

바닥판 조건에 따른 교면방수 시스템의 인장접착 특성

Tensile Adhesive Characteristics of Waterproofing System for Concrete Bridge Decks

이 병 덕* 박 성 기** 심 재 원** 정 해 문* 김 광 우***
Lee, Byung Duck Park, Sung Ki Shim, Jae Won Cheong, Hai Moon Kim, Kwang Woo

ABSTRACT

The waterproofing system's performance is known to show a determining by complex interaction of material factors, design details, and the quality of construction, and the waterproofing integrity of waterproofing membranes is determined by the bond to the deck and the amount of damage to the waterproofing membrane. In this research, the basic properties of waterproofing membranes on market and the tensile adhesive characteristics of waterproofing systems of concrete bridge deck have also been investigated in the view of the damages frequently reported from job site.

As a results of tensile adhesive strength of waterproofing system, tensile strength is decrease with surface moisture contents except for inorganic-elastomeric liquid waterproofing membrane, and increase with strength of deck slab. Also tensile adhesive strength is generally increase in case of moisture curing of specimen because of pore structure and surface leveling. The after asphalt concrete paving tends to increase more than before those. The results of the liquid waterproofing membranes are upside-down, and the more concrete has strength, the more strength of tensile adhesive increase. The ambient temperature and the rolling temperature of asphalt concrete when application of the waterproofing membrane has considerable influence on the performance of waterproofing system.

1. 서 론

콘크리트 교량 구조물의 내구성을 좌우하는 요소중의 하나인 교면방수는 시공의 어려움과 하자발생이 빈번하여 외국에서도 과거에는 기피하였으나, 바닥판의 성능저하에 대한 물의 영향, 특히 동절기의 제설제인 염화물에 대한 여러 방면으로의 연구가 진행되어 그 결과 내하력이 대폭 저하하는 것으로 밝혀짐으로써 교면에서의 방수처리가 필수적인 것으로 인식하고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

또한 교량에서의 방수층은 반복하중, 진동, 충격 등의 역학적 작용과 온도변화 등의 기상작용, 그리고 바닥판의 수축팽창 작용 등이 복합하게 작용하는 환경에 설치되므로, 특히 바닥판 콘크리트의 조건에 따라 접착성능 뿐아니라 공용성에 미치는 영향이 큰 것으로 보고되고 있다.⁽³⁾⁽⁴⁾

따라서 본 연구는 현재 국내에 유통되고 있는 교면방수재에 대하여 각 시공현장에서 하자의 원인으로 가장 빈번하게 발생하는 요인중의 하나인 바닥판의 상태를 변수로하여 교면방수 시스템 성능의 적합 여부를 현장 및 실내에서 가장 간단하고 합리적으로 점검하는 방법인 인장접착성 실험을 실시하여 교면방수 시스템의 성능향상의 방안을 제시하고자 한다.

* 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

** 한국도로공사 도로연구소 연구원

*** 강원대학교 지역기반공학과 교수

2. 실험

2.1 사용 방수재의 종류

본 연구에서는 철근콘크리트 교면용으로 국·내외에서 주로 사용되고 있는 제품을 중심으로 시트식 3종, 도막식 5종, 그리고 복합식 1종에 대하여 실험을 실시하였다.

시트식방수재는 개질아스팔트고무 함침시트(용제형)-A, 개질아스팔트고무 함침시트(자착식)-B, 그리고 개질아스팔트고무 함침시트(용착형)-C이며, 시트식방수재의 경우 사용된 방수재 대부분이 폴리에틸렌 및 폴리에스터 부직포에 개질아스팔트를 함침한 제품이다.

도막식방수재는 클로로프렌고무계-D, 아크릴 수지계-E, 무기질탄성계-F, 에폭시수지계-G, 폴리우레탄 수지계-H이며, 특성별로 한가지씩의 방수재를 선정하여 실험하였다.

2.2 시험변수

방수시스템의 계면에서의 접착력은 콘크리트 바닥판의 강도 및 양생방법, 함수비, 시공시 주변온도 및 습도 등 수많은 인자들에 영향을 받는다. 이러한 복잡한 인자들의 작용으로 인해 방수시스템의 계면에서의 접착특성을 정확하게 평가한다는 것은 아직까지 많은 한계를 갖고 있다. 또한 시공이 완료된 교면포장에 차량이 통과함으로써 나타나는 접착력의 변화는 방수시스템의 장기적인 내구성에 영향을 미친다. 하지만 차량 하중에 의해 방수시스템의 계면에 작용하는 하중분포를 정확하게 평가하는 것 또한 많은 어려움이 있다.

모든 변수에 대한 인장접착강도 실험은 상온(20℃)에서 실시하였으며, 변수는 표 1과 같다.

표 1 시험변수

시험변수	방수재 종류	시트식	도막식
바닥판 콘크리트의 함수비	10% 이하	✓	✓
	10% 이상		
바닥판 콘크리트의 압축강도	270kg/cm ²	✓	✓
	400kg/cm ²		
바닥판 콘크리트의 양생방법	기 중	✓	✓
	수 중		
방수재 도포시 대기온도	20℃	✓	✓
	30℃		

2.3 실험방법

2.3.1 콘크리트 시편제작

방수재에 대한 인장접착강도 실험을 위해 표 3과 같은 배합비로 30×30×10cm의 콘크리트 슬래브를 제작하였다.

표 2 콘크리트 배합표

설계기준강도 (kgf/cm ²)	골재최대치수 (mm)	슬립프 (cm)	공기량 (%)	w/c	S/a	단위량(kg/m ³)					
						물	시멘트	잔골재	굵은골재	AE 감수제	유동화제
270	25	15	4.5	46	44	152	330	801	1051	C×0.3%	C×0.2%
400	19	15.5	4.3	40	43	168	420	733	1005	C×0.2%	C×0.2%

2.3.2 방수재 시공

각각의 방수재료는 단일한 재료가 아닌 복합재료로 구성되어 있으므로 각각의 방수재료는 서로 다른 특성을 갖게 된다. 따라서 각 제품에 해당하는 시방조건에 맞는 시공을 위하여 제품별 해당 업체에서 직접 시공하는 것으로 하였다.

2.3.3 아스콘 포설

SMA(Stone Mastic Asphalt) 혼합물을 포설두께가 5cm가 되도록 계량하여 골재를 165℃의 온도에서 4시간동안 가열한 후 아스팔트 혼합믹서로 4단계 속도로 분할 비빔을 실시하였다. 배합이 완료된 혼합물을 몰드에 넣고 휠트래킹 다짐기에 의해 5kgf/cm²의 하중으로 75회 다짐을 실시하였다.

2.3.4 인장접착강도 시험

시편을 코어채취기로 코어링한 후 24시간 이상 건조시킨 후, 그 상면에 Ø10cm의 디스크를 에폭시 수지 등의 접착제를 사용하여 완전하게 접착한다. 접착제가 경화한 후 유압식 접착시험기를 사용하여 시험을 실시하였으며, 인장접착강도 시험 장치의 개요도는 그림 1과 같다. 시험체 한 개 당 4곳에서 시험을 실시하였다.

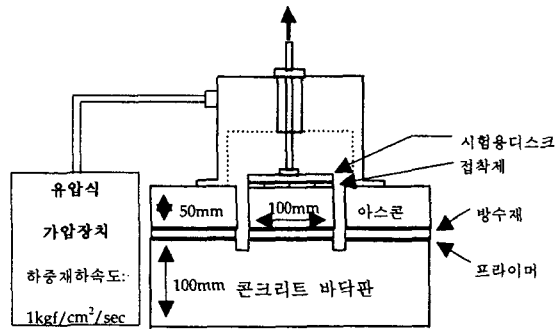


그림 1 인장접착시험 장치 개요도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 바닥판 콘크리트 함유비의 영향

일반적으로 교면 방수시스템의 접착성은 바닥판 콘크리트-방수재-아스콘 포장층이 일체로 된 것을 접착력으로 평가하여야하나, 바닥판 콘크리트의 함유비 만의 영향을 알아보기 위해 콘크리트와 방수재 사이의 접착력을 평가하였으며, 바닥판 콘크리트의 함유비는 10% 이상과 10% 이하로 하였다.

그림 2의 범례 "콘-방-10% 이하"는 바닥판 콘크리트-방수재의 계면에서 바닥판 콘크리트 함유비가 10% 라는 의미로 결과에서 볼 수 있듯이, 인장접착 강도는 시트의 종류별로 바닥판 콘크리트의 함유비 증가에 따라 용제형과 용착형은 접착성이 크게 감소하였는데, 자착식의 경우는 대동소이한 값으로 나타났다. 시공면적이 실내 시편에 제한되어 객관적 신뢰성에는 한계가 있지만, 바닥판 콘크리트 표면에서 임계값 이상의 수분은 방수재의 접착에 영향을 미친다는 기존 연구결과⁽²⁾⁽³⁾와 일치함을 알 수 있었다.

방수재를 도포 한 후 표면을 육안으로 조사한 결과에서도 함유비가 큰 시편 표면은 기포가 다량 발생하였으며, 기포 발생한 부분이 아스콘 포설시 골재에 의해 손상되어 구멍이 발생한 것을 실험을 통해 알 수 있었다.

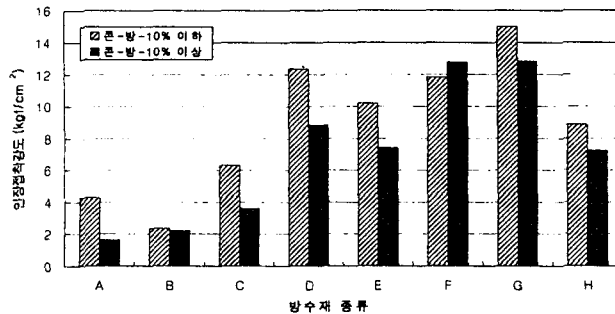


그림 2 바닥판 콘크리트 함유비에 따른 인장접착강도

3.2 바닥판 콘크리트 강도 및 아스콘 포설의 영향

최근 교량의 형식이 장대화되면서 바닥판 콘크리트의 고강도화가 증가하고 있는 추세에 있고, 고강도 콘크리트와 보통강도 콘크리트에 차이가 있을 것으로 판단되어 설계강도별(270, 400kgf/cm²) 인장접착강도 실험을 실시하였다. 또한 동일한 조건에서 아스콘 혼합물을 포설한 후의 인장접착강도 변화 경향을 분석하고자 하였다.

그림 3에서 알 수 있듯이 시트식방수재의 결과를 살펴보면, 자작식은 용제형이나 유착형에 비해 바닥판 콘크리트와 방수재와의 접착력이 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 대체적으로 바닥판 콘크리트의 강도가 클수록 인장접착강도 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 시트식 방수재의 시공상 바닥판 콘크리트면의 공극이나 기포가 인장접착강도에 많은 영향을 미친다는 것을 증명한다고 할 수 있다. 아스콘 포설에 따른 시트식방수재에서의 접착성 변화는 약간 증가하는 경향으로 나타났으며, 그다지 큰 영향은 미치지 않은 것으로 나타났다.

도막식 방수재에서도 시트식에서와 마찬가지로 바닥판 콘크리트의 강도가 클수록 접착강도가 증가하는 경향이 나타났으나, 무기질탄성계의 경우에는 이러한 경향과는 대조적인 결과가 나타났다. 전반적으로 방수재의 종류에 상관없이 상판 콘크리트 강도가 크면 하지와의 접착이 양호하여 인장접착강도가 증가하는 것으로 나타나 상판의 하지상태가 접착성능에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

아스콘을 포설한 경우, 아스콘을 포설하기 전의 인장접착강도와 비교했을 때, 시트식 방수재의 경우 아스콘 포설로 인해 접착력이 다소 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 시트식 방수재의 제조에 사용된 열가소성 합성고무가 아스콘과의 접착이 양호하고 양생후 아스콘 내에 분산된 형태로 물리적 가교역활인 고무형상 네트워크를 형성하고 다짐장비에 의한 방수재 압밀효과로 접착력의 증가가 발생한 것으로 사료된다. 반면 도막식 방수재의 경우에는 아스콘과의 접착력이 현저하게 감소하는 것으로 나타났는데, 이러한 원인은 도포 경화 후 도막의 두께 부족, 아스콘 포설시 고온의 열에 의한 자체 물성 변화 및 점성의 저하, 액상인 도막재가 아스콘 혼합물 속으로의 유입, 아스콘 포설시 골재 관입에 의한 접착 면적의 감소 등에 의한 것으로 판단된다.

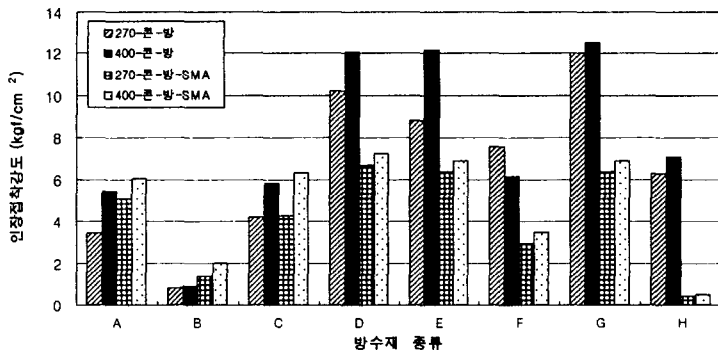


그림 3 바닥판 콘크리트 강도 및 아스콘 포설에 따른 인장접착강도

3.3 바닥판 콘크리트 시편의 양생방법에 따른 영향

양생방법에 따라 콘크리트의 역학적 강도특성이 크게 변화되고 바닥판 표면의 공극형성이 기중에서와는 차이가 많아 이에 대한 평가가 요구되었다.

그림 4에서 볼 수 있듯이, 무기질이 첨가된 도막방수재를 제외하고는 기중양생한 것 보다 수중양생한 시편이 접착력이 다소 큰 것으로 나타났다. 또한 바닥판 콘크리트의 강도보다는 오히려 양생방법에 따라 접착력의 차이가 큰 것으로 확인되었다. 이는 굳지 않은 콘크리트가 경화과정에서 수분 증발에 따라 바닥판 콘크리트 표면에 발생하게 되는 공극구조가 방수재와의 접착에 영향을 미친다는 것을 보여주는 것이다.

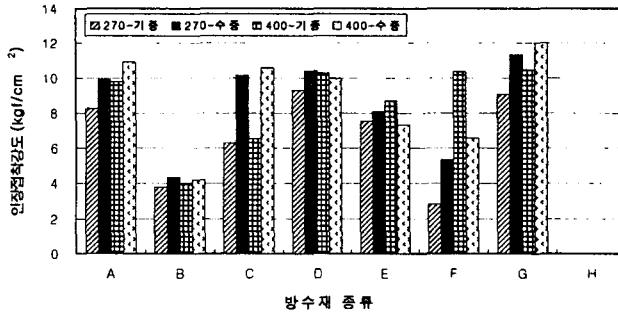


그림 4 바닥판 콘크리트 시편 양생방법에 따른 인장점착강도

3.4 방수재 시공시 대기온도에 따른 영향

대기온도가 20℃일 때 아스콘 포장층 두께 50mm에서의 방수층 온도는 25~30℃, 아스콘 포장층 두께 100mm에서의 방수층 온도는 20~25℃ 정도이나, 교면의 노출 방수층에서의 실제온도는 40~45℃ 정도까지 상승한다. 대기온도가 30℃인 경우 교면의 온도가 최고 70℃까지 상승하여 이러한 경우 많은 열팽창이 보일 것으로 예상된다. 그러나 콘크리트와 아스콘 사이에 위치하고 있는 방수층은 재료성질이 다르므로 교통하중 및 열에 의한 팽창·수축 시, 그 거동이 방수시스템의 종류에 따라 다르게 발생한다. 따라서 이에 대한 영향을 평가하고자 시공시 대기온도 20℃와 30℃로 구분하여 실험하였다.

방수재 시공시 높은 대기온도는 방수재 도포중 방수재의 발열(exotherm)이나 시공후에 태양열에 의해 바닥판 콘크리트 표면 부위에 갇혀 있던 수분이 복사열로 증발하기 때문에 기포가 발생할 가능성이 크다. 이러한 기포는 아웃가싱(outgassing)으로 알려진 현상으로 내부 수분이 기화되어 체적이 증가하여 방수재에 큰 압력이 가해져 접착력이 크게 떨어지게 된다. 하지만 실험결과에서는 대부분의 재료에서 시공온도에 따라 인장점착강도가 크게 변하지 않는 경향을 나타내었는데, 이는 햇빛이 없는 시험실의 실내온도에서의 결과로 실제 현장인 교량에서 자외선에 노출되었을 시의 온도차에 의한 교면의 온도 상승을 감안한다면 상기에 서술한 기포발생 등으로 접착력이 더욱 크게 저하할 수 있고 상이한 결과가 도출될 것으로 판단된다.

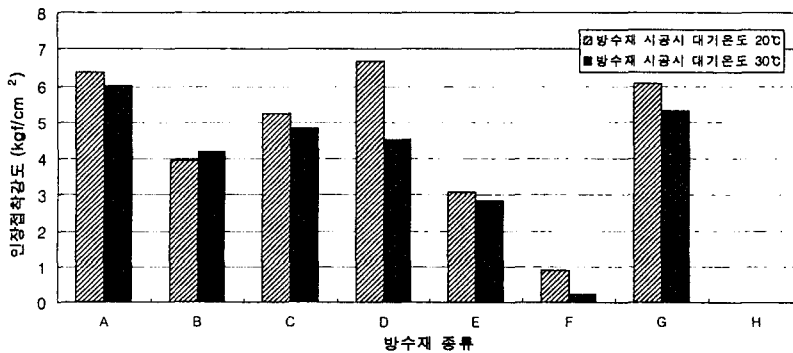


그림 5 방수재 시공시 대기온도에 따른 인장점착강도

그림 5에서 볼 수 있듯이, 실험결과가 일정한 경향을 나타내지 않았고, 시공온도에 따른 차이 또한 그다지 크지 않게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 앞서 언급되었듯이 실험실 내에서의 온도 제어에 의해 실험이 실시되어 태양의 복사열에 의한 영향을 정확하게 평가하기 어려웠기 때문인 것으로 판단된다.

다. 하지만 이상의 결과로부터 대기온도가 높을 경우 바닥판 콘크리트의 온도가 증가함에 따라 바닥판 콘크리트와 방수재 사이에서의 압력이 증가하고, 이로 인해 바닥판 콘크리트와 방수재 계면에서의 접착특성에 많은 영향을 미칠 수 있다는 일부 연구결과⁽²⁾⁽³⁾와 일치함을 알 수 있었다. 그리고 온도 사이클이 여러일 연속적으로 반복된다면 기포의 크기는 더욱 커져 방수재의 탈리는 가속화 될 것이다.

4. 결 론

철근콘크리트 교면에 방수재를 시공하는 것은 교량 상판을 보호하고 교량의 공용년수를 증진하고자 하는데 있지만, 현재 실정은 방수재로 인해 하자가 발생되어 포장의 조기파손 등을 야기하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 종류의 교면용 방수재를 계열별로 선정하여 바닥판 콘크리트 양생조건 및 강도, 함수비에 따른 인장접착특성과 아스콘 포설 전·후의 인장접착성능 시험을 실시한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 바닥판 콘크리트 표면에 존재하는 수분에 의해 인장접착강도가 감소하는 것으로 나타나 기존에 제시된 함수비 임계값인 10% 이하로 관리하는 것이 기포발생을 최소한으로 억제하고 접착력을 확보하는 방안임을 알 수 있었다.
- (2) 바닥판 콘크리트의 압축강도의 영향은 강도가 증가할수록 대부분의 방수재에서 전반적으로 인장 접착강도는 증가하였는데, 이는 상판 콘크리트의 배합비, 표면의 평탄성, 공극 등과 접착강도가 상호관련이 있다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 시트식의 경우, 아스콘 포설 전 보다 아스콘 포설 후의 인장접착강도 값이 증가하였으나, 일부 방수재의 두께가 다소 부족하여 가열골재에 의한 관입이나 찢김현상이 발생하므로 인해 시공두께가 3.5mm 이상이 적절할 것으로 사료되며, 도막식의 경우, 특히 무기질이 첨가된 방수재와 폴리에탄계에서는 아스콘 포장층 시공 후 접착력이 현저하게 감소하는 것으로 나타나, 아스콘 포장층과의 접착력을 증진시킬 수 있는 물성개선이 필요함을 알 수 있었다. 또한 열에 의한 유동성이 크고, 내열치수안정성이 작으며 도막두께가 얇아 아스콘 포장층 시공 시 및 경화 후 방수재에 손상이 발생할 확률이 크기 때문에 이에 대한 적절한 조치 및 충분한 도막두께 확보가 요구된다.
- (4) 무기질이 첨가된 도막방수재를 제외하고는 기중양생한 것 보다 수중양생한 시편이 접착력이 다소 큰 것으로 나타났다. 또한 바닥판 콘크리트의 강도 보다는 오히려 양생방법에 따라 접착력의 차이가 큰 것으로 확인 되었다. 따라서 양생절차 및 관리가 바닥판 콘크리트 표면의 평탄성 및 공극구조와 직접 연관이 있으므로 방수재와의 접착력 증진에 기여하는 인자임을 알 수 있었다.
- (5) 본 연구에서 사용된 인장접착강도 실험은 일본도로공단에서 제시한 방법으로 실시하였는데, 이는 국내에서는 아직 정확한 규정이나 기준값이 정해져 있지 않기 때문이며, 이로 인해 현장에서 작업시 많은 시행착오로 교통개방 후 짧은 기간에 많은 하자가 발생하고 있다. 따라서 본 연구를 통해 얻어진 각 변수에 대한 인장접착특성의 영향을 고려하여 시공에 반영한다면 하자발생을 많이 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Manning, D. G., "Waterproofing for Concrete Bridge Decks," NCHRP Synthesis of Highway Practice 220, TRB, Washington, D. C., 1995.
2. Price, A. R., "Laboratory Test on Waterproofing Systems for Concrete Bridge Decks," TRRL Research Report 248, TRRL, 1990.
3. Price A. R., "Waterproofing of Concrete Bridge Decks : Site Practice and Failures," TRRL Research Report 317, TRRL, 1991.
4. Van Til C. J., Carr B. J., and Vallerga B. A., "Waterproofing Membranes for Protection of Concrete Bridge Decks : Laboratory Phase," NCHRP Report 165, TRB, 1976.
5. 日本道路協會, "道路橋鐵筋콘크리트床版防水層 設計·施工資料," 日本道路協會, 1987.
6. 日本道路公團, "材料施工資料(第4号)-콘크리트床版防水工," 日本道路公團試驗研究所, 1994.