

콘크리트 표면 함수비에 따른 교면방수재료의 인장접착성능

Adhesive Performance of Waterproofing System on Concrete Substrate with Moisture Condition

박성기* 심재원* 이병덕***
Park, Sung Ki Shim, Jae Won Lee, Byung Duk

ABSTRACT

Poor water-proofing integrity is related to many factors : site procedure, workmanship, weather, substrate conditions, installation(including asphalt application) conditions. The evaluation of adhesive properties tested by concrete surface moisture and asphalt application was based on laboratory test and observations. This report describes the pull-off test results of waterproofing systems currently used for installing and repairing for concrete bridge decks. The test results showed that the moisture condition fully affected the adhesive properties of sheet membranes and sealer but partially for liquid membranes.

1. 서론

철근콘크리트 상판의 열화는 환경조건이나 구조조건에 의하여 전개되지만, 손상부나 상판 단부 등을 통해 유입된 물이 상판내부로 침투하여 콘크리트의 열화나 철근부식을 촉진하고 나아가 상판의 내구성을 현저히 저하시킨다는 것은 이미 많은 연구를 통해 보고되고 있다.⁽¹⁾ 이와 같은 손상의 보수는 막대한 비용을 요함은 물론 공사 중의 통행제한으로 교통정체를 야기시키는 등 사용상 미치는 영향은 대단히 크다. 따라서 교량의 시공 시 콘크리트 상판을 물이나 염화물로부터 보호하기 위해 다양한 종류의 방수시스템을 채택하고 있지만, 시공중이나 사용중 다양한 요인들에 의해 pot-hole, pin-hole, rutting, 그리고 blistering 등의 하자가 발생하고 있다. 이러한 하자의 주된 원인의 하나로 방수재료의 접착력(adhesive) 상실을 생각할 수 있다. 방수시스템의 접착력은 콘크리트 상판의 마무리 상태뿐 아니라 주변온도, 콘크리트 표면의 수분함량, 방수재 양생, 아스콘 포설온도, 그리고 작업자의 숙련도 및 정확한 시공검사 등에 영향을 받는다. 또한 포장층의 균열이나 갯길, 중앙분리대 등의 연결부를 통해 침투한 물의 체수로 접착력이 저하하여 하자가 발생하기도 한다.⁽²⁾⁽³⁾

일반적으로 방수층의 설치 시, 상판의 보수시에 이루어지며, 방수층의 설계에 있어서는 적용 부위의 상황을 정확히 판단하여 최적의 방수층을 선택하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 신설 교량이나 교량 보수시 콘크리트 상판의 물 청소, 또는 강우로 인한 수분 침투 및 조급한 시공으로 발생할 수 있는 방수층의 접착특성을 평가하고자, 콘크리트 상판 함수비에 따른 방수층의 인장접착 성능과 방수재 포설 후, 양생시기에 따른 방수재별 인장접착 성능을 평가하고자 하였다.

2. 교면방수재료 접착성능

2.1 교면방수재료의 접착특성

방수재의 손상은 일반적으로 콘크리트와 방수재 사이의 접착력의 손실과 관계가 있다. 대부분의 방수재는 온후한 기상조건에서 적절하게 하지처리된 교면에 설치되며, 철저히 시공된 경우에 양호한 접착성능을 보여준다.⁽⁴⁾

* 정회원. 한국도로공사 도로연구소 연구원
** 정회원. 한국도로공사 도로연구소 연구원
*** 정회원. 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

콘크리트와 방수재 사이의 접착력 상실은 주로 기상조건, 콘크리트의 상태, 하지처리, 작업자의 숙련도 및 품질관리 등과 관계가 있으며, 이러한 인자들은 독립적으로, 혹은 복잡한 상호작용에 의해 접착력의 손실에 영향을 미친다.

콘크리트의 양생시간, batch 및 현장조건 등의 차이는 동일한 방수재라도 다른 접착특성을 보이고, 불량한 표면마감은 pin-hole을 유도하며, 기포발생의 원인이 되기도 한다. 특히, 고르지 못한 절삭면이나 유출된 기름, 제거하지 못한 기존 방수재는 계면접착을 방해하는 요인으로 작용한다. 또한, 콘크리트 표면의 수분은 주변온도의 상승이나 아스콘 포설로 온도가 상승하면 기포를 발생시켜 방수재 탈락의 원인을 제공하기도 한다. 따라서 방수재와 환경조건을 충분히 숙지해야만 건전한 접착력을 기대할 수 있다.

2.2 교면방수재료의 접착성능 평가 방법

방수시스템은 차량의 통행, 교량의 진동이나 충격하중으로 인해 성능이 저하하는 경우가 빈번하다. 방수층의 접착력이 부족하면 교량 상판 콘크리트나 아스콘과의 계면에서 탈리가 발생하며, 또한 차량의 급제동이나 급가속 등에 의해 발생하는 전단력으로 인해 아스팔트의 밀림이 발생하므로 방수층의 저항 정도를 측정하는 것은 방수재의 성능평가에 있어 대단히 중요한 항목이라 할 수 있다.

방수시스템의 성능평가는 주로 콘크리트와 방수재의 접착성, 또는 방수재와 아스콘의 접착성을 평가하기 위해 실시되며, 접착성능 평가를 위해 포장면과 수직방향의 인장력을 가하여 파괴시의 최대하중을 측정하는 인장접착시험(그림 1)과 포장에 발생하는 전단력에 의한 포장의 밀림에 대한 방수층의 저항 정도를 평가하는 전단접착시험(그림 2)이 있다.⁽⁵⁾

교면에 방수재를 시공하고 아스콘을 포설하는 경우, 방수층의 손상 및 콘크리트와 방수재의 접착상태, 또는 방수재와 아스콘의 접착상태를 평가하기란 쉽지 않다. 따라서 현장에서 직접 접착성능을 평가하는 것은 대단히 중요한 성능평가 항목이라 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 전단접착시험 방법은 현장에서 직접 실시하는 것이 불가능하지만, 인장접착시험은 현장에서 직접 방수시스템의 성능을 평가할 수 있다. 인장접착시험도 아스콘 포장에 코어를 채취함으로써 다소의 손상이 예상되지만, 포장의 공용성 측면에서 큰 손상 없이 방수시스템의 성능을 평가할 수 있고, 간단한 장비를 사용함으로써 차량의 교통흐름의 방해 없이도 실시가 가능하다.⁽⁵⁾

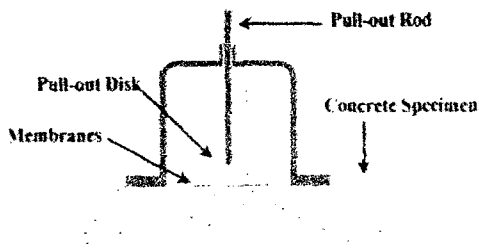


그림 1 인장접착강도 시험원리

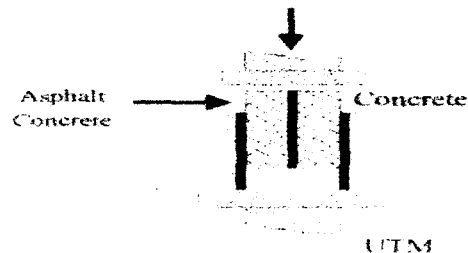


그림 2 전단강도 시험원리

3. 교면방수재료의 인장접착 성능시험 및 결과고찰

3.1 개요

교면 방수층에 대한 시험은 재료 자체만의 시험이 아니고, 실제로 적용되는 방수시스템에 대한 시험이므로 콘크리트나 아스팔트 콘크리트 등과 일체화된 상태에서 시험하였다. 각각의 방수재료는 서로 다른 특성을 가지므로, 각 방수재의 시방에 맞는 시공을 위해 각 방수재를 생산하여 시공하는 업체에서 직접 시편에 시공하는 것으로 하였다.

교면방수재료의 인장접착 성능시험을 위해 본 연구에서는 시트식 3종, 도막식 5종, 침투식 1종, 복합식 1종의 총 10종의 방수재료에 대하여 실험을 실시하였으며, 실험 변수는 콘크리트 상판의 표면 함수

비와 방수재 재령으로 하였다. 표층 아스콘은 최근 특히 사용이 많은 SMA 혼합물을 사용하였다.

3.2 교면방수재료 성능시험

3.2.1 콘크리트 공시체 제작

콘크리트 공시체는 표 1에 나타난 배합표에 의해서 KS F 2425에 따라 알루미늄제 몰드(300×300×150mm)로 제작되었다. 공시체는 방수재 도포 후 아스콘 포설을 위하여 300×300×100mm 크기로 제작되었다.

표 1 성능시험용 콘크리트 배합표

골재최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	w/c	S/a	단위량(kg/m ³)					
					물	시멘트	잔골재	굵은골재	AE 감수제	유동화제
25	15	4.5	46	44	152	330	801	1051	0.30C	0.20C

3.2.2 방수재 도포

시트식 방수재의 경우에는 하지면을 연마기로 정리하고, 도포한 프라이머의 건조상태를 확인 한 후, 토치램프로 부착하거나, 자착식으로 콘크리트 표면에 부착하였다.

도막식 방수재의 경우에는 시공공정에 약간의 차이가 있으나, 일반적으로 먼처리와 프라이머 도포 후, 제품에 따라 프라이머를 1, 2차로 도포거나 방수재를 2회 이상 도포하고, 방수재 보호층을 적용하기도 하였다.

침투식 방수재의 경우에는 물과 희석된 액상의 방수재이므로 스프레이를 사용하여 도포하였으며, 복합식 방수재의 경우에는 프라이머의 건조상태 확인 후 도막재를 도포하고, 즉시 시트를 부착하여 시공을 완료하였다.

3.2.3 아스콘 포설

본 연구에서는 포장층으로 최근 사용이 많이 증가하고 있는 SMA 혼합물을 사용하였으며, 아스팔트 표층의 포설두께는 5cm로 하였다. 배합비에 의해 계량된 골재를 165℃의 온도에서 4시간동안 가열한 후 아스팔트 혼합믹서로 4단계 속도로 분할 비빔을 실시하였으며, 배합이 완료된 혼합물을 다시 오븐기에 넣고 혼합물 온도가 150℃가 될 때까지 다시 가열하였다. 적정 온도에 도달한 혼합물을 몰드에 넣고 휠트랙킹 다짐기에 의해 5kgf/cm²의 하중으로 75회 다짐을 실시하였다. 아스콘 포설 및 다짐 장면을 그림 3에 나타내었다.



그림 3 아스콘 포설 및 다짐

3.2.4 접착강도 실험

본 연구에서는 접착성능 평가를 위해 주문·제작된 공기압축 접착강도시험기로 상온(20℃)에서 아스콘과 방수재, 방수재와 콘크리트의 접착강도를 평가하였다. 실험을 위하여 방수재가 도포된 시편과 방수재 위에 아스콘이 포설된 시편을 코어채취기를 이용하여 지름 10cm의 코어를 모든 시편에서 동일하게 콘크리트 표면으로부터 0.5cm 되는 지점까지 절취하고 수분이 충분히 마를 수 있도록 방치하였다. 수분을 완전히 건조시킨 후 에폭시를 사용하여 접착강도 측정용 디스크를 부착하였다. 접착강도 측정용 디스크를 부착한 후 에폭시가 완전히 경화하도록 24시간 동안 방치한 후 실험을 실시하였다.

본 연구에서는 하중재하 속도를 $1\text{kgf/cm}^2/\text{sec}$ 로 하여 동일한 방수재에 대하여 총 4회의 실험을 실시하였다. 그림 4에 접착강도 측정용 디스크를 부착한 시편과 접착강도 실험장치, 그리고 강도 측정용 로드셀을 나타내었다.

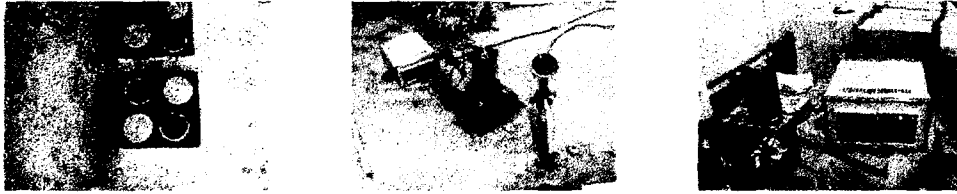


그림 4 인장접착강도 시험장치

3.3 실험결과 및 고찰

3.3.1 시트식 방수재

재령 2일과 14일에서 접착강도 실험을 실시한 결과, 방수재료와 아스콘 사이의 접착은 양호한 것으로 나타났지만, 콘크리트와 방수재의 접착력은 크지 않은 것으로 나타났다(그림 5). 또한 시트식방수재에서는 방수재 재령에 따른 영향이 크지 않았지만, 표면 함수비는 접착강도에 큰 영향이 있는 것을 알 수 있었다. 따라서 시트식 방수재의 경우 표면 함수비에 대한 관리가 철저하게 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한 토치로 가열하여 접착하는 방수재의 경우 하지가열로 인해 표면 함수비의 영향이 감소하는 것을 알 수 있었다.

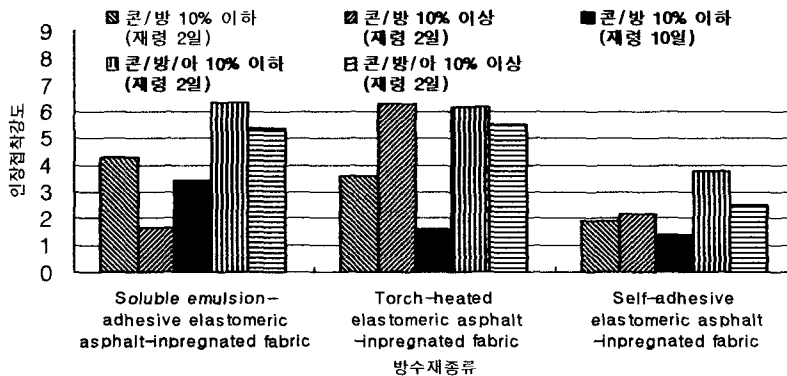


그림 5 시트식방수재 인장접착 실험결과

3.3.2 도막식 방수재

콘크리트/방수재에서는 2일과 14일에서 실험을 실시하고, 콘크리트/방수재/아스콘에 대해서는 2일과 10일에 대하여 실험을 실시하였으며, 시험결과를 그림 6에 나타내었다.

고분자아크릴수지계와 무기질탄성도막계의 경우, 방수재의 특성상 콘크리트와 방수재의 접착강도 시험을 도포 후 2일 재령에서 실시하였으며, 아스콘 포설도 동일한 재령에서 실시하였다. 이들 방수재료의 경우는 수분에 대한 영향이 크지 않았고 오히려, 제조업체의 주장과 같이 수분이 많은 경우가 시공시 유리하다는 것을 알 수 있었다. 또한 아스콘 포설 후의 접착강도 시험결과, 아스콘과의 접착도 우수하다는 것을 알 수 있었다. 하지만, 무기질탄성도막계에서는 아스콘의 접착에 있어서는 접착력에 대한 수분의 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

폴리우레탄수지계는 콘크리트와 방수재 사이의 인장접착강도 값은 콘크리트 표면 함수비에 따라 약

간의 차이를 나타내었지만, 시간이 지날수록 차이는 크지 않았다. 하지만, 아스콘을 포설한 경우 재령 2일과 10일에서 모두 매우 낮은 접착강도 값을 나타내었다. 따라서 방수재 도포 후 정확한 재령을 준수하여 텍코팅과 같은 별도의 조치를 취해야 할 것으로 사료된다.

클로로프렌합성고분자계는 콘크리트와 방수재 사이의 접착강도가 재령과 표면 수분함량에 따라 차이가 크게 나타났다. 재령 2일의 실험결과에서는 접착강도 저하는 수분의 영향보다는 방수재 차체의 파손에 의한 탈리로 사료되며, 아스콘 포설시에도 아스콘에 혼합된 골재에 의해 방수재가 심하게 파손되는 것을 알 수 있었다. 재령 10일에서 시험된 경우에는 수분함량에 의한 차이가 크게 나타났으며, 아스콘을 포설한 경우에도 동일한 경향을 나타내었다. 재령 10일에서는 아스콘 포설 시 골재에 의한 방수재의 손상은 나타나지 않았으며, 파괴 형상은 아스콘이 탈리되는 형태로 나타났다. 따라서 본 방수재는 콘크리트 표면의 수분함량에 대하여 민감한 영향을 받으며, 방수재 도포 완료 후 아스콘 포설까지의 재령을 명확하게 지켜 시공해야 할 것으로 사료된다.

무용제에폭시수지계는 신속한 시공(3시간 이내 아스콘포설)을 목적으로 한 제품으로 교면포장 보수 시 적합할 것으로 사료되며, 재령 2일, 10일에서 시험을 실시한 결과, 우수한 접착력을 나타내었고, 표면 수분함량에 의해 결과에 다소의 차이를 나타내었다.

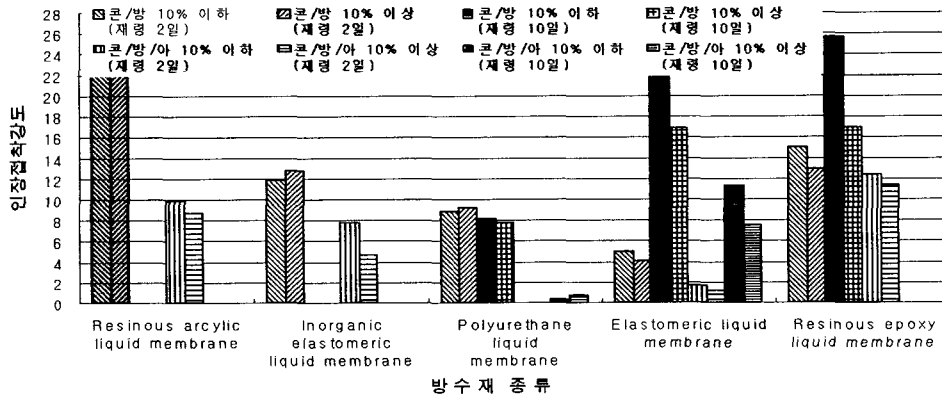


그림 6 도막식방수재 인장접착 실험결과

3.3.3 복합식방수재

복합식 방수재의 경우 160~190℃로 용융된 도막재료를 콘크리트 상판에 부어 고르게 도포한 후 바로 시트재료를 부착하는 방법으로 시공되는 방식으로, 시트식과 마찬가지로 재령 2일에서 아스콘을 포설하여 인장접착강도 시험을 실시하였다.

복합식 방수재의 경우 시공 시 도막재료의 온도가 지나치게 낮거나 조절이 잘못될 경우, 접착강도에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다. 도막재료가 높은 온도에서 도포되므로 수분에 의한 영향보다는 도막재료의 도포 시 온도가 접착강도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 사료되며, 접착강도 시험결과 파괴 형상은 주로 도막재료가 콘크리트 상면으로부터 탈리되는 것으로 볼 때, 도막재료의 시공에 있어 세심한 주의가 필요할 것으로 사료된다(그림 7).

3.3.4 침투식방수재

침투식 방수재는 콘크리트 표면으로부터 공극으로 침투되어 수분을 억제하는 기능을 제공하므로 콘크리트와 방수재 사이의 접착강도 시험을 실시하는 것은 불가능하므로 아스콘을 포설하고 이에 대한 인장접착강도 시험을 실시하였다. 시험은 아스콘 포설은 방수재 살포 후 2일, 10일에서 각각 실시한 결과, 방수재를 도포하고 단시간내에 아스콘을 포설하는 것이 유리하다는 것과 함수비의 영향도 크다는 것을 알 수 있었다(그림 7).

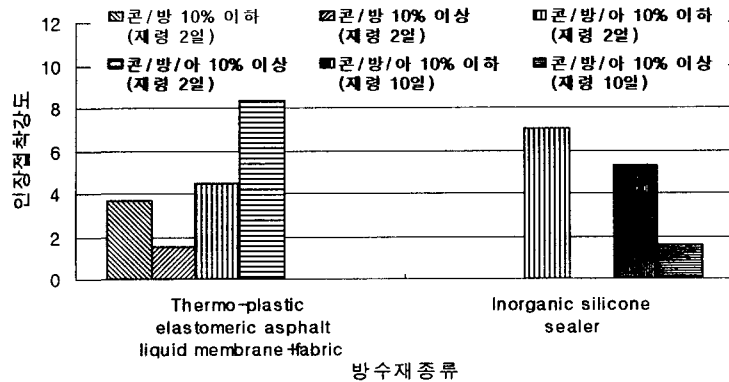


그림 7 복합식 및 침투식방수재 인장접착 실험결과

4. 결론

콘크리트 표면 함수비와 방수재 재령에 따른 방수재 접착특성 실험을 바탕으로 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시트방수재의 경우 콘크리트 표면 함수비에 의해 콘크리트와 방수재 사이의 접착력의 감소가 큰 것으로 나타났으며, 시공에 있어 이에 대한 충분한 대책이 이루어져야 할 것으로 사료되며, 방수재 도포후 아스콘 포설까지 너무 오랜 시간 방치할 경우 접착력의 손실이 발생하는 것으로 나타났다.
2. 도막식방수재의 인장접착성능 실험에서는 콘크리트 표면 수분함량과 방수재 재령에 대한 영향이 제품별로 차이가 있지만, 일반적으로 수분 증발에 의한 기포 발생으로 pin-hole 발생 가능성이 커 접착에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 방수재 도포후 일정 기간동안 충분한 양생을 실시해야 제품의 특성을 완전히 발휘하는 것을 알 수 있었다.
3. 복합식 방수재의 도막재료는 160~190℃로 용융된 재료 위에 바로 시트재료를 부착하는 시공절차를 가지므로, 10% 전후의 함수비에는 큰 영향이 없는 것으로 사료되며, 다만 도막재료의 취급의 어려움으로 인한 포설 불량에 접착에 영향이 있을 것으로 사료된다.
4. 침투식 방수재에서는 수분에 대한 영향이 큰 것을 알 수 있으며, 방수재 도포 후 오랜시간 방치될 수록 접착력이 저하하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. "NCHRP Synthesis of Highway Practice 4: Concrete Bridge Deck Durability," Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp. 28, 1970.
2. Price A. R., (1989) "A Field Trial of Waterproofing System for Concrete Bridge Decks", Department of Transport Research Report RR 185, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berks, 1989.
3. Price A. R., "Waterproofing of Concrete Bridge Decks : Site Practice & Failure", Department of Transport Research Report RR 317, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berks, 1991.
4. 일본도로공단, "재료시공자료(제4호)-콘크리트상판방수공", 일본도로공단 시험연구소, 1994.
5. 일본도로협회, "도로교 철근콘크리트 상판 방수층 설계·시공자료", 1987