

교면포장 배수공법 실용화 연구

Research for Application of Drainage Method to Bridge deck Pavement

김재환 * · 박희영 ** · 이현종 *** · 전성현 ****

Kim, Jae Hwan · Park, Hee Young · Lee, Hyun Jong · Jun, Sung Hyun

1. 서론

1980년대 초반부터 국내에 방수층의 시공이 확대되면서 수분침투에 의한 상판의 부식 및 파손은 크게 줄어들었으나 포장 하부의 불투수층 형성에 의해서 포장체로 침투한 수분이 장기적으로 체류하게 되어 재료분리를 일으키고 포장의 강성을 저하시키며, 포트홀 발생이 크게 증가하게 되었다. 이러한 침투수의 장기체류 문제는 교면포장의 공용수명을 단축시키고 유지보수 비용을 증가시키기 때문에 신속한 배수효과를 얻을 수 있는 공법의 개발 및 적용이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 아스팔트 하층과 방수층 사이에 배수층을 시공함으로써 포장체내 체류수의 원활한 배수효과를 얻을 수 있는 덴마크식 배수공법의 적용성에 대한 연구를 수행하였고, 배수층의 잔단면 배수화로 인한 적합한 방수제 적용성 연구를 수행하였다.

2. 교면포장 배수공법의 개요

현재 국내에서는 그림 1과 같이 아스팔트 하층에 유공관을 매설하여 침투수를 배출시키는 공법을 적용하고 있다. 하지만 유공관은 하층의 가장자리에 매설되기 때문에 도로의 중앙부분에 대한 배수효과를 얻을 수 없어 대부분의 수분이 체류하게 되어 포트홀 파손을 유발시키게 된다. 이에 반해 덴마크식 배수공법은 그림 2와 같이 포장층 하부와 방수층 사이에 전면적에 걸쳐 침투수가 이동할 수 있는 배수층을 2cm 내외로 시공함으로써 체류수의 발생을 방지하는 효과를 얻을 수 있다.

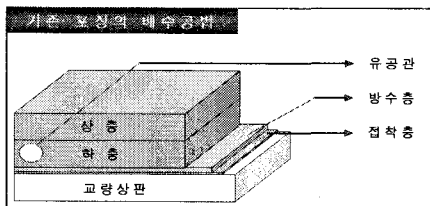


그림 1. 유공관을 적용한 교면포장 단면

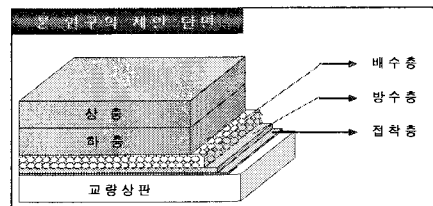


그림 2. 배수층을 적용한 교면포장 단면

* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학부 석사과정 · 02-2205-3812(E-mail:h7012000@hanmail.net)
** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학부 공학석사 · 02-2205-3812(E-mail:heeyoung2000@hanmail.net)
*** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학부 부교수 · 공학박사 · 02-3408-3812(E-mail:hlee@sejong.ac.kr)
**** 정회원 · GS건설 도로도시계획팀 과장 · 02-2005-9113 · (E-mail:yunciv88@hanmail.net)

3. 배수성 혼합물 개발

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

3.1 배수층 혼합물의 입도 결정

덴마크의 혼합물과 국내 혼합물을 같은 입도로 생산하여 공극율을 비교해 본 결과 그림 3과 같이 상당한 차이가 있었다. 이것은 국내 골재와 덴마크 골재간의 물성차이가 크다는 것을 의미하며, 국내에서는 8mm 골재 생산이 어려우므로 국내 여건을 고려하여 최대입경 10mm의 혼합물 개발을 목표로 연구를 수행하였다.

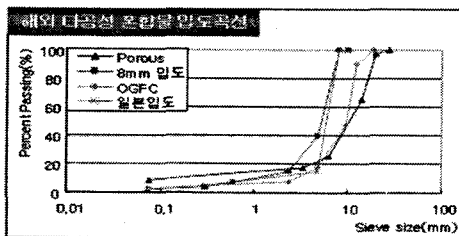


그림 3. 해외 다공성 혼합물 입도 비교

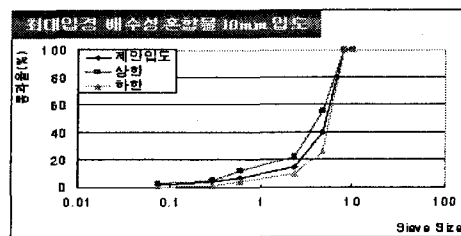


그림 4. 제안입도 및 상,하한입도 곡선

새로운 배수성 혼합물의 상,하한 입도를 결정하기 위해 마샬시편을 제작하였으며, 공극율을 측정하였다. 그 결과 그림 4와 같이 상한입도는 공극율이 17~18%를 만족하도록 결정하였으며, 하한입도는 국내 배수성 포장에 일반적으로 사용하고 있는 최대입경 13mm 입도를 이동시켜 공극율이 20~21%를 만족시키도록 결정하였다.

3.2 최적 다짐횟수 결정

장수명 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 다짐 횟수를 결정하였다.

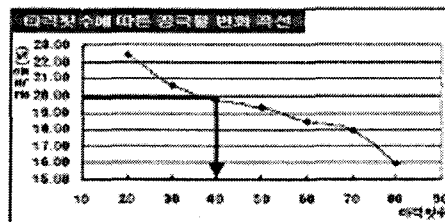


그림 5. 다짐횟수에 따른 공극율 변화곡선

배수성 포장의 일반적인 아스팔트 함량 범위인 4%~6%에서 평균치를 사용하여 마샬다짐횟수 20회부터 80회까지 마샬시편을 제작하였으며, 그 결과 최적 마샬다짐횟수는 40회로 결정하였다. 그림 5에서는 마샬다짐횟수 따른 공극률 변화를 볼 수 있는데 30회까지는 공극률 감소가 크고 40회에서 50에까지는 공극률 감소가 완만한것을 볼 수 있다. 이는 다짐량이 증가함에 따라 공극률이 감소하나 어느 정도 공극이 매워진 후에는 추가적인 다짐이 진행되어도 공극률의 변화는 크지 않다는 것을 나타낸다. 50회 이상 다짐을 가했을 경우



또다시 공극률 감소가 급격이 발생함을 볼수 있는데, 이는 단순히 다짐에 의해 공극이 감소하는 것이 아니라 골재의 파쇄에 의한 공극률 감소로 판단된다.

3.3 배합설계

FHWA에서 제시한 다공성 혼합물 배합설계방법을 이용하여 배합설계를 실시하였다. 본 연구에서는 3%에서 7%까지 아스팔트 함량을 갖는 혼합물을 이용하여 시험을 수행하였다.

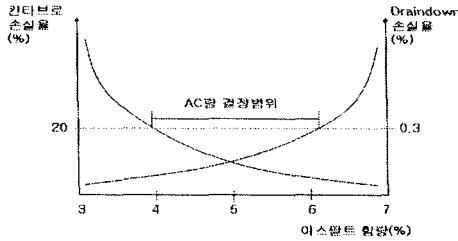


그림 6. FHWA 배수성 혼합물 배합설계 방법

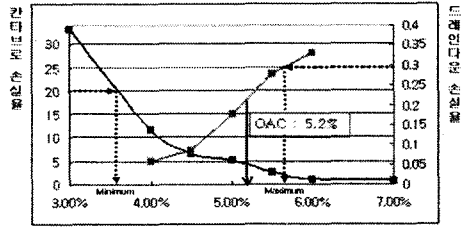


그림 7. 본 연구에서 개발한 혼합물의 OAC

그림 7과 같이 최적 아스팔트 함량의 범위는 3.6%~5.7%로 결정되었고, 공극률 확인을 통하여 공극율이 20%이상을 만족하는 최대 아스팔트 함량은 5.1% 확인되었다. 이때 칸타브로 및 드레인 다운 손실율은 각각 3.15%, 0.208%로서 시방기준을 만족하였다.

3.4 실내시험

새로 개발한 혼합물이 배합설계 및 품질기준에 만족을 하고 있는지를 판단하기 위해서 윌트래킹 시험, 수분손상시험 등을 실시하였다.

본 연구에서 개발한 혼합물의 실내시험 결과는 표 1과 같이 배수성 포장의 품질기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 동적안정도는 평균 3,342회로 품질 기준인 3,000회보다 높은 값을 나타낸 것으로 보아 소성변형 저항성이 뛰어난 것으로 확인되었다. TSR은 80.26%로 수분의 대한 저항성이 뛰어난 것으로 판단된다.

표 1. 국내 배수성 포장 품질기준 및 본 연구에서 개발한 혼합물의 시험결과

시험항목	배수성 포장 품질기준	본 연구에서 개발한 10mm 혼합물
공극율(%)	20 이상	20 이상
동적안정도 (회/mm)	3,000 이상	3,342
현장투수 성능 (Sec)	10 이내	-
칸타브로 손실율 (%)	20 이하	3.15
Drindown (%)	0.3 이하	0.208
투수계수 (cm/sec)	1×10^{-2} 이상	-
수분손상시험 (TSR, %)	70 이상	80.26

4. 방수제 개발 및 물성 시험

4.1 방수제 개요

현재 국내의 대표적인 교면방수제로는 시트계 방수제와 도막계 방수제가 있다. 이러한 두 방수제는 방수 성능은 우수하나 시트계 방수제의 경우 상판과의 접착력이, 도막계 방수제의 경우 아스팔트 층과 접착력이 다소 부족한 것으로 알려져 있다. 또한 시공중에 포설장비의 이동 등으로 인한 방수층의 파손이 쉽게 발생하여 완전한 방수성능을 기대할 수 없는 것으로 사료된다. 그러므로 본 공법에서는 방수층 자체의 강도를 가지고 있어 시공중에 파손이 쉽게 발생하지 않고, 방수성능 또한 뛰어나며, 상판뿐만 아니라 아스팔트 층과도

접착력이 우수한 MMA(Methyl Metha Acrylate)계 방수제에 대한 본 공법의 적합성 여부를 판단하기 위하여 실내 물성시험을 실시하였다. MMA혼합물은 방청제, 충전제, 안료, 분산제, 실리카로 구성되며, 그림 8은 MMA방수제 시공과정을 나타낸다.



그림 8. MMA방수제 시공과정

4.2 실내 시험

방수제에 대한 재료적인 특성을 알아보기 위해 저온 휨 시험, 휠트래킹 시험, 접착인장강도 시험을 실시하였으며 그 결과 방수제에 대한 품질 기준을 만족하였다. 표 2는 구스 아스팔트와 MMA계 방수제의 저온 휨 시험 및 휠트래킹 시험 결과를 비교분석한 것이다. 저온 휨 시험 결과를 살펴보면 두 시험시편 모두 온도가 증가함에 따라 휨강도는 감소하고 변형율은 증가함을 알 수 있으나 -10°C 에서의 변형율을 제외하고는 MMA계 방수제가 구스 아스팔트에 비해 휨강도, 변형률 모두 구스 아스팔트에 비하여 월등히 우수함을 알 수 있다.

표 2. 방수제에 대한 실내 시험 결과 비교분석

저온 휨 시험	시험온도($^{\circ}\text{C}$)	휨강도(kgf/cm^2)	변형률	터프니스($\text{kgf} \cdot \text{cm}$)
구스 아스팔트	-10	329.5	0.0030	33.25
	0	261.6	0.0038	28.65
	10	246.8	0.0042	33.65
MMA계 방수제	-10	1188.8	0.0024	37.75
	0	961.9	0.0049	67.35
	10	729	0.0073	88.3
휠트래킹 시험				
동적안정도				
구스 아스팔트	417			
MMA계 방수제	소성변형이 전혀 발생하지 않음			

온도에 따른 MMA계 방수제와 구스 아스팔트의 터프니스를 비교한 결과, 5cm 두께의 구스 아스팔트보다 1cm 두께의 MMA계 방수제의 터프니스가 더 높은 것을 알 수 있었다. 이것으로 보아 MMA계 방수제의 균열에 대한 저항성이 구스 아스팔트보다 현저히 뛰어난 것을 알 수 있다.

동적안정도의 비교 분석 결과 구스 아스팔트의 경우 소성변형이(Rutting) 상당히 많이 발생한 반면 MMA계 방수제의 경우 20000회를 실시하여도 변형이 발생하지 않는 것을 알 수 있었다. 따라서 MMA계 방수제는 변형 저항성이 상당히 우수한 것으로 사료된다. 그림 9는 MMA계 방수제의 소성 변형량을 나타낸다.

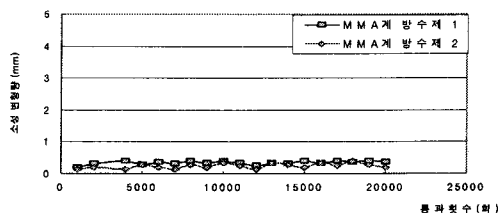


그림 9. MMA계 방수제의 소성 변형량



접착인장강도 시험을 통해서 교량상판(콘크리트 상판, 강상판, FRP상판)과 방수층(MMA계 방수제, 구스아스팔트) 사이의 상대적인 부착에 대한 역학적인 특성을 평가하였다. 그림 10처럼 MMA계 방수제는 교량상판과의 부착력이 상당히 우수한 것을 알 수 있다.

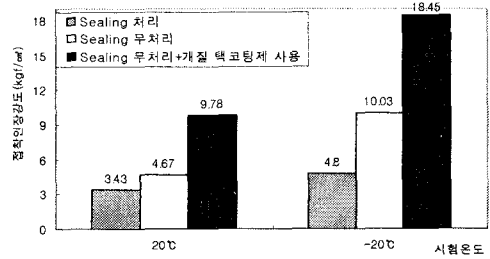
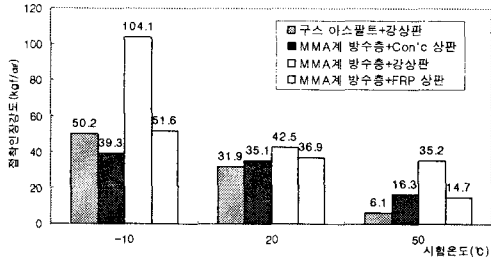


그림 10. 방수제와 상판과의 접착인장강도 비교 그림 11. Sealing 처리 유/무, 개질 텍코팅제에 따른 접착인장강도 비교

배수층과 방수층과의 접착인장성능을 확인하기 위하여 Sealing 유무에 의한 접착인장성능을 확인하였고, 그 결과 Sealing 무처리한 방수층의 부착성능이 우수함을 알 수 있었다. 그러나 KS 기준(20°C: 6kgf/cm², -20°C: 12kgf/cm²)을 만족하지 못하였다. 이는 방수층 위에 살포되는 규사층으로 인한 배수층과의 접착인장성능 감소로 판단된다. 따라서 아스팔트 함량과 폴리머 양을 증가시켜 고흡분을 높인 개질 텍코팅제를 이용하여 시험을 실시한 결과 그림 11처럼 품질기준을 만족하였다. 에폭시계 방수층 시스템의 접착인장강도 시험을 추가로 실시하였고, KS 기준인 20°C와 -20°C에서 시험을 실시하였으며, 그 결과 표 3과 같이 품질기준을 만족하였다.

표 3. 에폭시계 방수층의 접착인장강도

시험 종류	시험 온도		평균	평균
	20°C (kgf/cm ²)	-20°C (kgf/cm ²)		
에폭시계 방수층+배수층 (Sealing 무처리, 개질 텍코팅제 사용)	6.72	16.80	6.42	14.22
	6.12	11.63		

5. 현장 시험시공

장수명 교면포장 배수층 적용을 위한 혼합물에 대한 최적 다짐횟수 결정, 현장 투수성능 확인, 배수층 현장 적용성, 새로운 방수제에 대한 현장 적용성 확인과 같은 사항을 목적으로 교량부 현장 시험시공을 실시하였다. 시공절차는 표 4와 같다.

표 4. 시험시공 절차 및 상세 공정

시공분야	시공내용
방수층	- RESIN-S'CONC 하도재 도포
	- RESIN-S'CONC 중도재 도포
	- 규사층 살포
유공관	- 불순물 및 잉여 규사 제거
집착층	- 직경 1.5cm 유도배수관 설치
배수층	- BD 코트(텍코팅제의 종류) 시공
포장층	- 3cm 두께로 10mm이하 배수성 아스팔트 포설
	- 5cm 두께로 13mm이하 밀입도 포설

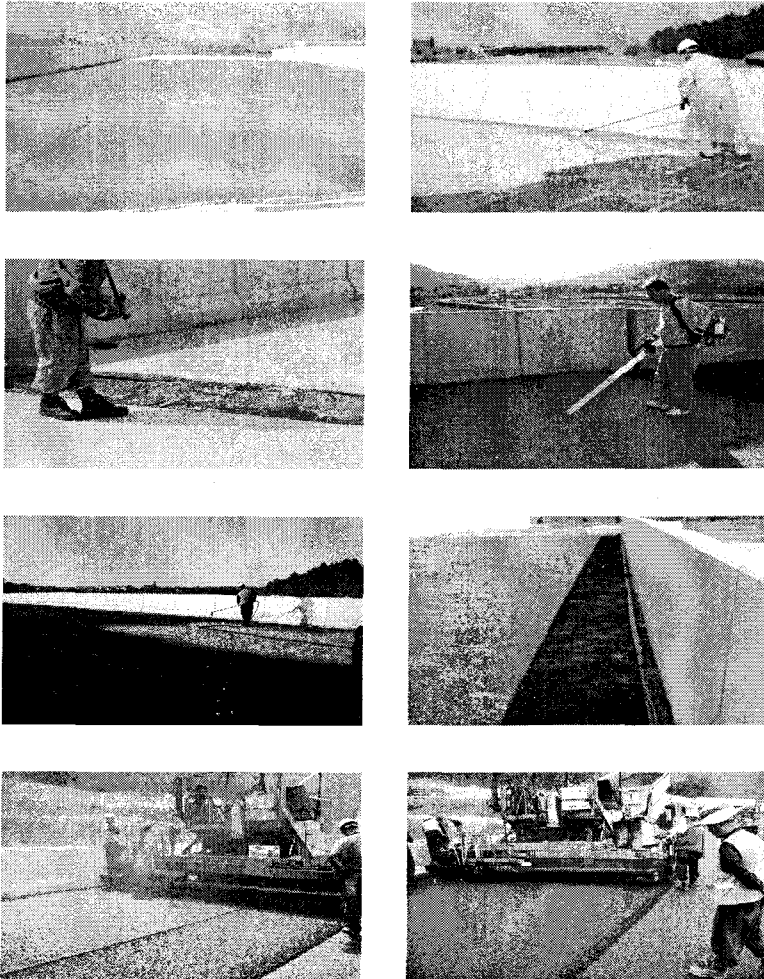


그림 12. 시험시공 상세공정

그림 12는 시험시공 과정을 자세히 보여주고 있다. 배수층의 경우는 PG 76-22 바인더를 사용한 배수성 혼합물을 3cm 두께로 시공하였고 그 위에 5cm 두께로 AP 5를 사용한 밀입도 혼합물을 포설하였다.

5.1 배수층 현장 적용 가능성 확인

장수명 교면포장 배수층은 최대입경 10mm의 혼합물로 구성되는데 국내에서 아직까지 최대입경 10mm의 배수성포장을 시공한 적이 없으므로 실내에서 개발한 혼합물이 현장에서도 적용이 가능한지를 판단해야 했다. 본 연구에서 개발한 배수층에 사용될 혼합물은 플랜트에서 생산이 가능하였으므로 현장에서 적용할 수 있는 것으로 확인되었다.

5.2 현장 다짐도를 통한 최적 다짐횟수 결정

현장다짐도를 통한 최적 다짐횟수를 결정하기 위해 5개의 section에서는 다짐 적용 횟수를 2~5회까지 다르게 하여 시공을 실시하였다. 현장다짐도는 실내밀도에 대한 현장밀도의 비를 나타내며 현장밀도는 실내밀도의 95% 이상 되도록 규정하고 있다. 그림 13에서 보는 바와 같이 다짐 3회 이상 실시하였을 때 현장다짐도가 규정인 실내밀도의 95% 이상이 되므로 개발한 혼합물의 최적 다짐횟수는 3~5회 정도임을 확인할 수 있었다.

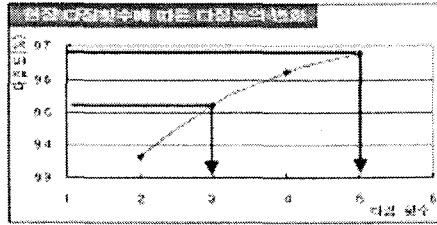


그림 13. 현장 다짐횟수에 따른다짐도 변화

5.3 현장 투수성능 확인

교량부 배수층 시공 완료 후 표면온도가 60℃ 정도될 때 물을 살수하여 현장 투수성능을 확인하였다. 그 결과 침투된 물은 그림 14와 같이 교량 가장자리에 설치된 유공관을 따라서 배수구 밖으로 유도배수 되는 것을 확인하였다.

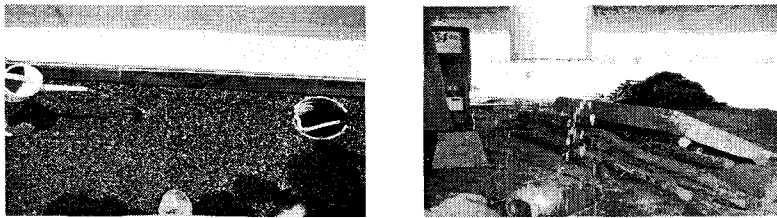


그림 14. 현장 투수성능 확인을 위한 살수 실시(좌) 및 침투수의 배출(우)

5.4 방수제에 대한 적용성 확인

본 연구를 통하여 MMA계 수지를 이용한 방수층을 개발하였으나, 현장 여건 및 대량 생산의 체계가 완비되지 않아 본 공법과 가장 유사한 공법을 채택하여 시험시공을 실시하였다. 따라서, 본 연구에서 개발된 방수제와 가장 유사한 공법인 RESIN-S' CONE 공법을 채택하였으며, 현장 적용시 시공상의 문제점 전혀 발견하지 못하였으므로 충분히 현장 적용이 가능한 것으로 판단된다.

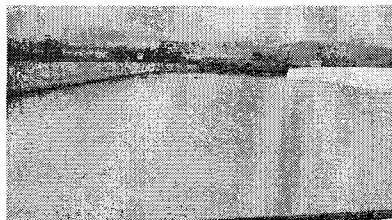


그림 15. 방수층 시공 후 전경

6. 결 론

장대교량 교면포장 수명연장을 위한 배수층은 포장층과 방수층 사이에 박층으로 위치하고 있어 최대입경이 작아야하므로 최대입경 10mm 골재를 사용하여 혼합물을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 혼합물의 상한 입도는 공극율이 17~18%를 만족하도록 결정하였고, 하한입도는 국내 배수성 포장에 일반적으로 사용하고



있는 최대입경 13mm 입도를 이동(shift) 시켜 공극율이 20~21%를 만족하도록 결정하였다. 최적 아스팔트 함량(OAC)을 결정하기 위해 드레인다운 손실율과 칸타브로 손실율로 아스팔트 함량을 결정하는 FHWA 배합 설계를 실시 및 공극율 확인을 통하여 OAC 5.2%를 결정하였다.

본 공법에 적용할 MMA계 방수제의 물성을 확인하기 위하여 실내 물성시험(저온 휨 시험, 접착인장강도 시험, 휠트래킹 시험)을 실시하였다. 그 결과 MMA계 방수제의 성능이 매우 우수한 것을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 배수시스템 및 방수제를 실제 교량구간에 적용하였을 때의 현장 적용성을 평가하고 이를 통하여 그 문제점 파악 및 시스템적인 공용성 평가를 위하여 덕산 온천교에서 시험시공을 실시하였다. 현장 배수성능 확인, 유공관 및 배수관의 설치위치 결정, 새로운 방수제에 대한 현장 적용성 확인 등의 목적으로 실시하였다. 교량의 양쪽 가장자리에서 종방향으로 배수구를 따라 유공관을 매설하였으며, 직접 살수를 통하여 현장 투수성능 및 유공관을 통한 유도배수를 확인하였다. 방수제로는 본 연구에서 적용한 MMA계 방수제를 사용 할 계획이었으나, 대량 생산시설의 미비로 인하여 가장 유사한 공법인 RESIN-S' CONE(에폭시계 방수제)을 사용하였으며 현장 적용가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발 사업지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 교면포장의 설계와 시공 일본 도로국.
2. 독일 교면포장 설계 시방서 Germany Road Institute.
3. 서울시 도로관리 사업소 유지보수 일지 (2003년도 보수일지).
4. 한국건설기술연구원 "국도 BMS 보고서"
5. Department of Civil Engineering, University of Bristol (1985). "Durability and stiffness of mastic asphalt on steel bridge deck plates loaded in flexure" TRL Report CR5, *Transport Research Laboratory*, Crowthorne, U.K.
6. Macdonald, M. D., (1996). "Waterproofing concrete bridge deck: Material and Methods" TRL Report CR636, *Transport Research Laboratory*, Crowthorne, U.K.
7. Price, A. R (1990). "Laboratory Tests on Waterproofing Systems for Concrete Bridge Decks" TRL Report 248, *Transport Research Laboratory*, Crowthorne, U.K.
8. Price, A. R (1991). "Waterproofing of concrete bridge decks: Site practice and failures" TRL Report RR317, *Transport Research Laboratory*, Crowthorne, U.K.
9. Stevenson, A., Evans, W. (1992). "The adhesion of bridge deck waterproofing materials" TRL Report CR325, *Transport Research Laboratory*, Crowthorne, U.K.
10. Vibeke Wegan, (2000). "Surfacing of Concrete Bridge" Danish Road Institute Report 106
12. Ylva Edwards and Pereric Westergren (2001). "Polymer modified waterproofing and pavement system ofr the High Coast Bridge in Sweden" Swedish National Road and Transport Research Institute. VTI rapport 430A