

CTB 급수층을 활용한 열섬저감포장의 온도 특성에 관한 연구

A Study on Temperature Property of Temperature Reduction of Heat-Island Pavements Using Cement Treated Base Water Supply Layer

김대성* · 유지형** · 김해동*** · 김인수**** · 박태원*****

Kim, Dae Sung · Yoo, Ji Hyeung · Kim, Hae Dong · Kim, In Soo · Park, Tae Won

1. 서 론

1997년 12월 일본 교토에서 개최되었던, 교토회의(기후변화협약 제3차 당사국총회)에서 채택된 지구온난화의 규제 및 방지를 위한 국제협약인 교토의정서(京都議定書)에는, 2008년부터 2012년까지 5년간의 선진국의 온실가스 감축 목표치를 1990년에 비교해서 일본은 6%, 미국은 7%, EU는 8%로 하고 있다. 하와이에 있는 미국해양기상청 「마우나로아 관측소」의 조사에 의하면, 1958년 이후 대기 중의 CO_2 량은 매년 증가하여, 현재에는 약 0.035%라고 한다. 이러한 관측결과를 토대로 보면 과거 100년간의 지구전체의 평균온도는 0.3~0.6°C 상승하였고, 현재의 상태로 온실효과 GAS의 증가가 계속된다면, 2100년에는 평균기온이 약 2°C 상승할 것으로 예측된다. 이 외 극지(極地)의 얼음이 녹아 21세기 중반에는 해수면(海面)이 현재보다 약 10m 상승될 것이라는 예측보고서도 있다.

지구의 온난화는 급작스러운 냉해(冷害)나 국소적(局所的)인 이상강우(異常降雨) 그리고 이상건조(異常乾燥) 등의 현상을 발생시킨다. 이러한 지구의 온난화에 따른 영향이 도심에 또 다른 환경변화를 가져온 것이 열섬(Heat Island)현상이다. 열섬(Heat Island)현상의 원인으로는 인간의 사회·경제활동으로 인해 발생하는 많은 배열량(排熱量), 지표면(地表面)이 흙과 식생(植生)에서 아스팔트 및 콘크리트 포장으로 바뀐 것 그리고 건물이 밀집되어 통풍이 되지 않는 것 등이 있다. 이러한 열섬(Heat Island)현상의 대책으로 인공배열의 축소, 지표면 피복의 개선 그리고 도시환경 형태의 개선 등을 들 수 있다. 이 중 도심면적의 10~20%를 차지하는 도로에 노면온도의 저하를 가져오는 포장이 그 대책으로 주목되고 있는데, 도로주변의 열 환경 부하의 경감을 기대할 수 있는 포장기술이다. 이것은 수분을 흡수·보유하는 보수재(保水材)를 표층의 공극에 충전하는 보수성포장과 열에 변화하기 쉬운 적외선을 차열(遮熱)Coat층에서 반사시켜 태양열을 산란하여 적외선을 중심으로 열(熱)에너지의 흡수를 억제해 대기의 온도를 떨어뜨리는 차열성 포장이 있다.

지표면에 출입하는 열에너지는 보통 비슷한 상태이기 때문에 지표면의 열수지(熱收支)를 조사함으로써 아스팔트포장으로 인한 열섬(Heat Island)현상의 발생 메커니즘 및 대책에 대한 이해가 가능하다. 아스팔트포장은 열전도율(熱傳導率)이 크고, 포장체 내에서 열을 축적하기 쉬우며, 동시에 노면으로부터 수분의 증발산(蒸發散)이 거의 없다. 따라서 여름의 아스팔트포장 표면은 60°C 정도의 고온이 된다. 반면, 포장에 수분을 포함시켜 이것이 증발하는 잠열수송에 의해 온도상승을 억제할 수 있는데, 이 포장이 보수성포장이다. 이와 같이 노면의 10~20%를 차지하는 도심의 도로에서 노면온도의 상승을 억제하는 포장공법은 열 환경 부하를 줄이

* 경일대학교 토목공학과 박사과정 · 공학석사 · 053-850-7235(E-mail : kimds0124@naver.com)

** 정희원 · 경일대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 053-850-7227(E-mail : jhyoo@kiu.ac.kr)

*** 계명대학교 환경방재시스템학과 교수 · 이학박사 · 053-580-5930(E-mail : khd@kmu.ac.kr)

**** 정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 전임연구원 · 공학석사 · 031-371-3407(E-mail : dolbom6@hotmail.com)

***** 정희원 · 동일기술공사 부설기술연구소 연구원 · 공학석사 · 02-3400-5614(E-mail : qkfoqkd@hanmail.net)

는 대책으로 좋은 기술로 각광받고 있다.

본 연구에서는 열섬저감포장의 기능성을 높이기 위하여 CTB를 이용한 급수층에 관한 연구로 급수층 재료의 물리·역학적 시험을 통하여 적정 배합비를 선정하였으며, 포장구조체 시험 모형을 제작하여 열섬저감포장의 온도특성을 분석하였다.

2. CTB 급수층 재료의 특성

2.1 CTB 급수층 재료의 배합비

본 연구에서는 CTB를 이용한 급수층 개발을 위하여 시멘트와 보수(保水)재료의 혼합비를 달리하여 배합비를 선정하였다. 시멘트는 U사의 초속경 시멘트를 이용하였으며, 보수(保水)재료의 첨가량을 10~30%로 조절하여 표 1과 같이 4개의 배합비를 선정하였다. 그림 1은 CTB 급수층 재료의 강도시험 및 투수시험을 보여주고 있다.



그림 1. CTB 급수층 재료 시험

표 1. 실험에 사용된 시험편의 배합비

구 분	배합비
Case 1	골재+초속경시멘트
Case 2	골재+초속경시멘트+보수재-10%
Case 3	골재+초속경시멘트+보수재-20%
Case 4	골재+초속경시멘트+보수재-30%

2.2 CTB 급수층 재료의 물리·역학적 특성

CTB 급수층 재료 특성을 파악하기 위하여 배합비에 따라 시험편을 제작하여 강도 및 투수, 흡수성능시험을 실시하였다. 표 2는 배합비에 따른 재령별 평균 압축강도를 나타내고 있으며, 표 3은 CTB 급수층 재료의 투수 및 흡수성능 시험결과를 나타내고 있다.

표 2. 배합비에 따른 재령별 평균압축강도

구 분	압축강도(kg/cm ²)		
	재령 3시간	재령 12시간	재령 24시간
Case 1	37.75	49.25	49.56
Case 2	40.93	53.21	53.31
Case 3	41.31	53.83	54.05
Case 4	40.12	51.24	51.30

표 3. 배합비에 따른 투수계수 및 최대흡수율

구 분	투수계수(cm/sec)						평균	최대흡수율(%)						평균
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
Case 1	1.93	1.64	1.55	1.84	1.52	1.76	1.71	2.67	3.06	2.69	3.10	2.69	3.36	2.93
Case 2	1.71	1.63	1.61	1.89	2.01	1.98	1.81	5.33	4.86	5.41	4.61	5.24	5.01	5.08
Case 3	1.53	1.80	1.62	1.85	1.66	1.72	1.70	7.07	6.93	7.48	6.69	7.36	7.39	7.15
Case 4	1.75	2.18	1.96	1.59	1.95	1.62	1.84	9.81	9.76	10.39	9.92	9.66	10.38	9.99

3. 열섬저감포장의 온도 특성

3.1 CTB 급수층이 설치된 열섬저감포장 구조체 실험모형 제작

CTB를 이용한 급수층의 열적 특성평가를 위한 포장구조체 실험모형을 그림 2에서 보는 바와 같이 제작하였다. 표층은 열섬저감포장 재료로 구성되며, 중간에 CTB를 이용한 급수층을 설치하였으며, 강제급수를 위하여 유공관을 설치하였고, 초과수의 배수를 위하여 하부에 쇠석을 이용한 투수층을 형성하였다.

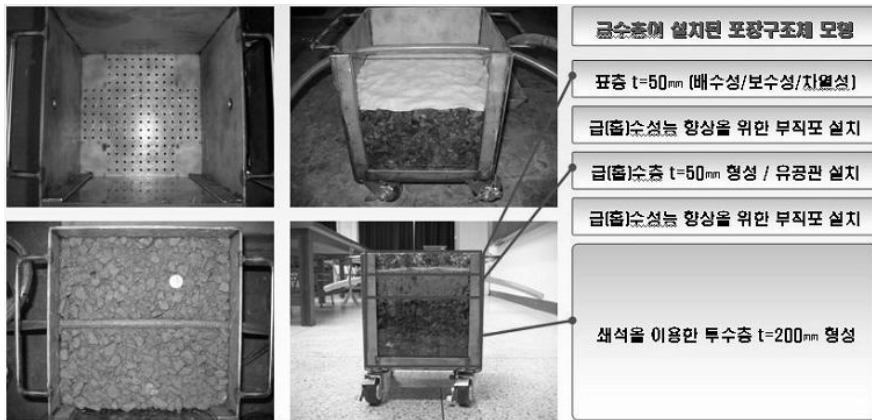


그림 2. CTB 급수층이 설치된 열섬저감포장 구조체 실험모형

3.2 열섬저감포장재 열적 특성 평가

열섬저감포장재의 열적 특성 평가를 위하여 실내실험을 수행하였다. 여름철 날씨를 가정하기 위하여 실내 온도를 29℃로 유지하였고, 모든 공간을 통제하여 바람은 없는 상태로 하였다. 포장재에 수분을 공급하지 않은 경우와 포장재에 수분을 공급한 경우로 나누어 2회에 걸쳐 실험을 수행하였다. 그림 3은 열섬저감 포장구조 모형을 이용한 온도 관측 전경을 보여주고 있다. 실내실험은 1차로 포장재에 수분은 공급하지 않은 경우는 2시간에 걸쳐 약 650W/m²의 광선을 쬐어주면서 표면과 포장아래 5cm에서 10분 간격으로 온도를 측정하였으며, 2차로 포장재에 수분을 2시간 정도 충분히 공급한 다음 수분이 모두 증발하는 시간까지 가열하고 그 후 냉각하여 포장표층과 급수층의 온도변화를 측정하였다.

1차 실험결과, 그림 4에서 보는 바와 같이 차열성 포장재의 경우 실험 개시 후 10분 만에 온도가 약 16℃ 상승하였고 그 이후에도 계속 상승하였는데 실험 시작 2시간 후에는 약 60℃에 이르렀다. 그리고 소등 후 2시간 후에는 약 28℃까지 냉각되었다. 반면에 일반 아스팔트는 가열 2시간 후에 표면온도가 약 70℃에 이르러 차열성 포장재에 비해 10℃나 높게 나타났다. 그리고 소등 2시간 후에는 32℃를 나타내어 차열성 소재에

비하여 4℃정도 높게 나타났다. 보수성 포장재의 경우 실험 시작 전 예상과 조금 다른 결과를 관찰할 수 있었다. 보수성 포장재 역시 실험 시작 후 온도 상승과 2시간 후 냉각 시 나타나는 온도변화의 경향은 앞에 두 개의 재료와 비슷한 경향을 나타내지만 포장재 최고 표면온도가 48℃로 차열성 재료보다 12℃ 낮게 측정되었다. 그리고 소등 후 2시간 후의 온도 역시 26℃로 차열성 포장재보다 2℃ 낮게 나타났다.

2차 실험결과, 그림 5에서 보는 바와 같이 일반 아스팔트 포장의 경우 가열 6시간 경과 후 수분공급을 하지 않았을 때보다 약 10℃ 정도 낮은 58.5℃ 정도로 측정이 되었으며, 차열성 재료 또한 49.7℃로 수분을 공급하지 않았을 때보다 11℃정도 낮은 온도를 나타내고 있다. 보수성 포장의 경우 가열 6시간 경과 후 42℃로 1차 실험에 비하여 6℃정도 낮은 온도를 나타내고 있다. 급수층의 경우 온도변화가 표층과 비슷한 양상을 나타내고 있으며, 표층과 급수층 온도변화의 차이점은 가열과 냉각의 급수층 온도의 변화가 좀 더 느리게 진행된다는 점이다. 급수층의 경우 광선을 직접 받지 않아 복사열의 영향으로 온도변화를 하기 때문에 이러한 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

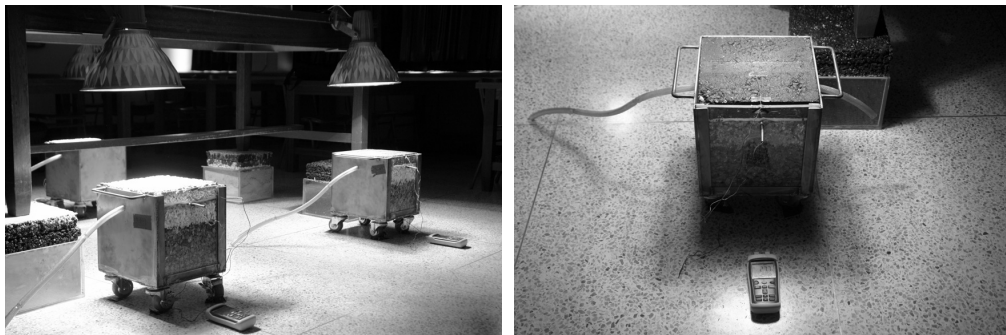


그림 3. 열섬저감 포장구조 모형을 이용한 온도 관측 전경

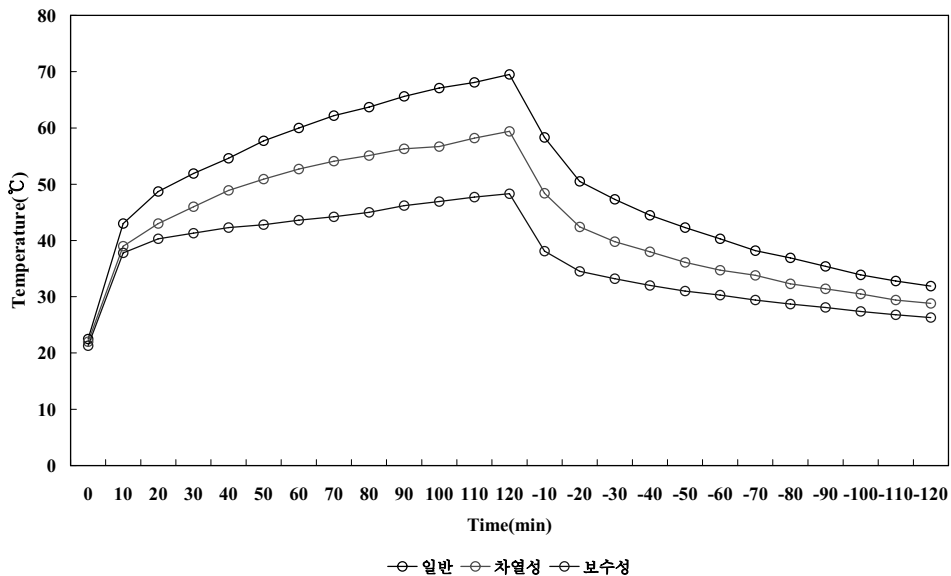


그림 4. 포장표층 재료에 따른 온도변화

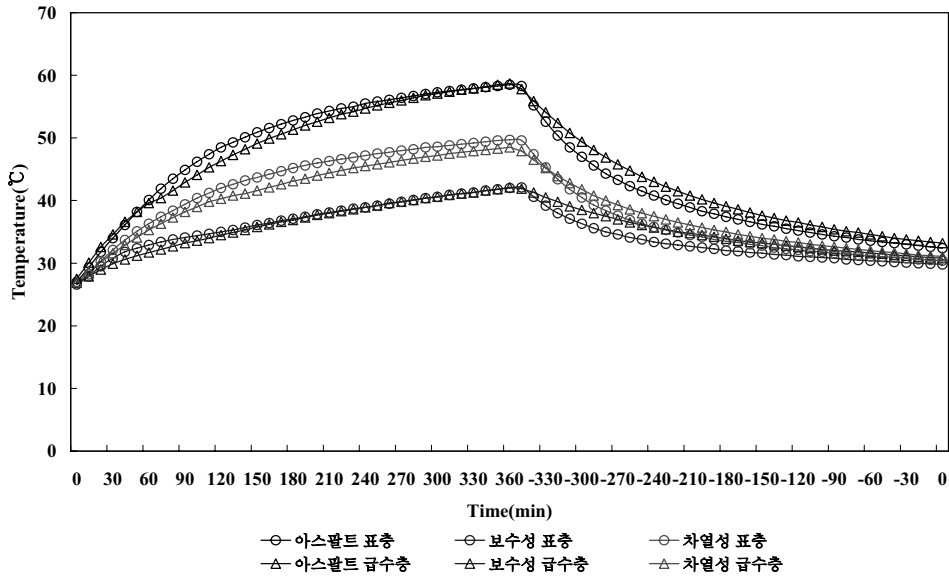


그림 5. 포장표층 재료에 따른 온도변화(수분공급시)

4. 결론

본 연구에서는 도로포장의 표면온도를 저감시켜 도시열섬 억제효과를 가져오기 위해서 개발하고 있는 열섬저감포장의 기능성을 높이기 위한 급수층 재료 개발에 관한 연구로 기존 CTB 재료의 흡수성능을 높이기 위하여 보수(保水)재료를 첨가하여 시험편을 제작하였으며, 강도시험과 투수시험, 흡수성능시험을 통하여 CTB 급수층 재료로서의 적합성을 분석하였다. 또한 CTB 급수층을 이용하여 열섬저감 포장구조 실험모형을 제작하여 열적 특성 분석을 실시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 배합비에 따른 재령별 강도시험 결과, 재령 3시간 후에 종결강도의 70%이상을 발휘하였으며, 12시간 후 경화가 종료됨을 알 수 있었으며, 종결강도는 보수(保水)재료의 첨가량에 따라 증가하다가 30%이후에 감소하는 경향을 나타내고 있다.

(2) 배합비에 따른 투수계수는 보수(保水)재료의 첨가량에 관계없이 1.5~2cm/sec의 범위로 나타났으며, 흡수율은 보수(保水)재료의 첨가에 따라 일정하게 증가하는 경향을 나타내고 있다.

(3) 열적 특성 평가 결과, 수분 공급 전에는 일반 아스팔트 포장 재료에 비하여 차열성 포장재가 약 10°C, 보수성 포장재가 차열성 포장재보다 12°C정도 낮게 측정되었으며, 수분 공급 후에는 수분 공급 전과 비교하여 각각 6~10°C 정도 낮게 나타났다.

본 연구의 결과를 통해 CTB를 이용한 급수층 재료의 보수재 첨가량은 강도시험결과와 흡수성능 시험결과 20~30%정도가 적정한 것으로 나타났으며, 투수계수는 1.5~2cm/sec의 범위로 건설교통부 도로포장 시공지침서의 투수콘크리트의 투수계수 규정치인 $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 이상을 만족한다. 또한 열적 특성 평가 결과, 기존 일반 아스팔트 포장재료에 비하여 열섬저감 포장재의 온도특성이 우수한 것으로 나타났으며, 강제 급수를 위하여 설치된 CTB를 이용한 급수층 형성으로 지속적인 수분 공급이 이루어지게 하여 하절기 포장체의 온도를 더욱 낮출 수 있을 것으로 판단된다.



감사의 글

본 논문은 “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발(CTRM)”의 1세세부 과제 일환으로 작성되었습니다.

참고 문헌

1. 류남형, 유병림, 투·보수성 시멘트 콘크리트 포장의 열물성 및 수분보유 특성이 표면온도에 미치는 영향, 한국조경학회지, 34(1), 21-36, 2006
2. 우에다, 니시오까, 나베시마, 나카오, “고반사성 포장의 반사율과 표면온도저감효과”, 일본건축학회 발표 논문, 2004
3. 藤野 毅, 浅枝 隆, 福田 萬大, 保水性舗装にとる都市の熱環境緩和効果の検討, 舗装36-5, 2001
4. 坪川 將丈 八谷 好高, 半たわみ性材料たるとる空港アスファルト舗装の補修設計, 舗装38-9, 2003
5. 竹田 敏憲, 小林 一雄, 峰岸 順一, 東京都における路面温度低減舗装の取組み, 舗装39-5, 2004
6. 藤野 毅, 長島 博雄, 菅沼 忠嗣, 辻井 豪, 保水性舗装のテーマパークへの適用と熱負荷軽減効果, 舗装 40-3, 2005