

성수대교 구스아스팔트 혼합물 포장 시공 사례

Case Study of Gussasphalt Construction of Seongsu Grand Bridge

김완상* · 이석홍** · 이계권*** · 양영규****

Kim, Wan Sang · Lee, Suck Hong · Lee, Gye Gwon · Yang, Young Kyu

1. 서론

1997년 현대건설이 광양항 배후도로 현장의 정산1교에 국내 최초로 구스아스팔트 혼합물 포장공법을 도입한 이후 강상판 교면포장에 구스아스팔트 혼합물의 시공이 증가하고 있다. 교량 기술의 발달과 심미적인 영향, 자중감소 등의 이점으로 장대교량이 증가하고 있으며 그에 따라 사하중을 경감시키기 위하여 교량 상판을 강상판으로 시공하는 경우가 늘어나고 있는 것이다. 그러나 강상판 교량의 단점으로 지적되는 국부적인 변형과 처짐 그리고 충격에 의한 균열발생 가능성의 증가 등으로 인하여 강상판 교면포장에 사용되는 재료는 반복적인 변형 등에 견딜 수 있어야 하고, 또한 강상판에 부식이 발생하지 않도록 방수시스템을 갖추어야만 한다. 이러한 현실적인 문제를 해결하기 위하여 강상판의 교면포장은 표층에는 소성변형에 저항성이 우수한 개질아스팔트 포장을, 기층에는 구스아스팔트 포장을 사용하여 8cm 두께로 2층 단면을 갖게된다.

구스아스팔트 혼합물의 재료는 일반 아스팔트 혼합물과 동일하지만 아스팔트 및 석분의 배합비가 일반아스팔트 혼합물 보다 높고, 플랜트 생산 및 현장 시공시 온도가 높아 품질관리 및 시공에 있어서 더 많은 노력이 필요하다. 또한 필요한 유동성을 확보하기 위하여 플랜트에서 생산한 이후에도 쿠키를 통해 지속적인 가열과 교반을 하여야 한다. 따라서 현장에서의 구스아스팔트 혼합물은 이동시간, 가열온도 등에 민감한 영향을 받는다.

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

2. 구스아스팔트 혼합물 포장의 특징

앞서 언급한 것과 같이, 강상판 교량의 가장 보편적인 기층포장 재료인 구스아스팔트 혼합물 자체의 특징은 유동성, 불투수성, 충격저항성과 내구성 그리고 휨에 대한 추종성(compatibility)을 바탕으로 강상판의 교통하중에 대한 변형에 저항하도록 하고 있기 때문에 기본적으로 골재의 맞물림을 하중전달의 기본개념으로 하고 있는 일반 아스팔트 혼합물(특히 굵은입도의 소성변형 저항성이 강한 혼합물)과 상당히 다른 거동을 보인다. 결국 아스팔트 혼합물의 내유동성의 증진이란 면에서 볼 때 일반아스팔트 혼합물은 골재의 입도와 골재의 입형이 더욱 중요하고, 구스아스팔트 혼합물의 경우에는 골재, 바인더의 등급과 석분의 점도에 의하여 결정된다. 특히 구스아스팔트 혼합물의 기본인 골재입도는 전체골재의 약 25%가 200번 체를 통과하게 되어 있어 상당량의 석분이 경질아스팔트와 TLA(Trinidad Lake Asphalt)의 조합으로 혼합되어 구스아스팔트 혼합물 내부의 매스틱(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

*정회원 · 현대건설기술연구소 주임연구원 · 031-280-7058(E-mail:kimws@hdec.co.kr)

**정회원 · 현대건설기술연구소팀장/책임연구원 · 공학박사 · 031-280-7451(E-mail:2000hyundai@hanmail.net)

***현대건설 성수대교확장공사현장 소장 · 02-463-6132(E-mail:kklee@hdec.co.kr)

****정회원 · 에이스테크 사장 · 02-2055-3400(E-mail:acetech@lycos.co.kr)



맞물림(aggregate interlocking) 작용이 존재하지 않는 구스아스팔트 혼합물은 일반적으로 소성변형에 대한 취약성을 보인다. 그래서 일반적으로 강상판 포장의 기층은 휨의 추종성을 강조한 구스아스팔트를 사용하며, 표층은 소성변형에 대한 저항성이 우수한 개질아스팔트 혼합물 또는 특수아스팔트 포장공법을 도입하여 일종의 층별 기능분담을 하고 있다.

3. 성수대교 확장공사 개요

- 공사위치 : 서울시 성동구 성수동 ~ 서울시 강남구 압구정동 일원
- 공사기간 : 1998년 12월 31일 ~ 2004년 12월 31일
- 공사비 : ₩ 105,432,868,404원(설계비: 4,708,949,778)
- 계약형태 : 설계, 시공 일괄입찰방식(던키방식)
- 발주처 : 서울특별시 건설안전본부
- 감리 : (주)평화엔지니어링
- 시공사 : 현대건설주식회사
- 공사내용 : 교량공, 기초공, 포장공, 부대공사

4. 구스아스팔트 혼합물 배합설계

4.1 배합설계 순서

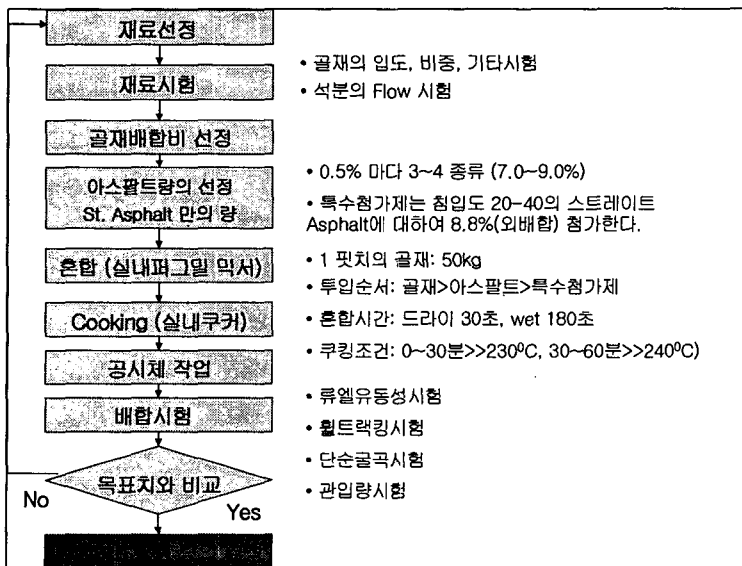


그림 1. 배합설계 흐름도

일반적인 경우 그림 1과 같은 순서로 배합설계과정이 진행된다. 성수대교 확장공사를 위한 구스아스팔트 혼합물의 배합설계 또한 위와 같은 순서로 배합설계를 진행하였다. 다만, 실험실에서 진행된 실험배합의 적합성을 확인하기 위하여 현장 시공 전에 플랜트에서 시험생산과정을 거쳐 이를 확인하였으며, 실험배합과 상이한 부분에 대하여는 시험생산시의 값을 참조 하였다. 특히 유동성 시험의 경우는 실험배합에서 소요의 값을 얻을 수 없어 시험생산시의 결과를 배합설계 자료로 적용하였다.

아스팔트량의 선정이후 구스아스팔트 혼합물이 기준에 만족한지 여부를 확인하기 위해 휨시험과 휠트랙킹



시험을 실시하였으며, 배합설계된 아스팔트량과 골재입도의 적정성 여부를 확인하기 위한 품질시험도 실시하였다.

4.2 배합설계 기준

각 골재의 입도범위는 표 1과 같으며, 구스아스팔트 혼합물의 물성 시험값의 기준은 표 2와 같다.

표 1. 골재입도 범위 및 표준아스팔트 량

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
표준아스팔트 량		7~10%	

표 2. 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	휨시험

4.3 배합설계

(1) 골재의 혼합입도 선정

골재입도의 선정은 표 3과 같이 규정 입도범위를 만족시키고, 당사에서 시공한 정산1교 배합설계 자료 및 배합설계를 실시한 청담대교의 자료를 바탕으로 하여 일본의 구스아스팔트 포장 자료와 현장 시공 전 플랜트에서 시험생산 등을 거쳐 최종 선정하였다. 특히 골재 수급사정이 좋지 못해, 양질의 골재 및 입도가 동일한 골재의 수급이 제한되어 입도관리에 중점을 두었으며, Cold Bin 및 Hot Bin에서 시료를 채취하여 입도를 체크하였다. 또한 생산된 시료에 대하여도 골재 입도의 이상여부를 확인하였다.

표 3. 구스아스팔트 혼합물 배합 입도

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

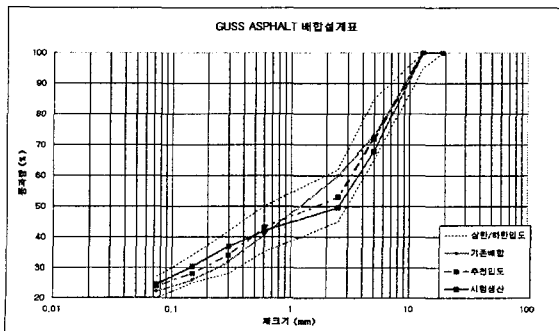


그림 2. 골재입도

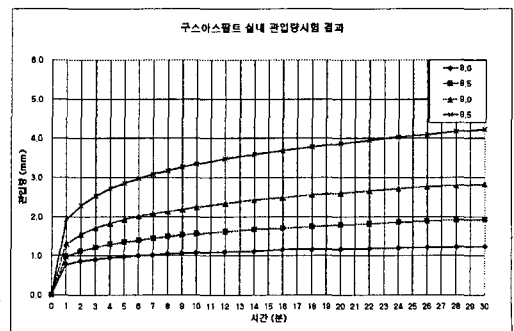


그림 3. 관입량 시험 결과

(2) 아스팔트 함량 결정

아스팔트는 일반적으로 침입도 20~40 정도의 스트레이트 아스팔트(Straight Asphalt)에 트리니다드 레이크 아스팔트(TLA)를 혼합한다. TLA의 혼합비율은 25%로 하였으며, 아스팔트 품질기준을 만족하는 재료를 사용하였다. 아스팔트 함량의 결정을 위하여 8.0%에서 9.5%까지 4단계로 나누어 구스아스팔트 혼합물 시험을 실시하였으며 표 4는 시험결과를 정리한 것이다.

표 4. 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	18	12.3	11
밀도 (g/cm ³)	2.301	2.316	2.413	2.265

아스팔트 함량의 결정은 관입량 시험을 통해 목표 관입량치인 1.5mm를 기준으로 하여 약 8.2%의 아스팔트량을 선정하였고 이 값에 시험생산에서 유동성 시험결과로 얻어진 유동성 18초에 해당하는 아스팔트량 8.5%를 감안하고 여기에 혼합물의 현장 공용성 및 시공성 정도를 고려하여 8.6%로 결정하였으며, 이를 바탕으로 구스아스팔트 혼합물을 생산 시공 하였다.

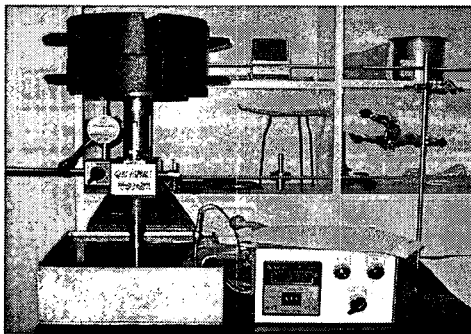


사진 1. 관입량 시험

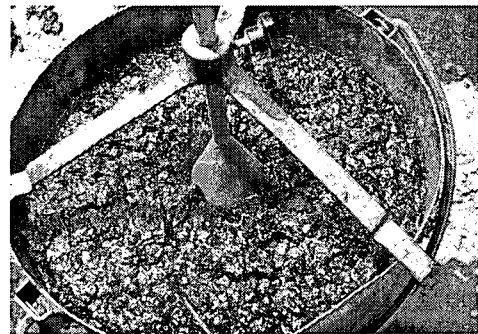


사진 2. 유동성 시험

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

(3) 아스팔트 함량의 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 측정하였다. 또 혼합물의 압밀 및 유동성에 대한 저항성 측정을 위하여 휠트랙킹 시험도 실시하였다.

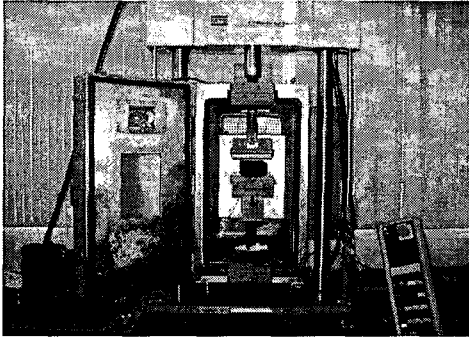


사진 3. 미국 MTS사 장비를 이용한 힘시험

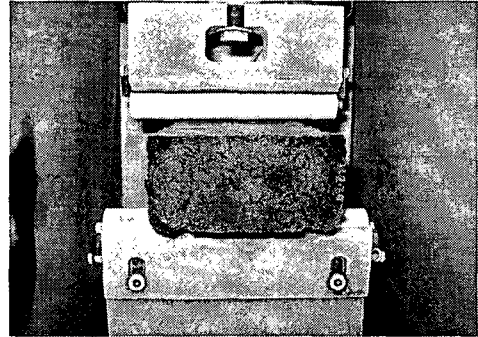


사진 4. 힘시험 시료의 거취 모습

그림 4는 시공을 위해 생산된 구스아스팔트 혼합물의 저온 힘시험 결과로 파단변형량이 공사시방기준인 6.0×10^{-3} 이상으로 나타나 저온에서 힘에 대한 추종성이 우수한 것을 알 수 있다. 일본 본주사국연락교공단 교면포장 기준안(8.0×10^{-3})에 근거하여도 시험기준에 만족한다.

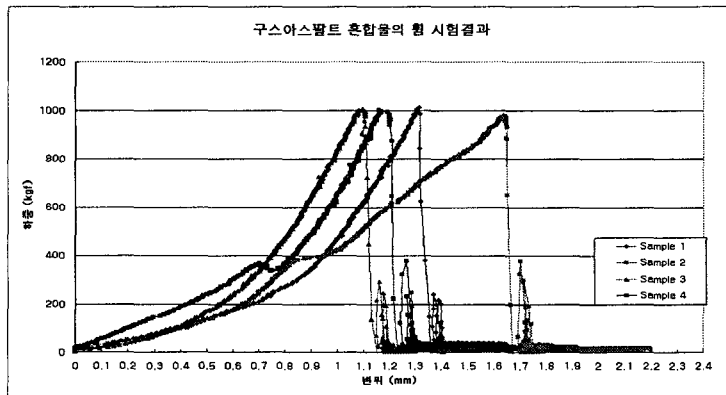


그림 4. 저온 힘 파단시험결과

그림 5는 휠트래킹 시험결과로 동적안정도는 417회/mm로 기준치인 300회/mm 보다 큰 것으로 나타났다.

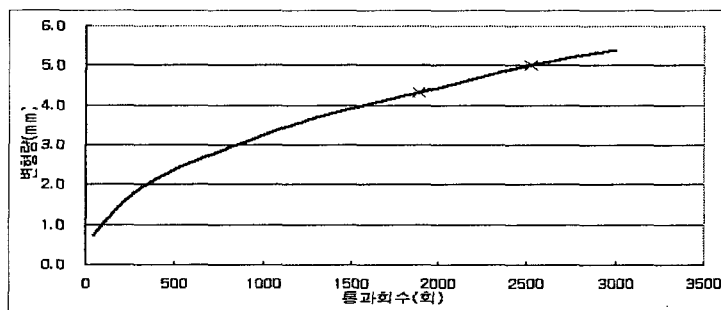


그림 5. 동적안정도

(4) 구스아스팔트 혼합물의 품질시험

현장 시공전 생산된 구스아스팔트 혼합물을 가지고 아스팔트 함량과 골재입도가 적당한지 여부를 NCAT

오븐과 아스팔트 추출시험기 및 체가름 시험기로 품질시험을 실시하였다.

NCAT오븐 시험(AASHTO Designation T-308-01)은 미국 주정부 도로국에서 아스팔트 함량과 골재입도의 적정성을 평가하기 위한 시험으로, 고온(500℃)으로 혼합물을 태워, 시험 전·후의 무게차로 아스팔트 함량을 측정하며, 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.

NCAT오븐 시험과 아스팔트 추출시험을 수행하여 아스팔트 함량과 골재입도의 만족도를 확인하였다. 개질 아스팔트 표층과 구스아스팔트 혼합물 기층 시공시에도 현장품질관리를 위하여 동일한 시험을 실시하였다.

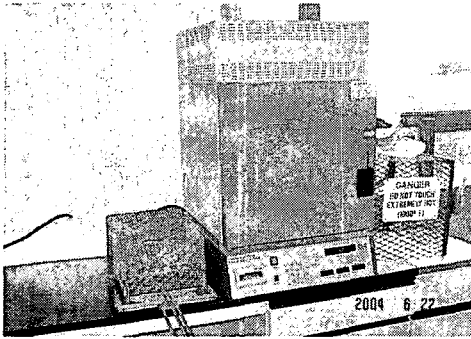


사진 5. NCAT오븐 시험기

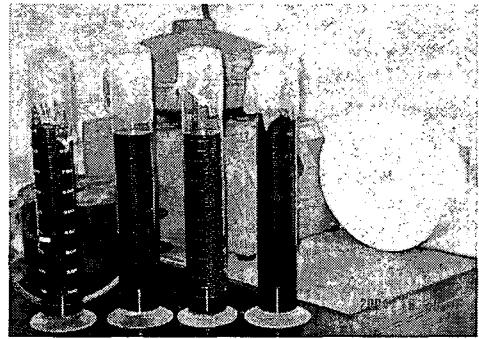


사진 6. 추출시험 후 삼염화에틸렌에 용해된 아스팔트

5. 결론

구스아스팔트 혼합물 포장은 다짐이 필요 없는 포장방법으로 적절한 품질관리(생산플랜트 및 현장)가 매우 중요하다. 품질시험 결과, 공사시방규정 및 일본의 교면포장 기준안에 만족한 결과를 얻었으나, 품질관리가 적절하게 이루어지지 않는다면 공용성 확보가 어려울 것으로 사료된다. 이와 같이 공용성을 확보하기 위해서는 골재입도의 관리, 플랜트에서의 생산, 현장까지의 운반, 그리고 포설에 이르기까지의 온도 및 유동성이 유지되고 확인되어야 하며, 엄격하게 관리되어야 한다.

구스아스팔트 혼합물 포장은 처짐 및 충격에 대한 저항성이 우수하고 전반적인 방수능력이 우수한 반면에 골재의 맛물림 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 개질 구스아스팔트 혼합물이 사용되기도 한다.

관입량시험과 튜엘 유동성시험은 최적의 아스팔트량을 결정하기 위한 배합설계의 기본시험이기도 하지만 현장품질관리를 위한 시험이기도 하다. 배합설계 시에 실시했던 이러한 시험들을 실제 현장시공 시에도 실시함으로써 최적의 구스아스팔트 혼합물 생산 여부를 점검하여야 하며, 필요에 따라 플랜트에서 생산된 구스아스팔트 혼합물에 대한 입도 및 아스팔트 함량검사를 실시하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 이석홍, 성수대교 구스아스팔트 포장 건전성확인을 위한 평가 연구, 한국도로학회, 2004
2. 이석홍, 구스아스팔트의 국내 적용성 연구, 강원대학교 논문집, 1999
3. 이경하, 구스아스팔트 포장의 배합설계 및 시공, 한국도로학회지, 1999. 12
4. 일본아스팔트 포장요강, 1992. 12
5. 日本 本州四國連絡橋 橋面鋪裝基準安, 1982
6. 교면포장의 설계와 시공, 가지마출판사