

## 아크릴 수지를 이용한 차열성 포장의 실내 및 현장 공용성 평가

### Laboratory and Field Performance Evaluation of Acryl Resin Based Solar Radiation Reflective Pavement

소 경 락 So, Kyungrock	정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 (E-mail : angks44@naver.com)
이 현 중 Lee, Hyun Jong	정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)
백 중 은 Baek, Jongeun	정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 박사후과정 연구원 · 공학박사 (E-mail : joungeunbaek@sejong.ac.kr)
이 상 염 Lee, Sang Yum	정회원 · 서울특별시 도로관리담당관 포장관리팀 주무관 · 공학박사 (E-mail : slee11@seoul.go.kr)

#### ABSTRACT

This study developed a solar radiation reflection pavement, so called a cool pavement, to lessen the urban heat island effect by coating a pavement surface with acrylic resins mixed with light-colored pigments. From a laboratory test, simulating solar heating process in pavements, the cool pavement reduced more than 12°C of pavement temperature at 60°C compared to a control porous pavement. With the increase of the mixing ratio of the pigments to acrylic resins, the temperature reduction effect increased, but its workability became worse due to higher viscosity. As a result, an appropriate mixing ratio was determined as 15%. The cool pavement had better durability than the control pavement: One quarter of Catabro loss and twofold dynamic stability. Its adhesion was also higher enough not to be debonded under traffic loading. In-situ noise and friction tests conducted in two field sites showed that the cool pavement reduced its noise level by 3.7dB in average and increased its friction level by 30% compared to the control pavement. The permeability of the cool pavement was little lower than the control pavement, but higher enough to satisfy the minimum requirement for porous pavements.

#### KEYWORDS

cool pavement, acrylic resin, pigment, heat-island effect, porous pavement

#### 요지

본 연구에서는 도심지 열섬현상을 완화 시킬 수 있는 아크릴 수지와 차열안료를 혼합한 차열성 포장을 개발하였다. 태양 복사 열에 의한 포장체의 온도상승을 모사한 실내 시험으로부터 60°C의 포장 온도에서 차열성 포장이 12°C 이상의 온도 저감 효과를 나타냈다. 이러한 온도 감소 효과는 차열안료의 배합비가 증가함에 따라 증가하였고, 반면에 점도의 증가로 인하여 작업성은 떨어졌다. 이러한 결과로부터 아크릴 수지 대비 차열안료의 최적혼합비율을 15%로 결정하였다. 차열성 포장의 칸타브로 손실률은 일반 배수성 포장의 손실률 1/4 수준으로 골재 비산 저항성이 우수하게 나타났다. 휠트랙킹 시험결과 차열성 포장의 동적안정도가 일반 배수성 포장에 비해 두 배 증가하였다. 차열성 포장재의 높은 부착력으로 인하여 탈리에 의한 손상 가능성은 낮은 것으로 나타났다. 시험 시공 구간에서의 소음도 측정 시험 결과 일반 배수성 포장에 비하여 평균 3.7dB의 소음저감 효과가 있었고, 미끄럼 저항치는 일반 배수성 포장에 비해서 평균 30% 정도 높아 우수한 미끄럼 저항성을 가지는 것으로 판단된다. 투수 시험 결과 차열성 포장의 투수성은 일반 배수성 포장보다 다소 작았으나 국내 배수성 포장 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

#### 핵심용어

차열성포장, 아크릴수지, 차열안료, 열섬현상, 배수성포장

#### 1. 서론

현재 국내뿐만이 아니라 전 세계적으로 환경친화적인 도로의 건설이 대두되고 있는 실정이다. 우리나라도 산업화, 도시화로 인하여 녹지면적은 급속하게 줄어들고

아스팔트 콘크리트 도로와 콘크리트 건물의 증가로 인하여 도시의 열섬화 현상이 두드러지게 증가하고 있다 (김인수 등, 2008). 특히 한여름철의 아스팔트 콘크리트 도로의 온도는 60°C를 넘나들고 이러한 열을 흡수하

여 밤에도 기온이 떨어지지 않는 열대야가 지속되어 국민들의 삶의 질을 훼손하고 있다(김동우 등, 2009). 이러한 문제점을 개선하기 위한 한 가지 방법으로서 차열성 포장에 대한 연구가 진행되고 있다.

차열성 포장이란 아스팔트 표면을 반사능력이 우수한 특수 도료로 코팅하여 태양 복사 에너지의 절반을 차지하는 근적외선을 고반사하여 포장체의 일사흡수율을 줄여 지표면의 온도를 낮추는 포장 방법이다. 일본의 차열성 포장 기술연구회에서는 신규 아스팔트 포장의 노면 온도가 60℃에 달했을 때, 약 7℃ 이상의 온도상승 억제 효과를 기대할 수 있는 포장을 차열성 포장으로 정의하고 있다(카토우 히로미치, 2006). 최근 연구 결과에 의하면 일반 아스팔트 포장에 비해서 낮 동안의 최고 노면 온도를 10℃ 정도 저감시킬 수 있었다(Katsura 등, 2010). 더욱이 차열성 포장에 의한 포장체 온도 상승 억제에 의해 소성변형 발생을 저감하며 보수로 인한 공사비, 교통통제에 따른 사용자 비용을 절감할 수 있게 된다(최태준 등, 2009; Iwama 등, 2010). 따라서 차열성 포장을 도시부에 적용함으로써 차량 주행 환경의 개선에 기여함과 동시에 열섬화 및 열대야 저감효과를 기대할 수 있다.

일본에서 사용하는 차열기술은 도로나 단열재 분야에서 연구 및 개발이 진행되고 있으며 다양한 종류가 있지만, 도로포장에 적용함에 있어서는 포장표면에 차열도료를 도포하거나 충전하는 방법이 주로 사용되고 있다. 도포타입은 포장표면에 수 mm 두께로 차열성 포장재를 도포하여 시공하는 것으로 밀입도 포장표면, 배수성 포장표면, 콘크리트 포장표면 등 각종 포장에 적용할 수 있다. 배수성 포장에 있어서는 배수기능을 손상시키지 않는 시공방법을 택하고 있다. 이 밖에 표층혼합물에 차열성 재료를 혼합하는 방법도 검토되고 있다.

본 연구에서는 아크릴 수지와 열 반사 특수 안료를 혼합한 차열성 포장재를 아스팔트 콘크리트 도로 노면을 코팅하는 차열성 포장을 개발하려고 한다. 또한 차열성 포장의 온도저감 효과 및 내구성을 평가하기 위하여 실내시험을 실시하고, 기능적인 평가를 위하여 시험 시공을 실시하고 소음도, 미끄럼 저항성 및 투수성을 평가하였다.

## 2. 아크릴을 이용한 차열성 포장

### 2.1. 아크릴 수지

아크릴 수지는 이중 탄소 결합을 갖도록 만든 반응형

열경화성 수지이며 내구성 및 내열성, 내화학적, 내마모성, UV 안전성 등이 뛰어나다. 반응성 수지란 에스테르, 아크릴, 메타크린산에 기초하며, 이런 화학적 합성물의 특징은 탄소 이중결합 집합(C=C)구조를 갖는 것이다. 양생과정은 액체기와 액체경화제로 구성되어 있으며 분말형태의 벤질 과산화물(Benzoyl Peroxide)을 사용한 경화제가 화학적 양생을 유도하는 역할을 하고 있다. 경화제를 아크릴 수지의 3~8%까지 다양한 비율로 사용하여 대기온도조건과 포장표면의 온도에 따라 경화 시간을 조절할 수 있다. 예를 들어 우리나라의 겨울에는 상대적으로 많은 양을 혼합하고, 여름에는 적은 양을 혼합하여 발열량을 조절하여 사용할 수 있다. 경화제는 단지 화학적 반응의 촉매제로 작용하므로, 완전히 양생된 수지의 물성에는 영향을 주지 않는다. 경화제를 3% 이하로 첨가할 경우 완전한 경화가 진행되지 않을 수도 있어 수지의 물리적 성질에 영향을 미칠 수 있으므로 주의를 기울여야 한다. 본 연구에는 국내 L사와의 연구를 통해 개발한 아크릴수지를 사용하였고, 사용된 수지와 경화제의 기본 물성은 표 1과 같다.

표 1. 아크릴 수지와 경화제의 기본 물성

구 분	항 목	규 격
아크릴 수지	분자량	100.12kg/kmol
	화학식	CH <sub>2</sub> =C(CH <sub>3</sub> )COOCH <sub>3</sub>
	비중	0.943 d20
	비등점	100.3℃
	중합반응열	137.8Kcal/kg
	발화점	10℃
	점도	2.2 ~ 12.5cP
벤질 과산화물 경화제	분자량	242.2kg/kmol
	활성산도량	6.61%
	외관	흰색 분말
	농도	48.0 ~ 50.0%
	밀도	0.640g/cm <sup>3</sup>
보관온도	25℃	

### 2.2. 차열안료

차열성 포장재에서 아크릴 수지는 안료와 혼합하여 사용한다. 안료는 일반적으로 유기안료와 무기안료로 구분된다. 유기안료는 무기안료에 비해서 빛깔이 선명하고 착색력도 크며, 임의의 색조를 얻을 수 있으나 내광성 및 내열성이 떨어지는 것으로 알려져 있다(박태순 등, 2008). 대표적인 유기안료로는 인쇄에 사용되는 잉크가 대표적인 예이다. 무기안료는 천연광물로서 아연, 티탄, 철, 구리, 산화철 등의 물질로서 내광성, 내열성

은 크나 착색력은 유기안료에 비하여 선명하지 않고 대부분 물이나 기름 그리고 알코올 등의 유기용제에 녹지 않는 특징을 가지고 있다(박태순 등, 2008). 본 연구에서는 금속 산화물 등을 원료로 하는 무기 안료를 사용하였고, 착색력은 다소 떨어지나 고온에서 소성되므로 화학적으로 매우 안정한 분자 구조가 형성되어 내광성 및 내후성이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한 1000℃이상의 내열성 및 내화학성이 우수하여 초 내후성 도료, 내열도료, 분체도료, 플라스틱 및 세라믹용 안료 등 여러 가지 용도로 응용되고 있다. 더욱이 효과적인 단열재 기능을 가지고 있어 일사 에너지에서 발생하는 적외선을 선택적으로 굴절 및 분산시켜 열을 차단할 수 있는 장점이 있다. 차열의 효과를 내는 안료의 배합 비율은 실내 시험과 현장 온도 및 시공성을 고려하여서 결정하였다.

### 3. 실내 시험

#### 3.1. 아스팔트 혼합물의 배합설계

본 연구에서 사용한 아스팔트 혼합물은 기존 연구(최태준 등, 2009)에서 제안한 골재 입경의 최대치수가 13mm인 일반 배수성 아스팔트 콘크리트 배합설계를 기초로 하였다. 아스팔트 바인더는 일반 아스팔트(AC 60~80)에 폴리머 개질제를 아스팔트 중량의 12% 첨가하여 제조하였다. 최적의 아스팔트 함량은 칸타브로(Cantabro) 손실률 20%와 드레인 다운(Drain down) 손실률 0.2%를 만족시키고, 목표 공극률 20%에 근접한 19.5%에 해당하는 4.1%로 결정하였다.

#### 3.2. 온도 저감효과 시험

일본의 차열성 포장 기술연구회에서 제시한 차열성 포장의 실내 조사 시험법(일본 포장 기술연구회, 2005; 박태순 등, 2009)을 이용하여 본 연구에서 개발한 차열성 포장재의 온도 저감효과를 평가하였다. 그림 1은 온도 저감효과 시험과정을 개략적으로 나타낸 것이다. 먼저, 30×30×5cm<sup>3</sup> 크기의 아스팔트 시편에 열전대(Thermocouple) 센서를 1.0cm와 2.5cm 깊이에 각각 2개씩 매설한다. 아크릴 수지에 일정량의 차열안료를 혼합하여 도포량 0.4kg/m<sup>3</sup>로 2회 균일하게 도포한다. 시편의 수직 상부 50cm 높이에 600W/m<sup>2</sup>의 램프를 비추며 포장체 내부의 온도변화를 측정하였다. 우리나라 한 여름의 태양 복사열로 인한 아스팔트 포장의 노면 온도는 최고 60℃를 상회하므로, 일반 아스팔트 포장의 온도가 70℃ 이상에 도달할 때 까지 시험을 실시하였다.



(a) 아크릴 수지 차열재 도포

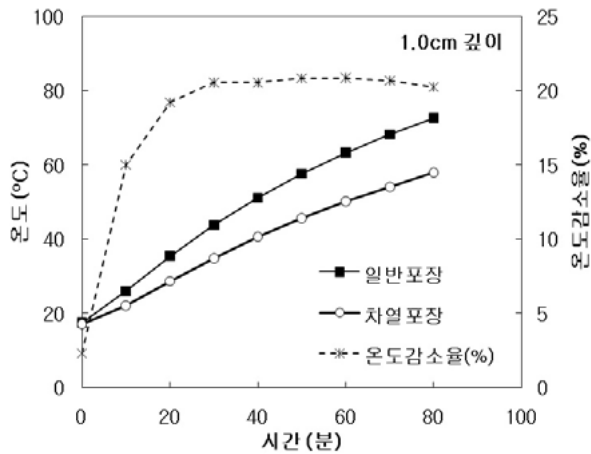


(b) 일반 및 차열 포장의 온도 변화 측정

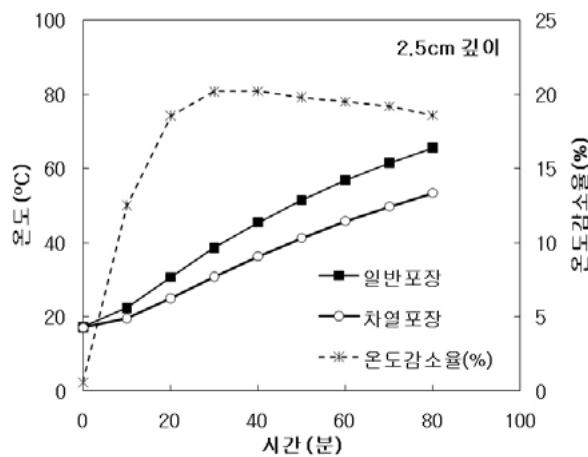
그림 1. 차열성 포장재의 온도 저감효과 시험

일반 아스팔트 포장과 차열성 포장에서의 시간별 온도변화를 측정된 결과를 그림 2에 나타내었다. 두 포장체 모두에서 복사열이 가해진 후 비교적 일정한 비율로 포장체의 온도가 상승하였다. 일반 아스팔트 포장의 경우 80분경과 후 표면으로부터 1.0cm와 2.5cm 깊이에서의 온도가 각각 72.6℃와 65.6℃로 측정되었다. 반면 차열성 포장은 동일한 깊이에서 57.9℃와 53.4℃로 측정되어, 해당 깊이에서 14.7℃(20%)와 12.2℃(18%) 낮게 나타났다. 이는 본 연구에서 사용한 아크릴 수지를 이용한 차열성 포장재가 주어진 환경 조건에서 포장체의 온도를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 보여 준다고 할 수 있다.

위의 실험에서 확인한 차열성 포장의 온도 저감효과는 차열성 수지와 안료의 배합비와 사용된 아스팔트 콘크리트의 종류 및 특성에 따라 변할 수 있다. 그 중에서 차열안료의 함량은 차열효과에 가장 큰 영향인자이다. 또한 차열안료의 함량이 너무 많으면 수지의 점도가 매우 높아져서 시공 시 작업성의 확보가 어렵게 된다. 반대로 함량이 너무 적으면 적절한 온도 저감효과를 얻기



(a) 표면으로부터 깊이 1.0cm 지점



(b) 표면으로부터 깊이 2.5cm 지점

그림 2. 일반 포장과 차열성 포장의 온도변화

가 어렵다. 그러므로 온도 저감효과와 작업성을 고려한 차열성 수지와 차열안료의 최적 배합비율을 결정하는 것이 필요하다. 아크릴 수지 대비 차열안료의 배합비에 따른 온도 저감효과를 분석하기 위한 실험을 실시하였다. 차열안료의 배합비는 총 5단계로 0, 5, 10, 15, 20%이고, 3시간 동안 발열 뒤 포장 표면으로부터 깊이 1.0cm 와 2.5cm에서의 온도 변화를 관찰하였다. 차열안료를 사용하지 않고 아크릴 수지만 도포한 시편(배합비 0%)에서 측정 깊이 1.0cm와 2.5cm에서 약 3시간 발열 뒤 각각 29.6°C와 28.6°C 만큼 온도가 증가하였다. 그림3 은 차열안료가 사용된 시편에서의 상대적 온도 감소량을 나타낸 것이다. 그림에서 본 바와 같이 차열안료의 함량이 증가할수록 온도 감소 효과가 우수한 것을 알 수 있다. 특히 차열안료가 10~20% 사용된 경우, 13~14°C의 온도 저감효과가 나타났다. 이는 일본의 차열성 포장 기술연구회에서 제시하는 최소 온도 감소

기준인 10°C를 만족하므로 온도 저감효과 측면에서 우수하다고 할 수 있다. 하지만 차열안료 함량이 20%인 경우에는 15%인 경우에 비해서 더 이상의 온도 저감효과가 증가하지 않는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 실시한 실내시험에서는 소규모의 시편에 차열안료를 도포하였기 때문에 안료 함량이 20%인 경우에도 작업성에는 문제가 발생하지 않았다. 하지만 실제 현장에서는 안료 함량이 증가함에 따라 작업성이 불량할 가능성이 높아지므로, 최적의 안료 배합비는 아크릴 수지 대비 15% 정도라고 추정할 수 있다. 보다 정확한 현장 작업성을 평가하기 위해서는 안료 함량에 따른 점도의 변화를 고려하는 것이 필요하다고 사료된다.

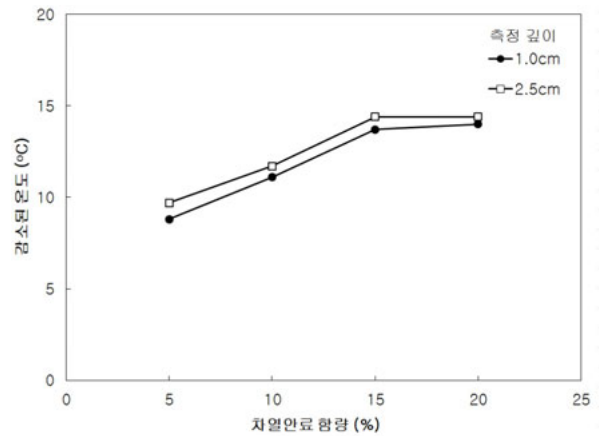


그림 3. 차열안료의 함량에 따른 온도 감소 효과

### 3.3. 칸타브로 시험

차열성 포장재는 포장 표층에 사용되어 차량 주행에 직접 노출되므로 우수한 내마모성이 요구된다. 내마모성을 평가하기 위해서 본 연구에서는 차열성 포장의 골재 비산 저항성 및 부착강도를 측정하였다. 차열성 포장재가 코팅된 아스팔트 혼합물의 골재 비산 저항성을 평가하기 위하여 칸타브로 시험(KS F 2492)을 실시하였다. 총 6개의 마찰 공시체를 제작하여 3개의 공시체에는 차열성 포장재를 0.4kg/m<sup>2</sup>씩 상도와 하도로 전면을 코팅 처리하고, 나머지는 비교용으로써 차열성 포장재가 없는 일반 배수성 포장재에 대해서 칸타브로 시험을 수행하였다. 이때 차열안료는 최적 배합비인 아크릴 수지 대비 15%를 사용하였다. 그림 4는 마모 시험기에서 300회 회전시킨 후 마모된 차열성 및 일반 배수성 공시체를 비교한 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 육안으로도 차열성 포장재를 코팅하였을 경우가 일반 배수성 시편보다 비산 저항성이 높다는 것을 알 수 있다. 일반 배수성 포장의 칸타브로 손실률은 평균 19.2%인데 비해 차열성 포장은 평균 5.3%로서 약 1/4 수준으로 비산

저항성이 상당히 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 비슷한 점도의 아크릴 수지로 코팅한 배수성 포장(최태준 등, 2009)과 비교하였을 때도 손실률(7.4%)이 추가적으로 약 2% 정도 감소하는 것으로 나타났다.



(a) 일반 배수성 포장



(b) 차열성 포장

그림 4. 칸타브로 시험 후의 일반 배수성 아스팔트와 차열성 포장 공시체

### 3.4. 부착강도 시험

아크릴 수지를 이용한 차열성 포장재의 도로 노면에 대한 부착강도를 측정하기 위하여 부착강도 시험을 실시하였다. 본 연구에서는 코팅용 도료에 대한 일본공업 규격인 JIS A 6909에 근거하여 시험을 실시하였다. 크기  $30 \times 30 \times 5 \text{cm}^3$ 의 배수성 아스팔트 시편 2개를 제작하고, 하나의 시편에 아크릴 수지를 이용한 차열성 포장재를 도포량  $0.4 \text{kg/m}^2$ 로 상도와 하도를 도포하였다. 차열성 포장재가 경화된 후 10cm 지름의 코어를 뚫고 건조시킨 포장 표면에 부착력 시험 장비를 에폭시 본드로 고정시켜 부착강도 시험을 2회 실시하였다.

부착강도 시험 결과 차열성 포장의 부착강도는 시험용 본드에서 탈리가 일어날 정도로 높은 것을 알 수 있다. 1차 시험에서는 부착강도가 0.95MPa로 지그 접촉용 에폭시 본드에서 탈리가 발생하였다. 따라서 차열성

포장재만의 부착강도를 확인하기 위하여 같은 시편위에 접착제를 바꿔 2차 시험을 실시하였다. 2차 시험에서는 0.83MPa로 차열성 포장재에서 탈리가 발생하였다. 여기서 1차 시험보다 2차 시험에서의 부착강도가 다소 작게 측정된 이유로는 1차 시험하중으로 인한 피로가 누적된 것으로 사료된다. 하지만 두 번의 부착강도가 JIS A 6909에서 제시한 0.5MPa의 기준을 상회하는 것으로 나타났다.

### 3.5. 휠 트랙킹 시험

차열성 포장재가 배수성 포장의 내유동성에 미치는 영향을 평가하기 위해서 휠 트랙킹 시험(KS F 2374)을 실시하였다. 휠 트랙킹 시험에서는 반복 차륜 하중에 의한 소성변형에 대한 저항성을 동적 안정도(dynamic stability)로 평가한다. 본 연구에서는  $30 \times 30 \times 5 \text{cm}^3$  크기의 공시체를 일반 배수성 포장의 경우는  $60 \pm 0.5^\circ \text{C}$  항온실에서, 차열성 포장의 경우 온도저감의 효과를 고려하여  $48 \pm 0.5^\circ \text{C}$  항온실에서 24시간 양생시킨 후 시험을 실시하였다. 적용한 차륜 하중은 686N이고 접지압은  $628 \pm 15 \text{kPa}$ 이고, 이를 분당 42회 왕복 주행시켰다. 휠 트랙킹 시험으로부터 구한 변형량-시간 관계 곡선에서 변형량 증가율이 거의 일정하게 되는 45분에서 60분까지의 15분간 발생된 변형량으로부터 동적안정도, 즉 1mm 변형하는데 소요되는 차륜의 통과회수를 계산하였다.

본 연구에서는 각 혼합물에 대하여 동적안정도와 2520회(60분) 재하 후의 최대변형량을 비교하였으며 그 결과는 표 2와 같다. 시험결과를 통해서 차열성 포장의 동적안정도가 일반 배수성 포장보다 약 2배 정도 높은 동적안정도를 보이고, 최대변형량은 약 50% 감소함을 알 수 있었다.

표 2. 윤하중 686N에서의 동적안정도 및 최대변형량 비교

시편종류	동적안정도 (회/mm)	평균동적안정도 (회/mm)	최대변형량 (mm)	평균최대변형량 (mm)
일반 배수성 포장	3,356	3,432	2.12	2.45
	3,508		2.78	
차열성 포장	7,211	6,444	1.13	1.18
	5,676		1.22	

## 4. 현장 시험

### 4.1. 현장 시험 시공

차열성 포장의 현장 공용성을 평가하고 시공 상의 미

비점을 보완하기 위하여 현장 시험시공을 두 차례 실시하였다. 1차 시험 시공은 2009년 11월 19일 서울시 동대문구 장안동 한천로 배봉초교 앞 사거리 도로 3개 차로 연장 60m 구간에서 야간에 실시하였다. 1차 시공 완료 후 소음도를 측정하였다. 2차 시험 시공은 2010년 11월 19일에 서울시 강서구 공항동 남부순환로 인천공항방향 1차로 100m 구간에서 주간에 실시하였다. 2차 시험 시공 구간에서는 소음 저감 효과 및 미끄럼 저항성 그리고 투수성을 평가하였다. 표 3에서는 본 연구에서

실시한 시험 시공을 간략하게 비교하였다.

본 시험시공에서는 일반 배수성 포장 상부에 차열성 포장재를 적용하였다. 차열성 포장재를 도포하기에 앞서 배수성 포장면을 청소하고 유분을 제거하였다. 차열성 포장재는 실내 시험에서 결정된 최적 차열안료 배합비를 사용하였다. 경화제는 1차 및 2차 시험 시공시 현장의 기온을 고려하여 각각 아크릴 수지 대비 5%와 3%를 사용하였다. 혼합된 차열성 포장재를 0.4kg/m<sup>2</sup>씩 롤러를 사용하여 상도와 하도를 2회 도포하였다. 도포 방법은 하도코팅을 먼저 실시하고 하도가 경화되기 전에 미끄럼 저항성을 증가시키기 위해서 치핑골재(직경 1mm 내외의 규사)를 골고루 살포한 후 상도를 도포하였다. 시공 완료 후 육안으로 차이를 확인 할 만큼 주변 도로에 비해서 차열성 포장에서 명도가 높아서, 일본 동경부 건설국 도로관리부에서 제시한 차열성 포장재의 색인 밝은 회색(약 명도 7~8단계)에도 부합하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 5는 차열성 포장의 시험 시공 순서를 보여준다. 또한 차열성 포장재의 경화시간은 대략 30~40분 정도로 본 연구에서 제안한 아크릴 수지와 안료의 배합비를 사용한 경우 시공 직후 교통개방이 가능하였다.

본 시험 시공을 통해서 차열성 포장 시공 중 발생할 수 있는 문제점과 이에 대한 개선안을 제시할 수 있었다. 우선 실제 현장의 날씨 또는 기온에 의한 바닥 상

표 3. 현장 시험 시공 조건 비교

시험 시공	1차	2차
일 시	2009년 11월 19일 야간	2010년 11월 19일 주간
장 소	<ul style="list-style-type: none"> <li>서울시 동대문구 장안동 한천로</li> <li>배봉초교 앞 사거리 도로 3개 차로 60m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>서울시 강서구 공항동 남부순환로</li> <li>인천공항방향 1차로 100m</li> </ul>
포장	일반 배수성 포장/신설	일반 배수성 포장/6개월 공용
차열성 포장재	아크릴 수지 대비 차열안료 15% 아크릴 수지 대비 경화제 5% 핸드믹스로 현장 혼합	아크릴 수지 대비 차열안료 15% 아크릴 수지 대비 경화제 3% 대형믹스로 실내 혼합
현장 도포	0.4kg/m <sup>2</sup> 씩 상도/하도 2회 도포/하도코팅 후 치핑골재 살포	0.4kg/m <sup>2</sup> 씩 상도/하도 2회 도포/하도코팅 후 치핑골재 살포
현장 시험	소음도	소음도/미끄럼 저항도/투수 계수



(a) 하도 도포



(b) 치핑골재 살포



(c) 상부 도포



(d) 상부 도포 후 포장표면



(e) 1차 시공 완료 후 전경



(f) 2차 시공 완료 후 전경

그림 5. 차열성 포장 시공 공정

태 변화와 아스팔트의 표면에 남아 있는 유분 등이 차열성 포장재의 경화시간에 영향을 미칠 수 있음을 확인 할 수 있었다. 따라서 이러한 현장 상황이 차열성 포장의 공용성에 미치는 영향에 대해서도 추가적인 연구가 이루어져야 한다. 또 하나의 중요한 사항은 작업인력의 효율적인 배치이다. 1차 시험 시공에서는 차열성 포장재 혼합과 도포에 각각 3명의 인원이 배치되었고, 치핑골재 살포에 1명 및 교통 통제에 2~3명의 인원이 배치되어 원활한 시공을 실시 할 수 있었다. 하지만 시공 규모가 커질 경우 작업 물량의 증가로 인해 많은 인력과 장비가 필요하게 된다. 이러한 경우 효율적인 인력 및 시공 관리가 이루어지지 않으면 기계의 오작동 또는 환경 영향으로 인한 공정 지연뿐만 아니라 이로 인한 차열성 포장의 공용성에 문제를 초래할 수 있다. 따라서 이를 보완하고자 2차 시험 시공에서는 대형 믹서를 이용하여 많은 양의 아크릴 수지와 차열안료를 실험실에서 혼합하였다. 따라서 현장에서는 소형 믹서를 사용하여 미리 혼합된 아크릴 수지에 경화제를 혼합하는 과정만 실시하게 되어 현장 작업을 좀 더 효율적으로 할 수 있었다.

#### 4.2. 소음도 측정 시험

시공구간에서 차량의 소음저감 효과를 확인하기 위하여 소음도 측정 시험을 실시하였다. 1차 시험 시공구간에서는 Brüel&Kjær사의 소음측정기를 도로면에서 1.2m 높이에 설치하였고, 승합차를 30~70km/h 로 주행시키면서 발생하는 소음도를 측정하였다. 2차 시험 시공구간에서는 ISO Standard 11819-2초안에 제시된 방법으로 소음기를 차량의 바퀴 부근에 부착하여 소음도를 측정하였다. 마이크론의 위치는 타이어 중앙을 기준으로 20cm 떨어진 거리에 지면으로부터 10cm 높이에 설치하였다. 주행속도 40km와 60km에 대한 소음을 측정하였다.

일반 배수성 포장과 차열성 포장에서 실시한 소음도 측정 시험 결과는 표 4와 같다. 1차 시험 시공에서는 차열성 포장에서 측정한 평균 소음도는 주행 속도가 30~70km/h 사이에서 65.4dB로 일반 배수성 포장의 평균 소음도 68.1dB에 비해서 2.7dB 감소하였고, 최대 소음감소는 주행 속도가 40km/h인 구간에서 4.8dB이었다. 시험 시공 구간의 최대속도가 60km/h 인 점을 고려했을 때, 차량의 평균 주행 속도가 40~60km/h이라고 가정하면, 차열성 포장에 의한 평균 소음 감소는 3.7dB이다. 2차 시험에서도 유사한 소음도가 측정되었다. 주행속도 40km와 60km인 경우

모두 차열성 포장구간의 소음이 최대 3.2dB 정도 더 적게 발생했다. 그러므로 일반 배수성 포장에 차열성 포장재를 적용함에 의해서 소음 감소 효과도 기대할 수 있다고 사료된다.

표 4. 차열성 포장과 일반 배수성 포장의 소음도 측정 결과

포장종류	시험 시공	측정 속도 (km/h)				
		30	40	50	60	70
차열성 포장	1차	62.2	62.0	65.9	67.5	69.3
	2차	-	56.8	-	61.8	-
일반 배수성 포장	1차	62.7	66.8	69.7	70.1	71.0
	2차	-	60.0	-	64.6	-

#### 4.3. 시공구간 미끄럼 저항성 시험

미끄럼 저항성은 포장에 있어서 교통안전과 직결되는 매우 중요한 사항이다. 특히 우천 시 차량의 미끄러짐에 의한 교통사고를 유발하게 되므로 도로의 성능 평가 시 반드시 필요한 특성 값이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 비교적 간단하고 필요한 장소에서 쉽게 측정할 수 있는 영국식 미끄럼 저항 측정기(British Pendulum Tester (BPT), ASTM E 303)를 이용하여 차열성 포장과 일반 배수성 포장 구간에서 각각 미끄럼 저항성 시험을 실시하였다. BPT 시험은 먼저 노면에 물을 충분히 뿌려 노면 상태를 가장 열악하게 한 뒤, 1.5kg의 추를 자유 낙하시켜 젖은 노면에서 미끄러지는 정도를 미끄럼 저항치(British Pendulum Number, BPN)로 나타낸다. 주행 차량에 의한 미끄럼 저항치의 영향을 고려하기 위해서 차량의 바퀴가 통과하는 부분과 통과하지 않는 중앙에서 각각 5회씩 시험을 실시하였다.

그림 6은 일반 배수성 포장과 차열성 포장에서 5회 측정한 미끄럼 저항치의 평균값을 비교한 것이다. 차열성 포장에서 미끄럼 저항치는 측정 위치와 상관없이 약 84 정도이고, 일반 배수성 포장에서는 차량 바퀴가 통과하는 위치에서는 52.4, 통과하지 않는 위치에서는 61.4로 측정되었다. 그러므로 미끄럼 저항성의 측면에서 차열성 포장이 상대적으로 우수한 것을 확인할 수 있었다. 이는 차열성 포장재의 도포와 함께 표면 전체에 살포되는 치핑골재로 인해 미끄럼 저항성이 향상된 것으로 사료된다. 또한 일본의 동경부 건설국 도로관리부(2005)에서 제시한 차열성 포장의 미끄럼 저항치 기준인 60보다 30% 정도 상회하므로 본 연구에서 사용된 아크릴 차열포장재가 우수한 미끄럼 저항성을 나타낸다고 할 수 있다.

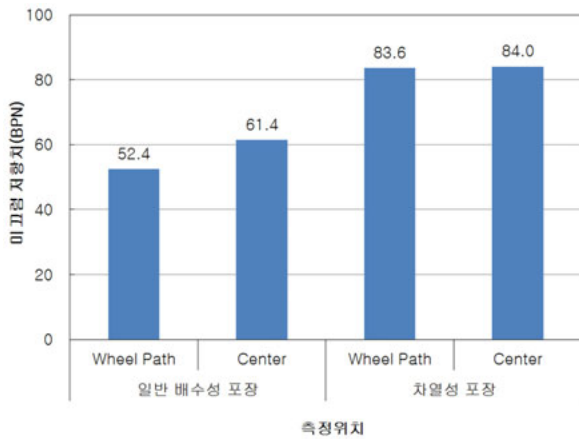


그림 6. 일반 배수성 포장과 차열성 포장의 미끄럼 저항치(BPN) 비교

#### 4.4. 실내 투수 시험

배수성 포장에 적용된 차열성 포장재가 배수에 미치는 영향을 평가하기 위해서 시험 시공구간에서 채취한 코어를 이용하여 실내 투수계수 시험을 실시하였다. 지름 100mm의 코어를 차열성 포장 구간과 일반 배수성 포장 구간에서 각각 3개씩 채취하였다. 본 연구에서 수행된 정수위 투수 시험 방법은 도로 포장용 배수성 아스팔트 혼합물의 투수성을 실내에서 평가하는 방법(KS F 2494)으로 정수위를 유지시키면서 코어의 상부와 하부에서의 수위차와 배수된 수량 및 배수 시간으로부터 투수계수를 계산할 수 있다. 측정된 투수계수는 기준온도 15℃로 보정하였다.

일반 배수성 포장과 차열성 포장에서 측정된 투수계수를 비교한 결과, 차열성 포장에서의 평균 투수계수는 0.12cm/sec로 일반 배수성 포장에서의 평균 투수계수인 0.20cm/sec 40% 정도 낮았다. 이는 차열성 포장재로 인해서 배수성 포장의 공극이 일부 막힌 것 때문으로 사료된다. 그럼에도 불구하고, 우리나라 배수성 포장의 투수계수 기준인 0.01cm/sec를 만족하므로 차열성 포장도 양호한 배수성을 가질 수 있다고 사료된다. 하지만 일반 배수성 포장 및 차열성 포장 모두가 일본의 차열성 포장의 투수계수 기준인 1000ml/15sec, 환산하면 약 0.38cm/sec를 만족시키지 못하므로 이에 대한 개선 방법이 필요하다.

#### 4.5. 기능성 평가를 위한 추적 조사

2차 시험 시공 후 단기 공용에 따른 차열성 포장의 성능을 평가하기 위해서 겨울철 온도변화, 마찰력, 그리고 소음도를 추가적으로 측정하였다. 여름철 차열성 포장

의 온도 저감 효과는 열섬 현상을 완화시켜주고 포장체의 공용성을 향상시킬 수 있지만, 겨울철에는 도로 결빙의 원인이 될 가능성이 있다. 그러므로 우리나라에서 대기온도가 가장 낮은 1월 말에 일반 배수성 포장과 차열성 포장구간에서 표면온도를 측정하였다. 온도는 2011년 1월 28일 오후 2시와 1월 29일로 오전 5시에 각각 세 번씩 측정하였다. 오후 2시와 5시의 대기온도는 각각 -1℃와 -12℃이었고, 차열성 포장과 배수성 포장에서 측정된 평균 표면 온도는 각각 -3.3℃와 -12℃로 두 구간에서 모두 동일하게 측정되었다. 따라서 겨울철에 차열성 포장에서의 온도 감소 현상은 미미한 것으로 사료된다.

2차 시험 시공 후 6개월 공용 후인 2011년 4월 27일 오전 11시경에 차열성 포장과 일반 배수성 포장구간에서 소음도와 미끄럼 저항치를 측정하였다. 측정된 소음도와 미끄럼 저항치는 표 5와 같다. 표에서 보는 바와 같이 공용 6개월 후 두 포장구간에서의 소음도는 모두 증가하였다. 특히 차열성 포장에서의 증가폭은 5.9dB로 일반 배수성 포장에서의 증가폭 1.3dB보다 크게 나타남으로써 시공 초기 우수한 저소음 효과가 오래 지속되지 않았음을 확인할 수 있었다. 미끄럼 저항치는 6개월 공용 후 차열성 포장구간의 휠패스와 센터에서 각각 36%와 20% 감소하였다. 이는 반복적인 차량 주행으로 인하여 치핑골재가 탈리되어 차열성 포장의 마찰 저항력이 감소했기 때문이라고 사료된다. 반면에 일반 배수성 포장의 휠패스와 센터에서는 각각 12% 감소와 6% 증가하였다. 따라서 치핑 골재 크기, 살포 방법 및 시기 등에 관한 개선이 필요하다고 사료된다. 또한 휠패스의 미끄럼 저항치가 두 포장구간에서 60보다 작게 나타났으므로 이에 대한 보완이 필요한 실정이다.

표 5. 6개월 공용 후 차열성 포장과 일반 배수성 포장의 소음도 및 미끄럼 저항치 측정 결과

포장종류	2차 시험시공	소음도 (dB)		미끄럼 저항치	
		40km/h	60km/h	휠패스	센터
차열성 포장	시공 후 1개월	56.8	61.8	83.6	84.0
	시공 후 6개월	61.1	69.3	53.7	67.2
일반 배수성 포장	시공 후 1개월	60.0	64.6	52.4	61.4
	시공 후 6개월	61.6	65.6	46.3	65.3

### 5. 결론

본 연구에서는 아크릴 수지에 차열안료를 첨가한 차



열성 포장재를 개발하였고, 실내 및 현장 시험을 통해서 차열성 포장의 온도 저감 효과와 공용성을 평가하였다. 아크릴 수지에 혼합되는 차열안료의 함량이 증가함에 따라 온도감소 효과는 일정수준까지는 증가하였으나 수지의 점도가 높아져서 작업성이 불량해짐을 알 수 있었다. 이러한 온도 감소효과와 작업성을 고려하여 최적의 배합비를 결정하였다. 차열성 포장이 일반 배수성 포장 대비 약 12.5℃ 정도의 온도 감소효과가 있는 것으로 나타났다.

아크릴 수지를 이용한 차열성 포장의 마찰 저항성, 내유동성, 부착성에 대한 평가를 위한 실내 시험으로 칸타브로 시험, 휠 트랙킹 시험, 그리고 부착강도 시험을 실시하였다. 차열성 포장의 칸타브로 손실률은 5.3%로 일반 배수성 포장의 손실률 19.2%의 1/4 수준으로 차열성 포장재의 코팅 효과로 인해서 차열성 포장의 골재 비산 저항성이 우수하게 나타난 것으로 사료된다. 내유동성 평가를 위한 휠 트랙킹 시험결과 차열성 포장의 경우 온도저감 효과로 인하여 윤하중 686N에서 동적안정도가 6,444회/mm로 일반 배수성 포장에 비해 2배 증가하여, 소성변형 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 아스팔트 노면과 차열성 포장재의 부착력을 확인하고자 부착강도 시험을 실시한 결과 차열성 포장재의 부착력은 평균 0.89MPa로 일반 차열성 포장의 기준인 0.5MPa를 만족하여 차열재의 탈리에 의한 손상 가능성은 낮은 것으로 사료된다.

본 연구에서 개발된 차열성 포장의 현장 적용성을 판단하기 위하여 시험시공을 두 차례 실시하였다. 이러한 시험 시공을 통해서 차열성 포장재의 배합 및 도포 과정에서 발생할 수 있는 문제점을 개선하였다. 경화제의 배합비는 현장의 기온 조건에 맞추어 조절하고, 아크릴 수지와 차열안료의 혼합은 대용량믹서를 이용하여 실내에서 보다 효율적으로 수행하였다.

시험 시공 후 차열성 포장의 기능성을 평가하기 위하여 소음도 및 마찰계수와 배수성을 측정하였다. 시험 시공 주행 속도 40~60km/h 구간에서 소음도 측정 시험을 실시한 결과 일반 배수성 포장에 비하여 최대 4.8dB(평균 3.7dB) 정도의 소음저감 효과가 있는 것으로 확인되었다. 미끄럼 저항성 측정 시험(BPT)을 실시한 결과 차열성 포장의 미끄럼 저항치(BPN)가 일반 배수성 포장에 비해서 평균 30% 정도 높게 측정되었고, 이는 일반 차열성 포장의 기준인 60을 상회하는 것이다. 따라서 본 연구에서 개발된 차열성 포장 방법이 우수한 미끄럼 저항성을 가지는 것으로 판단된다. 이는 차

열성 포장재에 함께 사용된 직경 1mm의 구사 치핑골재가 차열성 포장 표면의 마찰력을 높인 결과로 사료된다. 현장 시험시공 후 코어를 채취하고 실내 투수 시험을 실시한 결과 차열성 포장의 투수계수는 0.12cm/sec로 일반 배수성 포장의 투수계수인 0.20cm/sec에 비하여 다소 작게 나왔지만 국내의 배수성 포장의 투수계수 기준인 0.01cm/sec를 만족하므로 차열성 포장재의 도포로 인한 공극 막힘은 배수성 포장의 투수능에 미치는 영향은 미미하다고 할 수 있다.

## 감사의 글

본 논문은 한국건설기술연구원의 주요연구사업인 “다가능 복합 도로 포장 시스템 기술 개발”의 일부 결과물로서 한국건설기술연구원 및 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

## 참고 문헌

- 김동우, 방극호, 이득선, 김해동(2009) “차열도로 적용에 의한 열섬현상 저감방안 시공사례 연구”, 2009년도 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 대한설비공학회, pp. 87-96.
- 김인수, 김해동, 조성환, 최근식(2008) “열섬저감포장의 표면 온도 저감효과 연구”, 2008년도 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회, pp. 453-458.
- 동경부 건설국 도로관리부(2009) “차열성 포장 설계·시공 요령”, 일본 동경부 건설국
- 박태순, 전만식(2008) “안료의 혼합이 유색 아스팔트 혼합물 성능에 미치는 영향 연구”, 한국도로학회 논문집, 한국도로학회, 제10권, 제4호, pp. 181-187.
- 박태순, 전만식, 전중용, 정필구(2009) “태양광선 차단 포장 코팅제의 성능 평가 연구”, 2009년도 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회, pp. 29-34.
- 일본 차열성 포장 기술연구회(2005), “차열성 포장의 온도 상승 억제 효과를 평가하는 실내조사시험법의 제안”, 일본도로학회 포장, Vol. 3.
- 최태준, 이현종, 김태우, 송재혁(2009), “아크릴 수지로 코팅한 배수성 아스팔트 콘크리트의 특성 평가” 한국도로학회 논문집, 제11권, 제4호, pp. 111-120.
- 카토우 히로미치(2006), “차열도료를 도포한 도로포장의 개요”, 新塗装 통권 제9호, 대한전문건설협회 도장사업협의회, pp. 40-49.
- Katsura, E., Satoshi, H., Masahiko, I., Osamu, K., and Masaru, S.(2010), “Heat-insulating Pavement(Solar Heat-blocking Pavement)”, *Journal of Japan Road Association*, Vol. 1, pp. 52-54.
- Iwama, M., Yoshinaka, T., and Omoto, S.(2010) “Advanced Use of Environmentally-friendly Pavement Technologies”, *Presented*

*at the 11th International Conference on Asphalt Pavements,*  
International Society of Asphalt Pavement(ISAP), 8월 5일,  
Nagoya, Japan.

접 수 일 : 2011. 7. 4  
심 사 일 : 2011. 7. 5  
심사완료일 : 2011. 11. 17