

아크릴 수지를 이용한 차열성포장의 온도저감 효과에 관한 연구

Temperature Reduction Effects of Acrylic Resin Coating for Thermal Insulation of Asphalt Pavement

소경락^{*} · 김태우^{**} · 이현종^{***} · 이강석^{****} · 이윤규^{*****}

So, Kyung Rock · Kim, Tae Woo · Lee, Hyun Jong · Lee, Kang Seok · Lee, Yun Kyu

1. 서 론

21세기를 맞이하여 사회 및 경제 정세의 변화와 국민 생활이 고도화 되면서 도로를 둘러싼 상황은 크게 변화하였으며, 도로에 대한 요구도 다양해지고 있다. 특히 현재 국내뿐만이 아니라 전 세계적으로 환경 친화적인 도로의 건설이 대두되고 있는 실정이다. 우리나라도 산업화, 도시화로 인하여 녹지면적은 급속하게 줄어들고 아스팔트 콘크리트 도로와 콘크리트 건물의 증가로 인하여 도시의 열섬화 현상이 두드러지게 증가하고 있는 형태이다(김인수 등, 2008). 이러한 도시의 열섬화 현상으로 여름철에 전자제품의 사용이 증가되어 그에 상응하는 전기를 생산함과 동시에 열섬화 현상을 증가시키는 문제점이 발생하여 경제적 손실을 가져오고 있다.

특히 한여름철의 아스팔트 콘크리트도로의 온도는 60℃를 넘나들고 이러한 열을 흡수하여 밤에도 기온이 떨어지지 않는 열대야가 지속되어 국민들의 삶의 질을 훼손하고 있다(김동우 등, 2009). 따라서 본 연구에서는 이러한 열섬현상의 가장 큰 원인중 하나인 도로 포장체에 태양광의 근적외선을 효율적으로 반사시키는 특수한 차열안료를 도로 노면에 도포함으로써 도심지 열섬현상을 완화하고 포장체 내의 복사열을 반사하여 도심지 열대야 현상을 저감시키고 또한 온도저감으로 인한 아스팔트 콘크리트 포장체의 내구성 향상과 차열성 코팅으로 인한 소음저감효과 및 미끄럼저항성이 우수한 도로포장 재료를 개발하고자 한다.

2. 재료

2.1 차열성 포장재

차열성 포장재란 다른 말로 고 반사성포장재라고 불리기도 한다. 일반적으로 일사 에너지(태양광)은 크게 자외선(UV), 가시광선(Visible), 적외선(Infrared)로 구성되며 각각 4%, 46%, 50%로 도로 표면에 도달한다. 이러한 태양광 구성 중 열섬화 현상에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 적외선이다.

차열성 포장은 일사 에너지량의 약 반을 차지하는 근적외선을 고반사하여 포장체에 열흡수를 방지하는 포장으로, 도로용도에 따른 다양한 색감으로 표면온도의 상승을 억제할 수 있다. 또한 차열성 포장은 도시부의 차량 주행 환경의 개선에 기여함과 동시에 열섬화 및 열대야 저감효과를 기대할 수 있는 포장이다. 더욱이 일반 아스팔트 포장 및 고가의 저소음 배수성 포장 등에 적용함으로써 기존의 포장 성능을 바꾸지 않고서 포장체 온도의 상승을 억제하는 기능을 부여하여 소성변형과 같은 포장체 파손을 미연에 방지하여 보수로 인한 공사비, 교통통제에 따른 사용자 비용을 절감 할 수 있게 된다(최태준, 2008). 일본의 차열성 포장 기술

* 세종대학교 토목환경공학과 석사과정(E-mail: angks44@naver.com)

** 세종대학교 토목환경공학과 박사과정 · 공학석사(E-mail: jjang717@dreamwiz.com)

*** 세종대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사(E-mail: hlee@sejong.ac.kr)

**** 태영건설 토목기술팀 팀장 · 공학석사(E-mail: iks@taeyoung.com)

***** 태영건설 토목기술팀 부장 · 공학박사(E-mail: yglee@taeyoung.com)

연구회에서는 신규 아스팔트 포장의 노면온도가 60℃에 달했을 때 근적외선을 고반사하여 포장 노면의 열흡수를 방지하며, 약 7℃ 이상의 온도상승 억제를 기대할 수 있는 포장을 차열성 포장으로 정의하고 있다(카토우 히로미치, 2006). 본 연구에서는 아크릴수지와 차열안료를 이용한 차열성 포장재를 아스팔트 표면에 도포함으로써 한 여름 아스팔트 노면의 온도저감 효과에 대한 연구를 수행하였다.

2.2 아크릴 수지

본 연구에서 사용된 아크릴 수지는 세종대학교와 국내의 L사에서 자체 개발한 수지를 사용하였다. 아크릴 수지는 Acrylic과 Methacrylic Acid Ester의 중합반응공정을 거쳐 이중 탄소 결합을 갖도록 만든 반응형 수지이며 열경화성 수지에 속한다. 아크릴수지는 내구성, 내열성, 내화학성, 내마모성, 및 UV안전성이 뛰어나다. 유럽이나 미국, 일본 등에서는 아크릴 수지를 토목산업에 많이 이용하고 있으나, 국내의 경우에는 선진국에 비하여 연구와 사용이 미비하였다.

반응성 수지란 에스테르, 아크릴, 메타크린산에 기초하며, 탄소 이중결합 집합(C=C)구조를 갖는다. 아크릴 수지는 일반적으로 경화촉진제를 첨가하여 경화시간을 조절한다. 경화촉진제로는 분말형태의 벤졸 과산화물(Benzoyl Peroxide)을 사용하며, 대기온도, 표면온도 및 작업시간을 고려하여 BPO함량을 달리 사용할 수 있다.

2.3 차열안료

일반적으로 안료는 유기안료와 무기안료로 구분된다. 유기안료는 무기안료에 비해서 빛깔이 선명하고 착색력도 크며, 임의의 색조를 얻을 수 있으나 내광성 및 내열성이 떨어지는 것으로 알려져 있으며 대표적인 유기안료로는 인쇄에 사용되는 잉크가 대표적인 예이다. 무기안료는 천연광물로써 아연, 티탄, 철, 구리, 산화철 등의 물질로서 내광성, 내열성은 크나 착색력은 유기안료에 비하여 선명하지 않고 대부분 물이나 기름 그리고 알코올 등의 유기용제에 녹지 않는 특징을 가지고 있다(박태순 등, 2008).

본 연구에서 사용되어진 차열안료는 금속 산화물 등을 원료로 사용하여 고온에서 소성되므로 화학적으로 매우 안정한 분자 구조가 형성되어 내광성 및 내후성이 극히 우수하며, 1000℃ 이상의 내열성 및 내화학성이 우수하여 초 내후성 도료, 내열도료, 분체도료, 플라스틱 및 세라믹용 안료 등 여러 가지 용도로 응용되고 있다. 또한 효과적인 단열재 기능을 가지고 있어 일사 에너지에서 발생하는 적외선을 선택적으로 굴절 및 분산시켜 열을 차단할 수 있는 장점이 있다.

3. 연구 방법

3.1 차열성안료의 첨가별 온도저감효과

차열성 수지 및 차열안료의 최적 배합비율을 결정하기 위하여 30×30×5cm의 아스팔트 시편을 준비하였다. 본 시편의 표면에 수지대비 일정 비율로 차열성 안료를 혼합한 총 4개의 배합비를 선정하여 0.8kg/m²을 도포하였다. 시험은 ASTM D 4803 준하여 시험을 실시하였다. 본 시험에 사용된 아스팔트 시편은 13mm 밀입도 아스팔트를 사용하였으며, 시편의 내부 온도를 측정하기 위하여 표면으로부터 약 1cm 지점과 2.5cm 지점에 thermocouple을 매설하였다. 시험은 상온에서 실시하였으며, 사용된 램프의 용량은 600W/m²로 시편에서 약 50cm 정도의 높이에 설치하여 3시간동안 발열시켜 주었다(박태순 등, 2009). 시험에 대한 개요는 그림 1과 같다.

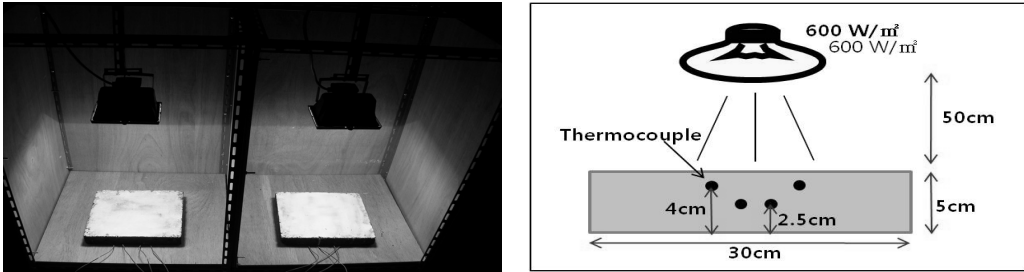


그림 1. 차열성 포장의 온도저감효과 시험개요

차열 안료의 함량은 차열효과에 가장 큰 영향을 미치는 부분이다. 함량이 너무 많으면 수지의 점도가 매우 높아져서 시공 시 어려움이 생기게 된다. 또한 함량이 너무 적으면 표면온도의 저감 효과를 확인할 수가 없다. 그러므로 차열안료의 함량 변화에 따른 온도저감 효과를 관찰하여 적정 배합을 찾는 시험은 매우 중요하다. 시험 결과 그림 2의 그래프를 통하여 알 수 있듯이 차열안료의 함량에 따라 온도 저감효과가 있음을 알 수 있다. 그러나 시험결과 Type 5의 경우 차열안료의 함량이 가장 높았으나, Type 4와 온도저감 효과와 비슷하게 측정되었다. 이는 수지대비 차열안료의 함량이 어느 일정 배합비율 보다 많이 혼합되어도 그 온도저감 효과는 증가하지 않음을 알 수 있었으며, 시험결과를 토대로 수지대비 최적 차열안료의 함량을 파악 할 수 있었다. 또한 Type 1은 차열안료를 첨가하지 않고 아크릴 수지만 도포한 온도 분포로 Type 4와 비교하였을 때 약 12℃의 온도저감 효과가 있는 것으로 측정되었다.

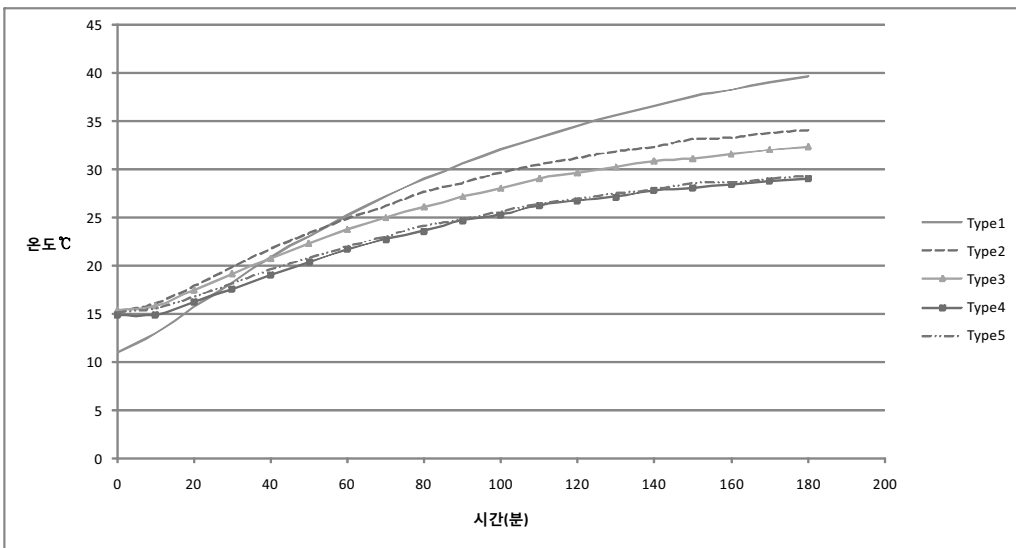


그림 2. 차열안료 함량에 따른 온도변화

3.2 차열성 포장의 온도저감 효과

한여름의 아스팔트의 온도는 최고 60℃가 훨씬 넘는다. 본 시험은 한 여름 아스팔트의 온도가 최고조에 달하는 데에 따른 동일한 조건하에 차열성 포장의 성능을 알아보기 위함이다. 차열성 포장의 온도저감 효과를 알아보기 위하여 차열성 수지를 도포한 시편과 일반 밀입도 아스팔트 시편을 동일한 조건으로 위 시험방법과 동일하게 실시하였다. 본 시험에 사용된 차열안료의 배합비는 Type 4를 사용하여 실시하였다.

시험을 실시하기 위하여 30*30*5cm의 아스팔트 시편 2개를 준비하고 하나의 시편에만 차열성 수지를 도포

하였다. 온도측정을 할 수 있는 thermocouple을 시편 표면에서 2.5cm되는 지점에 매설하였고 600W/m²의 램프로 약 50cm높이에 설치하여 시험을 실시하였다. 시험에 사용된 온도 측정 장비는 KMTL사의 TMR-211장비를 사용하였다.



그림 3. TMR-211

시험결과는 다음 표 1과 같다. 일반 아스팔트 콘크리트의 2.5cm 지점의 온도가 72.6℃ 인 반면 차열성 포장 은 57.9℃로 측정되었다. 일반 아스팔트 콘크리트 시편과 차열성 포장 시편의 온도차가 약 15℃ 정도로 일본의 차열성 포장 기술연구회에서 제시한 7℃이상의 온도저감효과에 만족하는 것으로 나타났다.

표 1. 차열성 포장과 일반포장의 온도변화

시간(분)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
일반포장	17.5	26	35.4	43.8	51.1	57.6	63.3	68.2	72.6
차열포장	17.1	22.1	28.6	34.8	40.6	45.6	50.1	54.1	57.9
온도차	0.4	3.9	6.8	9	10.5	12	13.2	14.1	14.7

3.3 PULL-OUT TEST

아크릴 수지를 이용한 차열성 포장재의 도로노면에 대한 접착강도를 측정하기 위하여 PULL-OUT TEST를 실시하였다. 시험은 코팅용 도료에 대한 일본의 규정인 JIS A 6909에 준하여 실행하였다.

시험결과는 다음 표 2와 같다. 차열성 포장의 부착강도는 시험용 본드에서 탈리가 일어날 정도로 높은 것을 알 수 있다. 그 값은 약 0.95MPa로 차열성 포장재의 부착강도는 더 높을 것으로 사료되며, JIS A 6909에서 제시한 부착강도인 0.5MPa의 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

표 2. 차열성 포장의 PULL-OUT TEST 결과

타 입	차열성 포장
신규아스팔트 부착강도(MPa)	0.95, 본드탈리

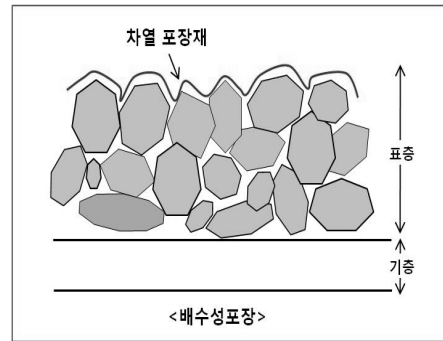
4. 현장 시험시공

4.1 시공개요

아크릴 수지와 차열안료의 첨가로 구성된 차열성 포장의 현장에 대한 적용성을 알아보기와 소규모 현장 시험시공을 실시하였다. 시험시공을 통하여 차열성 포장의 시공성을 확인 및 평가하고 시공과정의 미비점을 보완할 수 있는 방법을 모색해 보고자 하였다. 시험시공은 그림 4와 같이 2009년 11월 19일 서울시 동대문구 답십리동의 공용중인 신설 배수성 아스팔트 포장 도로에 실시하였고 시공 단면은 그림 4와 같다.



a. 시험시공 전경



b. 시험시공 단면

그림 4. 차열성 포장 시공

4.2 시공결과

차열성 포장재는 도로의 온도저감 효과를 향상시키기 위하여 0.4kg/m^2 씩 2회에 걸쳐 도포하였다. 경화시간은 대략 30~40분 정도로써 시공 직후의 교통개방이 가능하였다. 또한 도로노면의 미끄럼저항성을 향상시키기 위하여 표면에 치핑골재를 살포함으로써 그 기능을 더 향상시킬 수 있었다. 또한 현장 투수시험을 통하여 투수성능을 평가하였으며, 기존 배수성 아스팔트의 투수성능과 크게 달라지지 않았음을 확인하였다. 그림 5는 시공이 완료된 현장의 전경이다.

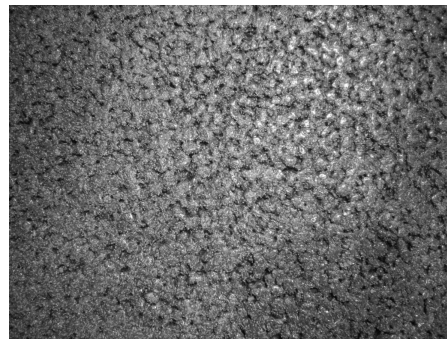


그림 5. 시공완료

4.3 소음도 측정시험

시험시공이 완료된 구간을 통과하는 차량의 소음저감 효과를 확인하기 위하여 차량의 속도에 따른 소음도를 측정하였다. 시험시공 구간은 실제로 상용중인 도로이므로 시험 시간대는 최대한 차량의 이동이 없는 늦은 새벽시간대를 정하였다. 시험결과는 표 3과 같다. 시험결과에서 알 수 있듯이 차열성 포장재가 도포된 구



간의 소음도가 일반 배수성 아스팔트 구간보다 더 작게 측정되었다.

표 3. 차열성 포장의 소음측정시험

포장종류	횟수	측정속도				
		30km	40km	50km	60km	70km
차열성 포장	1회(db)	62.1	65.4	66.2	67.2	68.2
	2회(db)	62.2	64.6	65.6	67.8	70.3
	평균	62.15	62	65.9	67.5	69.25
일반배수성포장	1회(db)	63	67	69.8	69.9	70.7
	2회(db)	62.3	66.5	69.5	70.2	71.2
	평균	62.65	66.75	69.65	70.05	70.95

5. 결 론

본 연구에서 실시한 아크릴 수지와 차열안료의 혼합으로 이루어진 차열성 포장의 실내시험 및 현장 시험 시공으로 인한 결과는 정리하면 다음과 같다.

- (1) 차열안료의 함량 증가에 따른 온도저감효과를 분석한 결과 최적의 배합비를 결정할 수 있었다.
- (2) 차열성 포장과 일반아스팔트 포장의 온도저감효과를 분석한 결과 아스팔트 표면온도가 60℃ 이상에서 차열성 포장이 약 15℃ 이상의 온도 저감효과가 있는 것으로 판명되었다.
- (4) 차열성 포장계의 도로 노면에 대한 부착력은 0.95MPa 이상으로 기준치인 0.5MPa보다 더 큰 값을 갖는다.
- (5) 차열성 포장은 일반 배수성 아스팔트 포장보다 약 0.5~4.75db의 소음저감 효과의 결과를 얻었으며, 배수성 아스팔트의 투수성능 또한 감소하지 않았음을 확인하였다.

본 시험을 통하여 차열성 포장은 도로노면의 온도상승을 저감시켜 도심지의 열섬화 현상을 감소시켜 주며, 여름철 고온으로 인한 아스팔트 소성변형에 대한 저항성을 증가시켜 포장체 공용주기를 향상시켜 줄 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 김동우, 방극호, 이득선, 김해동(2009) “차열도료 적용에 의한 열섬현상 저감방안 시공사례 연구”, 2009년도 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 대한설비공학회, pp. 87-96.
2. 김인수, 김해동, 조성환, 최근식(2008) “열섬저감포장의 표면 온도저감 효과 연구”, 2008년도 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회, pp. 453-458.
3. 박태순, 전만식(2008) “안료의 혼입이 유색 아스팔트 혼합물 성능에 미치는 영향연구”, 한국도로학회논문집, 한국도로학회, 제10권, 제4호, pp. 181-187
4. 박태순, 전만식, 전중용, 정필구(2009) “태양광선 차단 포장 코팅제의 성능 평가 연구”, 2009년도 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회, pp. 29-34.
5. 최태준(2008) “아크릴 수지로 코팅한 배수성아스팔트 콘크리트의 실내 공용성 평가” 석사학위논문, 세종대학교.
6. 카도우 히로미치(2006) “차열도료를 도포한 도로포장의 개요”, 新塗裝 통권 제9호, 대한전문건설협회 도장사업협의회, pp. 40-49.