골재입도 변화에 따른 SBS고분자개질아스팔트 혼합물의 거동특성

(Performance Evaluation of SBS Modified Asphalt Mixtures For Various Mix Gradations)

차 순 만*, 황 의 윤**, 김 종 현***

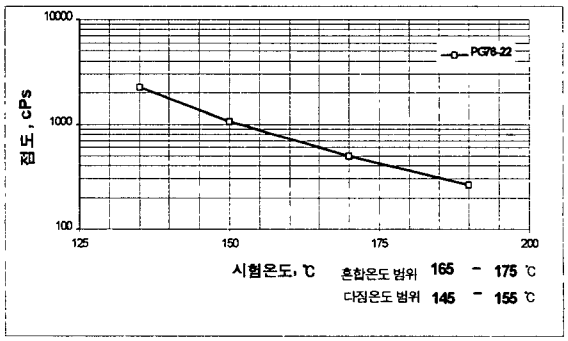
Ⅰ. 서 론

국내 포장도로의 대부분을 차지하고 있는 아스팔트 포장의 경우 급격한 교통량 증가와 기후조건의 변화 등 제반 여건의 변화로 도로 파손이 급증하고 있는 실정이다. 이러한 아스팔트 포장의 문제점을 개선하기 위하여 현재 국내에는 다양한 종류의 아스팔트 개질재가 도입되어 사용되고 있다. 본 고에서는 SBS고분자개질아스팔트를 사용하여 다양한 입도 변화에 따른 아스팔트혼합물의 마샬 물성치의 특성과 혼합물의 소성변형 저항성을 평가한 휠트랙킹(Wheel Tracking) 시험 결과, 그리고 피로균열 저항성을 평가하기 위한 간접인장 시험결과를 소개하고자 한다.

Ⅱ. 실험 방법

1. 사용 재료

본 실험에 사용된 골재는 충남 유림공영(주) 석산에서 직접 생산되는 화강암으로서, 일반아스팔트 혼합물 생산시에 사용되는 19mm골재, 13mm골재, 깬모래, 모래(자연사) 및 채움재로 석회석분을 사용하였다. 또한 본 연구에 사용된 SBS고분자개질아스팔트로는 미국SHRP의 공용성등급 기준에 의하면 PG 76-22에 해당되며, 상호 비교를 위해 일반 아스팔트인 AP-5도



<그림 1> 슈퍼팔트 온도와 점도와의 관계

* (주) SK 대덕기술원 아스팔트연구팀 팀장
** (주) SK 대덕기술원 아스팔트연구팀 선임연구원
*** (주) SK 대덕기술원 아스팔트연구팀 주임연구원

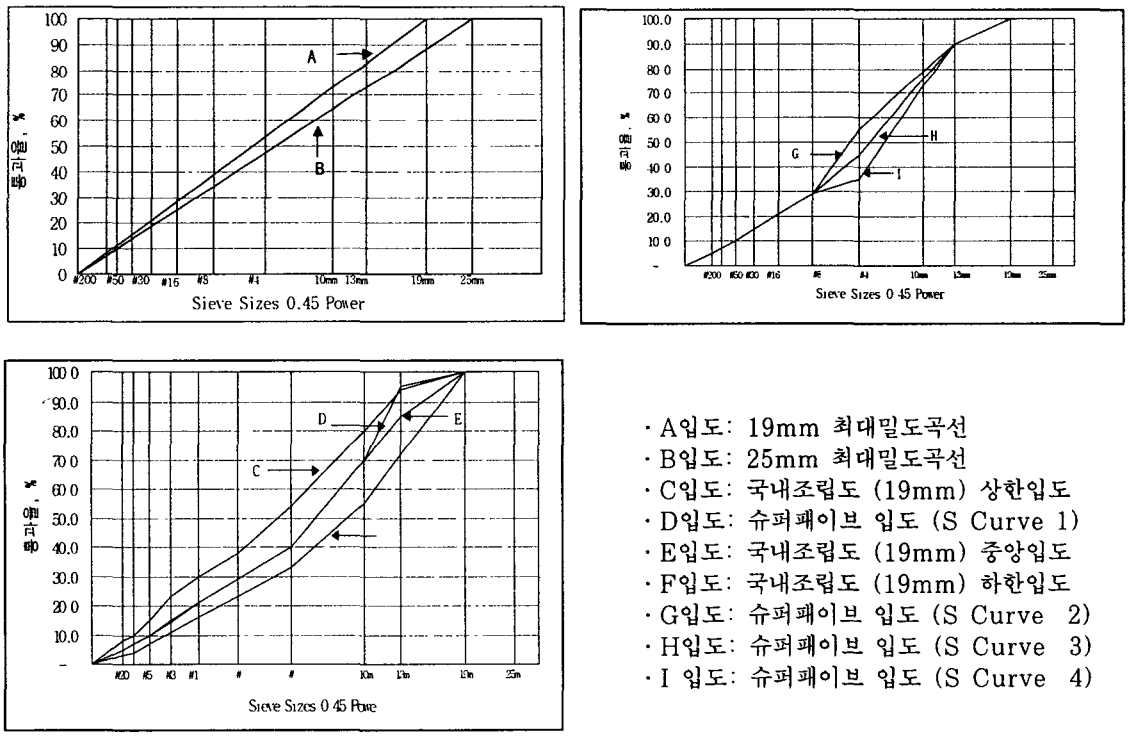
함께 사용되었다. 슈퍼팔트 혼합물 제조를 위한 혼합온도와 다짐온도는 온도에 따른 점도를 측정하여 결정하였으며 (그림 1 참조), 적정 혼합온도는 165~175℃, 그리고 혼합물 다짐온도는 145~155℃가 적용되었다.

2. 시험 방법

SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 물성평가를 위한 배합설계 방법으로는 마샬 배합설계법을 적용하였으며, 일반적으로 국내 아스콘사 실험실에서는 골재에 흡수된 아스팔트 함량을 고려하지 않은 체 마샬 물성치를 계산하고 있어 부정확한 결과를 초래할 수 있으나 본 실험에서는 미국의 MS-2 배합설계법에 의해 마샬 물성치를 얻었다. 혼합물 성능평가로서는 소성변형 저항성을 평가하기 위해 한국도로공사 휠트랙킹(Wheel Tracking)시험에 의한 동적안정도를 측정하였으며, 혼합물의 균열저항성능을 평가하기 위하여서는 현대건설기술연구소의 간접인장시험(Indirect Tensile Test)을 통한 터프니스(Toughness)와 파괴시 변위량으로부터 간접적으로 추정하는 방법이 적용 되었다.

3. 평가대상 입도 선정

19mm 최대골재 합성입도



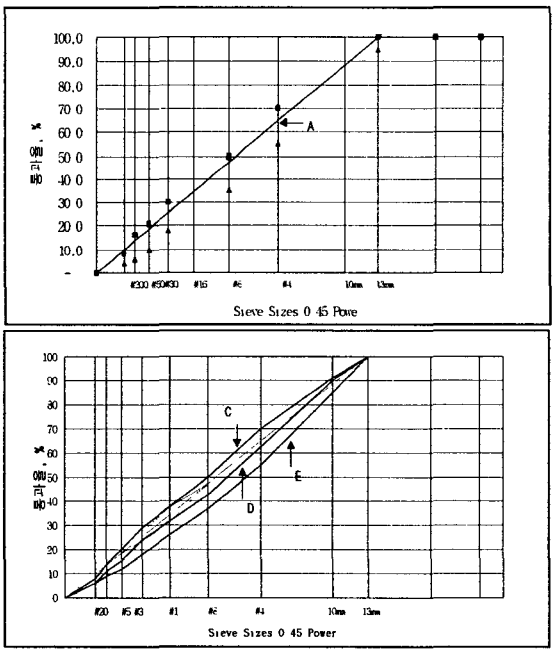
- A입도: 19mm 최대밀도곡선
- B입도: 25mm 최대밀도곡선
- C입도: 국내조립도 (19mm) 상한입도
- D입도: 슈퍼패이브 입도 (S Curve 1)
- E입도: 국내조립도 (19mm) 중앙입도
- F입도: 국내조립도 (19mm) 하한입도
- G입도: 슈퍼패이브 입도 (S Curve 2)
- H입도: 슈퍼패이브 입도 (S Curve 3)
- I 입도: 슈퍼패이브 입도 (S Curve 4)

<그림 2> 19mm 최대골재 평가대상 입도별 0.45승 분포곡선

입도 변화에 따른 혼합물 물성값과 성능의 차이를 비교하기 위하여 각각 19mm 최대골재와 13mm 최대골재의 두가지 골재합성입도로 구분하였다. 먼저 도로 표층용 포장에 많이 적용하는 19mm 최대골재 합성입도의 경우 국내 밀입도와 미국의 슈퍼페이브(Superpave) 입도 범위중에 9가지 다양한 입도를 선정하여 평가하였다. 평가대상 입도별 골재 분포곡선을 0.45승(Power)그래프로 나타내면 〈그림 2〉와 같다.

13mm 최대골재 합성입도

13mm최대골재 합성입도의 경우 상대적으로 중차량 통행이 적거나 교면 포장과 같이 방수효과를 높이고 구조물 진동에 의한 균열 발생을 억제하기 위해 많이 적용 되고 있다. 특히 잔골재함량이 높은 밀입도의 경우 상기의 효과를 높일수 있어 국내에 적용하는 밀입도 범위와 미국의 슈퍼페이브입도 중에 5가지 다양한 입도를 선정하여 평가하였다. 평가대상 입도별 골재 분포곡선을 0.45승(Power)그래프로 나타내면 〈그림 3〉와 같다.



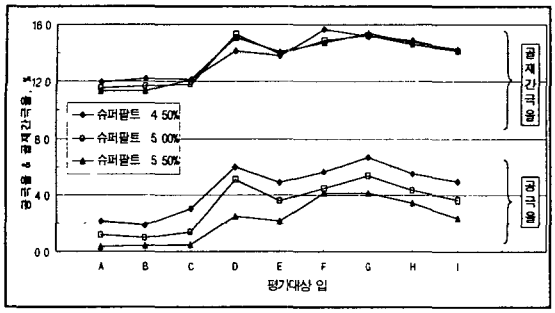
- A입도 : 13mm 최대밀도곡선
- B입도 : 슈퍼패이브(13mm) 입도
- C입도 : 국내밀입도(13mm) 상한입도
- D입도 : 국내밀입도(13mm) 중앙입도
- E입도 : 국내밀입도(13mm) 하한입도

<그림 3> 13mm 최대골재 평가대상 입도별 0.45승 분포곡선

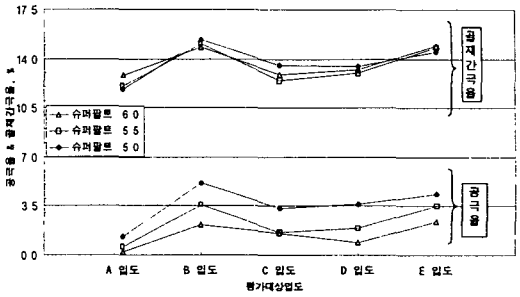
Ⅲ. 실험 결과 및 비교고찰

1. 혼합물 물성평가 결과

평가대상 입도별 마샬 공시체를 제작하여 아스팔트 함량을 변경시켜 혼합물의 주요 물성치인 골재 간극율과 공극율을 측정하였으며, 19mm최대골재 입도와 13mm최대골재입도에 대한 실험 결과를 각각



<그림 4> 19mm 최대골재 입도별 주요물성 비교



<그림 5> 13mm 최대골재 입도별 주요물성 비교

〈그림4 〉와 〈그림 5〉에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 19mm 및 13mm최대골재입도에서 공히 합성입도가 최대밀도 곡선에 근접하거나 유사한 경우 혼합물의 골재간극율과 공극율이 매우 낮게 얻어졌으며, 특히 골재간극율의 경우 아스팔트함량의 변함에 따라 그 값이 크게 변하지 않는 반면에 골재 합성입도에 따라 골재간극율을 변화 시킬수 있음을 확인할 수 있었다. 〈표 1〉과 〈표 2〉에서는 평가대상 입도별 최적 아스팔트함량(OAC)을 4% 공극율을 기준하여 측정한 값을 나타내고 있으며, 최대밀도 곡선에 근접한 19mm최대골재의 A,B,C입도와 13mm최대골재의 A입도의 경우 OAC값이 너무 낮아 혼합물의 내구성에 문제가 있을수 있어 현장적용에는 어렵다고 보겠다.

<표 1> 19mm 최대골재 평가대상 입도별 최적 아스팔트함량(OAC) -공극율 4% 기준-

평가입도	A입도	B입도	C입도	D입도	E입도	F입도	G입도	H입도	I입도
OAC	3.8	3.6	4.1	5.3	4.9	5.6	5.5	5.2	4.9

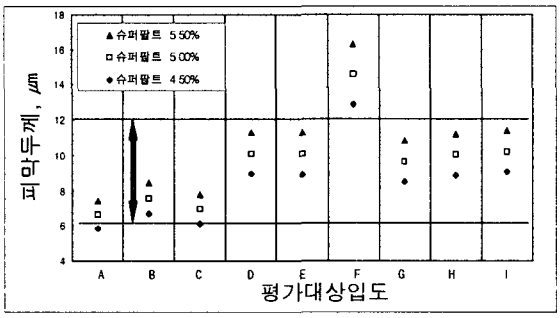
<표 2> 13mm 최대골재 평가대상 입도별 최적 아스팔트함량(OAC) -공극율 4% 기준-

평가입도	A입도	B입도	C입도	D입도	E입도
OAC	3.7	5.5	5.0	5.1	5.5

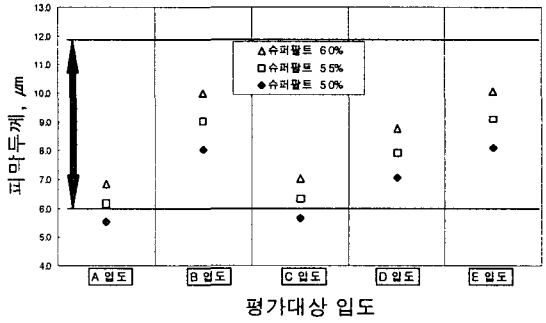
2. 피막두께(Film Thickness) 및 Dust Proportion (DP)

아스팔트의 피막두께는 일반적으로 혼합물의 내구성과 상호 연관이 있으며, 적정 피막두께로 6 ~ 12㎛으로 알려져 있다. 아스팔트의 피막이 너무 얇으면 산화가 촉진되어 혼합물의 취성이 증가되고 균열에 의한 조기파손에 원인을 제공할 수도 있다. 또한 얇은 피막은 수분에 의한 박리(Stripping)가 용이해 지며 이에 따른 2차 파손이 발생할 가능성이 높다고 하겠다. 본 연구에서는 입도별, 그리고 아스팔트함량별 피막두께를 측정하였으며, 그 결과를 〈그림 6〉과 〈그림 7〉에 나타내었다. 그림에서 보듯이 잔골재량이 많은 합성입도의 경우 (19mm최대골재 A,B,C입도, 13mm최대골재 A,C입도) 골재의 표면적이 넓어 상대적으로 피막두께가 얇아짐을 알수 있으며, 아스팔트함량이 0.5% 증가함에 따라 피막두께는 약 1㎛ 정도 증가하였다. 추가로 평가대상 입도별 Dust Proportion(유효 아스팔트함량 대

비 #200체크기 통과율)을 비교한 결과는 본문에서 생략한다.



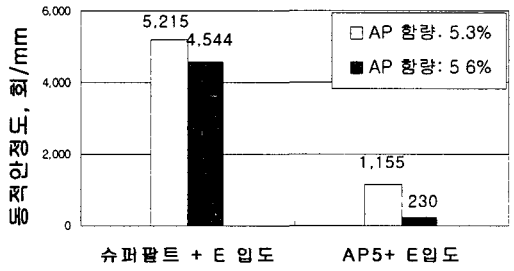
<그림 6> 19mm최대골재 입도별 피막두께 비교



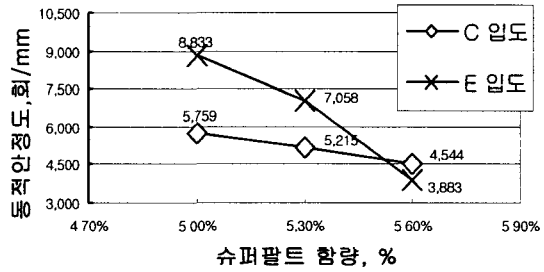
<그림 7> 13mm최대골재 입도별 피막두께 비교

3. 소성변형 저항성 평가결과

소성변형 저항성을 평가하는 휠트랙킹 시험에서 얻어진 혼합물의 동적안정도는 골재입도와 아스팔트 종류 및 함량에 큰 영향을 받고 있다. 19mm최대골재 입도중에 C와 E입도에 대해 입도와 아스팔트 함량에 따른 동적안정도 변화실험을 실시하였으며, 그 결과를 보면 〈그림 8〉 같다. 실험결과 굵은 골재함량이 상대적으로 낮은 C입도의 경우 아스팔트 함량에 따른 동적안정도 값의 변화 폭이 적어, 소성변형 관점에서 보면 굵은 골재함량이 높은 합성입도의 경우 아스팔트함량 변화에 더 민감한 것으로 나타났다. 일반 아스팔트(AP-5) 혼합물의 경우 동일 입도조건 (19mm E입도)에서 아스팔트함량 변화에 따른 동적안정도 변화율이 SBS 개질 아스팔트 사용시 보다 훨씬 큰 것으로 나타났다. (그림 9 참조) 주요 입도별 휠트랙킹 시험결과를 〈표 3〉에 정리하였다.



<그림 8> 입도와 아스팔트함량별 동적안정도 비교



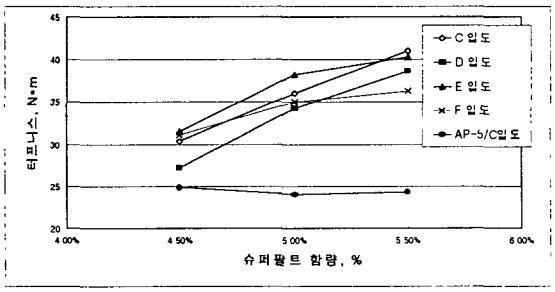
<그림 9> 아스팔트 종류 및 함량별 동적안정도 비교

<표 3> 평가대상 입도별 슈퍼팔트 혼합물 동적안정도 시험값 비교

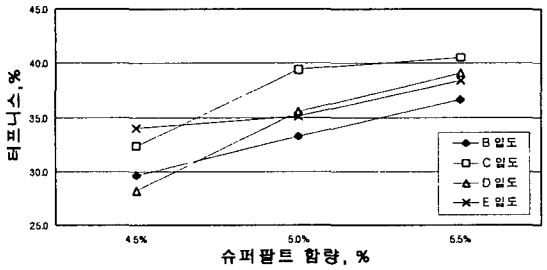
평가입도	19mm 최대골재 입도				13mm 최대골재 입도			
	C입도	E입도	F입도	AP-5/E입도	B입도	C입도	D입도	E입도
동적안정도	5,215	7,058	9,750	1,155	4,981	4,924	5,815	7,350

4. 피로균열 저항성 평가결과

혼합물의 인장변형에 대한 피로균열 저항성을 평가하기 위해 25℃에서의 간접인장시험을 통해 터프니스(Toughness)를 측정하였다. 골재입도의 영향과 아스팔트 종류, 그리고 아스팔트함량 변화에 따른 터프니스 변화를 관측한 결과, 전반적으로 잔골재 함량이 높은 입도일수록 터프니스값이 높으며, 대부분의 평가대상 입도에서 SBS 개질 아스팔트의 경우 AP-5보다 아스팔트함량에 따른 터프니스 변화폭이 큰 것으로 나타났다. 일반 아스팔트(AP-5)와 SBS 개질 아스팔트와의 비교결과 동일 입도(19mm C입도)하에서도 SBS 개질 아스팔트 혼합물이 약50% 높은 값을 얻을 수 있었다.(그림 10, 11 참조)



<그림 10> 19mm최대골재 입도별 터프니스 비교



<그림 11> 13mm최대골재 입도별 터프니스 비교

Ⅳ. 결 론

1. 포장의 내구성과 공용성에 큰 영향을 미치는 골재간극율(VMA)은 동일 입도에서 SBS 개질 아스팔트 함량에 따라 그 값의 변화가 적었으며, 골재입도를 변경하므로서 그 변화폭을 증가 시킬수 있다.
2. 19mm최대골재 입도로 배합설계를 할 경우 잔골재 함량이 높은 밀입도에 가까울수록 마샬 설계기준을 충족하기가 어려우며, 13mm최대골재 입도의 경우 국내 밀입도 범위내에서도 마샬 설계기준을 충분히 만족 시킬수 있었다.
3. 최대밀도곡선에 근접한 밀입도의 경우 아스팔트 피막두께가 적정 범위의 하한치 (6㎛)에 근접하여 내구성에 영향을 줄 수 있으며, 아스팔트함량을 높일수록 피막두께는 증가하나 밀입도의 경우 마샬 설계기준을 만족하기 어려울 것으로 예상된다.
4. 일반 아스팔트(AP-5) 대비 혼합물의 경우 휠트랙킹 시험에 의한 동적안정도가 동일 입도조건에서 약 7배 이상 높게 나타났으며, 굵은 골재함량이 적은 골재입도 일수록 아스팔트함량 변화에 따른 동적안정도 값의 변화폭이 적은 것으로 나타났다.
5. 간접인장시험에 의한 터프니스 측정 결과, 혼합물이 일반 아스팔트(AP-5) 보다 동일 입도조건에서 약 50% 이상 터프니스가 높게 나타났으며, 대부분의 평가대상 입도에서 SBS 개질 아스팔트의 경우 AP-5보다 아스팔트함량에 따른 터프니스 변화폭이 큰 것으로 나타났다.

Ⅴ. 참고 문헌

· 아스팔트 포장공학 원론, 한국도로포장공학회 아스팔트포장연구회, 1999.