

# 강상판에 적용되는 아스팔트 교면포장 재료의 특성 연구

## A Study on Material Properties of HMAs for Bridge of Steel Decks

옥창권\*, 김진환\*\*, 서정혜\*\*\*, 안진홍\*\*\*\*

Ock, Chang Kwon · Kim, Jin Hwan · Seo, Jeong hae · An, Jin Hong

### 1. 서론

강상판 교량은 콘크리트 상판에 비해 자중을 경감할수 있는 이점을 가지고 있어 사하중의 영향이 큰 장기간의 강교에 많이 적용되고 있다. 최근 교통량 및 중차량의 급격한 증가로 교면포장의 보수주기가 짧아지고 있는 실정이며, 한번 손상된 교면포장은 교량상판의 손상뿐만 아니라 보수에도 큰 어려움을 발생시킨다. 기존의 강상판 포장의 파손은 상판의 진동 및 충격하중과 국부적인 큰 처짐의 발생으로 인한 균열의 발생이었지만, 최근에는 중교통량의 증가로 소성변형에 의한 파손이 발생하는 경우도 있다. 따라서, 본 연구에서는 강상판 교면포장용 재료로서 사용될수 있는 아스팔트 혼합물의 종류에 대하여 휠트래킹, 휨시험, 빗피로시험을 통한 혼합물 특성을 분석하였다.

### 2. 아스팔트 혼합물 평가

강상판 교면포장으로 적용가능한 아스팔트 혼합물은 구스(Guss)아스팔트와 강상판 교면포장용 SMA 혼합물로서 본 연구에서는 이 2가지 혼합물의 포장특성을 휠트래킹시험, 휨시험, 빗피로시험을 통해 평가하였다.

#### 2.1 휠트래킹 시험

휠트래킹 시험은 크기가 30×30×5cm인 정사각형 시편을 60℃의 온도에서 6.4 kg/cm<sup>2</sup>의 차륜 접지압을 사용하였으며, 본 시험에서는 PG 76-22 개질 아스팔트 바인더를 사용한 10mm PSMA(이하, PSMA) 혼합물과 PSMA 8mm 혼합물, 구스 혼합물의 소성변형 저항성을 분석하기 위하여 각 혼합물에 대한 휠트래킹 시험을 실시하였다. 표 1과 그림 1은 각 혼합물에 대한 휠트래킹 공시체의 물성시험 결과와 동적안정도 시험 결과를 나타내었다. 10mm PSMA 혼합물이 8mm PSMA 혼합물에 비하여 상대적으로 높은 동적안정도를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 10mm PSMA 혼합물의 경우 골재최대치수가 8mm PSMA 혼합물에 비하여 상대적으로 크고 5mm 이상의 골재가 많기 때문에 맞물림에 기인하여 소성변형에 대한 저항성이 높게 나타난 것으로 판단된다.

구스 아스팔트 혼합물의 경우는 고온에서 유동성을 가지는 혼합물로서 PSMA 혼합물에 비하여 아스팔트 함량이 매우 높기 때문에 PSMA 혼합물에 비하여 소성변형에 대한 저항성이 상당히 낮게 나타난다.

\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 · 연구원 · 031-371-3361(ock@freeway.co.kr)  
\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 · 연구원 · 031-371-3441(kimtopia@freeway.co.kr)  
\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 · 연구원 · 031-371-3364(liz98@shinbiro.com)  
\*\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 · 연구원 · 031-371-3441(gate44@empal.com)

표 1. 각 혼합물의 물성 및 휠트래킹 시험결과

종류	AP함량 (%)	실측밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	공극률 (%)	포화도 (%)	골재공극률 (%)	동적안정도 (회/mm)
PSMA 8	7.4	2.301	2.5	86.7	19.1	5325.0
	7.4	2.302	2.5	86.9	19.0	6212.0
	7.4	2.304	2.4	87.2	19.0	4500.0
PSMA 10	7.1	2.325	2.1	88.2	18.2	8863.6
	7.1	2.318	2.4	88.9	18.4	8212.0
	7.1	2.323	2.2	87.8	18.2	7525.5
구스	-	2.303	-	83.1	-	225.0
	-	2.253	-	91.8	-	1000.0

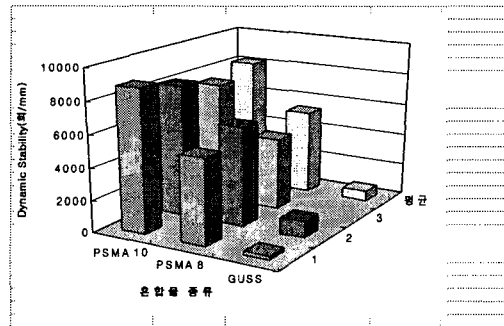


그림 1. 각 혼합물의 휠트래킹 시험결과

## 2.2 휨시험

교면포장용 아스팔트 혼합물의 처짐 추종성을 평가하기 위하여 -10℃조건에서 휨시험을 실시하였고, 시험 시편의 크기는 35cm×10cm×5cm이며, 표 2는 -10℃조건에서 시험한 평균 최대휨강도와 변형률을 나타내었다. 그림 2 ~ 그림 4에 각 혼합물에 대한 4개의 공시체의 시험결과의 평균값을 사용한 하중-변위의 관계를 나타낸 것이며, 그림 5는 각 혼합물의 휨강도와 파괴시의 변형률을 비교하여 나타낸 것이다.

구스 아스팔트 혼합물의 경우 휨강도의 특성이 그림 2에서 보여주는 것처럼 최대하중이후 급격한 취성파괴를 나타냄으로써 저온에서의 충격하중에 의한 균열의 가능성이 높은 것으로 판단된다. 이는 휨강성은 좋지만 변형 저항성이 작아서 처짐에 대한 추종성이 적어 취성 파괴의 위험성이 높은 것으로 나타났다.

그림 5에 나타낸 각 혼합물의 휨강도와 변형률을 살펴보면, 휨강도는 구스 아스팔트 혼합물과 PG 76-22 등급의 개질 아스팔트 바인더를 사용한 PSMA 10mm와 PSMA 8mm가 거의 비슷한 값으로 나타났으며, 일반 아스팔트(AP-5)를 사용한 SMA 10mm와 SMA 8mm의 휨강도가 상대적으로 낮게 나타났다.

강상판의 경우 윗하중의 지지는 강상판이 다 받는 것으로 설계되고 아스팔트 혼합물의 강성은 무시되기 때문에 아스팔트혼합물의 휨강도의 크기는 고려사항이 되지 않는다. 파괴시 변형률은 PSMA 10mm와 PSMA 8mm가 가장 큰 변형률을 나타내었으며, 일반 아스팔트를 사용한 SMA 10mm 혼합물이 유사한 값의 변형율을 나타낸 SMA 8mm 혼합물과 구스 아스팔트 혼합물 보다 높은 변형율을 나타내었다.



표 2. 각 혼합물의 휨(bending test) 시험 결과

측정값 혼합물종류	최대하중 (kgf)	최대휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	변위량 (cm)	파괴시 변형률
구스	636.6	115.1	0.05605	0.001869
SMA 10mm	473.0	81.1	0.07413	0.002525
PSMA 10mm	635.2	104.6	0.08451	0.002891
SMA 8mm	443.7	78.2	0.05490	0.001853
PSMA 8mm	604.6	105.8	0.08457	0.002872

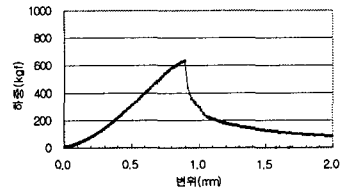
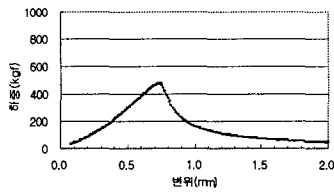
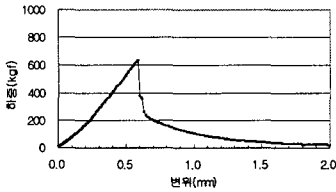


그림 2. 구스 혼합물의 하중-변위    그림 3. SMA 10mm 하중-변위    그림 4. PSMA 10mm 하중-변위

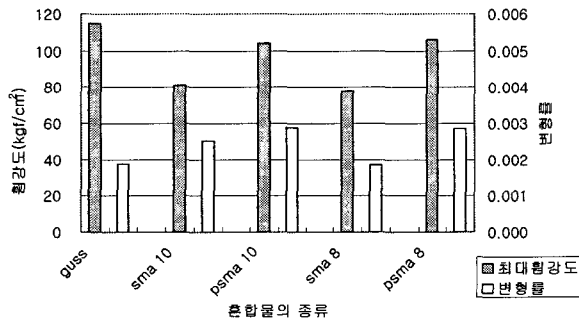


그림 5. 각 혼합물의 휨강도와 파괴시 변형률 비교

### 2.3 빔피로시험

본 피로시험은 20℃에서 실시하였고, 시험을 실시하는 동안 정밀한 온도조절을 위하여 온도조절 챔버를 사용하였다. 하중은 5Hz의 주기를 갖는 Haversine 하중을 변위제어(controlled - strain) 방법으로 각 혼합물에 대하여 3개의 하중단계(Load Level)에서 시험을 실시하였다. 시험동안 휴지기(rest period)는 적용하지 않았으며 하중은 혼합물 시편의 휨강성(flexural stiffness)이 초기 휨강성의 50%에 도달할 때까지 연속적으로 가하였다.

각 혼합물의 피로시험 데이터를 사용하여 변형률 진폭과 피로수명에 대해 아래 식과 같은 일반적인 피로수명 모델식을 사용하여 회귀분석을 실시하였다.

$$N_f = a(\epsilon)^b$$

여기서,  $N_f$ 는 아스팔트 혼합물의 피로수명이고,  $\epsilon_0$ 는 초기 인장 변형률이다. a와 b는 회귀분석을 통하여 얻어지는 상수들이며, 각 혼합물에 대한 값들을 표 3에 수록하였다. 변형률에 따른 시험된 혼합물들의 피로수명을 나타내는 그래프는 그림 6에 나타내었다.

빔피로시험의 피로 수명 예측을 위하여 사용한 수평변형률은 기존 강상판 교량에 대한 차량하중재하시험 결과와 상판의 횡방향 처짐, FEM 모델링 해석 결과를 토대로 분석한 결과 최대 처짐이 약 0.03cm가 발생할



것으로 예상된 기존 분석결과를 사용하였다. 0.03cm정도의 최대 처짐이 발생할 때 수평변형율이 약1000 $\mu\epsilon$  (0.0010)정도가 나타날 것으로 예상되어 수평변형률 1000 $\mu\epsilon$ (0.0010)에 대하여 표 3에 나타낸 모델식에 적용하여 각 혼합물별 피로수명과 혼합물별 상대 수명을 함께 나타내었다.

표 3의 각 혼합물에 대한 피로수명을 비교해 보면 PG 76-22 개질 아스팔트를 사용한 PSMA 혼합물이 가장 큰 피로수명을 나타내었으며 구스 혼합물이 다음으로 큰 피로수명을 나타내었고 일반 아스팔트 바인더를 사용한 SMA 혼합물이 상대적으로 낮은 피로수명을 나타내었다. PG 76-22 개질 아스팔트를 사용한 PSMA 혼합물의 경우 PG 76-22 고분자의 개질 효과에 기인하여 상대적으로 동일한 종류의 SMA 혼합물에 비하여 상당히 큰 피로수명의 차이를 나타내는 것을 볼 수 있다.

구스 아스팔트 혼합물의 경우 SMA 혼합물이나 PSMA 혼합물에 비하여 아스팔트 함량이 کم에도 불구하고 피로수명이 1000 $\mu\epsilon$ 에서 PSMA 혼합물보다 약 1/15배로 나타나서 교면포장의 국부처짐의 반복에 기인하여 발생하는 피로 균열가능성이 매우 큰 것으로 나타났다.

표 3. 빔피로시험 결과

혼합물 종류	AP 함량	시편 번호	$\epsilon$	$N_f$	a	b	R2	$\epsilon=0.0010$	
								$N_f$	상대비
구스		1	0.0011	29140	1.00E-17	-7.2510	0.9976	5.66E+04	1
		2	0.0009	144120					
		3	0.0007	780380					
SMA 8	7.4	1	0.0009	42530	1.00E-08	-4.1246	0.9868	2.36E+04	0.42
		2	0.0007	154690					
		3	0.0005	491790					
SMA 10	7.1	1	0.0009	35220	8.00E-09	-4.1745	0.9784	2.67E+04	0.47
		2	0.0007	140060					
		3	0.0005	422360					
PSMA 8	7.4	1	0.0015	34430	5.00E-18	-7.7516	0.9736	8.99E+05	15.88
		2	0.0012	299320					
		3	0.0010	774240					
PSMA 10	7.1	1	0.0015	34500	6.00E-18	-7.7084	0.9958	8.00E+05	14.14
		2	0.0012	228190					
		3	0.0010	776420					

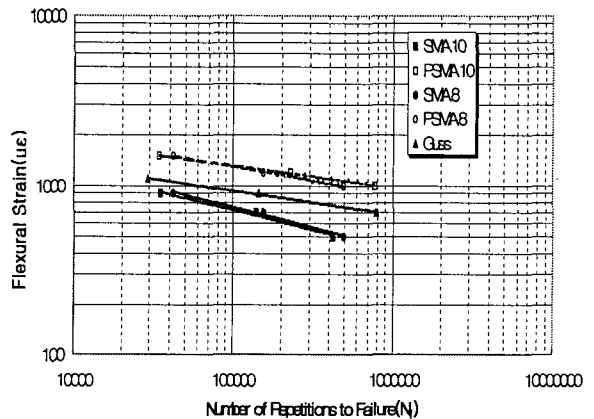


그림 6. 각 혼합물에 대한 피로수명 비교

### 3. 결론

본 연구를 통하여 도출한 결론적인 사항을 언급하면 아래와 같다.

1. 휠트래킹 시험결과 동정안정도의 크기는 PG 76-22 등급의 아스팔트 바인더를 적용한 SMA 10mm, 8mm 구스아스팔트 혼합물의 순서로 나타났으며, 구스 아스팔트 혼합물의 경우는 고온에서 유동성을 가지는 혼합물로서 PSMA 혼합물에 비하여 아스팔트 함량이 매우 높기 때문에 PSMA 혼합물에 비하여 소성변형에 대한 저항성이 상당히 낮은 것으로 평가되었다.
2. 휨 시험결과 파괴시 변형률은 PSMA 10mm와 PSMA 8mm가 가장 큰 변형률로 나타나 처짐 추종성이 좋은 것으로 나타났으며, 구스 아스팔트 혼합물의 경우 최대하중이후 급격한 취성파괴를 나타냄으로써 저온에서의 충격하중에 의한 균열의 가능성이 높으며, 처짐에 대한 추종성이 상대적으로 낮아서 강상판 국부 변형에 기인한 종방향균열 발생 가능성이 PSMA 혼합물에 비하여 높은 것으로 나타났다.
3. 빔 피로시험결과 PG 76-22 개질 아스팔트를 사용한 PSMA 혼합물이 가장 큰 피로수명을 나타내었으며 구스 혼합물이 다음으로 큰 피로수명을 나타내었고 일반 아스팔트 바인더를 사용한 SMA 혼합물이 상대적으로 낮은 피로수명을 나타내었다. PG 76-22 개질 아스팔트를 사용한 PSMA 혼합물의 경우 PG 76-22 고분자의 개질 효과에 기인하여 상대적으로 동일한 종류의 SMA 혼합물에 비하여 상당히 큰 피로수명의 차이를 나타내는 것으로 판단된다.



참고문헌

1. 한국도로공사, 고속도로공사 전문시방서(토목편), 한국도로공사, 2000
2. 한국도로공사, 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구-소성변형 저감을 위한 시방지침 개발, 건설교통부, 2002-3
3. Transportation Research Record, Development and Evaluation of Dynamic Flexural Beam Fatigue Test System, Transportation Research Record No.1543, 1996