가비율을 결정하였다. 이때, 재생첨가제를 적용할 때와는 달리 저점도 아스팔트를 적용할 때는 신규 아스팔트의 점도를 조절할 수 없기 때문에 신규 아스팔트를 고정해 순환골재 비율을 결정하는 배합설계방법을 사용하였다. 설계점도는 침입도 등급 60-80에 해당하는 2,000poise로 결정하였다. 순환골재 첨가비율은 A사와 B사의 아스팔트 함량을 4.5%에서 6%까지 변화시켜가며 결정하였으며, 결과는 <그림 1>과 같다.

A사의 저점도 아스팔트를 적용한 경우, 순환골재는 37~50%까지 혼입이 가능한 것으로 확인되었다. B사의 저점도 아스팔트를 적용한 경우, 35~48%까지 순환골재를 혼입할 수 있는 것으로 확인되었다. 가열 아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트 함량(OAC)은 4.9%이기 때문에 순환골재 첨가비율을 40%로 결정하였다.



4. 혼합물 성능시험

일반 가열 아스팔트 혼합물(HMA), 저점도 아스팔트를 적용한 가열 재활용 아스팔트 혼합물, 재생첨가제를 적용한 가열 재활용 아스팔트 혼합물을 배합설계하여 품질시험을 수행하였다. 품질시험 항목은 일반 가열 아스팔트 혼합물과 중복되는 안정도, 흐름값, 공극률, 포화도, 간극률, TSR 및 동적안정도로 결정하였다. 또한, 추가적으로 간접인장강도와 터프니스 시험을 수행하였다.

품질시험결과, 체적특성인 공극률, 포화도, 간극률은 세 가지 혼합물이 유사한 수준으로 확인되었다. 동적안정도는 재생 첨가제 혼합물이 가장 높았고, HMA가 가장 낮았다. 특히 저점도 및 재생첨가제를 활용한 재활용 아스팔트 혼합물은 HMA에 비해 동적안정도가 2~3배 높아, 순환골재의 회복성능이 낮은 것으로 확인되었다. 순환골재의 회복성능은 구재 아스팔트를 희생시키기 위해 사용된 저점도 바인더 또는 재생 첨가제의 종류에 따라 차이를 보이는 것으로 확인되었다.

간접인장강도는 아스팔트에 가해지는 하중에 의해 혼합물이 파괴되는 지점에서의 응력을 의미하며, 터프니스는 혼합물이 파괴되는 지점까지의 파괴 에너지를 의미한다. 측정된 파괴 에너지는 혼합물의 재하하중 지지력과 균열 저항성 평가에 사용되며, 공용성능 측면에서는 차량의 윤택중에 대한 포장체의 균열 저항성을 모사할 수 있다. 실험결과, 저점도 혼합물의 간접인장강도와 터프니스가 가장 높았으며, HMA가 가장 낮았다. 이때, 저점도 혼합물과 재생첨가제 혼합물의 간접인장강도와 터프니스는 거의 차이가 나지 않았다.

5. 결론

기준이 미비된 저점도 아스팔트 바인더를 적용한 가열 재활용 아스팔트 혼합물의 기준 정립방향을 설정하기 위해 일반 가열 아스팔트 혼합물, 재생첨가제 적용 가열 재활용 아스팔트 혼합물, 저점도 아스팔트 바인더 적용 가열 재활용 아스팔트 혼합물의 품질성능을 비교 및 검토하였다. 이에 따른 기준 정립방향을 다음과 같다.

1. 전국의 순환골재에 대한 절대점도 시험결과, 평균적으로 22,000poise였으며, 저점도 아스팔트를 사용하면 순환골재 비율의 증가가 불가피할 것으로 확인되었다. 현행 대부분의 순환골재 비율은 약 30%이기 때문에, 40% 이상의 순환골재 적용이 어려운 점을 감안하여 기준을 정립해야 할 것으로 판단되었다.
2. 동적안정도, 간접인장강도, 터프니스 시험결과, 저점도 및 재생첨가제를 적용한 가열 재활용 아스팔트 혼합물은 HMA에 비해 높은 동적안정도, 강도, 파괴에너지를 가진 것으로 확인되었다. 개질 아스팔트 혼합물이 아닐 경우, 일반적으로 소성변형 저항성이 높다면 균열 저항성이 증가되기 때문에, 추후 진행될 피로 균열 저항성 시험결과를 토대로 저점도 아스팔트의 적용 가능성을 판단하고자 한다.

참고문헌

1. McKinney, J. L. (1980) An Investigation of Recycling Bituminous Pavements, Volume 1: Interim Report. FHWA/IN/JHRP-80/15, Joint Highway Research Project, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana.
2. KS (2021) 스트레이트 아스팔트. KS M 2201, Korean Industrial Standards.
3. KS (2019) 아스팔트의 공용성 등급. KS F 2389, Korean Industrial Standards.
4. KS (2017) 점도분류에 의한 도로포장용 아스팔트. KS M 2208, Korean Industrial Standards.
5. 국토교통부 (2017) 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침.

담당 편집위원 : 김태형(한국건설기술연구원)