

# 교면포장용 SBS 개질아스팔트 배합설계 연구 및 적용사례

차순만\*

## 1. 서론

교면포장의 요건으로는 첫째로 수분침투에 의한 교량의 상판을 보호하기 위해 방수효과를 높일 수 있어야 하며, 둘째로 중차량 통행에 의한 유동이나 변형이 생기지 않을 뿐아니라 구조물 진동이나 상판 변형에 의한 균열 발생을 억제할 수 있는 내구성이 높은 포장으로 해야 한다. 특히 강상판 교량의 경우 포장하중을 줄이기 위해 포장두께가 상대적으로 얇게 하거나, 상판의 변형성이 커서 국부변형에 의한 포장균열이 쉽게 발생하는 경우가 많다. 이러한 특성들을 고려하여 국내외적으로 교면용 포장재로서 개질아스팔트 사용을 확대하고 있다. 현재 가장 보편적인 사용형태는 하층을 구스아스팔트 층으로 하고 상층을 SBS개질아스팔트로 포장을 하거나 상, 하층 모두를 SBS개질아스팔트로 하는 경우가 많다. SBS개질아스팔트와 구스아스팔트를 상, 하층으로 하여 포장한 사례를 보면 일본의 본州~四國 연락교와 한국의 동광양 정산1교를 들 수 있으며, 현재 인천국제공항의 영종대교도 동일한 방식으로 포장을 할 예정이다. 또한 장대교량으로 SBS개질아스팔트를 상, 하층으로 포장한 사례도 많으며, 특히 미국 루지애나주 Hale Boggs대교와 한국의 서부산 낙동강교, 동

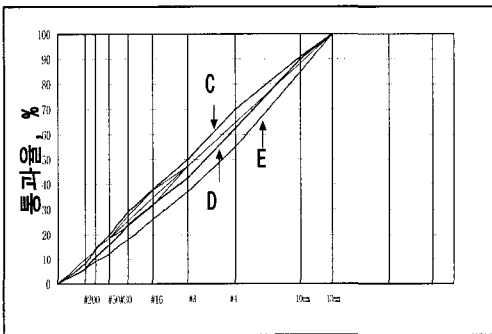
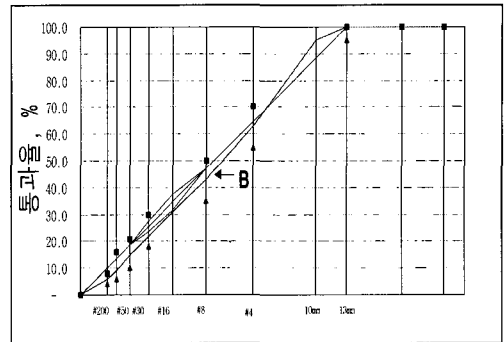
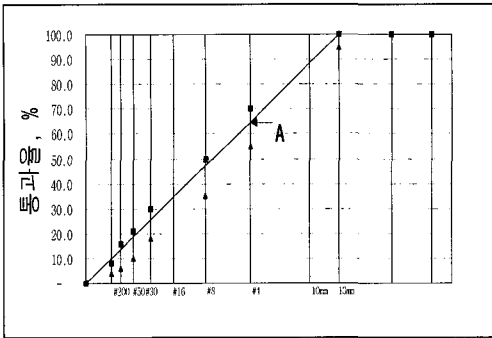
광양 하포교, 안양천 서측도로 교량 및 서강대 교 보수포장 등이 있다. 본 연구소에서는 교면포장의 특성을 고려하여 SBS개질아스팔트 교면포장의 성능을 극대화할 수 있는 최적 배합설계 기준 설정을 위한 연구를 진행하였으며, 이 글에서는 연구 결과의 일부와 이를 적용한 현장사례에 대해 간략히 소개 하도록 하겠다.

## 2. 교면포장용 입도별 거동특성 연구

### 2.1 평가대상 합성입도 선정

앞서 설명한 대로 교면포장은 도로포장과는 달리 소성변형 저항성능 뿐만 아니라 구조물 보호를 위한 방수효과와 구조물 진동에 의한 균열 및 Debonding 발생을 억제할 필요가 있다. 현재 대부분의 경우 교면포장시 단일층 두께가 3.5~4.5cm를 많이 적용하고 있으며, 과거의 포장사례와 문헌 등을 참고해 볼 때 교면포장용으로 13mm 최대골재입도를 선정하였다. 평가대상 입도들로서는 13mm최대밀도곡선과 국내 13mm 밀입도, 미국의 슈퍼페이브(Superpave)입도 중에 5가지 다양한 입도를 선정하여 평가하였다. 평가대상 입도별 골재 분포곡선을 0.45승 (Power) 그래프로 나타내면 그림 1과 같다.

\* SK(주) 대덕기술원, 책임연구원



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

그림 1. 13mm 최대골재 평가대상 입도별 0.45승 분포곡선

## 2.2 혼합물 물성평가 비교

평가대상 입도별 마샬 공시체를 제작하여 SBS개질아스팔트 함량을 변경시켜 혼합물의 주요 물성치인 골재간극률과 공극률을 측정하였으며 실험 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 합성입도가 최대밀도 곡선에 근접하거나 유사한 경우 혼합물의 골재간극률과 공극률이 매우 낮게 얻어졌으며, 특히 골재간극률의 경우 아스팔트함량의 변함에 따라 그 값이 크게 변하지 않는 반면에 골재 합성입도에 따라 골재간극률을 변화 시킬수 있음을 확인할 수 있었다. 표 1에서는 평가대상 입도별 최적 아스팔트함량(OAC)을 측정하기 위해 공극률을 3.5%에 기준하였으며, 이는 교면포장의 특성을 고려

하여 선정하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 최대밀도곡선인 A입도의 경우 OAC값이 너무 낮아 혼합물의 내구성에 문제가 있을수 있어 현장 적용에는 어렵다고 보겠다.

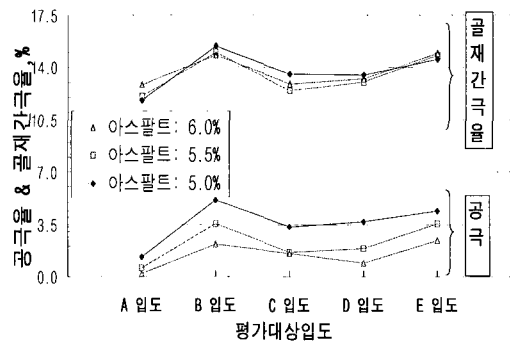


그림 2. 13mm 최대골재 입도별 주요 물성 비교

표 1. 평가대상 입도별 최적아스팔트함량 (OAC)  
- 공극률 3.5% 기준 -

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

### 2.3 피막두께 및 Dust Proportion(DP) 비교

아스팔트의 피막두께는 일반적으로 혼합물의 내구성과 상호 연관이 있으며, 적정 피막두께로 6~12 $\mu\text{m}$ 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 3에 나타내었다. 그림 3에서 보듯이 잔골재량이 많은 A와C입도의 경우 골재의 표면적이 넓어 상대적으로 피막두께가 얇아짐을 알수 있으며, 아스팔트함량이 0.5% 증가함에 따라 피막두께는 약 1 $\mu\text{m}$  정도 증가하였다. 또한 평가대상 입도별 Dust Proportion(유효 아스팔트함량 대비 #200

체크기 통과율)을 계산한 결과, 적정범위인 0.6~1.5 내에 들어가는 입도는 B, D, E입도로서 피막두께와 DP를 모두 고려해 볼 때 A와 C입도는 부적합한 것으로 나타났다.

### 2.4 소성변형 및 피로균열 저항성 비교

평가대상 입도별 소성변형 저항성을 평가하기 위해 휠트래킹 시험을 실시 하였으며, 입도별 혼합물의 동적안정도 값을 비교하여 표2에 나타내었다. 최대밀도곡선인 A입도를 제외하고는 모든 입도에서 동적안정도 값이 높게 나타났으며, 그 중에서도 특히 굵은 골재량이 많은 입도로 갈수록 동적안정도 값이 크게 나타났다. 또한 SBS개질아스팔트 혼합물의 인장변형에 대한 피로균열 저항성을 평가하기 위해 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 간접인장시험(IDT)을 통해 혼합물의 터프니스(Toughness)를 측정하였다. 실험결과 잔골재 함량이 특히 많은 C입도의 경우 터프니스값이 제일 높아 피로균열에 대한 저항성이 제일 좋은 것으로 나타났으며, 나머지 평가대상 입도들도 터프니스값이 일반 아스팔트보다 전반적으로 많이 높게 나타났다. 특히 SBS개질아스팔트 혼합물의 경우 아스팔트함량에 따른 터프니스 변화 폭이 큰 것으로 나타나 교면포장용 배합설계에 중요한 요소라 할수 있겠다. 그림 4는 평가

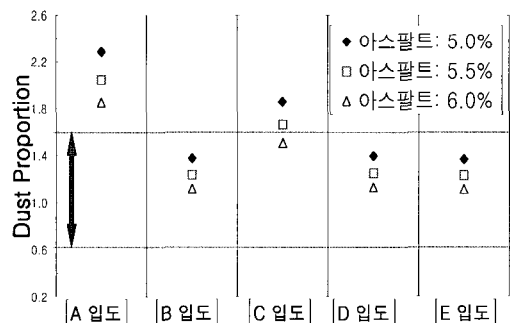
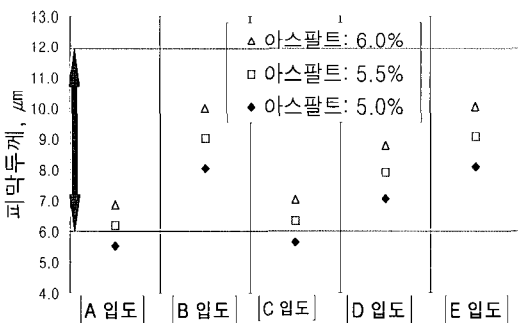


그림 3. 평가대상 입도별 피막두께 및 DP함량 비교

대상 입도별 혼합물의 터프니스 측정값을 비교하여 나타내고 있다.

표 2. 평가대상 입도별 혼합물의 휠트랙킹 시험결과 비교

평가입도	B입도	C입도	D입도	E입도
동적안정도, 회/mm	4.981	4.924	5.815	7.350

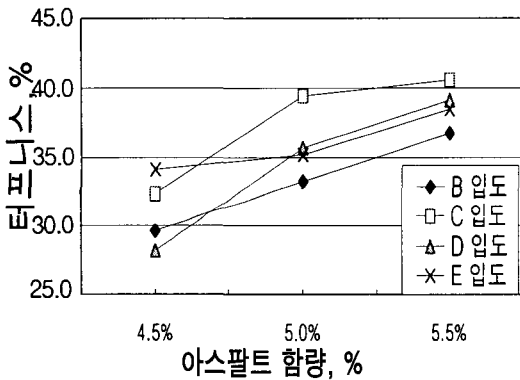


그림 4. 평가대상 입도별 혼합물의 터프니스 실험결과

### 3. 교면포장용 배합설계 및 시공기준

상기의 입도별 SBS개질아스팔트 혼합물의 거동특성 연구를 토대로 아래와 같이 교면포장에 적합하다고 판단되는 혼합물의 배합설계 및 시공 기준을 마련하였다.

#### 3.1 사용 재료 (아스팔트)

본 배합설계 및 시공기준에 적용되는 아스팔트 재료는 장기간 고온에서 보관시에도 재료분리나 물성변화가 없는 SBS개질아스팔트로서, 제품의 규격은 ASTM D 6373-99에서 규정하고

있는 공용성등급 (Performance Grade) 규격 중에 PG 76-22제품으로 하며, 표 3에서 품질기준을 정립하고 있다.

표 3. PG 76-22 제품의 품질 규격(ASTM D 6373-99)

시험항목	시험방법	규격
점도, 135°C	ASTM D 4402	3,000cP 이하
동적 전단응력(G*/sinδ), 76°C 10rad/sec(박막 가열전 시료)	AASHTO TP5	1.0kPa 이상
동적 전단응력(G*/sinδ), 76°C 10rad/sec(박막 가열전 시료)	AASHTO T240 AASHTO TP5	2.2kPa 이상
동적 전단응력(G*/sinδ), 76°C 10rad/sec(박막 가열전 시료)	AASHTO PPI AASHTO TP5	5,000kPa 이하
Creep Stiffness, -12°C 60초 경과후 기울기	AASHTO TP1	300Mpa 이하 0.3이상

#### 3.2 골재 합성입도 및 혼합물 품질기준

마찰시험에 의한 물성확보 용이성과 소성변형 및 균열저항성 시험결과들을 종합적으로 분석한 결과 잔골재 함량이 약 55~63% 정도 함유하는 것이 물성 확보 및 성능에 모두 우수한 것으로 나타나 슈퍼패브 입도인 B입도를 상한으로 하고, 국내13mm밀입도 하한입도인 E입도를 하

표 4. 교면포장용 골재 합성입도

공칭입경	통과율 (%)
19mm	100
13mm	95~100
10mm	80~95
#4	55~67
#8	35~47
#16	25~34
#30	17~24
##50	10~17
#100	6~12
#200	4~8

한치로 기준하여 현장 생산 적용성을 고려한 SBS개질아스팔트 혼합물의 최적 입도범위를 표 4와 같이 정립하였다.

본 연구의 평가대상 입도별 물성 및 성능평가 결과와 해외 사례 및 전문가 자문등을 토대로 교면포장시 최적의 포장 성능을 나타낼 수 있는 SBS개질아스팔트 혼합물의 품질관리 기준을 표 5와 정립하였다.

표 5. SBS개질아스팔트 혼합물의 배합설계 품질기준

항 목	규 정
공극률	3~5%
골재 간극률(VMA <sup>1</sup> )	13% 이상
포화도(VFA <sup>2</sup> )	70~85%
아스팔트 함량	5.0~7.0
마찰 안정도 <sup>3</sup>	1.200kg 이상

### 3.3 혼합물 생산 및 시공기준

사용 재료인 PG76-22의 SBS개질아스팔트 특성과 배합설계 품질기준을 고려하여 아스콘 플랜트 현장에서의 생산시 온도관리 기준과 플랜트 믹서에서의 혼합시간을 표 6과 7에서 나타내고 있다.

표 6. SBS개질아스팔트 혼합물 생산시 온도 기준

구 분	적 정 온 도
SBS 개질아스팔트 온도	155°C 이상
골재 혼합 온도	175~190°C
혼합물 생산 온도	170~180°C

표 7. 플랜트 믹서에서의 혼합 시간

드라이 (Dry) 믹싱	4~7초
웨트 (Wet) 믹싱	40~45초

시공 현장에서의 다짐작업 또한 아스팔트의 특성에 따라 그 기준을 정립하였으며 표8에 요약하여 나타내고 있다.

표 8. 다짐작업 순서 및 다짐시 온도 범위

다짐 구분	다짐 장비	종량	다짐 횟수	다짐 속도	다짐 온도
1차 다짐	머캐덤 (철륜)	12톤이상	왕복 3회 이상	2-3 km/시간	140~160°C
2차 다짐	타이어	15톤이상	왕복 4회 이상	6-10 km/시간	125~150°C
3차 다짐	탄뎀 (철륜)	8톤이상	왕복 2회 이상	2-3 km/시간	110~130°C

## 4. 교면포장 적용사례

상기에서 규정한 특별지방 기준에 따라 국내에서 실시된 SBS개질아스팔트 교면포장 사례는 수십 건에 이르고 있다. 이 글에서는 대표적인 두가지 사례만을 요약하여 정리하였다.

### 4.1 서울시 서강대교 교면 보수포장('99. 3.~4.)

#### 4.1.1 포장 배경

서강대교는 대형차량의 교통량이 많은 노선으로 타종류의 개질아스팔트로 포장하여 1997년 초 개통 하였으나 수개월내에 포장 파손이 심각하게 발생하여 언론 및 포장업체에 문제시 되었던 곳이다. 주요 파손형태를 보면 종단방향의 아스팔트혼합물의 밀림(Corrugation)현상과 횡단방향의 차륜에 의한 패임현상(Rutting), 차선 중앙부에 거북등 균열, 그리고 종방향의 선형 균열 등으로 이루어져 있었다. 첫번째 파손 이후에 1, 2차에 걸쳐 추가 보수포장을 하였으나, 동일한 문제들이 2~6개월 내에 재발생하여 교량내 구조상의 문제점이 교면파손의 주요 원인으로 추정되었다. 따라서 전문가 자문등 대책회

의를 거쳐 1999. 3월 3차 보수포장 시에 공용성 등급에 따른 SBS개질아스팔트를 적용하기로 결정하였다.

4.1.2 배합설계

교량의 구조적 결합에 올 수 있는 교면 파손을 최소화하기 위해 사용될 SBS개질아스팔트의 공용성등급을 한단계 높여 PG82-22 제품을 사용하였으며, 골재 합성입도를 앞서 실내 실험결과와 교면포장 경험을 토대로 균열 저항성을 극대화 할수 있도록 조정하였다.(표 9 참조)

표 9. 서강대교 교면 보수포장 골재합성입도

공칭입경	시방기준, %	합성입도, %
19mm	100	100
13mm	95~100	99.6
10mm	80~95	89.0
# 4	55~67	57.9
# 8	35~47	42.9
# 16	25~34	31.0
# 30	17~24	21.4
# 50	10~17	12.9
# 100	6~12	8.5
# 200	4~8	5.26

상기 입도를 기준으로 하여 마살배합설계를 실시 하였으며, 그 결과는 표 10과 같다.

표 10. 마살배합설계 결과

항 목	시방기준	배합설계 결과
공극률	35%	3.4
골재 간극률(VMA <sup>1</sup> )	13% 이상	14.28%
포화도(VFA <sup>2</sup> )	70~85%	76.43%
아스팔트 함량	5.0~7.0%	5.7%
실측 최대이론밀도	-	2.4181
마살 안정도 <sup>3</sup>	1.200Kg 이상	2.187Kg
피막 두께	6~12 $\mu$ m	10.88 $\mu$ m
Dust Proportion	0.6~1.5	0.94

4.1.3 시공 및 포장상태

포장 파손 상태에 따라 4~8cm 깊이로 교면에 대한 평삭을 실시 하였으며, 손상된 방수층은 모두 제거하여 재보수 하였고 텍코팅제로는 영국 스티어링로이드사 제품의 SA 1030을 사용하여 약 0.5~0.6 l/m<sup>2</sup> 씩 살포하였다. SBS 개질아스팔트 혼합물의 포설방법은 상기 시방기준에 따라 진행하였으며, 포설후 시공 조인트에 우수 침투를 최소화하기 위해 개질아스팔트 유제를 이용하여 도포하였다. 시공 직후의 포장 상태는 양호하였으며, '99년3월 보수포장 이후에 현재 약 1년동안 과거와 같은 포장파손이 발생하지 않고 있다.

4.2 동광양 정산1교 교면포장('98.2)

4.2.1 포장 개요

정산1교는 총길이 1170m의 강상판 신설교량으로서, 국내 최초로 교면 하층에 4cm두께의 구스아스팔트 포장을 하고 상층(표층)에는 3.5cm 두께로 공용성등급의 PG 76-22 SBS개질아스팔트 포장을 하였다.

4.2.2 배합설계

정산1교는 동광양항 진입 컨테이너 차량이 많이 다니는 지역으로 중차량에 의한 하중을 견디기 위해 골재입도를 미국 SHRP에서 제시한 제한구역(Restricted Zone)을 피하여 Superpave Level 1 배합설계법에 의하여 설계하였다.(표 11, 12 참조)

표 11. 정산1교 교면포장 골재합성입도

공 칭 입 경	합성입도, 통과율 %
19mm	100
13mm	98.9
10mm	89.8
#4	47.2
#8	32.4
#16	23.1
#30	17.8
#50	14.3
#100	11.3
#200	7.7

표 12. 배합설계 결과

항 목	시방기준	배합설계 결과
공극률	35%	3.2
골재 간극률(VMA <sup>1</sup> )	13% 이상	14.03%
포화도(VFA <sup>2</sup> )	70~85%	82.99%
아스팔트 함량	5.0~7.0%	5.7%
실측 최대이론밀도	-	2.3981
마찰 안정도 <sup>3</sup>	1.200Kg 이상	1.510Kg

#### 4.2.3 시공 및 포장상태

포장시기(2월)가 겨울이라 혼합물의 온도관리에 특히 신경을 썼으며, 다행히 아스콘 운반거리가 짧고 포설 다짐시에도 아스콘이 식기 전에 마무리 되도록 관리하였으며 대체적으로 포장상태는 양호 하였다. 1998년 개통 이후로 현재 콘테이너차량 도로로 사용하고 있으며, 현재까지 노면상태가 매우 양호하다.

#### 4. 맺음말

교면포장은 토공구간 도로포장과는 달리 그 기능면에서 부가적으로 고려해야 할 사항들이 있다. 대체도로가 없는 관계로 포장의 내구성이 강해야 하며, 우수 침투로부터 구조물의 손상을 방지하기 위해 불투수성이어야 하며, 교량의 신축, 팽창, 진동, 처짐 등에 따른 응력을 흡수할 수 있도록 유연성이 고려되어야 할 뿐아니라 상판과 포장층, 방수층과 포장층과의 접착성이 좋아야 한다. 이런 여러가지 이유로 인해 전세계적으로 교면포장시에 개질아스팔트 포장을 많이 하고 있으며 그 중에서도 SBS개질아스팔트 교면포장 사례가 급증하고 있는 추세라고 하겠다.

#### 참고문헌

1. 일본도로협회, 교면포장의 설계와 시공, 남광헌 번역, 1996
2. 本州四國連絡橋公園, 本州四國連絡橋橋面鋪裝基準, 1992, 12
3. 한국도로포장공학회, 아스팔트 포장공학 원론, 1999.

