

도시열섬현상 완화 효과를 가진 'PCM Cool Roof System' 개발 기초 연구

양영권* 정민희* 방선규* 신창섭* 박진철*

*중앙대학교 대학원 건축공학과

A Developement Preliminary Study on the 'PCM cool roof system' to mitigating the urban heat island effect

Yang, Young-Kwon* Chung, Min-Hee* Bang, Sun-Kyu* Shin, Chang-sub* Park, Jin-Chul*

*Division of Architecture Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Korea

Abstract

This study is a fundamental experiment to diminish urban heat island by developing a prototype of 'PCM(Phase Change Material) Cool Roof System'. The purpose of study is to evaluate thermal performance of PCM cool roof system for reducing the temperature of roof surface and the indoor load. For finding out solutions to applying PCM as roof finishings, a experiment was conducted in summer by comparing wood with WPC(Wood Plastic Component) and comparing two PCM(Bio-PCM:26℃, n-docosane-PCM:44℃) that each melting point is different. As a result, it is expected that applying n-docosane-PCM to WPC is a appropriate way in summer.

주요어 : PCM, Phase Change Material, 도시열섬현상, 지붕마감재

Keywords : PCM, Phase Change Material, Urban heat island, Roof Finishing Material

1. 서론

1.1. 연구의 배경

도시열섬현상이란, 도시 인구밀집현상, 교통량증가, 인공구조물, 지표의 아스팔트가 증가함에 따라 도시 중심부의 기온이 주변 지역보다 현저하게 높게 나타나는 현상이다(Landberg et al., 1981). 건축물의 콘크리트는 열의 발산 작용이 미약하여, 주간에 축열된 열로 인하여 일몰 후 도시열섬현상을 발생시키는 주원인 중 한가지로 거론되고 있다. 이에 따라 열섬현상을 저감할 수 있는 연구와 기술 개발이 다방면으로 진행이되고 있는데 그 중 상변화물질(PCM: Phase Change Material, 이하 PCM으로 표기)을 이용한 연구가 활발하게 수행되고 있다. PCM은 높은 잠열량과 상변화 특성을 가지고 있어 콘크리트의 단점을 보완한 건축용

마감재로 주목받고 있다. 따라서 본 연구에서는 Melting Point가 다른 두 PCM(BIO-PCM, n-docosane PCM)을 비교 분석하고 국내의 기후환경에 적절한 PCM을 선정하여 향후 건축용 마감재를 개발하기 위한 기초연구를 진행하였다. 또한, 이를 통하여 궁극적으로 도시열섬현상 완화에 기여할 것으로 사료된다.

2. PCM Cool Roof System의 개요

2.1. PCM의 특징 및 현황

PCM이란 특정온도에서 상변화를 일으키며 잠열의 형태로 열교환하기 때문에 열적효율이 뛰어난 물질이다. PCM을 건축물에 적용한 선행연구사례로는 벽체 다공성물질, 축열재, 천장재 등 다양한 분야에 연구 및 적용을 통하여 성능이 입증되었지만 사계절이 뚜렷한 국내의 실정상 적용성이 떨어지는 것이 사실이다 현재 다양한 PCM이 개발·출시 되었지만 건축분야에 주로 적용되는 PCM은 hexadecane, octadecane, paraffin을 대표적으로 들 수 있다. PCM은 각각 고유의 Melting Point가 있기 때문에 해당 온도에서 상변화를 일으키기 때문에 사용

Corresponding Author

성명 : 박진철, 중앙대학교 정교수, 공학박사

전화 : +82-2-820-5261

E-mail : jincpark@cau.ac.kr

용도에 맞게 Melting Point를 선정하면 된다.

2.2. Cool Roof System

쿨루프(Cool roof)란, 반사율과 방사율을 높여 일반 지붕 마감재보다 낮은 온도를 유지하는 것을 의미한다. Cool roof의 대표적인 효과로는 건물에너지 절약, 열섬효과 저감 등을 들 수 있다. 하지만 페인트를 활용한 Cool Roof의 경우 높은 반사율로 인하여 동절기에 기온이 영하로 낮아지는 국내의 실정 상 난방부하를 더욱 증대시키게 되는 단점이 있다. 따라서, Cool Roof와 PCM의 축열 효과를 결합·활용하여 국내의 실정에 맞는 PCM Cool roof System으로 개발하고자 하고자 본 기초 연구를 실시하였다.

3. PCM Cool roof System 성능 평가 실험

3.1. 실험 모델 개요

PCM은 액체상태로 상변화를 일으키기 때문에 지붕 마감재로 적용을 하기 위해서는 사용 방법에 대한 고려가 필요하다. 본 연구진은 PCM을 Packing Type으로 제작하여, 중공층이 있는 건축 마감재에 적용 하는 방안을 택하였다. PCM이 적용 된 마감재의 성능 검증을 위하여 축소 모형을 제작하여 실험을 실시하였다. 축소 모형은 국내 일반 거실의 평균인 216m²의 1/10 Scale인 600×600×600mm로 제작하였고, 지붕마감은 콘크리트, 단열재, 누름 몰탈 순으로 제작한 뒤 최상층 마감부에 WPC마감을 하여 실시하였다. 벽체는 40mm 단열재를 사용하여 지붕마감재 외에 다른 요인의 영향을 최소화 하였다. 실험은 두 가지로 나누어 진행하였다. 본 실험은 기존 건물의 지붕마감재로 적용이 비교적 수월한 WPC(Wood Plastic Component)와 PCM을 결합하여 국내 하절기에 적용 가능한 최적의 조합을 찾는 것이 목적이다. 따라서, Melting Point가 다른 n-docosane(44℃)과 Bio-PCM(26℃)을 WPC에 적용하여 PCM을 적용하지 않은 중공 WPC와 비교 실험하였다. 실험은 2015년 9월 22일부터 9월 24일까지 서울특별시 동작구 흑석동에 위치한 중앙대학교의 건물 옥상에서 주간 동안 그림자가 발생하지 않는 곳에서 실시 하였다. 다음의 그림 1.은 축소모형의 단면도이다. 온도측정은 T-Type 열전대를 이용하여 데이터로거(GL-820)로 데이터 수집을 하였다. 측정 위치는 마감재의 표면, 마감재내부, 마감재하단(콘크리트 몰탈 상부)에서 측정하였다. 측정위치와 및 WPC의 단면도는 다음의 그림 2와 같다.

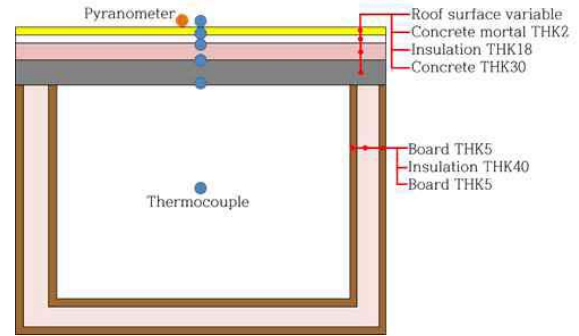


그림 1. 축소모형의 구조 단면도



그림 2. WPC의 단면도 및 온도 센서 측정 위치

4. 성능 평가 결과

4.1 Bio-PCM과 n-docosane-PCM의 성능 평가

실험결과 각각 표면의 최고온도는 ‘중공WPC’가 54.5℃, ‘Bio-PCM’이 52.2℃, n-docosane-PCM이 47.7℃ 순서로 PCM이 들어있지 않은 ‘중공WPC’가 가장 높았으며, n-docosane-PCM과 비교시 최대 6.8℃의 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 내부 PCM의 열 획득으로 인한 것으로 판단된다. WPC 내부 온도 측정 결과 역시 최고온도가 ‘중공WPC’, ‘Bio-PCM’, n-docosane-PCM 순으로 나타났다. 마감재 내부의 경우 PCM과 접해있기 때문에 각 PCM의 상변화 온도와 구간에서 Time lag 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었는데, Bio-PCM의 경우 약 2시간 30분 일정한 온도(24~27℃)를 유지하였고, n-docosane-PCM의 경우 약 6시간 일정한 온도(43℃ 내외)를 유지하였다. 플레이트 하부 측정 결과 역시 표 및 마감재내부와 동일한 경향을 보였으며, 오전 중 온도는 플레이트 내부와 비교시 낮았고 야간 냉각시 온도는 약 1~2℃ 높게 나타났는데, 이는 하부의 콘크리트층의 영향으로 인한 것으로 사료된다. 아래의 그림 3.은 온도 측정 결과와 일사량, 외기온도를 나타낸 그래프이다.

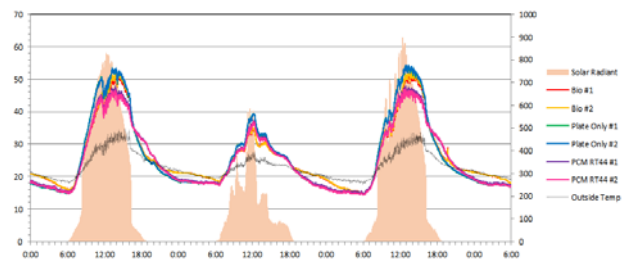


그림 3. 온도 측정 및 일사량·외기온도

5. 결 론

건축마감재료의 PCM 적용을 위한 실험 결과를 정리하면 다음과 같다. WPC에 PCM 적용결과 적용하지 않은 ‘중공PCM’에 비하여 PCM을 적용한 마감재가 표면 온도가 더 낮게 나타났다. 또한 ‘BIO-PCM’보다 n-docosane-PCM이 표면온도가 더 낮게 나타났다. 그 외의 마감재 내부와 마감재 하부 온도 역시 n-docosane-PCM이 가장 낮게 나타났다. 따라서, PCM을 지붕 마감재로 적용할 경우 일반 건축 마감재보다 표면온도가 낮게 나타나 열섬현상 저감 효과를 기대할 수 있다고 사료되며, 상변화온도가 26℃인 ‘BIO - PCM’에 보다 국내의 하절기 조건에서는 n-docosane-PCM 더 적절한 것으로 판단된다. 본 연구는 ‘PCM Cool Roof System’을 개발하기 위한 기초연구로서 향후 잠열량과 질량 등 기타 요소를 고려하여 국내 조건에 최적인 PCM 마감재를 선정할 계획이다.

후 기

이 논문은 2015년도 국토교통부 국토교통기술촉진 연구사업의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 15CTAP-C078014-02)

참 고 문 헌

1. Chou, H.M. et al.(2013), A new design of metal-sheet cool roof using PCM, Energy and Buildings, 57, 42-50
2. Kośny, J. et al.(2012), Field thermal performance of naturally ventilated solar roof with PCM heat sink, Solar Energy, 86(9), 2504-2514
3. Karlessi, T. et al.(2011), Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings, Building and Environment, 46(3), 570-576
4. Jeong, J.R (2015), Thermal Performance test of finishing materials of PCM cool roof system, aik, 추계학술발표대회 논문집 35(2), 245-246
5. Lee, S.J (2012), A Study on the Heat Storage and Dissipation of Thermally Activated Building System Applied with Phase Change Materials, Kiebs 추계학술발표대회논문집 75-78