

# PCM을 이용한 온돌패널의 실험 및 특성연구

윤 두 한, 최 봉 수, 홍 희 기<sup>†</sup>  
경희대학교 대학원, <sup>†</sup>경희대학교 기계산업시스템공학부

## Experiment and Property Study of Ondol Panel Based on Phase Change Material

Doohan Yoon, Bong Su Choi, Hiki Hong<sup>†</sup>

Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

<sup>†</sup>School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

**ABSTRACT:** This paper deals with the Ondol, Korean under-floor heating system using latent heat storage materials. It has been recognized that the heating system using the latent heat storage materials are economically efficient and comfortable. For the comparison and analysis to the data of the existing experiment, a repetitive experiment makes sure the ability of Ondol panel.

**Key words:** Ondol(온돌), PCM(상변화물질), Latent heat storage(잠열축열), Supercooling(과냉각), Sodium sulfate decahydrate(망초)

### 1. 서 론

우리나라의 주거공간의 난방방식은 주로 바닥 난방이다. 주거 구조가 현대화되고 있음에도 좌식문화가 이어지는 한 큰 변화는 없을 것으로 보이며, 에너지 절약 및 건강 면에서 유리하다는 보고도 적지 않다. 온돌난방의 특징은 유입되는 온수에 의해서 온돌이 가열되기 때문에, 중앙난방 및 온·오프의 작동이 빈번한 경우의 개별난방에서는 열용량이 그다지 크지 않은 현대의 온돌 구조상 지나친 가열과 냉각이 반복되어 연속난방에 비해 쾌적감이 저하되는 문제점이 지적된다. 심지어는 지나친 가열로 실내 온도가 급상승하는 경우에는 창문을 열어 실내온도를 조절해야 하는 상황도 발생하여 에너지 낭비로 이어진다.

아파트 등의 주거공간은 바닥두께의 제약으로

충분한 열용량의 확보가 어렵다. 이에 잠열재 즉 상변화물질(Phase Change Material, PCM)를 이용하여 열용량의 증대를 생각할 수 있으며 이를 위하여 PCM을 이용한 온돌패널 난방 실험을 수행하였다.

난방시 쾌적한 온돌 표면온도는 27~36℃<sup>(1)</sup> 정도를 유지하는 것이 일반적이다. 따라서 많은 잠열재가 존재하나 상변화온도 및 잠열량, 가격 등을 고려해볼 때 무기수화물 중에서도 용융점이 32.4℃인 황산나트륨10수화물(Sodium sulfate decahydrate : Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O : 이하 망초라 함)을 잠열재로 선택하였다. 그러나 망초 역시 무기수화물의 공통적인 특징인 과냉각과 상분리 현상이 심각하다. 즉, 축열과 방열을 반복하면서 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O를 형성함으로써 고체와 액체로의 상분리가 일어나고, 축열기능의 저하로 직결되는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 조핵제, 증점제 등의 첨가제를 포함시키게 된다. 하지만 이와 같은 첨가제는 무기수화물의 문제점인

<sup>†</sup>Corresponding author  
Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625  
E-mail address: hhong@khu.ac.kr

과냉각과 상분리를 억제하는 역할을 하나 그 자체는 잠열과 무관하기 때문에 많이 포함될수록 잠열량 저하를 초래하게 된다. 이에 잠열축열재 제작시 필요한 첨가제의 적절한 조성비는 선행연구에서 제시된 비율에 따랐다.<sup>(2)</sup>

1차 온돌패널 실험 후 약 1년간 방치한 뒤 2차 실험을 수행하였다. 이는 난방과 방치 기간 사이의 공백기를 두어 실제 계절에 따른 영향을 파악하고자 한 것이다.

## 2. 실험방법

### 2.1 잠열축열재 및 온돌패널 제작

잠열축열재의 구성비는 잠열량 저하와 과냉각 심화 등의 퇴화현상이 적은 적절한 조성비로서 망초 : 조핵제 : 계면활성제 : 증점제의 비율을 94 : 2 : 1 : 3으로 하였다.<sup>(2)</sup>

제작된 시료를 내경 40 mm이고 길이 360 mm 인 폴리에틸렌 파이프에 봉입한 후 같은 재질의 마개로 밀봉하였다. 실험 도중에 시료가 유출되는 현상을 방지하기 위하여 마개 부분은 에폭시를 사용하여 밀봉하였다. 시료의 내부온도를 측정하기 위하여 튜브의 중심에 K-Type 열전대가 장착된 스테인리스 세관(직경 1.2 mm)을 삽입 설치하였다.

Fig. 1과 같이 입구를 통해 패널 내부로 유입된 온수가 입구헤더를 통과하면서 PCM 튜브의

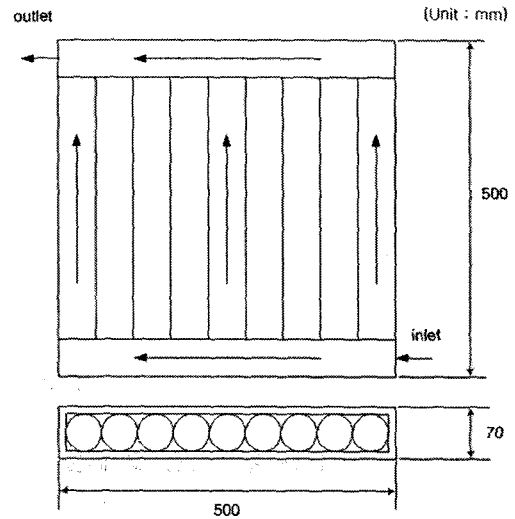


Fig. 1 Schematic of Ondol panel

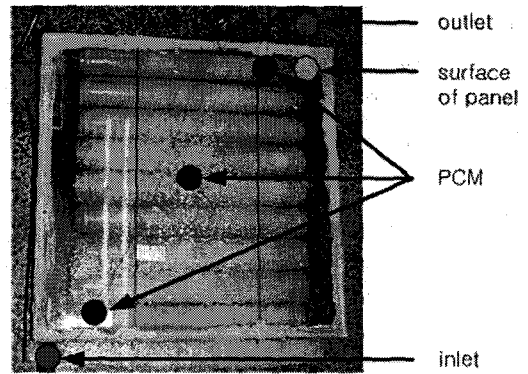


Fig. 2 Location of temperature measurement

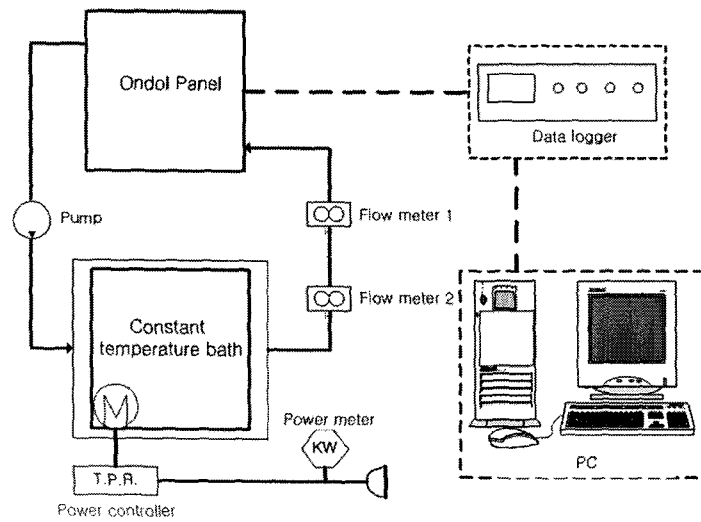


Fig. 3 Schematic of Ondol panel system

사이를 통과한 후 다시 출구헤더에서 합쳐지는 구조를 취하였다. 가열 모드에서는 통과하는 온수의 일부는 패널 상부를 직접 가열하여 실내 난방에 사용되고 대부분은 PCM을 가열하게 된다. 방열모드에서는 더 이상 온수는 순환되지 않으며 PCM에 저장된 열이 패널의 물로 전달되고 다시 상판을 거쳐 실내로 전달되게 된다.

Fig. 2는 완성된 온돌패널의 모습이다. 강도와 부식을 고려하여 스테인리스를 재료로 사용하였고, 패널의 윗부분은 내부의 유동가시화를 위하여 투명 아크릴로 제작하였다.

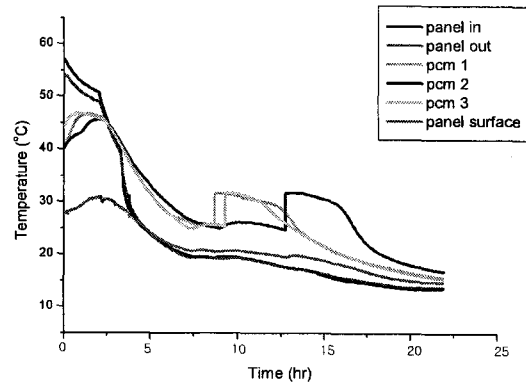
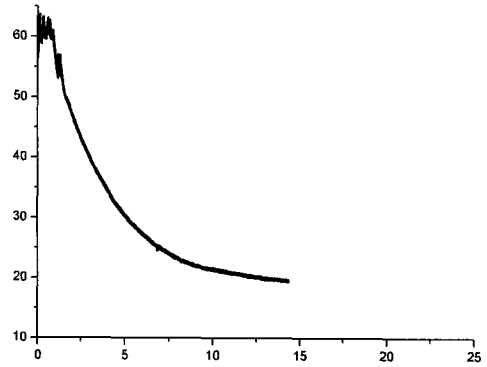
## 2.2 온돌패널 실험

온돌패널을 이용한 난방실험을 하기 위하여 Fig. 3과 같이 시스템을 구성하였다. 시스템의 운전조건은 축열조의 히터가 ON이 되어 물의 온도가 60℃가 되면 펌프가 작동하여 온수가 순환한다. 온돌패널 내에 있는 잠열축열재의 상변화가 완전히 일어날 때까지 온수를 순환시킨 후 열원 공급을 차단하여 온도를 측정하였다. 가열 및 방열단계에서 패널 표면의 온도분포를 측정하기 위하여 열화상 카메라를 이용해 촬영하였다. 실험 공간의 실내온도는 16.5℃로 유지되며 축열조의 용량은 30 L이다. 온돌패널 내부에 들어가는 물의 양은 5.3 L이며, 순환하는 물의 유량은 평균 5 LPM이다. 히터의 용량은 2.5 kW이다.

## 3. 실험결과

본 실험의 목적은 1차 실험과 2차 실험을 비교하여 잠열축열재를 이용한 온돌패널이 오랜 기간 동안 방치된 후에도 난방기능의 역할을 다할 수 있는가를 확인하는 것이다.

Fig. 4는 각각 1차 실험과 2차 실험의 방열시 온도 변화를 나타낸 것이다. 1차 실험에서 과냉각은 방열 후 5시간 이후에 진행되었으며 과냉각 해소까지는 약 3시간이 소요되었다. 이때 온돌패널 표면의 온도는 22℃였으며 이후 10시간 정도 20℃ 이상을 유지하였다. 2차 실험에서 과냉각은 1차 실험과 비슷한 경향으로 5시간 이후에 진행되었으나 과냉각 해소에 걸리는 1차 실험보다 2시간에서 크게는 5시간 정도 차이를 보였다. 이것은 잠열축열재에 첨가된 조핵계가 제 기능을

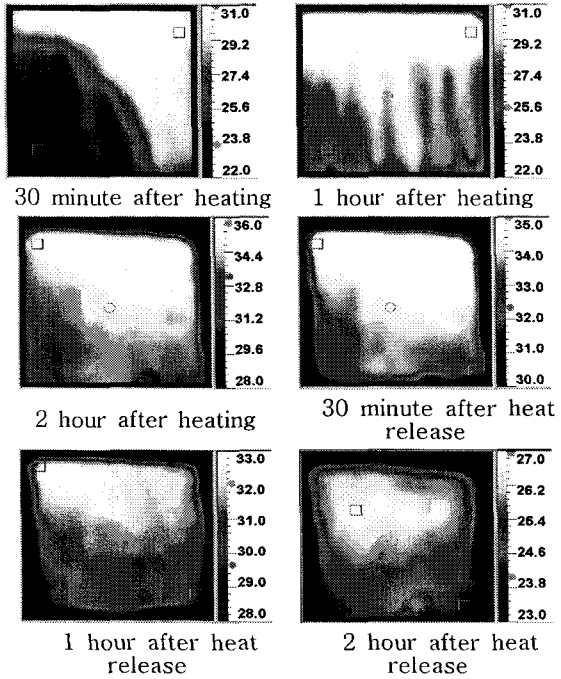


(b) Graph of an experiment by the latter Ondol panel.

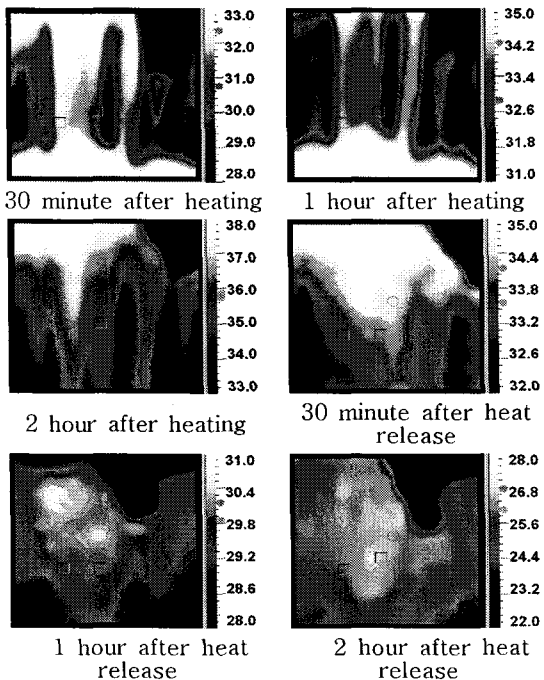
Fig. 4 Temperature of an experiment by the Ondol panel.

다하지 못한 것으로 판단된다. 따라서 오랜 기간 사용과 방치를 반복해야 하는 실제 온돌패널에 적용하기 위해서는 과냉각 해소에 대한 대책이 필요하다.

잠열량은 1차 실험 시 평균 237 kJ/kg이었으나 2차 실험에서는 163 kJ/kg 정도로, 감소한 것을 알 수 있었다. Fig. 5는 열화상카메라를 이용하여 온돌패널의 표면 온도분포를 촬영한 것이다. 난방에 직접적인 영향을 주는 패널의 표면온도는 두 실험 모두 7시간 이상 20℃ 이상을 유지하였다. 온도분포 사진을 보면 온돌난방의 열적 쾌적성을 저하시키는 열골현상이 패널내부에 균일하



(a) Thermal image of the initial Ondol panel



(b) Thermal image of the latter Ondol panel

Fig. 5 Thermal image of the Ondol panel

게 분포한 온수와 PCM으로 인하여 나타나지 않음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

온돌패널의 온도분포를 보면 열골현상이 일어나지 않고 온도분포가 균일함을 확인하였으며 이는 열적 쾌적성이 습식 온돌보다 뛰어난을 나타낸다.

본 실험에서 설계한 온돌패널을 기준으로 실내 온도를 20°C로 가정하고 40°C에서 20°C로 온도가 떨어지는 경우, 면적이 동일한 모르타르와 자갈을 사용한 습식온돌과 온돌패널의 열용량을 비교하면 습식이 727 kJ, 온돌패널이 2030 kJ로서, 잠열축열체를 사용한 온돌의 열저장능력이 실험 초기에 비해 감소하기는 하였으나 여전히 약 3배 정도 우수한 것으로 계산되었다. 따라서 중앙난방 등의 간헐 난방 등에 적용될 경우 실내온도 변화 폭을 줄여 에너지 사용량을 줄일 수 있으며, 7시간이 지난 후에도 표면온도가 20°C 이상 유지되는 것으로 보아 태양열 난방 시스템에도 적용시킬 수 있다고 본다. 난방시 요구되는 온돌패널의 온도가 30°C 이상이라고 보았을 때 적절한 PCM을 사용하고 패널상부표면의 방열과 그 외 다른 부위의 열전도율을 갖는 재료의 선정을 통해 충분히 실용화가 가능함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Ahn, B. W., Shin, Y. T., 1996, The development of the applied technique of phase change material for the improvement of the thermal performance in Ondol structure, J. Korean. Soc. Living. Environ. Sys., Vol. 3, No. 1, pp.45~54.
2. Lee, Y. S., Kang, C. D., and Hong, H., 2004, Effect by additives on latent heat storage materials based on sodium sulfate decahydrate, SAREK '2004 Winter Annual Conference, Vol. IV, pp. 46-50.