

SBS개질아스팔트 포장의 거동 특성 연구

A Study on Field Behavior of SBS Modified Asphalt Pavement

황의윤* · 한상기** · 김우성*** · 차순만****

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

1. 서론

최근들어 교통량의 급증과 차량하중의 증량화 및 대형화, 대기환경의 변화 등으로 소성변형과 균열, 포트홀 등 도로 파손이 급격히 증가하고 있어 교통사고 유발은 물론 유지보수로 인한 막대한 비용손실을 초래하고 있다. 또한 부적절한 포장재료의 사용과 품질관리 체계 미비 등은 도로의 조기 파손을 더욱 가속화시켜 도로 수명을 현저히 저하시키고 있다. 이러한 도로의 파손을 방지하고 수명을 연장시키고자 중차량 교통량이 많은 고속도로, 국도 등 여러지역에서 초기 비용은 다소 높지만 성능이 우수하다고 알려진 기존의 일반아스팔트를 대체한 개질아스팔트를 도입하여 사용하고 있다.

여러 가지 개질아스팔트 중에서 성능의 우수성이 입증되어 전 세계적으로 보편화 되어 있는 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer)개질아스팔트는 국내에서도 개질아스팔트 시장의 50% 이상을 차지하고 있고 그 사용은 지속적으로 증가하고 있는 추세다.

개질아스팔트의 가장 큰 특징은 일반아스팔트에 비하여 점도가 매우 크다는 것이다. 점도는 아스팔트와 아스팔트 혼합물의 물성과 성능 및 취급에 매우 큰 영향을 미치는 인자로서 점도가 다르면 배합설계 단계부터 아스팔트 혼합물 생산, 현장에서의 포설과 다짐 등 시공상의 모든 과정에서 온도관리를 달리해야 한다. 교통 개방 후 하중에 대한 포장체의 거동 또한 다르기 때문에 포장체로서의 최적 성능 발휘를 위해서는 포장 재료의 특성에 적합한 시공방법이 필요하고 이를 위해서는 각각의 개질아스팔트에 대한 시공 및 다짐특성 파악이 우선되어야 하나 아직까지 국내도로의 교통조건과 시공특성, 대기조건 등의 제반환경을 고려한 현장중심의 체계적인 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 개질아스팔트 포장의 지속적인 성능향상은 물론 국내 도로발전을 위하여 SBS개질아스팔트 포장의 거동특성 파악을 위한 실내 실험 및 현장 평가를 수행하였으며 그 결과를 소개하고자 한다.

2. 재료 및 실험방법

SBS 개질아스팔트는 일반 아스팔트와 고분자 개질제인 SBS 및 첨가제를 혼합하여 제조한 개질아스팔트로서 일반아스팔트의 종류, SBS함량 등의 조건에 따라 여러가지 등급으로 제조될 수 있으며 본 연구에 사용한 SBS 개질아스팔트의 물성은 표 1과 같고 PG 76-22의 공용성 등급에 해당하는 것으로 나타났다. 실내 실험에 사용한 골재는 대전 인근의 석산에서 입수한 화강암 계통의 골재를 사용하였으며 실험방법으로는 골재함성입도와 공극률 변화에 따른 물의 투과속도 평가를 위하여 SBS 개질아스팔트를 밀입도와 수퍼페이브 입도 각각에 대하여 다양한 공극률을 가지도록 마샬공시체를 제작한 후 투수율을 측정하였다. 다짐 특성 비교평가를 위하여 SBS 개질아스팔트와 일반아스팔트로 제작한 각각의 마샬공시체를 하절기 아스팔트 포장도로의 표면온도로 가정되는 60℃로 유지시킨 후 마샬다짐기로 추가 다짐을 실시하면서 다짐횟수별 공극률 변화를 비교·평가하였으며, 이때 적용한 골재함성입도는 표 2와 같다. 또한 실제 SBS 개질아스팔트 포장의 온도관리

* 정회원 SK㈜ 대덕기술원 아스팔트연구팀 선임연구원(E-mail : eyhwang@skcorp.com)
** 정회원 SK㈜ 대덕기술원 아스팔트연구팀 연구원(E-mail : sk3258@skcorp.com)
*** 정회원 SK㈜ 대덕기술원 아스팔트연구팀 선임연구원(E-mail : gce761@skcorp.com)
**** 정회원 SK㈜ 대덕기술원 아스팔트연구팀장 수석연구원(E-mail : smcha@skcorp.com)



등 시공특성을 파악하기 위하여 포설과 다짐이 이루어질 때 포장체 내부에 온도센서를 삽입하여 시간변화에 대한 온도변화를 측정하여 다짐가능시간을 평가하였으며 시공 후에는 온도센서를 삽입한 위치에서 코어를 채취하여 다짐율을 평가하였다.

표 1. SBS개질아스팔트의 물성

항목	PG 76-22	실험결과	
		SBS개질	AP-5
박막가열전 시료			
인화점, °C	230	355	350
점도, 3000 cP 이하, °C	135	1704	450
G*/sinδ, 1.0 kPa이상, °C	76	1.79	1.3(64°C)
박막가열후 시료			
증발감량, %이하	1.00	0	0
G*/sinδ, 2.2 kPa이상, °C	76	2.5	2.6(64°C)
압력노화후 시료			
G*/sinδ, 5000 kPa이하, °C	31	867	915
Creep Stiffness(S): 300MPa이하 m-value : 0.3이상	-12	S : 247MPa m : 0.32	S : 270MPa m : 0.33
PG 등급		PG76-22	PG 64-22
침입도, 25°C, dmm		61	70
연화점, °C		90	48

표 2. 적용골재 함성입도

	통과율, %	
	밀입도	수퍼페이브
19mm	100	100
13mm	82	91
10mm	-	75
#4	55	44
#8	44	31
#16	-	22
#30	24	16
#50	16	12
#100	11	8
#200	6	6

3. 실험 결과

3-1. 투수율

SBS 개질아스팔트를 이용하여 밀입도와 수퍼페이브 입도 각각에 대하여 0~9% 사이의 공극율을 가지도록 여러개의 마살공시체를 제작한 후 그림 1과 같은 장치를 이용하여 마살공시체 표면에 수분을 재하하여 마살공시체를 통과하는 수분의 양을 측정하여 투수속도를 측정하였다.

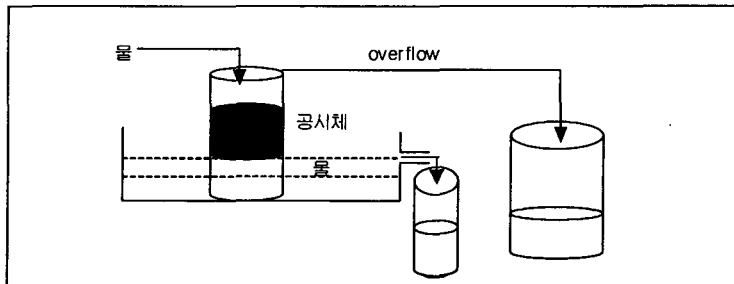


그림 1. 투수율시험장치

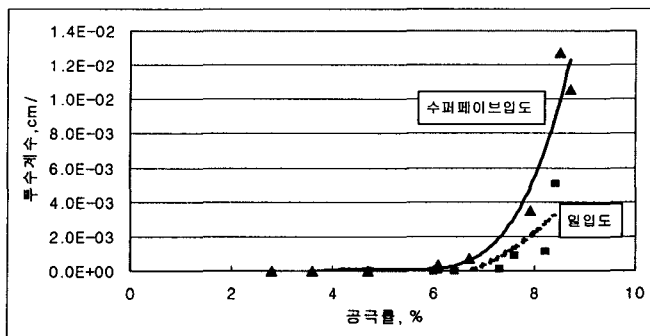


그림 2. 공극률과 투수율의 관계



그림 2에 나타난 바와 같이 공극률이 0~6%까지는 골재함성입도에 상관없이 투수율이 제로(0)이거나 매우 낮았다. 수퍼페이브 입도는 6% 이상부터 투수율이 증가하기 시작하여 약 7%를 초과하면 급격히 증가하는 것으로 나타났고, 밀입도는 7% 이상부터 증가하다가 8% 부터 크게 증가하는 것으로 나타나 수퍼페이브 입도가 밀입도보다 투수율이 큰 것으로 나타났다. 따라서 동일 공극률을 가지더라도 입도에 따라 투수율이 다르고 밀입도보다 수퍼페이브 입도의 투수 속도가 크게 나타난 것은 굵은 골재를 많이 사용하여 공시체 내부에 서로 연결된 공극이 많기 때문인 것으로 분석된다.

3-2. 다짐을 실내 실험 결과

일반아스팔트와 SBS개질아스팔트 각각에 대하여 초기 공극률을 밀입도의 경우 약 10%, 수퍼페이브 입도의 경우 약 6.5%가 되도록 마살공시체를 제작하여 상온으로 양생시키고 다시 오븐에서 60℃로 유지시킨 후 마살다짐기로 추가 다짐을 실시하면서 다짐횟수별 공극률을 측정하였으며 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

일반아스팔트로 제작한 공시체의 경우 초기 공극률이 약 10%인 밀입도와 6.5%인 수퍼페이브 입도 모두 400회 정도의 추가다짐 횟수에서 공극률이 4% 대로 감소하였으나 SBS 개질아스팔트로 제작한 공시체는 입도에 상관없이 일반아스팔트 공시체 추가다짐 횟수의 2배인 800회 정도에서 공극률이 4% 대로 감소하였다.

즉, 일반과 SBS개질아스팔트 공시체가 초기에는 동일한 공극률을 나타내었지만 추가 다짐 후에는 일반아스팔트 공시체가 4%로 감소할 동안 SBS 개질아스팔트 공시체는 5%로 감소하여 약 1% 정도 높은 공극을 유지하는 것으로 나타났다. 추가다짐 횟수가 증가할수록 일반아스팔트와 SBS개질아스팔트 공시체의 공극률 차이도 증가하였으며 500회 이상의 추가다짐 부터는 1% 이상의 공극률 차이를 지속적으로 유지하는 것으로 나타났다.

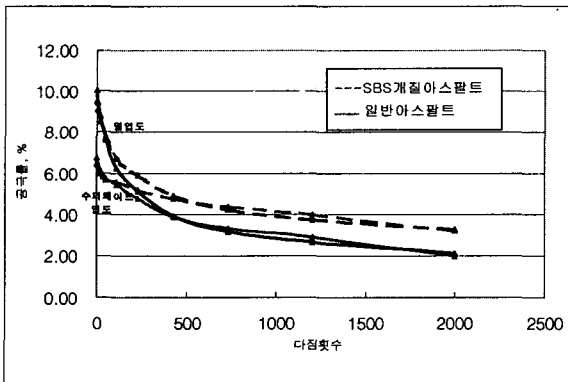


그림 3. 다짐 횟수에 따른 공극률 변화

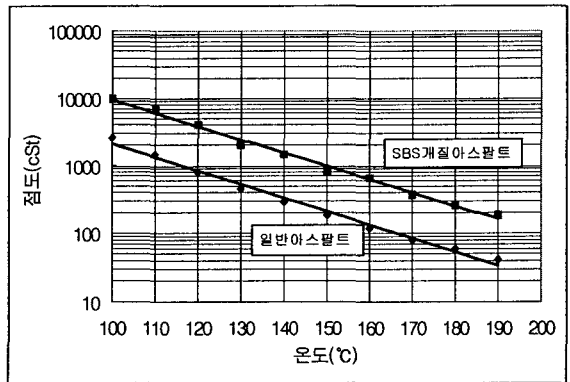


그림 4. 온도와 점도 관계

그림 3과 같이 동일한 다짐횟수에서 일반아스팔트와 SBS개질아스팔트 마살공시체의 다짐을 차이가 발생한 것은 사용한 아스팔트의 점도 차이에 기인한다. 점도는 흐름에 대한 저항성을 나타내는 유체의 특성으로써 아스팔트가 가지는 고유 물성이며 아스팔트 종류마다 다르기 때문에 포장체에 가해지는 하중에 대한 저항력도 다르게 나타난다. 특히 개질아스팔트는 일반아스팔트와 점도 차이가 크기 때문에 그 특성을 정확히 파악하여 시공하는 것이 매우 중요하다. 그림 4에 나타난 바와 같이 SBS개질아스팔트는 일반아스팔트보다 점도가 5배 이상(135℃) 높기 때문에 하중에 대한 저항력이 커 동일한 다짐횟수에서도 공극률 감소가 적은 것이다. 따라서 개질아스팔트 포장을 현장에 적용할 경우 사용 개질아스팔트의 점도 특성을 파악하여 적합하게 시공되어야 한다.



3-2. SBS 개질아스팔트의 현장 시공 특성

3-2-1 포장체의 온도변화

'03년 5월~8월에 걸쳐 인천, 울산 등의 광역시내와 국도 구간의 SBS 개질아스팔트 표층 포장 현장에서 포설 및 다짐시 포장체 표면 및 내부에 온도계를 삽입하고 다짐횟수와 시간경과에 따른 포장체의 온도변화를 측정하였으며 그 결과를 그림 5, 6, 7, 8에 나타내었다. 포장시 대기온도는 22~28℃였으며 조사 대상 모든 구간의 표층 두께는 5cm이고 수퍼페이브 입도를 제외한 밀입도의 골재합성입도만을 적용하였으며 각각의 현장에서 사용하는 골재원이 서로 다르기 때문에 동일 밀입도 규격을 적용하였지만 골재합성입도 및 아스팔트 함량은 약간의 차이를 보였다.

포장구간별 아스콘의 생산 온도가 다소 차이가 있고 운반거리, 대기온도 등이 상이하기 때문에 포설 초기 포장체의 표면 및 내부온도가 구간별로 다르게 나타났다. 포장체 내부보다는 표면 온도가 낮은 것으로 나타났으며 이것은 대기와의 접촉, 철풀 롤러의 다짐 작업시 수분살포 등에 기인한 것이며 그림 5, 6, 7, 8에 나타난 바와 같이 측정된 모든 구간에서 포장체 표면 온도와 내부 온도는 포설 초기에는 약 20℃ 정도의 차이를 보였지만 시간이 경과함에 따라 차이가 감소하여 약 1시간 후에는 10℃ 정도를 유지하는 것으로 나타났다.

SBS 개질아스팔트 혼합물의 포설 및 다짐 작업이 이루어져야 하는 온도는 혼합물의 현장도착 온도에 따라 영향을 받지만 약 160~80℃ 범위이다. 혼합물의 현장도착온도가 약 180℃인 인천시와 국도 17호선 구간에서는 포설직후 부터 80℃까지 감소하는데 약 1시간이 소요되었지만 현장도착온도가 160℃인 울산시와 국도 7호선 구간에서는 30~40분 정도 소요되는 것으로 나타났다.

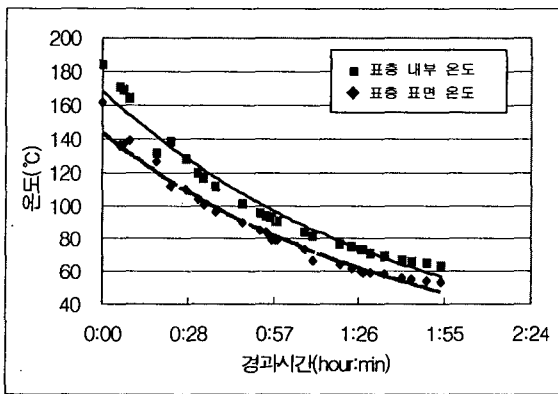


그림5. 시간경과에 따른 온도변화(인천시)

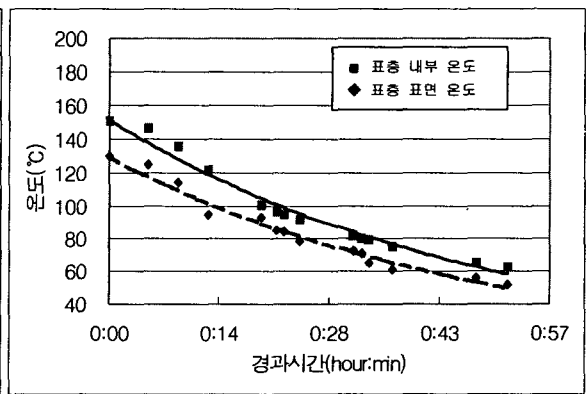


그림6. 시간경과에 따른 온도변화(울산시)

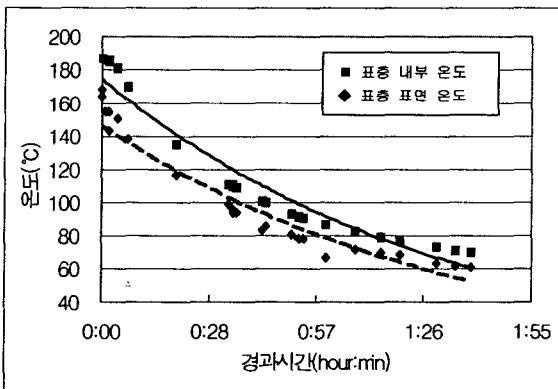


그림7. 시간경과에 따른 온도변화(국도 17호)

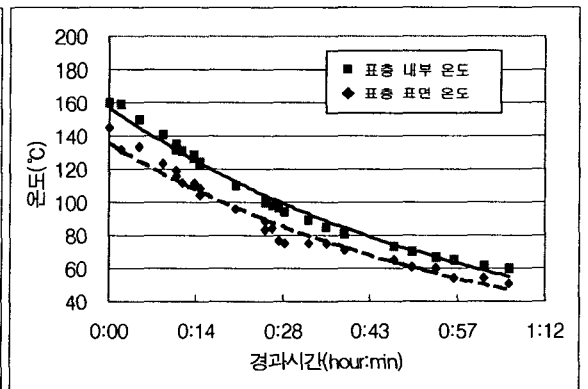


그림8. 시간경과에 따른 온도변화(국도 7호)



로울러의 다짐횟수에 따른 온도변화를 측정하여 그림 9과 10에 나타내었다. 머캐덤로울러는 1회 다짐시 약 4.8℃정도의 온도저하가 발생하였으나 타이어로울러는 약 1.6℃의 온도저하가 발생하였다. 이것은 다짐시 철륵 및 타이어에 혼합물이 부착하는 것을 방지하기 위하여 머캐덤 로울러에는 물을 살포하기 때문에 식용유나 경유를 도포하는 타이어 로울러보다 상대적으로 온도 저하가 크기 때문이다. 따라서 물을 살포하는 철륵 로울러에 의한 다짐시 온도저하 방지를 통한 다짐효과 향상을 위해서는 가능한한 최소한의 물을 살포하는 것이 매우 중요하다.

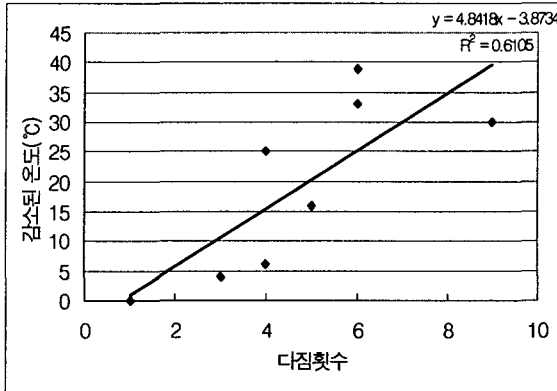


그림 9.머캐덤로울러 다짐횟수와 온도변화

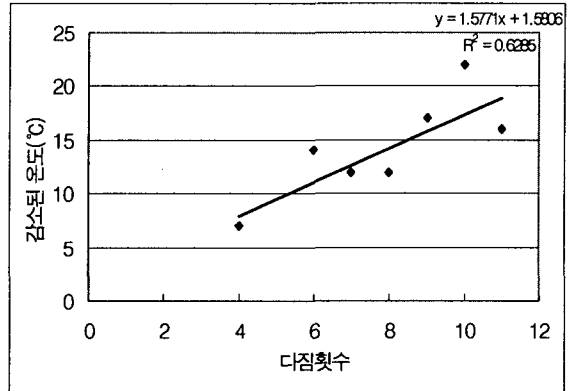


그림 10.타이어로울러 다짐횟수와 온도변화

3-2-2. 다짐율

다짐온도 및 다짐횟수의 영향을 파악하기 위하여 포장구간의 시공 완료 후 지름 10cm의 현장 코어를 채취하여 밀도를 측정하고 실측 최대이론밀도 및 기준밀도를 이용하여 각각의 코어에 대한 현장 공극률과 다짐율을 평가하였다. 실측 최대이론 밀도는 운반 트럭의 적재함에서 혼합물을 채취하여 수작업으로 아스팔트가 피막된 골재들을 서로 분리하여 공극을 완전히 제거한 후 공기중 및 수중 무게를 측정함으로써 구하였고 현장에서 채취 혼합물을 이용하여 실내에서 마샬공시체를 제작하고 밀도를 측정하여 기준밀도로 활용하였다.

그림 11, 12에 나타난 바와 같이 1차 다짐온도 125℃의 낮은 온도에서는 94.5%의 다짐율을 보였으나 175℃에서는 97.8%의 높은 공극율을 나타내었다. 또한 1회의 1차 다짐을 가하였을 경우 93.5%의 다짐율을 나타냈으나 6회에서는 97.8 %의 다짐율을 보였으며 이때의 2차 및 3차 다짐은 가능한한 동일한 조건을 유지하도록 하였다. 1차 다짐온도가 높고 다짐횟수가 많을수록 다짐율은 증가하며 1차 다짐시 혼합물 온도를 1℃ 증가시키면 다짐율을 약 0.04% 증가시킬 수 있으며, 다짐횟수 1회를 추가시킬 경우 0.4 %의 다짐율이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 시공시 피니셔에 의한 포설직후 현장혼합물이 식기 전에 신속히 1차 다짐을 개시하는 것이 무엇보다 중요하다.

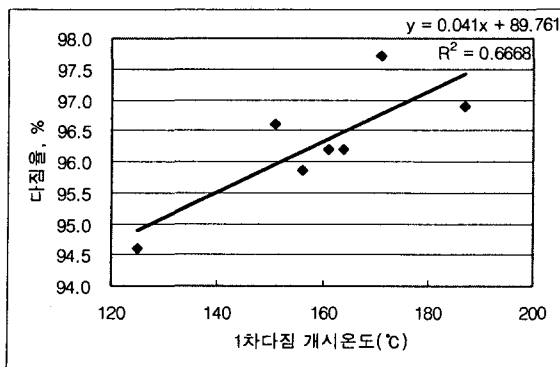


그림 11.다짐온도와다짐율

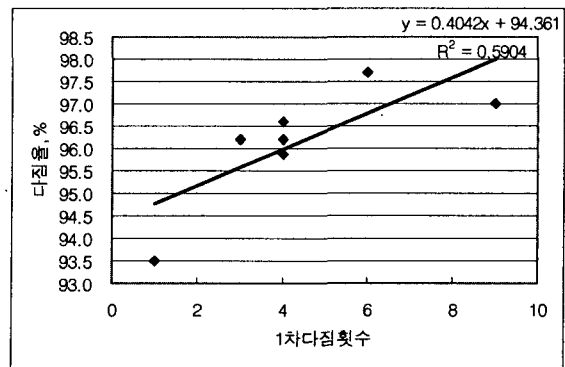


그림 12.다짐횟수와다짐율



4. 결론

고분자개질아스팔트의 한 종류인 SBS 개질아스팔트 포장의 특성을 파악하기 위하여 실내에서 마찰공시체를 제작하여 다양한 항목들에 대한 실험을 실시하고 실제 포장 현장에서 여러가지 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 밀입도 및 수퍼페이브 입도로 마찰공시체를 제작하여 투수율을 평가한 결과 동일 공극률에서 밀입도 보다는 수퍼페이브 입도의 투수율이 크고 밀입도는 8%, 수퍼페이브 입도는 7%의 공극률을 초과하면서 서부터 투수율이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 수퍼페이브 입도를 현장에 적용할 경우 투수율 증가에 따른 수분침투 현상을 방지할 수 있도록 각별한 배합설계 및 시공관리가 요망된다.
- (2) 일반아스팔트와 SBS 개질아스팔트를 이용하여 밀입도와 수퍼페이브 입도 각각에 대하여 마찰공시체를 제작한 후 60℃로 유지하면서 마살다짐기로 추가 다짐을 실시한 결과 입도에 상관없이 다짐횟수가 동일할 경우 SBS개질아스팔트로 제작한 공시체가 일반아스팔트 공시체보다 1% 정도 높은 공극률을 유지하고 있어 다짐이 적게 되는 것으로 나타났다. 따라서 SBS 개질아스팔트와 같은 개질포장을 현장에 적용할 경우 개질아스팔트 특성과 포장체의 다짐특성을 정확히 파악한후 배합설계 및 현장 다짐을 실시하여야 한다.
- (3) 5~8월에 실시한 SBS 개질아스팔트 포장시 표층 표면과 내부의 온도 차이를 측정된 결과 포설 및 다짐 초기에는 약 20℃를 유지하였으나 시간이 경과함에 따라 감소하여 약 1시간 이후에는 10℃를 유지하는 것으로 나타났다. 대기온도가 22~28℃에서 포설직후 부터 다짐 완료온도인 80℃로 감소할때 까지 경과한 시간은 혼합물의 초기온도가 180℃일 경우 약 1시간, 초기온도가 160℃일 경우 약 30~40분 정도이다. 따라서 포설후 약 30분내 다짐 작업을 마무리할 수 있도록 시공이 이루어져야 하며 대기 온도가 낮은 동절기에는 온도감소가 크기 때문에 조기에 시공을 완료하여야 한다.
- (4) 다짐횟수에 따른 온도변화를 측정된 결과 머캐덤로울러를 사용할 때 1회 다짐시 4.8℃가 감소하였고 타이어로울러는 1.6℃가 감소하는 것으로 나타나 머캐덤로울러 다짐시 온도감소가 큰 것으로 평가되었다. 이것은 철륵에 혼합물이 부착하는 것을 방지하기 위하여 살포하는 수분의 기화현상이 주 원인이다. 따라서 다짐효과를 극대화하기 위해서는 가능한한 수분살포를 적게 하여 온도감소가 최소화 되도록 하여야 한다.
- (5) SBS 개질아스팔트 포장체의 다짐율은 1차다짐 개시온도 및 1차다짐 횟수에 크게 영향을 받으며, 1차다짐온도 시방범위 내에서 포장체의 온도가 1℃만 증가해도 다짐율은 약 0.04% 증가되고, 다짐횟수를 1회 추가시킬 경우 0.4%의 다짐율을 높일 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 시공시 피니셔에 의한 포설직후 현장혼합물이 식기 전에 신속히 1차 다짐을 개시하는 것이 무엇보다 중요하다.

참고문헌

1. Asphalt Institute, " Construction of Hot Mix Asphalt Pavement(MS-22) "
2. SK(주), " 슈퍼팔트 혼합물의 생산 및 시공에 관한 특별시방서 ", 2003
3. Asphalt Institute, " Mix Design Methods for Asphalt Concrete(MS-2) "
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. 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