

# 보수성 포장 동결융해 저항성 평가

## The Resistance Evaluation of Water Retaining Pavements Subjected to Freezing-Thawing

전순제\* · 최정석\*\* · 류득현\*\*\* · 이수형\*\*\*\* · 유인균\*\*\*\*\*

Jun, Soon Je · Choi, Chung Seog · Ryu, Deug Hyun · Lee, Soo Hyung · Yoo In Kyun

### 1. 서 론

도로포장은 보행에서 자동차까지 이동하기 위한 수단이 변화함에 따라 변화하여 왔다. 20세기초 자동차가 보급되면서 아스팔트와 시멘트를 이용하여 평탄성 확보 및 강우의 침투로 인한 지반의 연약화를 방지하기 위해 포장 표면을 불투수층으로 하는 포장형식이 개발되었으며 이러한 포장형식은 현재까지도 널리 이용되고 있다.

최근 인구의 증가와 산업화 및 도시개발이 이루어지면서 콘크리트, 아스팔트 등에 의한 인공 지표면의 증가, 녹지·수면 등 자연 공간의 감소와 함께 공기조절 기기, 자동차에 의한 인공 배열 등에 의해 도심부에서 국지적으로 온도가 높아지는 열섬현상이 발생되고 있으며 인공 지표면의 대부분을 차지하고 있는 도로포장이 주요 원인으로 지목되고 있다.

보수성 포장은 우수 또는 인위적으로 살수된 수분을 흡수·보수(保水)하여 포장체가 태양에 의해 가열되어, 보유하고 있는 수분을 대기 중에 방출하여 노면의 온도가 상승하는 것을 억제하는 포장으로 도시 건물 녹화와 함께 도시부의 열섬현상 저감 대책의 하나로 주목받고 있다.

보수성 포장으로 여름철에 열대야, 열섬현상 등의 저감 효과를 기대할 수 있으나 국내에 적용하기 위해서는 겨울철 환경조건에서의 강설과 융해에 따른 수분의 흡수와 동결, 팽창, 융해 등의 영향에 대한 내구성능이 확보되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 겨울철 환경조건에서 보수성 포장과 기타 포장체의 상대적인 동결융해 저항성을 평가하고자 한다.

### 2. 보수성 포장 개요

#### 2.1 보수성 포장 정의

보수성 포장이란 포장체 내에 보수된 수분이 물의 증발열에 의해 노면 온도 상승을 억제하는 포장을 말한다. 적용 혼합물과 구조적 설계 기법에 따라서 개립도형 아스팔트 혼합물 모체에 보수성 시멘트 페이스트를 충전하는 아스팔트 혼합물형, 기층이나 표층·기층을 보수층으로 적용하는 2층 구조계형, 콘크리트에 흡수·보수 성능이 우수한 재료를 섞거나 충전하는 콘크리트형, 흡수·보수 성능이 우수한 포장용 블록을 이용한 블록계 보수성 포장으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 아스팔트형 보수성 포장의 동결융해 저항성을 평가하고자 하며 아스팔트형 보수성 포장의 특징과 구조 및 용도는 다음과 같다. 아스팔트형 보수성 포장의 노면 온도저하 메카니즘은 개립도 아스팔트 혼합물 공극에 충전된 시멘트 페이스트에 의해 가능하며, 보수성용 시멘트 페이스트는 수분의 보수력을 극대화할 수 있는 보수재를 혼합하고 있어 노면에 뿌려진 물을 빠르게 흡수하는 동시에 장시간 보수가 가능하여

\* 정회원 · 유진기업(주) 기술연구소 · 연구원(E-mail : godonme@eugenec.co.kr)

\*\* 정회원 · 유진기업(주) 기술연구소 · 수석연구원(E-mail : choijs@eugenec.co.kr)

\*\*\* 정회원 · 유진기업(주) 기술연구소 · 소장(E-mail : lionyu@eugenec.co.kr)

\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 · 연구원(E-mail : ikyoo@kict.re.kr)

\*\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 · 책임연구원(E-mail : ishlee1@kict.re.kr)

노면의 온도상승을 억제할 수 있다.

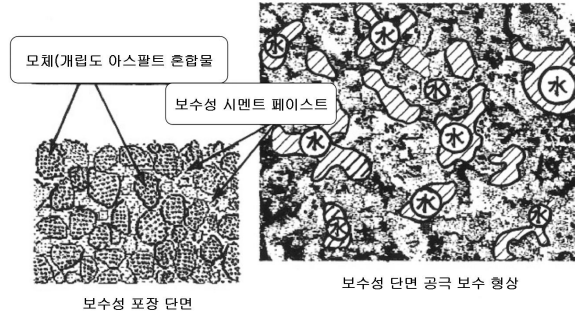


그림 1. 보수성 포장 단면 구조 형상

그림 1은 보수성 포장 단면의 구조 형상을 보여주고 있는 그림으로 개립도 아스팔트 혼합물 공극에 충전된 보수성 시멘트 페이스트는 물을 흡수하는 성능이 우수한 보수제를 함유하고 있어서 우측 그림처럼 노면으로 살수된 물이 보수성 포장체에 체류하고 있는 것을 알 수 있다. 이렇게 체류된 물은 대기과 노면의 열에 의하여 수증기로 증발하는 과정에서 노면의 온도 저감을 가능하게 하여 도로 이용자에게 안락함을 주는 동시에 근본적인 목적인 도시의 열섬저감을 가능하게 한다. 보수성능은 포장체 용적의 약 10% 정도로 5cm 보수성 포장체에서 5ℓ/㎡의 보수 성능을 확보할 수 있으므로 일반적으로 자연 상태에서 1일 증발량을 2~3ℓ/㎡로 가정한다면 대략 2~3일분의 수분을 보유할 수 있다.

보수성 포장은 열섬 저감을 위한 대도시 차도 및 보도용 포장으로 적용되며, 도로 이용자가 많은 버스터미널, 택시 정류장, 대규모 광장 등 여름철 높은 기온으로 발생하는 노면의 열로 이용자의 불쾌감을 유발할 수 있는 지역에서 적용될 수 있다.

## 2.2 보수성 포장 국·내외 적용 현황

열섬현상 저감을 위한 포장의 연구는 해외 여러 나라에서 많은 관심을 갖고 있지만, 깊이 있는 연구를 통한 보급화에 앞장서는 국가는 유럽의 몇몇 국가와 일본을 제외하면 거의 없다. 따라서 보수성 포장의 선행 연구 동향은 일본에서 진행되고 있는 보수성 포장과 열섬 저감의 전반적인 대책을 소개하고자 한다.

일본에서 포장되는 열섬저감 포장의 90% 이상이 관동 지방정비국에서 시행되며, 그 물량은 2005년 기준으로 보수성 포장의 경우 15만㎡, 열섬저감 포장의 경우는 일본의 시공물량 전부인 5만㎡를 시공하였다. 지난 2000년부터 열섬 현상의 억제에 국가적인 역량을 집중한 “환경포장 도교 프로젝트”를 실시하여 실용화를 목표로 지속적인 연구를 추진 중이고, 이 프로젝트를 통하여 보수성 포장과 열섬저감 포장의 기술공모와 현장 실험을 2년 이상 실시하여 최적 성능이 확인된 공법을 적용하고 있다. 세부적인 기술에 있어서도 보수성 포장에 지속적인 수분공급을 위한 살수 시스템도 풍력과 태양열을 이용하여 전력소모를 감소시키는 방법을 택하였으며 살수되는 물도 우수를 이용하여 친환경적으로 이용이 가능하도록 하였다.

일본 타이세이로텍은 여름철 도로포장의 노면온도를 장기간 낮게 유지할 수 있는 보수성 포장 “자동 급수형 Cool Road”를 개발하였다. 개발한 Cool Road는 도로포장의 내부에 설치한 다기능 센서가 자동으로 급수하기 때문에 비가 내리지 않아도 최소 수량으로 노면의 온도를 낮출 수 있는 특징을 갖고 있다.

간이지방 정비국에서는 본격적인 열섬저감포장을 실시할 예정이며, 배수성포장에 대해서는 그 적용 폭이 매우 커지고 있는 상황이며 보수성포장에 대한 시험시공을 실시하고 그 추적조사를 실시하고 있다. 보수성 포장의 품질기준도 공모기술을 통하여 확정된 상태이다.

동경도청에서는 2000년에 독자적인 보수성포장 시험시공을 실시하였으나, 시공 후 나타난 분진의 발생 및 미끄럼저항성의 감소 등으로 인하여 성능 발현을 확인하지 못하고 타 포장으로 재포장하였다. 이 시험시공의 실패 원인은 시멘트 페이스트의 과다주입이 그 원인으로 파악되고 있다.

열섬저감을 위한 보수성 포장의 국내 관련연구는 미미하며 현재 일부 전문업체에서 자체 개발된 제품을 보급하고

있는 실정이며, 개발된 보수성 포장의 형식은 배수성 포장 모체에 보수성 시멘트 페이스트를 주입하는 방식이다.

### 3. 동결융해 저항성능 평가

#### 3.1 실험 계획

국·내외적으로 보수성 포장에 관한 동결융해 시험방법은 없으며, 기존 동결융해 시험방법을 보수성 포장 현장의 상황에 맞게 수정하여 시험을 실시하였다. 또한, 비교 실험군으로는 일반적으로 도로포장재료로 많이 사용되는 밀입도 아스팔트 콘크리트, 포장 시멘트 콘크리트, 배수성 아스팔트 콘크리트, 투수성 시멘트 콘크리트를 적용하였다. 아래 표는 동결융해 실험 개요를 보여주고 있다.

표 1. 보수성 혼합물 동결융해 성능 평가 실험 개요

| 실험 종류      | 규격              | 비교 실험군              | 실험 방법                                   | 평가 방법                        |
|------------|-----------------|---------------------|---|------------------------------|
| 변형률        | -               | RM, PAC             | ✓ 습윤, 건조상태 시료<br>✓ -18℃→25℃→40℃의 변형률 측정 | Strain Gauge 부착<br>후 길이변화 측정 |
| 수분<br>민감성  | AASHTO<br>T 283 | DAC<br>PAC, RM      | ✓ -18℃(15hr)→60℃(24hr)<br>✓ 1~10 사이클 가동 | 간접인장강도 측정                    |
| 미끄럼<br>저항성 | ASTM<br>E 303   | PAC, RM<br>DAC, RCC | ✓ 표면 건조 및 습윤상태                          | BPT 실험                       |

\* DAC : 밀입도 아스팔트 콘크리트, RM : 보수성 혼합물, PAC : 배수성 아스팔트 콘크리트,  
RCC : 포장 시멘트 콘크리트, PCC : 투수 시멘트 콘크리트

#### 3.2 동결융해 반복 후 변형률 분석

동결 융해 반복 후 변형률 분석은 보수성 혼합물의 동결과 융해 변화에 따른 포장체의 수축 및 팽창의 거동을 분석하기 위하여 실시한 실험으로 기존의 관련 실험방법을 변형하여 현장의 상황을 모사하였다.

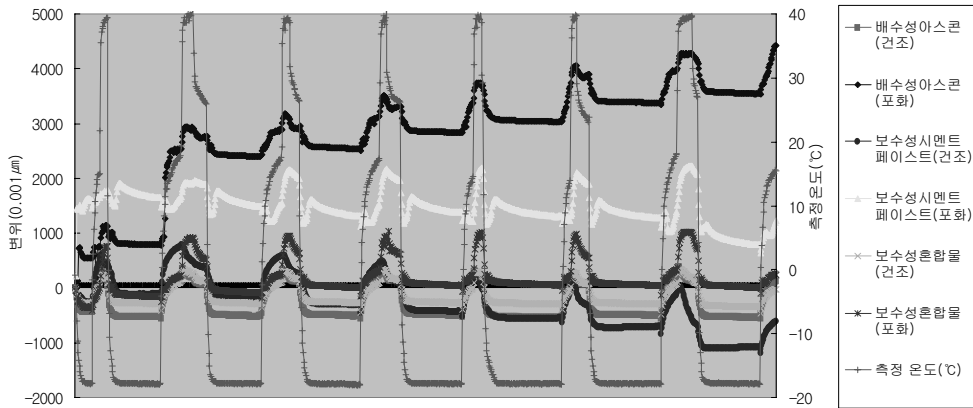


그림 2. 동결융해 변형률 측정 결과

동결융해 사이클을 통해서 측정된 각 시료별 변형률 추이는 그림 2와 같다. 그림에서 포화 시료는 혼합물이 수분으로 포화된 상태를 말하며, 건조 시료는 어떤 처리도 가하지 않은 상태를 의미한다. 측정 온도의 추이에 따른 전반적인 변형률의 거동을 분석하고자 그래프의 좌측 Y축은 데이터 수집기(Data Logger)에서 측정된 변형률을 0.001 $\mu$ m 단위로 나타냈으며, 우측 Y축은 측정온도의 변화를 나타냈다.

동결융해 변형률 분석을 통하여 보수성 아스콘, 보수성 혼합물, 보수성 시멘트 페이스트의 수분 포화상태 및 건조 상태의 온도영역대별 변위의 전반적인 거동을 확인할 수 있었다. 초기 동결로 인한 팽창압은 보수성 아스콘 및 보수성 시멘트 페이스트 포화시료에서 발생하였다. 초기에 팽창된 체적은 회복되지 않았으며, 시간의 경과에 따라 초기 팽창점을 기준으로 수축과 팽창의 변위차가 지속적으로 발생하였다. 주목할 만한 것은 포화시료 중 보수성 혼합물은 초기 동결로 인한 팽창변위가 발생하지 않았으며 건조상태 혼합물과 같은 시작점을 중심으로 수축 및 팽창의 변위거동을 보이고 있었다. 이러한 비교 포화 시료(보수성 아스콘, 보수성 시멘트 페이스트)와 상반된 결과는 포화상태를 지속적으로 유지시키기 위해서 침투된 수분은 보수성 혼합물 공극에 충전된 시멘트 페이스트에 잔류하여 초기 동결 중 팽창압을 나타냈지만, 경화된 시멘트 페이스트와 그 계면에 결합된 골재 및 고점도 아스팔트 바인더의 구속응력이 상대적으로 커서 초기 동결로 발생할 수 있는 팽창압을 상쇄시킨 것으로 생각된다.

### 3.3 동결융해 반복에 따른 수분 민감성 분석

동결융해 반복에 따른 수분 민감성 측정은 도로 포장체를 약화시키는 외적 요인 중 하나인 반복적 동결 융해와 수분 침투로 인한 강도 저하 성상을 분석하는 실험으로 본 연구에서는 AASHTO T 283 시험방법을 적용하여 보수성 혼합물, 밀입도 아스콘, 보수성 아스콘의 수분 민감성을 분석하였다.

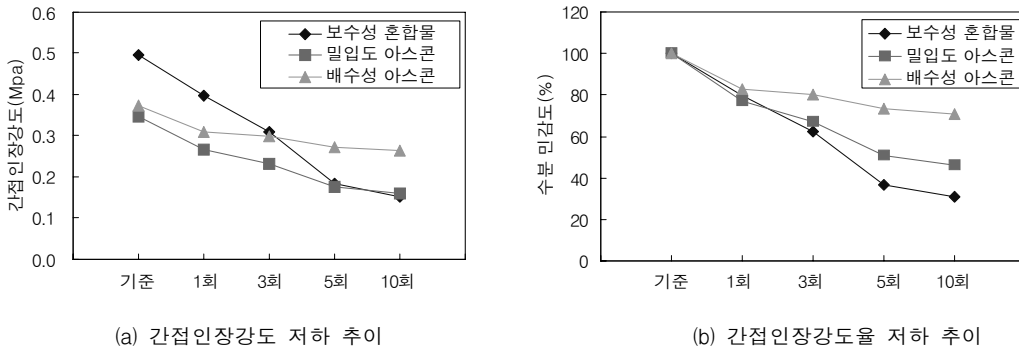


그림 3. 수분 민감성 측정 결과

동결융해 반복에 따른 수분 저항성 저하율의 분석을 통하여 밀입도 아스콘, 보수성 아스콘, 보수성 혼합물의 내구성 저하능력을 평가하였다. 또한, 동결융해 횟수별 저하되는 간접인장강도와 간접인장강도율을 분석하여 전반적인 역학적 거동을 분석하였다. 하지만, 본 연구의 분석 기준혼합물인 보수성 혼합물의 경우 3회 경과 후 강도와 강도율의 급격한 저하를 나타냈다. 이것은 보수성 시멘트 페이스트의 개발목적이 노면으로 침투하는 수분의 빠른 흡수와 보수능력을 최우선으로 고려했기 때문에 수분 민감성 평가에 적용된 반복적인 동결융해로 인한 팽창·수축응력으로 시멘트 페이스트의 강도저하와 함께 골재 계면간의 접착력을 약화시켜서 간접인장강도의 급격한 저하를 나타낸 것으로 사료된다.

### 3.4 미끄럼 저항성 결과 분석

도로 포장체의 미끄럼 저항성은 도로 이용자의 안전과 직결되는 중요인자이다. 특히, 강우로 인한 노면의 수막현상과 겨울철 노면의 결빙은 미끄럼 저항성의 약화를 초래한다. 본 연구에서는 정적 미끄럼 측정장비인 BPN(British Pendulum Number)을 이용하여 미끄럼 저항성을 측정하였다.

미끄럼 저항성은 모든 시료의 건조 및 습윤 노면 상태에서 측정하였으며, 포장 콘크리트 습윤조건을 제외한 모든 시료에서 국토해양부 미끄럼 저항성 기준을 상회하는 양호한 결과를 나타냈다. 보수성 혼합물의 경우는 습윤 상태가 건조 상태보다 다소 높은 미끄럼 저항성을 발휘하고 있었으며, 이것은 미세한 값으로 습윤의 나쁜 조건에서도 비교혼합물 보다 향상된 미끄럼 저항성을 발휘하는 것으로 사료된다. 특히, 보수성 포장체 제작시 현장의 포설 상황을 모사하기 위해서 표면의 거칠기를 증진시키는 방안으로 상면의 페이스트를

쇠솔로 일정부분 제거하여 골재가 노출됨으로써 표면에 살포된 수분은 노출골재의 기울기를 따라 하단의 시멘트 페이스트에 체류 및 흡수되어 습윤상태에서도 미끄럼 저항성 향상에 기인한 것으로 생각된다.

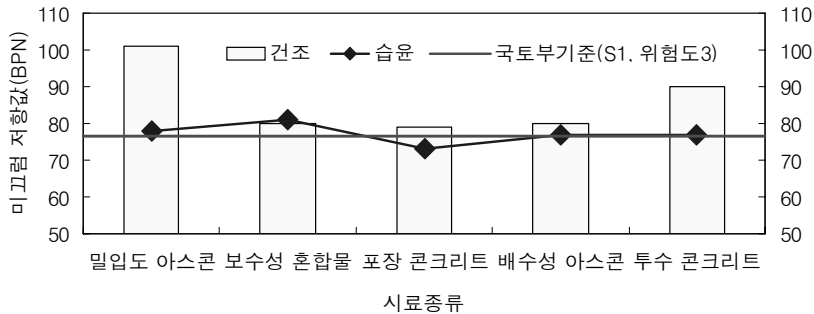


그림 4. 미끄럼 저항성 측정 결과

#### 4. 결론

장기적인 수분의 보수(保水)를 목적으로 개발된 보수성 혼합물은 체류하는 잔류수로 인해 겨울철 발생될 동결융해의 환경에 취약할 것으로 보고되고 있다. 본 연구는 아스팔트·시멘트 콘크리트 재료에 적용되고 있는 동결융해 시험방법을 적용하여 보수성 혼합물과 기존 포장재료의 동결융해 저항성능을 비교분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 동결융해 반복에 따른 변형률 측정결과에서는 초기 동결로 인하여 포화상태의 배수성 아스콘과 보수성 시멘트 페이스트의 변형률이 급격하게 팽창되었으며, 동결융해 횟수가 누적되면서 회복능의 상태에서 수축과 팽창의 변위를 나타내었다. 하지만, 포화 보수성 혼합물의 경우는 초기 동결로 인한 팽창압을 특수 시멘트와 고점도 개질 아스팔트의 구속력으로 상쇄시켜 건조상태의 시료와 비슷한 거동을 나타내고 있었다.
- (2) 보수성 혼합물의 수분 민감성 분석은 AASHTO T 283 시험방법을 적용하였으며, 비교 시료인 배수성 및 밀입도 아스팔트 콘크리트보다 초기에는 강건성을 발휘하지만, 3회 반복을 기점으로 강도와 수분 민감성이 급격하게 저하되는 것을 확인하였다.
- (3) 보수성 포장체는 시멘트 페이스트를 노면에 주입하여 최종 마감면을 형성하게 된다. 하지만, 일부 사례에서는 과도한 시멘트 페이스트 주입으로 노면의 마찰력저하를 야기시키는 사례가 종종 보고되고 있었다. 따라서, 본 연구에서는 마찰력 증진을 위해서 시멘트 페이스트 주입 후 경화가 발생되기 전에 표면을 쇠솔로 일정부분 제거하여 골재를 노출시켜 미끄럼 저항력을 향상시켰으며, 이렇게 제작된 보수성 혼합물은 습윤상태에서 비교 혼합물이 73~78 미끄럼저항값(BPN)을 나타내는 반면 81 미끄럼저항값(BPN)의 높은 수치를 측정할 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. 보수성포장 기술연구회(2005), “보수성 포장 기술자료”.
2. 이수진(2006), “보수성포장(Cool Road)의 기능과 효과”, 도로교통 제104호 여름.
3. 이광호 등(2008), “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발 연구보고서”, 건설기술혁신사업 중간보고서, 한국도로공사.