

아스팔트 포장 조건이 교면방수 시스템의 인장접착강도에 미치는 영향

Effect of Asphalt Pavement Conditions on Tensile Adhesive Strength of Waterproofing System on Concrete Bridge Deck

이 병 덕* 박 성 기** 김 광 우*** 정 해 문*
Lee, Byung-Duck Park, Sung-Ki Kim, Kwang-Woo Cheong, Hai-Moon

ABSTRACT

In this research, eight waterproofing membranes were selected from commercial market and the tensile adhesive characteristics of the waterproofing system (WPS) on concrete bridge deck were investigated in view of various factor in asphalt pavement.

Tensile adhesive strength (TAS) test of different asphalt pavement types showed that TAS of WPS under SMA (Stone Mastic Asphalt) pavement was greater than that under dense asphalt pavement. Tensile adhesive strength (TAS) of sheet membranes was improved as the compaction temperature of asphalt concrete increase, but TAS of liquid membranes were not. TAS of sheet membranes after wheel tracking test were in the order of the sites under wheel path (UWP), before wheel tracking (BWT) and nearby wheel path (NWP). Since TAS of the same WPS of UWP was higher than TAS of BWT, wheel loading had function of pressing WPS resulting in higher adhesive strength. But liquid membranes were variable on types. The feature of detached interface after TAS test showed that sheet types were all detached in between deck concrete and WPS, and liquid types were detached in between asphalt pavement and WPS.

1. 서 론

철근콘크리트 교량 바닥판 방수의 궁극적인 목적은 경제적이며 시공성이 우수한 방수재로 교량의 내구성을 증진시키는 데 있다. 이를 위해서는 최적의 성능을 발휘할 수 있는 적절한 재료와 시공법 및 시기 등을 선택하여 가장 경제적으로 최대한의 성능을 발휘하는 방수시스템(Waterproofing system: WPS)을 구성해야 한다. 성능상 가장 중요한 사항은 포장체와 동일하거나 그 이상의 내구연환을 가질 수 있도록 WPS에 요구되는 인장접착성을 확보하는 것이다. 현장 및 실내에서 이에 대한 가장 간단하고 합리적인 점검방법은 콘크리트 바닥판과 방수재 그리고 아스팔트 포장층 계면에서의 접착강도를 측정하는 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 현재 국내에 유통되고 있는 교면방수재의 종류별로 인장접착강도(Tensile adhesive strength: TAS)를 시험하여 교면방수 시스템의 성능향상의 방안을 제시하고자 하는 것이다. 이를 위해 각 시공현장에서 하자의 원인으로 가장 빈번하게 제시되는 아스팔트 포장과 관련된 요인들을 실험변수로 놓고 이를 중심으로 결과를 분석하였다.

* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원
** 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 연구원
*** 정회원, 강원대학교 지역기반공학과 교수

2. 실험

2.1 사용 방수재의 종류 및 시험변수

본 연구에서 사용한 방수재 종류는 철근콘크리트 교면용으로 국·내외에서 주로 사용되고 있는 시트식(Sheet type) 3종류와 도막식(Liquid type) 5종을 계열별로 Table 1에 나타내었고, 시험변수는 Table 2와 같다.

Table 1. Classification of waterproofing membranes used test

Types	Classifications
Sheet waterproofing membranes	<ul style="list-style-type: none"> · Modified asphalt rubber impregnated sheets (Pour and roll type) - A · Modified asphalt rubber impregnated sheets (Self adhesive type) - B · Modified asphalt rubber impregnated sheets (Torch-on type) - C
Liquid waterproofing membranes	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 33%;">· Chloroprene rubber - D <li style="width: 33%;">· Acrylic resin - E <li style="width: 33%;">· Inorganic elastic(polymer) - F <li style="width: 33%;">· Epoxy resin - G <li style="width: 33%;">· Polyurethane resin - H

Table 2. Experimental variable for tensile adhesive tests

Variables	Waterproofing membranes		Sheet	Liquid
	Dense grade asphalt	110, 140℃		
Types and application temperature of asphalt concrete mixture	Dense grade asphalt	110, 140℃	✓	✓
	Stone Mastic Asphalt	130, 155℃		
Before and after wheel tracking test			✓	✓

2.2 실험방법

2.2.1 콘크리트 슬래브 제작 및 방수재 시공

방수재에 대한 TAS 실험을 위해 설계기준 압축강도가 270kgf/cm²인 30×30×10cm 크기의 콘크리트 슬래브를 제작하였다. 각각의 방수재는 각 제품에 해당하는 시방조건에 맞는 시공을 하기 위하여 제품별로 해당 업체에서 직접 시공하도록 하였다.

2.2.2 아스팔트 포설 및 반복주행시험

SMA 혼합물의 입도는 교량하부용 13mm 입도를 사용하였고, 포설방법은 일반 밀입도 아스팔트 혼합물과 같은 방법으로 이루어졌다. 혼합이 완료된 아스팔트 혼합물을 방수처리가 된 두께 10cm 콘크리트 슬래브 위에 끼워 만든 몰드에 부어 넣고 롤러 컴팩터를 이용해 5kgf/cm²의 하중으로 다짐하여 하나의 시험체를 완성하였다.

2.2.3 시험체의 코어링

코어링(Coring)은 휠트래킹을 수행하지 않은 시험체와 휠트래킹 후의 시험체로 나누어서 수행하였다. 휠트래킹을 수행하지 않은 슬래브 공시체에는 직경 100mm의 코어 채취기를 사용하여 TAS 시험을 하기 위해 적절한 간격으로 시험체 1개 당 3개소에서 코어링을 실시하였다.

2.2.4 인장접착강도(TAS) 시험

콘크리트-방수재-아스팔트포설 시험체를 제조한 후 48시간 이상 상온에서 식히고, 원하는 위치에 코어 채취기로 코어링하여 24시간 이상 건조시킨 후, 그 상면에 $\varnothing 10\text{cm}$ 의 인장접착용 스테인레스 스틸 디스크(Stainless steel disk)를 에폭시 수지 등의 접착제를 사용하여 완전하게 접착하였다. 접착제가 경화한 후 하중기록장치 및 로드셀을 연결한 유압식 인장접착시험기를 사용하여 약 $1\text{kgf/cm}^2/\text{sec}$ 의 재하속도로 최대하중에 도달 될 때까지 재하하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 아스팔트 혼합물 종류에 따른 영향

Fig. 1에서 알 수 있듯이, 대체적으로 밀입도 아스팔트 포장 보다 SMA 포장이 TAS가 크게 나타났는데, 특히 도막방수재(D~H)를 도포한 시험체에서 그 차이가 두드러짐을 알 수 있었다. 반면에 D(클로로프렌 고무계)는 밀입도가 SMA에 비해 TAS가 다소 높게 나타났는데, 그 원인은 클로로프렌 고무계의 방수막 두께(약 1mm)가 다른 것에 비해 얇아 아스팔트 포장층 시공시 가열공재가 부분적으로 방수막을 관통하여 접착면적이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 도막식은 전반적으로 밀입도의 경우 종류별로 강도의 차이가 매우 크게 나타났고, H(폴리우레탄)는 두 혼합물 모두 아예 강도를 측정할 수가 없어 품질의 차이가 크고 불안정함을 알 수 있었다.

시트식의 경우는 혼합물의 종류에 크게 영향을 받지 않고 전반적으로 TAS가 양호한 것으로 나타났다. 이는 시트식 방수재의 재질이 거의 비슷하고 단지 공법별로 분류한 것으로 시트 자체에 결합재 성분이 포함되어 있어 아스팔트 시공시 고온의 열에 의해 결합재 성분이 액상으로 변해 아스팔트와 완전 접착에 기여하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 소정의 두께가 확보되어 바닥판 콘크리트와 접촉하는 아스팔트 혼합물 종류별 하부의 표면상태에 별 영향을 받지 않기 때문인 것으로 볼 수 있다.

도막식에서 특이점은 E와 F의 경우인데, E는 아크릴수지계로 불리나 실제로는 시멘트 분말을 첨가하므로 무기질 탄성체인 F와 유사하여 밀입도 혼합물과의 접착에 많은 문제점을 나타내었다. 이러한 영향은 SMA가 밀입도 혼합물에 비해 아스팔트 함량이 많아 혼합물 내의 결합재 일부가 접착력에 기여한 것과 무기질 탄성체의 경우는 고온의 아스팔트를 포설할 때에도 방수재 자체에 접착력에 기여할 수 있는 점성 성분의 유동이 거의 생기지 않기 때문인 것으로 사료된다.

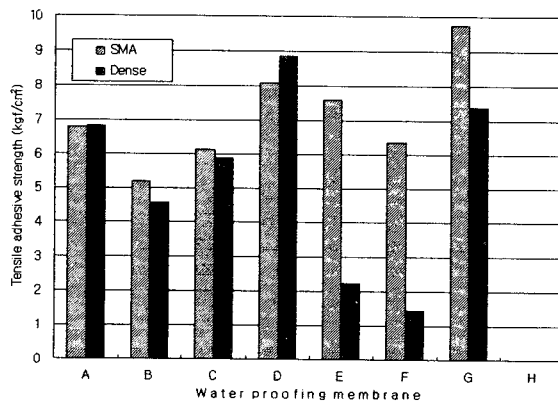


Fig. 1 Comparison of tensile adhesive strength for different asphalt mixtures by waterproofing membrane type

3.2 아스팔트 혼합물의 시공온도 영향

Fig. 2의 실험결과 시트식 방수재 경우, 공법 및 아스팔트 혼합물의 종류에 상관없이 포설시 아스팔트의 온도가 높을수록 TAS가 다소 증가하는 결과를 나타내었다. 이는 시트식 방수재의 중심기재가 고온의 아스팔트 혼합물의 열에 저항할 수 있는 내열성과 두께변형저항성 및 가열골재에 의한 관입저항성을 가지고 있기 때문이라고 설명할 수 있다. 또한 소정의 두께를 가지고 있어 고온의 아스팔트 혼합물에 의해 방수재에 함침되어 있는 개질아스팔트재가 용융되어 방수재와 아스팔트 포장층이 접착하기 때문인 것으로 판단된다.

도막식 방수재의 경우에는 포설온도별로 일정한 경향을 나타내지 못했다. 그러나 대체적으로 아스팔트 혼합물의 적용온도가 높은 경우 접착력이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 도막식 방수재의 시공에 있어서는 방수재료에 따라 정확한 연화점을 조사하여 이에 적합한 포설온도를 유지하도록 해야 할 것이다. 그러나 너무 낮은 온도로 시공이 될 경우 방수재가 충분한 점성이 발휘되지 못하고 유동성이 떨어져 접착강도가 저하할 가능성이 있다. F(무기질탄성계)와 폴리우레탄계(H)를 제외하고는 시트식 방수재와 비교할 때 접착력이 우위에 있는 것으로 나타났다.

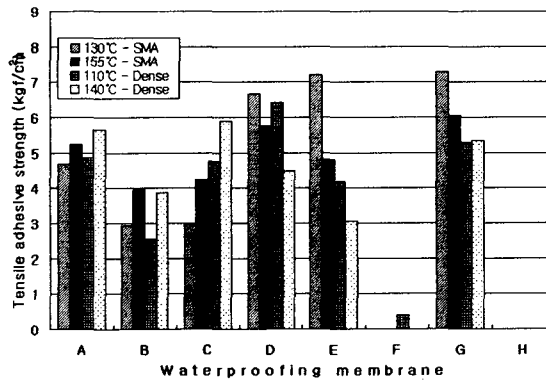


Fig. 2 Comparison of tensile adhesive strength for different types and paving temp. of asphalt mixture by waterproofing membrane type

3.3 윤하중 재하에 따른 영향

아스팔트 혼합물의 종류에 따라 반복주행 전(Before wheel tracking: BWT), 휠트래킹시험으로 인해 포장층이 변형된 부위 바로 옆(Near wheel path: NWP), 그리고 포장층이 변형된 지점(Under wheel path: UWP)에서 실시된 실험결과를 Fig. 3(a), (b)에 나타내었다.

아스팔트 시공온도에 따른 TAS 실험결과(Fig. 2)에서 알 수 있듯이 무기질탄성계(F)와 폴리우레탄계(H)의 경우 휠트래킹 이후 방수재로부터 아스팔트가 완전 탈리되어 실험이 불가능하였다. 이는 휠트래킹시험의 실시 유무에 관계없이 접착력이 거의 발현이 되지 않았는데 제품자체의 배합 오류 및 물성자체가 아스팔트 적용시 고온의 열에 의한 저항성을 가지고 있지 않거나 아스팔트와의 접착성분이 소실되기 때문인 것으로 판단된다.

시트식 방수재는 아스팔트 포장층의 종류에 상관없이 휠트래킹 후의 NWP에서의 TAS는 감소한 반면에, UWP에서의 접착력은 BWT보다 오히려 증가하였다. 이는 시트식 방수재는 방수층의 두께가 3.5mm 이상이고, 시공온도가 60°C의 고온에서 재질이 연성으로 되기 때문에 NWP에서는 방수층의 밀림현상이 발생하였기 때문이고, UWP에서는 접착 결함부위가 휠트래킹시험에 의한 다짐압력으로 오히려 잘 밀착되었기 때문이라고 판단된다. 그러나 시트식 방수재 자작형(B)의 경우는 방수층의 두께가 1.5mm 정도밖에 되지 않아 UWP의 접착력이 용제형(A)이나 용착형(C)에 비해 차이가 크지 않았다. 전반적으로 접착력의 증가폭은 밀입도에서 다소 큰 것으로 나타났고, BWT 시험체에 비해 NWP에서

의 접착력의 감소는 밀입도 시험체에서 더 현저한데, 이는 기존에 잘 알려진 바와 같이 밀입도 아스팔트 포장에 SMA 보다 소성변형이 크기 때문임을 보여주는 결과라 할 수 있다.

도막식 방수재의 경우도 시트식에서와 마찬가지로 하중 UWP에서의 접착력이 오히려 증가된 경향을 나타냈다. 클로로프렌 고무계(D)는 접착력이 BWT > NWP > UWP의 순으로 나타났는데, 이는 클로로프렌 고무계 방수재의 막 두께가 다소 얇아 아스팔트 혼합물 적용시 가열골재에 의한 찌김이나 뚫림으로 인한 접착력 손실이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 에폭시수지계(G)를 제외하고는 아스팔트 혼합물의 종류에 상관없이 UWP에서의 접착력이 가장 낮은 것으로 나타났다. 에폭시수지계의 경우 NWP보다 UWP에서의 접착력이 더 크게 나타났는데 이러한 경향은 밀입도보다 SMA에서 그 증가폭이 더욱 크게 나타났다. 이러한 원인은 알려진 바와 같이 포장층의 소성변형에 대한 저항성이 밀입도 보다는 SMA가 크다는 연구결과를 뒷받침 하는 일례임을 알 수 있었고, 따라서 포장층의 강성에 따라 동일한 율하중이 작용하여도 방수층의 TAS에 미치는 영향은 달라질 수 있다는 것을 알 수 있었다.

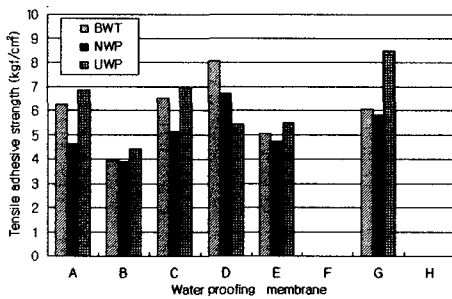


Fig. 3(a) Tensile adhesive strength before and after wheel tracking test by waterproofing membrane type (SMA mixture)

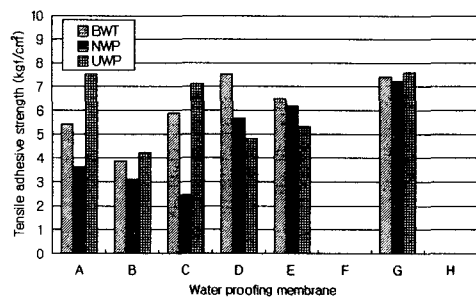


Fig. 3(b) Tensile adhesive strength before and after wheel tracking test by waterproofing membrane type (Dense-grade mixture)

3.4 방수재 종류에 따른 파괴 형상

시트식 방수재는 주로 방수재와 바닥 콘크리트 계면에서 탈리가 관찰되었고 아스팔트 포장층과는 접착성이 우수하였다. 이는 시트방수재가 중심기재인 직포나 부직포(Woven fabrics or Non-woven fabrics)에 열가소성고무와 개질 고무아스팔트를 함침한 형태이어서 아스팔트에는 용융되어 완전 결합이 되나 콘크리트에는 그렇지 못하기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 4는 방수재가 아스팔트 층에 붙은 상태로 콘크리트에서 떨어진 면을 보여주며 종류별로 탈리 경향에 큰 차이가 없었다.

반면에, 도막식 방수재는 시트식 방수재와는 반대로 콘크리트 바닥판과의 접착성은 좋았으나, Fig. 5와 같이 아스팔트 포장층 계면에서 주로 탈리가 발생하는 경향을 보였다. 이러한 이유는 콘크리트 위에 프라이머를 칠하고 도막 방수막을 코팅할 때 막이 콘크리트와 화학적으로 일체화되기 때문이나, 그 위에 아스팔트 혼합물을 펼치고 다지면 방수막은 가압에 의해 아스팔트 층과 물리적으로 결합되어 접착력이 약하기 때문인 것으로 사료된다.

클로로프렌고무계(D) 도막방수재는 전반적으로 접착성이 좋으나 주로 아스팔트 포장층과 방수재 계면에서 탈리되어 TAS가 현저하게 감소하였고 아크릴수지계(E)는 콘크리트 바닥판과의 접착이 매우 양호 하였으나 아스팔트 포장층과는 접착은 보통 이었다. 무기질탄성계(F)는 바닥판 콘크리트와는 어느 정도 접착성이 유지되었으나 코어링시에 거의 모든 시험체가 탈리되어 아스팔트 혼합물과의 접착성은 거의 없는 것으로 나타났다. 하지만 E와 F모두 밀입도에서만 이러한 현상이 나타나고 SMA에서는 아스팔트 포장층에 방수재가 부착된 채로 탈리되었다. 특히 E, F의 경우에는 포장층과의 탈리시 아스팔트에 함유되어 있는 결합재가 탈리면에 거의 묻어나지 않은 것을 알 수 있었다.

그러나 에폭시수지계(G) 도막방수재는 TAS 시험에서 인발용 디스크와 아스팔트 포장층 계면으로부터 탈리되었으며, 콘크리트와의 접착성도 매우 좋았다. 반면에 폴리우레탄계(H)의 경우 실험이 불가능할 정도로 방수재와 아스팔트 계면에서 탈리되어, 아스팔트와의 접착성의 문제로 인해 물성 개선이 이

루어지지 않는다면 교면방수재로 사용하기에는 문제가 있었다.



Fig. 4. Debonding between the waterproofing membrane and the concrete (Sheet types)

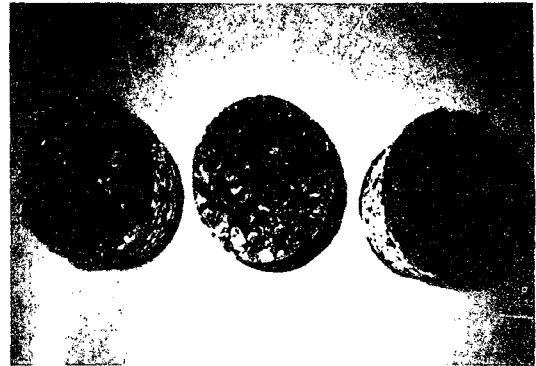


Fig. 5. Debonding between the waterproofing membrane and the concrete (Liquid systems)

4. 결론

본 연구에서는 다양한 종류의 교면용 방수재를 계열별로 선정하여 아스팔트 혼합물의 종류 및 시공 온도, 윤하중의 작용여부를 통해 교면방수재의 가장 중요한 특성 중의 하나인 접착인장성능 시험을 실시한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 아스팔트 혼합물의 종류는 시트식 방수재의 인장접착강도(TAS)에 크게 영향을 미치는 인자가 아니었다. 이는 시트 방수재 자체에 함침된 개질아스팔트가 아스팔트 혼합물과의 강한 접착제 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다. 반면 도막식에서는 클로로프렌고무계를 제외하고는 SMA 혼합물의 접착력이 큰 것으로 나타나 혼합물간 차이가 있는데, 이는 SMA 아스팔트 혼합물의 결합재 양이 많은 것과 관련이 있는 것으로 판단된다.
- (2) 아스팔트 시공온도에 따른 영향을 보면 시트방수재는 모두 온도가 높을수록 인장접착강도가 증가하였으며 밀입도에 비해 SMA가 더 예민하게 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 교면방수재 위에 SMA 아스팔트를 시공할 시에는 온도 관리를 철저히 하여야만 방수재와의 소요의 접착 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 차량 주행시 작용하중에 의한 방수층의 밀립현상에 대한 영향을 평가하기 위해 실시된 휠트랙킹 전·후의 TAS 실험결과에서는 전단력에 의해 바퀴자국 옆(Near wheel path) 계면에서의 접착력의 감소가 발생하는 것으로 나타났다.
- (4) 이상의 연구결과 시트식 방수재의 시공두께는 현재 사용중인 3.5mm 이상이 적절할 것으로 판단되며, 도막식은 아스팔트 혼합물 포설시 및 후에 방수재에 구멍이 뚫리지 않도록 제품의 표준값 두께 이상이나 1.2mm 이상을 확보하여야할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 이병덕, “교면방수 시스템의 인장접착 성능 개선을 위한 영향인자 분석”, 박사학위논문, 강원대학교, 2002.
2. 日本道路協會, “道路橋鐵筋コンクリート床版防水層 設計・施工資料”, 日本道路協會, 1987.
3. 日本道路公團, “材料施工資料(第4号)-コンクリート床版防水工”, 日本道路公團試驗研究所, 1994.
4. Manning, D. G., “Waterproofing for Concrete Bridge Decks”, NCHRP Synthesis of Highway Practice 220, TRB, Washington, D. C, 1995.
5. Price A. R., “Waterproofing of Concrete Bridge Decks : Site Practice and Failures”, TRRL Research Report 317, TRRL, 1991.