

SBS 개질아스팔트 포장의 현장거동 특성 연구

A Study on Field Behavior of SBS Modified Asphalt Pavement

김우성^{*} · 한상기^{**} · 황의윤^{***} · 차순만^{****}

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

1. 서론

지난 10여년간 국내 아스팔트 포장은 교통량 및 정체구간의 증가와 대기 환경의 변화 등으로 인하여 포장 파손이 심화되고 있는 실정이다. 소성변형, 균열, 포트홀 등의 파손으로 인한 교통사고 유발은 물론 도로 유지보수 비용도 증가하고 있어, 도로 파손을 방지하고 수명을 연장시키기 위한 대책의 일환으로 개질아스팔트 혼합물이 사용되고 있다.

그러나 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 과정에서 개질아스팔트 특성에 대한 이해 부족에 따른 품질 관리 미비로 인하여, 사용자의 기대에 부응치 못하고 조기 파손 또는 기타 문제점이 일부 구간에서 발생하고 있는 것이 현실이다. 개질아스팔트가 일반아스팔트와 구별되는 가장 큰 특징으로는 점도가 매우 높다는 것이다. 점도는 아스팔트 혼합물의 물성과 성능 및 취급에 매우 큰 영향을 미치는 인자로서, 개질아스팔트 혼합물은 배합설계 단계부터 혼합물의 생산, 시공 등 전 과정에서 온도관리를 포함한 특별한 관리를 요하게 된다. 또한 현장 공용중 교통하중 및 환경하중에 대한 포장체의 거동 또한 상이하기 때문에 포장체로서의 최적 성능을 발휘하기 위해서는 전술한 배합설계/생산/포설/다짐 등에 대한 특성 파악이 우선시된다.

따라서 본 연구에서는 국내 적용중인 여러 개질아스팔트중 전 세계적으로 보편화되어 있는 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer) 개질아스팔트 포장의 현장 평가 결과를 소개하고자 한다.

2. 재료 및 평가 실험 방법

본 연구에 사용된 아스팔트는 일반아스팔트(AP-5)와 고분자 개질제인 SBS 및 첨가제를 혼합하여 제조한 PG 76-22 규격에 해당하는 개질아스팔트로서, 각각의 품질 규격은 표 1~2와 같다.

표 1. 일반아스팔트(AP-5) 품질 규격

시험 항목	규격	시험 항목	규격	
침입도(25℃, 100g, 5초)	60~80	박막가열후	질량변화율(무게 %)	0.6 이하
연화점(℃)	44~52		침입도잔유율(%)	55 이상
신도(25℃, cm)	100 이상	증발후	질량변화율(무게 %)	-
톨루엔가용분(무게 %)	99 이상		침입도비(%)	110 이하
인화점(℃)	260 이상	밀도(g/cm ³)		1.0 이상

* 정회원 SK㈜ 기술원 특수제품Lab 선임연구원(E-mail: gce761@skcorp.com)
 ** 정회원 SK㈜ 기술원 특수제품Lab 연구원(E-mail: sk3258@skcorp.com)
 *** 정회원 SK㈜ 기술원 특수제품Lab 수석연구원(E-mail: eyhwang@skcorp.com)
 **** 정회원 SK㈜ 기술원 특수제품Lab 장 수석연구원(E-mail: smcha@skcorp.com)



표 2. SBS 개질아스팔트 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 δ @10rad/sec	AASHTO TP 5	1.0kPa @76℃ 이상
회전박막가열(AASHTO T 240) 시료		
G*/sin δ @10rad/sec	AASHTO TP 5	2.2kPa @76℃ 이상
압력노화(AASHTO PP 1) 시료		
G*×sin δ @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

전국 12개 지역 23개소 시내도로와 국도 구간의 SBS 개질아스팔트 및 일반아스팔트 표층 포장 현장에서 포설 및 다짐시 포장체 내부에 온도계를 삽입하고, 시간경과에 따른 포장체의 온도변화를 측정하였다. 조사 대상 구간의 표층 두께는 모두 5cm이고, 배합설계시 SBS 개질아스팔트는 3.0~3.5%로, 일반아스팔트는 약 4.0% 내외로 목표 공극률을 설정하였으며, 19mm 밀입도의 골재 합성입도를 적용하였다. 각각의 현장에서 사용하는 골재원이 서로 다르기 때문에 동일 밀입도 규격을 적용하였지만, 골재합성입도 및 아스팔트 함량은 약간의 차이를 보였으며, 포장 구간별 아스팔트 혼합물의 생산 온도가 다소 차이가 있고 운반거리, 대기온도 등이 상이하기 때문에 각 구간별로 온도 차이가 다소 발생하였다.

페이버는 모두 선다짐을 실시하였으며, 다짐 조합으로는 1차 다짐시 머캐덤 로울러, 2차 다짐시 타이어 로울러, 3차 다짐시 탠덤 로울러를 사용하였다. 조사 구간의 다짐 횟수 및 다짐시 혼합물 온도 등은 현장 조건에 따라 유동적으로 실시하였다.

다짐 온도 및 다짐 횟수의 영향을 파악하기 위하여 포장구간의 시공 완료후 지름 10cm의 현장코어를 채취하여 밀도를 측정하였으며, 실측 최대이론밀도 및 기준밀도를 이용하여 각각의 코어에 대한 현장 공극률과 다짐율을 평가하였다. 실측 최대이론 밀도는 운반 트럭의 적재함에서 혼합물을 채취하여 수작업으로 아스팔트가 피복된 골재들을 서로 분리하여 공극을 완전히 제거한 후, 공기중 및 수중 무게를 측정함으로써 산출하였고, 현장에서 채취한 혼합물을 이용하여 실내에서 마살 공시체를 제작하고 밀도를 측정하여 기준밀도로 활용하였다. 마지막으로 공용기간 경과에 따라 교통흐름에 의한 추가 다짐 효과를 평가하기 위하여 동일 조사 구간에서 주기적으로 현장 코어를 채취하여 밀도 및 공극률 분석을 실시하였다.

3. 현장거동 특성 평가 결과

SBS 개질아스팔트 포장의 현장 특성을 파악하기 위하여 시공조건에 따른 다짐율 및 공용기간 경과에 따른 포장체 공극률 변화 등을 조사하였다.

3.1 시공 조건에 따른 현장 특성

2003년 5월~12월에 걸쳐 전국 10개 지역 21개소 시내도로와 국도 구간의 SBS 개질아스팔트 포장 현장에서 다짐횟수와 시간경과에 따른 포장체 온도 변화를 측정하였다. 온도 변화 측정후 측정 지점에 사용된 현장 아스팔트 혼합물과 현장 코어를 채취/분석하여 동 구간의 다짐율을 측정하였다. 시공 시기에 따라 크게 하절기와 동절기로 구분하였으며, 대기온도가 5℃ 이하이거나 포설 대상 구간의 표면온도가 10℃ 이하인 경우에는 동절기로, 이외의 경우는 하절기로 구분하여 분석을 실시하였다. 시공 인자로는 아스팔트 혼합물의 현장 도착 온도, 포설 직후 온도, 각 다짐별 개시온도 및 다짐 횟수, 대기온도 및 포장 대상면 표면 온도 등으로 구분하였다. 각 시공인자와 최종 다짐율과의 상관관계는 표 3에 나타내었다.



표 3. SBS 개질아스팔트 포장 시공 인자별 최종 다짐율과의 상관성

구 분	시공 인자	상관 계수(R ²)	
		하절기	동절기
아스팔트 혼합물 온도	현장 도착 온도	0.3609	0.4715
	포설 직후 온도	0.4661	0.5116
	1차 다짐 개시온도	0.5283	0.5512
	2차 다짐 개시온도	0.4811	0.4752
	3차 다짐 개시온도	0.1835	0.2983
다짐 횟수	1차 다짐 횟수	0.0216	0.4481
	2차 다짐 횟수	0.0247	0.3105
	3차 다짐 횟수	0.0662	0.0000
기상 조건	대기 온도	0.1261	0.3551
	포장 대상면 온도	0.6156	0.6347

표 3과 같이 SBS 개질아스팔트 혼합물 시공단계에서 최종 다짐율과 상관성이 가장 큰 항목은 1차 다짐 개시온도인 것으로 나타났으며, 다짐 횟수에 비하여 다짐 개시 온도가 최종 다짐율과 월등히 높은 상관 관계를 보이는 것으로 나타났다. 또한 시공시 기상 조건중 대기 온도에 비하여 포장 대상면 표면 온도가 다짐에 더욱 높은 영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서 시공시 페이지에 의한 아스팔트 혼합물 포설 직후 신속히 1차 다짐을 실시하고 적정 온도 이상의 포장 대상면 표면 온도하에서 시공함으로써, 아스팔트 혼합물의 온도 저하를 방지하고 최종 다짐율의 향상을 가져올 수 있다.

표 4는 SBS 개질아스팔트 포장의 시공 특성 비교 결과이다. 동절기 시공구간 최종 다짐율은 평균적으로 시방기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났는데, 특히 다짐 가능시간이 하절기에는 62.2분으로 산출된 반면 동절기에는 하절기의 약 2/3인 39.8분으로 나타나 아스팔트 혼합물의 온도저하가 급격히 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 동절기 시공시 신속하고 철저한 다짐이 매우 중요한 것으로 나타났다.

표 4. 하절기 및 동절기 SBS 개질아스팔트 포장 시공특성 비교

구분	시방기준*	하절기	동절기	차이
평균 대기온도, ℃	5 이상	27.4	5.2	22.2
포장 대상면 온도, ℃	10 이상	26.8	4.7	22.1
다짐 가능시간(160~80℃), 분	-	62.2	39.8	22.4
냉각 속도, ℃/min	-	1.3	2.0	-0.7
HMA 현장 도착온도, ℃	160 이상	180.6	183.6	-3.0
1차 다짐 개시온도, ℃	140 이상	172.4	167.2	5.2
2차 다짐 개시온도, ℃	100~140	137.4	130.7	6.7
3차 다짐 개시온도, ℃	80 이상	102.6	88.1	14.5
다짐율, %	96 이상	97.4	95.1	2.3

*시방기준은 '슈퍼팔트 혼합물의 생산 및 시공에 관한 특별시방서(2003)' 에 근거한 내용임.



3.2 공용기간 경과에 따른 현장 특성

2004년 7월~2005년 7월에 걸쳐 동일한 조사 구간에서 주기적으로 현장 코어를 채취하여 공용 기간에 따른 추가 다짐효과로 인한 공극률 변화를 측정하였다. 그림 1~2는 다짐율 96% 이상인 구간의 대표적인 공용기간에 따른 공극률 변화를 나타낸 것이며, 그림 3~4는 다짐율 96% 미만인 구간의 공극률 변화를 나타낸 것이다. 그림 2와 4에 나타난 대구시와 대전시 조사구간의 경우 높은 교통량과 지정체가 심한 교차로 부근에 대한 결과로써, 그림 1과 3에 나타난 교통 흐름이 비교적 원활한 일반 국도에 비하여 다소 큰 공극률 변화를 보였음을 알 수 있다.

현장 다짐율이 96% 이상인 구간의 경우 공용후 약 2년이 경과한 후에도 추가적인 공극률 변화는 약 1~2%로써 매우 적은 양을 나타낸 반면, 다짐율이 96% 미만인 구간의 경우 약 2년의 공용기간 경과한 국도 7호선 구간은 3.5%의 공극률 변화를, 1.5년의 공용기간이 경과한 대전시 교차로 구간의 경우 약 3.6%의 변화를 나타내어, 다짐율 96% 이상인 구간에 비하여 2배 이상의 공극률 변화를 보였음을 알 수 있다.

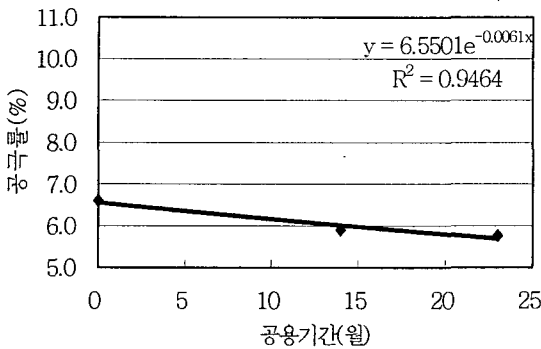


그림 1. 공용기간에 따른 공극률 변화(국도 17호선)

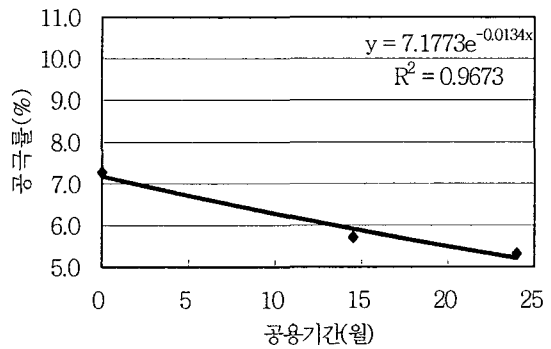


그림 2. 공용기간에 따른 공극률 변화(대구시)

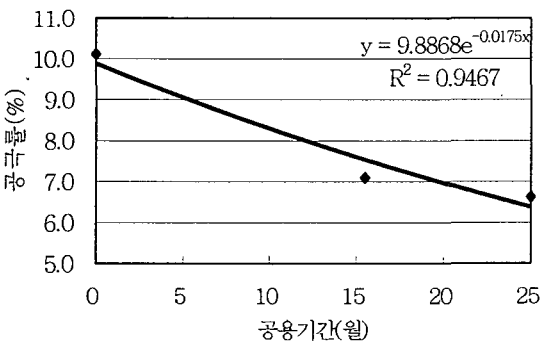


그림 3. 공용기간에 따른 공극률 변화(국도 7호선)

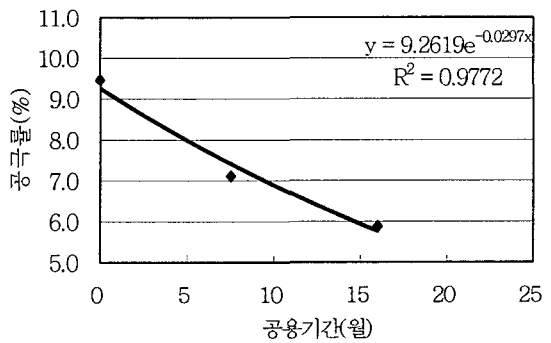


그림 4. 공용기간에 따른 공극률 변화(대전시)

그림 5는 하절기에 시공한 SBS 개질아스팔트 포장과 일반아스팔트 포장의 다짐율 96% 이상인 구간에 대하여 공용기간에 따른 공극률 변화 추세를 나타낸 것이다. SBS 개질아스팔트 포장과 일반아스팔트 포장과의 공용기간 경과에 따른 공극률 변화를 비교하기 위하여 하절기에 시공한 일반아스팔트 포장구간 2개 구간을 선정하여 시공 당시의 현장 혼합물 및 코어, 공용 3~9개월 경과후 현장코어를 채취하여 분석을 실시하였다.

공용기간이 약 8~9개월 경과한 경우 SBS 개질아스팔트 포장의 공극률 변화는 약 0.5~0.6%를 나타낸 반면, 일반아스팔트 포장의 경우 3.1~3.7%로 매우 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 차이는 공용기간에 따라 더욱 커질 것으로 판단된다.



SBS 개질아스팔트 포장은 일반아스팔트 포장 대비 교통하중에 의한 추가 다짐이 매우 적기 때문에 실내 배합설계과정에서 배합설계 목표 공극률을 3% 내외로 설계하여 시공함으로써 포장체의 안정화를 더욱 견고히 할 수 있다. 또한 현장 시공시 다짐이 불량하여 포장체의 공극률이 지나치게 높은 경우 추가 다짐 효과가 적어 시공후 약 6개월~1년간은 높은 공극률을 유지하게 되므로, 초기 공용기간 동안에 수분 침투 등과 같은 외부 요인에 다소 취약한 상태를 나타내게 된다. 따라서 포장의 조기파손을 방지하기 위해 배합설계 단계에서부터 시공까지 전 과정에 걸쳐 철저한 품질관리가 요구된다.

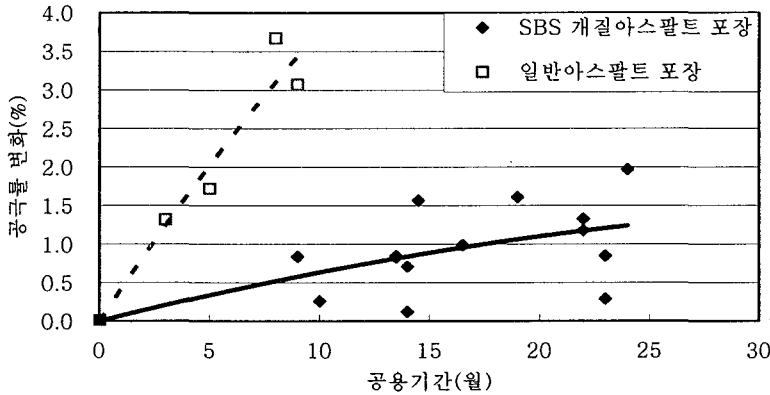


그림 5. 공용기간별 공극률 변화 비교(하절기 시공/다짐율 96% 이상 구간)

4. 결론

SBS 개질아스팔트 포장의 특성을 파악하기 위하여 현장 시공 조건 및 공용기간에 따른 거동 특성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- (1) SBS 개질아스팔트 포장의 시공 과정중 최종 다짐율과 상관성이 가장 큰 인자로는 1차 다짐 개시온도인 것으로 나타남. 따라서 시공시 페이퍼에 의한 포설직후 현장혼합물이 식기 전에 신속히 1차 다짐을 개시하는 것이 무엇보다도 중요함.
- (2) 동절기 시공구간의 최종 다짐율은 평균적으로 시방기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 특히 다짐 가능시간(아스팔트 혼합물의 온도가 80~160℃인 경우)은 하절기 대비 2/3 수준으로 감소되므로, 보다 신속하고 철저한 다짐관리가 매우 중요한 것으로 나타남.
- (3) SBS 개질아스팔트 포장과 일반아스팔트 포장 구간의 공극률 변화를 비교한 결과, 초기 약 1년의 공용기간 경과시 SBS 개질아스팔트 포장 대비 일반아스팔트 포장은 2~3%의 공극률 감소량 차이를 보여 그 차이가 매우 큰 것으로 나타났으며, 공용기간에 따라 그 차이는 더욱 커질 것으로 판단됨.
- (4) SBS 개질아스팔트 포장은 일반아스팔트 포장 대비 교통하중에 의한 다짐 효과가 매우 적기 때문에 실내 배합설계 목표 공극률을 3% 내외로 설계하여 시공하는 것이 좋음.

참고문헌

1. Asphalt Institute, "Construction of Hot Mix Asphalt Pavement (MS-22)"
2. Asphalt Institute, "Mix Design Methods for Asphalt Concrete (MS-2)"
3. F. L. Roberts, P. S. Kandhal, E. R. Brown, D. Y. Lee, T. W. Kennedy, "Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, And Construction", NAPA, 1996
4. H. U. Bahia, D. I. Hanson, M. Zeng, H. Zhai, M. A. Khatri, R. M. Anderson, "Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design", NCHRP Report 459, Transportation Research Board, 2001
5. SK(주), "슈퍼팔트 혼합물의 생산 및 시공에 관한 특별시방서", 2003