

기능성 SBS 개질아스팔트 혼합물의 실내 성능 평가

Evaluation of Functional SBS Modified Asphalt Mixture Performance

한상기¹⁾ · 황의윤²⁾ · 김우성³⁾ · 차순만⁴⁾

Sang Ky Han · Eui Yoon Hwang · Woo Sung Kim · Soon Man Cha

1. 서 론

교통량 증가와 대기 환경의 변화 등으로 소성변형, 균열, 포트홀 등 다양한 포장 파손으로 몸살을 앓고 있던 국내 아스팔트 포장 도로는 개질아스팔트의 적용을 통하여 수명 연장은 물론 도로 유지보수 비용 감소 등의 효과를 보이고 있다. 초기에는 개질아스팔트의 특성에 대한 이해 부족에 따른 품질 관리 미비로 인하여 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 과정에서 일부 문제점이 발생하였으나, 점차 범용화 단계에 접어들어 따라 그 품질과 성능을 인정받고 있다.

개질아스팔트의 점진적인 정착화에 따라 해외에서도 많이 사용되고 있는 도로 포장 용처별로 적용 가능한 다양한 기능성 개질아스팔트 역시 그 필요성이 대두되고 있다. 개질아스팔트의 특정 성능을 부각시킨 고탄성 또는 고강도 아스팔트, 배수성용 고점도 아스팔트 등을 그 대표적인 사례로 들 수 있다.

이에 본 장에서는 고분자 개질재인 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer)를 사용한 고탄성/고강도 개질아스팔트를 소개하며, 이들의 실내 성능평가를 통하여 기능성 측면에서 일반아스팔트(AP-5) 및 SBS 개질아스팔트(PG 76-22) 대비 성능을 소개하고자 한다.

2. 재료

2.1 아스팔트 바인더

본 연구에 사용된 아스팔트는 일반아스팔트(AP-5), PG 76-22 규격에 해당하는 SBS 개질아스팔트, 반사균열 억제층 위한 SAMI(Stress Absorbing Membrane Interlayer) 포장 및 교면 포장 적용용 고탄성 개질아스팔트, 균열 및 변형에 강한 고강도 개질아스팔트로서 총 4종의 아스팔트 혼합물에 대하여 평가하였으며, 각각의 아스팔트 바인더 품질 규격은 표 1~4와 같다.

표 1. 일반아스팔트(AP-5) 품질 규격

시험 항목	규격	시험 항목	규격	
침입도(25℃, 1/10mm)	60~80	박막가열후	질량변화율(무게 %)	0.6 이하
연화점(℃)	44~52		침입도잔유율(%)	55 이상
신도(25℃, cm)	100 이상	중발후	질량변화율(무게 %)	-
톨루엔가용분(무게 %)	99 이상		침입도비(%)	110 이하
인화점(℃)	260 이상	밀도(g/cm ³)		1.0 이상

1) 정희원 · SK㈜ 대덕기술원 특수제품연구팀 연구원(E-mail: sk3258@skcorp.com)
 2) 정희원 · SK㈜ 대덕기술원 특수제품연구팀 수석연구원(E-mail: eyhwang@skcorp.com)
 3) 정희원 · SK㈜ 대덕기술원 특수제품연구팀 선임연구원(E-mail: gce761@skcorp.com)
 4) 정희원 · SK㈜ 대덕기술원 특수제품연구팀장 수석연구원(E-mail: smcha@skcorp.com)



표 2. SBS 개질아스팔트(PG 76-22) 품질 규격

시험 항목	시험 방법	규격(PG 76-22)
인화점	AASHTO T 48	230℃ 이상
점도 @135℃	ASTM D 4402	3,000cP 이하
$G^*/\sin \delta$ @10rad/sec	AASHTO TP 5	1.0kPa @76℃ 이상
회전박막가열(AASHTO T 240) 시료		
$G^*/\sin \delta$ @10rad/sec	AASHTO TP 5	2.2kPa @76℃ 이상
압력노화(AASHTO PP 1) 시료		
$G^* \times \sin \delta$ @10rad/sec	AASHTO TP 5	5.0MPa @31℃ 이하
Creep Stiffness @-12℃	AASHTO TP 1	300MPa 이하
m-value @-12℃	AASHTO TP 1	0.3 이상

표 3. 고탄성 SBS 개질아스팔트 품질 규격

시험 항목	규격	시험 항목	규격
침입도(25℃, 1/10mm)	80-120	박막가열전 $G^*/\sin \delta$, 70℃	1.0kPa 이상
점도(135℃, cP)	3,000 이하	박막가열후 $G^*/\sin \delta$, 70℃	2.2kPa 이상
인화점(℃)	230 이상	박막가열후 탄성회복률(25℃, %)	75 이상
저장안정성(48h, 163℃)	2.0 이하	신도(10℃, cm)	10 이상
연화점(℃)	60 이상	터프니스(25℃, N·m)	10 이상
동력점도(60℃, Poise)	16,000 이상	테네시티(25℃, N·m)	5 이상
Fraass Breaking Point, ℃	-12 이하	PG 규격	PG 70-22 이상

표 4. 고강도 SBS 개질아스팔트 품질 규격

시험 항목	규격	시험 항목	규격
침입도(25℃, 1/10mm)	10-40	인화점(%)	260 이상
연화점(℃)	60 이상	저장안정성(48h, 163℃)	2.0 이하
용해도(%)	98 이상	탄성회복률(25℃, %)	70 이상
동력점도(60℃, Poise)	10,000 이상	터프니스(25℃, N·m)	20 이상
점도(135℃, cP)	3,000 이하	테네시티(25℃, N·m)	10 이상
$G^*(15℃, MPa)$	20,000 이상	PG 규격	PG 82-22 이상

2.2 골재

적용 골재는 충청남도의 석회암 골재를 사용하였으며, 각 혼합물 종류에 따라 13mm 밀입도와 4.75mm 샌드입도를 적용하였다. 골재 합성입도 결과는 표 5-6과 같다.



표 5. 13mm 밀입도 골재합성입도 결과

체크기	19mm	13mm	10mm	#4	#8	#30	#50	#100	#200
입도 범위	100	95~100	84~92	55~70	35~50	18~30	10~21	6~16	4~8
합성 입도	100	99.7	87.2	62.0	41.8	18.7	13.4	9.9	7.0

표 6. 4.75mm 샌드입도 골재합성입도 결과

체크기	10mm	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
입도 범위	100	80~100	60~85	40~70	25~55	15~35	8~20	6~14
합성 입도	100	92.1	63.7	42.1	28.3	19.9	14.0	9.1

3. 평가 실험 방법

소성변형 저항성 실험과 피로균열 저항성 실험을 실시하였다. 각 공시체는 배합설계시 결정된 최적 아스팔트 함량과 선정된 골재 합성입도에 근거하여 13mm 밀입도 혼합물은 약 7.0%를, 4.75mm 샌드입도 혼합물은 약 3.0%의 공극률을 갖도록 제작하였다. 각 공시체의 실험 방법은 다음과 같다.

3.1 소성변형 저항성 실험

소성변형 저항성 실험은 Hamburg Wheel Tracking 장비를 사용하여 실시하였다. 실험 공시체는 제작후 상온에서 24시간 양생시킨 후, 실험 개시 전 5시간 동안 50℃하에서 수침 양생시켰다. 71.7kg 하중의 강제 바퀴를 52ppm의 속도로 최대 20,000회 반복 주행시켰으며, 장비의 모습은 그림 1과 같다.

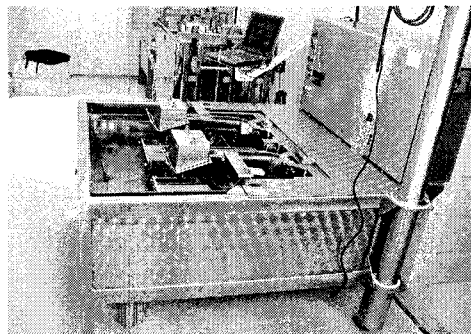


그림 1. Hamburg Wheel Tracking Tester

본 실험의 실험한 결과는 세로축을 소성변형의 깊이로, 가로축을 주행 횟수로 표시하여 그래프를 그리고 초기의 기울기를 크리프 기울기(creep slope)로, 변곡점을 스트리핑 변곡점(stripping inflection point)으로 말기의 기울기를 스트리핑 기울기로 표시하며 이들은 각각 아스팔트 혼합물의 하중 재하 횟수에 따른 변형 특성을 표시하게 된다.

Hamburg Wheel Tracking 시험은 전세계적으로 많이 사용되고 있으며, 특히 독일의 Hamburg시는 20,000회 주행시 4mm 이하의 소성변형량을, 미국 콜로라도주는 10mm 이하의 소성변형량을 규격으로 채택하고 있다.

3.2 피로균열 저항성 실험

피로균열 저항성 실험은 4점 하중 재하방식의 피로시험 장비를 사용하여 실시하였다. $380 \pm 6\text{mm}(l) \times 50 \pm 6\text{mm}(h) \times 63 \pm 6\text{mm}(w)$ 크기로 공시체를 절단한 후, 변형률 제어 방식으로 실험을 실시하였다. 13mm 밀입도 혼합물은 20°C 하에서 500microstrain의 변형률을, 4.75mm 샌드입도 혼합물은 15°C 하에서 2,000microstrain의 변형률을 적용하였다. 기본적인 실험방법은 AASHTO TP 8에 의거하여 진행하였으며, 장비의 모습은 그림 2와 같다.

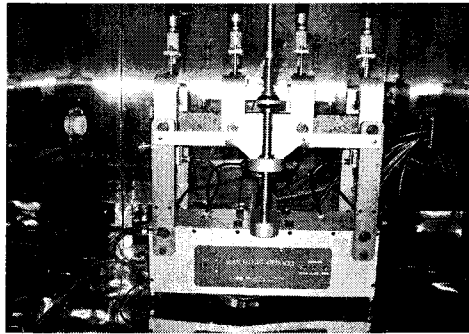


그림 2. 피로균열 시험 장비

4. 실내실험 평가결과

4.1 소성변형 저항성 실험 결과

각 아스팔트 바인더 종류별로 높이 6cm인 공시체를 제작하여 2회 반복 실험을 실시하였으며, 각각의 평균 침하량 결과는 그림 3과 같다. 13mm 밀입도를 적용한 고강도 SBS 개질아스팔트 혼합물과 PG 76-22의 SBS 개질아스팔트는 20,000회의 차륜 통과후에 각각 1.8mm와 5.7mm의 침하량을 나타낸 반면, 13mm 밀입도를 적용한 일반아스팔트 혼합물과 4.75mm 샌드입도를 적용한 고탄성 SBS 개질아스팔트 혼합물은 각각 5,701회와 4,589회의 차륜 통과후에 20mm의 최대 침하량에 도달하여 시험이 종료되었다.

그림 4에서 보이는 바와 같이 일반아스팔트 혼합물에서는 박리현상이 매우 심하게 발생하여 하중 재하에 따른 침하가 급격하게 이루어진 것으로 나타났다. 또한 표 7에서 보이는 바와 같이 5,000회 주행시 일반아스팔트 공시체는 17.7mm의 침하량을 보인 반면, PG 76-22 SBS 개질아스팔트와 고강도 SBS 개질아스팔트는 각각 1.7mm 및 1.0mm를 보여 약 10~18배 이상의 소성변형 저항성을 보이는 것으로 나타났다.

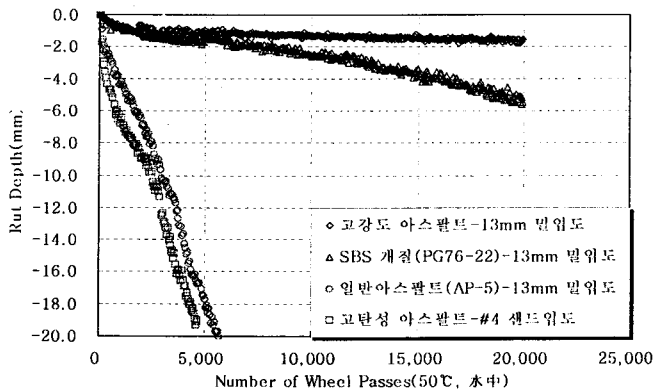


그림 3. 소성변형 저항성 실험 결과(단층)

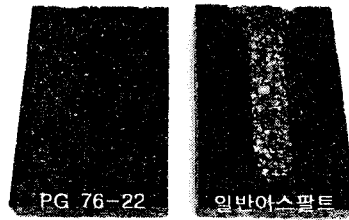


그림 4. 박리현상 발생 비교

표 7. 소성변형량 비교(단층)

구분	5,000회 주행시 침하량	비율	20,000회 주행시 침하량	비율
일반아스팔트(AP-5)	17.7mm	1.0	-	-
PG 76-22 SBS 개질	1.7mm	10.4	5.7mm	1.0
고강도 SBS 개질	1.0mm	17.7	1.8mm	3.2

* 침하량 비율 산정시 기준 공시체는 5,000회 주행시: 일반아스팔트, 20,000회 주행시: PG 76-22

현장에서의 모습을 모사하기 위하여 하부용 공시체 제작 및 택코팅후 상부층을 다져 총 높이 8cm의 공시체를 제작하여 2회 반복 실험을 실시하였으며, 각각의 평균 침하량 결과는 그림 5와 같다. 4.75mm 샌드 입도의 고탄성 SBS 개질아스팔트를 하부층으로 가진 고강도 SBS 개질아스팔트 혼합물은 20,000회의 차륜 통과후에 1.8mm의 침하량을 나타내어 소성변형 저항성능이 가장 우수한 것으로 나타난 반면, 상/하부층 모두를 일반아스팔트 혼합물을 적용한 경우는 약 14,000회의 차륜 통과후 20.0mm 이상의 침하량을 나타내었을 뿐 아니라 박리 현상 역시 발생하여 가장 열악한 결과를 나타내었다.

또한 표 8에서 보이는 바와 같이 14,000회 주행시 일반+일반아스팔트 공시체는 20.0mm의 최종 침하량을 보인 반면, 일반아스팔트 + PG 76-22 SBS 개질아스팔트와 고탄성 + 고강도 SBS 개질아스팔트는 각각 4.6mm 및 1.4mm를 보여 상부층에 SBS 개질아스팔트 적용시 일반아스팔트 포장 대비 약 4~14배 이상의 소성변형 저항성을 보이는 것으로 나타났다.

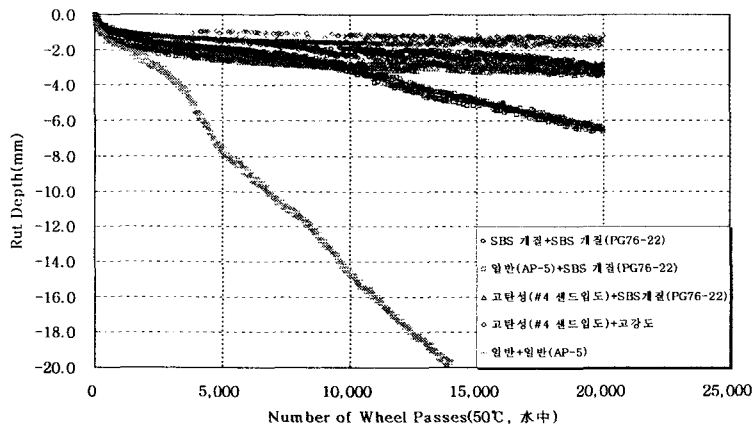


그림 5. 소성변형 저항성 실험 결과(복층)



표 8. 소성변형량 비교(복층)

구분	일반 + 일반	일반 + PG76-22	고탄성 + PG76-22	PG76-22 + PG76-22	고탄성 + 고강도
14,000회 주행시 침하량	20.0mm	4.6mm	2.9mm	2.3mm	1.4mm
비율	1.0	4.3	6.9	8.7	14.3
20,000회 주행시 침하량	-	6.6mm	3.3mm	2.8mm	1.6mm
비율	-	1	2.0	2.4	4.1

* 침하량 비율 산정시 기준 공시체는 14,000회: 일반+일반, 20,000회 주행시: 일반 + PG 76-22

4.2 피로균열 저항성 실험 결과

20℃하에서 500microstrain의 변형률을 적용한 13mm 밀입도 혼합물의 실험 결과는 그림 6과 같다. 모든 개질아스팔트는 300,000회 이상의 피로수명을 보였으나, 일반아스팔트는 59,300회의 피로수명을 보여 개질 아스팔트의 피로수명은 일반아스팔트 대비 최소 5배 이상의 수명을 갖는 것으로 나타났다.

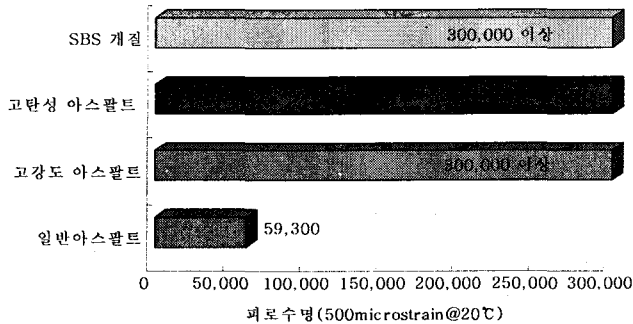


그림 6. 피로균열 저항성 실험 결과(13mm 밀입도 혼합물)

또한 15℃하에서 2,000microstrain의 변형률을 적용한 4.75mm 샌드입도 혼합물의 실험 결과는 그림 7과 같다. AASHTO TP 8에서 규정된 온도 및 변형률에 비하여 매우 가혹한 조건에서 수행한 실험 결과 고탄성 SBS 개질아스팔트의 피로수명은 100,000회 이상을 보인 반면, PG 76-22의 SBS 개질아스팔트와 일반아스팔트는 각각 3,620회와 1,175회의 피로수명을 보여 가혹한 하중하에서는 피로균열 저항성능이 다소 부족한 것으로 나타났다.

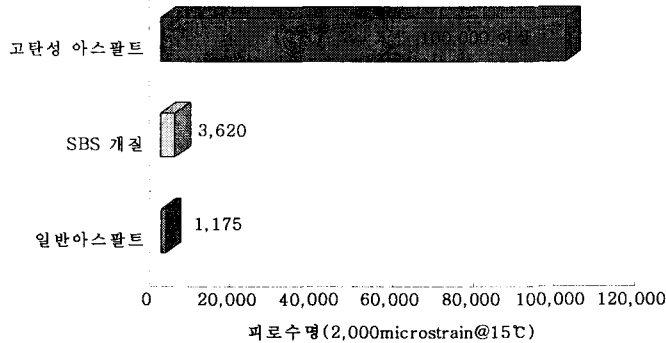


그림 7. 피로균열 저항성 실험 결과(4.75mm 샌드입도 혼합물)

5. 결 론

기능성 SBS 개질아스팔트 혼합물의 소성변형 및 피로균열 저항성능 실험 결과는 다음과 같다.

- (1) 일반아스팔트 혼합물 대비 기능성 SBS 개질아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성능은 월등히 우수한 것으로 나타남. 특히 차륜 반복 주행에 따른 수분 침투에 저항성능이 우수하여, 박리현상으로 인한 추가적인 변형이 발생하지 않은 것으로 나타남.
- (2) 13mm 밀입도 적용시 일반아스팔트 혼합물 대비 기능성 SBS 개질아스팔트 혼합물의 피로균열 저항성능이 최소 5배 이상 우수한 것으로 나타남.
- (3) 4.75mm 샌드입도를 적용한 고탄성 SBS 개질아스팔트 혼합물의 경우 가혹한 온도 및 하중조건 하에서 일반 개질아스팔트 및 일반아스팔트 대비 높은 균열 저항성능을 보여 반사균열 또는 진동이 많은 교면포장에서 발생하는 균열 등의 억제를 위한 포장층으로의 성능이 우수할 것으로 판단됨.
- (4) 추후 다양한 소성변형 및 피로균열, 반사균열 시험을 통한 실내실험 및 시험포장 등을 통하여 현장 공용성능을 파악하는 것이 필요함.

참고문헌

- 1. Richard P. Izzo, Maghsoud Tahmoressi, "Evaluation of the Use of the Hamburg Wheel Tracking Device for Moisture Susceptibility of Hot Mix Asphalt", Transportation Research Board, 1998
- 2. AASHTO, "AASHTO Provisional Standards", 2002