

온도조건이 교면방수시스템의 인장접착특성에 미치는 영향

The Effects of Temperature Conditions on the Tensile Adhesive Characteristic of the Bridge Decks Waterproofing Systems

이 병 덕*
Lee, Byung-Duck

박 성 기**
Park, Sung-Ki

김 도 형**
Kim, Do-Hyung

옥 창 권**
Ock, Chang-Kwon

ABSTRACT

In this study, tensile adhesive strength(TAS) test was carried out for evaluated the effects of temperature conditions(-20, -10, 5, 20, 30, 40℃) on the tensile adhesive characteristics about six waterproofing membranes which were commercially used in bridge decks. And, failure appearances of waterproofing systems in each temperature were investigated and observed the sawing surfaces of waterproofing systems for whether or not damaged of waterproofing membranes.

TAS test results were increased when test temperature was decrease in all waterproofing membrane. The type of failure was ductile in 30℃ and 40℃, but brittle failure below 20℃. This results were shown that if temperature above 30℃ is continued for a long time, waterproofing material will be damaged by softening and a part of membranes were damaged by hot aggregate in SMA. So we will consider the type of asphalt for choice of the waterproofing membranes.

1. 서 론

콘크리트 교량 바닥판에서의 방수재 시공은 우수 및 동절기 용빙제 살포로 인한 염화물의 침투를 방지하여 콘크리트 바닥판 콘크리트의 열화를 방지하고 철근의 부식을 방지하여 교량의 내구성을 증진시킨다는 측면에서 매우 중요한 요소로 작용하고 있다. 하지만, 그동안 교면방수는 단지 침투한 우수나 염화물의 침투를 방지시킨다는 단순한 개념에 의해 시공되어져 왔다. 그로 인해 현재 시공되어 있는 교면방수는 많은 문제점들을 나타내고 있다. 특히 교량바닥판 특성을 고려하지 않은 방수재 선정으로 인한 손상과 접착력의 부족으로 인한 포장층, 방수재, 콘크리트 바닥판의 탈리 등이 발생하여 교면포장의 손상을 야기하고 있다⁽¹⁾.

교면방수시스템의 성능평가 항목중에서 방수재 선정을 위한 평가 및 시공 중 시공성 평가를 위해 현장에서도 사용가능 한 시험방법으로 인장접착강도(Tensile Adhesive Strength) 시험을 들 수 있다. 현재 국내에서 교면방수 시스템의 평가방법으로 가장 널리 사용되고 있는 TAS 시험방법은 방수시스템의 성능평가항목으로 일본⁽²⁾을 포함하여, 국내에서도 성능평가 시험항목으로 많이 채택되고 있다. TAS 시험은 방수재 선정을 위한 평가기준을 제공하며, 시공 중 시공의 정도 평가를 위해 현장에서도 실시할 수 있는 시험항목으로 인식되어 지고 있다. 하지만, TAS 시험을 실시함에 있어 많은 영향인자들로 인하여 정확한 평가가 이루어지지 못하였고, 단지 정성적인 평가기준만을 제공하고 있는 실정이었다. 그 동안 TAS 시험은 현장 평가가 가능한 시험기의 개발⁽³⁾ 및 영향 인자 분석을 통해 시험결과와의 신뢰성 향상에 많은 노력을 기울여 왔고, 지금까지도 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 현장시험 결과에 많은 영향을 미치는 것으로 판단되는 시험시 대기온도의 영향을 분석하고자 노력중이며, 이를 위해 본 연구에서는 대기온도에 따른 포장층 깊이별 온도조사를 실시하여 대기온도와 포장층 깊이별 온도 분포 경향을 분석하였고, 이와 함께 실내에서 시험온도를 다르게 설정한 후 인장접착강도 시험을 실시하여, 온도 조건이 교면방수시스템의 접착특성에 미치는 영향을 분석하였다.

* 정회원. 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

** 정회원. 한국도로공사 도로연구소 연구원

2. 실험계획 및 방법

2.1 포장층 깊이별 온도계측

본 연구에서는 교면 포장 및 방수에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있는 대기 온도가 포장층 및 방수재에 미치는 영향을 분석하고자 포장층 깊이별 온도조사를 실시하였다. 온도계측을 위한 계측기를 바닥판 종류와 포장층 깊이를 다르게 하여 설치하였으며, 일반 성토부에서도 온도를 계측하였다. 포장층 깊이별 온도조사를 위해 표 1과 같이 7개의 고속도로 교량에 온도계측기를 설치하였으며, 그림 1은 설치된 온도계측기의 개요이다. 본 연구에서는 9월~10월에 실시된 서해대교 온도계측자료를 바탕으로 대기온도에 따른 포장내부의 온도변화를 관찰하였으며, 온도 계측은 20분 간격으로 연속으로 데이터 로거를 통해 저장한 후 1개월 단위로 데이터를 수집하였다.

표 1 온도계측기 설치 현황

교량명	강상판	콘크리트상판	지 반	비 고
서해대교		○	○	
굴현대교	○	○	○	
서부산낙동대교	○	○	○	
황성대교		○	○	
영종대교	○		○	설치예정
칠곡교		○	○	
기 타	국도 2개지역 추가 설치 예정			

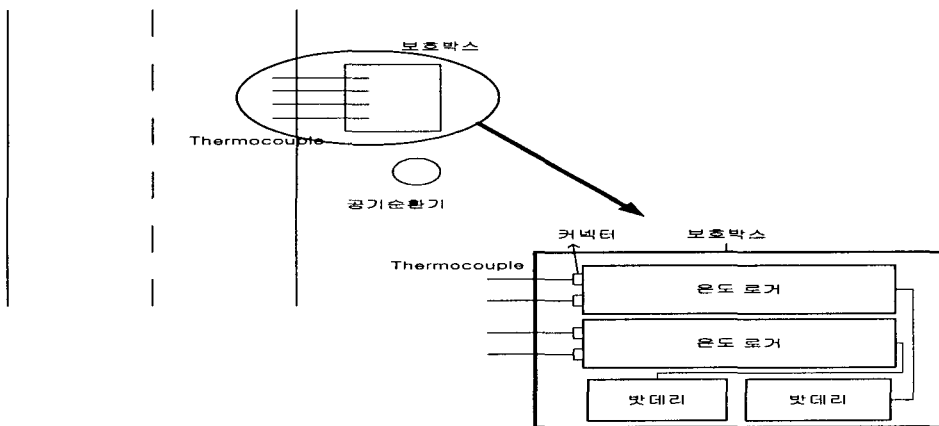


그림 1 온도 계측기 설치 개요도

2.2 온도별 인장접착강도

한국도로공사에서 제정한 교면방수재료의 성능시험기준 및 일본도로공단 규정에서는 인장접착강도 기준을 20℃와 -10℃에 대하여 규정하고 있다. 하지만 국내의 기후조건은 동절기 및 하절기의 구별이 명확하고 동절기와 하절기의 기온차가 크기 때문에 현재 규정되어 있는 시험조건에 맞춰 현장 평가를 실시하는데 많은 한계가 있다. 따라서 온도에 각기 다른 시험온도에서 얻어진 시험결과와 신뢰성을 높이기 위해 온도별 인장접착강도 시험을 실시하여 접착강도의 변화 경향을 파악하고자 하였다.

인장접착강도의 온도에 대한 영향을 분석하기 위해 설계강도 270kgf/cm²으로 제작된 시편에 각 계열별로 선택된 방수재를 도포하고 완전한 양생이 이루어진 후 아스팔트 혼합물을 포설하였다. 실험에

사용된 방수재 및 시험변수를 표 2에 정리하였으며, 선택된 방수재는 계열별로 현장에서의 사용이 빈번한 재료를 선택하였다. 표 2에 나타난 방수재 두께는 아스팔트 콘크리트를 포설 한 후 절단면 조사를 통해 측정된 방수층 두께이다. 포장층으로 선택된 아스팔트 혼합물은 SMA와 일반 밀입도 혼합물의 두가지로 하였으며, 포설시 온도는 SMA의 경우 155~160℃, 일반 밀입도 혼합물은 145~150℃가 되도록 하여 도포하였다.

표 2 방수재의 종류 및 시험변수

기호	방수재 구분	재 질	방수층 두께 (mm)	시험변수
A	도막식	클로로프렌 합성고무계	0.6~0.8mm	시험온도: -20, -10, 5, 20, 30, 40℃
B	시트식	합성섬유 부직포에 특수고무 아스팔트 합침	2.5~3.5mm	
C	시트식	특수접착제 + 미가황 고무시트	0.5~0.9mm	혼합물 종류: SMA, 일반 밀입도
D	복합식	SBR 고무 + 펠트(부직포)	1.5~3mm	
E	도막식	아크릴 폴리머계	0.8~1.0mm	
F	도막식	에폭시 수지계	-	

제작이 완료된 시편은 각기 다른 시험온도(-20, -10, 5, 20, 30, 40℃)에서 24시간 이상 방치하여 포장층과 방수재 표면에서의 온도평형이 이루어진 후 인장접착강도 시험을 실시하였다. 인장접착강도는 응력제어가 아닌 변위제어가 가능한 시험기를 사용하여 속도를 20mm/min으로 실시하였으며, 각 방수재에 대하여 온도변수별 8개소의 실험을 실시하였다. 인장접착강도 시험시 각 온도에서 더 이상의 하중 증가가 발생하지 않는 시점에서의 탈리 상태를 조사하였으며, 시험이 완료된 후 시험편을 절단하여 방수재의 상태를 육안으로 조사하여 골재의 침투여부 및 각 방수재별 두께 측정을 실시하였다.

3 시험결과 및 고찰

3.1 현장 온도계측 결과

서해대교에 설치된 온도계측기를 통해 9월에서 11월에 실시된 온도계측 결과를 통해 포장층 깊이별 온도 변화를 관찰하였으며, 그림 2와 그림 3은 각각 9월, 10월에 계측된 결과에서 5일간의 온도변화 경향을 나타낸 것이다.

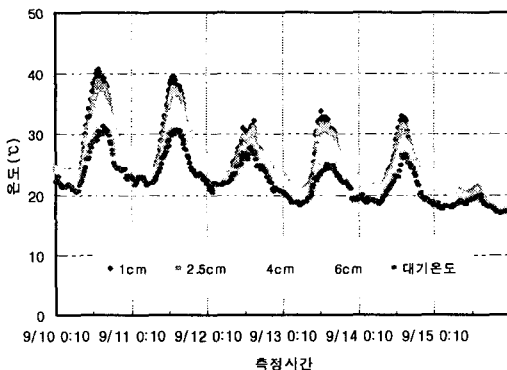


그림 3 서해대교 온도계측결과(9월)

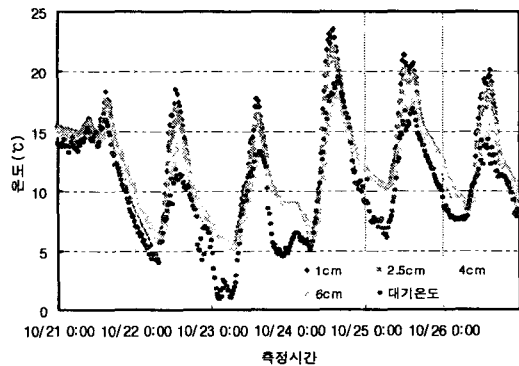


그림 4 서해대교 온도계측결과(10월)

계측된 온도값은 측정기간동안의 기상자료와도 영향이 있을 것으로 판단되지만, 본 연구에서는 포장층 깊이별 온도를 파악하여, 추후 깊이에 따른 온도 예측을 통하여 인장접착강도 시험당시 대기온도로 부터 방수재 표면에서의 온도를 분석한 후 인장접착강도 시험결과에 대한 기준의 합격 여부를 판정할

수 있는 자료로 삼고자 하였으므로 깊이에 따른 온도 변화에 대해서만 언급하였다.

온도계측결과에서 알 수 있듯이 포장층 깊이가 깊을수록 대기온도와 포장층 내부의 온도차이가 작게 나타났으며, 온도가 감소하는 야간에서는 대기온도가 먼저 최저 온도에 도달하고, 온도가 상승하는 부위에서는 포장층 표면부위에서 먼저 최고 온도에 도달하는 현상을 볼 수 있었다. 이는 포장층 내부의 온도 누적으로 온도 감소는 크지 않지만, 온도 증가는 급격하게 일어나기 때문이라 할 수 있다. 또한 대기 온도가 점차 감소하는 시점에서도 포장층 내부 온도는 급격하게 증가하는 하는 경향을 나타내었는데, 이러한 영향으로 대기온도가 크게 높아지는 하절기의 교면포장 파손이 많은 원인을 제공하는 것으로 판단되며, 이러한 포장층의 온도증가 및 누적된 열로 인해 교면방수에서도 연화거동이 발생하여 접착강도 및 기포발생부의 부풀림을 야기시켜 방수재 하자를 발생시키는 것으로 판단된다.

포장깊이별 온도계측은 앞으로도 계속 이루어질 것이며, 특히 하절기를 거친 포장층의 온도변화 경향에 대하여 주목해야 할 것으로 생각된다.

3.2 온도별 인장접착강도 시험결과

각 방수재에 대하여 인장접착강도와 온도와의 관계를 혼합물별로 구분하여 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 온도변수로 선정된 온도인 -20, -10, 5, 20, 30, 40℃에 대하여 동일한 시험조건으로 시험을 실시하였으며, 그림 6과 7은 20℃를 기준으로 분석한 온도별 인장접착강도 증가율이다.

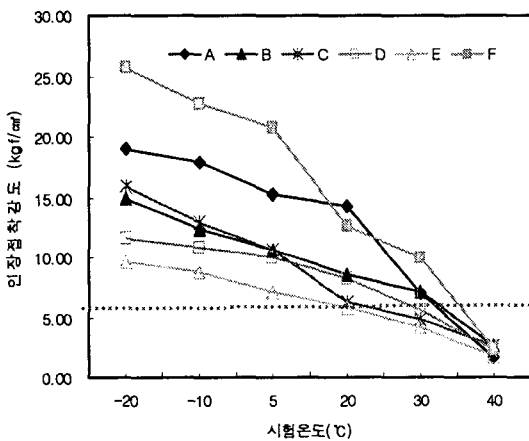


그림 5 온도별 인장접착강도 시험결과(SMA)

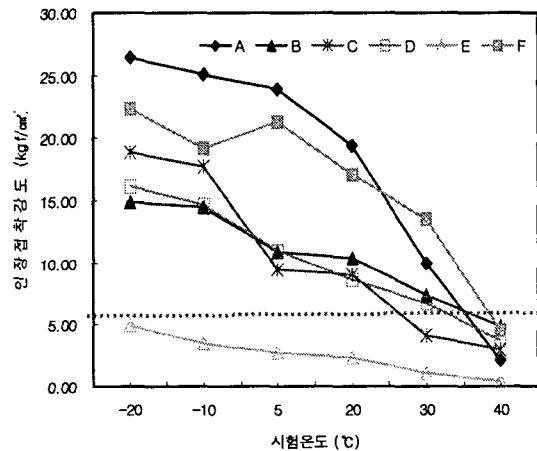


그림 6 온도별 인장접착강도 시험결과(밀입도)

시험된 방수재 A의 경우, 혼합물에 따라 결과값이 크게 다른 경향을 나타내었는데, 이러한 결과는 SMA의 혼합물의 경우가 포설시 혼합물의 온도가 높고, 굵은 골재의 양이 많기 때문에 방수재가 손상을 입을 가능성이 더 크다는 판단을 할 수 있게 하며, 시험이 완료된 후 시험편 절단 결과에서도 SMA 혼합물을 포설한 시험편에서 골재에 의한 방수재 손상이 관찰되었다.

방수재 B의 경우 일반 밀입도 혼합물을 포설한 경우와 SMA를 포설한 경우 모두 결과 값 및 증가 경향에 있어 큰 차이를 나타내지 않았다. 이러한 이유로는 방수재 B의 경우 공장에서 제조되는 시트 제품으로 일정한 두께로 유지되어 시공되기 때문에 혼합물 종류 및 온도에 대한 영향이 적기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 절단면 관찰결과 아스팔트 콘크리트 포설 후 형성된 방수층의 두께는 SMA 혼합물(2~2.5mm)에서 보다 일반 밀입도 혼합물(3~3.5mm)을 포설한 경우가 더 두껍게 나타났다.

방수재 C의 경우 제품 특성상 인장접착강도가 각 시험온도에 상당히 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 이러한 시험결과는 대기온도가 포장층 내부온도뿐만 아니라 방수재 자체의 온도에도 많은 영향을 주며, 포장층과 방수재 계면에서의 접착력에 상당한 영향을 줄 수 있다는 것을 나타낸다.

방수재 D의 경우 SMA 혼합물에서는 온도 감소에 따라 접착강도 증가폭이 점차 감소하는 것으로 나타났으나, 밀입도 혼합물에서는 5℃를 기준으로 증가폭이 현저히 증가하였다. 이러한 결과는 대기온

도가 상온을 장기간 유지하게 되는 국내의 늦은 봄부터 늦은 가을까지 포장 및 방수재 자체에서 대기 온도의 영향에 접착력이 현저히 낮거나 열에 온도에 민감하게 반응하는 방수재를 선택했을 경우, 방수재 밀입이나 포장층의 파손을 야기할 수 있다는 것을 보여준다.

방수재 E의 경우 다른 방수재와는 달리 인장접착강도가 현저히 떨어지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 방수재 선정시 적용되는 혼합물의 종류에 대하여 고려되어야 하며 방수재 특성에 대한 명확한 분석이 이루어져야 한다는 것을 명확하게 보여주는 예라 할 수 있다.

방수재 F의 경우 SMA 혼합물에서 20℃를 기준으로 접착강도의 증가가 크게 나타났다. 하지만, 시험온도가 낮을수록 접착력 증가로 인한 접착시험용 디스크의 탈리가 많이 발생하여, 정확한 접착평가에 어려움이 있었다. 특히 일반 밀입도 혼합물의 경우, 접착용 에폭시가 온도 저하로 인해 취성화되어 정확한 접착력을 발휘하지 못해 5℃에서는 오히려 접착력이 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만, 방수재 F의 경우 에폭시 수지계열의 방수재이므로 기존의 연구 및 그동안의 연구결과를 볼 때 접착력에 있어서는 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

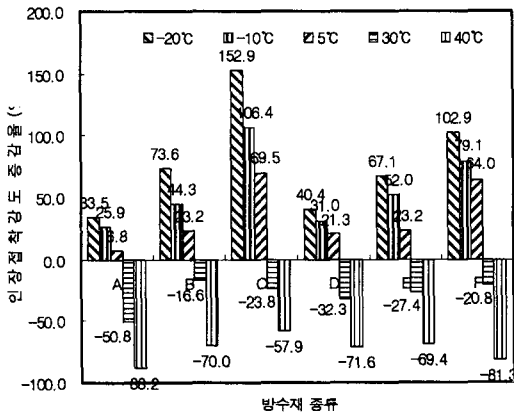


그림 7 온도별 인장접착강도 증감율(SMA)

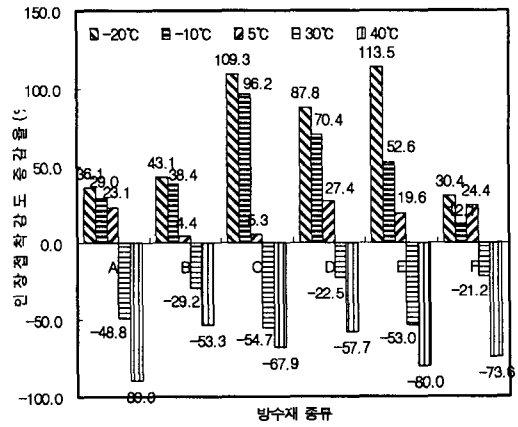


그림 8 온도별 인장접착강도 증감율(밀입도)

온도별 인장접착강도 시험결과를 20℃에서 시험된 결과값을 기준으로 증감율을 조사하였다. 위 그림에서 알 수 있듯이 혼합물에 따라 약간의 차이는 있지만, 각 온도별 접착강도의 변화는 일정한 양상을 보여주고 있다. 또한 본 연구와 관련하여 시험시공을 통해 현장에서도 주기별로 인장접착강도 시험을 실시하여 실내에서 실험결과와 현장에서의 실험결과 차이를 분석하여 대기온도에 따른 현장인장접착강도 시험결과 신뢰성을 높일 수 있는 최적의 보정계수를 산정하고자 한다.

3.3 절단면 관찰결과

인장접착강도 시험시 각 방수재별 파괴형태를 표 3에 정리하였다. 파괴형태는 시험온도별로 약간의 차이를 나타냈는데, 이러한 파괴형태의 조사를 통해 방수재 자체가 온도에 받는 영향 정도를 조사하고자 하였다. 또한 온도가 크게 증가할 경우, 혼합물 자체의 인장력의 저하로 인해 계면에서의 파괴가 발생하지 않고 아스팔트 콘크리트의 응집파괴가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 현장에서의 인장접착강도의 정확한 평가를 위해서는 포장층의 인장강도가 크게 저하하지 않는 시점을 고려하여 실시해야 할 것으로 판단되며, 또한 절단면관찰을 통해 아스팔트 콘크리트 포설시 골재에 의한 방수재 손상 여부를 관찰할 수 있었으며, 관찰결과 SMA 혼합물의 경우가 일반 밀입도 혼합물을 포설한 경우보다 골재에 의한 방수재 손상 및 시공 후 방수재 두께가 얇게 형성된다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 방수재 선정에 있어서 혼합물이 미치는 영향을 신중하게 고려해야 하며, 골재에 의해 파손된 부위에서는 수분의 침투가 가능하고, 이로 인해 접착력도 급격히 저하될 수 있을 것으로 판단된다.

표 3 접착시험에 의한 파괴형태

기 호	방수재 구 분	시험온도(℃)											
		-20		-10		5		20		30		40	
		SMA	일반	SMA	일반	SMA	일반	SMA	일반	SMA	일반	SMA	일반
A	도막식	E	E	E	E	E	E	B	C	B	B	A	B
B	시트식	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	C
C	시트식	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
D	복합식	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A
E	도막식	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
F	도막식	F	F	F	F	F	F	F	F	A	F	A	A

- 주) A : 아스팔트 콘크리트의 응집파괴
 B : 아스팔트 콘크리트 포장층과 방수재 계면파괴
 C : 방수층의 응집 파괴
 D : 방수층과 콘크리트 바닥판 계면파괴
 E : 콘크리트의 응집파괴
 F : 디스크 탈리

4. 결 론

온도조건에 따른 교면방수시스템의 접착특성 평가를 위해 실시된 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 인장접착강도는 방수재의 종류에 상관없이 온도가 증가함에 따라 감소하고 온도가 감소함에 따라 증가함을 알 수 있었다.
- (2) 현재 -10℃ 및 20℃로 규정되어 있는 인장접착강도 기준으로 인해 현장에서의 방수시스템 상시 평가에 많은 한계를 나타내고 있다. 따라서 본 연구를 통해 얻어진 결과를 통해 온도별 보정계수를 산정함으로써 이러한 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단되며, 더불어 교면방수시스템의 공용성 평가에 기여할 수 있을 것이다.
- (3) 인장접착강도 시험시 파괴형태의 조사는 결과 30℃와 40℃에서는 연성파괴 현상을 나타내었는데, 이러한 결과는 대기온도가 30℃ 이상을 오랫동안 지속될 경우 포장체 및 방수재에서 연화에 의한 변형 발생이 가능하다는 것을 예측할 수 있었다. 반면에 20℃ 이하에서는 취성파괴가 발생하는 것으로 나타났다.
- (4) 시험체 절단면 관찰을 통해 아스팔트 혼합물 종류에 따라 방수재 종류별로 방수두께의 규정이 필요할 것으로 나타났으며, 특히 아스팔트 혼합물 포설시 온도의 철저한 관리가 방수시스템의 접착력 및 장기공용성에 있어 매우 중요한 인자라는 것을 알 수 있었다.
- (5) 포장층 깊이에 따라 온도변화가 다르게 나타나므로 인해 포장층의 조기손상 방지를 위한 하부층과 상부층의 혼합물 종류를 구분하여 시공해야 한다는 것을 알 수 있었고, 현장에서 교면방수시스템의 성능을 평가하는데 있어 접착강도 측정시 대기온도를 기준으로 하여 측정값을 규정하는 것이 한계가 있으며, 대기온도보다는 포장층과 방수재 계면, 혹은 방수재와 콘크리트 바닥판 계면에서의 온도가 보다 정확한 접착강도 값을 반영할 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. "NCHRP Synthesis of Highway Practice 4 : Concrete Bridge Deck Durability," Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1970.
2. "콘크리트 상판 방수공," 일본도로공단 시험연구소, 재료시공연구자료, 제4호.
3. "교면포장재료 및 모사시험기 개발연구," 한국도로공사 도로교통기술원, 1999.