

# 파라핀을 이용한 건축용 시트형 잠열축열재의 축열특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Heat Storage Properties of Phase Change Material Using Paraffin Sheets in Building

고진수<sup>1</sup>

김병윤<sup>2\*</sup>

박성우<sup>3</sup>

Ko, Jin-Soo<sup>1</sup>

Kim, Byung-Yun<sup>2\*</sup>

Park, Sung-Woo<sup>3</sup>

*President of Meeram I.F, Seoul, 135-090, Korea<sup>1</sup>*

*Korea Concrete Institute(KCI) Research Center, Seoul, 135-703, Korea<sup>2</sup>*

*Institute of Construction Technology, Samsung C&T Co, Seoul, 137-956, Korea<sup>3</sup>*

### Abstract

The life cycle assessment on greenhouse gas emission of reinforced concrete buildings shows that more than 70 percent of greenhouse gas that is discharged by a building is discharged in the building maintenance stage, including cooling and heating. To reduce the greenhouse gas emission, maintenance planning to minimize the energy consumption is necessary in the design stage. In this paper, two heat storage rooms are tested to save the air cooling energy of the buildings. The specimens are essentially identical, except that chamber A contained paraffin sheets as the finishing material, while the other, chamber B, served as a control. The test results show that chamber A with the paraffin sheets exhibited less temperature change than chamber B without the sheets when temperature was increased outside of the specimens. The heating energy was probably consumed in the phase change of the paraffin sheets, which can be useful for reducing energy consumption related to air cooling during the summer.

Keywords : greenhouse gas, life cycle assessment, phase change material, heat storage

## 1. 서론

### 1.1 연구 목적 및 필요성

최근 지구온난화에 대한 우려와 관심이 높아지면서 건축 재료분야의 연구에서도 저탄소 녹색성장이 중요한 주제로 부각되고 있다. 철근콘크리트 건축물의 온실가스 배출량에 대한 전과정평가(LCA)를 실시한 결과, 신축을 제외한 냉·난방 등의 유지관리 과정에서 약 76.7%의 온실가스가 배

출된다는 보고도 있다[1].

이는 건축물의 온실가스 배출량을 최소화하기 위한 효과적인 방안을 건축물 사용과정에서 찾을 수 있으며, 이를 위해서는 건물의 신축단계에서 적용할 수 있는 고효율 또는 에너지 사용 저감형 건축재료의 개발이 절실함을 의미한다.

과거에는 단순한 단열을 통한 에너지 절약이 온실가스 저감대책의 대부분이었으나, 최근에는 태양에너지, 풍력, 지열, 공장의 폐열 등의 활용으로 보다 적극적인 방법이 시도되고 있다. 이와 같은 친환경 에너지를 활용하는 방법 이외에도 물질의 잠열을 활용하는 방법 즉, 상변화물질(Phase Change Material, PCM)을 이용하는 방법이 최근 소개되고 있으며, 활용분야도 점차 다양화되고 있다[2,3,4,5,6].

따라서, 본 연구에서는 건축물의 사용단계에서 냉·난방 에너지 소비를 줄일 수 있는 방법으로 상변화물질인 파라핀

Received : March 31, 2011

Revision received : July 14, 2011

Accepted : September 1, 2011

\* Corresponding author : Kim, Byung-Yun

[Tel: 82-2-539-5983, E-mail: yuni@kci.or.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

시트를 건축물의 개구부 또는 벽체 마감재로의 활용 가능성을 실험적 연구를 통해 검토하였다.

### 1.2 연구 범위 및 방법

축열재의 상변화는 온도에 의해 발생된다. 이 상변화를 발생시키는 온도는 대류에 의한 영향이 가장 클 것으로 예상되며, 그 이외에도 개구부를 통해 유입되는 직사일광에 의한 영향도 크게 작용할 것으로 예측된다. 직사일광을 정면으로 받는 정오의 옥상슬래브는 표면온도가 약 60 °C까지 고온으로 상승하나, 외벽의 경우 약 30 °C로 절반의 수준이 된다[7]. 이와 같이 대기의 온도가 일정하다고 가정하여도 직사일광을 받는 조건에 따라 건축물의 각 부위 온도는 다르게 나타난다[8].

따라서, 본 연구에서는 챔버 내부의 상변화물질 실험체에 대류 및 직사일광의 온도상승 조건을 각각 만들어, 온도상승 시간대별 파라핀 시트의 축열특성을 분석하였다.

## 2. 이론적 고찰

상변화물질이란 온도가 변화함에 따라 물질의 형태가 기체가 액체로 변하거나, 액체가 기체로 변화하면서 열을 저장하거나 방출하는 물질을 의미한다. 예를 들어 물은 고체, 액체, 기체의 3가지 형태로 상변화를 갖는데, 각각의 상에서 다른 상으로 변하기 위해서는 많은 양의 에너지를 흡수하거나 방출하게 된다. 0 °C의 얼음이 0 °C의 물로 상변화하기 위해서는 333 kJ/kg의 에너지가 필요하며, 이는 0 °C의 물을 80 °C로 올리기 위해서 소비되는 열량과 동일하다[9].

잠열(latent heat)이란 어떤 물질이 상변화 될 때 즉, 고체에서 액체 또는 액체에서 고체, 그리고 액체에서 기체나 기체에서 액체로 변화 될 때 흡수하거나 방출하는 열을 의미한다. 잠열은 상변화가 일어나지 않은 상태에서 온도변화에 따라 흡수 또는 방출하는 현열(sensible heat)에 비해 열량이 크다[10].

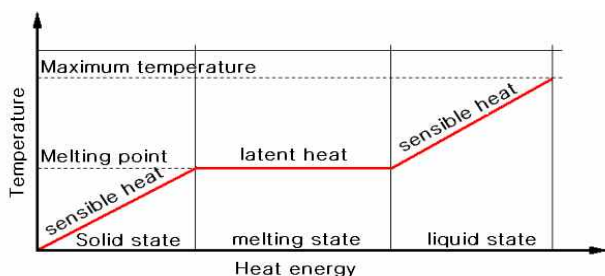


Figure 1. Energy flow of phase change material (PCM)

이러한 상변화물질을 건축물에 적용하면 선형으로 온도가 변화하는 기존의 건축 재료와 차별화된다. 인간이 쾌적한 실내온도조건을 만들기 위해 건축물에 약 7 ton의 상변화물질을 사용할 경우, 이는 200 ton의 콘크리트와 유사한 열용량이며, 인간이 쾌적감을 느끼는 범위를 고려한다면 그 효과는 더욱 커질 것으로 판단된다.

## 3. 재료 및 실험

### 3.1 축열시트의 물성 및 제조 방법

#### 3.1.1 잠열축열재의 물성

본 실험에 사용한 상변화물질인 파라핀은 상변화온도가 26 °C로, 주로 고온에서 상변화가 진행되는 하절기용 제품이며, 주요 물성은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of phase change material

Melting point approx.	26 °C
Operational range	10~30 °C
Overall storage capacity approx.	145 KJ/kg
Latent heat capacity approx.	110 KJ/kg
Apparent density	250~300 kg/m <sup>3</sup>
Product shape	White powder

#### 3.1.2 잠열축열시트의 제조방법

- 1) PCM 함침 1차 : 시트를 PCM이 분산된 용액에 함침
- 2) PCM 함침 2차 : 시트 표면에 다시 PCM 용액을 코팅
- 3) 건조 1차 : 함침 열풍에 의한 급속 건조
- 4) 건조 2차 : 상온에서 약 1분간 건조

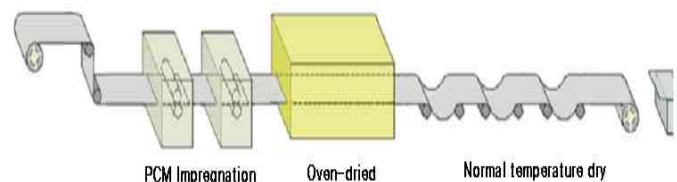


Figure 2. Impregnation process of heat storage sheets

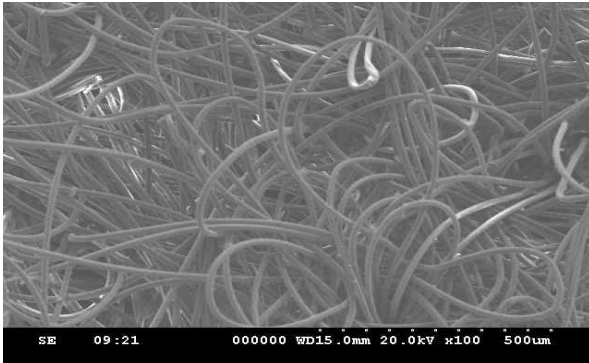


Figure 3. Material condition before PCM impregnation

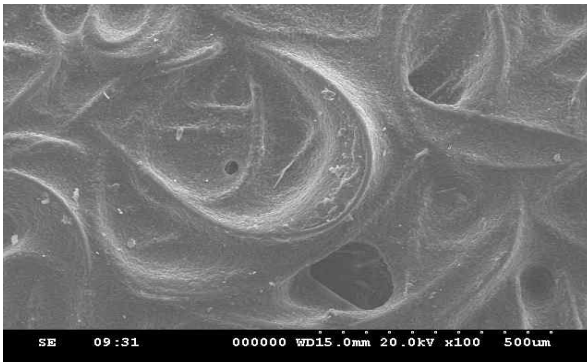


Figure 4. Material condition after PCM impregnation

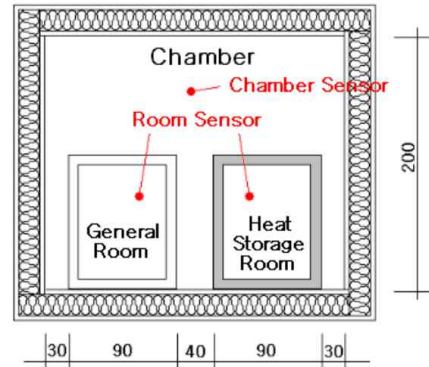


Figure 5. Cross-sectional diagram of chamber

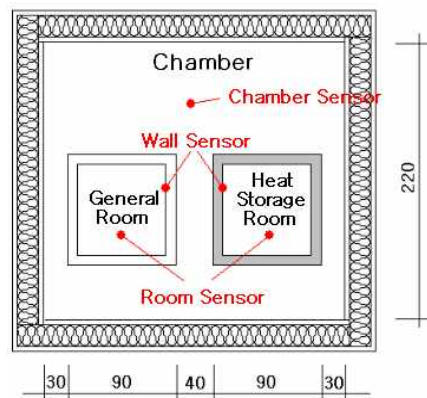


Figure 6. Floor plan of chamber

## 3.2 실험 방법

### 3.2.1 챔버 실험

상변화물질을 건축물에 적용할 경우 잠열에 의한 실내 온도 변화를 검토하고자 실험을 실시하였다. 실험조건은 향온 향습이 가능한 챔버 내부에 축열재로 내부를 마감한 축열실과 마감하지 않은 일반실을 동일한 규모로 제작하였다. 본 실험에 사용한 파라핀계 상변화물질은 상변화가 26 °C에서 진행되는 제품이며, 축열실에 바닥면적 대비 약 4 kg의 상변화물질을 내장하였다. 잠열축열시트를 내장한 실험체를 축열실, 내장하지 않은 실험체를 일반실로 표기하여 각각의 온도변화를 실측하였다.

두 실험체 중 상변화물질을 적용하지 않은 일반실을 표준 실험체로 정하여, 표준실험체 내부온도를 약 20 °C에서 30 °C까지 서서히 상승시켜 표준실험체와 축열실험체의 온도변화를 비교하였다. 또한 30 °C까지 온도를 상승시키는 시간을 30분, 60분 및 120분 단위로 구분하여 비교, 분석하였다.

### 3.2.2 크세논 램프 실험

직사일광에 의한 영향을 실측하고자 태양광과 유사한 파장을 발산하는 크세논 램프를 실험체에 조사(照射)하여 온도 변화를 측정하는 실험을 실시하였다. 실험조건은 앞서 실시한 챔버에서의 실험체와 동일한 조건으로 챔버내 온도를 22 °C로 유지한 조건에서 태양광이 갑자기 조사된 조건으로 가정하여 온도변화를 측정하였다. 측정된 온도변화는 30 °C까지 온도상승에 소요된 시간인 30분, 60분 및 120분 단위로 구분하여 비교, 분석하였다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 챔버 실험

첫 번째로, 표준실험체 내부온도가 30 °C가 될 때까지 약 30분에 걸쳐 온도를 상승시킨 경우, 축열실험체 내부온도는 Figure 7과 같이 표준실험체 내부온도보다 2~3 °C 낮은 것으로 나타났다.

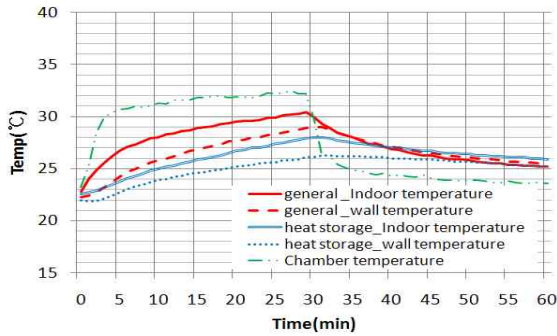


Figure 7. Heat storage properties from temperature rise condition of 30 minute in chamber

또한, 축열재를 적용하지 않은 표준실험체는 외기온의 변화에 따라 실험체 내부온도가 급격히 상승하는 반면, 축열 실험체는 내부온도가 서서히 상승하는 경향을 나타냈다.

이와 반대로 온도를 다시 상온의 22 °C로 급격히 낮출 경우 축열재를 적용하지 않은 표준실험체는 온도가 급격히 떨어지는 반면 축열실험체는 서서히 감소하는 경향을 나타내어, 약 27 °C에서 온도가 역전되는 경향을 나타냈다.

두 번째로 22 °C의 실온조건에서 약 60분에 걸쳐 표준실험체의 내부온도를 30 °C까지 상승시킨 경우, 축열실험체 내부온도는 Figure 8과 같이 표준실험체 내부온도보다 1.5 ~2.5 °C 낮은 것으로 나타났다. 이는 30분에 걸쳐 온도를 변화시킨 실험체 보다 다소 낮은 폭의 온도차를 나타낸 것으로, 챔버 온도를 급격히 상승시킨 30~40분까지 2.5 °C까지 낮은 온도차를 보이다가, 그 이후 시간이 경과할수록 서서히 온도차가 줄어드는 경향을 나타냈다.

또한, 온도를 다시 상온의 22 °C로 급격히 낮출 경우 축열재를 적용하지 않은 표준실험체는 온도가 급격히 떨어지는 반면 축열실험체는 서서히 감소하는 경향을 나타내어, 약 27 °C에서 온도가 역전되는 경향을 나타내 앞서 첫 번째 실험 결과와 유사한 경향을 나타냈다.

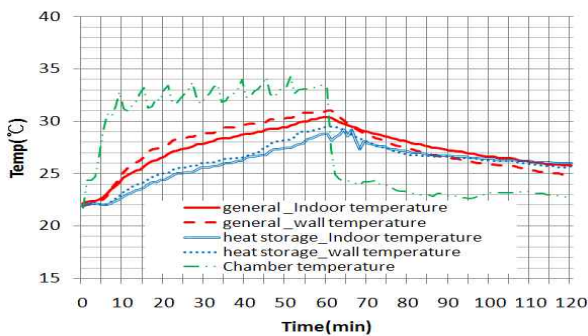


Figure 8. Heat storage properties from temperature rise condition of 60 minute in chamber

세 번째 실험은 22 °C의 실온조건에서 약 120분에 걸쳐 표준실험체의 내부온도를 30 °C까지 상승시켜 각 실험체의 온도변화를 측정하였다. 축열실험체 내부온도는 Figure 9와 같이 표준실험체 내부온도보다 1~3 °C 정도로 낮은 것으로 나타났다. 이는 앞서 30분과 60분에 걸쳐 온도를 변화시킨 실험체 보다 다소 낮은 폭의 온도차를 나타낸 것으로, 챔버 온도를 급격히 상승시킨 50~60분까지 3.0 °C까지 낮은 온도차를 보이다가, 그 이후 시간이 경과할수록 온도차가 줄어드는 경향을 나타냈다.

또한, 온도를 다시 상온의 22 °C로 급격히 낮출 경우 축열재를 적용하지 않은 표준실험체는 온도가 급격히 떨어지는 반면 축열실험체는 서서히 감소하는 경향을 나타내어, 약 27 °C에서 온도가 역전되는 경향을 나타내 앞서 30분, 60분의 실험 결과와 유사한 경향을 나타냈다.

이처럼 모든 조건에서 약 27 °C에서 온도 증감이 역전되는 이유는 상변화 온도가 26 °C인 파라핀을 이용했기 때문으로, 상변화 온도보다 낮은 온도에서는 에너지 방출을 많이 하고, 그 보다 높은 온도에서는 에너지 흡수를 많이 하는 것으로 나타나, 실내 온도 조절에 효과적인 것으로 분석된다.

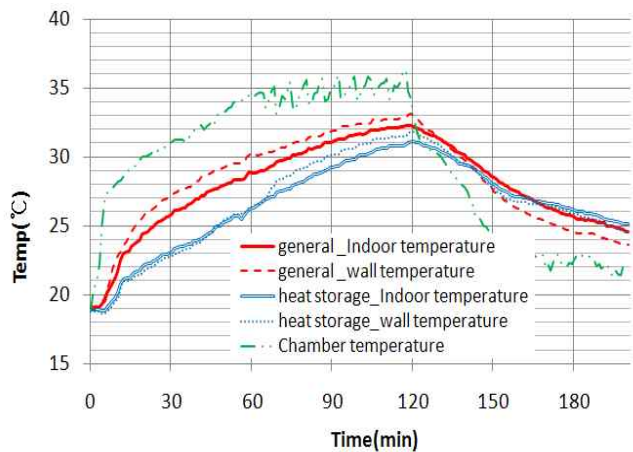


Figure 9. Heat storage properties from temperature rise condition of 120 minute in chamber

#### 4.2 크세는 램프 실험 결과

첫 번째 실험은 18 °C의 실온조건에서 30분 동안 표준실험체의 내부온도가 32 °C까지 상승하도록 조정하여 각 실험체의 온도변화를 측정하였다. 크세는 램프로 실험체 내부를 조사한 조건에서 축열실험체와 표준실험체에서는 약 2.3 °C의 온도차가 발생하였다. 챔버 실험에서는 표준실험체는 외

기온의 변화에 따라 실험체 내부온도가 급격히 상승하는 반면, 축열실험체는 실험체 내부온도가 서서히 상승하는 경향을 나타냈으나, 크세논 램프 실험에서는 일정한 간격을 유지하며 온도변화가 진행되었다.

또한, 온도를 다시 상온의 22 °C로 급격히 낮출 경우 챔버 실험에서는 표준실험체의 온도가 급격히 감소하고 축열 실험체가 서서히 감소하는 경향을 나타내고, 약 27 °C에서 온도가 역전되는 경향을 나타냈으나, 크세논 램프 실험에서는 역전현상이 나타나지 않고 일정한 간격을 유지하며 온도 변화가 진행되었다.

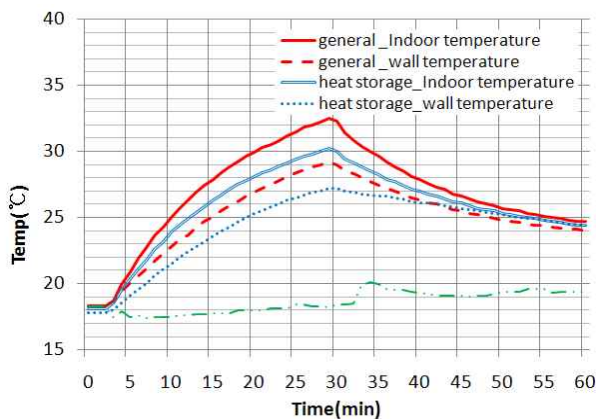


Figure 10. Heat storage properties from temperature rise condition of 30 minute in chamber by xenon lamp

두 번째 실험은 18 °C의 실온조건에서 60분 동안 표준실험체의 내부온도가 30 °C까지 상승하도록 조정하여 각 실험체의 온도변화를 측정하였다. 60분 동안 서서히 외기온도의 변화조건에서 축열실험체가 표준실험체보다 약 0.6 °C 낮은 온도가 발생하였다. 앞서 30분에 걸쳐 변화시킨 실험체 보다 상당히 낮은 폭의 온도차를 나타냈다. 크세논 램프를 조사하기 시작하고 약 20분~30분까지 유사한 경향을 나타냈으나 축열 벽면의 경우 23 °C, 실험체 내부의 경우 26 °C에서 표준실험체와 축열실험체의 온도가 역전되는 경향을 나타냈다.

또한, 온도를 서서히 낮출 경우 축열실험체 보다 표준실험체의 온도가 더 빠르게 낮아져, 약 26 °C에서 온도가 역전되는 경향을 나타냈다.

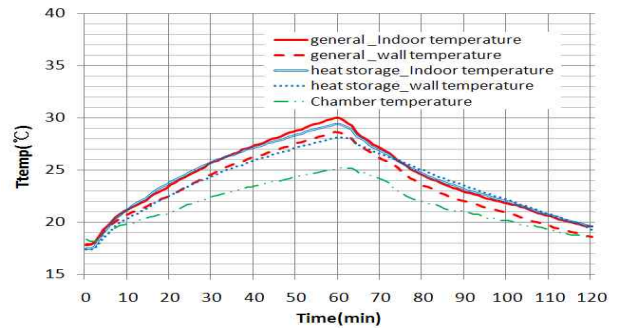


Figure 11. Heat storage properties from temperature rise condition of 60 minute in chamber by xenon lamp

크세논 램프에 의한 세 번째 실험체는 18 °C의 실온조건에서 표준실험체를 기준으로 실험체 내부온도를 120분 동안 30 °C까지 서서히 상승시켜 축열실험체와 표준실험체의 온도변화를 측정하였다. 크세논 램프를 120분 조사 후 축열 실험체와 표준실험체는 약 1 °C의 온도차가 발생하였다. 앞서 30분에 걸쳐 온도를 변화시킨 실험체의 온도차 약 2.3 °C 보다는 낮고, 60분에 걸쳐 변화시킨 실험체의 0.6 °C 보다는 약간 높은 수준이다.

120분에 걸쳐 크세논 램프를 조사한 결과 초기 시점인 약 20분~30분까지는 표준실험체와 축열실험체가 유사한 경향을 나타냈다. 그러나 축열벽면의 온도가 23 °C, 내부의 온도가 26 °C인 시점에서 표준실험체와 축열실험체의 온도가 역전되는 경향을 나타냈다.

또한, 온도를 서서히 낮출 경우 축열실험체 보다 표준실험체의 온도가 더 빠르게 감소되며, 약 26 °C에서 온도가 역전되는 경향을 나타냈다.

이처럼 모든 크세논 램프 조사 실험에서도 챔버 실험결과와 같이 약 26 °C에서 온도 증감이 역전됨으로써, 대류에 의한 에너지뿐만 아니라 직사광선의 에너지에 대해서도 실내 온도 조절에 효과적인 것으로 나타났다.

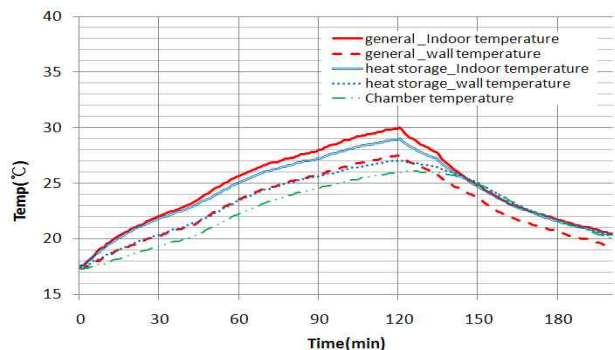


Figure 12. Heat storage properties from temperature rise condition of 120 minute in chamber by xenon lamp

본 실험에서 챔버 내부의 온도변화를 야기 시키는 대류와 크세논 램프를 이용한 직사일광의 영향을 비교해볼 필요가 있다. 대류에 의한 온도상승에서는 벽체의 표면온도보다 실내의 온도상승이 빠르게 진행되며, 직사일광에 의한 온도상승은 실내 내부보다 벽체표면의 온도상승이 빠르게 변화되는 상반된 경향을 나타냈다. 이러한 경향을 나타낸 원인으로서는 대류의 경우 실내의 온도가 열원이 되어 벽으로 전달되고, 직사일광의 경우 직사일광이 벽체에 직접 작용하여 실내로 열원이 전달되었기 때문으로 판단된다.

## 5. 결 론

건축물의 사용단계에서 냉·난방에너지 소비를 줄일 수 있는 방법으로 상변화물질(Phase Change Material)인 파라핀 시트를 건축물의 개구부 또는 벽체 마감재로의 활용 가능성을 검토하기 위해 실시한 실험적 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 대류에 의한 온도상승 실험에서 축열실험체는 표준실험체에 비해, 30분 동안에 온도를 상승시켰을 경우는 약 2.0~3.0 °C 낮은 온도를 나타내고, 60분 동안 온도를 상승시킨 경우는 약 1.5~2.5 °C 낮은 온도를 나타내며, 120분 동안 온도를 상승시킨 경우 약 1.0~3.0 °C 낮은 온도를 나타내었다.
- 2) 크세논 램프로 조사한 실험에서 축열실험체는 표준실험체에 비해, 30분 동안에 온도를 상승시켰을 경우는 약 2.0~2.3 °C 낮은 온도를 나타내고, 60분 동안 온도 상승시킨 경우 약 0.6~1.5 °C의 온도차를 나타내며, 120분 동안 온도를 상승시킨 경우 약 1.0~1.2 °C의 온도차를 나타내었다.
- 3) 대류 및 직사일광에 의한 온도 상승의 모든 실험조건에서 축열실험체의 상변화 온도인 26°C에서 에너지 방출과 흡수를 나타내어, 실내 온도 조절에 효과적인 것으로 나타났다.
- 4) 대류에 의한 온도상승은 벽체보다 실내온도의 상승이 빠르게 진행되며, 직사일광에 의한 온도상승은 반대로 실내보다 벽체온도의 상승이 빠른 경향을 나타냈다.

따라서, 외부 에너지가 상변화에 소비되어 온도변화를 줄일 수 있는 잠열축열재를 건축물 마감재로 활용함으로써, 여름철 실내 냉방 에너지 소비를 줄일 수 있다는 사실을 확

인하였으며, 실용화를 위한 구체적이고 실증적인 실험적 연구가 더욱 필요할 것으로 판단된다.

## 요 약

기 발표된 보고서에 따르면, 철근콘크리트 건축물을 전과정 평가 한 결과, 온실가스가 신축과 해체 등을 제외한 냉·난방 사용의 유지관리 단계에서 전체 발생량의 70 % 이상 배출한다고 보고하였다. 이는 건축물로 인한 온실가스 배출량을 줄이기 위해서는 유지관리 단계가 중요하고, 건축물의 설계단계 부터 에너지 소비를 최소화할 수 있는 유지관리 계획이 필요함을 의미한다. 따라서, 본 연구에서는 건축물의 사용단계에서 냉방에너지 소비를 줄일 수 있는 방법으로 상변화물질(Phase Change Material)인 파라핀 시트를 건축물의 개구부 또는 벽체 마감재로의 활용 가능성을 검토하였다. 온도조절이 가능한 챔버 내부에 파라핀 시트를 적용한 축열실과 적용하지 않은 일반실을 제작하고, 대류와 직사일광의 조건으로 각각 챔버 온도를 상승시켜 실험체 내부의 온도변화를 측정하였다. 실험 결과, 파라핀 시트를 적용한 모든 조건의 실험체에서 상변화 온도인 26 °C 전후에서, 일반실보다 1~3 °C정도의 실내온도 상승을 지연시키는 것으로 나타났다. 결론적으로 외부 에너지가 상변화에 소비되어 온도변화가 없는 잠열축열재를 건축물 마감재로 활용함으로써, 여름철 실내 냉방 에너지 소비를 줄일 수 있다는 사실을 확인하였다.

**키워드** : 온실가스, 전과정평가, 잠열축열재, 축열

## References

1. Chae CW. [A study on environmental assessment of hanok & way to vitalize hanok building]. Seoul (Korea): Korea Institute of Construction Technology (Korea); 2010. p. 124-8. Korean.
2. An SM, Jung CH, Hwang SH. An analysis of optimal phase change temperature of PCM using wallboard for cooling energy savings in buildings. Proceeding of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems; 2010 October 8; Seoul, Seoul (Korea): The Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems (Korea); 2010. p. 141-4.

- 
3. Lim BC. [Application and practical use of PCM in building]. Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems. 2010 April;4(2):12-7. Korean.
  4. Kim SS, Choi CY, Lee JK. Heating energy saving characteristics of PCM wallboard. Proceeding of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea; 2007 June 20-22; Yongpyong (Korea). Seoul (Korea): The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea; 2007. p. 1102-6.
  5. Kim BH, Lee HS. An experimental study on the evaluation of thermal performance of floor mortar with PCM. Proceeding of the Korea Institute of Building Construction; 2011 May 20; Seoul. Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2011. p. 5-2.
  6. Kim YR, Kim DS, Gil BS, Kim UJ, Lee DB. Experimental study on the generation of hydration heat of binder using latent heat material. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2009 June;9(3):103-7.
  7. Kwon GU, Lee BK, Won JS. Application of PCM-wall for cooling energy savings in apartment houses. Proceedings of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment; 2008 November 28; Seoul. Seoul (Korea): The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment; 2008. p. 133-4.
  8. Jo S, Son JY, Yu JI. The study of the distribution of indoor air temperature with PCM panel. Proceedings of the Architectural Institute of Korea; 1990 October 20; Seoul. Seoul (Korea): The Architectural Institute of Korea; 1990. p. 383-4.
  9. Meling H, Cabeza LF. Heat and cool storage with PCM – An up to date introduction into basics and applications. Berlin (Germany): Springer; 2008. p. 64-9.
  10. Kim G, Lee KH. A study on the heat storage performance of passive solar system by using phase change materials. Proceeding of the Architectural Institute of Korea; 1988 April 23; Seoul. Seoul (Korea): The Architectural Institute of Korea; 1988. p. 342-4.