



# 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\*\*\*

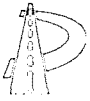
Lee, Byung-Duck · Park, Sung-Ki · Kim, Kwang-Woo

### Abstract

The performance of waterproofing system (WPS) is known to be a function of many complex interaction of material factors, design details, and the quality of construction, but it is mainly determined by the bond strength, which is measured by tensile adhesive strength (TAS) test. to the concrete bridge deck. In this research, eight waterproofing membranes were selected from commercial market and the tensile adhesive characteristics of the WPS on concrete bridge deck were investigated in view of various factor in asphalt pavement. The factors include type of asphalt mixture, pavement thickness, paving temperature and influence of wheel loading. 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. TAS of sheet membranes was improved as the compaction temperature of asphalt concrete increase, but TAS of liquid membranes were not. The influence of thickness of pavement was minimal with given laboratory test condition. 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.

*Keywords : Concrete bridge deck, Waterproofing membrane, Sheet waterproofing membrane,  
Liquid waterproofing membrane, Tensile adhesive strength*

\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 공학박사  
\*\* 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 공학석사  
\*\*\* 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 공학박사



## 요 지

방수시스템(WPS)의 성능은 재료 인자들의 복잡한 상호작용, 설계상세, 그리고 시공의 질에 따라 영향을 받고, 주로 인장접착강도(TAS)로 측정되는 교면과의 접착성에 의해 결정되는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구는 현재 국내에 유통되고 있는 교면방수제 8종의 WPS의 성능을 아스팔트 포장층 혼합물의 종류, 시공시 혼합물의 온도, 포장층의 두께, 반복주행시험에 따른 접착특성을 중심으로 인장접착특성을 비교하였다. 또한 TAS 시험 후 계면에서의 탈리 상태를 조사하였다. WPS에 대한 TAS 시험결과 SMA 혼합물이 밀입도 혼합물 보다 TAS가 크게 나타나 아스팔트 혼합물 종류에 따라서 차이가 났다. 시트식 방수제는 아스팔트 혼합물의 종류에 상관없이 시공온도가 높은 것이 접착력이 더 크게 나타났으나 도막식에서는 방수제 계열별로 다소 차이가 있고 시트식과 같지 않은 것으로 나타났다. 포장층 두께에 따른 영향은 방수제 종류에 상관없이 대동소이한 것으로 나타났다. 반복주행시험에 따라서 시트식에서의 접착력은 하중 재하지점<하중재하 않은 곳>하중 재하지점 옆 부근의 순서로 나타났고, 도막식에서는 방수제 종류에 따라 다르게 나타났다. 또한 방수제의 종류 및 특성에 따라 방수시스템 계면에서의 탈리상태가 다르다는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 콘크리트 교면, 방수제, 방수층, 시트식방수제, 도막식방수제, 인장접착강도

## 1. 서론

콘크리트 교량구조물의 내구성을 좌우하는 요소중의 하나인 교면방수는 시공의 어려움과 하자발생이 빈번하여 외국에서도 과거에는 사용을 기피하였다. 하지만 바닥판 콘크리트의 열화에 대한 물의 영향과 동결기 제설제인 염화물의 영향을 보기 위한 수침상태의 피로시험 결과, 내하력 및 피로수명이 대폭 저하되는 것이 밝혀지므로 인해 최근에는 교면 방수처리가 필수적인 것으로 인식되고 있다. 그러나 콘크리트 교면의 방수층은 주행차량에 의한 반복하중, 진동, 충격, 전단 등의 역학적 작용, 온도변화 등의 기상작용, 상판의 수축·팽창 등이 복잡하게 작용하는 위치에 설치된다. 따라서 최근 철근콘크리트 교량상판에 파손사례가 많이 발생하여 공용상 위험을 안게 되므로 이것의 보수·보강 대책에 많은 기술자의 노력과 비용이 투입되고 있는 실정이다.

철근콘크리트 교량상판 방수의 궁극적인 목적은 경제적이면서 시공성이 우수한 방수재로 교량의 내구

성을 증진시키는데 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 내구연한을 가질 수 있도록 WPS에 요구되는 인장접착성을 확보하는 것이다. 현장 및 실내에서 이에 대한 가장 간단하고 합리적인 점검방법은 콘크리트 바닥판과 방수제 그리고 아스팔트 포장층 계면에서의 인장접착강도를 측정하는 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 현재 국내에 유통되고 있는 교면방수제의 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.



## 2. 실험

### 2.1 사용 방수재의 종류 및 시공공정

본 연구에서 사용한 방수재 종류는 철근콘크리트 교면용으로 국·내외에서 주로 사용되고 있는 시트식(sheet type) 3종류와 도막식(liquid type) 5종을 계열별로 표 1에 나타내었다.

시트식에 있어서, 개질아스팔트고무 함침시트(용제형)-A는 폴리에스터 부직포를 중심으로 외부에는 폴리머 개질아스팔트와 규사, 내부에는 폴리머 개질아스팔트와 폴리에틸렌 필름(polyethylene film)층을 일체화한 제품으로 접착용제를 사용하여 시공한다. 개질아스팔트 고무 함침 시트(자착식)-B는 고무아스팔트와 아스팔트 함침 특수 부직포로 제조된 자착식(self adhesive) 방수재로 제품 자체의 점착성을 이용하여 롤러 전압에 의해 부착 시공한다. 개질아스팔트 고무 함침 시트(용착형)-C는 주성분인 아스팔트에 개질재로 합성고무, 충전제로써 탄산칼슘, 보강재로 폴리에스터 부직포(polyester non-woven fabric), 상부 마감재로 규사(silica sand), 하부 마감재로 폴리에틸렌필름(polyethylene film) 등을 사용하여 보강된 제품으로 토치공법(torch method)에 의해 시공한다.

도막식을 보면, 클로로프렌(chloroprene)고무계-

D는 클로로프렌 합성고무와 특수공중합 고무를 혼합 반응시킨 합성고분자 방수재로 1~2회에 걸쳐 프라이머를 도포하고, 주재인 방수재를 2회 이상 도포하여 방수막을 형성한다. 아크릴 수지계(acrylic resin system)-E는 고분자 아크릴수지가 주성분으로 시멘트나 전용분말(powder)을 혼합하여 방수재를 형성한다. 무기질 탄성계(inorganic elastic system)-F는 탄성 파우더에 폴리머를 혼합하여 방수막을 형성하는 제품으로 2회 이상의 도포로 마무리하여 완성한다. 에폭시 수지계(epoxy resin system)-G는 주재료가 유연성 에폭시 수지로서 주재와 경화제의 2액형 성분으로 구성되는 100% 고형제이다. 폴리우레탄 수지계(polyurethane resin system)-H는 주재료가 우레탄이며 주재와 경화제의 2액형으로 구성되며, 이것을 소정의 배합비로 혼합하여 방수재를 형성한다.

### 2.2 시험변수

WPS의 계면에서의 점착력은 콘크리트 바닥판의 상태뿐만이 아니라 아스팔트 혼합물의 종류와 시공 온도, 아스팔트 포장층의 두께 그리고 윤택중 등 수많은 인자들에 영향을 받는다. 이러한 복잡한 인자들의 작용하에서 WPS 계면에서의 점착특성을 정확하게 평가한다는 것은 아직까지 많은 한계를 갖고 있

표 1. Classification of waterproofing membranes used test

Types	Classifications
Sheet waterproofing membranes	- 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	- Chloroprene rubber - D - Acrylic resin - E - Inorganic elastic(polymer) - F - Epoxy resin - G - Polyurethane resin - H



다. 또한 시공이 완료된 교면 포장에 차량이 통과함으로써 나타나는 접착력의 변화는 WPS의 장기적인 내구성에 영향을 미친다. 하지만 차량하중에 의해 WPS의 계면에 작용하는 하중분포를 정확하게 평가하는 것 또한 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 이들 변수 중 아스팔트 포장과 관련 된것들을 실험변수들로 한정하여 표 2에서와 같이 채택하였다.

즉, 아스팔트 혼합물은 밀입도 (dense grade)와 SMA (stone mastic asphalt) 두 종류를 사용했으며 각각의 포설온도를 표 2에서와 같이 두 가지로 하였다. 또한 아스팔트 포장층의 두께는 5cm와 8cm 두 종류, 그리고 운하중 작용 전후의 방수층 TAS 변화를 보기 위해 60℃에서 반복재하(wheel tracking) 시험을 수행하고 그 전후에 시험 값을 평가를 하였다. 모든 변수에 대한 TAS 실험은 상온(20℃)에서 실시하였다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 콘크리트 슬래브 제작 및 방수재 시공

방수재에 대한 TAS 실험을 위해 표 3과 같은 배

합비로 30×30×10cm의 콘크리트 슬래브를 제작하였다. 각각의 방수재는 단일한 재료가 아닌 복합재료로 구성되어 있으므로 서로 다른 특성을 갖게 된다. 따라서 각 제품에 해당하는 시방조건에 맞는 시공을 하기 위하여 제품별로 해당 업체에서 직접 시공하도록 하였다. 따라서 상기 배합표에 의해 제조한 10cm 두께의 콘크리트 슬래브 재령 28일이 된 이후에 각 업체별로 콘크리트 슬래브 위에 방수재를 시공하였다. 다음은 본 실험에서 실시한 일반적인 방수층 시공절차이다.

- 콘크리트 먼처리(preparing deck) : 연마기, 철술, 솔 등을 사용하여 표면 정리
- 프라이머 도포(priming concrete) : 롤러, 솔, 분무기 등으로 소정량을 표면에 도포
- 방수재 시공(installing waterproofing membrane)  
: 업체별 시방기준에 준하여 시공
- 방수재 보호층 시공(applying protection layer of waterproofing membrane) : 필요한 제품에만 실시
- 적용 가능한 방수재의 경우 택코트 시공(applying a tack coat)

표 2. Experimental variable for tensile adhesive tests

Variables	Waterproofing membranes		Sheet	Liquid
	Dense grade asphalt	110, 140°C		
Types and application temperature of asphalt concrete mixture	Stone Mastic Asphalt	130, 155°C	✓	✓
Thickness of asphalt concrete pavement	5cm		✓	✓
	8cm			
Before and after wheel tracking test			✓	✓

표 3. Mix proportions of concrete

Designed strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	G <sub>max</sub> (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit mix content (kg/m <sup>3</sup> )					
						W	C	S	G	AE water reducing agent	Superplasticizer
400	19	15.5	4.3	40	43	168	420	733	1005	C×0.2%	C×0.2%



### 2.3.2 아스팔트 포설 및 반복주행시험

아스팔트 혼합물에 대한 배합설계를 통하여 일반 밀입도 혼합물 최적아스팔트 함량은 5.1%, SMA 혼합물은 6.9%로 결정되었다. SMA 혼합물의 입도는 교량하부용 10mm 입도를 사용하였고, 포설방법은 일반 밀입도 아스팔트 혼합물과 같은 방법으로 이루어졌다.

일반 밀입도 및 SMA 혼합물을 두께 5cm 및 8cm 가 되도록 계량된 골재를 165℃의 온도에서 4시간동안 가열하여 아스팔트 믹서로 4단계 속도로 분할 비빔을 실시하였다. 혼합이 완료된 아스팔트 혼합물을 방수 처리가 된 10cm 콘크리트 슬래브 위에 끼워 만든 몰드에 부어 넣고 롤러 컴팩터를 이용해 5kgf/cm<sup>2</sup>의 하중으로 다짐하여 하나의 시험체를 완성하였다.

아스팔트 혼합물의 시공온도가 WPS에 미치는 영향을 검토하고자 SMA의 온도는 130℃와 155℃, 밀입도의 시공온도는 110℃와 140℃로 구분하였다. 아스팔트 포설 후 윤하중으로 인해 발생할 수 있는 포장층의 손상정도 파악을 위해 아스팔트 혼합물의 소성변형을 측정하는 시험방법인 반복주행시험(wheel tracking test)을 실시하였다. 시험조건은 시험체를 60℃에서 6시간 양생 후 6.4kgf/cm<sup>2</sup>의 차륜 집지압으로 왕복 1,280회의 차륜하중을 반복적으로 재하한 후 반복주행시험전과 후에 바퀴자국 아래와 바퀴자국 인접부에서 TAS 실험을 실시하였다.

### 2.3.3 시험체의 코어링

코어링(coring)은 반복주행시험을 수행하지 않은 시험체와 반복주행시험 후의 시험체로 나누어서 수행하였다. 반복주행시험을 수행하지 않는 슬래브 공시체에는 직경 100mm의 코어 채취기를 사용하여 TAS 시험을 하기 위해 적절한 간격으로 시험체 1개 당 3개소에서 코어링을 하였다. 깊이는 방수재를 지나 콘크리트 바닥판 상면에 도달하도록 하였다.

### 2.3.4 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 접착했다. 접착제가 경화한 후 하중기록장치(load indicator) 및 로드셀(load cell)을 연결한 유압식 인장접착시험기(hydraulic tensile adhesive test equipment)를 사용하여 약 1kgf/cm<sup>2</sup>/sec의 재하속도로 최대하중에 도달 될 때까지 재하 하였으며, TAS 시험 장치의 개요도는 그림 1과 같다. TAS 시험후의 코어 공시체를 통해 접착면의 파괴형상도 관찰하였다.

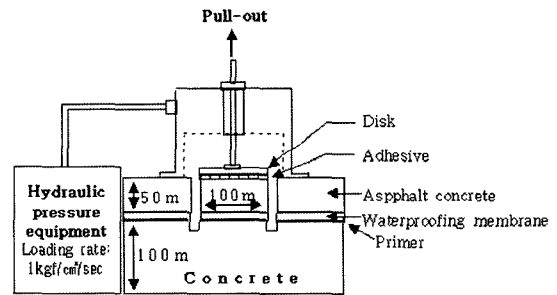


그림 1. Schematic illustration of tensile adhesive strength test

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 아스팔트 혼합물 종류에 따른 영향

혼합물 종류에 따른 차이를 보기 위한 모든 시험의 표준조건은 바닥판 콘크리트 설계기준강도 400 kgf/cm<sup>2</sup>, 콘크리트 기중양생, 아스팔트 포장 두께 8cm, 혼합물의 종류 SMA, 아스팔트 포설온도 155℃, 방수재 시공시 대기온도 20℃로 하였다. 비교용인 밀입도 혼합물의 경우 포설온도는 140oC로 하였다. 그림 2의 범례에서 SMA는 stone mastic asphalt를 가르키며, dense는 일반 밀입도 아스팔



트 혼합물을 나타낸다.

그림 2에서 알 수 있듯이, 대체적으로 밀입도 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 가열골재가 부분적으로 방수막을 관통하여 접촉면적이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 도막식은 전반적으로 밀입도의 경우 종류별로 강도의 차이가 매우 크게 나타났고 H는 두 혼합물 모두 아예 강도를 측정할 수가 없어 품질의 차이가 크고 불안정함을 알 수 있었다.

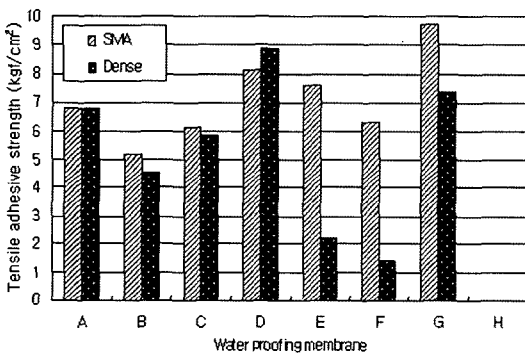


그림 2. Comparison of tensile adhesive strength for different asphalt mixtures by waterproofing membrane type

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 접촉에 기여하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 소정의 두께가 확보되어 바닥판 콘크리트와 접촉하는 아스팔트 혼합물 종류별 하부의 표면상태에 별 영향을 받지 않

기 때문인 것으로 볼 수 있다.

도막식에서 특이점은 E와 F의 경우인데, E는 아크릴 수지계로 불리나 실제로는 시멘트 분말을 첨가 하므로서 무기질 탄성체인 F와 유사하여 밀입도 혼합물과의 접촉에 많은 문제점을 나타내었다. 이러한 영향은 SMA가 밀입도 혼합물에 비해 아스팔트 함량이 많아 혼합물 내의 결합재 일부가 접착력에 기여한 것과 무기질 탄성계의 경우는 고온의 아스팔트를 포설할 때에도 방수재 자체에 접착력에 기여할 수 있는 점성성분의 유동이 거의 생기지 않기 때문인 것으로 사료된다. 또한 이는 뒤에 파괴후 계면에서의 상태를 관찰한 결과에서 보다 자세히 설명한다.

### 3.2 아스팔트 혼합물의 시공온도 영향

포장층 시공시 아스팔트 혼합물의 포설온도와 전압 온도는 방수층 손상에 중요한 영향을 미친다. 아스팔트 혼합물의 뜨거운 골재는 방수막 재료의 연화점 온도 보다 높으므로 밀림 등이 발생시 방수층의 두께를 심하게 감소시키는 경향을 보인다. 영국에서의 연구 결과 열경화성 수지계 시스템을 제외하고는 아스팔트 혼합물의 온도, 굵은골재의 최대치수가 증가하면 손상이 심화되는 것으로 나타났다(Price, 1990). 북미에서는 아스팔트 운반온도를 170℃ 까지 높일 수 있으나 전압시의 온도는 방수재의 손상을 줄이기 위해 145℃ 이하를 유지하도록 권장하고 있다(Manning, 1995). 따라서 본 연구에서는 아스팔트 포설온도를 SMA의 경우 130℃와 155℃로, 밀입도 혼합물의 경우에는 110℃와 140℃로 구분하여 시공하였다.

그림 3의 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 의

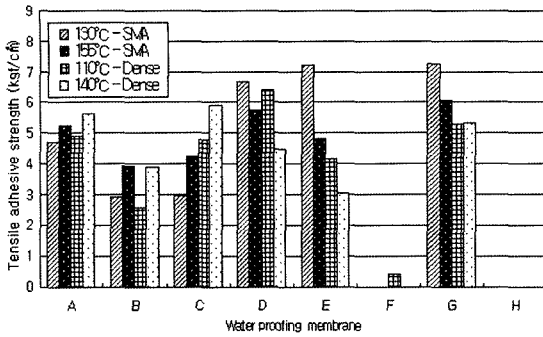


그림 3. Comparison of tensile adhesive strength for different types and paving temp. of asphalt mixture by waterproofing membrane type

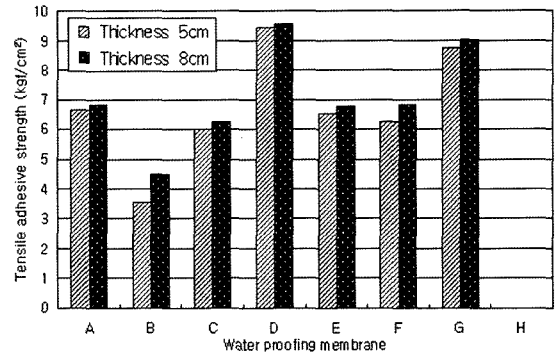


그림 4. Comparison of tensile adhesive strength for different thickness of asphalt pavement layers by waterproofing membrane type

해 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 방수재에 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(무기질 탄성계)와 폴리우레탄계(H)를 제외하고는 시트식방수재와 비교할 때 접착력이 우위에 있는 것으로 나타났다.

### 3.3 아스팔트 포장층 두께 영향

아스팔트 포장층 두께에 따른 실험결과(그림 4) 방수재 종류에 상관없이 8cm 포장층이 5cm에 비해 다소 높게 나타났으나 그 차이는 매우 적었다. 따라서 포장층 자체의 두께만으로는 TAS에 직접적으로 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 하지만 운하중이나 기후조건에 노출될 시에는 포장층의 두께가 방수층에 전달되는 운하중에 의한 응력을 분산시켜 방

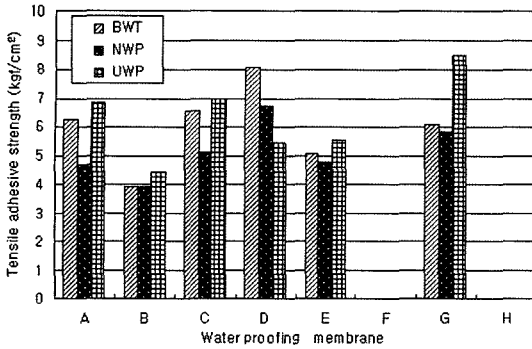
수재의 손상을 저감시킬 수 있고, 태양열에 의해 전달되는 방수층에서의 온도 상승을 방지하는 효과가 있어 두께에 따른 차이가 다소 있을 것으로 추정된다.

### 3.4 반복주행시험에 따른 영향

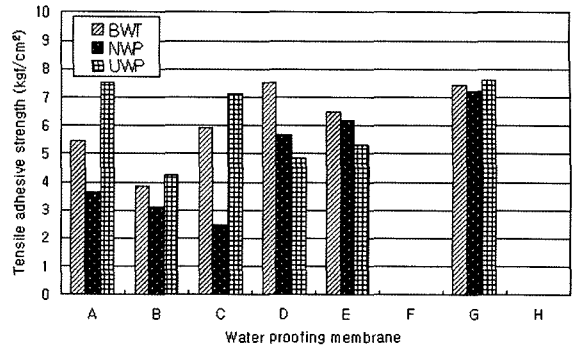
하절기 교면용 아스팔트 포장층에 가해지는 온도는 약 60°C 정도로 차량의 운하중에 의해 한번 발생한 변형이 회복되는데는 상당한 시간이 걸린다. 이 상태에서 반복적으로 운하중이 주행하면 포장 내부에는 변형이 완전히 회복되지 않고 누적되어 영구변형 형태로 남게되고 이에 따라 포장층 아래의 방수재의 접착성에도 그 영향이 미치게 된다. 따라서 본 절에서는 실험 후 반복주행시험에 의한 바퀴자국 바로 아래지점(under wheel path: UWP), 바퀴자국 지점 부근(near wheel path: NWP)에서 코어를 채취한 후 인발용(Pull out) 디스크를 부착시키고 TAS 시험을 실시하였다.

실험결과는 아스팔트 혼합물의 종류에 따라 반복주행시험 전(before wheel tracking: BWT), 반복주행시험으로 인해 포장층이 변형된 부위 바로 옆(NWP), 그리고 포장층이 변형된 지점(UWP)에서 실시된 실험결과를 그림 5(a), (b)에 나타내었다.

아스팔트 시공온도에 따른 TAS 실험결과(그림 3)



(a) SMA mixture



(b) Dense-grade mixture

그림 5. Waterproofing membrane type by wheel tracking test before and after tensile adhesive strength

에서 알 수 있듯이 무기질 탄성계(F)와 폴리우레탄계(H)의 경우 반복주행시험 이후 방수재로부터 아스팔트가 완전 탈리되어 실험이 불가능하였다. 이는 반복주행시험의 실시 유무에 관계없이 접착력이 거의 발현이 되지 않았는데 제품자체의 배합오류 및 물성 자체가 아스팔트 적용시 고온의 열에 의한 저항성을 가지고 있지 않거나 아스팔트와의 접착성분이 소실되기 때문인 것으로 판단된다.

시트식 방수재는 아스팔트 포장층의 종류에 상관없이 반복주행시험 후의 NWP에서의 TAS는 감소한 반면에, UWP에서의 접착력은 BWT보다 오히려 증가하였다. 이는 시트식 방수재는 방수층의 두께가 3.5mm 이상이고, 시험온도가 60°C의 고온에서 재질이 연성으로 되기 때문에 NWP에서는 방수층의 밀림현상이 발생하였기 때문이고, UWP에서는 접착 결합부위가 반복주행시험에 의한 다짐압력으로 오히려 잘 밀착되었기 때문이라고 판단된다. 그러나 시트식 방수재 자착형(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 NWP에서의 접착력의 감소는 밀입도 시험체에서 더 현저한데, 이는 기존에 잘 알려진 바와 같이 밀입도 아스팔트 포

장이 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 찢김이나 뚫림으로 인한 접착력 손실이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 에폭시 수지계(G)를 제외하고는 아스팔트 혼합물의 종류에 상관없이 UWP에서의 접착력이 가장 낮은 것으로 나타났다. 에폭시 수지계의 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 운하중이 작용하여도 방수층의 TAS에 미치는 영향은 달라질 수 있다는 것을 알 수 있었다.

그러나 반복주행시험 결과 실험전과 차이는 있지만, 이러한 차이가 혼합물 두께의 증가로 인한 밀림의 방지 등에 의한 영향인지, 다짐 효과에 의한 영향인지를 정확하게 판정하기에는 한계가 있음을 알 수





있었다. 또한 실제 교면에서의 운하중은 일정한 온도에서 반복되는 것이 아니라 가변적인 온도 싸이클에 지배되기 때문에 방수재의 물리·화학적 특성에 따라 실내에서 수행한 반복주행시험에 의한 결과와 차이가 있을 것으로 판단된다.

### 3.5 방수재 종류에 따른 파괴 형상

방수재는 강성체인 시멘트 콘크리트와 점탄성체인 아스팔트 콘크리트라는 이질적인 층 사이에 존재하므로 완전 일체화된 접착성을 발휘하기가 매우 어렵다. 따라서 TAS 시험 후 접촉면과의 계면에서 탈리(debonding) 상태가 매우 중요하므로 이를 중점적으로 조사하였다.

시트식 방수재는 주로 방수재와 바닥과 콘크리트 계면에서 탈리가 관찰되었고 아스팔트 포장층과는 접착성이 우수하였다. 이는 시트방수재가 중심기재인 직포나 부직포(woven fabrics or non-woven fabrics)에 열가소성고무와 개질 고무아스팔트를 함유한 형태이어서 아스팔트에는 용융되어 완전 결합이되나 콘크리트에는 그렇지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 그림 6은 방수재가 아스팔트 층에 붙은 상태로 콘크리트에서 떨어진 면을 보여주며 종류별로 탈리 경향에 큰 차이가 없었다.

반면에, 도막식 방수재는 시트식 방수재와는 반대



그림 6. Debonding between the waterproofing membrane and the concrete (Sheet types)



그림 7. Debonding between the waterproofing membrane and the concrete (Liquid systems)

로 콘크리트 바닥판과의 접착성은 좋았으나, 그림 7과 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.

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

그러나 에폭시 수지계(G) 도막방수재는 TAS 시험에서 인발용 디스크와 아스팔트 포장층 계면으로부터 탈리되었으며, 콘크리트와의 접착성도 매우 좋



있다. 반면에 폴리우레탄계(H)의 경우 실험이 불가할 정도로 방수재와 아스팔트 계면에서 탈리되어, 아스팔트와의 접착성의 문제로 인해 물성 개선이 이루어지지 않는다면 교면방수재로 사용하기에는 문제가 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 다양한 종류의 교면용 방수재를 계열별로 선정하여 아스팔트 혼합물의 종류 및 시공 온도, 포장층의 두께, 반복주행시험을 통해 교면방수재의 가장 중요한 특성 중의 하나인 인장접착강도 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 개질 아스팔트가 아스팔트 혼합물과의 강한 접착제 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다. 반면 도막식에서는 클로로프렌 고무계를 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 접착성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 실험실 상에서의 평가로는 포장층 두께에 따른 영향은 크게 나타나지 않았으나, 역학적·환경적 요인을 고려한다면 5cm 보다는 8cm 두께가 방수재의 공용성 및 포장층 보수시에도 경제성이 있을 것으로 추정된다. 하지만 이는 실제 현장을 통한 상세한 연구가 이루어져야 구체적으로 알 수 있을 것으로 사료된다.

- (4) 차량 주행시 작용하중에 의한 방수층의 밀림현상에 대한 영향을 평가하기 위해 실시된 반복주행시험 전·후의 TAS 실험결과에서는 전단력에 의해 바퀴자국 옆(near wheel path) 계면에서의 접착력의 감소가 발생하는 것으로 나타났다.
- (5) 본 연구에서 사용된 TAS 실험방법은 일본도로공단에서 규정하고 있는 인장접착시험에 준하였지만, 국내에서는 아직 정확한 규정이나 기준 값이 정해져 있지 않다. 이로 인해 현장에서 작업시 많은 시행착오로 교통개방 후 짧은 기간에 많은 하자가 발생하고 있다. 따라서 향후 국내에서 표준화된 시험법의 제정이 필요하며, 본 연구를 통해 얻어진 각 변수에 대한 인장접착 특성의 영향을 고려하여 시공에 반영한다면 우선은 조기손상을 줄이는데 어느 정도 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

1. 이병덕, "교면방수 시스템의 인장접착 성능 개선을 위한 영향인자 분석", 박사학위논문, 강원대학교, 2002.
2. Manning, D. G., "Waterproofing for Concrete Bridge Decks", *NCHRP Synthesis of Highway Practice 220*, TRB, Washington, D. C, 1995, pp. 34~43.
3. Price, A. R., "A Field Trial of Waterproofing Systems for Concrete Bridge Decks", *TRRL Research Report 185*, TRRL, 1989.
4. Price, A. R., "Laboratory Test on Waterproofing Systems for Concrete Bridge Decks", *TRRL Research Report 248*, TRRL, 1990, pp. 12~26.
5. Price A. R., "Waterproofing of Concrete Bridge Decks : Site Practice and Failures", *TRRL Research Report 317*, TRRL, 1991.

〈접수 : 2003. 3. 31〉