



교면포장의 수분손상 저감을 위한 체류수 배수공법 개발

Development of a Drainage System to Mitigate Moisture Damage for Bridge Deck Pavements

이 현 종* 김 형 배** 서 재 운***
Lee, Hyun Jong Kim, Hyung Bae Seo, Jae Woon

Abstract

A major purpose of this study is to develop a drainage system that can quickly drain water penetrated into pavement layers to mitigate pot holes which is one of the major distress types in bridge deck pavements. This system can be established by applying a thin drainage layer between waterproof and pavement layers. The most important elements for this system are the performance of waterproof layer and construction technique for the thin drainage layer. The porous asphalt mix with the maximum aggregate size of 10mm is first developed based on the porous asphalt mix design guide proposed by NCAT, and various physical and mechanical tests are performed to confirm that the porous mix satisfies all the specification requirements. In addition, a series of laboratory tests including low-temperature bending and bonding strength tests for the MMA(Methyl Methacrylate) type of waterproofing material. It is observed from the tests that the MMA material satisfies all the specification requirements. To evaluate the field performance of the drainage system, a field study has been conducted on a relatively small size bridge. The QC/QA tests are conducted on the both waterproofing and pavement materials. It has been found that the drainage system works well to drain the water penetrated into the pavement layers.

Keywords : bridge deck pavement, waterproof, drainage layer, MMA, performance

요 지

본 연구의 주목적은 최근 국내 아스팔트 교면포장의 가장 빈번한 파손의 하나인 포트홀의 발생을 저감하기 위해 포장체내에 체류된 수분을 신속히 배수할 수 있는 배수시스템을 개발하는 것이다. 이러한 배수시스템은 방수층과 포장층 사이에 2~3cm의 두께로 박층의 배수층을 구성하는 것으로서 방수층의 내구성 확보와 골재 최대입경 10mm 이하의 배수성 혼합물을 박층으로 시공하는 기술이 가장 중요한 사항이다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 NCAT 배합설계법을 바탕으로 10mm 이하 배수성 혼합물을 개발하였고, 다양한 실내시험을 통하여 배수성 혼합물이 모든 품질기준을 만족함을 확인 하였다. 방수층의 경우 MMA(Methyl Methacrylate)계 방수제의 적용성을 평가하기 위하여 저온 휨 시험, 접착인장강도 시험 등의 시험을 실시하였고 모든 물성이 기준을 만족 하였다. 본 연구에서 개발된 배수시스템의 현장시공성 및 공용성을 평가하기 위하여 고속도로의 1개소 교량에 시험시공을 실시하였다. 시공후 각 포장층 재료에 대한 품질확인 시험결과 모두 기준을 만족하였고 체류수가 원활히 배수되는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 교면포장, 방수, 배수층, MMA, 공용성

* 정희원 · 세종대학교 토목환경공학과 부교수 · 공학박사
** 정희원 · 한국도로공사 도로교통기술원 · 공학박사
*** 정희원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정



1. 서론

교면포장은 방수층을 형성하여 교량상판을 보호하고 통행차량에 대한 평탄성 및 미끄럼 방지기능을 확보하여 사용자들에게 편안하고 안전한 주행성을 제공하는 역할을 담당한다. 1980년대 초반부터 국내에 방수층의 시공이 확대되면서 수분침투에 의한 상판의 부식 및 파손은 줄어들었으나 포장하부의 불투수층 형성에 의해서 포장체로 침투한 수분이 장기적으로 체류하게 되어 재료분리를 일으키고 포장의 강성을 저하시키며, 포트홀 발생이 크게 증가하게 되었다. 특히, 포트홀의 경우는 여름철 강우이후에 집중적으로 발생하고 있으며, 보수작업을 실시한 이후에도 반복적으로 파손이 발생한다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 침투수의 장기체류 문제는 교면포장의 공용수명을 단축시키고 유지보수비용을 증가시키기 때문에 신속한 배수효과를 얻을 수 있는 공법의 개발 및 적용이 시급한 실정이다.

현재 국내에서는 아스팔트 하층에 유공관을 매설하여 포장내로 침투한 수분을 배수시키는 공법을 적용하고 있다. 하지만 서울시 장대교량 교면포장의 2003년도 보수기록(서울특별시, 2005)을 보면 그림 1과 같이 포트홀 발생에 대한 보수횟수가 다른 파손유형보다 월등히 많음을 확인할 수 있으며, 이러한 결과는 유공관 매설에 의한 체류수의 배수효과가 미비하다는 것을 대변하는 것이다. 유공관은 그림 2(a)와 같이 하층의 가장자리에 매설되기 때문에 실제 차량하중이 재하되는 도로의 중앙부분에 대한 배수효과를 기대하기 어려우며, 포장내에 침투한 수분이 유공관 매설위치까지 이동하기가 어렵기 때문에 대부분의 수분이 체류수로 남아 있게 되어 포트홀 파손 및 균열을 조기에 유발시키게 된다. 이에 반해 본 연구에서 제안하는 공법은 그림 2(b)와 같이 아스팔트 하층의 전 면적에 걸쳐서 침투수가 이동할 수 있는 다공성 혼합물을 시공함으로써 포장층내에 침투한 체류수를 신속히 외부로 배출시키는 효과를 얻을 수 있다.

이러한 체류수 배수공법은 약 30년전 덴마크

(Vibeke, 2000)에서 처음 개발되어 그 효용성이 입증되어 현재는 덴마크의 전 교량에 이러한 배수시스템을 적용하고 있다. 덴마크의 경우 일반적인 교면포장단면은 교량상판위에 먼저 2겹의 시트계 방수제로 방수처리를 실시하고 최대입경 8mm 이하의 배수성 혼합물을 2cm 두께로 설치한다. 그 위에는 기존의 교면포장 방식대로 아스팔트 하층 및 상층 각각 4cm씩 포장을 시공하게 된다.

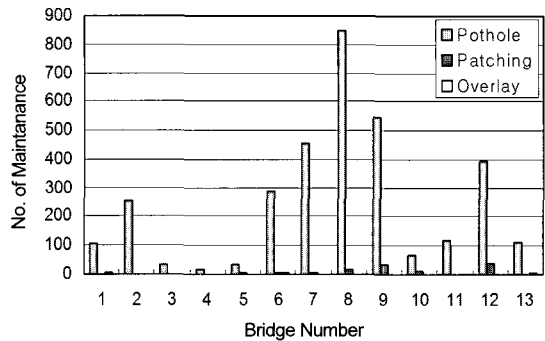
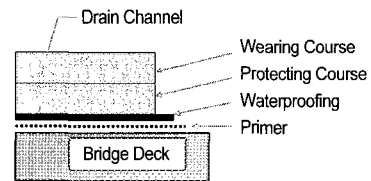
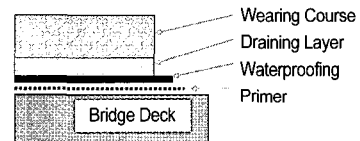


그림 1. 서울시 장대교량 교면포장의 주요 파손유형



(a) 기존공법



(b) 본 연구 제안공법

그림 2. 교면포장의 체류수 배수공법 비교

앞서 언급한 바와 같이 덴마크의 경우 두 겹의 시트 방수층 위에 총 10cm 두께의 교면포장을 설치한다. 국내의 경우 기존교량의 교면포장은 대부분 두께가 8cm로 국한되어 있어 본 연구에서는 덴마크식 배수공법을 국내에 적용하기 위한 개량연구가 필요하다. 또

한 방수제의 경우 국내 교량상판의 경우 표면의 요철이 많을뿐만 아니라 특히 보수교량 상판의 경우 대부분 열화가 많이 진행되어 면처리를 실시하여도 평탄성을 확보하기가 어려워 시트계 방수제를 일률적으로 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 국내실정에 가장 적합하면서도 장기간의 내구성을 확보할 수 있는 방수제를 선정하여 적용할 필요가 있다.

이러한 덴마크식 배수시스템을 국내에 적용하기 위해서는 방수층의 내구성 확보와 골재 최대입경 10mm 이하의 배수성 혼합물을 박층으로 시공하는 기술이 가장 중요한 사항이다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 최대 골재입경 10mm이하 배수성 혼합물을 개발하였고, 다양한 실내시험을 통하여 배수성 혼합물의 공용성을 평가하였다. 방수층의 경우 MMA(Methyl Methacrylate)계 방수제의 적용성을 평가하기 위하여 다양한 역학적 시험을 실시하였다. 또한 노화된 교량상판의 보수재로 기존에 주로 사용되는 초속경 시멘트 몰탈 대신 방수제로 사용된 동일한 MMA 수지를 잔골재와 혼합하여 보수재로 적용할 경우 적합한가를 판단하기 위하여 실내 시험을 통하여 평가하였다. 본 연구에서 개발된 배수시스템의 현장시공성 및 공용성을 평가하기 위하여 고속도로의 교량에 시험시공을 실시하였으며 그 효과를 분석하였다.

2. 배수성 혼합물 개발

교면포장 배수층을 위한 혼합물은 교통하중에 직접적인 영향을 받지 않으므로 혼합물의 강도보다는 다공성을 중시하였으며 최대입경 10mm의 골재를 사용하여 최소 20%의 공극률을 유지할 수 있도록 아래와 같은 과정을 거쳐 개발하였다.

2.1 배수층 혼합물의 입도 결정

덴마크(Vibeke, 2000)의 경우에는 최대입경 8mm의 골재를 사용하여 배수성 혼합물을 생산하지만 국

내의 경우에는 골재수급 여건상 8mm의 배수성 혼합물용 골재를 생산하기 어려우므로 국내여건을 고려하여 최대입경 10mm의 혼합물 개발을 목표로 연구를 수행하였다.

새로운 배수성 혼합물의 상, 하한 입도를 결정하기 위해 다양한 입도로 마샬시편을 제작하여 공극률을 측정하였다. 그 결과 그림 3과 같이 상한입도는 공극률이 17~18%를 만족하도록 결정하였으며, 하한입도는 국내 배수성 포장에 일반적으로 사용하고 있는 최대입경 13mm 입도를 이동시켜 공극률이 20~21%를 만족시키도록 결정하였다.

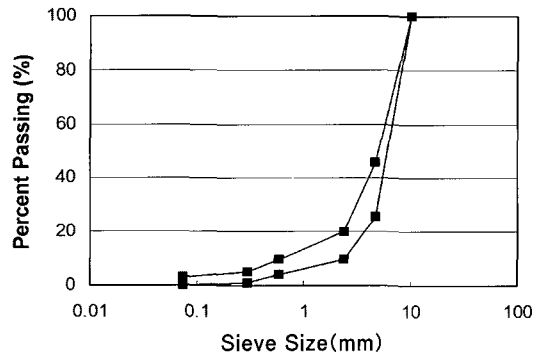


그림 3. 10mm 배수성 혼합물 입도곡선

2.2 최적 다짐횟수 결정

교면포장 배수층에 사용될 혼합물은 골재가 작기 때문에 최대입경 13mm 혼합물의 다짐횟수 50회를 실시했을 경우 골재가 깨지면서 공극을 매울 우려가 있으므로, 본 연구에서는 최대입경 10mm에 알맞은 다짐횟수를 시험적으로 결정하였다.

배수성 포장의 일반적인 아스팔트 함량 범위인 5%에서 마샬다짐횟수 20회부터 80회까지 마샬시편을 제작하여 공극률을 측정하였고, 결과는 그림 4와 같다. 그림에서처럼 다짐횟수 30회까지는 공극률의 감소가 크고 40회에서 50회까지는 공극률의 감소가 완만한 것을 볼 수 있다. 이는 다짐량이 증가함에 따라 공극률이 감소하나 어느 정도 공극이 매워진 후에는 추가적인 다짐이 진행되어도 공극률의 변화는 크



지 않다는 것을 나타낸다. 50회 이상 다짐을 가했을 경우 또다시 공극률 감소가 급격히 발생함을 볼 수 있는데, 이는 단순히 다짐에 의해 공극이 감소하는 것이 아니라 골재의 파쇄에 의한 공극률 감소로 판단된다. 따라서 적정 다짐횟수는 40회로 결정하였다.

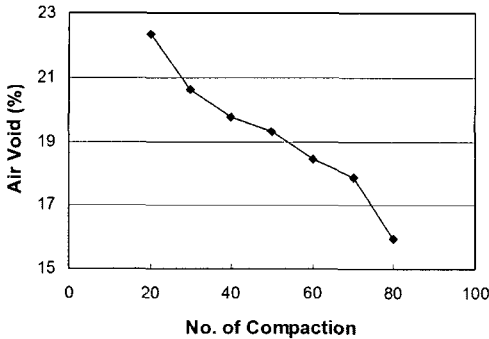


그림 4. 다짐횟수에 따른 공극률 변화곡선

2.3 배합설계

NCAT(Kandhal and Mallick, 1999)에서 제시한 다공성 혼합물 배합설계방법을 이용하여 배합설계를 실시하였다. 본 연구에서는 3%에서 7%까지 아스팔트 함량을 달리하여 칸타브로(cantabro) 및 드레인다운 시험을 실시하였다. 칸타브로 시험은 아스팔트 콘크리트 골재의 비산저항성을 측정하는 시험이다. 아스팔트의 흘러내림 현상을 측정하는 시험인 드레인다운 시험은 AASHTO T305-97의 규정

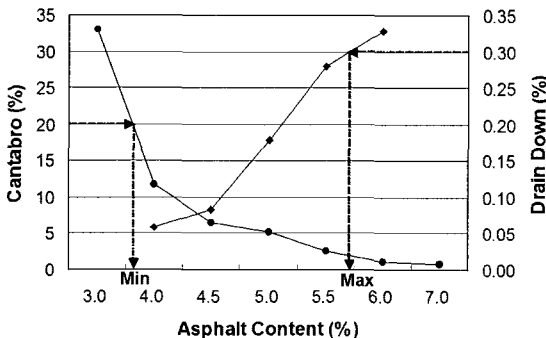


그림 5. 배수성 혼합물의 최소 및 최대 아스팔트 함량 결정

에 따라 시험을 실시하였다. 아스팔트 함량에 따른 칸타브로 및 드레인다운 손실률을 도시하면 그림 5와 같다. 그림 5에서처럼 칸타브로 손실률은 시방기준이 최대 20%이기 때문에 이를 만족하는 최소 아스팔트 함량은 3.6%이다. 또한 최대 드레인다운 손실률은 0.3%이기 때문에 이에 해당하는 최대 아스팔트 함량은 5.7%가 된다. 따라서 아스팔트의 최소 및 최대함량 범위는 3.6~5.7%이다. 이러한 아스팔트 함량 범위내에서 공극률이 20%를 만족하는 최대 아스팔트 함량은 5.2%로 나타나 5.2%를 최적 아스팔트 함량으로 결정하였다.

2.4 실내시험

새로 개발한 혼합물이 배합설계 및 품질기준을 만족하는가를 판단하기 위해서 기본적인 물성시험과 휠트래킹시험, 수분손상시험 등을 실시하였다.

2.4.1 휠트래킹시험(Wheel-Tracking Test)

휠트래킹시험(KS F 2374)은 고온의 포장조건하에서 차량하중이 통과함에 따라 발생하는 소성변형을 실내에서 재현하여 평가하는 속성시험으로, 반복주행으로 인한 바퀴패임 깊이의 변화를 측정함으로써 아스팔트 혼합물이 1mm 변형하는데 소요되는 차량의 통과횟수를 나타내는 동적안정도를 결정한다. 휠트래킹 시험결과는 변형량 - 시간(재하횟수) 관계곡선에서 변형량이 일정하게 증가하게 되는 45분에서 60분까지의 15분간 주행의 변형률을 이용하여 변형률(RD, mm/min)로 나타내고, 이 변형률을 이용하여 동적안정도를 구한다.

2.4.2 수분손상시험(Moisture Damage Evaluation Test)

피로균열 및 소성변형과 더불어 혼합물의 수분손상은 아스팔트 포장의 가장 흔한 손상유형 중의 하나이다. 현재 배수성포장 품질기준에서는 수분손상에 대한 영향을 고려하고 있지 않지만 본 연구에서는 혼



합물의 수분손상에 대한 영향을 고려하여 개발한 혼합물에 대한 수분저항성을 평가하였다.

수분손상 시험(AASHTO T 283)은 60℃에서 24시간 수침처리한 시편과 25℃에서 20분간 수침처리한 시편으로 간접인장강도를 측정하여 건조시편 강도 대비 수침시편의 강도를 TSR(Tensile Strength Ratio)로 나타내는데 일반적으로 TSR이 70% 이상 되도록 규정하고 있다.

2.5 실내시험 결과

본 연구에서 개발한 배수성 혼합물의 실내시험 결과가 표 1과 같이 배수성 포장의 품질기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 동적안정도는 평균 3,342회로 품질기준인 3,000회보다 높은 값을 나타낸 것으로 보아 소성변형 저항성은 만족한 수준인 것으로 확인되었다. TSR은 80.3%로 혼합물의 TSR 품질기준 70%를 만족하였다.

표 1. 국내 배수성 포장 품질기준(한국도로공사, 2004) 및 본 연구에서 개발한 혼합물의 시험결과

Properties	Specification	Test Results
Air Void(%)	20min	20min
Dynamic Stability(cycle/mm)	3,000min	3,342
Field Permeability(sec)	10max	-
Cantabro Loss(%)	20max	3.15
Draindown(%)	0.3max	0.208
Permeability Coeff. (cm/sec)	1×10^{-2} min	satisfied
Moisture Damage(TSR, %)	70min	80.3

3. MMA 방수제 및 몰탈

3.1 MMA의 특징 및 재료구성

MMA는 Acrylic과 Methacrylic Acid Ester를 중

합반응공정을 거쳐 이중 탄소결합을 갖도록 만든 반응형 수지이다. MMA 수지는 내구성 및 내열성, 내화확성, 내마모성, UV 안정성 등이 뛰어나 광디스크 및 전자렌지 커버 등과 같은 전자제품 소재부터 인조 대리석 판재, 바닥재, 접착제, 방수제 등의 건설자재에 이르기까지 다양한 분야에 사용되고 있다. 유럽과 미국, 일본 등에서는 오래전부터 MMA 수지를 교량상판의 방수제로 사용하고 있으나 국내의 경우 타 방수제에 비해 상대적으로 고가이기 때문에 그 사용이 미미하였다. 최근에는 P사에 의해 국산제품이 개발되어 본 연구에서는 P사에서 개발한 국산 MMA를 사용하였다.

MMA 수지는 일반적으로 경화촉진제를 첨가하여 경화시간을 조절한다. 경화촉진제로는 분말형태의 벤졸 과산화물(Benzoyl Peroxide)을 원하는 경화시간과 대기온도조건에 따라 수지량의 1~2% 첨가하여 사용하며 경화시간은 대부분 1시간 이내이다(Silikal, 2006). MMA 수지는 액상의 수지만으로 약 2mm 내외의 두께로 도포하여 방수제로 사용할 수 있으며, MMA 수지에 0.03mm 이하의 탄산칼슘 분말 및 유리가루 등을 혼합하여 4mm 내외의 두께로 방수층을 형성할 수 있다. 후자의 경우 교량상판의 평탄성이 다소 불량할 경우 적용하는 것이 적합하다.

노후된 교량상판면의 보수재로 사용될 경우에는 열화된 콘크리트를 제거한 요철부위의 깊이가 최대 50mm 정도이기 때문에 4번체 이하의 잔골재를 일부 혼합하여 몰탈로 생산해 사용할 수 있다(Silikal, 2006). 잔골재를 혼합할 경우 MMA 몰탈의 탄성계수 및 압축강도가 첨가하지 않을 경우에 비해 증가된다. 본 연구에서는 다음과 같이 MMA 재료를 구성하여 각각 방수제 및 보수재로 사용하였다.

- MMA 방수제 : MMA 수지 + 경화제 + 파우더
- 보수용 MMA 몰탈 : MMA 수지 + 경화제 + 파우더 + 잔골재



3.2 실내시험

3.2.1 보수용 MMA 몰탈

노후된 교량상판의 보수재료 사용되기 위해서는 기존 콘크리트면과의 부착성이 우수해야 할 뿐만 아니라 적절한 강도 및 내구성이 요구된다. 또한 열팽창계수는 가급적 시멘트 콘크리트와 유사한 것이 유리하며 콘크리트와 일체화되어 거동할 수 있는 재료가 바람직하다. 이러한 요구조건을 만족하는가에 대한 평가를 위하여 보수용 MMA 몰탈에 대한 기본적인 역학적 물성을 평가하였다. 접착강도는 일축인장과 전단시험 두 가지를 사용해서 평가하는 것이 일반적이나 전단시험의 경우 본 연구에서와 같이 규사 처리를 할 경우 대부분 시험규정을 만족하기 때문에 시험을 생략한다. 따라서 시험은 기존 콘크리트와의 부착강도를 측정하기 위한 일축인장시험을 수행하였고, 탄성계수 및 압축강도 측정을 위해 일축압축강도 시험을 수행하였다. 또한 열팽창계수시험을 수행하였다.

보수용 MMA 몰탈의 구성재료들에 대한 배합비율은 표 2와 같다. 일축인장시험은 먼저 직경 100mm, 높이 100mm의 시멘트 콘크리트 시편을 제작한 다음 상부 표면의 레이턴스를 제거하고 프라이머를 도포한 후 MMA 몰탈을 50mm 타설하여 높이 150mm의 시편을 제작하였다. 시험은 MTS사의 Servo Hydraulic Closed Loop 시험장비를 사용하여 상온(20℃)에서 시험을 실시하였고 시편의 상부 및 하부는 에폭시경화제를 사용하여 철제 디스크에 접촉하였다. 시편에 가해지는 편심을 최소화하기 위해 볼조인트(Ball Joint)를 사용하였다. 본 시험과 관련한 상세한 사항은 참고문헌(박희영, 2005)에 수록되어 있다.

일축압축시험용 시편은 직경 100mm, 높이 150mm의 몰드에 MMA 몰탈을 채워 넣고 하루동안 양생한 다음 시험을 수행하였다. 이상 열거한 시험들의 결과를 정리하면 표 3과 같다.

표 2. MMA 보수용 몰탈 및 방수제의 재료별 배합비

Materials	MMA Resin (kg)	Hardener (kg)	Powder (kg)	Fine Aggregate (kg)
MMA Mortar	1	0.02	5	6
MMA Waterproofing	1	0.02	5	-

표 3. 보수용 MMA 몰탈의 역학적 물성시험 결과

Properties	PCC Pavement	Fast Curing Cement Mortar	MMA Mortar
Tensile Adhesion (MPa)	1.0 max	1.0 max	3.4
Compressive Strength (MPa)	20~30	20~30	45
Elastic Modulus ($\times 10^4$ MPa)	2.2~3.0	2.5~3.5	6~10
Thermal Expansion Coefficient ($^{\circ}\text{C}$)	$5\sim 9 \times 10^{-5}$	$1\sim 3 \times 10^{-6}$	5×10^{-6}

3.2.2 MMA 방수제

방수제의 휨 추종성 및 균열에 대한 저항성 등을 평가하기 위해 본 공법에 적용할 MMA계 방수제와 국내에서 강상판 교면포장에서 주로 하층으로 구성되어 방수층의 기능을 겸하고 있는 구스아스팔트로 시편을 제작하여 3점 휨시험(Three Point Bending Test)을 실시하였다. 시편은 두 재료 모두 4mm 두께의 철판위에 길이 300mm, 폭 50mm로 제작하였다. MMA 방수제는 시편의 두께를 10mm로 제작하였고 구스아스팔트는 40mm로 제작하였다.

저온 휨시험은 -10, 0, 10℃의 3개 온도에서 실시하였고 온도조절을 위한 챔버를 사용하였다. 각각의 재료 및 온도조건에서 기본적으로 두 번 반복시험을 실시하였고 평균결과를 그림으로 나타내면 그림 6 및 7과 같다. MMA계 방수제와 구스아스팔트 모두 온도가 증가함에 따라 휨강도는 감소하였고 변형률은 증가하였다. 또한 MMA계 방수제가 -10℃에서



의 경우를 제외하고 모든 온도에서 휨강도와 파괴시의 변형률이 구스아스팔트에 비해 높은 것으로 나타났다, 이를 통해 저온균열에 대한 저항성 및 휨 추종성이 우수함을 알 수 있다.

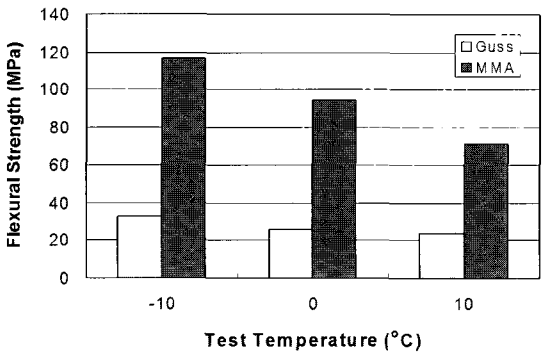


그림 6. 방수제의 휨강도 비교

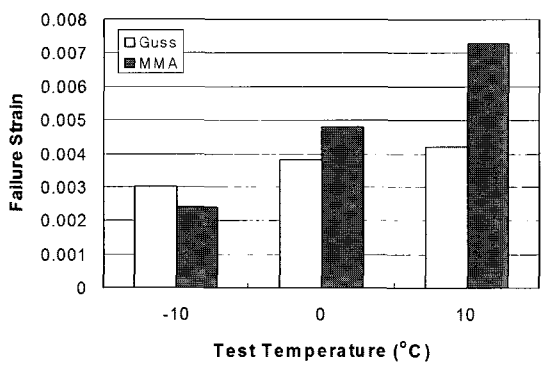


그림 7. 방수제의 파괴시 변형률 비교

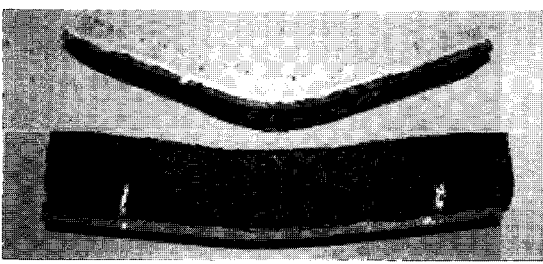


그림 8. 저온 휨시험 후 시편
(상: MMA계 방수층, 하: 구스아스팔트)

그림 8은 저온 휨시험 후의 시편이다. 구스아스팔트의 경우는 균열이 뚜렷이 발생한 반면, MMA 방

수제의 경우 균열의 발생이 전혀 없이 상판과 일체로 거동함을 알 수 있다. 이를 통해 MMA계 재료 자체의 휨 추종성이 상당히 뛰어난을 알 수 있다.

MMA 방수제와 배수성 아스팔트 혼합물과의 접착 강도를 확인하기 위해 일축인장시험을 수행하였다. 시험용 시편의 제작은 먼저 직경 100mm 마샬시험용 철제 몰드에 MMA 방수제를 4mm 두께로 채운 다음 양생을 실시하였다. MMA 방수제가 완전히 양생되기 전에 직경 5mm 내외의 골재를 방수제 표면에 치핑(chipping)한 다음 텍코팅용 유제를 치핑된 골재에 도포하고 50mm 두께로 배수성 혼합물을 채운 다음 마샬다짐기를 사용하여 다짐을 실시하였다.

시험은 -20 및 20°C의 두 온도에서 실시하였고, 각각의 온도에서 2회 이상 반복시험을 실시하였다. 1차 시험결과 평균 0.98(-20°C) 및 0.45MPa(20°C)의 값을 얻었고, KS 기준(20°C : 0.6MPa, -20°C : 1.2MPa)을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 기존의 일반적인 텍코팅용 유제 대신 폴리머 양을 증가시켜 점착력을 개선한 개질 텍코팅제를 이용하여 시험을 실시한 결과 -20 및 20°C의 온도에서 각각 1.23 및 0.64를 나타내어 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

4. 현장 시험시공

4.1 시험시공 개요

본 과업에서 개발된 배수시스템을 실제 교량구간에 적용하였을 경우 현장 적용성을 평가하고 공용성 및 경제성을 평가하기 위하여 대전 - 진주간 고속도로 덕유산 IC부근 장기 1교에서 2006년 10월 중순에 시험시공을 실시하였다. 시험시공은 장기 1교의 대전방향에서 실시되었고 반대쪽 진주방향은 동일한 시기에 기존의 방법으로 교면포장의 보수를 실시하였다.

금번 1차 시험시공의 세부적인 연구목표는 다음과 같다.

- 현장 다짐도 확인을 통한 배수층의 최적 다짐횟수 결정
- 배수층의 현장배수성능 확인
- 유공관 및 배수관의 설치위치 결정
- MMA 보수용 몰탈 및 방수제에 대한 현장적용성 확인
- 품질 및 시공관리지침 개발

시험시공 대상인 장기 1교는 2001년 개통한 이후 약 5년이 공용된 포장으로서 균열 및 포트홀 등이 많이 발생되어 전면보수가 결정되었다. 시험시공은 총 연장 90m, 폭 11.2m로 시공하였다. 시험시공에 앞서 현장에서 코어를 채취하여 상판의 열화된 정도를 점검한 결과 초기 시공당시 침투식 방수제를 적용한 교량상판의 열화가 상당히 진행된 것으로 파악되었다. 따라서 방수제 시공에 앞서 열화된 단면을 완전히 제거하고 MMA 몰탈로 보수하는 것으로 계획하였다. 시험시공구간의 단면구성 및 평면상 유공관(Drain Channel) 및 배수용 파이프(Drip Pipe) 설치 계획은 그림 9와 같다.

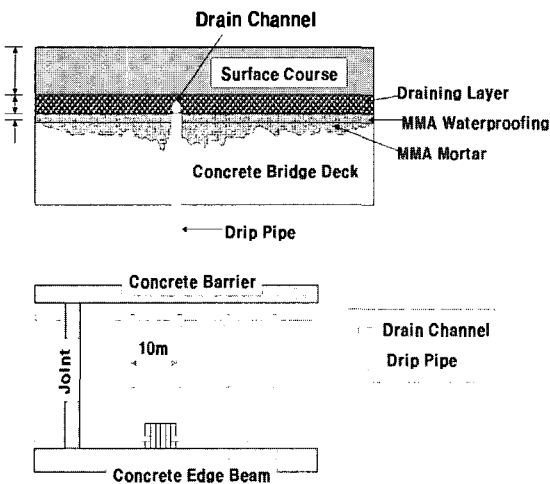


그림 9. 현장 시험시공 단면구성

그림에서 보는바와 같이 기존의 열화된 상판을 제거한 부분을 MMA 보수용 몰탈로 채운다음 4mm 두께로 MMA 방수층을 설치한다. 방수층 표면에 골재

를 치핑한 다음 텍코트를 살포하고 30mm 두께의 배수성 혼합물 층을 설치하고 상부에는 50mm 두께로 일반 밀입도 아스팔트 혼합물로 표층을 시공하는 것으로 계획하였다. 신속한 체류수 배수를 유도하기 위하여 배수층에 추가하여 직경 15mm의 플라스틱 유공관과 직경 10mm의 배수용 PVC 파이프를 설치하는 것으로 계획하였다.

그림 9에서처럼 유공관은 콘크리트 구조물과 포장의 경계부를 따라 설치하는 것으로 계획하였다. 덴마크의 경우는 유공관대신 두께 25mm, 폭 150mm의 배수성 에폭시 콘크리트로 배수구를 형성하나 본 연구에서는 시공성을 확보하기 위해 유공관을 사용하였다. 포장의 시공조인트부 또한 수분이 침투하기 쉬운 취약부이지만 본 연구에서 적용하는 유공관은 플라스틱형 유공관으로서 포장하부에 매설될 경우 포장재와 완전한 접착이 불가능하므로 차량하중이 가해질 경우 오히려 포장의 파손을 야기하는 원인으로 작용할 수 있어 시공조인트부에는 설치하지 않고 배수용 파이프만 설치하는 것으로 계획하였다.

비록 유공관을 통해 체류수의 유도배수가 가능하나 보다 신속히 체류수를 포장체 외부로 배출하기 위하여 차량 진행방향으로 10m 간격으로 상판에 구멍을 뚫고 직경 10mm의 배수 파이프를 설치하였다. 여기서 10m간격으로 한 이유는 덴마크 설계를 참고로 하였다. 배수구와 파이프 사이의 빈틈은 에폭시 접착제를 사용하여 완전히 밀봉하였다.

4.2 시험시공 상세 공정

시험시공절차는 표 4와 같이 진행하였다. 시공은 총 2일간 실시되었고 하루에 1개 차로 90m를 시공하였으며, 오전 6시 교통통제를 시작하여 오후 12시 교통개방을 실시하였다. 상판의 열화된 부분을 제거하는데 많은 시간이 소요되었고, 실제 MMA 몰탈을 사용한 상판 보수작업은 오후 4시경에 시작하였다.



교량 콘크리트 상판의 천공을 위해 교량상판의 철근배근도를 참고하여 드릴링 장비로 천공을 실시하였다. 배수성 아스팔트 혼합물용 바인더는 PG 76-22 바인더를 사용하였고, 밀입도 혼합물의 경우 PG 64-22 일반 아스팔트 바인더를 사용하였다.

표 4. 시험시공 절차 및 상세 공정

시공분야	시 공 내 용
상판보수	- 포장철삭 및 해체
	- 폐기물처리
	- 상판 손상부 제거 및 천공
	- 프라이머 도포
방수층	- MMA 물탈로 상판 보수 및 레벨링
	- MMA 방수제 시공 및 규사살포
유공관	- 직경 1.5cm 유도배수관 설치
접착층	- BD 코트(택코팅제의 종류) 시공
배수층	- 3cm 두께로 10mm이하 배수성 아스팔트 혼합물 포설
포장층	- 5cm 두께로 13mm이하 밀입도 혼합물 포설



그림 10. 시험시공 전경

4.3 시험시공 효과 분석

교량부 배수층의 배수효과 확인은 시공중 및 시공 후의 2단계로 실시하였다. 먼저 배수층 포설 및 다짐 직후 표면온도가 60℃에 도달하였을 때 그림 11과 같이 물을 살수하여 현장 투수성능을 확인하였다. 그 결과 침투된 물은 그림과 같이 교량 가장자리에 설치된 유공관을 따라서 배수구 밖으로 유도배수 되는 것을 확인하였다.



그림 11. 현장 투수성능 확인을 위한 살수실시(상) 및 침투수의 배출(하)

공용이 개시된 다음 3개월이 경과한 2007년 1월과 6개월이 경과한 2007년 4월에 현장조사를 실시하였다. 그림 12는 2007년 1월에 눈이 내린 후 3일이 경과한 날 현장을 조사한 사진이다. 그림에서처럼 도로포장의 표면은 완전히 건조한 상태이지만 교량

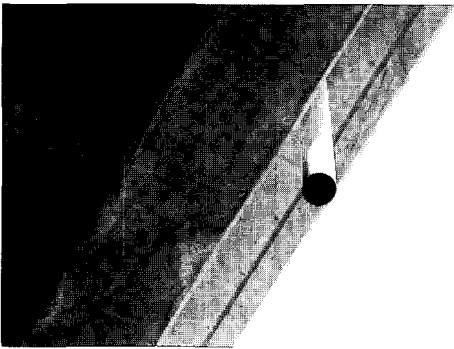
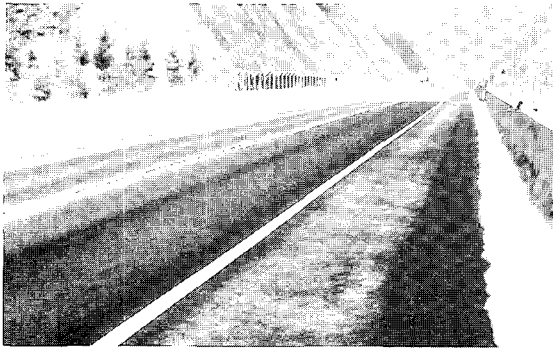


그림 12. 2007년 1월 시험시공 현장 체류수 배수 확인

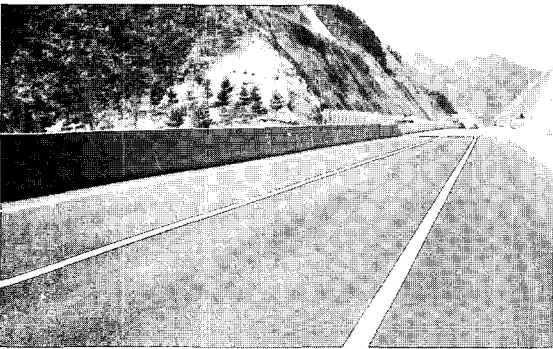


그림 13. 2007년 4월 시험시공 현장 체류수 배수 확인

의 배수구를 통해 지속적으로 체류수가 배출되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 13은 2007년 4월에 비가 내린 후 4일이 경과한 날 현장을 조사한 사진이다. 교량 각 지점의 배수구를 확인한 결과 종방향 및 횡방향으로 가장 낮은 곳에 위치한 배수구에서 집중적으로 다량의 체류수가 배출되는 것을 확인하였다. 이를 통해 본 시험시공이 체류수 배수측면에서 상당히 효과가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

전술한 바와 같이 본 연구에서 시험시공은 장기 1교의 1방향에서만 진행되었고 반대쪽 방향은 기존의 공법으로 교량의 상판보수 및 포장작업을 시행하였다. 즉 교량의 상판보수는 초속경 시멘트 몰탈로 보수를 실시하고 방수는 아스팔트계의 방수재를 적용하였다. 포장은 일반 밀입도 아스팔트 혼합물로 4cm 씩 2회 포설하는 방식으로 보수가 실시되었다. 2007년 현장추적 조사시 기존공법 적용구간에 대한 현장 조사도 실시하였는데 그림 14와 같이 공용 후 6개월이 경과한 시점에서 많은 파손이 진행되고 있었다.

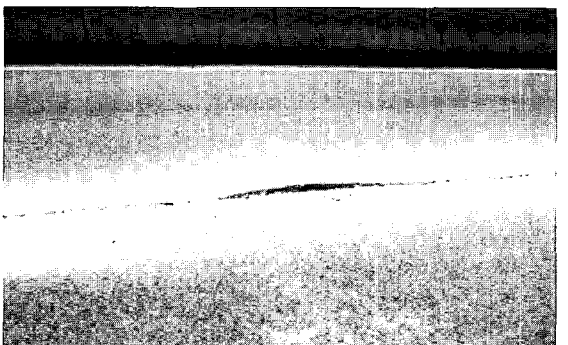
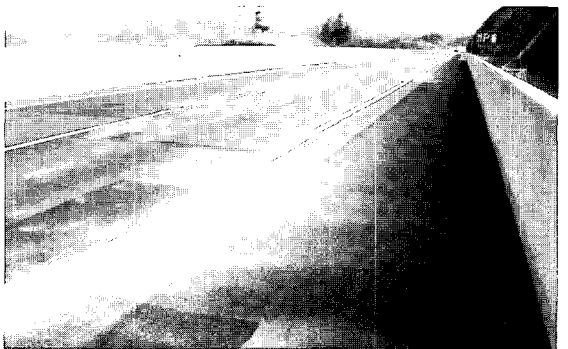


그림 14. 동일교량 기존공법 적용구간



가장 빈번한 파손형태는 포장의 일부분이 원형 또는 타원형으로 움기되는 파손과 균열, 백태 등이었다. 이러한 조기파손의 원인은 다양하게 추론할 수 있으나 보수공사의 특성상 신속한 교통개방을 위하여 초속경 시멘트 몰탈이 충분히 양생되기 전에 뜨거운 아스팔트계의 방수제를 도포함으로써 급격한 수화열 발생 및 증기 등의 발생으로 포장층이 부풀어 오른 것으로 예측된다. 또한 교면포장체에 침투한 체류수 등이 이러한 파손을 가속화한 것으로 판단된다. 보다 정확한 파손원인은 추후 상세한 시험을 통해 규명할 계획이다.

기존공법의 경우 6개월이 경과한 2007년 4월 현재 많은 포장파손이 발생하였으나 신공법을 적용한 구간의 포장상태는 상당히 양호하였고 현재까지 어떤 형태의 파손도 육안으로 확인할 수 없었다. 따라서 신공법이 교량상판 보수 및 교면포장의 체류수 배출 등에 있어 기존의 방식보다 상당히 포장수명을 연장할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 아스팔트 교면포장의 가장 빈번한 파손의 하나인 포트홀의 발생을 저감하기 위해 포장체내에 체류된 수분을 신속히 배수할 수 있는 배수시스템을 개발하였으며 중요한 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 방수층과 포장층 사이에 2~3cm의 박층으로 배수층을 구성하기 위하여 최대입경 10mm의 배수성 아스팔트 혼합물을 개발하였고, 다양한 실내시험을 통하여 배수성 혼합물이 모든 품질기준을 만족함을 확인하였다.
- 방수층의 경우 배수층과의 우수한 부착력이 요구될 뿐만 아니라 체류수의 원활한 배출을 위하여 교량상판의 요철을 보정할 수 있어야 한다. 따라서 본

연구에서는 기존의 도막방수 또는 시트방수의 적용성이 한계가 있어 MMA(Methyl Methacrylate) 수지계 방수제의 적용성을 평가하였다. MMA 방수제의 적용성을 평가하기 위하여 저온 휨시험, 접착인장강도시험 등의 시험을 실시하였고 모든 물성이 기준을 만족하였다.

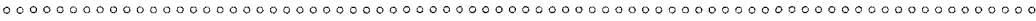
- 또한 노후된 교량상판의 요철부 보수를 위하여 MMA 보수 몰탈을 개발하여 다양한 역학적 시험을 실시하였다. 시험결과 MMA 몰탈은 기존의 일반 시멘트 콘크리트에 비해 압축 및 인장강도가 각각 2배 및 4배 정도 우수하고 콘크리트와의 접착성도 3배 이상 우수함을 확인하였다.
- 본 연구에서 개발된 배수시스템의 현장시공성 및 공용성을 평가하기 위하여 고속도로의 1개소 교량에 시험시공을 실시하였다. 시공후 각 포장층 재료에 대한 품질확인 시험결과 모두 기준을 만족하였고 체류수가 원활히 배수되는 것을 확인할 수 있었다.
- 시공완료 후 6개월이 경과한 시점에 현장 추적조사를 실시하여 시험시공구간의 포장상태를 확인한 결과 상당히 양호한 수준을 유지하고 있고 체류수가 원활히 배출됨을 확인하였다. 반면 기존공법으로 동일교량에 시공된 구간의 경우 많은 파손이 발생되고 있었다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 공법이 기존의 교면포장공법에 비해 내구성 측면에서 상당히 우수할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발 사업”의 일환으로 진행되었으며 본 연구를 지원해주신 건설교통부와 한국도로공사에 감사드립니다.

참고문헌

박희영 (2005) “교면포장의 수분손상 억제를 위한 배수



공법 개발” 석사학위논문, 세종대학교.

서울특별시 (2005) “서울시 포장도로 수준향상 방안 연구”, 서울특별시

한국도로공사 (2004) “고속도로 전문시방서”, 한국도로공사

Kandhal, P.S. and Mallick, R.B. (1999) “Design of New Generation Open-Graded Friction Courses,” Report No. 99-3, *National Center of Asphalt Technology (NCAT)*, Auburn, Ala.

Silikal (2006) “Reactive Resin and Polymer Concrete for Industrial Flooring and Civil Engineering” *Technical Documentation*, Silikal, Germany.

Vibeke W. (2000) “Surfacing of Concrete Bridge” *Danish Road Institute, Report 106*, Denmark.

접 수 일 : 2007. 5. 3
심 사 일 : 2007. 5. 10
심사완료일 : 2007. 5. 31