

## 잠열저장재를 이용한 온돌판넬의 축열 및 방열특성에 관한 연구

조 수·유 제 인·정 현 생

동력자원연구소 신·재생에너지연구센터

### The characteristics of heat storage and emission of PCM in Ondol system

Cho, Soo · Yoo, Jein · Chung, Hun-saeng

Korea Institute of Energy and Resources

#### 요 약

본 연구는 염화칼슘6수화물( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )을 온돌판넬에 적용하여 가열시간에 따른 잠열재판넬의 축열 및 방열특성을 조사하기 위하여 같은 크기의 실험동( $1.8\text{m}^L \times 1.8\text{m}^W \times 1.8\text{m}^H$ )을 지었다. 잠열재판넬에 적용할 알루미늄 용기는  $1.6\text{cm}^T \times 9\text{cm}^W \times 80\text{cm}^H$  크기로 제작하여 염화칼슘6수화물(1.25kg)을 충전시켰다.

잠열재인 염화칼슘6수화물을 넣은 온돌판넬은 실내공기온의 변화폭을 줄이고, 잠열재의 상변화과정에서 방열되는 시간은 축열에 필요한 가열시간의 2~4배 정도였다.

#### ABSTRACT

The present study was to investigate the use of a phase change material for hydronic radiant floor heating. Two identical unit test cells sized  $1.8\text{m}^L \times 1.8\text{m}^W \times 1.8\text{m}^H$  were built and installed with specially designed  $1.6\text{cm}^T \times 9\text{cm}^W \times 80\text{cm}^H$  aluminum Ondol-panels holding 1.25kg of calcium chloride hexahydrate(CCH) each.

It was found that the Ondol-panel with CCH reduced the room temperature fluctuations and maintains the phase changing temperature for considerably long duration, 2~4 times of heating hour, over no-CCH one.

#### 1. 서 론

우리나라의 주택에 많이 사용되고 있는 난방

방식은 바닥난방방식으로서, 바닥난방은 주로 현열축열에 의존한다. 그러나 현열축열방식은 과열현상에 따른 열손실과 실내온도의 큰 변화

폭에 따른 불쾌감이 있다. 특히 중앙공급식 난방을 하는 공동주택의 경우에 간헐적인 난방수의 공급으로 인하여 이러한 문제점은 더욱 심각한 실정이다. 현열을 이용한 축열방식의 문제점을 해결하는 방안은 여러가지 방법이 있으나, 온도의 상승이 심하지 않으면서 많은 열을 저장할 수 있는 잠열축열방식이 유리하다.

일반적으로 잠열을 이용한 열에너지 저장은 건물의 난방에너지를 효율적으로 이용할 뿐만 아니라 등온조건하의 열의 공급으로 인하여 비교적 일정한 온도를 유지하기 때문에 실내쾌적도(Thermal comfort)의 향상을 가져온다.

잠열이용 방식은 여러가지가 있으나 건축물에서의 잠열저장재의 활용은 건물의 종류, 설치 및 활용방법등에 따라 그 적용방법이 매우 다양하다.<sup>1,2)</sup> 특히 이를 난방에 이용할 경우에는 잠열축열재의 온도범위, 잠열용량, 열전도율등이 결정되어야 하며, 또한 비독성의 조건을 만족하여야 한다.

본 연구에서는 상변화 온도가 29°C인 염화칼슘수화물( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )을 온돌판넬에 적용하고, 이를 실험건물에 설치하여 가열시간의 변화에 따른 잠열재판넬의 축열 및 방열특성을 조사하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 잠열저장재

본 연구에서는 상변화 온도 29.2°C, 용융열 173J/g을 가진 염화칼슘수화물( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )을, 공업용 염화칼슘을 원심분리기에서 정제하여 준비하였고, 이것의 특성 및 조성은 <표1>에 요약하였다.

### 2.2 용기구조

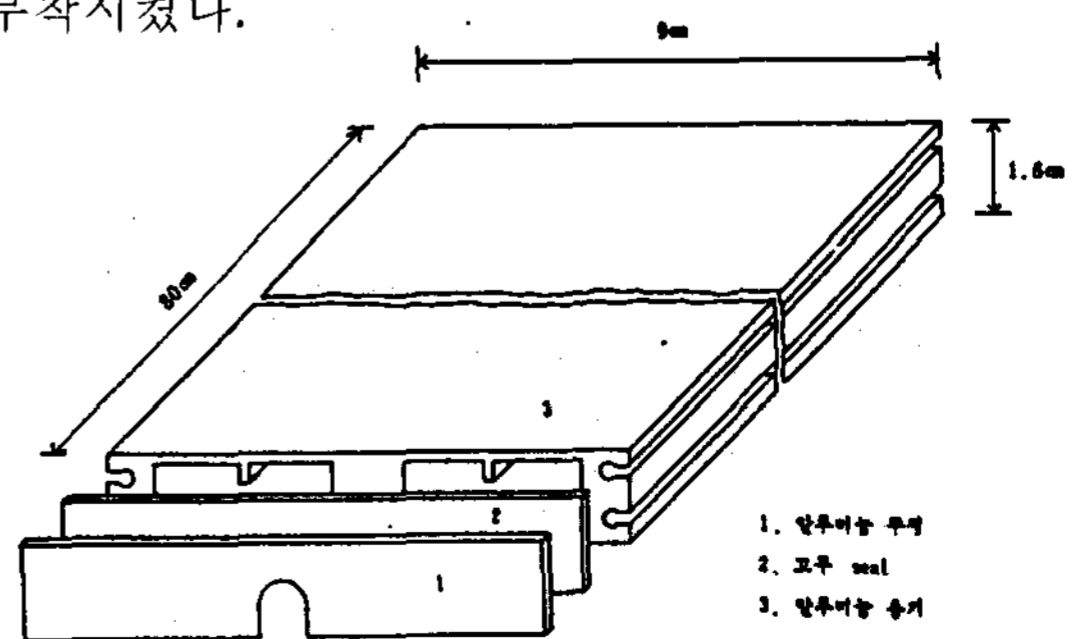
온돌 판넬용 잠열재 용기는 압출가공이 용이하고 부식이 적은 알루미늄을 재질로 선정하고, 모양 및 크기는 유입된 열량의 일부를 표면을 통하여 방열되고, 그 나머지는 축열되도록 하였다.

필요한 잠열재의 양을 결정하기 위하여 실험동(1.8×1.8×1.8m)에서 바닥온도 30°C, 실내

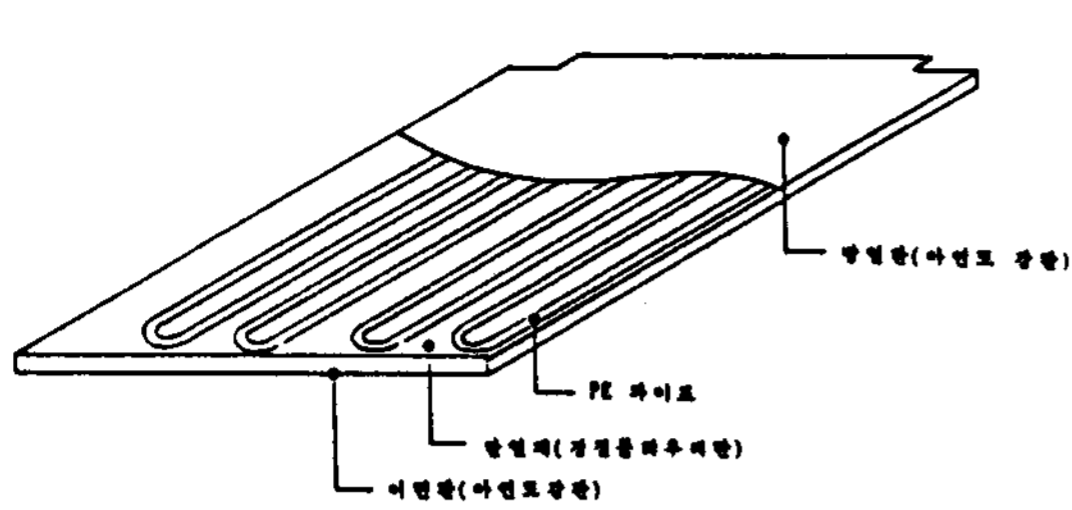
<표1> 사용 염화칼슘수화물의 조성 및 특성

조	성	특	성
CaCl <sub>2</sub> 의 양	71.6%	융점	29.2 °C
수분함량	26.0%	용융열	170 J/g
조성NaCl	1.5%	밀도 고체	1.62g/cm <sup>3</sup>
Ba	9.8 ppm	액체	1.5 g/cm <sup>3</sup>
Sr	163 ppm	비열 고체	1.44J/°C
Ti	27 ppm	액체	2.32J/g°C
Al	803 ppm	부피변화	7.3 %
V	6 ppm		
Mg	207 ppm		

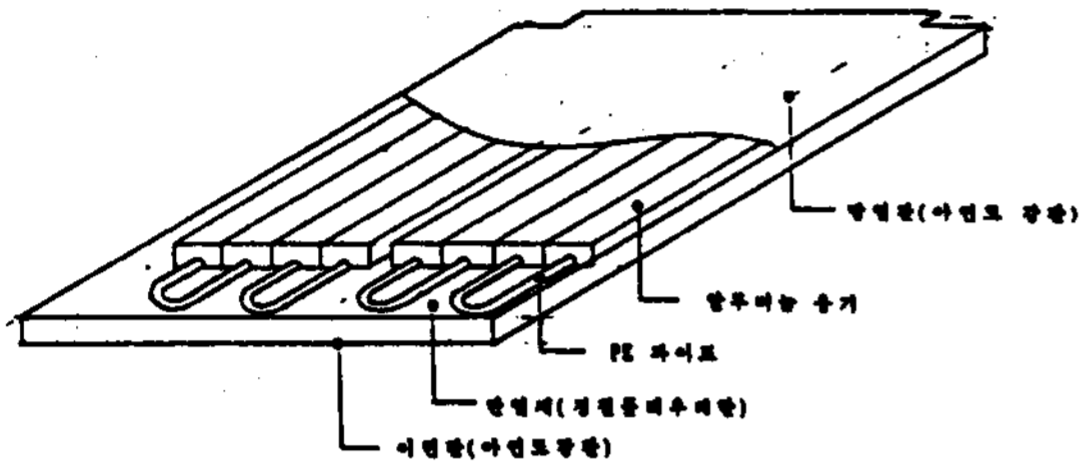
온도 20°C를 균일하게 유지하고, 실외온도를 -5°C, 지중온도를 2°C로 하였을 경우 열관류율 0.29kcal/m<sup>2</sup>h°C의 벽면을 통하여 손실되는 열을 용융잠열재가 고체화할시 방출하는 열로써 약 6시간 실내온도를 균일하게 유지할 수 있다고 가정하였다. 이에 필요한 총 열량은 약 800kcal가 되므로, 염화칼슘수화물의 양은 20kg 정도가 되어, 1.25kg의 알루미늄 용기 16개를 사용토록 하였다. 알루미늄 용기는 [그림 1]에서 보여주는 바와 같이 1.6cm<sup>T</sup>×9cm<sup>W</sup>×80cm<sup>H</sup>이 되도록 제작하였고 열교환기용 핀(cold finger) 역할 및 조핵제의 설치를 위하여 1.5×5mm의 돌기물을 용기내부에 설치하였다. [그림2]는 기존 온돌판넬(G사 제품 : 1.8cm<sup>T</sup>×85cm<sup>W</sup>×170cm<sup>H</sup>)과 기존 판넬에 알루미늄용기 8개를 부착한 잠열재 판넬(2.5cm<sup>T</sup>×85cm<sup>W</sup>×170cm<sup>H</sup>)을 도시 하였다. 염화칼슘수화물의 결정화를 촉진시키는 조핵제로써 SrCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O가 가장 우수한 것으로 판단되었기 때문에<sup>5)</sup> Φ6mm인 알루미늄 파이프에 채워서 Cold finger에 부착시켰다.



[그림1] 알루미늄 용기



a) 기존 온돌 판넬



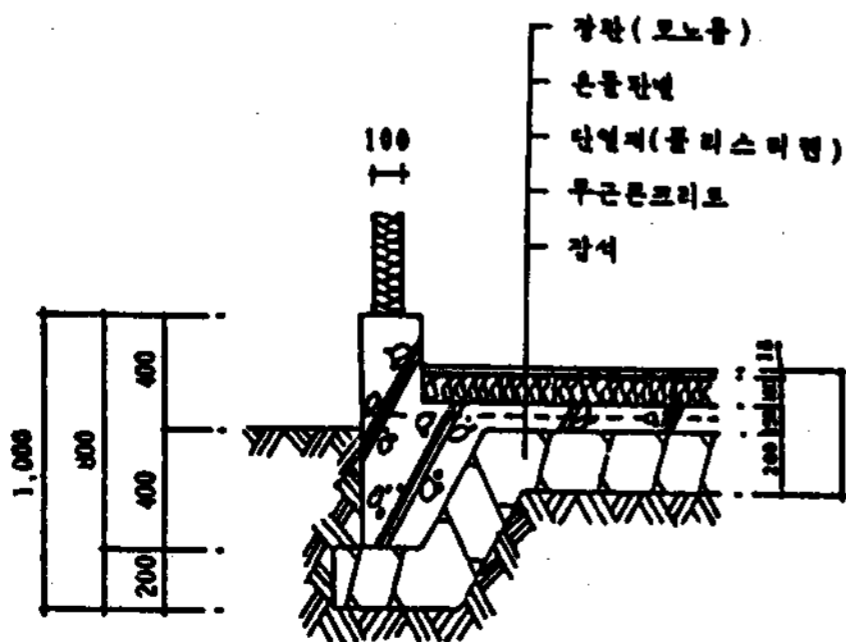
b) 잠열재 판넬

[그림2] 온돌 판넬

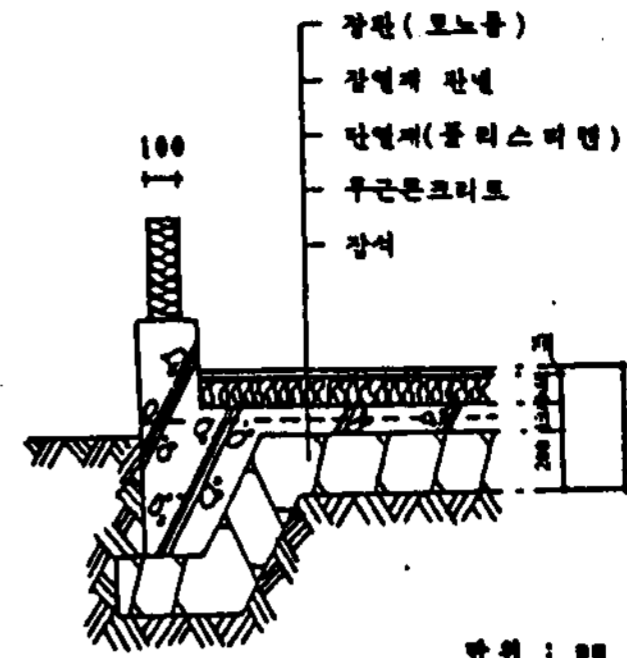
### 2.3 실험동 구조

잠열재를 채운 잠열판넬과 기존 온돌판넬의 축열과 방열특성을 조사하기 위하여 실험동을 시공하여 비교 실험토록 하였다.

실험동의 규모는 각각 1.8×1.8×1.8m로써 벽면, 지붕, 바닥은 열관류율값을 0.29kcal/m<sup>2</sup>h°C로 하였다. 기존의 온돌판넬을 설치한 실험동(Rm.1)과 잠열판넬을 설치한 실험동(Rm.2)의 바닥구조는 [그림3]과 같이 하였다.



a) Rm.1의 바닥 구조체



b) Rm.2의 바닥 구조체

[그림3] 실험동 바닥 구조체

### 2.4 실험조건 및 방법

#### (1) 용기 실험

알루미늄으로 제작된 잠열저장재 용기에 대한 흡열특성 및 방열특성을 알아보기 위하여 알루미늄 용기에 염화칼슘6수화물과 물을 각각 넣어 물을 이용한 현열특성과 염화칼슘6수화물의 잠열특성을 비교하였으며, 이때 알루미늄 용기의 표면온도의 변화는 마이크로프로세스를 이용하여 자동측정 하였다. 실험은 항온조로부터 60°C의 물을 0.6 liter/min의 유속으로 용기를 가열하며, 이때 가열시간은 3~4시간 정도였다. 알루미늄용기의 바닥과 측면의 단열은 두께 50mm인 단열재를 사용하였으며 윗면을 통한 자연방열이 이루어지도록 하였다.

#### (2) 실험동 측정

실험동에 잠열재온돌판넬을 설치하여 겨울철 난방기간동안의 실내공기온도 및 바닥표면온도를 측정함으로써 염화칼슘6수화물의 방열 및 축열특성에 관한 실험을 하였다.

실험은 일정한 온도의 온수를 공급하기 위하여 축열조의 물을 60°C로 유지 시킨 후, 각 실험동에 축열조의 물을 일정시간 동안(2~4시간) 공급하여 실내공기온 및 바닥표면온도를 측정함으로써 이루어졌다. 바닥표면온도는 45cm간격으로 4등분하여 9지점을, 실내공간의 수직온도분포는 실내 중앙에 45cm 간격으로 3 line으로 9지점을, 벽면은 45cm간격으로 10지점의 수직벽면온도를 측정하고 평균치를 얻도록 하였다.

온수를 공급하기 전에 각 실험동의 문을 열어 바닥 및 실내공기온의 초기 분포를 같게 한

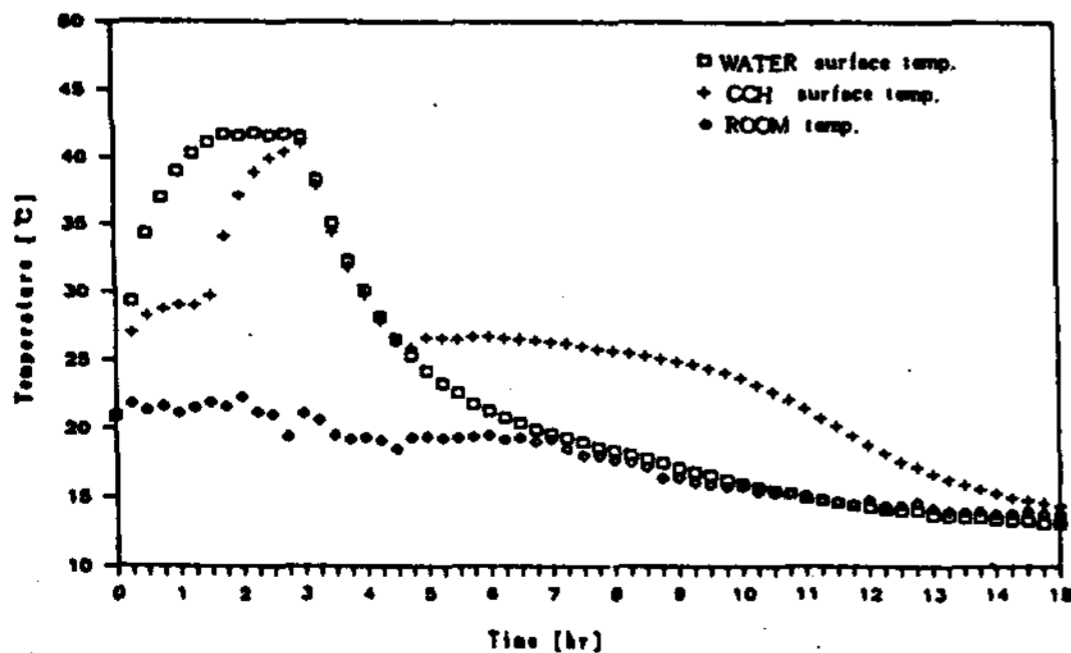
후 축열조 상부의 diffuser를 통하여 60℃의 물을 flow meter를 통하여 0.7 liter/min 속도로 일정하게 공급하였다. 각 실험동을 순환하여 냉각된 물은 축열조의 하부를 통하여 다시 축열조로 들어가며, 이때 각 실험동에는 60℃의 물이 계속하여 공급하도록 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 용기실험 결과

[그림4]는 시간 경과에 따른 용기의 표면온도 및 실내온도의 변화를 나타낸 것이다. 알루미늄 용기가 가열되는 동안 용기의 표면온도 분포는 물을 넣은 용기가 급격히 최고점의 온도에 도달하여 흡열과 방열이 평형을 이루으로써 등온을 유지하는 반면, 잠열재를 넣은 용기는 상변화온도인 29℃에서 1시간정도 등온을 유지한 후 최고온도에 도달하는 경향을 보인다. 가열이 끝난후 자연방열을 시작하여 약 1.5시간후에 물과 잠열재의 경우 모두 약 25℃에 이르렀다. 물의 경우에는 가열을 중지시키면 용기의 표면온도가 하강하여 가열이 끝난 4시간후에 실내온도와 같게 된다.

반면에 잠열재 용기의 경우에는 가열을 중지시키면 1.5시간 동안 현열감소를 보인 후 상변화 구간(잠열구간)에 들어가 장시간(3.5~5hr) 동안 25℃ 이상을 유지한 후에 고상(solid phase)에서 현열을 방출하며 냉각한다. 가열시의 상변화 온도는 29℃에서 일어나나 방열시에는 이보다 낮은 온도에서 이루어지는데, 이는 가열시에 순환온수로부터 전달된 열유속(heat flux)이 크기 때문이며, 방열시에는 열전도성이

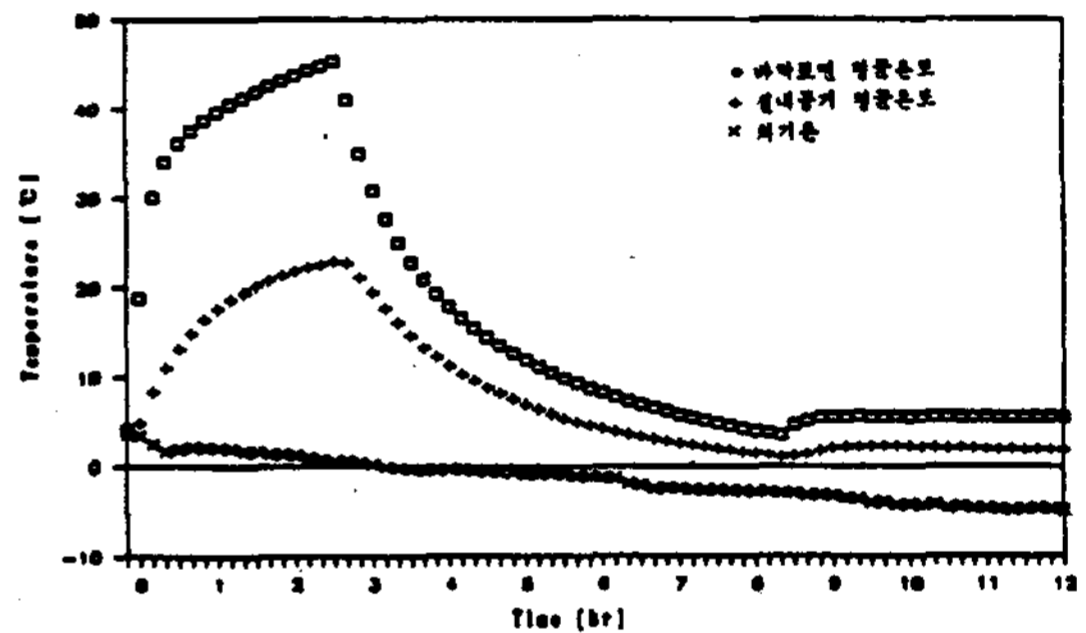


[그림4] 알루미늄 용기 실험결과

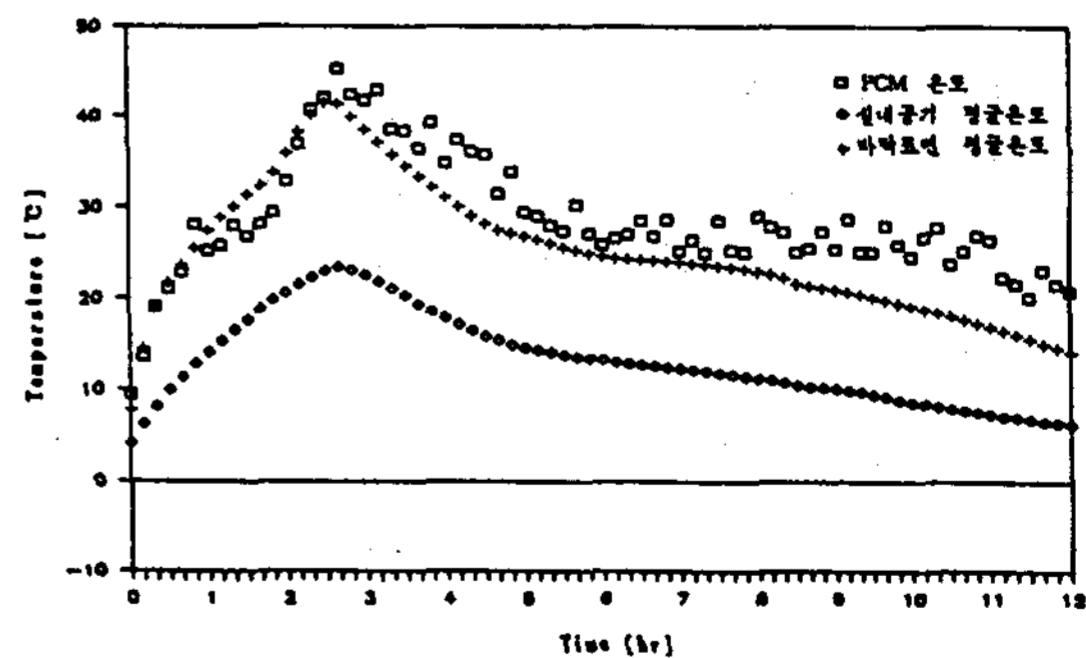
좋은 알루미늄용기의 윗면을 통한 낮은 실내온도의 영향이 있기 때문이다. 상변화구간에서 완전한 등온을 유지하지 못하고 표면온도가 약간 하강하는 경향은 실내온도가 떨어지기 때문으로 사료된다.

#### 3.2 실험동 실험결과

실험동에서의 판넬실험은 난방 가열시간을 2시간에서 3.5시간까지 변화시키면서 11회를 행하였다. [그림5]와 [그림6]은 각각 시간경과에 따른 기존온돌판넬과 잠열저장재의 판넬에 대한 바닥표면온도 및 실내공기온도의 변화를 나타낸 것이다.



[그림5] Rm.1의 바닥표면과 실내공기 평균온도



[그림6] Rm.2의 PCM온도, 바닥표면온도, 실내공기 평균온도

[그림5]는 기존의 온돌판넬을 2.5시간 가열한 후 자연방열 시킬 때의 시간변화에 따른 바닥표면온도 및 실내공기의 평균온도를 나타낸

것이다. Rm.1의 경우는 가열시 바닥표면온도가 급격히 상승하여 약 45°C까지 상승하나, 가열이 끝난 1시간후에는 Rm.2에 비해서 20°C까지 급격히 하강하였다.

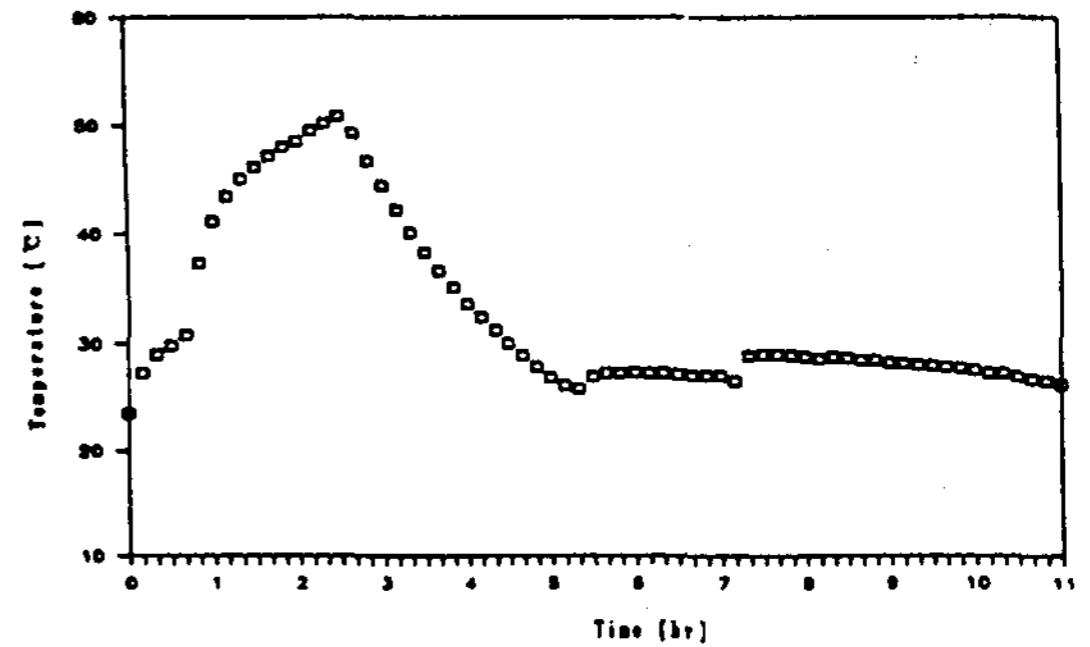
Rm.2의 경우는 2.5시간 가열하는 동안 큰 열유속으로 인하여 짧은 시간내에 용융되어 가열이 끝날때까지 약 42°C 정도로 상승하였다. 가열이 끝난후 방열이 시작되어 액체상태의 잠열재가 현열방출로 인하여 온도가 내려가서 고체화되는 상변화구간을 약 4시간 유지하며, 이때 바닥표면온도 및 실내평균온도가 약간 하강하는 경향을 보이는데, 이는 용기실험에서 언급한 바와 같이 외기온이 떨어지기 때문으로 고려된다.

또한 실내평균온도가 전체적으로 난방기준 온도인 18°C보다 이하로 나타나는 것은 실험을 시작할 때 각 실험동의 초기조건을 같게 하고, 또한 잠열재가 고체상태에서 실험을 하기 위하여 장시간 문을 열어 놓아 약 4°C에서 부터 난방을 하였기 때문에 전체적으로 shift-down됐다고 할 수 있다.

[그림6]은 잠열재가 있는 Rm.2에서의 시간 경과에 따른 잠열재온도 및 바닥표면평균온도의 변화를 나타낸다. 잠열재의 온도는 알루미늄 용기의 제작시 염화칼슘6수화물내에 삽입된 열전대로부터 측정하였으며, [그림6]에서 나타 난바와 같이 약간의 진동( $\pm 2^\circ\text{C}$ )현상을 보인다. 이러한 온도의 진동은 강전해질인 염화칼슘용액으로 인한 전기잡음으로 사료되나 잠열 저장재로서의 온도변화 경향을 충분히 나타내고 있으며, 가열 또는 방열될 때의 잠열재는 약 29°C에서 상변화를 하고 있음을 나타내고 있다.

[그림7]은  $2\text{cm}^T \times 50\text{cm}^W \times 50\text{cm}^L$  크기의 단열재를 방바닥에 덮은 경우에 시간에 따른 바닥 표면온도의 변화를 나타낸 것으로서, 이는 가열이 시작된 후 약 7시간이 경과된 후 아타론을 덮었을때 나타난 결과이다. 이때 바닥 표면온도는 27°C에서 약 2°C정도 상승하여 잠열재의 상변화온도인 29°C 정도의 잠열구간을 나타낸다. 이러한 현상은 사람이 실제 생활을 하는 주택에 잠열저장재를 적용하였을때 이불이나 카

펄트등이 깔려 있거나 방바닥에 앉아 있는 경우에 대한 쾌적한 바닥온도인 30°C와 거의 일치하는 온도를 장시간동안 유지함을 보여준다.

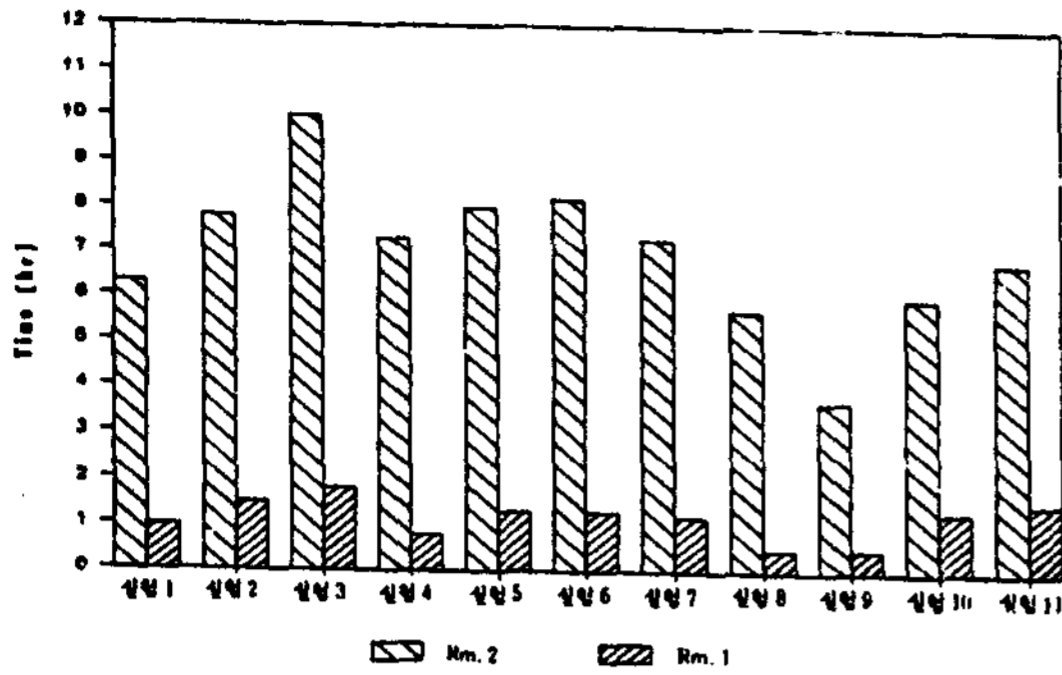


[그림7] Rm.2 바닥에 아티론을 덮은 경우의 표면온도

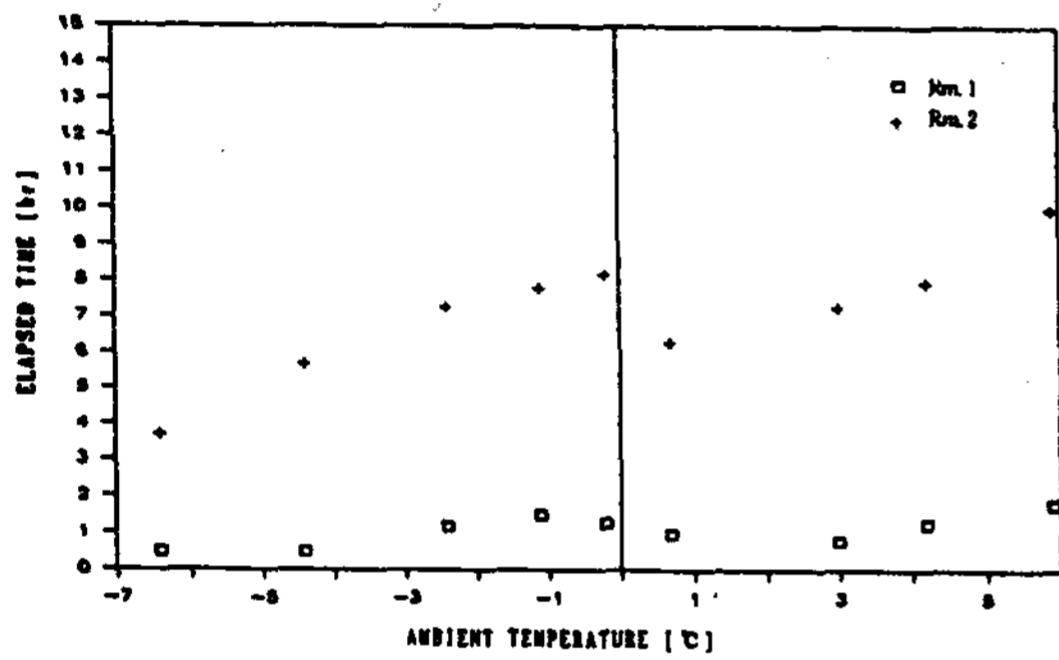
[그림8]은 가열후 Rm.1과 Rm.2의 바닥표면 온도가 20°C에 도달될 때까지의 소요시간을 나타낸 것으로서 11회 반복실험한 결과를 정리한 것이다. [그림8]에서 보는바와 같이 잠열재가 없는 Rm.1의 경우는 가열이 끝난 후 모두 2시간이내에 20°C에 도달하였으며 Rm.2의 경우는 20°C에 도달하는데 약 4시간에서 10시간 정도 까지 소요되었다.

[그림9]는 바닥표면온도가 20°C까지 하강하는데 소요되는 평균시간 및 외기온도를 나타낸 것이다. Rm.1의 경우는 외기온도의 변화에 관계없이 모두 2시간이내에 20°C에 도달하였으며, Rm.2의 경우는 외기온도가 상승함에 따라 20°C에 도달하는 시간이 증가하는 경향을 나타낸다. 이러한 현상은 잠열재가 없는 Rm.1의 경우에는 열저장능력이 전혀 없기 때문에 바닥 표면 온도가 급히 하강하여 외부온도와 온도차가 작아짐으로써 외부기온의 영향을 조금 받기 때문으로 판단된다.

그러나 잠열재가 있는 Rm.2의 경우에는 외부기온이 아주 낮을 때 잠열재와 외부기온과의 온도차가 크기 때문에 열손실이 증가함으로써 바닥표면온도가 20°C까지 급격히 하강하고, 외부기온이 높을 때는 반대로 20°C이상의 온도에서 장시간 유지할 수 있기 때문으로 사료된다.



[그림8] 기준온도 20°C까지의 방열시간



[그림9] 기준온도 20°C까지의 방열시간과 외기 온과의 상관관계

#### 4. 결 론

본 연구에서는 염화칼슘6수화물( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )을 온돌판넬에 응용하고, 스케일 및 시스템을 통하여 바닥난방시의 축열 및 방열특성을 조사하였다.

1)  $-7^\circ\text{C} \sim +7^\circ\text{C}$ 의 외기온도에서 실험결과 잠열재의 상변화과정에서 방열되는 시간은 축열에 필요한 가열시간의 2~4배였으며, 잠열재를 사용하지 않는 기존시스템에 비하여 5배이상 증가시킬 수 있음을 발견하였다.

2) 상변화온도가  $29^\circ\text{C}$ 인 염화칼슘6수화물은 바닥난방에 적합한 잠열저장재로써 쾌적한 실내공기온도와 바닥표면을 얻을 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 坂本雄三, “潛熱蓄熱 패널の省エネルギー効果に 關する 數値 シミュレーション”, 日本建築學會大會學術講演概要集(北海道), 昭和61年8月.
2. 이채문, 임장순, “ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 의 축열방열시 열전달 특성에 관한 연구”, 태양에너지 제9권1호.
3. PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK(6<sup>th</sup> ed.), McGraw-Hill Book company.
4. Kollmar U. Liese : Strahlungsheizung, Oldenbourg Verlag, 1957.
5. 김종엽외 3인, “ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  결정화의 속도론적 고찰”, Energy R&D Vol.8, No.1-2, 1986.

#### 후 기

본 연구는 1989년도 “잠열저장재 개발연구”의 과제로써 과학기술처와 럭키 Eng.(주)의 출연금으로 연구된 과제임을 밝히며 감사의 뜻을 전합니다.

## **The hot water production through the combination of solar thermal energy and freon gas compression heat**

**Hyun Chai Jung · Ki Sun Kim · Kyung Ho Sun · Sung Young Nam and Jong Won Lee\***

Dept of Chemistry Kyung Hee Univ. Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy.  
Dept of Mechanical Engineering. Kyung Hee Univ.\*

### **ABSTRACT**

The hot water producer by the combination of the solar thermal energy and freon gas compression heat has been developed. Freon R-12 gas was circulated through the system including the solar absorption panel, which has no glassing and no insulation, and the frozen and burst problems were intrinsically eliminated. The manufacturing and running costs may go further down than the regular solar hot water systems.

## **An Evaluation of a super-absorbent polymer as the Nucleating Agent for a Capsule-type Ice Storage System**

**Hyung-Joon Choi · Seong-Ahn Hong · Won-Hoon Park**

Division of chemical Engineering, Korea Institute of Science and Technology

### **ABSTRACT**

A study was conducted to investigate the feasibility of using a super-absorbent polymer made from an acrylic acid copolymer for a capsule-type ice storage system. In a simple pyrex-tube test, 25% of distilled water samples tested turned out not to be frozen at all at  $-12^{\circ}\text{C}$  and the average supercooling of the samples frozen was  $9.8^{\circ}\text{C}$ . With the addition of 0.5wt% super-absorbent polymer, however, the supercooling of the distilled water was dramatically reduced and more than 35% of samples tested did not show any supercooling. The heat transfer characteristics of a capsule-type ice storage unit was also investigated with distilled water as the phase-change material. With the addition of 0.5wt% polymer, the supercooling of water was not observed at all and thus an overall heat transfer was enhanced. Based on these results, it was concluded that a super-absorbent polymer is a potential candidate as the nucleating agent for an ice-storage system.

## **The characteristics of heat storage and emission of PCM in Ondol system**

**Cho, Soo · Yoo, Jein · Chung, Hun-saeng**

Korea Institute of Energy and Resources

**ABSTRACT**

The present study was to investigate the use of a phase change material for hydronic radiant floor heating. Two identical unit test cells sized  $1.8\text{m}^L \times 1.8\text{m}^W \times 1.8\text{m}^H$  were built and installed with specially designed  $1.6\text{m}^T \times 9\text{cm}^W \times 80\text{cm}^H$  aluminum Ondol-panels holding 1.25kg of calcium chloride hexahydrate(CCH) each.

It was found that the Ondol-panel with CCH reduced the room temperature fluctuations and maintains the phase changing temperature for considerably long duration, 2~4 times of heating hour, over no-CCH one.

**Heat Transfer Characteristics for Inward Melting in a Horizontal Cylinder****Sung Bae Yum · Chang Shik Hong\***

Dept. of Chemical Technology College of Industry &amp; Art Hongik Univ.

Dept. of Chemical Engineering College of Engineering Seoul National Univ.\*

**ABSTRACT**

Heat transfer characteristics of heat storing processes in paraffin-filled horizontal circular cylinder is studied. The unmelted solid paraffin is allowed to fall on the bottom wall under gravity. In the upper liquid phase, natural convection is considered to take place while in the lower liquid film between the solid paraffin and the wall conduction is thought to take place instead. Experimental analyses are also carried out. The amount of the latent heat stored is obtained by recording the timewisely changing side area of the solid paraffin photographically. The mass of paraffin melted in the upper section is obtained by subtracting the amount of melted mass in the lower section from the total mass melted and therefrom variation of heat transfer rate in each section is studied.

**Photoconductive Characteristics of CdSe Thin Films****Choon Saing Jhoun · Dong Suk Kim · Chang Soo Huh\***

Inha Univ.

Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)\*

**ABSTRACT**

In this paper, photoconductive pure CdSe films and CdSe films doped with various impurities are fabricated by vacuum deposition and subsequent heat treatment in vacuum. The substrate is kept at  $200^\circ\text{C}$  during deposition and temperature generally makes the films more photoconductive. The photocurrent of the films increase linearly with light illumination. Spectral response of photoconductivity is measured at the wave length range of 380nm to 850nm. The maximum response is found at 700nm in pure CdSe films, but it shifts to the longer wavelength in impurity-doped CdSe films.