

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol. 20, No. 3, 2000

## 열펌프-잠열축열시스템을 이용한 온돌의 난방특성

김명현\*, 송현갑\*\*

\*충북대학교 대학원 농업기계공학과

\*\*충북대학교 농업기계공학과

## Heating Characteristics of Ondol using Heat Pump-Latent Heat Storage System

M. H. Kim\*, H. K. Song\*\*

\*Chung buk National University, Graduate School

\*\*Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chung buk National University

### Abstract

In these days the hot water circulating Ondol using the fossil fuel boiler is the heating system for the most of the Korean residents.

Then it is installed without the heat storage medium in the Ondol heating layer, but the Korean traditional Ondol had been composed with the heat storage medium.

The Ondol room without heat storage medium could not be comfortable because the room air temperature is not only changed unstably but also it has a defect too much fuel consumption.

Therefore in this study the heat pump-latent heat storage Ondol as the new type of Ondol system was developed to solve these problems mentioned above, and the COP of the heat pump (Coefficient Of Performance), the latent heat storage characteristics in the new type of Ondol system and the temperature variation in the Ondol room with the ambient temperature were analyzed.

기 호 설 명

$C_{pl}, C_{ps}$  = Specific heat of PCM on the solid and liquid phase(kcal/kg · °C)

$C_{p,a}$  = Air specific heat(kcal/kg · °C)

$COP$  = Coefficient of performance of heat pump.

$LH$  = Latent heat of PCM(kcal/kg)

$k$  = Overall heat-transfer coefficient (kcal/m<sup>2</sup> · hr · °C)

$M_{pcm,n}$  = Total PCM mass for heat storage (kg/m<sup>2</sup> · night)

$M_{LH,s}, M_{LH,l}$  = Mass fraction of PCM on the solid and liquid phase(kg)

$\dot{q}_T$  = Total heat supply(kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{q}_{Sto.}$  = Total heat storage(kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{q}_{Loss}$  = Total heat loss(kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{q}_{water}$  = Heat gain from condenser of heat pump(kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{q}_{ele}$  = Electric power consumption of heat pump(kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{q}_{sen.}$  = Sensible heat stored in the panel (kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{q}_{air}$  = Heat stored in the air(kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{q}_{LH,s}$  = Sensible heat at solid phase of PCM (kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{q}_{LH,l}$  = Sensible heat at liquid phase of PCM(kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{q}_{LH}$  = Heat stored in PCM(kcal/m<sup>2</sup> · hr)

$\dot{Q}$  = Nighttime heating load(kcal/m<sup>2</sup> · night)

$\Delta T_l$  = Temp. difference between the temp. of liquid phase and phase change temp(°C)

$\eta$  : Mechanical efficiency

$\Delta T_s$  = Temp. difference between the temperature of solid phase and phase change temperature(°C)

$\eta_{sto.}$  = Efficiency of latent heat storage system

$\lambda_i = \frac{M_{PCM}^s}{M_{PCM}}$  : Phase change rate of solid phase PCM in solid-liquid equilibrium

$A_{Ondol}$  = Ondol surface area(m<sup>2</sup>)

$\lambda_j = \frac{M_{PCM}^l}{M_{PCM}}$  : Phase change rate of liquid phase PCM in solid-liquid equilibrium

1. 서 론

우리 나라 온돌 난방은 화덕에서 유래한 오래된 전통 난방으로 돌과 흙 등을 이용한 축열기능을 가진 것이 특징이다. 그러나 현재 실용화된 온수 순환 난방은 온돌의 주요 특징인 축열기능이 없는 단순한 바닥 난방으로 우리 나라 전통 온돌 난방 기능을 가지고 있지 못하다.

손<sup>3)</sup> 등은 잠열축열층의 적정 두께를 실험적으로 결정하고 적정 순환 온수 온도를 분석하여 잠열축열 온돌에 이용하는 연구를 수행한 바 있으며, 송<sup>4)</sup> 등은 온돌바닥면 열전달 특성을 이론 및 실험적으로 분석하고, Bioceramics를 온돌 상판에 처리하므로써 온돌 바닥 온도를 빠르게 분포시킨다고 보고하고 있다. Kavaneugh<sup>8)</sup> 등은 물-공기형 열펌프에 대한 성능 개선 연구를 수행하였으며, 난방 효율과 온수 용량을 분석 보고하고 있다.

지금까지 연구에서 열펌프 연구는 다양하게 이루어졌으나 잠열축열형 온돌 연구는 상변화온도가 28~30°C인 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O을 이용한 경우

† 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구비 지원으로 수행되었음.

이외에는 다양하게 연구보고 된 바가 없는 실정이다.

이와 같은 연구 동향과 현실 문제를 감안하여 본 연구에서는 상변화 온도가 30°C인 잠열재와 45°C인 잠열축열재를 온돌가열층에 삽입·설치하여 전통 온돌의 축열기능을 복원하려 하였으며, 대체에너지 개발의 일환으로 열펌프를 잠열축열 온돌 난방의 열공급원으로 하여 에너지 절약과 환경오염 방지에 기여하려 하였다.

## 2. 이론분석

온돌난방부하 규모와 이에 대응하는 난방열 공급원인 열펌프 규모를 결정하고, 공급된 열량중 잉여 열에너지를 잠열재에 저장하기 위한 잠열축열재의 소요량을 결정하는 이론분석을 다음과 같이 정리하였다.

### 2.1 온돌난방부하

온돌의 단위면적당 시간당 난방부하에 관한 열평형식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{q}_T = \dot{q}_{sto} + \dot{q}_{Loss} \quad (1)$$

#### 2.1.2 저장열량 ( $\dot{q}_{sto}$ )

공급된 난방열은 바닥판넬에 현열로 저장되고, 온돌내에 매립된 잠열재에 잠열저장되며, 일부는 실내공기내에 저장된다. 이를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\dot{q}_{sto} = \dot{q}_{Sen} + \dot{q}_{LH.S} + \dot{q}_{LH} + \dot{q}_{LH.I} + \dot{q}_{air} \quad (2)$$

여기서 :

$$\dot{q}_{Sen} = M_{Sen} \cdot C_p \sum_{i=1}^{nb} \Delta T_i$$

$$\dot{q}_{LH.S} = M_{LH.S} \cdot C_{p.s} \sum_{i=1}^{ns} \Delta T_{i.s}$$

$$\dot{q}_{LH.I} = M_{LH.I} \cdot C_{p.l} \sum_{j=1}^{nl} \Delta T_{j.l}$$

$$\dot{q}_{LH} = M_{LH} \sum_{i=1}^{ns} (\lambda_j + \lambda_{j-1}) \Delta LH$$

$$\dot{q}_{air} = M_{air} \sum_{i=1}^{nf} H_i$$

### 2.1.3 손실열량 ( $\dot{q}_{Loss}$ )

온돌방 단위면적에 해당하는 손실열량은 창문, 천장과 벽면을 통한 전도열손실과 환기열손실의 합으로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\dot{q}_{Loss} = \dot{q}_{Conduction} + \dot{q}_{vent} \quad (3)$$

여기서 :

$$\dot{q}_{Conduction} = \frac{\Delta T_{overall}}{\sum_{i=1}^n R_{th,i}}$$

$$\dot{q}_{vent} = 0.29N \cdot V \cdot \Delta T^{10)}$$

( N : number of ventilation

V : volume of air ventilation)

### 2.2 열펌프 규모결정

온돌난방부하에 해당하는 난방열 공급을 위한 열펌프 규모결정을 위한 이론식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$PS_{HP} = \frac{A_{Ondol} \times \dot{q}_T}{COP \cdot \eta \times \dot{q}_{elec.} \times 632.44} \quad (4)$$

### 2.3 온돌축열을 위한 잠열재 소요량

쾌적한 온돌 난방을 위한 잠열축열 매체의 소요량은 축열량과 잠열재의 열특성을 고려하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M_{PCM} = \frac{A_{Ondol} \times \dot{q}_{sto}}{(LH + Cp_l \cdot \Delta T_l + Cp_s \Delta T_s) \times \eta_{sto}} \quad (5)$$

### 3. 실험 장치 및 방법

#### 3.1. 실험장치

##### 3.1.1. 온돌 난방 실험장치

본 실험은 충청북도 청주시 사천동에 특별히 제작한 컨테이너 건물에 기계실과 A와 B 두개의 온돌 난방 공간을 설치하였다.

온돌방 A의 바닥에는 잠열축열재를 그림 3과 같이 설치하였고, 온돌방 B의 바닥은 황토를 충전하였다. 2개의 온돌방 사이에 기계실을 두어 온돌 난방을 위한 열원으로 열펌프를 설치하였고, 가열된 온수가 온돌방 A와 B에 동시에 공급되도록 온수파이프(PVC)를 병렬로 연결하였다. 온돌의 온도 측정은 hybrid recorder(8H12, San-ei, Japan), 소비전력은 Wattmeter(VIP System 3, Elcontrol, Italy), 순환온수 유량은 Flowmeter(ST-T형, Germany)로 측정하였다.

온도측정을 위한 열전대(T type)는 온수파이프 5점, 바닥온도 각 10점, 공기온도는 흑구를 포함한 각 6점의 센서를 설치하였다.

또한 열펌프의 성능분석을 위하여 10점과 잠열재 내부의 온도센서 4점을 설치하였다. 측정된 온도는 hybrid recorder를 통해 20분 간격으로 자동기록 되게 하였다.

Table 1. Detail of Ondol experimental apparatus

Structure	Dimension	Pipe	
		material	length
Container	Equipment room (2.3×2.8×2.3)	PVC	96m
	Ondol room (3.7×2.8×2.3)×2		

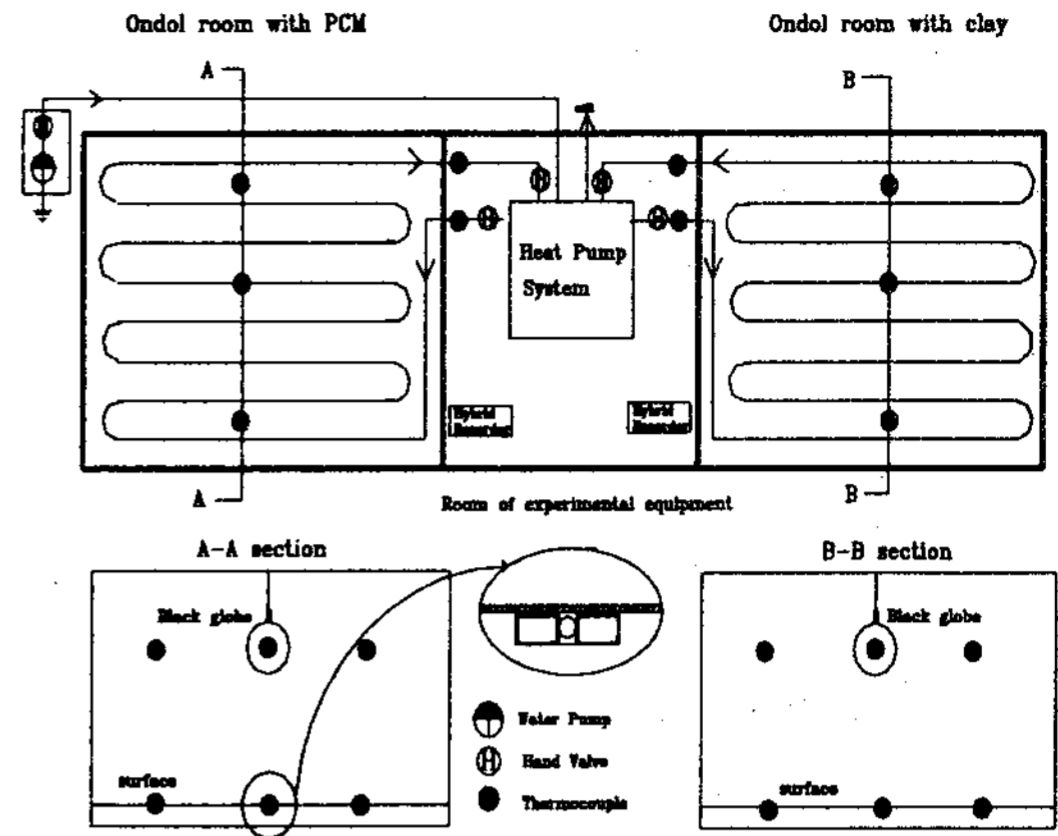


Fig. 1. The circuit of Ondol pipe and experimental apparatus.

온돌 난방 실험에 사용된 실험동의 제원은 표 1에, 온돌모델과 실험장치는 그림 1에 나타내었다.

##### 3.1.2. 열펌프 시스템

본 실험에 사용된 공기 대 물 열펌프 시스템에서 압축기는 밀폐형 왕복식 3마력이고, 응축기는 2중관형 물순환식을 사용하였다. 또한 외기온의 강하에 의한 성능계수 저하를 막기 위해 증발기 출구와 응축기 출구사이에 AVACTHE (Automatic Variable Area Capillary Type Heat Exchanger)를 설치하였다.

본 실험에 사용된 열펌프 시스템의 크기는 식 (1), (2), (3), (4)에 의하여 결정하였으며, 그 결과는 표 2에, 회로도 는 그림 2에 나타내었다.

Table 2. Detail of the tested heat pump system.

Items	Size	Mode	Working Fluid
System			
Heat pump	3 ps	Heating Mode (Air to Water)	R <sub>22</sub>

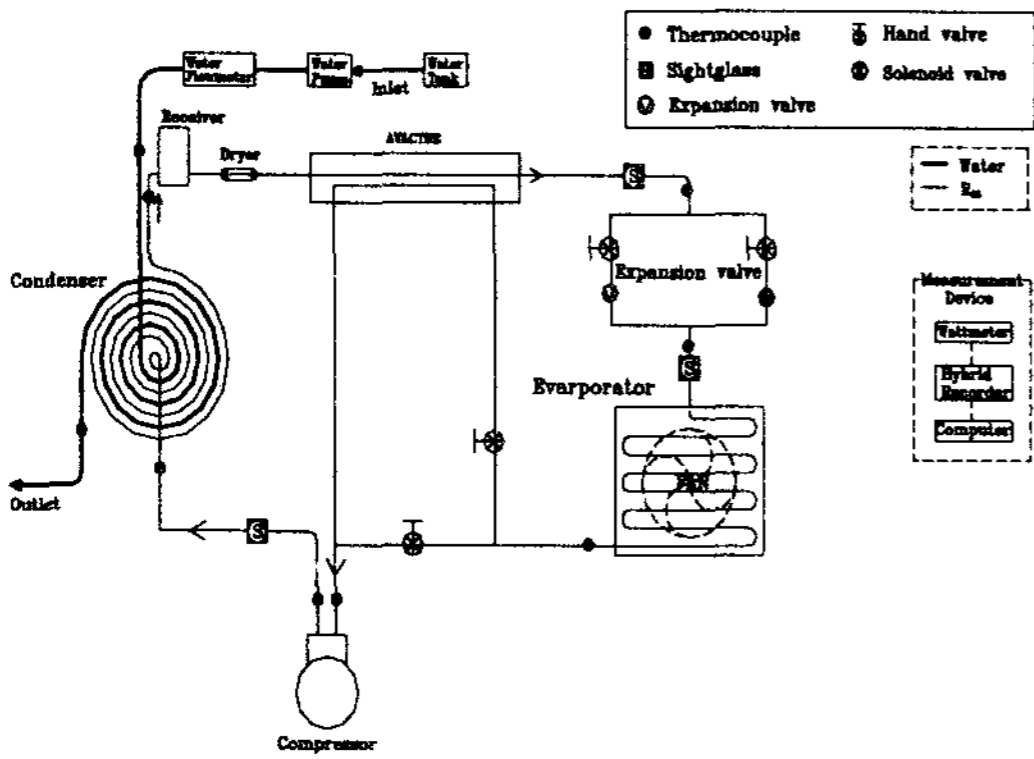


Fig. 2. Heat Pump circuit and experimental apparatus.

### 3.1.3. 잠열축열재

상대적으로 온수순환파이프의 온도가 높은 입구 쪽 온돌바닥에는 잠열온도(45°C)가 높고 잠열량이 많은 잠열축열재를 튜브 64개(28.8kg)에 충전설치하였으며, 온수파이프의 온도가 낮아지는 중반부 이후 온돌바닥에는 잠열온도(30°C)가 낮은 잠열재를 튜브 80개(36kg)에 충전설치하였다. 이때 잠열축열재 소요량은 식(2)와 (5)에 의하여 결정하였다.

그림 3은 잠열축열재를 온수순환온돌에 설치한 것으로 잠열재를 PVC튜브에 주입한 후, 파손을 방지하고 열전도율을 높이기 위하여 알루미늄(Al) 블록에 밀어 넣은 후 온수파이프와 밀착하도록 설치하였다. 온돌 밑바닥은 열손실을 막기 위해 단열처리하였고, 온돌덮게판넬을 덮기 전에 철판( $t = 0.5\text{mm}$ )을 깔아 바닥 전체에 균일하게 열이 전도되도록 하였다.

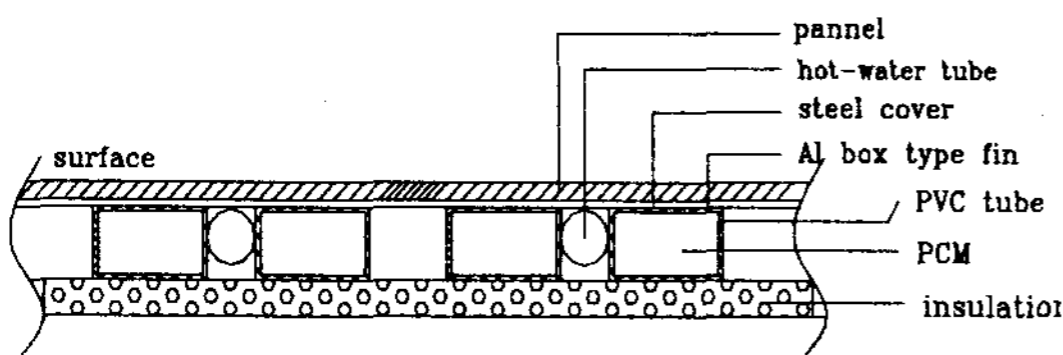


Fig. 3. Section of latent heat storage type Ondol.

### 3.2. 실험방법

본 실험은 1999년 1월 4일부터 4월 10일까지 시행하였으며, 실험기간 중 외기온은 -15~15°C 이었다.

열펌프 성능분석을 위하여 주간과 야간에 온수를 온돌파이프내를 순환하여 열펌프 응축기로 되 돌아오도록 하는 밀폐계에서 열펌프 응축기 입구 물의 온도가 9~40°C로 변하고 응축기 출구 물의 온도가 20~80°C로 변하도록 물의 유량을 100~300 l/hr로 변환시켜 실험하였다.

또한 소비전력은 Wattmeter로 측정하여 열펌프에 COP를 정확하게 분석할 수 있도록 하였다.

온돌 난방 실험은 태양복사에너지로 인한 오차를 줄이기 위하여 주간에는 실험을 하지 않고 일반주택의 주요 난방시간인 야간을 선택하여 4시간과 6시간 난방열을 공급하는 간헐 난방 실험과 72시간의 연속 난방 실험을 수행하여 열펌프-잠열축열 온돌시스템의 난방특성을 분석하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. 열펌프 성능 특성

그림 4는 본 실험에 사용된 공기 대 물 열펌프의 성능계수를 응축기 입출구 물의 온도 변화에 따라 나타낸 것이다. 이때 물의 유량은 300 l/hr로 하였으며 평균 외기온은 -7°C이었다.

이 그림에서 보는 바와 같이 응축기에서 60°C로 가열하여 온돌에 순환시켜 온돌난방후 응축기로 다시 돌아와 들어가는 물의 온도가 9°C이고, 응축기에서 다시 60°C로 물을 가열하는 경우의 열펌프 시스템의 COP는 3.1이었고, 온돌난방후 응축기로 돌아오는 물의 온도가 20°C이며, 이를 다시 응축기에서 60°C로 가열하는 경우의 COP는 2.8, 온돌난방후 30°C로 돌아온 물을 60°C로 가열하는 경우의 COP는 2.8이며, 온돌난방후 40°C로 돌아온 물을 60°C로 가열하는 경우의 COP는 2.3으로 분석되었다.

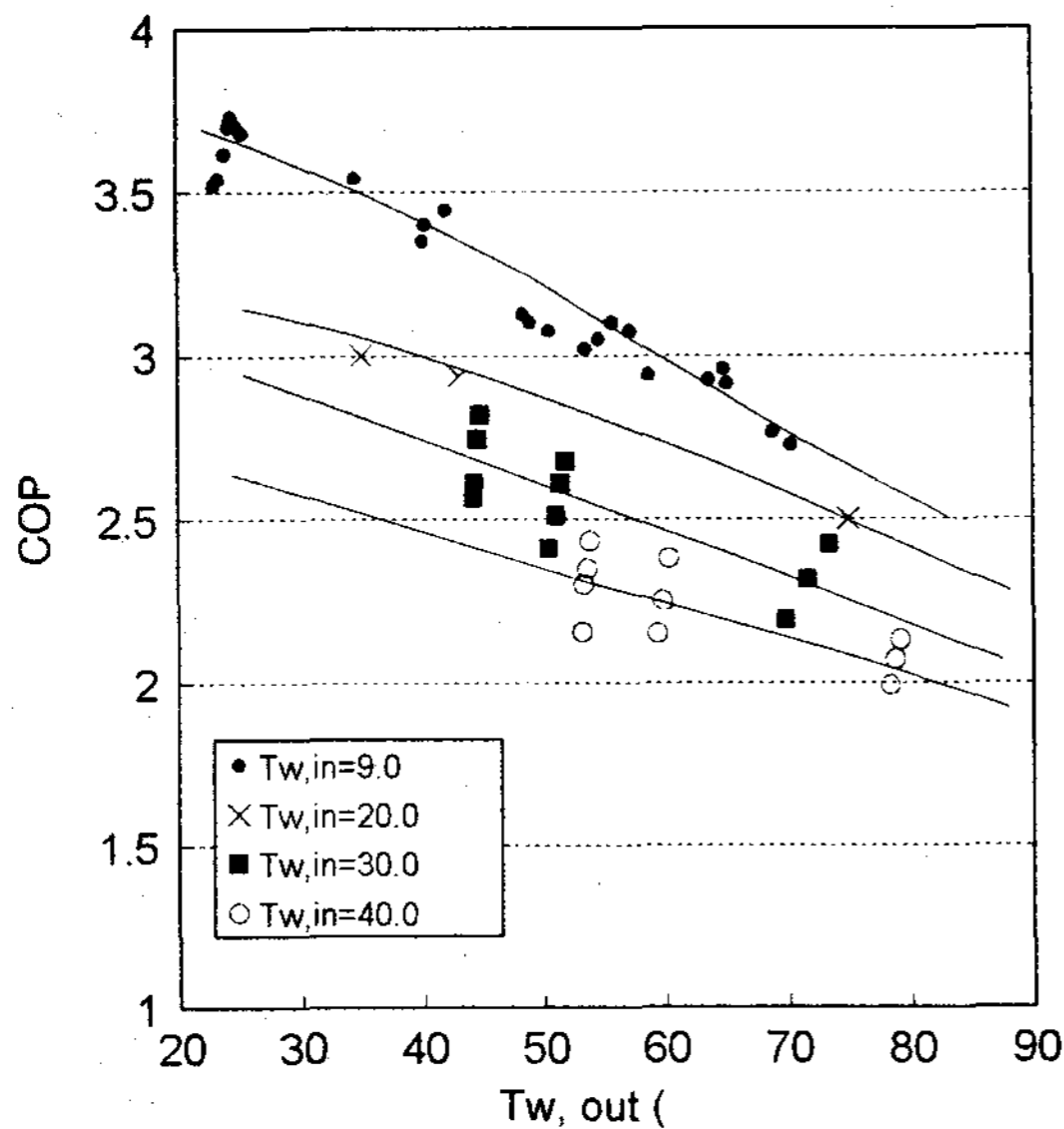


Fig. 4. The variation of COP with temperature of water inlet and outlet.

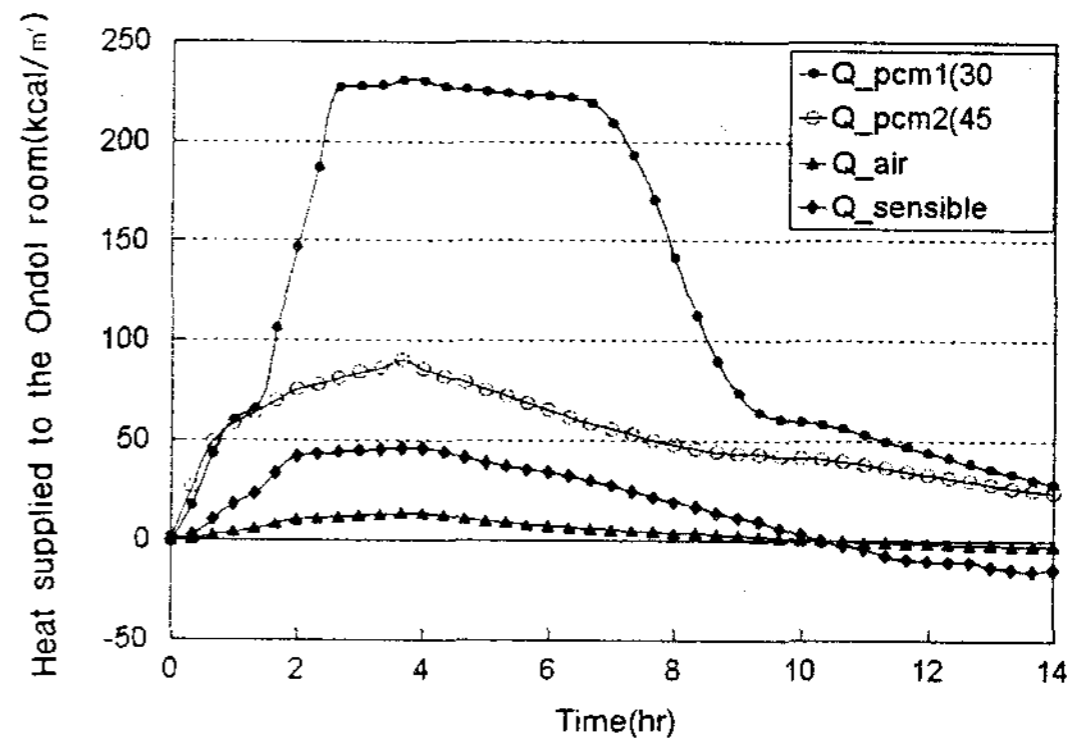
#### 4.2. 잠열축열 온돌의 난방열 공급과 저장열 에너지 분석

그림 5는 공기 대 물형 열펌프 시스템으로 온돌에 60°C의 난방열을 4시간 동안 공급한 경우 잠열재, PCM<sub>1</sub>(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O), PCM<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>COONa · 3H<sub>2</sub>O), 그리고 온돌바닥재와 온돌방안 공기가 가열되고 저장된 열에너지를 시간별로 분석한 결과이다.

이 그림에서 나타내고 있는 바와 같이 PCM<sub>1</sub>(상변화온도 30°C)은 온돌바닥 면적당 230 kcal/m<sup>2</sup>의 열을 흡수, 저장하고 3시간동안의 잠열구간을 보였으며, PCM<sub>2</sub>(상변화온도 45°C)는 온돌바닥 면적당 95kcal/m<sup>2</sup> 열을 흡수, 저장하였으나 잠열구간은 나타나지 않았다.

현열재인 온돌바닥재와 방안 공기중에 가열, 저장된 열량은 온돌바닥 면적당 60kcal/m<sup>2</sup>으로 분석되었다.

그림 6은 공기 대 물형 열펌프 시스템으로 온돌에 60°C의 난방열을 6시간동안 공급한 경우 온돌판넬을 구성하고 있는 잠열재와 현열재가 가열



※ PCM<sub>1</sub> = Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O(phase change temperature of 30°C)  
 ※ PCM<sub>2</sub> = CH<sub>3</sub>COONa · 3H<sub>2</sub>O(phase change temperature of 45°C)

Fig. 5. In case of the 4 hours Ondol heating, the variation of heat supply and storage in the Ondol system.

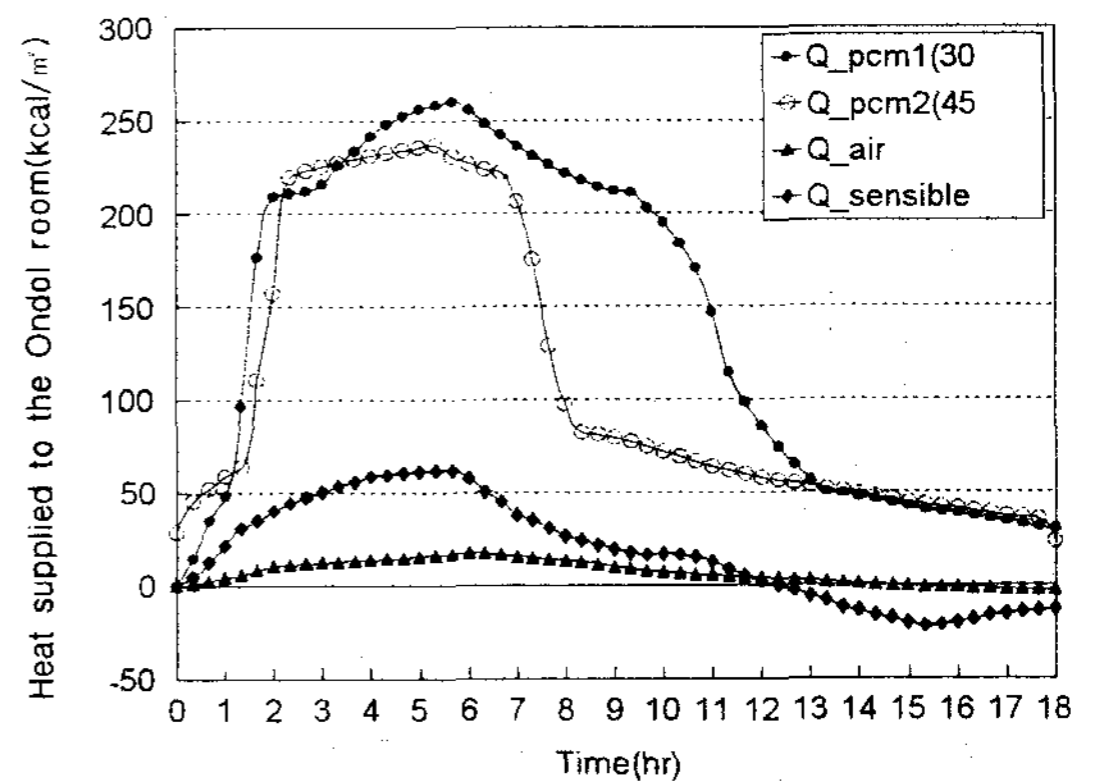


Fig. 6. In case of the 6 hours Ondol heating, the variation of heat supply and storage in the Ondol system.

되고 저장된 열에너지를 시간별로 분석한 결과이다.

이 그림에서 보는 바와 같이 PCM<sub>1</sub>은 온돌면적당 250kcal/m<sup>2</sup>의 열을 흡수, 저장하였다가, 4시간의 잠열구간을 나타내면서 방열하였으며, PCM<sub>2</sub>는 235kcal/m<sup>2</sup> 열을 흡수, 저장하였고, 1.5시간의 잠열구간을 나타내면서 방열하였다.

현열재인 온돌바닥재와 방안 공기중에 가열, 저장된 열량은 온돌바닥 면적당 70kcal/m<sup>2</sup>으로 분

석되었다.

### 4.3. 열펌프-잠열축열시스템이 온돌 난방의 열 환경에 미치는 영향

#### 4.3.1. PCM<sub>1</sub> (30°C)의 상변화 온도기준 온돌 난방

그림 7은 -8°C~8°C 수준의 외기온에서 잠열축열재 PCM<sub>1</sub>(30°C)의 상변화가 충분히 일어날 수 있는 난방공급 열량을 기준으로 난방한 경우의 온돌 판넬 각 부위와 실내공기 온도를 시간변화에 따라 나타낸 결과이다.

이 그림에서 보는 바와 같이 8시간 난방열을 공급하고 8시간 난방열을 공급하지 않는 간헐 난방을 시행하므로써 PCM<sub>1</sub>(30°C)은 상변화가 충분히 일어났고, 잠열기간이 5시간정도 유지되는데 비하여, 같은 조건에서 PCM<sub>2</sub>(45°C)는 상변화가 일어나지는 했으나 충분하지 못하였으며, 잠열기간은 2시간 유지되었다. 이와 같은 현상은 57~60°C의 난방열을 8시간 간격으로 간헐공급하는 경우 PCM<sub>1</sub>(30°C)의 잠열축열재에 대해서는 충분한 열공급 수준이지만, PCM<sub>2</sub>(45°C)에 대해서는 부족한 난방 열공급 수준임을 보여주고 있다. 이상과 같은 난방열 공급으로 실온이 14~26°C을 유지하므로써 쾌적한 실온인 18~23°C에 못 미치는 수

준이었다. 57~60°C의 난방열을 8시간 간격으로 간헐난방하는 것은 잠열축열 온돌 난방에 충분하지 못한 난방법임을 시사해 주었다.

#### 4.3.2 설정실내온도기준 온돌 난방

그림 8은 -7~7°C 수준의 외기온에서 쾌적한 실온인 18~23°C를 실내온도로 설정하여 이를 기준으로 난방한 경우, 온돌의 순환온수온도, 온돌 바닥온도, 잠열축열재 온도와 실내공기 온도변화를 시간경과에 따라 나타낸 결과이다.

이 그림에서 보는 바와 같이 열펌프에 의하여 가열된 순환온수 온도는 가열과정에서 최고 63°C까지 상승하였고, 비가열과정에서 최하 20°C까지 강하하였으며, 비가열과정에서 PCM<sub>1</sub>이 내장된 온돌바닥 온도는 28~30°C을 유지하였고, PCM<sub>2</sub>가 내장된 온돌바닥 온도는 30~45°C을 유지하였다. 이 결과는 우리 나라 전통온돌방의 아랫목과 윗목의 바닥온도를 재현하는 바람직한 결과였다. 이때 잠열재 PCM<sub>1</sub>은 상변화온도인 30~31°C을 6~7시간 유지하여 잠열구간을 뚜렷하게 나타내고 있었으며, PCM<sub>2</sub>는 상변화온도인 43~45°C을 3시간정도 유지하면서 잠열구간을 나타내었다. 결과적으로 실내공기 온도는 18~23°C 범위내에서 유지됨으로서 열펌프-잠열축열 온돌시스템에서

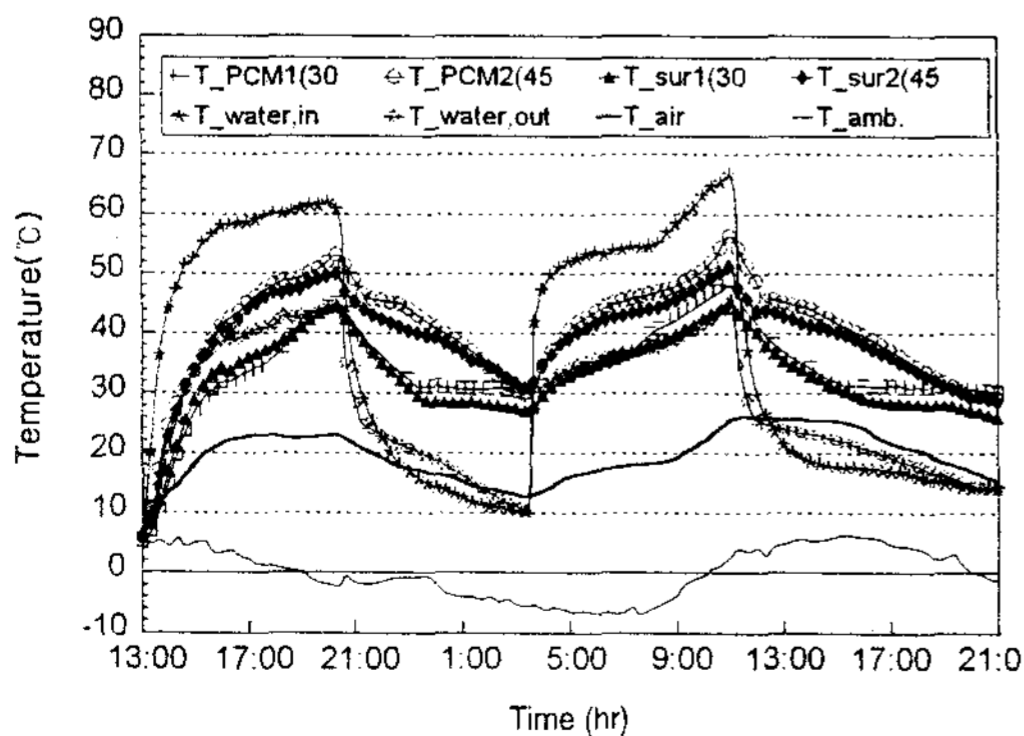


Fig. 7. Temperature variation of Ondol surface and room air in accordance with latent heat period of PCM<sub>1</sub>.

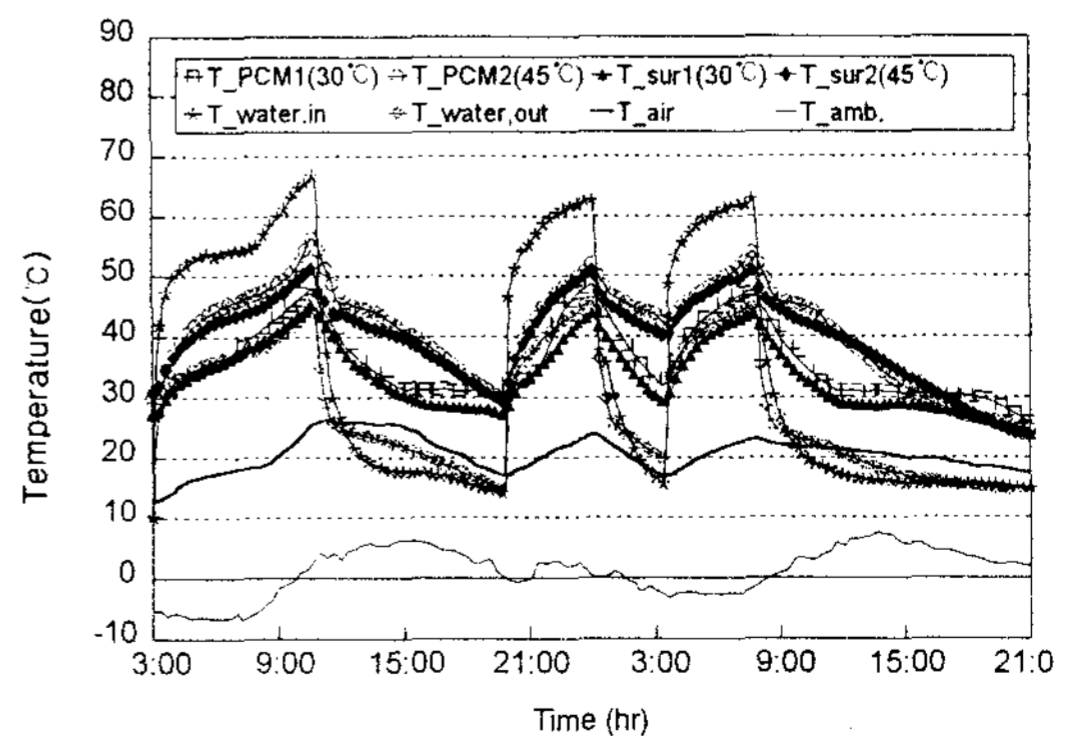


Fig 8. Temperature variation of Ondol surface and room air in case of the Ondol room using PCM<sub>1</sub> and PCM<sub>2</sub>.

실온기준 난방으로 쾌적실온을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

### 4.3.3 현열축열 온돌과 잠열축열 온돌과의 난방효과 비교

그림 9는 온돌 난방의 가열과정과 비가열과정에서 PCM<sub>2</sub>(45°C)을 내장한 잠열축열 온돌의 표면온도와 PCM을 내장하지 않은 현열재인 진흙을 충전한 온돌의 표면온도 그리고 실내공기온도를 시간경과에 따라 나타낸 것이다.

이 그림에서 보는 바와 같이 외기온이 -7~7°C로 변할 때 온돌 난방의 가열과정에서 진흙충전 현열축열온돌 표면온도는 잠열축열온돌의 표면온도보다 4~5°C 빠르게 상승하였으나, 비가열과정에서는 잠열축열온돌표면온도가 현열축열온돌의 표면온도보다 5~10°C 늦게 강하하는 바람직한 현상을 보였다.

그리고 온돌표면의 하한 온도를 30°C로 할 경우, 비가열과정에서 잠열축열온돌의 난방온도 유지시간은 8시간인데 비하여, 현열축열온돌의 난방온도유지시간은 4시간으로 현열축열온돌에 대한 잠열축열온돌의 난방 유지시간이 4시간 더 긴 것으로 나타났다. 이때 잠열축열온돌의 실내온도는 18~23°C로 쾌적한 난방실온을 유지하였다.

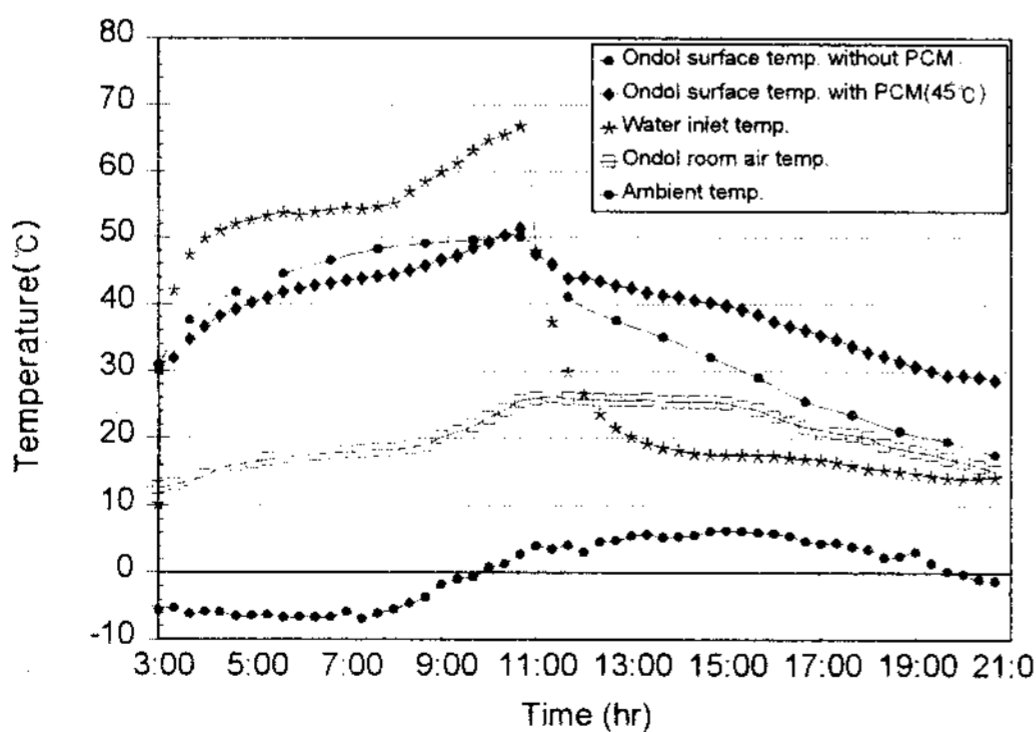


Fig. 9. Comparison of Ondol heating effect between the sensible heat storage Ondol and latent heat storage Ondol system.

## 5. 결 론

현재 우리 나라 주거난방은 주로 화석에너지를 사용하고 있기 때문에, 화석에너지고갈 문제와 가격의 불안정성, 환경오염 등의 여러 문제점을 가지고 있다. 또한 축열매체를 가지고 있던 전통 온돌이 축열매체가 없는 온수 순환 온돌시스템으로 변모함에 따라 온돌바닥온도가 간헐적으로 변화하므로써 쾌적한 온돌 난방이 어렵고, 에너지가 많이 소모되는 단순바닥난방이 되고 있다. 이에 대하여 본 연구에서는 대기중의 자연에너지를 열원으로 하는 열펌프와 잠열축열재를 온돌축열매체로 하는 온돌 난방의 적정운전 방법을 분석하였고, 잠열축열매체를 이용한 온도지속시간과 난방열을 분석하므로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 온돌 난방에 이용한 공기대 물 3마력 열펌프는 열매체입, 출구온도에 따라 그 성능계수가 2.3~3.8수준이었다.
2. 온돌 난방 시스템에서 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O(PCM<sub>1</sub>)의 상변화 온도를 기준으로 난방하는 경우에는 4시간 난방 시 PCM<sub>1</sub>을 내장한 온돌 부분은 약 5시간의 잠열 구간을 보였고, 이때 CH<sub>3</sub>COONa · 3H<sub>2</sub>O (PCM<sub>2</sub>)를 내장한 온돌부분은 2시간의 잠열구간을 보였다.
3. 쾌적한 실온인 18~23°C를 기준으로 난방하는 경우 PCM<sub>1</sub>을 내장한 온돌바닥온도는 28~30°C이었으며, 잠열유지시간은 6~7시간이었고, PCM<sub>2</sub>를 내장한 온돌표면온도는 43~45°C로 잠열유지시간은 3시간이었다.
4. 온돌난방가열과정에서는 현열축열온돌 표면온도가 잠열축열온돌 표면온도 보다 4~5°C 빠르게 상승하였으나, 비가열과정에서는 잠열축열온돌 표면온도가 현열축열온돌 표면온도보다 5~10°C 늦게 하강하는 바람직한 현상을 보였고, 잠열축열온돌에서는 30°C이상 표면온도유지시간이 8시간인데 비하여 현열축열온돌에서



의 30℃ 이상 표면온도유지시간이 4시간으로 잠열축열 온돌의 표면온도가 현열축열표면온도보다 4시간 더 길게 유지하는 것으로 결과되었다.

### 참 고 문 헌

1. 이건중, 송현갑, “저온측과 고온측 냉매간 열교환이 열펌프의 성능특성에 미치는 영향”, 농업기계학회지. 24(4), 1999, 343~350.
2. 김현철, 송현갑, “열펌프를 이용한 온돌 난방시스템” 농업기계학회지 24(4), 1999, 351~358.
3. 손장열,, 박제영, 안병욱, 신용태, “온수온돌 난방공간의 열부하 해석에 관한 연구” 대한건축학회지, 4권 2호 통권16호, 1988.
4. 송현갑, 김영복, 최홍림, “잠열재를 이용한 축열형 온돌시스템 개발” 한국과학재단, 1993.
5. Blundell, C. J. “Optimizing Heat Exchangers for Air-to-Air Space Heating Heat Pumps in the U.K?”, Int. J. Energy Res.1, 1997, pp.69~94.
6. Frank P. Incropera. David P. Dewitt, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, John Wiley & Sons pp.74~134 .
7. Sang-dong Park, “A review on Ondol heating and thermal performance” Proceeding of international Ondol conference. 1996, pp.20~40.
8. Kavanaugh, S. P., “Design of Water -to-air Heat Pumps with High Cooling Efficiency for Ground-Coupled Applications”, ASHRAE Symposium, 1991.