

국내 교면포장 시공사례

박태순* · 류명찬** · 이석홍***

1. 서론

국내는 지리적 여건상 수도 서울을 중심으로 한강이 위치하고 있으며, 전국적으로 중소 규모의 하천이 각지에 분포하고 있다. 이러한 지리적 여건으로 인하여 전국적으로 많은 교량이 분포하고 있다. 교량에 실시하는 포장은 일반 도로의 포장과는 달리 진동, 온도의 변화, 지속적인 수분의 침투로 인하여 파손이 자주 발생하고 이러한 파손은 교량의 안전에도 크게 영향을 주기 때문에 교면포장은 교량시공에 매우 중요한 공정 중에 하나이다. 그러나 최근까지 교면포장의 중요도에 대한 인식이 낮았으며 관련 전문가도 부족하여 중요하게 다루어지지 않고 있는 실정이었다.

성수대교 붕괴사고 이후 국내에서는 교량 유지보수와 관련하여 교면포장 및 교면방수에 대한 관심이 크게 고조되어 가고 있다. 이러한 관심으로 인하여 1998년에는 국내에서 처음으로 구스아스팔트가 정산 1교에서 시공되었으며 성수대교 복구공사에는 여러 다양한 국내외 방수 제품이 시험시공이 실시되어 국내 교면포장의 기술 발전의 계기가 시작되었다.

본고에서는 최근 실시된 교면포장 시공사례를

주요교량별 및 사용된 재료로 구분하여 각 교면포장에 대한 배합설계, 표면처리방법, 기층 및 표층의 시공, 방수처리 방법을 조사하여 서술하였다.

2. 국내 교면포장의 발전과정

초기 국내 교면포장의 도입은 일본의 시공사례를 참고하여 일본으로부터 기술도입이 실시되었다. 가장 대표적인 예로 1981년 반포대교 교면포장 공사에 서울시에서 SBR 개질아스팔트 혼합물을 사용하기 시작한 것을 계기로 하여 서울시내의 주요교량 및 고가차도에 SBR 개질아스팔트 혼합물이 통상적으로 사용되어왔으며 현재도 여러 교량에서 사용되고 있다.

1990년 중·후반 경부터는 아스팔트와 관련한 각종 화학 공업의 발달과 아스팔트 바인더에 대한 관심과 기술발전이 국내에서는 획기적으로 이루어진 기간으로 SBS, 길소나이트, 캠프리트 등이 국내에서는 새로운 개질재 및 첨가제로 소개되어 교면 포장에 적용되기 시작하였다.

교면포장과 밀접한 관계를 가지고 있는 교면방수공법은 국내의 경우, 최초의 방수공법은 일제시 철도교량에 사용했던 구체방수이고, 1976년도막식 방수공법이 사용되기 시작하였으며 호남선 확장공사에는 최초로 침투식 방수공법이 적용되었다. 이러한 실적들은 거의 대부분이 현장

* 서울산업대학 교수

** 명지전문대학 교수

*** 현대건설기술연구소 선임연구원

감독들에 의해 경험을 바탕으로 실시된 것으로 그 성능에 대한 체계성 및 효과입증에 대해서는 공식적인 검증자료가 없는 실정이다.

위에서 조사된 사항을 정리하면 국내 교면포장의 발전과정은 다음과 같이 세가지 특징으로 나타난다. 먼저, 초기 기술도입은 주로 일본으로부터 이루어졌는데, 타 분야와는 달리 정부주도가 아닌 민간 시공업체의 주도로 이루어져 왔다는 점, 두 번째로는 시공 중심으로 실시되어져 왔기 때문에 국내 현장 및 기후여건에 맞게 개량 또는 수정되지 않고 현장 기술자의 경험으로 지금까지 시공되어 왔기 때문에 교면 포장 및 방수방법이 체계적으로 정리되어 있지 않으며, 마지막으로는 추적조사의 부재로 인하여 약 20여 년간의 교면포장의 역사를 가지고 있으나 특별한 노하우의 축적이 이루어지지 않고 있다.

3. 국내 교량별 시공 사례 요약

3.1 정산 1교 교면포장

3.1.1 제원

1997년도에 현대건설주식회사가 시공한 정산 1교는 광양과 광양항을 연결하는 배후도로상에 있는 강상판 교량으로 그 제원은 아래와 같다.

교량의 총길이: 1170m (430m + 740m)

교량폭: 10.5m

포장면적: 125 a

구스아스팔트 콘크리트 기층: 1,323ton
(t=4.5cm)

SBS개질아스팔트 콘크리트 표층: 1,010ton
(t=3.5cm)

3.1.2 배합설계 및 결과

정산 1교의 구스아스팔트의 배합 및 시공은

일본의 아스팔트 포장요강과 독일의 ZTV-BEL-ST 92 규정을 복합적으로 적용했으며, 골재입도는 양국의 입도가 대동소이하나 일본의 입도를 기준으로 택하였다. 아래의 표 1은 독일의 ZTV Asphalt-StB 94에서 규정하고 있는 구스아스팔트의 종류(입도의 구분에 의한)와 그에 따른 골재의 입도규정과 그리고 사용될 아스팔트의 성질 및 배합설계의 기준 값들이며 정산 1교에서는 0/11S 을 기준으로 하였다. 독일규정의 특이한 점은 깬모래와 자연모래의 사용비율을 규정하여 엔지니어가 혼합물의 유동성과 골재의 맞물림 (aggregate interlocking)현상에 의한 변형에 대한 저항성을 선택적으로 조절할 수 있도록 배려한 점이다. 또한 일반적인 경우의 사용 아스팔트의 침입도는 일본의 경우보다 크게 되어있다. 이는 일본의 기온이 독일보다 전반적으로 온난하기 때문인 것으로 사료되는바, 국내 적용 시 반드시 시공현장의 기온특성을 고려해야 한다.

일반아스팔트 콘크리트 포장의 배합설계방법은 마샬방법이지만 구스아스팔트 혼합물의 배합은 표준입도범위 및 추정아스팔트량의 범위에서 혼합물을 만들어 유동성시험, 관입량시험을 하여 결정하는 일본방법과 7cm x 7cm x 7cm 크기의 시료를 만들어 400C의 수조 안에서 5cm²의 원형 쇠봉을 이용하여 30분 동안 50kg의 하중을 가하여 그 동안의 변형량과 그후 30분간의 추가 변형을 측정하는 관입량시험(Indentation test)만을 수행하여 최적아스팔트량을 결정하는 독일방법이 있으나, 정산 1교의 실내배합은 독일방법을 따라 수행하였고, 시공중의 품질관리를 위한 현장배합은 indentation test와 Luer viscometer에 의한 유동성시험을 병행하였다. 아래의 표는 현장에서 사용된 구스아스팔트 혼합물의 혼합골재비율과 최적아스팔트함량이다.

표 1. ZTV Asphalt - StB 94의 구스아스팔트 관련시방규정 (독일), 1994

종 류	0/11S	0/11	0/8	0/5
입도 및 배합기준				
1. 골재의 입도기준				
0.09mm 이하, %	20-30	20-30	22-32	24-34
2.00mm 이상, %	45-55	45-55	40-50	35-45
5.00mm 이상, %	-	-	15 이상	10 이하
8.00mm 이상, %	15 이상	15 이상	10 이하	-
11.2mm 이상, %	10 이하	10 이하	-	-
깨모래:자연모래(비율)	1:2 이상	1:2 이상	-	-
2. 아스팔트 바인더				
침입도	B45(B25) ¹	B45(B65) ¹	B45(B65) ¹	B45(B65) ¹
함량, %	6.5-8	6.5-8	6.8-8	7.0-8.5
추출후의 연화점, °C	70 ² 이하	70 이하	70 이하	70 이하
3. 관입시험				
5cm ² flat-end indenter pin, 40°C, 30분, mm	1.0-3.5	1.0-5.0	1.0-5.0	1.0-5.0 ³
추가 30분, mm	0.4 이하	0.6 이하	0.6 이하	0.6 이하
4. 층의두께 및 무게				
두께, cm	3.5-4.0	3.5-4.0	2.5-3.5	2.0-3.0
무게, kg/m ²	80-100	80-100	65-85	45-75

항 목	13 - 6mm	6 - 0mm	세 골 재	석 분
비 중	2.67	2.67	2.61	2.69
흡 수 율, %	1.1	1.1	1.0	0.1
배합비율, %	42	18	14	25

AP+TLA 함량, %	7.1	7.3	7.5	7.7
관입량, mm	1.095	1.435	1.800	2.13

3.1.3 강상판의 표면처리

강상판표면은 접착층의 도포이전에 깨끗이 청소하여 녹, 시공관련 찌꺼기 등의 異物質등이 완전히 제거되어 건조된 상태여야 한다. 정산 1 교 강상판의 표면처리는 현장여건상 shot

blasting을 사용했으며 ASTM의 먼처리 표준도를 만족하도록 장기간에 걸쳐 작업이 진행됐으며 먼처리 직후에 바로 primer를 도포하여 발청의 가능성을 줄이도록 노력하였다. ASTM Designation 610 표준도의 Grade 2.5를 만족하기

위해서는 기존의 국내공사에서 사용되던 shot blasting 속도시간에 비하여 상당한 인내심이 필요하였고, 강상판면의 깨끗한 면처리가 구스아스팔트의 제조나 온도관리 이상으로 중요하다는 사실을 독일기술자를 통하여 알 수 있었다.

접착층 : 접착층이란 shot blasting된 강상판의 표면에 위에 적용하는 primer층으로 강상판표면과 그 위에 적용될 방수층인 Bitumenfelt층을 연결하는 층으로 독일교통부(Der Bundesminister Fuer Verkehr) 도로국(Abteilung Strassenbau)의 ZTV-BEL-ST 92의 만족하는 독일의 Deutsche Asphalt사의 BSA Siegel S를 사용했으며, 그 제품의 시공지침안에 따라 1층에는 $200\text{g}/\text{m}^2$ 로 적용하고, 2층에는 $250\text{g}/\text{m}^2$ 정도를 적용하였으며 1층과 2층의 총 두께는 350micrometer보다 두껍도록 유지하였다(그 성분은 Epoxy와 hardener를 100:35로 섞은 것임).

방수층 : 정산 1교에서 사용된 sheet계 방수층(Bitumenfelt)은 사실상 앞에서 서술한 접착층과 함께 B3A System으로 함께 쓰여서 아래 있는 접착층과 위에 존재하는 구스아스팔트 혼합물과 기층을 연결하는 아주 중요한 부분으로, 방수층 자체만으로는 B3A SA 250라고 부른다. B3A SA 250은 8m²의 Roll로 운반되며, 사용년한은 1년이고 보관 시 반드시 세워놓는다. 방수층은 polyester로 된 1층과 69%의 아스팔트와 31%의 SBS계의 개질재를 혼합한 polymer modified asphalt의 결합으로 이루어져 있으며, 두께는 4.8mm 정도이고 그의 무게는 $5.6\text{kg}/\text{m}^2$ 이다.

보관 및 시공시의 B3A SA 250 온도는 5°C 이상이어야 하고, 강상판의 표면온도는 0°C 이상이어야 하며 상대습도는 100%이하이고 대기의 온도는 역시 5°C 이상이어야 한다. B3A SA

250을 시공할 때 felt에 붙어 있는 아스팔트를 균일하게 녹여 내리기 위하여 7개 torch가 연결되어 있고(7-flame torch) 양옆에 바퀴가 있어 felt의 작업방향으로 이동할 수 있는 장치를 이용하여야 하며, 강상판의 구배에 의해서 흘러내리는 아스팔트양을 줄이기 위하여 각 7개의 torch의 불의 양을 조절할 수 있는 조절레바가 장착되어 있어야 한다.

3.1.4 구스아스팔트혼합물의 시공 (기층)

광양항 배후도로현장의 정산 1교 설계도에 의하면 구스아스팔트 혼합물 기층은 4.5cm의 기층을 시공하고 난 후 tack coating 후에 두께 3.5cm의 SBS modified asphalt concrete 표층을 시공하도록 계획되어 있으며, 구스아스팔트 기층포장에 관련된 사항들은 아래와 같다.

구스아스팔트 혼합물은 asphalt plant에서 혼합하며, 가열. 보온장치가 장착된 cooker를 이용하여 현장까지 이동하여 규정된 온도(240°C 정도)에서 finisher를 사용하여 포설한다. 독일의 경우는 구스아스팔트 혼합물전용 plant에서 240°C로 생산하여 (주로 대형교량공사에서는 project site의 근방에 이동식 전용plant를 설치한다) cooker는 가열보다는 생산시의 온도를 유지하며 현장까지 운반하도록 계획되어지나, 현장상황관계로 정산 1교의 광양현장에서는 asphalt plant를 활용할 수 없어서 담양의 일반아스콘 plant에서 혼합물 생산온도를 200°C로 하여 운반도중 가열 혼합하여 포설 시 온도를 240°C에 맞추는 방법을 사용하였다. 또 전체골재의 약 25%에 해당하는 mineral filler의 가열장치가 없기 때문에 석분을 제외한 나머지 골재의 가열온도를 증가시키는 방법을 사용하였다. 12 ton 규격의 Cooker는 3대가 이용됐으며, cooker는 트레일러 위에 고정되었고 가열장치의 가동을 위하여 4개의 대형 프로판 가스통을 철제 frame 안

에 고정시켰다. cooker의 온도와 압력은 운행도 중 예상 포설시간에 맞추어 조절하였으며, 현장 도착 후 포설직전에 유동성과 관입시험의 결과를 확인하도록 하였다. 아래의 그림 1과 2는 구스아스팔트 혼합물 포설전의 finisher 준비광경으로 접착층인 bitumenfelt를 볼 수 있고 cooker에서 구스아스팔트 혼합물이 포설되어지고 finisher뒤에서 인부들이 인두를 사용하여 먼 고르기를 하는 광경이다.

3.1.5 교면포장 표층시공

본 강상판포장의 맨 위층으로써, 최근에 미국에서 종결된 SHRP(Strategic Highway Research Program)연구의 결과물인 SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements)의 Binder 기준으로 생산된 SK사에서 개발한 SUPERPHALT를 사용하였다. SUPERPAVE Binder규정에 의해 생산된 SUPERPHALT는 Performance Grade로 PG 76-22 이상의 바인더를 사용했으며 중차량에 의한 하중을 견디기 위하여 SHRP에서 제시하고 있는, 소성변형에 견딜 수 있는 골재입도 (Restricted zone)를 사용하여 미국에서 SUPERPAVE Level 1 배합설계법에 의하여 설계되었다. SUPERPHALT를 사용한 개

질아스팔트 콘크리트는 하루교통량 약 15,000대를 가정하였다.

3.2 진도대교 교면 재포장

3.2.1 서론

진도대교는 1984년에 현대건설주식회사에서 준공되어 진도를 육지(해남)와 연결한 연육교로서 본 교량이 가설된 장소는 조석간만의 차이가 심하고 해류의 유속이 급하여 건설당시로서는 우리 나라에서 가장 중앙경간장이 긴 344m의 사장교로 건설되었다.

본 교량의 교면포장은 강상판포장의 전형적인 공법인 매스틱 아스팔트(Mastic Asphalt)포장으로 시공되었다. 이 포장은 독일에서 사용되어 최근 일본에서 상용되고 있는 구스아스팔트(Guss Asphalt)포장과 함께 유럽(특히 영국)에서 강상판 포장공법으로 사용되어져왔다. 매스틱 아스팔트의 선정은 시공당시 영국의 감리회사의 추천에 연유한 것이다. 본 교량의 시공은 1층 5cm의 두께로 시공되었고 포설은 인력으로 이루어졌다. 표면에는 19-13mm 크기의 골재를 chipping 하여 미끄럼 저항 및 전단저항에 저항하도록 하였다.

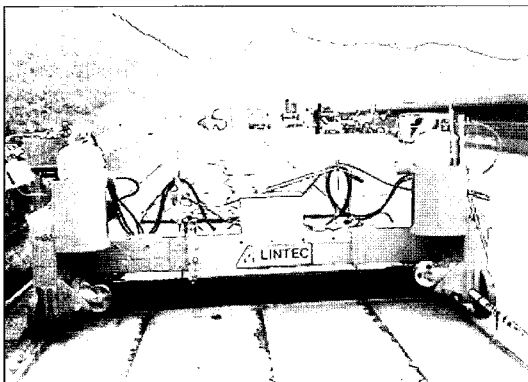


그림. 1, 2 Finisher와 구스아스팔트 포장광경

3.2.2 포장현황

1996년 8월 광주국도유지사무소 및 현대건설(주)진도대교 위탁관리사업소의 요청으로 포장상태를 점검하였다. 본 교량의 포장상태는 차량주행에는 큰 지장이 없었으나 52개소에 균열이 발생되어 있었고 Rutting과 Shoving 또는 Corrugation으로 보이는 포장혼합물의 shear flow를 볼 수 있었다. 이런 현상으로 인한 요철은 특히 해남(육지) 쪽의 급회전 부근에서 심하게 발생했으며 그 원인은 급격한 선형변화에 따른 운전자의 제동이 주요원인으로 보였다. 3m 직선자로 측정된 요철은 크기는 35-50mm 이상인 곳도 있었다. 인도부에서는 blistering에 의한 포장표면의 부풀음 현상이 다수 발생하여 어떤 곳은 경주의 왕능들을 보는 듯한 모습이었고 크기는 지름 5-25cm 정도였고 높이는 5-15cm 정도였다.

3.2.3 교면포장의 보수

차도부는 기존의 매스틱포장을 두께 2cm 남기고 그 윗면을 절삭하였으며 균열부위는 재포장직전에 보수하였다. 절삭면을 청소한 후 텍코팅을 실시했으며, SBR(JSR Rodex U-II)을 사용한 개질아스팔트 혼합물로 4cm 의 표층 덧씌우기를 실시하였다.

보도부는 blistering이 발생한 부분을 보수하였으며, 미관과 방수를 고려하여 전면을 에폭시칼라 모르터로 표면처리하였다. 차도부와 보도부의 경계에 발생한 균열은 강상판의 부식을 방지하기 위하여 V컷팅하여 콘크리트포장용 줄눈채움재로 실링하였다.

3.2.4 현장배합설계

사용아스팔트는 하절기의 소성변형을 고려하여 AP-5를, 개질재는 JSR Rodex U-II를 사용하였다. 굵은골재는 전남강진군 음천면 봉림리(일진개발)석산에서, 잔골재는 전남 신안군 압해도의 것을 사용하였다. 다음의 표 2과 3은 골재의 품질시험 성과와 익산국토관리청에서 실시한 배합표이다.

표 2. 골재의 품질시험성과

항 목	규 격	시 험 치	
굵은골재	비중	2.45 이상	2.69
	흡수율(%)	3.0 이하	1.3
	마모율(%)	35 이하	13
	안정성(%)	12 이하	3.3
잔골재	비중	2.45 이상	2.57
	흡수율(%)	3.0 이하	2.0
	안정성(%)	12 이하	5.7



그림 3. 교면포장의 균열조사

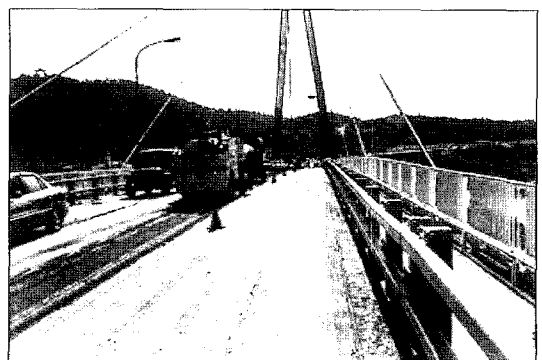


그림 4. 교면 재포장을 위한 절삭광경

표 3. 배합설계결과

항 목	기 준	표준 경우	JSR 첨가 경우
아스팔트함량(%)		5.95	5.712
JSR Latex 고형분(%)	아스팔트의 8%	-	0.238
밀도(g/cm ³)		2.324	2.297
마찰안정도(kg)	1000 이상	1235	1076
흐름치(1/100cm)	20 - 40	28	34
공극률(%)	3 - 5	3.4	4.5
포화도(%)	75 - 85	80	75.7

3.3 성수대교

3.3.1 포장계획

강남의 압구정동에서 강북의 성수동을 연결하는 성수대교는 보수 설계 당시 구스아스팔트로 설계되었으나 97년 7월에 시행된 건설업법의 문제와 기술도입으로 인한 기간의 소요, 시공비의 상승요인으로 인하여 기존 방수공법을 사용하고 방수층위에 SBR 개질 아스팔트로 포장을 실시하는 것으로 계획을 변경하였다. 당시 SBR 은

일본으로부터 수입하여 사용하였으며 JSR로 불리는 국내에서 많이 사용하고 있는 제품이다.

3.3.2 방수층 시공

성수대교의 복구는 당시 사회문제로 크게 주목을 받고 있어서 방수재료의 선정에 많은 어려움이 있었던 것으로 전해지고 있다. 당시 시공 일지에 의하면 "성수대교의 중요성을 감안하여 성능이 우수하다고 판단되는 외국산과 국내산을 선정하여 트러스구간 강상판에 한하여 1 경간씩

표 4. 성수대교 교면방수 시공현황

제 품 명	방수형식	시 공 구 간	비 고
HY-ROAD	도막방수	남북 P/Girder 구간 (R.C. 슬래브)	국 산
리바소이드 II	쉬트방수	P#10-#11의 Expansion joint부터 P#9-#10의 Expansion joint 까지	일본산
ROAD BASE	쉬트방수	나머지 트러스 전구간	국 산
엘리미네이터	도막방수	P#10-#11의 Expansion joint에서 P#12 까지	영국산

쉬트방수 I (라바소이드 II형)		쉬트방수 II (로드베이스)	
	표층 (SBR 개질아스콘)		표층 (SBR 개질아스콘)
3층	라바소이드 II형 (15㎡/ROLL)		로드베이스 쉬트
2층	껌 휠트 B (1.0kg/㎡)		아스팔트 프라이머
1층	가치코우트 (0.4 l /㎡)		강 상 판
	강 상 판		
도막방수 I (엘리미네이터)			
	표층 (SBR 개질아스콘)		
	엘리미네이터 2차도포(0.5~1.0mm)		
	엘리미네이터 1차도포(1.0~1.5mm)		
	아스팔트 프라이머		
	강 상 판		

그림 5. 성수대교 방수층 시공도

외국산 방수재로 시공하고 나머지 구간에 대해서는 국내산을 사용하여 국내산업 보호 및 기술 발전에 기여코자 하였다. 이러한 취지하에서 강상판은 영국 및 일본산을 사용하여 1경간씩 시험시공을 실시하고, 나머지 구간은 한국도로공사에서 시공실적이 많은 국산 슈트방수, P/Girder 구간의 콘크리트상판은 국산 도막식 방수재로 시공하였다"로 기록하고 있다. 현재 성수대교 방수층 구간은 비교 추적조사 중이다. 표4는 성수대교에 사용한 방수재 시공현황을 정리한 것이고, 그림5는 방수층시공도이다.

3.3.3 교면포장 시공

AP-3바인더에 일본산 Latex(JSR)을 0.48%를 사용하여 혼합물을 제작하였다. 표5는 성수대교 표층공사에서 사용한 일반 아스팔트혼합물과 JSR 개질아스팔트 혼합물의 시방조건 및 배합설계 결과이다.

JSR 라텍스는 스틸렌과 부타디엔을 유화, 중합하여 제조한 고무입자의 수분산액으로 이를 JSR 라텍스라 부르며 유액상태의 합성고무이다. JSR 라텍스는 믹싱플랜트의 믹서내에서 직접투

표 5. 일반 아스팔트혼합물과 JSR 개질아스팔트혼합물의 시방조건 및 배합설계 결과

구분	단위	배합설계결과						비고
		#467		#67		LATEX		
		기준치	결과치	기준치	결과치	기준치	결과치	
밀도	kg/cm ³	-	2.342	-	2.354	-	2.350	
안정도	kg	500이상	925	750이상	1175	1000이상	1248	
흐름값	1/100cm	10~40	33	20~40	33	20~40	36	
공극율	%	3~10	6.43	3~6	4.31	3~5	3.92	
포화도	%	-	-	70~85	75.29	75~85	77.88	
AP함량	%	3.5~5.5	4.1	50.~7.0	5.7	5.7~6.3	6.0	

표 6. 일반 아스팔트 혼합물과 JSR 개질아스팔트 혼합물의 다짐기준 및 다짐결과

구분	다짐기준				시험포장 다짐회수			다짐온도	비고
	장비	규격	다짐회수	①	②	③			
#467	초기전압	마카담	10ton	4	3	4	5	110~140	20cm
	중간전압	타이어	15ton	10	8	10	12	70~110	
	완성전압	텐담	8ton	4	3	4	5	70이하	
	총 전압 회수			18	14	18	22		
#67	초기전압	마카담	10ton	3	2	3	4	110~140	5cm
	중간전압	타이어	15ton	9	7	9	11	70~110	
	완성전압	텐담	8ton	3	2	3	4	70이하	
	총 전압 회수			15	11	15	19		
LATEX	초기전압	마카담	10ton	3	2	3	4	130~160	5cm
	중간전압	타이어	15ton	8	6	8	10	100~130	
	완성전압	텐담	8ton	3	2	3	4	100이하	
	총 전압 회수			14	10	14	18		

입이 가능하다는 간편함으로 인하여 국내에서 주로 사용되어온 개질재이다.

성수대교에 표층공사에 사용한 JSR 개질아스팔트 혼합물에 적용된 중요한 시방으로는 플랜트에서 제조시 아스팔트 첨가 후 혼합은 5~10초, JSR 라텍스 첨가 후 혼합은 20초 이상, 혼합온도는 $170 \pm 15^\circ\text{C}$ 로 실시하도록 하였으며 다짐시의 온도는 $150^\circ\text{C} \sim 175^\circ\text{C}$ 범위에서 실시하였는데 이 온도는 일반아스팔트 혼합물에 비하여 15°C 가 높은 온도이다. 1차 전압은 $140^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 범위에서 마카담롤러를 사용하였으며, 2차 전압은 타이어롤러를 사용하였다. 표6은 JSR 개질아스팔트 혼합물의 다짐기준 및 다짐결과 이다.

라텍스 아스팔트는 온도관계에 의해 성패가 결정되기 때문에 일반 아스팔트 혼합물에 비하여 $10 \sim 15^\circ\text{C}$ 를 높여서 전압을 실시하여야 하고 포설 후 마카담롤러와 타이어롤러를 시간을 두지 않고 신속하게 전압을 실시하도록 하였다. 2차 전압시에는 타이어를 사전에 여열(余熱)을 실시하였으며 표면에는 경유 또는 절삭유 에멀존을 바르면서 전압을 실시하도록 하였다.(물을 사용하여서는 않됨) 표 7은 일반아스팔트 혼합물과 JSR 개질아스팔트 혼합물의 포설두께 이다.

표 7. 일반아스팔트 혼합물과 JSR 개질아스팔트 혼합물의 포설두께

구분	종 류	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	포설온도 (°C)	비 고
포설 두께	#467	12.0cm	12.5cm	13.0cm	120~160	
	#67	6.0cm	6.5cm	7.0cm		
	LATEX	5.8cm	6.3cm	6.8cm		

그리고, 현장에서 JSR 개질아스팔트의 포설에는 최소 11명의 인원과 휘니샤, 마카담롤러, 타이어롤러, 텐담롤러가 동시에 투입되었다. 표 8은 JSR 개질아스팔트 포설시 1개 작업조 편성 표이다.

표 8. 1개조 작업조 편성(인원+장비)

구분	장 비 명	수 량	작 업 내 용
인 원	포장공	5	아스팔트포장 면정리
	작업인부	4	아스팔트포장 면정리
	시험사	2	현장관리
장 비	휘니셔	1	아스콘 포설
	마카담롤러	1	초기 1차 전압
	타이어롤러	1	중간 2차 전압
	텐담롤러	1	완성 3차 전압

3.4 청담대교

3.4.1 구조 및 포장계획

청담대교는 서울지하철 7-17 공구에 속해있는 한강을 통과하는 교량으로서 국내에서는 최초로 건설되는 복층 교량이다. 전체 교량의 길이는 1,050m 이고 이중 강상판 구간은 762m, 폭 23.4m의 크기를 가진 교량이다. 공사는 1993년 12월 30일에 착공하여 도로교는 1999년 12월 30일에 개통하였으며 지하철 구간은 2000년 12월 31일에 개통할 예정이다.

청담대교의 포장시공은 상층이 도로교 하층의 지하철 통과로 인한 진동과 처짐, 온도변화에 의한 신축 발생 우려 때문에 이러한 외적 요인을 가장 적절하게 배제 할 수 있을 것으로 판단되는 구스아스팔트를 방수 및 기층포장공법으로 선택하였으며 표층은 국내에서 제조한 개질 아스팔트를 사용하여 두께 3.5cm로 시공하였다.

3.4.2 구스아스팔트의 배합설계 및 결과

배합설계는 현대건설 기술연구소에서 실시하였으며 배합시험 결과 9%로 결정되었다. 표 9는 구스아스팔트의 시험결과이다. 시험생산에 사용된 각 재료의 가열온도는 아스팔트(침입도 20-40)는 180°C , 골재는 $270 \sim 280^\circ\text{C}$, 석분과 TLA

는 상온에서 투입하였으며 혼합물의 생산온도는 210-220°C로 하였다. 혼합시간은 건식혼합인 경우 10-25초, 습식인 경우 70-90초 동안 실시하였다.

표 9. 구스아스팔트의 배합설계결과

시험 항목		단 위	결과치	시험방법
구스아스팔트 관입량 시험	AP함량7.3%	mm	1.50	일본도로협회 아스팔트 포장요망
	AP함량8.0%		2.42	
	AP함량8.5%		2.78	
	AP함량8.0v		3.17	
구스아스팔트 유동성 시험	AP함량7.5%	초	-	일본도로협회 아스팔트 포장요망
	AP함량8.0%		-	
	AP함량8.5%		-	
	AP함량9.0%		17.3	
최종배합 AP함량		%	9.0	-

3.4.3 시험포장

구스아스팔트의 운반, 가열소요시간, 포설능력, 표면처리, 접착상태 및 필요한 공구의 준비를 위해서 시험포장을 본교량의 남측 강상판 상에서 13×20m의 규모로 실시하였다(사진 1 참조). 시험포장 결과 차선을 고려하여 1회 포설 폭을 3m 미만으로 4회 포설토록 하였으며 피니셔가 양측면 까지 접근이 불가능하여 양측면은 인력으로 포설을 실시하였다.

시공에 사용된 쿠커의 최대 용량은 12톤이었으나 원활한 작업을 위해서 약 8톤씩 운반하였다(사진 2 참조). 운반거리는 75Km이었으며, 90분에서 120분까지 소요되었다. 포설 당시 혼합물의 온도는 240°C이었으며 현장에 도착후 대기 시간은 대개의 경우 30분 미만이었다. 품질관리를 위해서 매 차량마다 유동성 시험을 실시하였으며 1일 1회 이상 관입량 시험을 실시하였으며 공사기간 중에는 독일 WN-Tec사의 Wolfgang Hauser씨를 초빙하여 생산 및 포설에 이르는 전 과정에 대하여 기술지도를 받았다.

3.4.4 포설 및 칩셀

시공에 투입된 피니셔는 폭 2.5-3.5cm 까지 시공이 가능한 기종이었으나 4회로 나누어 포설하기 위해서 2.4-2.7m로 포설하였다. 포설속도는 1m/분을 기준으로 하였으며 8톤당 약 30분 정도가 소요되었다. 포설 직후 면을 고르기 위해서 흙손을 사용하여 표면을 정리하였다(사진 3 참조). 하루 작업량은 쿠커의 대수에 따라 결정되는데 본 공사에서는 5대의 쿠커를 투입하여 1일 최대 80톤까지 포설하였다.

칩셀은 구스 상층에 포설되는 개질아스팔트와의 접착력을 향상시키기 위해서 실시한다. 칩골재는 아스팔트 1%를 골재에 코팅한 13mm 골재를 사용하였으며 1회 포설은 10Kg/cm²을 기준으로 하여 인력으로 포설하고 구스아스팔트 포설 즉시 살포하고 전압은 실시하지 않았다(사진 4 참조).

3.4.5 표층시공

표층은 구스아스팔트 시공후에 Bridgephalt 라는 상품명의 국내에서 제작한 개질아스팔트를 사용하였다. 품질기준은 일본 혼슈시코꾸 교량공단의 기준을 만족하고 있으며 동적안정도는 10,000회/mm로 소성변형에 매우 강한 특성을 지니고 있는 개질아스팔트를 사용하였다. 그림 6은 포장 단면도이다.

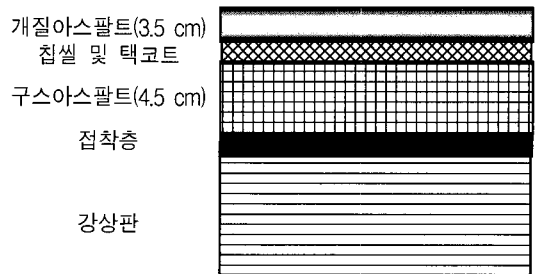


그림 6. 청담대교 포장단면도

3.4.6 시공상의 개선사항 정리

청담대교 시공전후에 도출된 개선사항을 조사하여 정리하였다.

- 실내배합과 실제배합의 차이

일본의 시공경험에서도 보고되는 사항으로 실내배합 결과와 실제 배합에서 차이가 발생하게 된다. 차이를 최소화하기 위해서 소형 쿠키를 제작하여 시험생산을 실시함으로써 배합비, 생산온도, 혼합시간을 정확하게 결정 할 수 있을 것으로 기대한다.

- 구스 아스팔트 생산전용 플랜트

구스아스팔트 전용 플랜트를 설치하여 혼합물을 생산하는 방법이 가장 바람직 하지만 현실적으로 불가능하기 때문에 기존 플랜트를 사용 할 경우 필러 가열 장치를 추가로 설치하여 생산 및 온도관리를 함으로서 최적의 구스아스팔트를 생산 할 수 있다.

- 피니셔 및 쿠키의 선택

국내에서 사용하고 피니셔는 독일형과 일본형으로 크게 나뉘어 있는데 구스아스팔트 시공에는 스크루가 부착된 일본형이 편리하다. 독일형의 경우 포장 양단부에서는 불가피하게 인력으로 시공을 실시해야 하기 때문에 시공에 소요되는 시간이 길다. 쿠키는 독일산이 성능이 우수하고 사용하기에 편리하다.

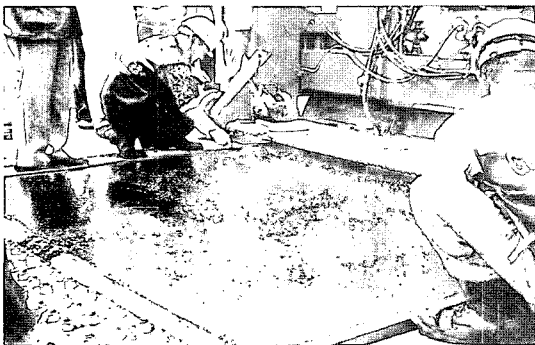


그림 7. (사진 1)

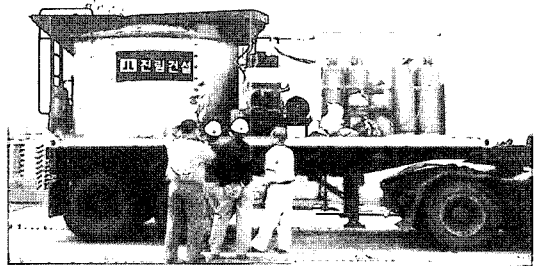


그림 8. (사진 2)



그림 9. (사진 3)

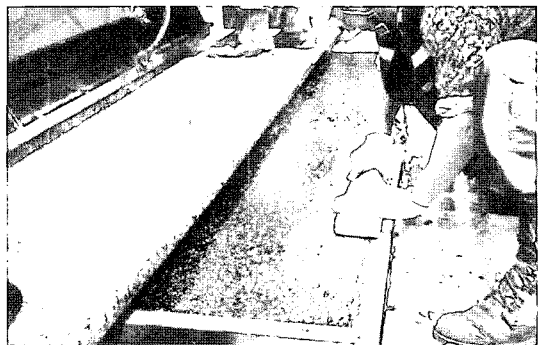


그림 10. (사진 4)

- Blasting 문제

청담대교의 강상판 면은 IC531이라는 특수한 도장을 75 μ m를 실시하였으나 blasting으로 모

두 제거하였다. 초기에는 sand blasting을 실시하였으나 비산 먼지로 인하여 시공이 곤란하였다. 따라서 shot blasting을 실시하는 것이 바람직하다. 또한 구스아스팔트를 시공할 경우 강판을 공장에서 제작하는 단계에서부터 무기아연계 도로 20 μ m 정도만 도장하면 충분하므로 재로나 예산을 절약 할 수 있다.

- 강상판의 splice부의 처리

청담대교는 판의 연결을 bolt를 사용함으로써 구스포장의 두께를 45 mm로 시공하였으나 bolt 부위는 향후 취약점으로 남을것으로 예상된다. 따라서, 설계시 강상판 연결부는 용접처리를 하거나 다른 방법으로 포장을 고려한 설계를 할 필요가 있다.

- 시공 이음부(cold joint)

시공 이음부는 반드시 직각이 되도록 목재 또는 철재 거푸집을 사용하고 시공 이음부에는 접착제를 도포하고 예열을 하여 시공 이음부가 파손의 원인을 제공하지 않도록 주의하여야한다.

- 기포대책

구스포장의 가장 주의하여야 할 부분으로 기포 발생을 소홀히 할 경우 포장파손의 원인 되므로 기포가 발생한 곳은 즉시 수증기를 빼내도록하고 구멍은 TLA로 메꾸어 주어야한다. 기포의 직접적인 원인은 습기이므로 강상판상의 습기는 물론 비가 오고난 뒤에는 철저한 습기제거 작업을 실시하여야 한다.

3.5 박달육교

제2경인고속도로 시흥-안산구간 박달육교상에 아스팔트 개질재의 일종인 길소나이트(Gilsonite)가 교면포장용 이스팔트 혼합물로서의 적용성을 시험해 보고자 1995년 10월 하행선측에 시험시공을 실시하였다.

Gilsonite란 미국 유타주의 동부에 위치한 수직광맥에서 채굴되는 천연아스팔트로 1869년에

처음으로 발견되어 1885년부터 Samuel H. Gilson에 의하여 상업적인 목적으로 생산되었고, 광맥의 길이 19Km, 폭 6.7m로 매장량이 약 천 만톤이상이며, 향후 300년 이상 생산할수 있는 규모이다.

흑갈색의 고체성상인 Gilsonite는 분자량이 큰 Asphaltene이 대략 70%정도 포함되어 있으며 나머지는 주로 Maltene으로 기름과 수지 성분이고 3%의 질소와 이온화한 질소기가 20% 함유되어 유동성이 좋고 유독성이 낮은 천연 탄화수지수지 분말로써 석유계 아스팔트에 완벽하게 혼합되어, 아스팔트 콘크리트 혼합물의 재료 특성을 개선시키는 가장 적합한 보강 개질재 이다.

Gilsonite는 Oil이나 Resin 등 아스팔트 고유성분을 화학적으로 변화시키지 않고 Asphaltene의 함량을 증가시킴으로써 아스팔트 시멘트의 재료 특성을 개선시킨다.

이러한 원리로 아스팔트 혼합물의 안정도(인장강도, 회복탄성계수)를 증대시키고, 질소의 고농축으로 골재와 아스팔트 사이에 강한 부착력을 부여하며, 물에 강한 저항성(Water Stripping)을 갖게 한다.

Gilsonite는 아스팔트와 기본적으로 동일한 화학적 조성을 갖고 있어서 아스팔트와의 혼합에 문제가 없으며, Solvent 및 탄화수소 등에 쉽게 용해된다.

3.5.1 길소나이트의 품질기준

표 10. Gilsonite HMA 재료의 품질기준

항 목	단 위	대 표 값
연하점	°C	166 - 177
재(Ash)	%	0.6 - 1.0
색깔		흑색
침입도(25°C.100g.5초)		0
합수비	%	0.3
인화점(COC)	°C	316
황함유량	%	0.3
비중		1.05

표 11. 입도

체크기	통과중량 백분율(%)
# 10	97
# 20	85
# 35	60
# 65	50
# 100	35
# 200	0

3.5.2 실내시험

Gilsonite의 첨가로 인한 아스팔트 시멘트의 개질효과를 시험해 보기위해 AP-3, AP-5를 사용하여 각종 실내시험을 시행하였다. 아스팔트 품질 시험항목으로는 침입도, 신도, 연화점, 인화점, 박막가열후 침입도, 박막가열후 신도, 삼

연화 에탄가용분, 비중시험 및 탄성회복시험을 실시 하였다. 일반 아스팔트와 Gilsonite를 첨가한 개질 아스팔트에 대한 품질시험성과는 표12. 과 같다.

표12. 에서 보는 바와 같이 Gilsonite를 첨가하므로써 ①침입도 시험온도인 25°C에서의 아스팔트 점성 증가 ②신도증가, ③연화점 상승의 효과를 얻었다.

아스팔트 혼합물 시험은 마샬 시험, 휠 트래킹 시험, 라벨링 시험, 반복재하 간접인장시험(회복 탄성계수 시험) 및 간접인장 시험이 실시 되었다.

표13.에서 보는 바와 같이 Gilsonite의 첨가로 인하여 ①마샬 안정도의 증가, ②아스팔트 혼합물의 영구 변형 특성과 상관관계가 있는 것으로 알려진 가강성의 증가 효과를 얻었다.

표 12. Gilsonite와 일반아스팔트의 품질시험

구 분	침입도 25°C (mm)	신도 25°C (mm)	연화점 (°C)	인화점 (°C)	박막가열후 침입도비 (%)	박막가열후 신도 (cm)	삼염화에 탄가용분 (%)	탄성회복량 (13°C, 20cm) (%)	비중	
AP-3	기준	85-100	100 ↑	-	230 ↑	47 ↑	75 ↑	99 ↑	-	-
	시험값	91	150 ↑	45.0	316	60.4	150 ↑	99.4	12.05	1.026
AP-3 + Gilsonite	62	91	53.0	318	53.2	53	99.4	15.00	1.025	
AP-5	기준	60-70	100 ↑	-	230 ↑	52 ↑	50 ↑	99 ↑	-	-
	시험값	62	150 ↑	15.0	320	62.9	130	99.4	13.15	1.030
AP-5 + Gilsonite	31	94	54.0	322	77.4	56	99.3	8.5	1.030	

표 13. Gilsonite의 마샬시험 결과

구 분 혼합물종류	O.A.C (%)	안정도 (Kg)	후로우 (1/100cm)	가강성	공극률 (%)	밀도 (g/cm)	포화도 (%)	안정도 증가율 (%)
품질기준	-	750 ↑	20-40	-	3-5	-	75-85	-
AP-3	5.7	942	24	39.3	3.2	2.381	84.1	100.0
AP-3 + Gilsonite	5.4	1233	30	41.1	3.1	2.380	81.2	130.9
AP-5	5.1	1036	28	37	3.7	2.374	76.1	100.0
AP-5 + Gilsonite	5.3	1196	25	47.8	4.4	2.348	73.3	115.4

표 14. Gilsonite의 휠트렉킹 시험결과

구 분	밀도 (g/cm)	변형율 (mm/분)	동적안정도 (회/mm)	동적안정도 증가율(%)	비고
A P-3	2.439	0.030	1415	100	
AP-3+ Gilsonite	2.452	0.015	2800	198	
AP-5	2.411	0.032	1346	100	
AP-5+ Gilsonite	2.448	0.014	3016	224	

휠트렉킹 시험의 동적 안정도는 아스팔트 혼합물의 소성 변형 특성과 밀접한 관계가 있다. 표 14에서 보듯이 AP-3, AP-5, Gilsonite를 첨가함으로써 200%정도의 동적 안정도 증가를 나타내었다.

표 15. Gilsonite의 라벨링 시험 결과

구 분	밀도(g/cm)	마모량(cm)	마모량 감소율(%)	비고
AP-3	2.188	1.272	-	
AP-3+ Gilsonite	2.202	0.925	27.3	
AP-5	2.216	1.186	-	
AP-5+ Gilsonite	2.219	0.579	51.2	

표 16. Gilsonite의 회복탄성계수 시험 결과

구 분	5℃	증가율	25℃	증가율	40℃	증가율	60℃	증가율	비고
AP - 3	7683.5	2100	2534.5	100	457.3	100	96.3	100	
AP-3+Gilsonite	9492.5	124	3726.0	147	1014	213	155.3	161	
AP-5	9970.5	100	3332.0	100	739.8	100	124.5	100	
AP-5+Gilsonite	10151.0	102	5058.8	152	1618	219	251.5	202	

표 17. 간접인장시험에 의한 터프니스(Toughness)와 최대수직 변위 측정 결과

구 분	극한인장응력(MPa)		터프니스(KN.mm)		최대수직변위(mm)	
	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃
AP-3	0.722	0.220	17.062	4.384	1.711	1.390
AP-3+Gilsonite	1.084	0.355	29.900	7.918	1.850	1.549

라벨링 시험 결과로부터 Gilsonite를 첨가함으로써 한냉조건에서의 체인에 의한 마모 저항성이 증진됨을 알 수 있다.

회복탄성계수(MR) 시험결과는 표 16과 같으며, 특히 시험 온도 조건을 우리나라 하절기의 고온시 아스팔트 표층 혼합물의 온도상승을 고려하여 60℃인 경우에 대해서도 시험을 실시하였다.

시험결과 일반 아스팔트 혼합물과 Gilsonite 혼합물 모두 온도 상승시 혼합물의 강성을 의미하는 회복탄성계수(MR)값은 현저히 감소하였으나, Gilsonite 혼합물이 일반 혼합물에 비해 감소하는 정도가 작아 혼합물의 감온성을 개선하는 효과를 보이고 있다.

또한 일반 혼합물이 비교적 큰 강성을 가지는 저온에서의 개질재의 강성 증진도는 별로 크지 않았으나, 고온으로 갈수록 강성 증진 정도는 현저하였다.

간접인장시험결과 Gilsonite를 첨가함으로써 ① 터프니스가 증가하고, ② 최대 수직 변위도 증가하여 균열에 대한 저항성이 증가함을 알 수 있다.

3.5.3 Gilsonite HMA 교면포장 시공실적

구 분	위 치	Gilsonite 첨가비율	시공일시	시 행 처
육 교	제2경인 시흥-안산간 박달육교	4%	1995.10.	한국도로공사 도로연구소
고속도로	<ul style="list-style-type: none"> ■ 정부고속도로(365K-382.5K) 두동육교, 천전2교, 미호육교, 서화교, 빈곡교, 태정교 ■ 구마고속도로 상사육교 ■ 남해지선(6.5K-17.7K) 순이교, 평강천교 ■ 울산선(7.7K-8.3K) 사연대교 	8%	1998.6-11.	한국도로공사 경남지역본부
고속도로	<ul style="list-style-type: none"> ■ 남해고속도로(288.3K-333.4K) 노량육교, 흰덕육교 ■ 남해지선(14.5K-15.2K) 조만경교 	8%	1999.5-10	한국도로공사 경남지역본부

4. 맺음말

국내 건설기술의 발전과 수준의 향상으로 지금까지 소홀히 여겨왔던 교면포장에 관심이 크게 고조되고 있다. 지리적 특성상 국내에서는 앞으로 많은 교량이 건설될 예정이며 과거에 건설되었던 교량도 보수를 실시하여야 하는 시기가 도래하고 있다.

20여년의 오랜 역사를 가지고 있으면서도 현장에서 시공 발생한 문제점 및 어려웠던 경험이 전해지지 않고 있는 실정이다.

이러한 점을 고려해 볼 때 이번 특집의 국내 시공사례 보고는 매우 뜻 깊은 작업이라 할 수 있다. 특히, 청담대교에 적용한 구스아스팔트 시공보고는 향후 매우 귀중한 자료로 남게 될 것이다. 현장에서 발견된 개선사항을 본 학회지를 통하여 회원들에게 전할 수 있는 귀중한 지면이 허락되어 매우 기쁘며 현장에서 열심히 관찰을 함께 해준 시공업체에게 감사의 뜻을 전한다. 이러한 노력이 국내에서도 독자적인 새로운 공법이 탄생하는 시금석이 되기를 기대한다.