

구스아스팔트 포장의 성수대교 시공 사례

Article

03

Case Study of Gussasphalt Construction of Seongsu Bridge



이석호

현대건설 기술개발원 기술연구소 수석연구원

1. 서론

최근에 국내에서는 교량의 시공 기술 발달과 심미적인 영향, 자중감소 등의 이점으로 장대교량이 증가하고 있으며 그에 따라 사하중을 경감시키기 위하여 교량 상판을 강상판으로 시공하는 경우가 늘어나고 있다. 그러나 강상판 교량의 단점인 국부적인 변형과 처짐 그리고 충격에 의한 균열발생 가능성의 증가 등으로 인하여 강상판 교면포장에 사용되는 재료는 반복적인 변형 등에 견딜 수 있어야 하고, 빗물 또는 겨울철 제설제의 사용으로 인한 염분의 침투로 강상판에 부식이 발생하지 않도록 방수시스템을 갖추어야만 한다. 이러한 현실적인 문제를 해결하기 위하여 도입된 것이 구스아스팔트 포장공법이며, 1997년 현대건설이 광양항 배후도로 현장의 정산교에 국내 최초로 구스아스팔트 포장공법을 도입한 이후 강상판 교량의 교면포장에 구스아스팔트 혼합물의 시공이 증가하고 있다. 일반적으로 강상판의 교면포장은 표층에는 소성변형 저항성이 우수한 개질아스팔트 포장을, 기층에는 구스아스팔트 포장을 사용하는 2층 단

면을 갖게 된다.

구스아스팔트 포장에 사용되는 재료 중 아스팔트는 경질아스팔트를 사용하며, 골재의 경우는 석분의 배합량이 일반아스팔트 혼합물 보다 많고, 플랜트 생산 및 포설 시 혼합물의 온도가 높아 품질관리 등에 더 많은 노력이 필요하다. 또한 현장시공에 필요한 유동성을 확보하기 위하여 플랜트에서 생산한 이후에도 쿠키를 통해 일정 온도로 지속적인 가열과 교반을 하여야 한다.

본 연구는 이러한 구스아스팔트 혼합물의 배합설계과정을 성수대교 확장공사에 사용된 내용을 중심으로 기술하였다.

2. 구스아스팔트 혼합물의 역학적 특징

구스아스팔트 혼합물 자체의 특징은 유동성, 불투수성, 충격저항성과 내구성 그리고 힘에 대한 추종성(compatibility)을 바탕으로 교통하중으로 인한 강상판의 변형에 저항하도록 하고 있기 때문에 골재의 맞물림을 하중전달의 기본개념으로 하고 있는 일반 아스팔트

혼합물과 다른 거동을 보인다. 결국 아스팔트 혼합물의 내유동성의 증진이란 면에서 볼 때 일반아스팔트 혼합물은 골재의 입도와 골재의 입형이 중요하고, 구스아스팔트 혼합물의 경우에는 골재, 바인더의 등급과 석분의 점도 등이 중요한 역할을 하고 있다. 구스아스팔트 혼합물의 골재입도는 전체골재의 약 25%가 200번 체를 통과하게 되어 있어 상당한량의 석분이 경질아스팔트와 TLA(Trinidad Lake Asphalt)의 조합으로 혼합되어 구스아스팔트 혼합물 내부의 매스티크(mastic)을 구성하며 이는 구스아스팔트 혼합물 전체의 내구성을 보장하게 된다.

강상판 교량의 거동특징인 처짐 및 충격에 대한 추종이 가능하려면 구스아스팔트 혼합물이 적당한 정도의 유동성과 불투수성이 가장 중요한 물성이 될 것이다. 그러나 현실적으로 중차량의 통과량이 늘어나면서 골재간의 맞물림 작용(aggregate interlocking)이 존재하지 않는 구스아스팔트 혼합물은 일반적으로 소성변형에 대한 취약성을 보인다. 그래서 일반적으로 강상판 포장의 기층에서 사용되는 구스아스팔트 혼합물은 주로 하부에 존재하는 방수층과 결합하여 휨에 대한 추종성을 확보하며 표층의 개질아스팔트 혼합물 층은 중차량에 의한 소성변형에 저항하는 기능에 초점을 맞추고 있다.

3. 국내 구스아스팔트의 발달과정

1997년 현대건설이 광양항 배후도로 현장의 정산1교에 국내 최초로 구스아스팔트 포장공법을 도입한 이후 강상판 교면포장에 구스아스팔트 시공이 증가하고 있다. 국내 최초의 복층형 교량인 청담대교와 영종대교를 비롯하여 가양대교, 광안대교 성수대교가 구스아스팔트

포장공법으로 시공되었고 최근에 제2진도대교가 구스아스팔트 포장으로 시공중에 있다.

[표 1] 구스아스팔트의 국내시공실적

시공년도	공사명	발주처	시공자
1997	정산1교	해양수산부	현대건설
1998	청담대교	서울시	동부건설
2000	영종대교	한국도로공사	삼성건설
2001	가양대교	서울시	현대건설
2002	광안대교	부산시	대림건설
2004	성수대교	서울시	현대건설
2004	금당교	포스코	포스코건설
2005	제2진도대교	건교부 익산청	현대건설 시공중

4. 성수대교 공사개요

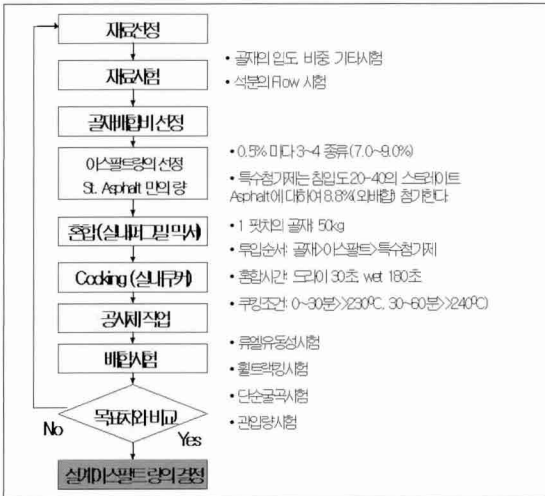
- 공사위치 : 서울시 성동구 성수동~서울시 강남구 압구정동 일원
- 공사기간 : 1998년 12월 31~2004년 12월 31일
- 공사비 : ₩ 105,432,868,404원
(설계비 : 4,708,949,778)
- 계약형태 : 설계, 시공 일괄입찰방식 (턴키방식)
- 발주처 : 서울특별시 건설안전본부



[그림 1] 공사완료 후 성수대교

5. 구스아스팔트 혼합물 배합설계

5.1 배합설계 순서



[그림 2] 배합설계 흐름도

구스아스팔트 혼합물의 배합설계방법은 일본식과 독일식으로 나뉜다. 일본식 방법은 표준입도범위 및 추정 아스팔트 량의 범위에서 혼합물을 만들어 류엘 유동성 시험과 관입량 시험을 실시하고 최적 아스팔트 량을 결정하는 것이며, 독일식 방법은 관입량 시험을 실시하여 최적아스팔트 량을 결정하는 것이다. 국내에서 주로 사용되는 일본식 구스아스팔트의 배합설계방법은 [그림 2]와 같이 실시하며, 성수대교 확장공사를 위한 구스아스팔트 혼합물의 배합설계 또한 위와 같은 순서로 배합설계를 진행하였다. 다만, 실험실에서 진행된 실험배합의 적합성을 확인하기 위하여 현장시공 전에 플랜트에서 시험생산과정을 거쳐 이를 확인하였으며, 실험배합과 상이한 부분에 대하여는 시험생산의 값을 참조 하였다. 특히 유동성 시험의 경우는 실험배합에서 소오의 값을 얻을 수 없어 시험생산시의 결과를 배합설계 자료로 적

용하였다.

아스팔트 량의 선정이후 구스아스팔트 혼합물이 기준에 만족한지 여부를 확인하기 위해 힘시험과 휠트랙킹 시험을 실시하였으며, 배합설계된 아스팔트량과 골재입도의 적정성 여부를 확인하기 위한 품질시험도 실시하였다.

5.2 배합설계 기준

골재의 기준 입도범위 및 아스팔트 량은 [표 2]와 같으며, 구스아스팔트 혼합물의 물성 시험값 기준은 [표 3]과 같다.

[표 2] 골재입도 범위 및 표준아스팔트량

체크기	통과중량 백분율(%)	체크기	통과중량 백분율(%)
19mm	100	0.6mm	35~50
13mm	95~100	0.3mm	28~42
5mm	65~85	0.15mm	25~34
2.5mm	45~62	0.08mm	20~27
표준아스팔트량		7~10%	

[표 3] 구스아스팔트 혼합물의 기준

물성평가 항목	기준치	비고
유동성	20초 이하	류엘유동성
관입량	1~6mm	관입량시험
동적안정도	300회 이상	휠트랙킹
파단변형	6.0×10 ⁻³ 이상	힘시험

5.3 배합설계

(1) 골재의 혼합입도 선정

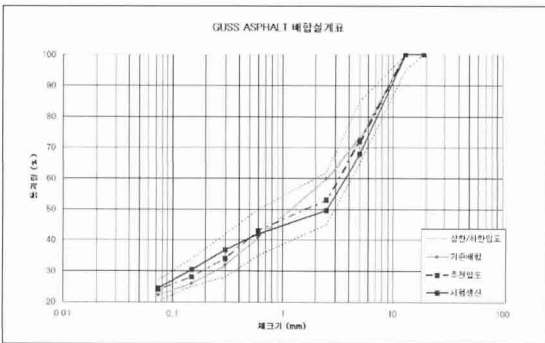
골재입도의 선정은 [표 3]과 같이 규정 입도범위를 만족시키고, 당사에서 시공한 정산교 배합설계 자료 및 배합설계를 실시한 청담대교의 자료를 바탕으로 하여

[표 4] 구스아스팔트 혼합물 배합 입도 (각체 통과중량 백분율)

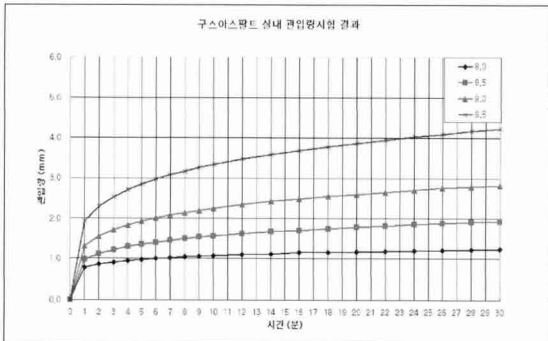
체크기(mm)	19	13	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.08
혼합입도(%)	100.0	100.0	67.8	49.6	42.0	36.7	30.4	24.4
목표입도(%)	100.0	100.0	72.0	53.0	43.0	34.0	28.0	24.0
규정입도(%)	100	95~100	65~85	45~62	35~50	28~42	25~34	20~27

일본의 구스아스팔트 포장 자료와 현장 시공 전 플랜트에서 시험생산 등을 거쳐 최종 선정하였다. 골재 수급사정이 좋지 못해 입도관리에 중점을 두었으며 Cold Bin 및 Hot Bin에서 시료를 채취하여 입도를 체크하였다. 또한 생산된 시료에 대하여도 골재 입도의 이상여부를 확인하였다.

스트레이트 아스팔트(Straight Asphalt)에 TLA를 25%로 혼합한 것으로, 아스팔트 품질기준을 만족하는 재료를 선정하고 사용하였다. 아스팔트 함량의 결정을 위하여 8.0%에서 9.5%까지 4단계로 나누어 구스아스팔트 혼합물 시료를 제작하여 물성 시험을 실시하였으며 [표 4]는 시험결과를 정리한 것이다.



[그림 3] 골재입도



[그림 4] 관입량 시험 결과

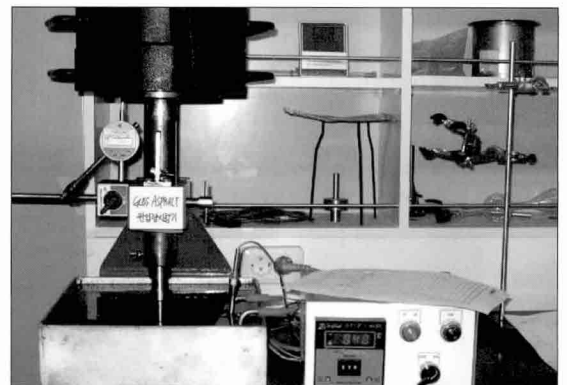
[표 5] 각 아스팔트 함량에서의 물성값

아스팔트 함량(%)	8.0	8.5	9.0	9.5
관입량 (mm)	1.2	1.9	2.8	4.2
유동성 (초)	21.0	18.0	12.3	11.0
밀도 (g/cm ³)	2.301	2.316	2.413	2.265

아스팔트 함량은 관입량 시험을 통해 목표 관입량치인 1.5mm를 기준으로 하여 약 8.2%의 아스팔트 량을 선정하였고 이 값에 플랜트 시험생산에서 유동성 시험결과로 얻어진 유동성 18초에 해당하는 아스팔트 량 8.5%를

(2) 아스팔트 함량 결정

사용된 아스팔트는 일반적으로 침입도 20~40 정도의



[사진 1] 관입량 시험

감안하고 여기에 혼합물의 현장 공용성 및 시공성 정도를 고려하여 8.6%로 결정하였으며, 이를 바탕으로 구스아스팔트 혼합물을 생산 시공 하였다.



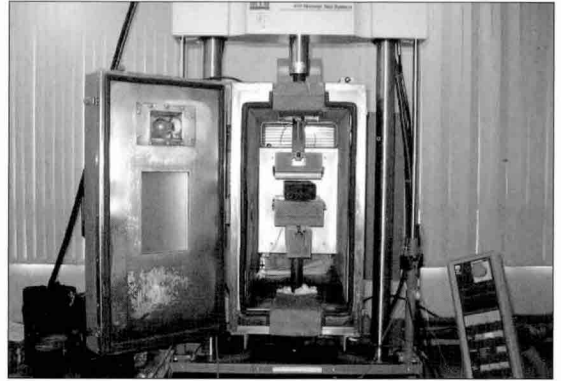
[사진 2] 유동성 시험

유동성시험 결과, 구스아스팔트 혼합물의 유동성은 골재 및 아스팔트의 가열온도와 배합온도 등에 영향을 받는 것으로 보인다. 유동성 확보를 위해 혼합물을 운반하며 적절한 온도를 유지하고, 지속적인 교반을 실시하는 쿠키조차 가열온도와 혼합물 배출온도의 높고 낮음, 적재 혼합물 용량의 많고 적음, 그리고 작동시간의 길고 짧음 등에 따라 각기 다른 결과 값이 나타났다. 이에 따라 실제 혼합물 생산 시에는 품질 편차가 발생하지 않도록 각별한 주의가 필요한 것으로 보인다.

(3) 구스아스팔트 혼합물 시험

관입량시험 및 유동성시험으로 얻어진 결과를 적용하여 구스아스팔트 혼합물을 생산하고 혼합물에 대한 기준시험을 실시하였다.

먼저, 저온에서의 구스아스팔트 혼합물의 균열저항성과 처짐 정도를 측정하기 위하여 실시되는 휨시험을 실시하여 저온에서의 처짐을 측정하였고, 혼합물의 압밀



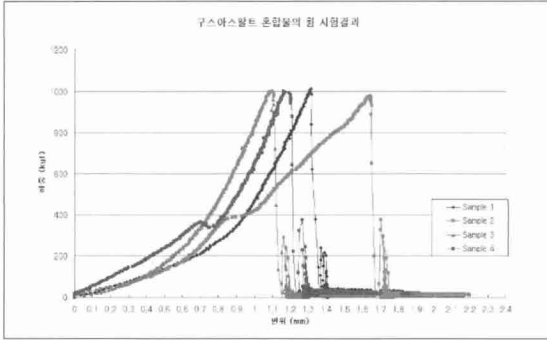
[사진 3] 미국 MTS사 장비를 이용한 휨시험



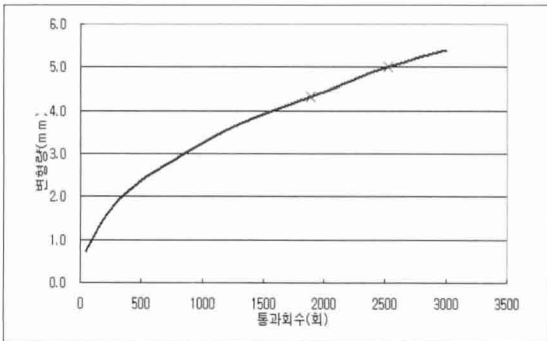
[사진 4] 휨시험 시료의 거취 모습

및 유동성에 대한 저항성 측정을 위하여 휠트래킹 시험도 실시하였다. [그림 5]는 시공을 위해 생산된 구스아스팔트 혼합물의 저온 휨시험 결과로 파단변형량이 공사시방기준인 6.0×10^{-3} 이상으로 나타나 저온에서 휨에 대한 추종성이 우수한 것으로 나타났으며, 일본 본주사국 연락교 공단(本州四國連洛橋公團) 교면포장 기준안(8.0×10^{-3})에 근거하여도 기준에 만족한 결과를 얻었다.

[그림 6]은 휠 트래킹 시험결과로 동적안정도는 417회/mm로 성수대교 구스아스팔트 교면포장 설계기준치인 300회/mm 보다 큰 것으로 나타났다.



[그림 5] 저온 힘 파단시험결과



[그림 6] 동적안정도

(4) 구스아스팔트 혼합물의 품질시험

현장 시공전 생산된 구스아스팔트 혼합물을 가지고 아스팔트 함량과 골재입도가 적당한지 여부를 NCAT오븐과 아스팔트 추출시험기 및 체가름 시험기로 품질시험을 실시하였다.



[사진 5] NCAT오븐 시험기



[사진 6] 추출시험 후 삼염화에틸렌에 용해된 아스팔트

NCAT 아스팔트 함량 측정장치(AASHTO Designation T-308-01)는 미국 주정부 도로국에서 아스팔트 함량과 골재입도의 적정성을 평가하기 위한 시험으로, 고온(500℃)으로 혼합물을 태워, 시험 전·후의 무게차로 아스팔트 함량을 계측하며, 타고 남은 시료를 이용하여 입도를 분석하게 된다. 아스팔트 추출시험(KS F 2354)은 용매(삼염화에틸렌)를 이용하여 아스팔트를 녹여 원심분리후 무게차로 아스팔트 함량을 계산하고, 남은 시료로 입도를 측정한다.

NCAT 아스팔트 함량 측정장치를 활용한 시험결과와 아스팔트 추출시험 결과 배합설계시 결정된 최적 아스팔트 바인더량과 골재입도에서 만족한 값을 얻었다.



[사진 7] 구스아스팔트 혼합물 운반 쿠커



[사진 8] 구스아스팔트 혼합물 시공

6. 결론

구스아스팔트 포장은 다짐이 필요 없는 포장방법으로 적절한 품질관리(생산플랜트 및 현장)가 매우 중요하다. 성수대교 확장구간 및 본선에 적용된 구스아스팔트 포장의 품질시험 결과, 공사시방규정 및 일본의 교면포장 기준안에 만족한 결과를 얻었다.

관입량 시험과 류엘 유동성 시험은 최적의 아스팔트랑을 결정하기 위한 배합설계의 기본시험이기도 하지만 현장품질관리를 위한 시험이기도 하다. 배합설계 시에

실시했던 이러한 시험들을 실제 현장시공 시에도 실시함으로써 최적의 구스아스팔트 혼합물 생산 여부를 현장에서 꾸준히 모니터링 하였다.

구스아스팔트 포장은 처짐 및 충격에 대한 저항성이 우수하고 전반적인 방수능력이 우수한 반면에 골재의 맞물림 작용이 존재하지 않아 소성변형에 대해 취약성을 보인다. 이러한 단점을 해결하기 위해서는 상부 표층은 소성변형 등에 저항성이 우수한 개질아스팔트 포장을 실시하여 역할분담을 통한 공용성 확보가 중요하다고 할 수 있다. 최근 일본에서는 새로운 개질 구스아스팔트 혼합물이 사용되기도 하여 국내에서도 이에 대한 후속 연구가 요망된다.

구스아스팔트 포장의 공용성을 확보하기 위해서는 골재입도의 관리, 플랜트에서의 생산, 현장까지의 운반, 그리고 포설에 이르기까지의 온도 및 유동성이 유지되고 확인되어야 하며, 이를 완벽하게 수행하기 위해서는 현장의 시공팀과 구스아스팔트 포장시공의 기술적인 지원 시스템과 시험장비를 갖춘 연구소 그리고 발주기관이 일체가 되어 각각의 공사단계를 철저히 관리하여야 한다.

참고 문헌

- 1) 이석홍(2004), 성수대교 구스아스팔트 포장 건전성확인을 위한 평가 연구, 한국도로학회
- 2) 이석홍(1998), 구스아스팔트의 국내 적용성 연구, 강원대학교 논문집
- 3) 이경하(1999), 구스아스팔트 포장의 배합설계 및 시공, 한국도로학회지
- 4) 일본아스팔트 포장요강(1992)
- 5) 日本 本州四國連絡橋 嬌面鋪裝基準安(1982)
- 6) 교면포장의 설계와 시공, 가지마출판사
- 7) Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specs and Testing, Asphalt Institute (SP-1)(2003)
- 8) Superpave Mix Design, Asphalt Institute (SP-2)(2001)