**Journal of the Korean Society of Civil Engineers**
Vol. 37, No. 6: 1043-1051/ December, 2017
DOI: https://doi.org/10.12652/Ksce.2017.37.6.1043

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

**Highway Engineering** **도로공학**

# 에폭시 아스팔트 바인더를 이용한 응력흡수층의 성능평가

조신행* · 이봉림** · 김낙석***
Jo, Shin Haeng*, Lee, Bong Lim**, Kim, Nakseok***

# Performance Evaluation of Stress Absorbing Membrane Interlayer Using Epoxy Asphalt Binder

**ABSTRACT**

Asphalt overlay on deteriorated concrete pavement has a problem of early damage due to reflective cracking. There is a need for a new method capable of reducing reflection cracking and ensuring the durability of pavement. The purpose of this study was to obtain durability of asphalt overlay with stress absorbing membrane interlayer (SAMI) using epoxy asphalt binder. The tensile performance, durability, water resistance and bonding performance of Epoxy-SAMI were evaluated by various tests. As a result of tests, Epoxy-SAMI meets the quality standard of the bridge waterproofing material. The repeated direct tensile test was carried out to investigate the effect of reflective cracking reduction. When the Epoxy-SAMI was applied, it had 1.2~1.56 times higher reflective cracking resistance than PSMA asphalt concrete with the thickness of 10cm even if the section thickness decreased. 4-point bending beam test results showed the number of fatigue failures increased 7.5 times when Epoxy-SAMI was applied. The Epoxy-SAMI was found to be effective in improving the durability of the asphalt pavement overlay because it serves to prevent reflective cracking, increase lifespan, and function as a waterproof layer.

**Key words :** Asphalt pavement overlay, Reflective cracking, SAMI, Epoxy asphalt binder

**초 록**

노후 된 도로 포장 개량을 위한 아스팔트 덧씌우기 포장의 경우 반사균열로 인한 조기파손이 문제가 되고 있어, 반사균열을 억제하고 포장의 내구성을 확보할 수 있는 새로운 공법이 필요한 실정이다. 에폭시 아스팔트 바인더를 이용한 응력흡수층(SAMI)을 통해 아스팔트 덧씌우기 포장의 내구성을 확보하고자 하였다. 에폭시 응력흡수층의 인장성능, 접착성능, 방수성능, 내화학성, 내구성 실험을 수행하였으며, 교면 방수재료의 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다. 반사균열 억제 효과를 검토하기 위해 반복직접인장실험 결과 에폭시 응력흡수층 적용시 단면 두께가 감소하여도 두께 10cm의 PSMA 아스팔트 콘크리트에 비해 1.2～1.56배 높은 반사균열저항성을 나타내었다. 4점 빔피로 실험 결과 에폭시 응력흡수층을 적용하면 피로파괴횟수가 약 7.5배 높아져 포장의 내구성을 향상시킬 수 있었다. 에폭시 응력흡수층은 반사균열 억제와 피로수명 향상 및 방수층으로서의 역할을 수행하여 아스팔트 덧씌우기 포장의 내구성 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다.

**검색어 :** 아스팔트 덧씌우기 포장, 반사균열, 응력흡수층, 에폭시 아스팔트 바인더

* 경기대학교 토목공학과 공학박사 (Kyonggi University · roadcreator@gmail.com)
** 정회원 · 경기대학교 토목공학과 박사과정 (Kyonggi University · jaa5550@naver.com)
*** 종신회원 · 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 교수 (**Corresponding Author** · Kyonggi University · nskim1@kgu.ac.kr)

**Received** August 16, 2017/ **revised** September 6, 2017/ **accepted** October 25, 2017

Copyright ⓒ 2017 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

도로 포장은 차량 통행에 따른 교통하중과 온도 변화, 강우, 강설과 같은 환경영향으로 인해 공용 후 지속적인 성능저하가 이루어지며 파손에 이르게 된다. 노후 된 도로 포장을 보수하는 방법은 기존 포장위에 새로운 포장을 덧씌우기 하거나 기존 포장을 절삭한 후 덧씌우기 포장을 실시하는 것이 일반적이다. 그러나 아스팔트 덧씌우기 포장은 기존 포장에 존재하는 균열이 상부로 전이되는 반사균열(reflective cracking)로 인해 신규 포장에 비해 공용수명이 짧아지는 단점이 있다.

노후 시멘트 콘크리트 포장의 보수공법은 공용중 도로의 교통통제와 주행성 개선을 감안하여 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 포장이 주로 적용되나 강성포장위에 덧씌우기 된 아스팔트 콘크리트 포장이 신축줄눈과 기존 균열로 인한 반사균열 발생으로 조기에 파손되는 문제점이 있다. 국내에서도 시멘트 콘크리트 포장 위 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 포장을 실시한 경우 반사균열로 인한 조기 파손으로 빈번한 재포장이 이루어지고 있는 것으로 보고되고 있다(Kim, 2008).

20~30년 전 시멘트 콘크리트 포장이 적용된 고속국도의 공용수명이 경과함에 따라 대대적인 시멘트 콘크리트 포장의 유지보수 필요성이 대두되고 있기 때문에 내구성을 확보하며 경제적인 보수공법의 개발이 필요하다. Lee (2015)는 노후화 시멘트 콘크리트 포장 유지보수를 위해 아스팔트 콘크리트 포장 덧씌우기를 할 때, 내구성 확보를 위해 포장 두께를 8~15cm로 적용하는 것이 바람직하다고 하였으며, 고속국도 영동선과 중부선의 노후포장 개량공사에서는 두께 10cm의 PSMA 아스팔트 포장 덧씌우기가 적용되고 있다. 포장 두께의 증가는 내구성 확보 측면에서는 유리하나 투입 재료 증가에 따른 공사비용 상승, 포장면 높이 변동에 따른 기존 도로시설물과의 구조적 문제가 발생할 수 있다. 기존 노후 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기 포장의 내구성 향상과 포장두께 감소를 위해 반사균열 억제가 가능하며 하부층을 보호할 수 있는 새로운 포장 유지보수 공법의 검토가 필요한 상황이다.

본 연구는 기존 노후 포장의 유지보수를 위한 덧씌우기 포장 시 기존 포장의 파손이 전이되어 상부 포장의 조기파손을 야기하는 문제를 해결하고자, 노후 포장과 덧씌우기 포장 사이의 전이 응력을 소산시키기 위한 응력흡수층(SAMI, Stress Absorbing Membrane Interlayer)을 위한 재료 및 공법을 검토하고자 한다. 기존 기술의 경우 하부 시멘트 콘크리트와 상부 아스팔트 콘크리트의 이질적 재질에서 접착성능 확보에 어려움이 있으며, 포장체에 발생하는 응력에 효과적으로 대응하지 못함으로 쉽게 파손되는 문제가 있었다. 포장체의 구조적 내구성 향상과 덧씌우기 포장의 반사균열 억제 그리고 콘크리트 슬래브의 보호를 위한 방수층의 역할까지 복합적으로 수행할 수 있는 새로운 개념의 응력흡수층이 요구되고 있다.

응력흡수층에 요구되는 충분한 탄성과 내구성, 접착력, 휨추종성 등을 가질 수 있도록 고탄성, 고내구성 재료인 에폭시 아스팔트 바인더를 이용한 응력흡수층을 검토하였다. 응력흡수층과 관련하여 품질기준이 확립되어 있지 않아 교면 도막방수 재료에 적용하는 품질 평가 실험을 통해 기본적인 특성을 평가하였다. 또한 반사균열 억제 효과를 평가하기 위해 반복직접인장 실험과 4점 빔피로 실험을 수행하여 에폭시 아스팔트 응력흡수층의 포장 내구성 증진 효과를 검토하여 에폭시 아스팔트 바인더를 사용한 응력흡수층의 성능 및 적용 가능성을 평가하고자 한다.

## 2. 고탄성 응력흡수층의 재료적 특성

### 2.1 배합비 및 제조 과정

응력흡수층은 반사균열을 억제하기 위해 충분한 탄성의 확보와 시멘트 콘크리트층과 아스팔트 콘크리트층 사이의 충분한 부착성을 확보할 수 있는 에폭시 아스팔트 바인더를 주재료로 선정하였다. 에폭시 아스팔트 응력흡수층(Epoxy-SAMI)의 재료는 교면포장의 본드코트용으로 사용되는 에폭시 아스팔트 바인더를 기본 베이스로 하여 응력흡수층의 공용 및 시공 상황에 맞춰 급속양생조절재와 기타 첨가제를 혼합하였다. 본 연구는 에폭시 아스팔트 바인더의 응력흡수층 적용 가능성 검토를 목적으로 하여 에폭시 아스팔트 바인더의 기본 성분배합은 변경하지 않고 상용되는 제품을 활용하였다.

연구에 사용된 에폭시 아스팔트 바인더는 Table 1과 같이 경화제와 아스팔트 바인더가 혼합된 A재 71%, 에폭시 수지 B재 29%, 급속양생조절재를 A재, B재 혼합 중량의 3%로 구성된 바인더와 총 바인더 중량의 150%의 미네랄 필러로 구성되어 있다. 계량된 재료를 120°C로 가열한 후 교반믹서를 사용하여 1분간 교반하고 시편을 제작하였다.

### 2.2 기본 물성 평가

응력흡수층이란 기존 포장면과 덧씌우기 포장층간에 설치되는 막(membrane) 형태의 층으로 Fig. 1과 같이 하부포장에서 발생하

**Table 1.** Material Mix Design

| Item | | Formulation Range |
|---|---|---|
| Epoxy Asphalt | A | 71% |
| | B | 29% |
| Curing Agent | | 3% of Binder Weight |
| Mineral Filler | | 150% of Binder Weight |

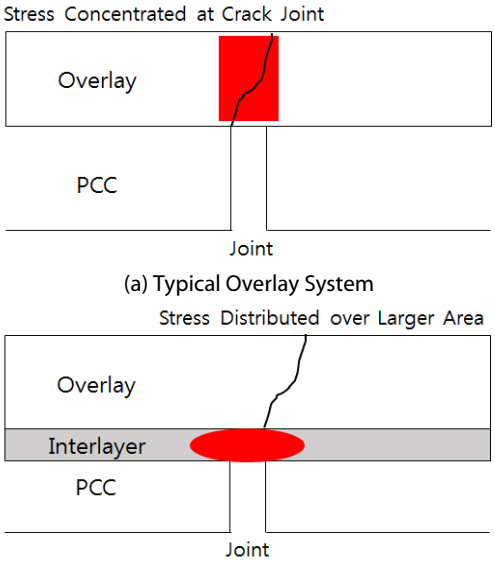


**Fig. 1.** Mechanism of SAMI in Mitigating Reflective Cracking

는 인장응력을 소산시켜 상부포장의 반사균열 및 파손을 저감시키는 역할을 하는 공법을 의미한다. 응력흡수층은 포장체 하부에 위치하여 상하부 포장층의 일체화를 위한 부착성능과 포장체의 변형에 저항할 수 있어야 한다. 또한 하부층 보호를 위한 방수성능과 수분, 염분 등 화학물질에 대한 저항성을 확보함으로써 포장체의 내구성능을 향상시킬 수 있어야 한다.

응력흡수층의 성능평가에 있어 Al-Qadi et al. (2008)은 Geosynthetics, Geocomposites, Steel reinforcement netting 및 개질아스팔트가 응력흡수층 재료로 사용되고 있으나 응력흡수층 매커니즘의 이해부족과 불완전한 평가 방법으로 인해 응력흡수층의 효과를 정량화하기 어렵다고 하였다. 또한 반사균열을 완전히 해결하기 위한 공법은 현재까지 없으며, 이는 반사균열이 매우 다양한 요인에 의해 기인하기 때문으로 분석하였다(Bhosale and Mandal, 2008). 따라서 국내의 응력흡수층의 물성에 관한 기준이 없기 때문에 Epoxy-SAMI의 물성 평가를 위해 유사한 공용 환경을 갖는 방수재료의 품질기준인 교면용 도막 방수재(KS F 4932) 기준에 따라 평가 실험을 수행하였다.

### 2.2.1 인장성능

응력흡수층은 포장체 사이에 위치하여 포장체의 온도에 의한 수축, 팽창과 교통하중에 의한 변형에 효과적으로 대응하기 위해 충분한 인장성능을 확보하여야 한다. ASTM D638에 따라 연신율 실험을 실시하였으며, 내화학성 검증과 포장층 시공시 열에 의한 성능 변화를 확인하기 위해 알칼리 처리 및 가열 처리 후의 연신율비를 통해 저항성을 평가하였다. Fig. 2는 실험에 사용된 시편이며,

**Fig. 2.** Specimen for Elongation Test

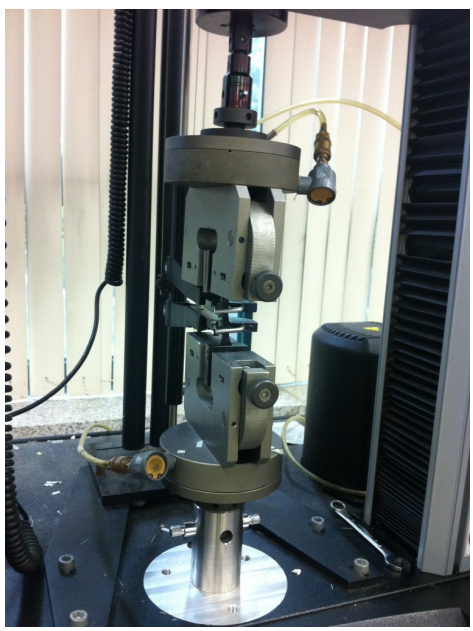

**Fig. 3.** Elongation Test

Fig. 3은 연신율 실험기이다.

내화학성을 평가하기 위한 알칼리 처리는 20±2℃의 수산화칼슘 포화 수용액에 시험편을 168시간 침지 시켰다. 가열처리는 80±3℃의 항온기에서 168시간동안 거치 후 연신율 실험을 수행하여 무처리시 연신율 실험결과와 비교하였다.

실험결과는 Table 2와 같으며 Epoxy-SAMI의 인장강도는 교면방수재료의 품질기준 1.5MPa의 4.8배 높은 7.3MPa (23°C)로 측정되었으며, 신장률의 경우 185%로 기준 100% 이상에 비해 높은 신축성을 나타내었다. 높은 인장강도와 신장률을 함께 나타낼 수 있는 것은 에폭시 수지의 영향으로 바인더의 탄성력과 변형저항성이 향상되었기 때문으로 포장체에 발생하는 변형과 하중에 충분한 저항력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 알칼리 처리 전후의 인장강도비는 90% 이상, 신장률비의 경우 평균 99%가

**Table 2.** Results of Elongation Test

| Test | | Result (MPa) | Retained Rate (%) | Requirement (KS F4932) |
|---|---|---|---|---|
| Tensile Strength ($N/mm^2$) (23°C, 40°C) | No Treatment | 7.3 (23°C)<br>7.0 (40°C) | - | Minimum 1.5MPa |
| | Alkali Treatment | 6.7 (23°C)<br>6.7 (40°C) | 91.8<br>95.7 | Minimum 80% |
| | Heat Treatment | 7.4 (23°C)<br>7.4 (40°C) | 101.4<br>105.7 | Minimum 80% |
| Elongation (%) (23°C, 40°C) | No Treatment | 185 (23°C)<br>185 (40°C) | - | Minimum 100% |
| | Alkali Treatment | 186 (23°C)<br>183 (40°C) | 100.6<br>98.9 | Minimum 80% |
| | Heat Treatment | 184 (23°C)<br>185 (40°C) | 99.5<br>100.0 | Minimum 80% |

넘어 알칼리 처리에 의한 재료 물성의 손상이 매우 적은 것으로 나타났다. 가열처리의 경우 무처리에 비해 인장강도가 101.4%와 105.7%로 다소 증가한 것은 에폭시 수지가 온도에 의한 잔류 양생이 진행되었기 때문으로 분석되며, 신장률은 가열처리 전후에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

에폭시 아스팔트 바인더는 에폭시 수지의 뛰어난 내화학성과 내열성을 포장재료에 적용하기 위해 개발된 기술로 공항이나 교면 포장 등 화학적 침식이나 열에 의한 손상이 우려되는 곳에 주로 적용되어왔다. 특히 화학적 처리와 열에 의해서도 그 물성에 큰 변화가 없는 것으로 나타나 장기간의 공용기간 동안 성능을 유지할 수 있을 것으로 평가되었다.

### 2.2.2 접착성능

Epoxy-SAMI와 포장재료(시멘트 콘크리트 또는 아스팔트 콘크리트)와의 접착성능을 평가하기 위해 전단접착강도 실험과 인장접착강도 실험을 시행하였다. 포장층 사이에 위치하는 응력흡수층의 경우 접착성능이 부족하면 손상부위로 물이 침투하여 교통하중에 의한 밀림현상과 들뜸현상이 급격히 증가하게 되어 파손이 가속화되는 원인이 되기 때문에 포장의 내구성 확보 측면에서 매우 중요한 요소이다.

실험은 하부 시멘트 콘크리트 위에 Epoxy-SAMI를 2.5±0.5mm 두께로 포설하고 상부에 아스팔트 콘크리트를 접착하여 Fig. 4와 같이 시험용 공시체를 제작하여 전단접착강도 실험(Fig. 5)을 수행

**Fig. 4.** Specimen for Shear Bonding Test

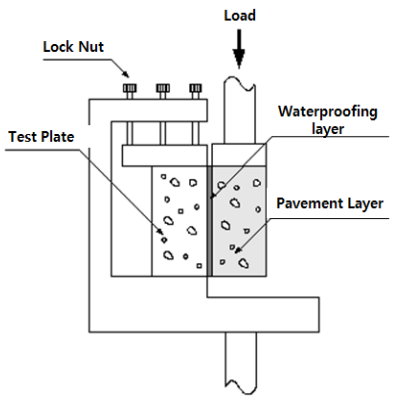


**Fig. 5.** Shear Bonding Test

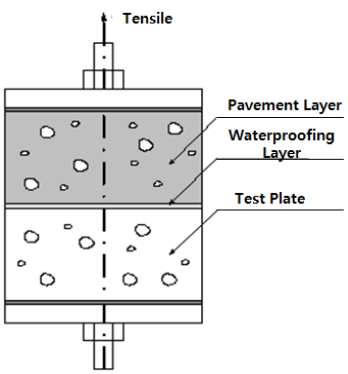


**Fig. 6.** Tensile Bonding Test

Table 3. Results of Bonding Strength Test

| Test | Result | Requirement (KS F 4932) |
|---|---|---|
| Shear Bonding Strength ($N/mm^2$) | 4.70 (-10°C) | Minimum 0.80 |
| | 0.79 (23°C) | Minimum 0.15 |
| Shear Bonding Strain (%) | 1.8 (-10°C) | Minimum 0.5 |
| | 3.0 (23°C) | Minimum 1.0 |
| Tensile Bonding Strength ($N/mm^2$) | 2.0 (-10°C) | Minimum 1.2 |
| | 1.1 (23°C) | Minimum 0.6 |
| Retained Tensile Bonding Strength (in water, 23°C, 7 days) | 90.9% (1.0 $N/mm^2$) | Minimum 70% |

하였다. 또한 Fig. 6과 같이 인장접착강도 실험을 무처리 조건과 7일 동안 상온(23°C)의 물에 침지 시킨 후 측정하여 수분에 의한 접착강도의 변화를 평가하였다.

실험결과 Table 3과 같이 교면용 도막방수재 기준을 모두 만족하는 수준의 접착강도를 나타내었다. 수분에 의한 접착강도 손실을 평가하기 위해 잔류 인장접착강도를 측정한 결과 90.9%로 수분에 의한 접착력의 상실은 크지 않은 것으로 나타났다.

Epoxy-SAMI의 기본 재료로 사용된 에폭시 아스팔트는 교량의 강바닥판과 포장층과의 접착을 위해 사용되는 본드코트 재료로 현장에서 측정한 인장접착강도 실험에서는 약 3MPa의 인장강도를 나타내었다. 표면이 매끄러운 강바닥판을 대상으로 한 실험이기에 Table 3의 상온에서의 인장접착강도 1.1MPa과 직접적인 비교는 어려우나 응력흡수층에 적용하기 위해 추가된 미네랄 필러 및 첨가제로 인한 물성 변화로 접착성능이 다소 약화된 것으로 보인다. 그러나 방수층에 적용되는 접착성능 기준을 만족하기 때문에 포장층과의 일체화된 거동을 확보하는 것에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 또한 이후 수행된 반복직접인장실험과 4점 빔피로 실험에서는 접착성능이 실험결과에 큰 영향을 미침으로 실험결과를 통해 보다 확실한 분석이 가능할 것이다.

### 2.2.3 수분 및 염화이온 침투저항성

응력흡수층이 하부포장층을 보호하여 포장체의 내구성을 증진시키기 위해서는 방수성능을 가져야 한다. 또한 방수성능이 확보될 경우 기존 방수층 설치를 생략할 수 있어 경제성과 시공성면에서 큰 장점을 가질 수 있다. 하부 포장이 시멘트 콘크리트일 경우 방수층으로서의 기능과 더불어 시멘트 콘크리트의 열화 방지를 위한 염화이온침투에 대한 저항성이 하부 포장의 내구성 확보를 위해 필요하다. 이를 확인하기 위해 Fig. 7과 같은 내투수성 시험을 실시하였다. 시험은 시험체에 0.3$N/mm^2$의 수압을 3시간 동안 가하여 시험체 중앙부와 하부에 물이 침투되었는지 확인하는 방법으로 수행하였다. 염화이온 침투 저항성 시험은 KS F 2711에

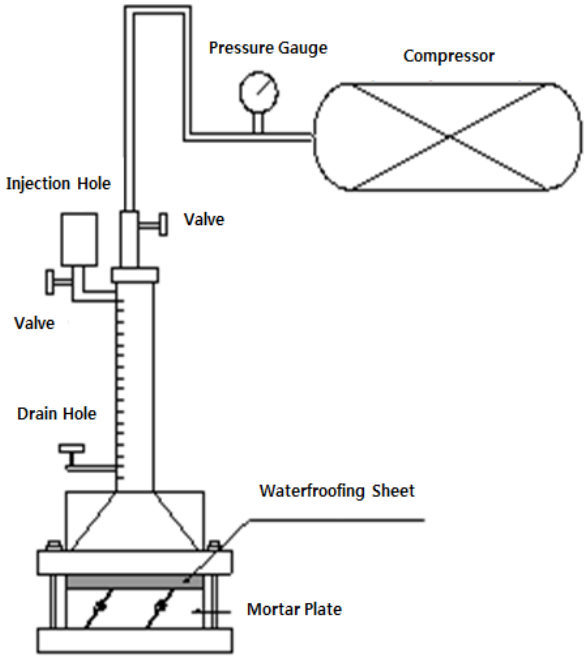


Fig. 7. Waterproof Test

Fig. 8. Specimen for Resist Chloride Ion Penetration Test

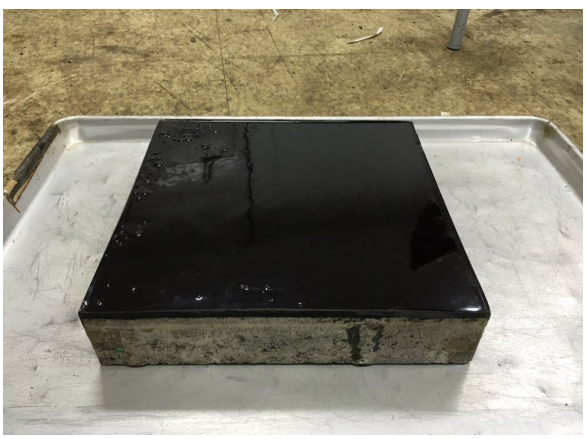

Fig. 9. Specimen for Resist Cave-In Test

Table 4. Test Results of Penetration Test

| Test | Result | Requirement |
|---|---|---|
| Resistance to Water Penetration | No | No |
| Resistance chloride ion penetration (Coulombs) | 38 | Maximum 100 |
| Resistance to cave-in | No | No |

따라 수행하였으며 Fig. 8은 시험에 사용된 시편이다. Fig. 9는 상부 포장 시공시 응력흡수층의 파손 위험을 평가하기 위한 내움푹 패임 시험용 공시체의 모습이다. 내움푹 패임 시험은 시험기를 공시체 위에 24시간 정치한 후 패인 부위의 누수여부를 확인한다.

Table 4와 같이 방수성능 실험결과 공시체로 전혀 물이 침투하지 않아 방수성능을 확보할 수 있음을 확인하였으며, 염화이온침투실험 결과 38coulombs으로 측정되어 염화이온침투에 대한 저항성이 양호한 것으로 나타났다. 내움푹 패임 실험에서도 약간의 눌림 자국만 관찰되었으며 파손이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

방수성능 평가결과 Epoxy-SAMI는 아스팔트 바인더와 에폭시 수지의 혼합이기 때문에 물과 염화이온의 침투에 저항성이 우수한 것으로 측정되었다. 특히 응력흡수층의 경우 상하부 포장층의 움직임과 교통하중에 의해 파손의 위험이 있으나 내움푹 패임 실험의 충격에도 파손이 발생하지 않고 방수성능을 유지하는 것으로 나타났다. Epoxy-SAMI는 물리적 손상이 없을 경우 방수성능 확보가 가능하나 상부층 시공시 고온의 혼합물과 다짐작업으로 인해 파손이 발생할 수 있음으로 이에 대해서는 시공 시 주의를 기울여야 할 것이다.

#### 2.2.4 내구성능

KS F 4917과 KS F 4932에 따라 저온굴곡성 실험과 내피로성 실험, 내균열성 실험을 실시하였다. Fig. 10은 내균열성 실험에 사용된 공시체로 시멘트 모르타르 각기둥에 Epoxy-SAMI를 부착시킨 모습이다. 내구성의 평가는 포장체에 발생하는 변형에 의해 응력흡수층이 찢어지거나 잔금이 발생하거나 파단되는 것에 저항하는 정도로 평가한다. 내피로성 실험은 차량 통행에 따른 지속적인 반복하중에 의해 발생하는 진동과 변형에 대한 응력흡수층의 내피로성을 평가하기 위한 실험이다. 내균열성은 기존 포장면의 균열이 발생하였을 때 응력흡수층이 균열에 대한 저항성이 확보되는지 여부를 확인하기 위해 수행되었다.

Epoxy-SAMI는 상온에서 구부릴 수 있을 정도로 탄성이 높기 때문에 휨추종성이 뛰어나며 반복적인 변형에 대한 저항성이 우수하다. 저온(-10°C)에서 수행된 실험결과 Table 5와 같이 Epoxy-SAMI는 저온굴곡성, 내피로성, 내균열성 실험 이후 육안관찰 결과 파손이 발생되지 않아 기준을 만족하였다. 내구성능 실험 항목은

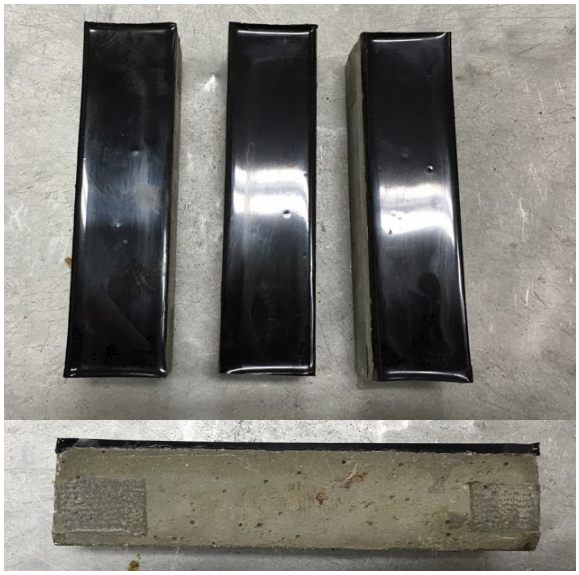

Fig. 10. Specimen for Crack Resistance Test

Table 5. Durability Test

| Test | Result | Requirement (KS F 4932) |
|---|---|---|
| Vending ability at low temperature (-10°C) | No | No crack |
| Resistance of fatigue (-10°C) | No | No damage |
| Resistance of crack (-10°C) | No | No damage |

교면용 도막방수재 품질 기준에 의한 것으로 시편에 변형을 가하여 파손여부를 육안관측하여 평가함으로 정량적 평가가 이루어지지 못하는 한계가 있으므로 Epoxy-SAMI의 내구성능은 반복직접인장실험과 4점 빔피로 실험을 통해 실제 거동 상황과 유사한 조건에서 평가하고자 하였다.

## 3. 반사균열 억제 효과

### 3.1 반복직접인장실험

응력흡수층은 기존 포장의 균열이 덧씌우기 포장으로 전이되는 것을 최대한 늦추기 위한 반사균열 저항성을 확보하는 것이 가장 중요한 성능이다. 따라서 에폭시 응력흡수층의 반사균열 저감 효과를 평가하기 위해 반복직접인장실험을 수행하였다. 반복직접인장실험은 Fig. 11과 같이 직사각형 모양의 공시체를 금속판위에 접착한 후 하부 금속판을 일정한 간격으로 이동시켜 반사균열을 발생하여 파괴에 이르는 횟수를 측정함으로써 아스팔트 콘크리트의 피로균열 저항성을 평가하는 실험이다. Cleveland et al. (2002), Lee and Kim (2016) 등은 반복직접인장강도 실험을 이용하여 혼합물의 종류, 포장두께, 응력흡수층의 사용 유무 등에 따라 반사균

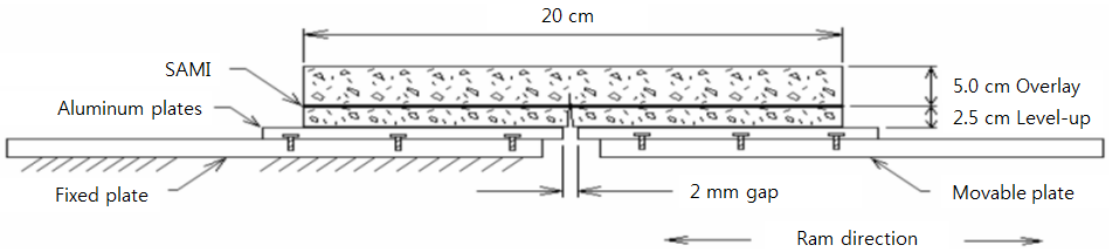


**Fig. 11.** Concept of Overlay Tester

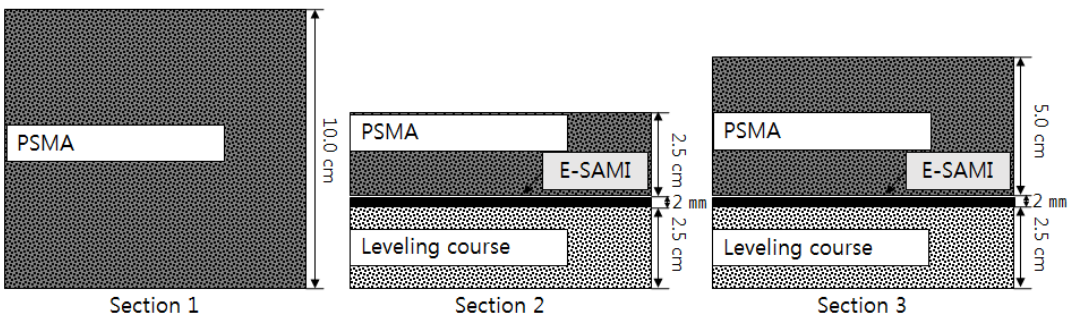


**Fig. 12.** Cross Section of Specimens

열 저감효과를 평가하였다. Lee and Kim (2016)의 연구결과에 따라 초기인장응력의 10%에 도달하는 시점을 파괴로 규정하고 이때의 반복재하횟수를 측정하였다. 시험은 길이 200mm, 폭 70mm, 두께 50~100mm의 공시체를 제작하고 0.64mm/10sec의 변형을 재하 하였다.

Fig. 12는 실험에 사용된 공시체의 단면이다. Section 1은 PG 76-22의 SBS 개질 아스팔트 바인더를 사용한 13mm PSMA 아스팔트 콘크리트로 공극률 4%로 배합설계를 실시하고 두께 10cm로 제작하였다. Section 2의 경우 2.5cm의 조절층(Leveling course)은 스트레이트 아스팔트(PG 64-22)를 사용한 WC-1 아스팔트 콘크리트를 사용하였으며, 조절층 다짐 후 Epoxy-SAMI를 설치하고 상부에 Section 1에 사용된 13mm PSMA를 2.5cm로 구성하였다. Section 3은 Section 2와 동일한 구성에 상부 13mm PSMA의 두께를 5cm로 증가시킨 것이다.

상온 20°C에서 Section별로 3회 실험을 수행하고 파괴횟수의 평균을 구하였다. 실험 결과 Fig. 13과 같이 10cm 두께의 PSMA의 파괴 횟수 5,321에 비해 전체두께 5cm의 Section 2에 Epoxy-SAMI를 적용하였을 때 6,342회의 파괴 횟수를 나타내어 약 20% 반사균열 저항성이 향상된 것으로 나타났다. 또한 Section 3과 같이 상부 PSMA의 두께를 5cm로 증가시켰을 경우는 파괴횟수 8,311회로 약 56%의 반사균열 저항성이 향상되었다.

Fig. 14는 Section 2의 Epoxy-SAMI가 적용된 5cm 두께의 시편과 PSMA 5cm, WC-1 (일반) 5cm 시편의 반복직접인장에 따른 인장하중 그래프이다. Fig. 14에 나타난 것과 같이 응력흡수층

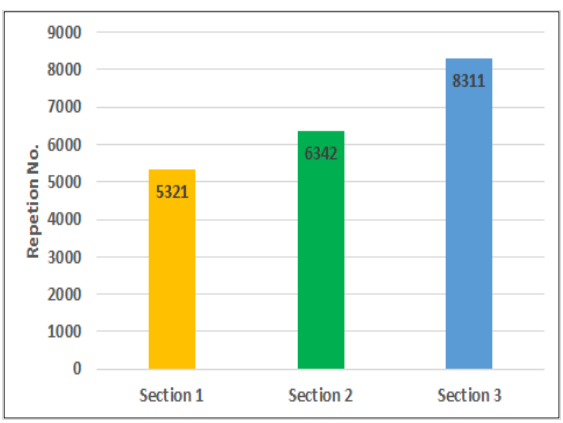


**Fig. 13.** Test Result of TTI

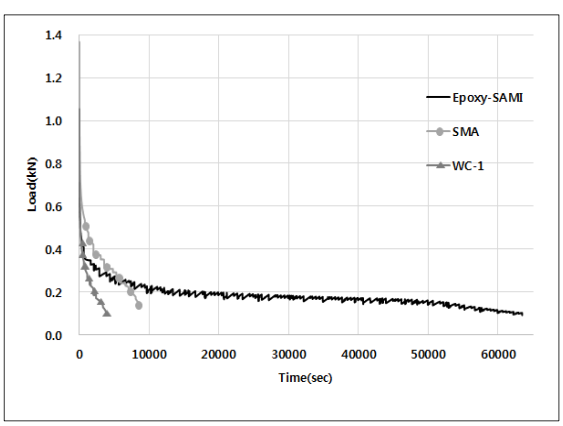


**Fig. 14.** Load Curve with and without Epoxy-SAMI

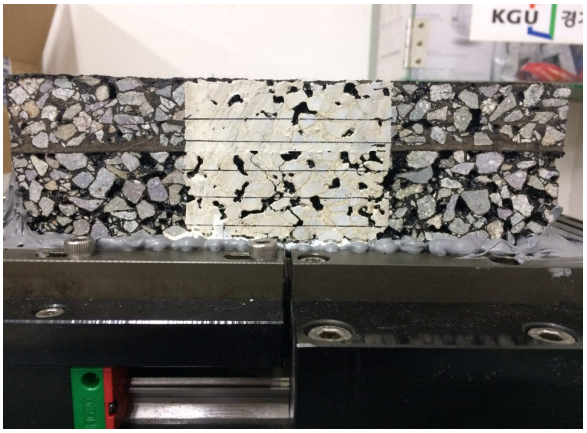

Fig. 15. Crack Aspect of Epoxy-SAMI

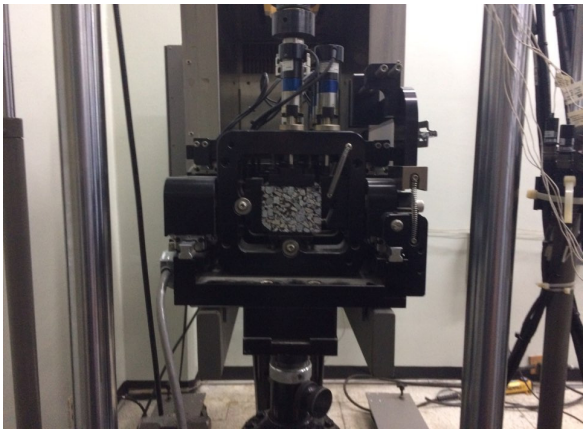

Fig. 16. 4 Point Bending Fatigue Test

이 사용되지 않은 포장의 경우 균열의 진전이 지속되어 인장하중이 꾸준히 감소하는 것으로 나타나지만 응력흡수층이 적용되면 응력흡수층이 균열의 진전을 막아 인장하중의 감소가 없거나 매우 서서히 감소되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 15에 나타난 것과 같이 하부에서 진전되는 균열이 응력흡수층에 도달하여 진전되지 않는 모습을 관찰할 수 있었다.

### 3.2 4점 빔 피로 실험

에폭시 응력흡수층은 포장체에 발생하는 응력을 흡수하여 포장체의 피로수명 개선에도 기여할 것으로 예상되었으며, Caltabiano (1990), Sanders et al. (1999) 등의 연구에서도 빔 피로 실험을 통해 응력흡수층의 성능을 평가한 사례가 있어 Epoxy-SAMI를 통한 포장 내구성 증진 효과를 검토하기 위해 4점 빔 피로 실험을 수행하였다.

실험은 AASHTO T 321-07에 따라 수행하였다. 20℃의 온도에서 길이 380mm × 폭 63mm × 두께 50mm 크기의 시편을 준비하고 5~10Hz의 사인파의 형태로 하중을 재하 한다. 실험을 통해 초기 50Cycle에서 측정된 초기강성을 기준으로 초기 강성의 50%에 이르면 파괴된 것으로 판단하였으며, 이때의 재하횟수가 파괴횟수가 된다. 시험에 사용된 공시체는 시험이 가능한 공시체 크기의 한계로 인해 두께 50mm로 동일하게 제작하였다. Epoxy-SAMI 시료는 10mm PSMA 아스팔트 혼합물을 하부 2.5cm 다짐한 후 Epoxy-SAMI를 포설하고 상부에 다시 10mm PSMA 아스팔트 혼합물로 2.5cm 다짐하여 제작하였다. 비교군으로는 10mm PSMA 아스팔트 혼합물로 두께 50mm로 제작한 공시체와 기존 택코트 접착시와 비교하기 위해 공시체 제작 몰드에 2.5cm의 10mm PSMA 혼합물을 다지고 그 위에 유화아스팔트 택코트인 RSC-4를 살포한 후 다시 10mm PSMA 혼합물을 붓고 다짐하여 총 5cm 두께의 시험편을 제작하여 비교 실험을 수행하였다. Fig. 16은 실험에 사용된 4점 빔 피로 실험기이다.

Table 6. Test Results of 4 Point Bending Test

| Asphalt Concrete Types | Epoxy-SAMI | PSMA (5cm) | RSC-4 |
|---|---|---|---|
| Failure Number (20℃, 10Hz, ±0.32mm Strain Control) | 143,450 | 19,099 | 11,237 |

Table 6은 4점 빔 피로 실험에 대한 결과이다. 5cm 두께의 PSMA 아스팔트 콘크리트의 경우 19,099회를 나타냈으나 Epoxy-SAMI 적용시 7.5배 늘어난 143,450회의 파괴횟수를 나타내어 Epoxy-SAMI가 포장의 내구성 향상에 높은 효과가 있는 것으로 확인되었다. 또한 기존 RSC-4 택코트 적용시 접착층이 없는 5cm PSMA 아스팔트 콘크리트에 비해 파괴횟수가 60% 이하로 낮아지는 것으로 나타났는데 이는 포장의 일체화가 내구성에 큰 영향을 미치기 때문으로 RSC-4에 비해 Epoxy-SAMI가 포장의 일체화 거동과 내구성 향상에 효과적인 것을 의미한다. 반복직접인장실험에서 보다 Epoxy-SAMI의 효과가 크게 나타난 것은 실험 방법에서 좌우로 포장체를 당기는 반복직접인장실험과 달리 윤하중에 의한 포장의 휨거동을 모사하는 4점 빔 피로 실험의 특성상 Epoxy-SAMI의 기능저하가 느려지기 때문인 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

에폭시 아스팔트를 이용한 응력흡수층(Epoxy-SAMI)에 대해 기본적인 물성 실험과 반사균열저항성 및 피로실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 에폭시 아스팔트 바인더를 이용한 응력흡수층의 기본적인 물성을 확인하기 위해 다양한 실험을 수행하였다. 실험결과 Epoxy-SAMI는 시멘트 콘크리트와 아스팔트 콘크리트에 뛰어난 접착

성을 갖는 에폭시의 영향으로 내화학성, 방수성, 부착성능이 교면방수재의 품질기준을 만족하였으며, 특히 접착성능에 있어 상온에서의 전단접착강도는 기준의 5.3배 인장접착강도는 기준의 1.8배로 매우 높은 부착성능을 나타내었다. 또한 저온굴곡 실험, 내피로성, 내균열성 실험결과 파손이 발생하지 않아 교통하중, 환경하중에 의한 포장체의 진동, 변형에도 파괴되지 않을 수 있는 인장강도와 변형 저항성을 갖는 것으로 나타났다.

(2) 반사균열저항성 평가를 위해 반복직접인장 실험을 수행하였으며 실험결과 두께 10cm의 PSMA 아스팔트 포장에 비해 포장두께 5cm의 Epoxy-SAMI 설치 포장이 1.2배 높은 반사균열 저항성을 갖는 것으로 나타나 기존 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 포장시 포장 두께 감소가 가능한 것으로 나타났다. Epoxy-SAMI는 아스팔트 콘크리트 내부의 보강재 역할을 함에 따라 4점 빔 피로 실험 결과 PSMA 아스팔트 콘크리트의 피로수명을 7.5배 증가시켜 포장의 내구성 향상에 효과가 있음을 확인하였다.

(3) 에폭시 응력흡수층은 반사균열 억제에 효과적이며 포장의 내구성을 향상시킴과 동시에 방수층으로서의 역할을 수행할 수 있어 노후 시멘트 콘크리트 포장의 유지보수에 매우 효과적일 것으로 판단되며, 포장의 내구성을 향상시킬 수 있어 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 포장의 조기파손 및 내구성향상에 큰 기여를 할 수 있는 것으로 나타났다.

## References


Al-Qadi, I.L., Baek, J., Buttlar, W.G. (2008). “Development of reflective cracking index to determine the effectiveness and service life of strip interlayer systems.” *Proceedings of 6th International RILEM Conference*, pp.801-810.

Bhosale, S.S. and Mandal, J.N. (2008). “Open graded asphalt concrete for mitigation of reflection cracking on asphalt concrete overlays.” *12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, pp. 4409-4416.

Caltabiano, M.A. (1990). *Reflection cracking in asphalt overlays*, M.Phil. Dissertation, University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom

Cleveland, G.S., Button, J.W., Lytton, R.L. (2002). *Geosynthetic in flexible and rigid pavement overlay*, Texas Transport Institute, Texas A&M University System. Report 1777-1.

Kim, H. B. (2008). “Improvement of performance of Asphalt pavement overlay.” *Korean Society of Road Engineers*., KSRE, Vol. 10, No. 1, pp. 30-37 (in Korean).

Lee, K. H. (2015). “Method for increasing the service life of concrete pavement overlay.” *Seminar on Technological Development of Asphalt Pavement* (in Korean).

Lee, B. L. and Kim, N. (2016). “Establishment of failure criteria of repeated direct tensile test to evaluate reflective cracking resistance of asphalt concrete pavement.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*., KSRE, Vol. 36, No. 6, pp. 1109-1116 (in Korean).

Sanders, P.J., Brown, S.F. and Thom N.H (1999). “Reinforced asphalt for crack and rut control.” *7th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*.

AASHTO, *Standard method of test for determining the fatigue life of compacted Hot-Mix Asphalt (HMA) subjected to repeated flexural bending*, AASHTO Designation: T 321-17, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2017.

ASTM, *Standard test method for tensile properties of plastic*, ASTM Designation; D638, American Society for Testing and Materials, 2014.

KS, *Testing method for resistance of concrete to chloride ion penetration by electrical conductance*, KS Designation; F 2711, Korean Industrial Standards, 2012 (in Korean).

KS, *Polymer-modified bitumen waterproofing sheet*, KS Designation; F 4917, Korean Industrial Standards, 2016 (in Korean).

KS, *Waterproofing membrane coating for concrete deck of bridge*, KS Designation; F 4932, Korean Industrial Standards, 2012 (in Korean).