

잠열저장패널이용 바닥난방공간의 실내온도분포에 관한 연구

조 수* · 손 장 열**

* 한국에너지기술연구소 건물에너지연구부

** 한양대학교 교수

Indoor Air Temperature Distribution in a Floor Heating Space with PCM Panels

Cho, Soo* · Sohn, Jang Yeul**

**Korea Institute of Energy Research*

***Dept. of Architectural Engineering, Hanyang Univ.*

요 약

본 연구는 주거용건물에서의 난방에너지 소비량절감 및 실내환경의 쾌적도 향상을 목적으로, 잠열재 용기의 축열 및 방열특성을 파악한 후, 잠열저장패널을 이용한 바닥난방공간의 실내온도분포를 분석하였다. 잠열저장패널의 특성을 구명하기 위해서는 패널의 가열시간에 따른 잠열재의 용해 및 응고특성에 대해 실험·분석하고 실험건물을 이용하여 잠열저장패널을 설치한 실내공간의 온도분포에 대해 실험·분석 하였다.

ABSTRACT

The purposes of the present study are to investigate the characteristics of heat storage and emission of the PCM($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) panel, and to analyze the distribution of indoor air temperature in a floor heating space with PCM panels for the heating system. Two identical unit test cells sized $1.8\text{m}^w \times 1.8\text{m}^l \times 1.8\text{m}^h$ were built and installed with specially designed aluminium Ondol-panels. It held 1.2kg of calcium chloride hexahydrate(CCH).

It was found that PCM panels could reduce the indoor air temperature fluctuations and maintain the phase changing temperature for considerably long duration, 2~3 times longer in heating hour over no-CCH one. When the elapsed time was 6 hours, the average temperature difference between PCM panel and Ondol panel was 7.7°C

1. 서 론

우리나라 주택에서 가장 보편적으로 사용되는 난방방식은 온수를 이용하는 온수온돌 난방방식이다. 이는 현열축열이용 난방방식으로서 간헐적인 난방공급에 의한 과열 및 급냉으로 인한 열손실과 큰 실내온도 변화폭으로 인해 쾌적하지 못한 실내환경을 조성할 우려가 크다. 이러한 현열축열의 문제점을 해결하기 위한 좋은 수단으로 온도상승 및 하강에 의한 온도변화폭이 작으면서도 많은 열을 저장할 수 있는 잠열축열방식이 유리한 것으로 잘 알려져 있다.

일반적으로 잠열을 이용한 열에너지 저장은 건물의 난방에너지를 효율적으로 이용할 뿐만 아니라 등온조건하의 열공급으로 쾌적도의 향상을 가져올 수 있다. 잠열이용방식에는 여러가지 있으나 건물에서의 잠열저장재로의 활용은 건물의 종류, 설치 및 활용방법등에 따라 그 적용방법이 매우 다양하다. 잠열 저장재의 온돌난방에 이용할 경우에는 잠열저장재의 적용온도범위, 잠열량, 열전도율등이 결정되어야 하며, 비독성의 조건을 만족하여야 한다.

본 연구는 주거용건물에서의 난방용에너지 소비량절감 및 실내환경의 쾌적도 향상을 목적으로

본보에서는 잠열재 용기의 축열 및 방열특성을 파악한 후, 잠열저장패널을 이용한 바닥난방공간의 실내공간의 실내온도분포를 분석하였다.

잠열저장패널의 특성을 규명하기 위해서는 패널의 가열시간에 따른 잠열재의 용해 및 응고특성에 대해 실험·분석하고 실험건물을 이용하여 잠열저장패널을 설치한 실내공간의 실온에 대하여 실험·분석 하였다.

2. 측정장치 및 측정방법

잠열재는 상전이온도가 29.7°C이고, 용융열이 40.6cal/g인 염화칼슘6수화물(CaCl₂·6H₂O)을 원심분리기로 정제하여 준비하였다. 염화칼슘6수화물의 특성은 Table. 1과 같다.

실험은 용기실험과 실증실험으로 나누어 실시하였다. 용기실험은 제작한 알루미늄용기로 실험실에서 실증실험을 하기 전에 용기의 흡열능력(즉 잠열재의 melting)과 공기중의 자연냉방방열능력(즉 freezing)을 확인 함을 목적으로 하고, 실증실험은 실험건물에 기존패널과 잠열재패널을 설치하여 겨울철 난방기간에 실내공기온 및 바닥표면온도의 변화를 측정함으로써 잠열재의 효과를 실증실험 하였다.

용기실험은 Fig. 1과 같이 용기내에 잠열재와

Table. 1 Constituents and properties of CCH

Solid Phase	Liquid Phase
$\rho : 1.712\text{g/cm}^3$	$\nu(\text{g/cm}^3) \quad 1.52$
$C_p : 0.344\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{K}$	$C_p (\text{cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{K}) \quad 0.554$
m.p : 29.7°C	temp(°C) 25 30 40 50
$\Delta H_{\text{fusion}} : 40.6\text{cal/g}$	$\mu(\text{cp}) \quad 23.8 \quad 12.6 \quad 13.6 \quad 9.6$
$\kappa : 2.64 \times 10^{-2}\text{cal/cm sec K}$	$\kappa \times 10^4 \quad 122 \quad 125 \quad 129 \quad 134$
	(cal/cm · sec · K)
	$\beta(\text{K}^{-1}) \quad 5.24 \times 10^{-4}$

μ : viscosity

κ : thermal conductivity

C_p : heat capacity

ρ : density

ν : kinematic viscosity

m · p : melting point

β : thermal expansion coefficient

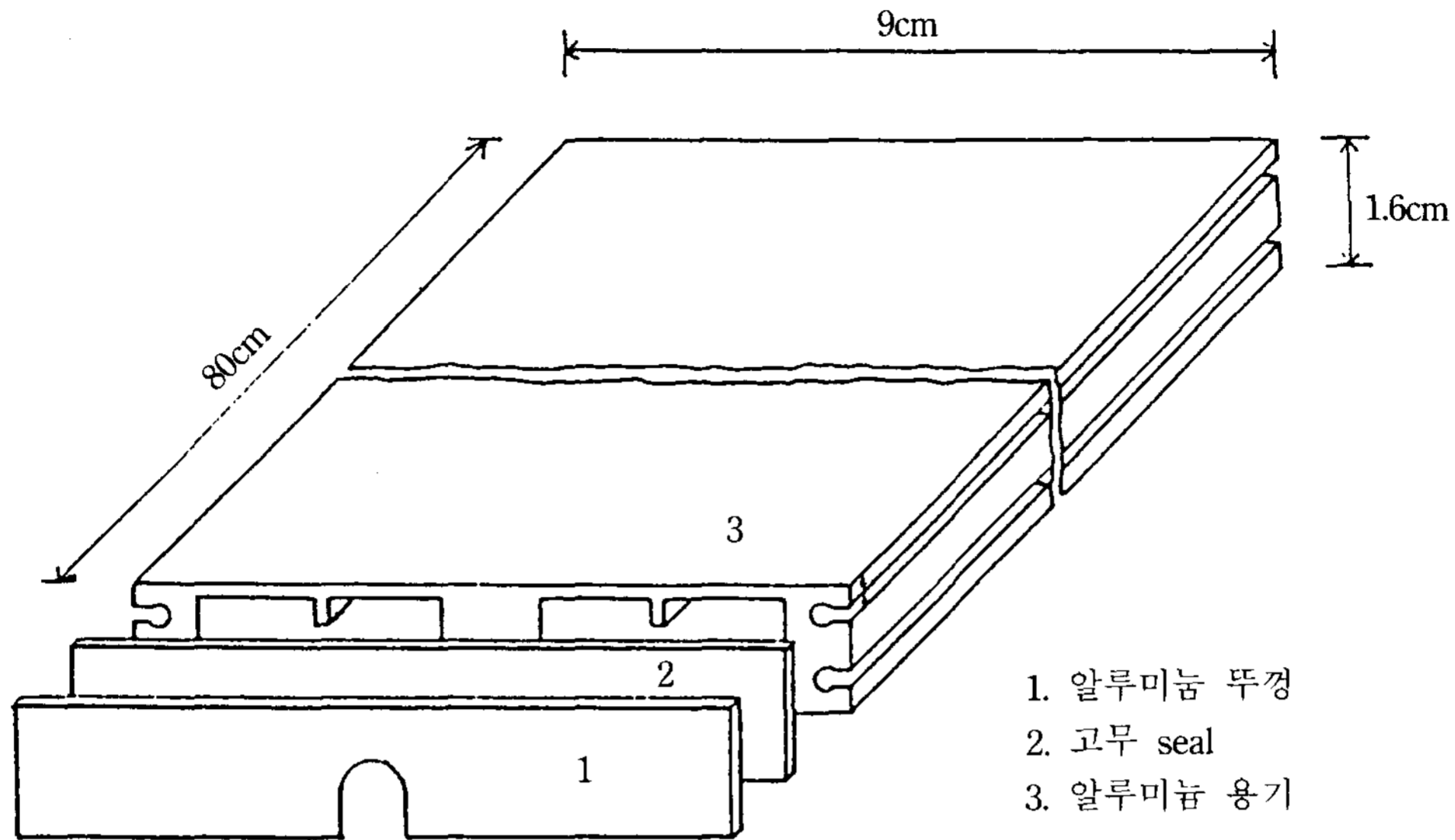


Fig. 1 Aluminium container for CCH

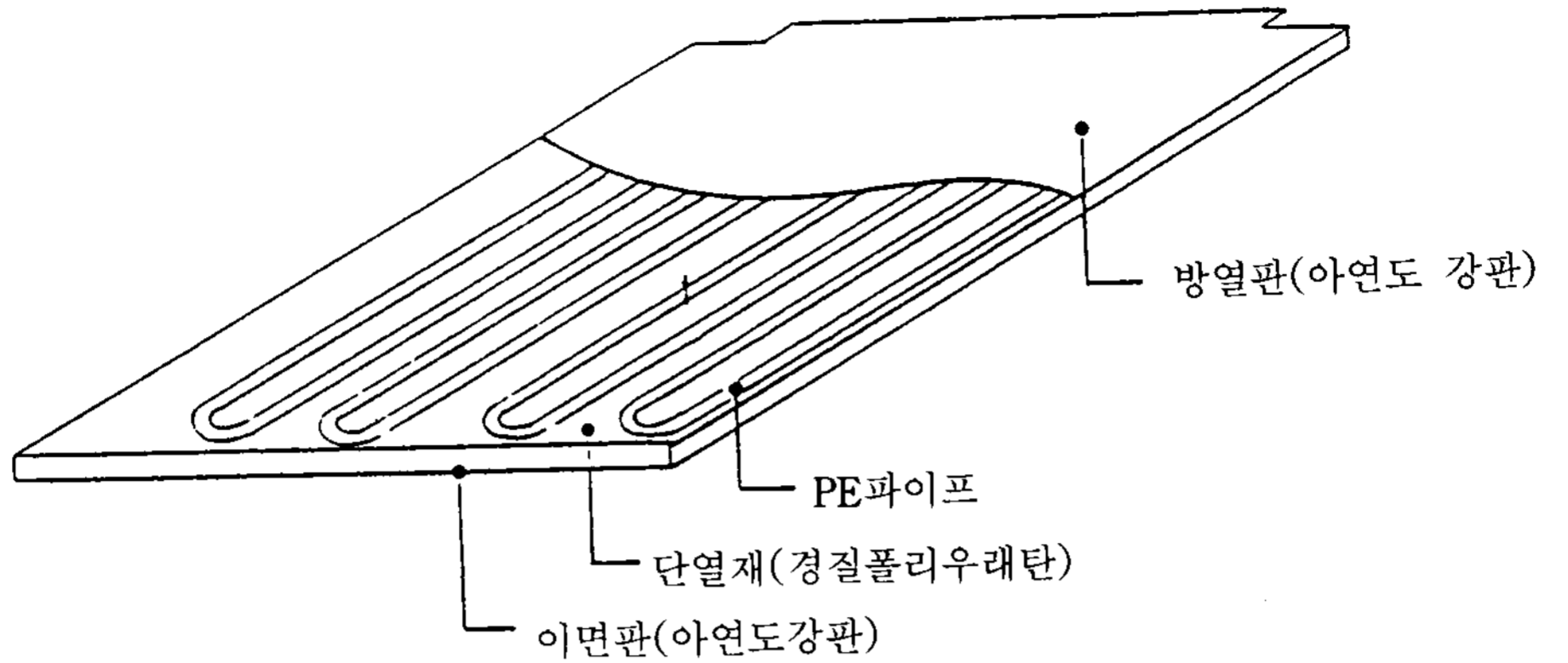
Table. 2 Measuring parameters & Instruments for Aluminum container

구분	측정항목	기기
용기 (P.C.M) (Water)	1/2 Line(9지점 : 5mm 간격)	○ Sensor : C-C 열전대 $\Phi 0.3\text{mm}$ (동-콘스탄탄) ○ 측정 및 기록 HP 3495 HP 3456 Voltermeter LQ 2500(Tri Gem) ○ Flow meter KOBOLD(D-6238 Hoffhemlts) ○ 온수공급 펌프 ○ Timer (RES 19021-2)
	1/4 Line(9지점 : 5mm 간격)	
	측면온도 (1지점)	
	바닥면온도 (1지점)	
	Tygon tube와 용기 사이 (1지점)	
	1/2 Line P.C.M온도 (1지점)	
	1/4 Line P.C.M온도 (1지점)	
	1/2 Line Water온도 (1지점)	
1/4 Line Water온도 (1지점)		
수온	공급온도 (1지점)	
	환수온도 (1지점)	

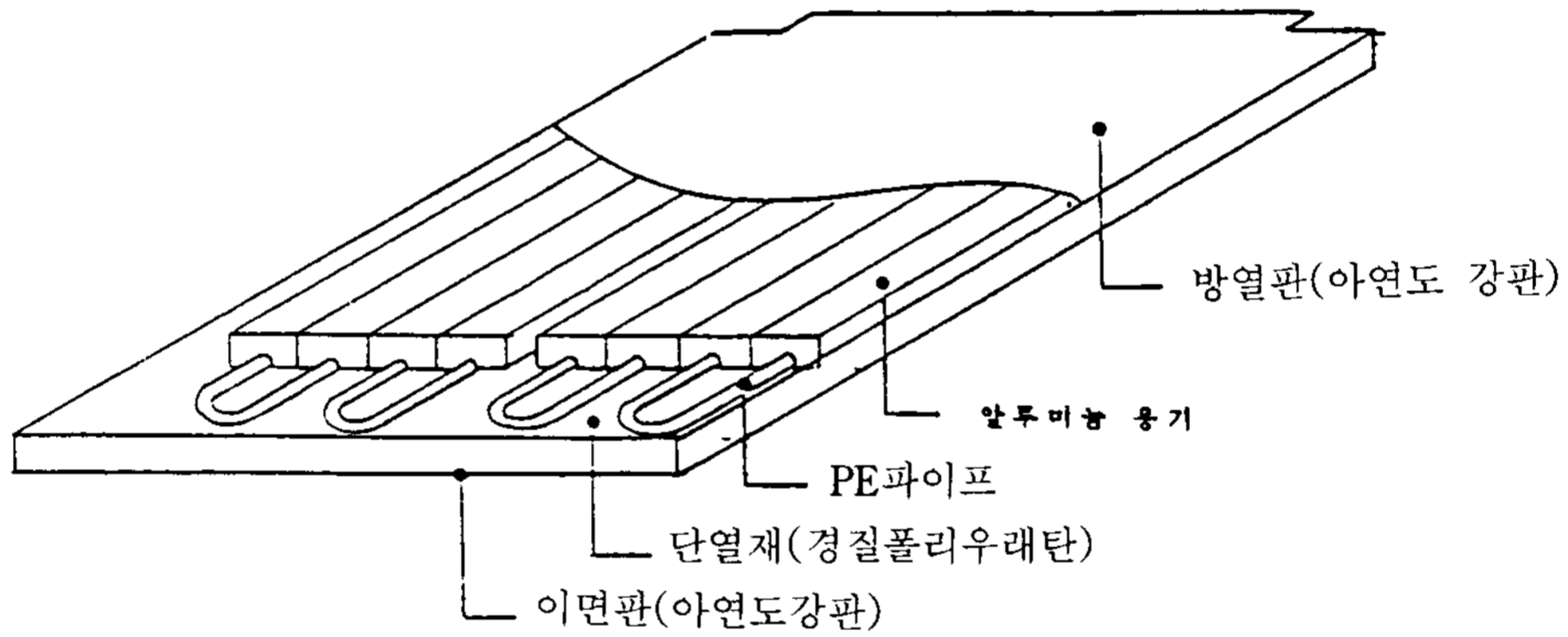
조해제를 넣은 후 마감처리하였다. 잠열재와 물을 넣은 알루미늄용기의 측정장치 개략도는 Fig. 2와 같다. 용기는 바닥면과 측면에서 열손실을 막기 위하여 용기에 50mm 아티론단열을 하여 용기의 윗면에서만 자연방열시킴으로써, 온도패널에 장치하였을 경우와 흡사한 환경을 유지하도록 하였다. 또한 공급온수를 일정시간 보내기 위하여 Timer를 설치하여 on-off작동을 시켰고, 유량은 Gate valve로써 조절하였다. 실험과정에서 상변화물질 내부의 온도분포를 측정하기 위하여 열

전대(T-type. 0.5mm)를 용기 내부에 2지점 설치하였으며, 열전대의 위치는 알루미늄 용기의 1/2과 1/4지점에 설치 하였다. 알루미늄 용기의 측정항목 및 방법은 Table. 2와 같다, 용기실험은 항온조로부터 60°C의 온수를 0.6ℓ/min. 유량으로 보내어 일정시간동안 가열하고, 약 20°C로 유지되는 실내로 자연방열시간 용기표면온도의 시간에 대한 변화를 측정함으로써 물을 이용한 현열 축열과 잠열재의 축열능력을 분석하였다.

실증실험은 실제규모의 건물에서 할 수 없기



a) Ondon-panel without CCH



b) Ondon-panel with CCH

Fig. 2 Ondol panel

Table. 3 Measuring parameters & Instruments for Test cells

구 분	측 정 항 목	측정기기 및 기기류	
Rm. 1 (기존온돌패널)	바닥온도	9지점	○ Sensor : C-C열전대 $\Phi 0.3\text{mm}$ (동-콘스탄탄) ○ 측정 및 기록 HP 3495 2대 HP 3456 Voltermeter LQ 2500 (Tri Gem) ○ 축열조 $\Phi 1000\text{mm} \times 1500\text{mm}^H$ ○ Flow meter CF-500 series(panel) ○ 온수공급 pump ○ Boiler
	수직면온도	9지점	
	벽면(외벽, 천장)	16지점	
	급수온도	1지점	
	환수온도	1지점	
Rm. 2 (기존온돌패널) + (PCM)	바닥온도	9지점	
	수직면온도	9지점	
	벽면(외벽, 천장)	16지점	
	급수온도	1지점	
	환수온도	1지점	
축 열 조	잠열재온도	1지점	
	수직높이(30cm 간격)	5지점	
외기 온도	외기	2지점	

때문에 1평 크기의 실험동을 지어 비교·실험하였다. 실험동은 1.8m×1.8m×1.8m로서 표면적은 19.4m²이고, 체적은 5.8m³이다. 온돌바닥에 설치한 온돌패널은 Fig. 2와 같이 기존패널(G사 제품 : 1.8cm^T×85cm^W×170cm^H)과 기존패널에 잠열재용기를 설치한 잠열재 패널(2.5cm^T×85cm^W×170cm^H)이다.

실증실험은 일정한 온도의 온수를 공급하기 위하여 축열조의 물을 60°C로 유지 시킨 후, 실험동에 축열조의 물을 일정시간 동안(2~4시간) 공급하여 실내공기온 및 바닥표면온도를 측정하였으며, 측정항목은 Table. 3과 같다.

온수를 공급하기 전에 실험동의 문을 열어 바닥 및 실내공기온의 초기온도분포를 같게 한 후 축열조 상부의 diffuser를 통하여 60°C의 물을 flow meter를 통하여 0.7ℓ/min.로 일정하게 공급하였다. 실험동은 순환하여 냉각된 물을 축열조의 하부로 통하여 다시 축열조로 들어가게 하였다. 공급열량하에서의 기존패널을 치한 실험건물(Rm. 1)과 잠열저장 패널을 설치한 실험건물(Rm. 2)의 실내공간의 온도분포 및 바닥온도분포를 비교·분석하고 가열중지후 기존패널과 잠열저장패널의 축열 성능에 따른 실내공간의 온도분포를 비교·분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 알루미늄용기의 실험결과

Fig. 3과 4는 시간경과에 따른 잠열재용기의 표면온도변화를 나타낸 것이다. Fig. 3은 공급유량에 0.92ℓ/min.이고, 공급온수가 60°C이다. Fig. 4는 공급유량이 0.82ℓ/min.이고, 공급온수가 50°C이다. Fig. 3과 4에서 알 수 있듯이 알루미늄용기가 가열되는 동안(3시간) 물을 넣은 용기의 표면온도분포는 잠열재용기에 비해서 급격한 온도 상승을 보여주는 반면, 잠열재를 넣은 용기는 상변화온도인 29°C에서 1~2시간 등온을 유지한 후 온도의 상승 경향을 보인다. 가열이 끝난후 자연방열을 시작하여 약 1~2시간후에 물과 잠열

재의 경우 모두 29°C에 이르렀다. 물의 경우에는 가열을 중지시키면 용기의 표면온도가 하강하여 실내온도와 거의 같게 되는 반면에 잠열재용기는 가열을 중지시키면 현열감소를 보인 후 상변화 구간(잠열구간)에서 장시간 동안 29°C를 유지한 후에 고상(solid phase)에서 현열을 방출하며 냉각한다.

Fig. 5와 6은 용기의 중앙에서 5mm 간격으로 측정된 용기표면온도이다. Fig. 5는 알루미늄 용기가 열시, 용기의 표면온도로써 물을 넣은 용기의 가열 1시간후에 과열상태인 40°C를 나타내는 반면에 잠열재 용기는 상변화온도인 29.7°C를 나타내고 있어 잠열축열 효과에 의해 과열을 방지하고 있음을 알 수 있고, 잠열재가 완전히 녹은 후에는 현열증가를 나타내고 있다. Fig. 6은 가열중지후 자연방열을 시작한 2시간후에는 물과 잠열재의 경우 모두 약 30°C에 이르렀지만, 가열중지후 6시간후에는 용기 표면온도가 하강하여 물을 22°C를 나타내는 반면에 잠열재용기는 28°C를 장시간 동안 나타내고 있어 상변화 구간(잠열구간)을 나타내고 있다.

3. 2 온돌패널의 실험결과

Fig. 7과 8은 기존패널과 잠열저장패널을 2.5시간 가열화 후 자연방열시킬 때의 시간경과에 따른 바닥표면온도 및 실내공기의 평균 온도를 나타낸 것이다. Fig. 7에서 평균온도를 나타낸 것이다. Fig. 7에서 보듯이 Rm. 1의 경우는 가열시 바닥표면 온도가 급격히 상승하여 약 45°C까지 상승하나, 가열이 끝나면 Rm. 2에 비해서 급격한 하강을 나타낸다. Fig. 8은 2.5시간 가열하는 동안 큰 열유속으로 인하여 짧은 시간내에 응용되어 가열이 끝날때까지 약 42°C까지 상승하였다. 가열이 끝난후 방열이 시작되어 액체상태의 잠열재가 현열방출로 인하여 온도가 내려가서 고체화되는 상변화구간을 약 4시간 유지하며, 이때 바닥표면온도 및 실내평균온도는 약간 하강하는 경향을 보여준다. 또한 실내평균온도가 전체적으로 난방기준 온도인 20°C이하로 나타나는 것은 실험을 시작할 때 각 실험건물의 초기조건을 같게

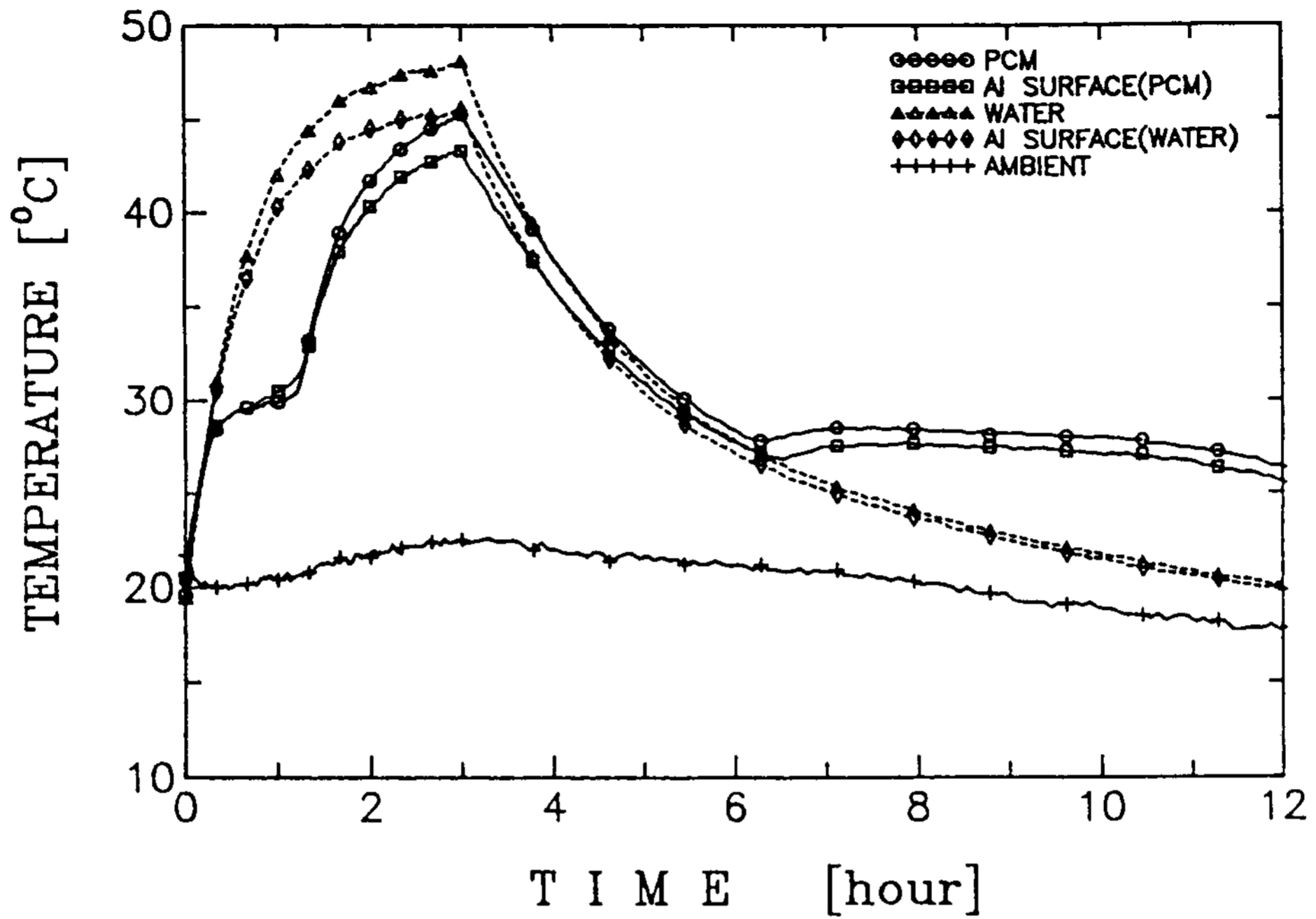


Fig. 3 Surface temperature of Aluminium container(Supply water temperature : 60°C)

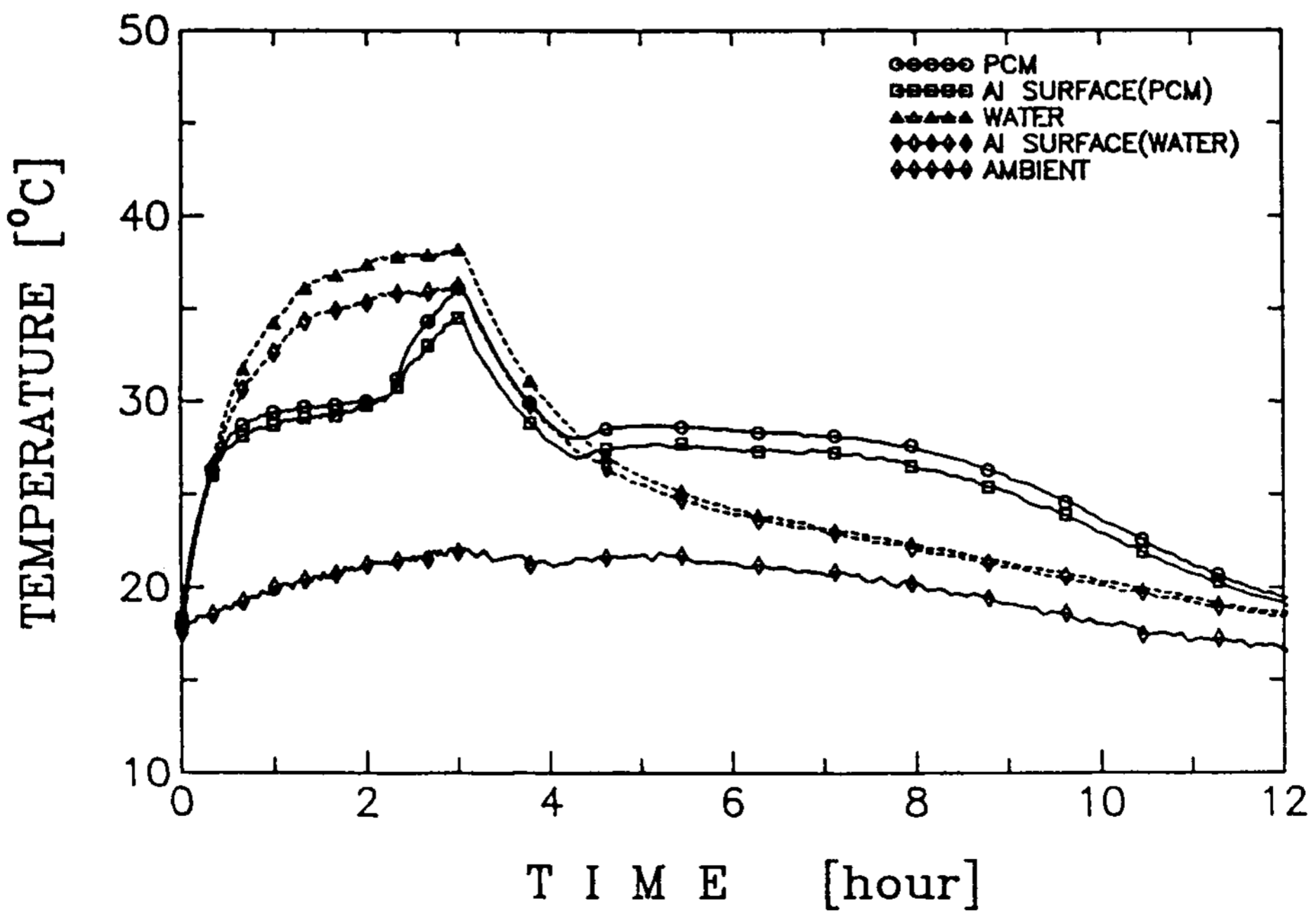


Fig. 4 Surface temperature of Aluminium container(Supply water temperature : 50°C)

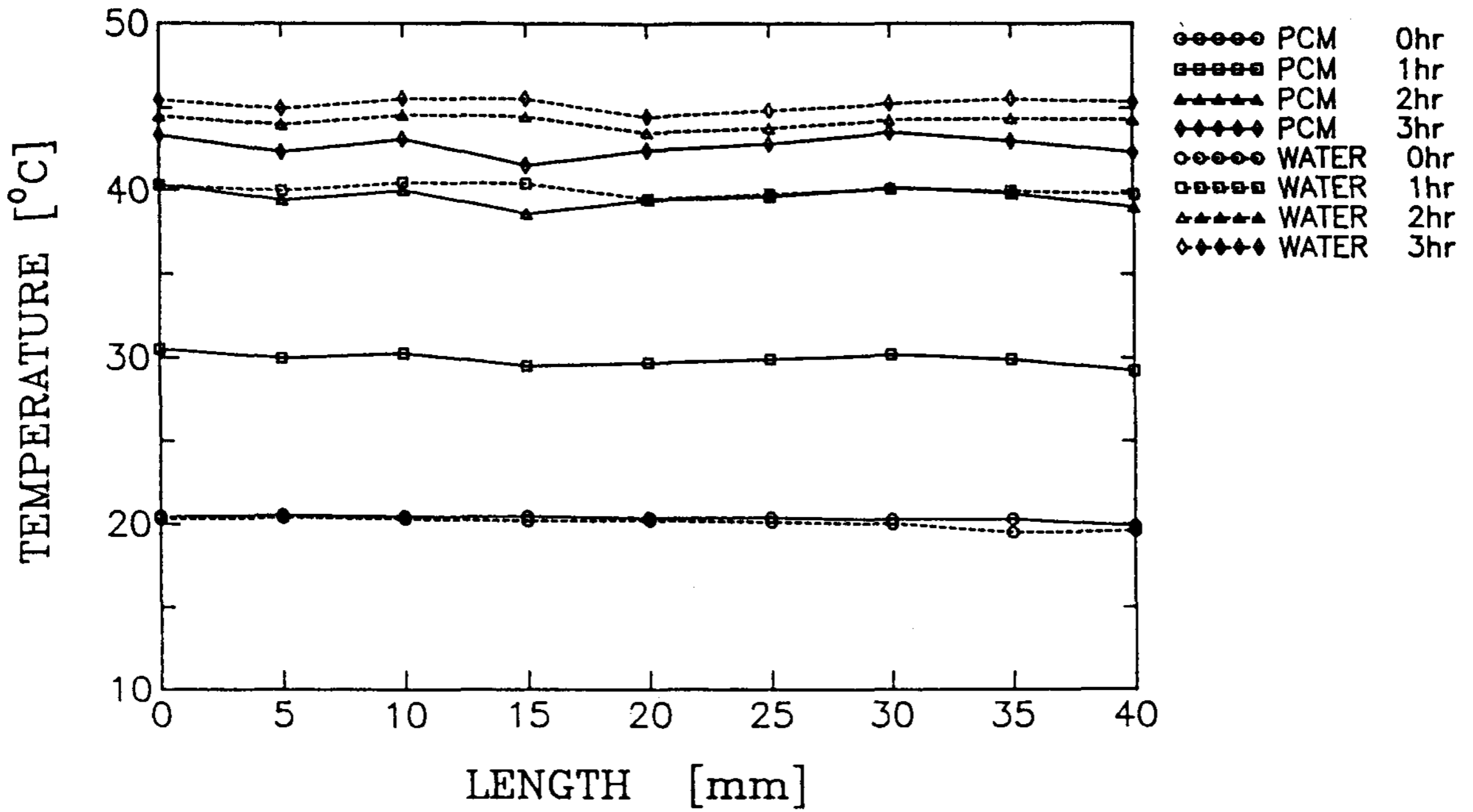


Fig. 5 Surface temperature of aluminium container depending on heating time duration

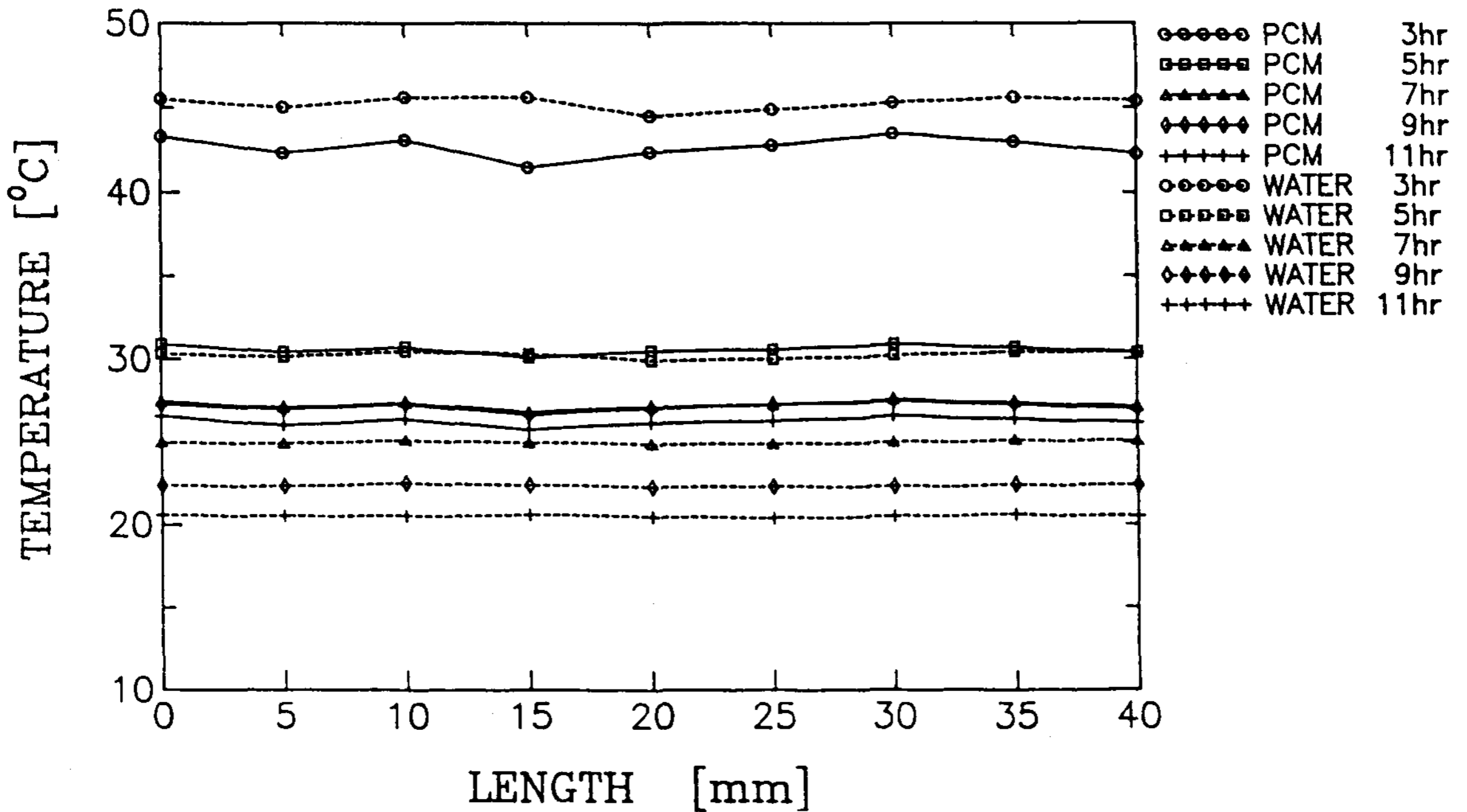


Fig. 6 Surface temperature of aluminium container depending on cooling time duration

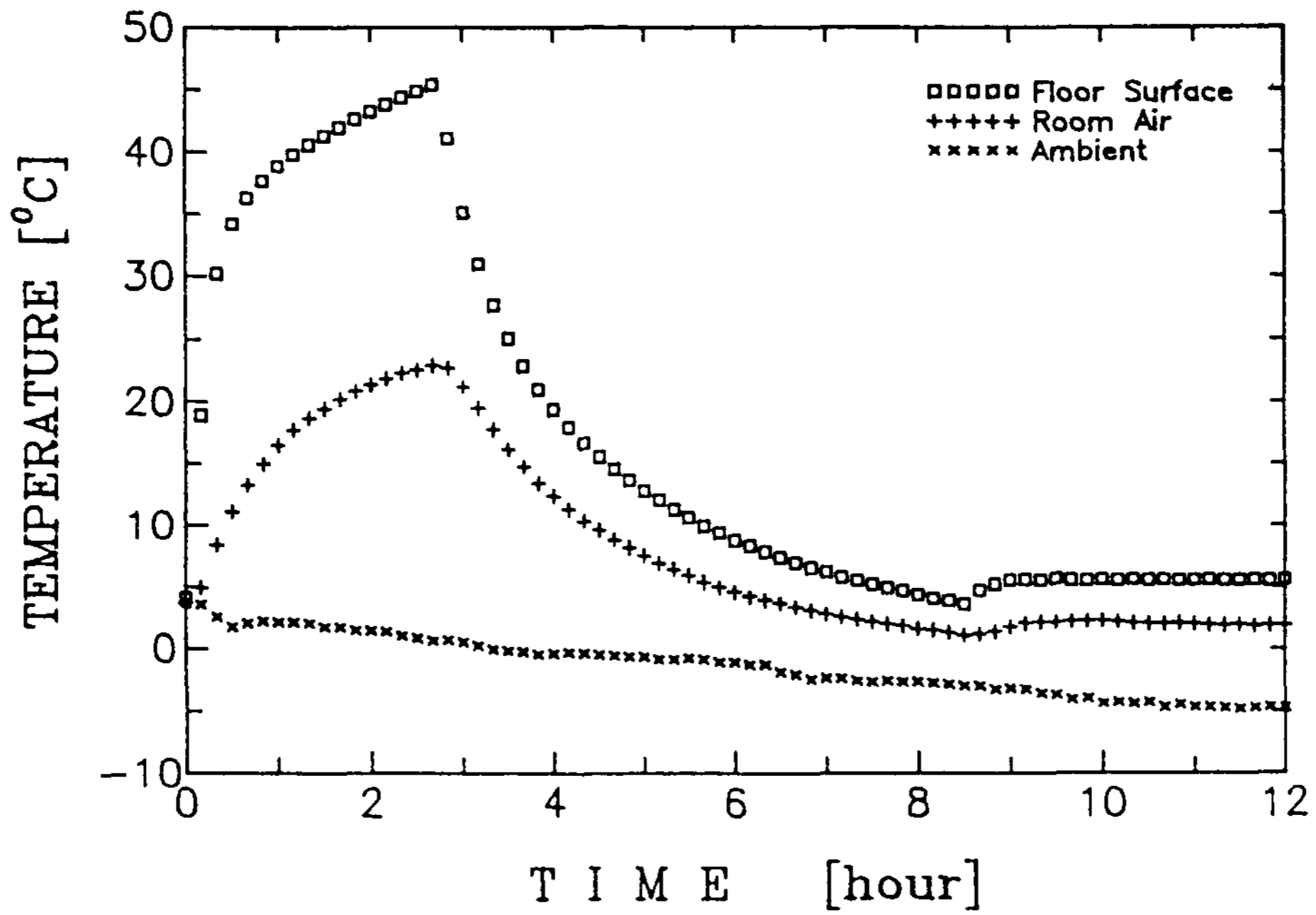


Fig. 7 Average temperature of the room and floor surface in Rm. 1

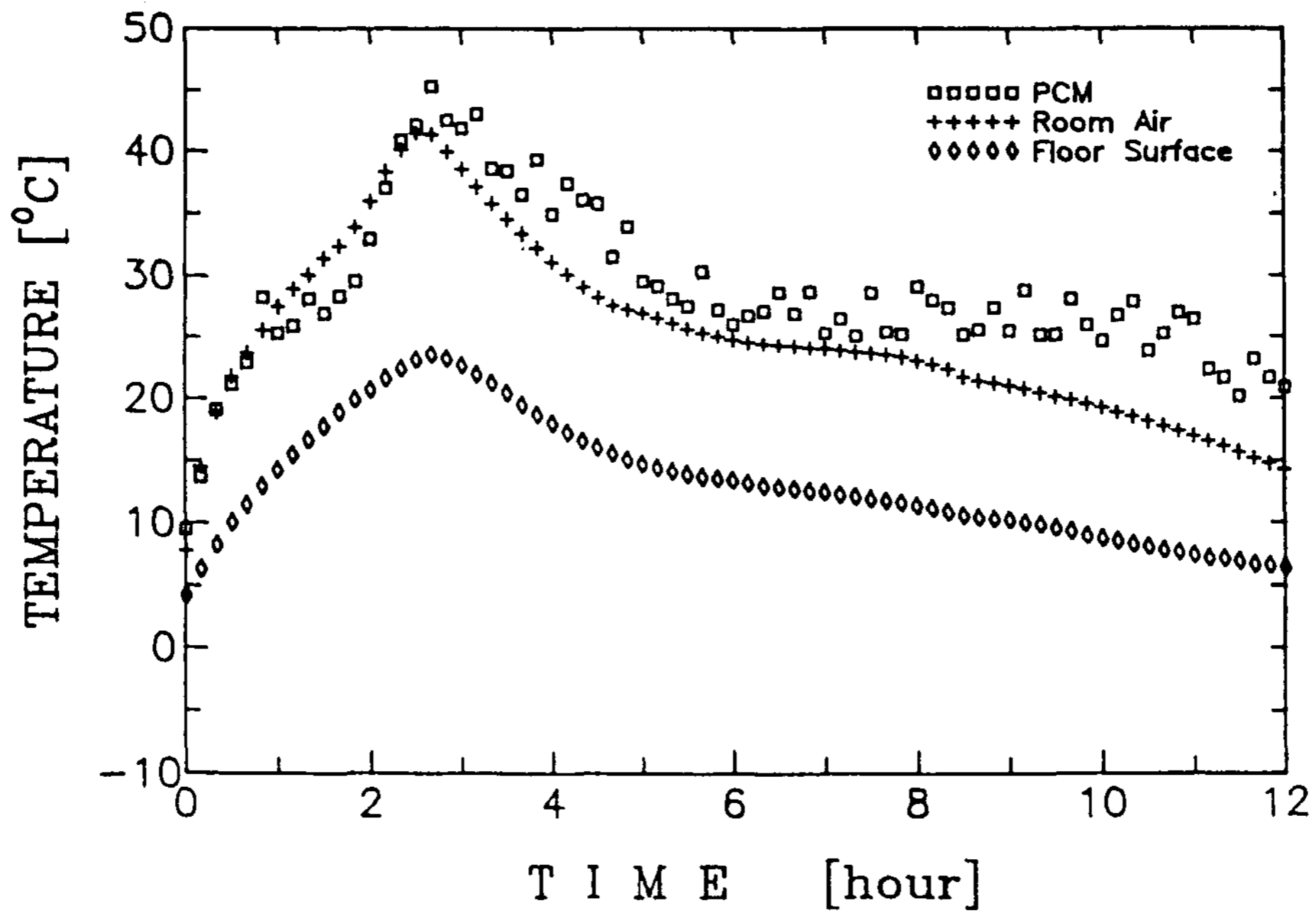


Fig. 8 Average temperature of the room and floor surface in Rm. 2

하고, 또한 잠열재를 고체상태에서 실험을 하기 위하여 장시간 문을 열어 놓아 초기 외기조건인 4°C에서 부터 난방을 시작하였기 때문에 전체적으로 shift-down 됐다고 할 수 있다. 잠열재의 온도가 약간의 진동(±2°C)현상을 보이는 것은 강전해질인 염화칼슘용액으로 인한 전기잡음으로 사료되나 잠열저장재로서의 온도변화 경향을 충분히 나타내고 있으며, 가열 또는 방열될 때의 잠열재는 약 29°C에서 상변화를 하고 있음을 나타내고 있다.

3.3 실험건물의 실증실험결과

Fig. 9~14는 가열시간에 따른 Rm. 1과 Rm. 2의 실내온도 분포를 나타낸 것으로, 실험 건물의 수직단면온도분포 실험결과 SURFER SOFTWARE를 이용해서 나타내었다. Fig. 9와 10은 가열시작때의 Rm. 1과 Rm. 2의 초기 실내온도로써 모두 8°C이하의 균일한 실내온도분포를 나

타내고 있다. Fig. 11과 12는 가열시작후 1.5시간이 지난 실내온도분포로써 22.0°C~24.5°C(평균 23.5°C)이고, 잠열재패널의 온도 분포는 20.2°C~21°C(평균 20.6°C)로써, 기존올돌패널의 실내온도가 약 3°C 높게 나타나지만, Rm. 1은 실내온도가 과열상태로써 실내상하 온도차가 있는 반면에 Rm. 2는 Rm. 1에 비해서 거의 온도차가 나지 않음을 보여주고 있다. Fig. 13과 14는 가열중지후 4시간이 지난 실내온도로써 가열중지후 4시간 경과의 실내 온도의 분포 상태를 살펴본 결과, 기존올돌패널의 온도분포는 8.7°C~9.2°C(평균 9.0°C)이고, 잠열재패널의 실내온도의 실내온도 분포는 16.4°C~17.0°C(평균 16.7°C)로써 실내평균 온도차는 7.7°C로 나타났다. 열저장 능력이 거의 없는 Rm. 1의 경우는 실내온도가 많이 떨어졌지만 Rm. 2의 실내온도분포는 잠열축열의 영향으로 바닥온도가 30°C를 유지하고, 실내온도는 16~22°C의 쾌적한 온도분포를 나타내고 있다.

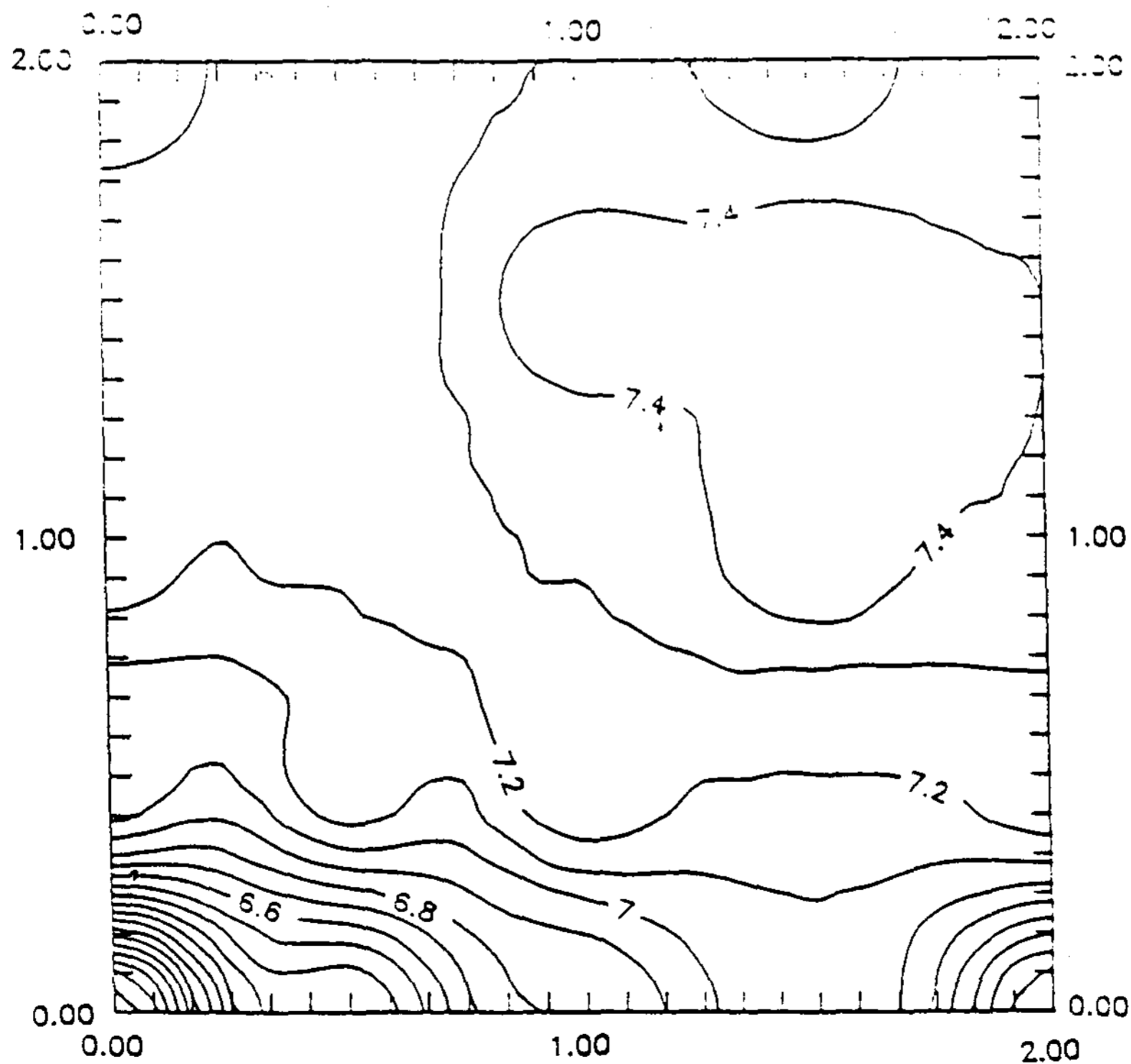


Fig. 9 Indoor air temperature (Rm. 1, elapsed time : 0hr)

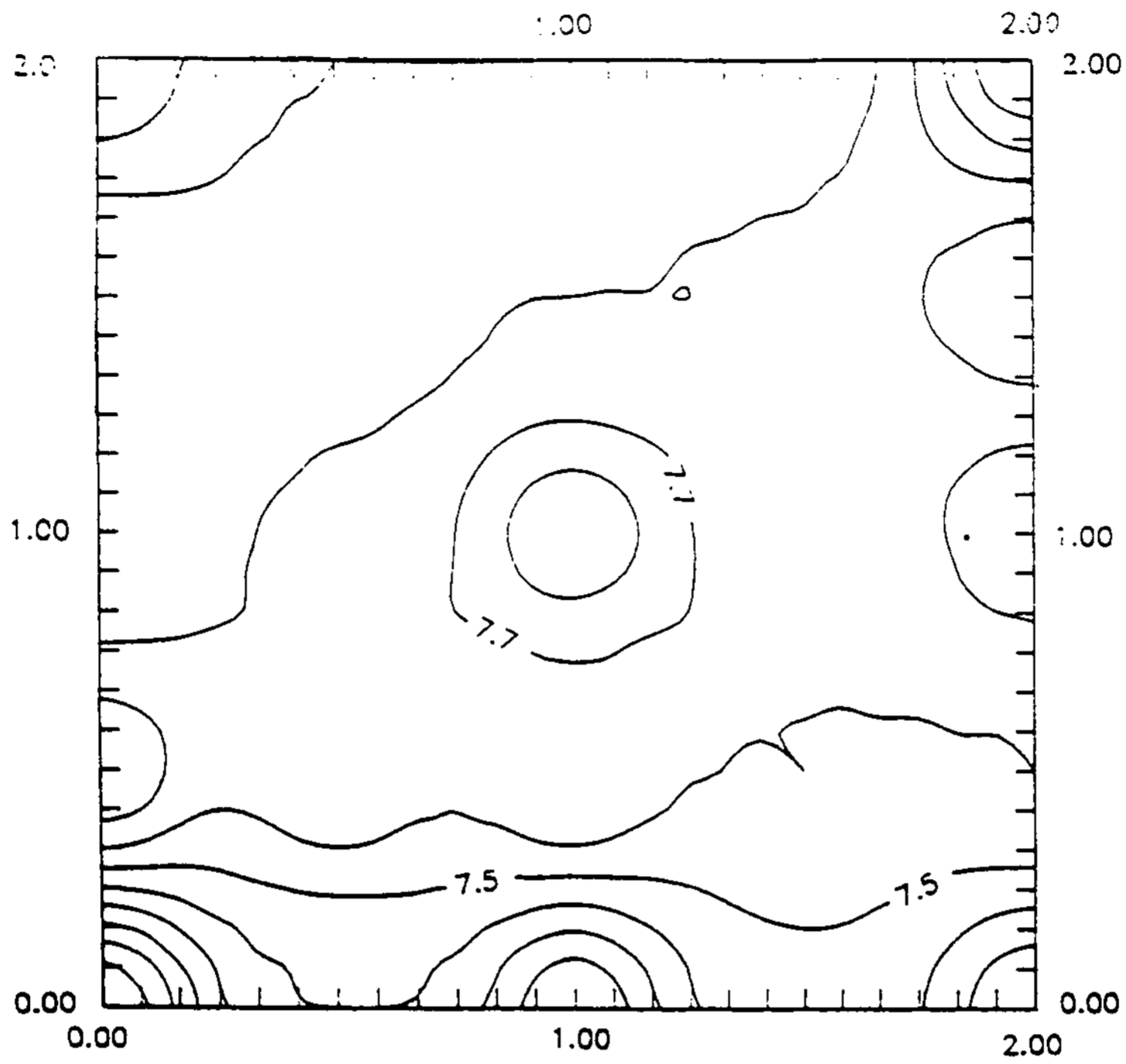


Fig. 10 Indoor air temperature (Rm. 2, elapsed time : 0hr)

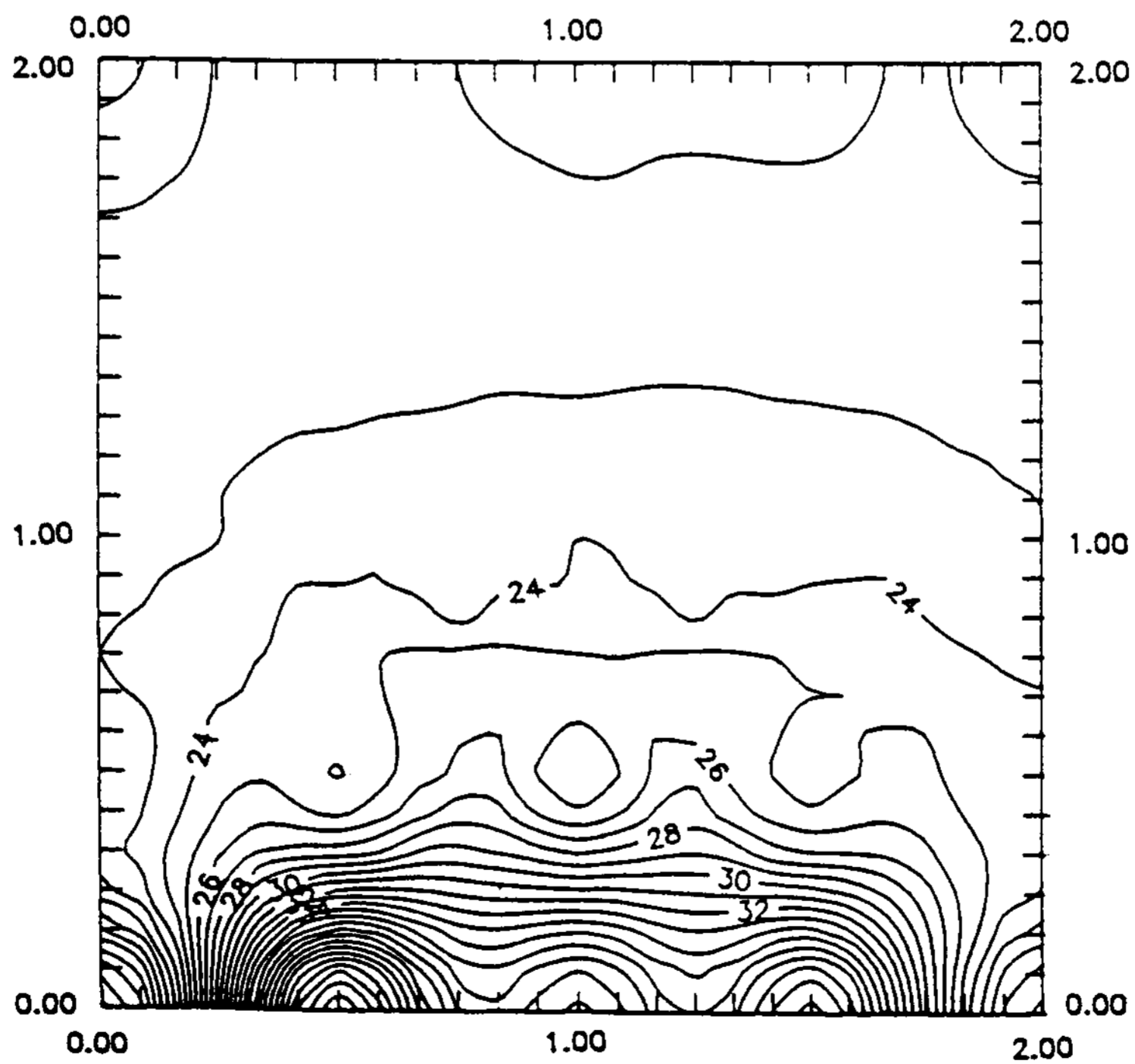


Fig. 11 Indoor air temperature (Rm. 1, elapsed time : 1.5hr)

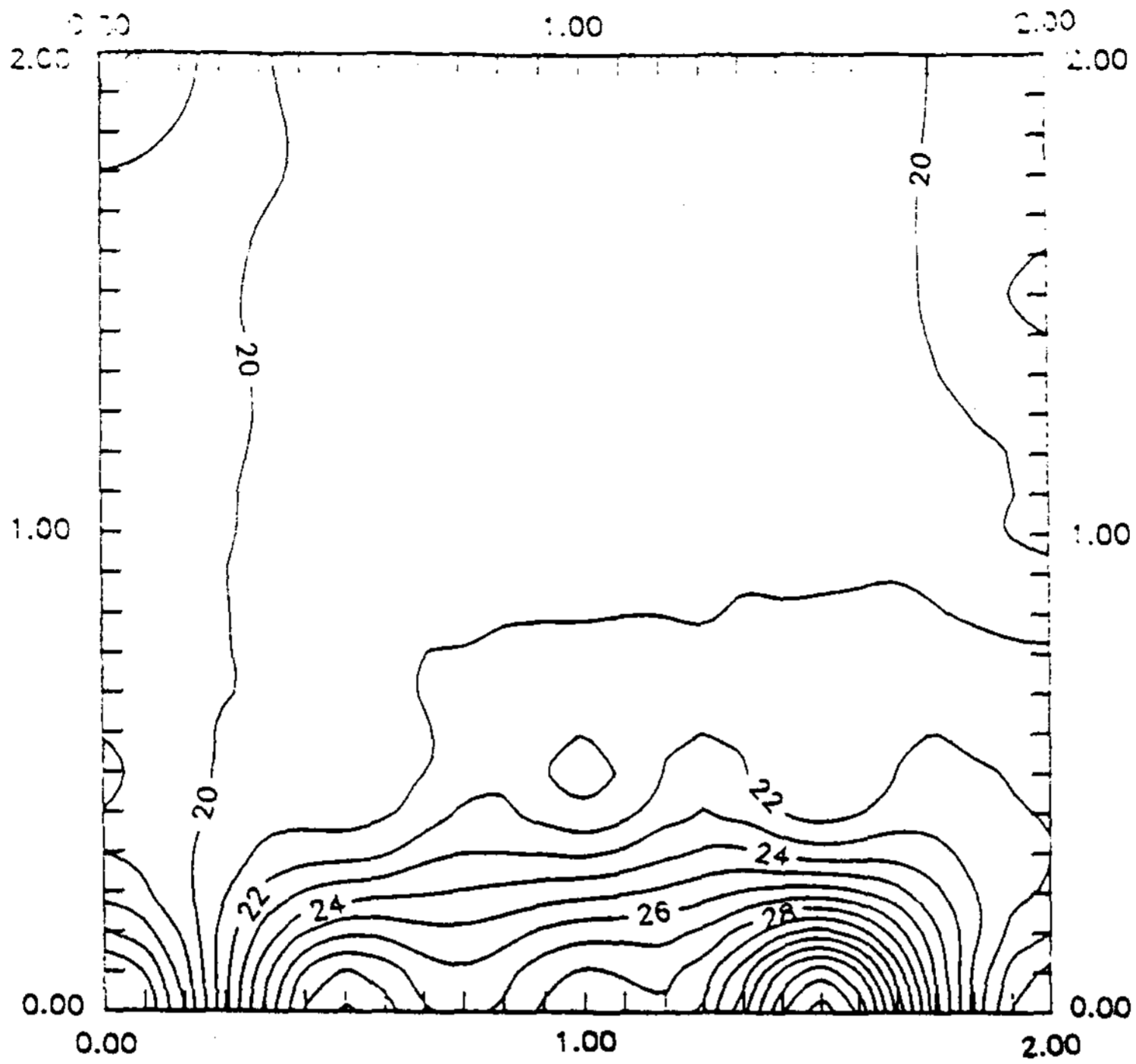


Fig. 12 Indoor air temperature (Rm. 2, elapsed time : 1.5hr)

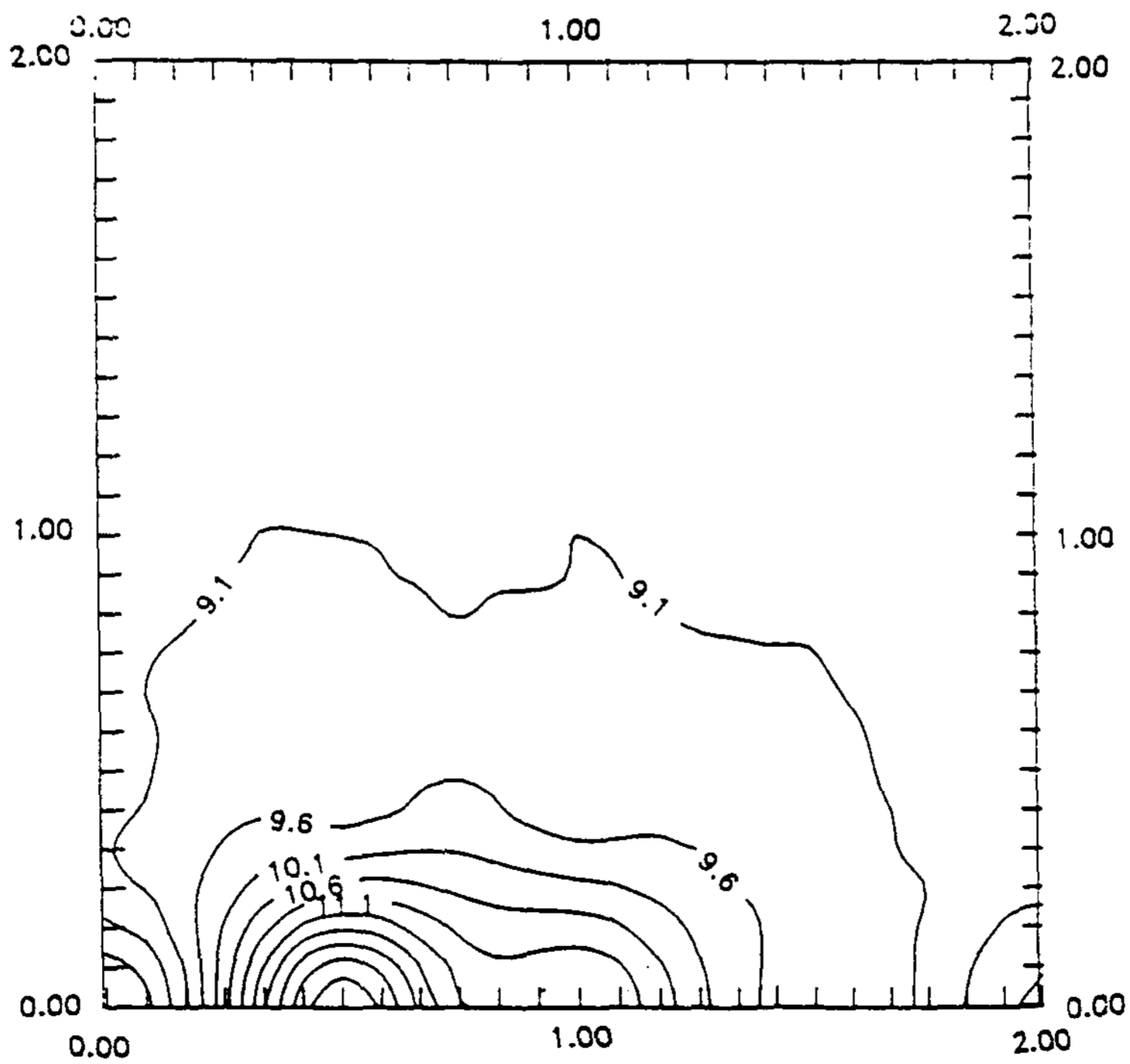


Fig. 13 Indoor air temperature (Rm. 1, elapsed time : 6hr)

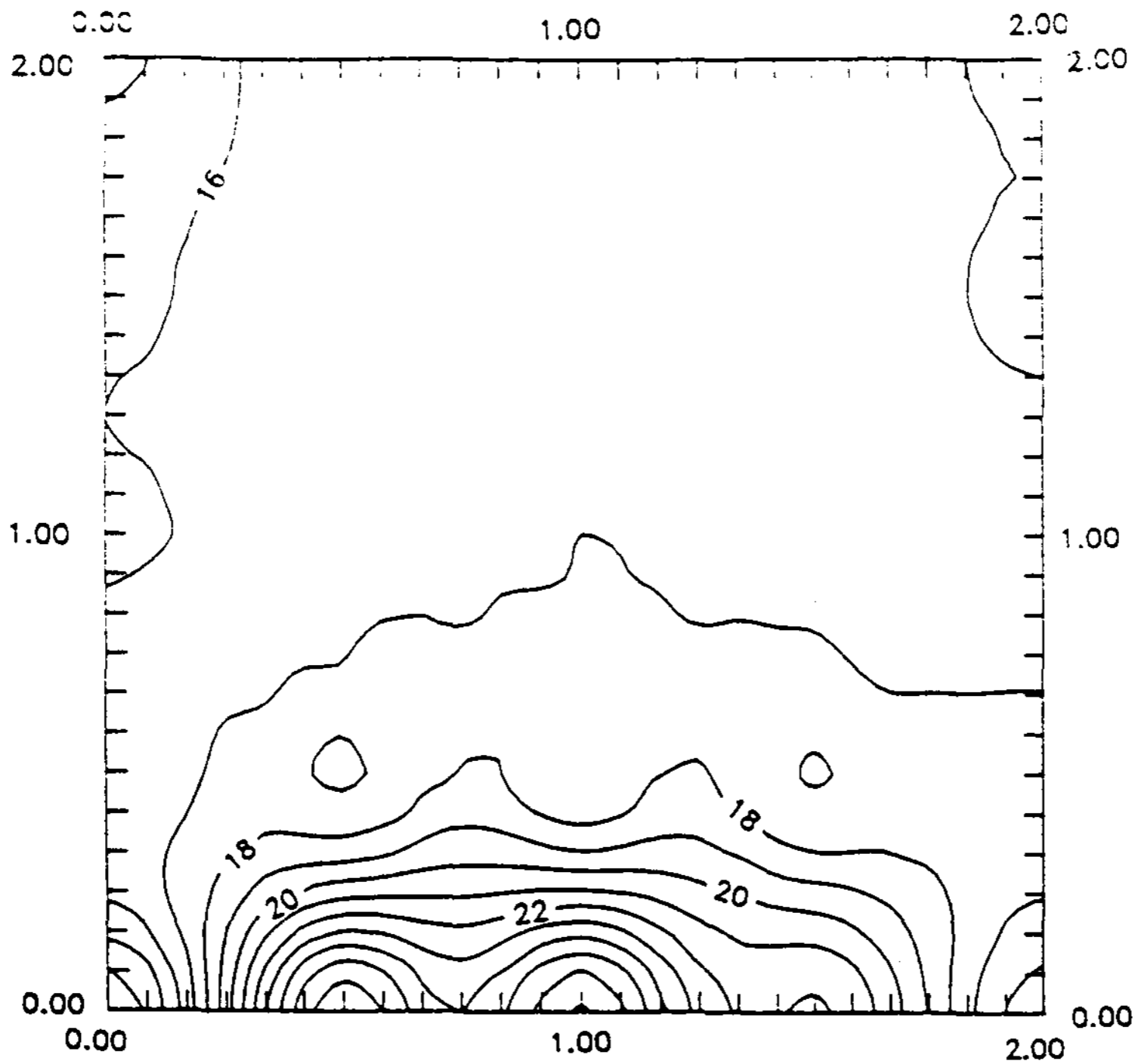


Fig. 14 Indoor air temperature (Rm. 2, elapsed time : 6hr)

5. 결 론

본 연구는 주거용건물에서의 난방에너지 소비량절감 및 실내환경의 쾌적도 향상을 목적으로 잠열재용기의 축열 및 방열특성을 파악하고, 잠열재용기를 기존패널에 응용하여 난방공간의 실내온도분포를 실험·분석하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 실험결과 잠열재의 상변화 과정에서 방열되는 시간은 축열에 필요한 가열시간의 2~3배였으며, 잠열재를 사용치 않는 기존 시스템에 비하여 4배이상 증가시킬 수 있음을 발견 하였다.

2. 가열시 물을 넣은 용기는 과열상태를 나타내지만 잠열재 용기는 잠열축열 효과에 의해 과열을 방지하고 있음을 알 수 있고, 자연방열시에는 장시간 동안 상변화구간(잠열구간)을 나타내고 있다.

3. 가열시간 15시간후의 실내온도분포를 살펴보면 기존온도패널의 실내온도분포는 22°C~24.5°C(평균 23.5°C)이고, 잠열재 패널의 온도분포는 20.2°C~21.0°C(평균 20.6°C)로써, 기존온도패널의 실내온도가 약 3°C 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 기존패널은 잠열재패널에 비해 투입열량이 축열이 되지 않고, 실내로 방열이 되기 때문인 것으로 사료된다.

4. 동일한 공급열량하에서 가열중지 4시간 경과의 실내온도의 분포 상태를 살펴본 결과, 기존패널의 온도분포는 8.7°C~9.2°C(평균 9.0°C)이고, 잠열재패널의 실내온도 분포는 16.4°C~17.0°C(평균 16.7°C)로써 평균온도차는 7.7°C로 나타났다. 이는 기존패널과 잠열재패널의 축열성능의 차이에 있는 것으로 사료된다.

5. 상변온도가 29°C인 염화칼슘6수화물은 바닥난방에 적합한 잠열저장재로써 기존 패널보다 쾌적한 실내온도와 바닥표면을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 이 종호외 3인, Phase change를 이용한 태양열의 저장, Energy R & D, 한국동력자원연구소, 제5권 제4호, 1982년.
- 2) 오 병철외 1인, 축열재에 따른 온수온도의 열효율에 관한 연구, 대한건축학회술발표논문집, 제5권 제2호, 1985年 9月.
- 3) 이 채문의 1인, "Na₄P₂O₇ · H₂O의 축열방열시 열전달 특성에 관한 연구", 태양에너지, 제9권 제1호, 1989.
- 4) 김 종엽외 3인, "CaCl₂ · 6H₂O 결정화의 속도론적 고찰", Energy R & D Vol.8, No.1-2, 1986.
- 5) Perry's Chemical Enginners' Handbook(6th ed.), McGraw-Hill Book company.
- 6) S. Aboul-Enein and M.R.I. Ramdan, Storage of low temperature heat in salt-hydrate melts for heating applications, Solar & Wind Technology, Vol.5, No.4, 1988.
- 7) A, Abhat, Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage : Heat Storage Materials, Solar Energy, Vol.30, No.4, 1983.
- 8) 琴 鐘洙外 4人, 蓄熱床暖房システムに関する研究, 日本建築學會大會學術講演概要集(九州), 1989年 10月.

In the present investigation, experimental analysis was performed to research heat transfer phenomena generated by means of conduction and natural convection at a succession of tube-inclinations relative to the vertical tube during inward melting process of a phase change material.

The phase change material used in the experiments is 99 percent pure n-docosane paraffin($C_{22}H_{46}$).

When the tube is vertical, the dominant mode of energy transfer between the tube wall and the melting interface is natural convection. On the other hand, when the tube is inclined to the vertical, the melting solid is brought into direct contact with the tube wall by the action of gravity.

In the experimental results, direct contact gave rise to substantial enhancements in the amount of melted mass, relative to those for natural-convection-dominated melting.

Indoor Air Temperature Distribution in a Floor Heating Space with PCM Panels

Cho, Soo* · Sohn, Jang Yeul**

*Korea Institute of Energy Research

**Dept. of Architectural Engineering, Hanyang Univ.

The purposes of the present study are to investigate the characteristics of heat storage and emission of the PCM($CaCl_2 \cdot 6H_2O$) panel, and to analyze the distribution of indoor air temperature in a floor heating space with PCM panels for the heating system. Two identical unit test cells sized $1.8m^W \times 1.8m^L \times 1.8m^H$ were built and installed with specially designed aluminium Ondol-panels. It held 1.2kg of calcium chloride hexahydrate(CCH).

It was found that PCM panels could reduce the indoor air temperature fluctuations and maintain the phase changing temperature for considerably long duration, 2~3 times longer in heating hour over no-CCH one. When the elapsed time was 6 hours, the average temperature difference between PCM panel and Ondol panel was $7.7^\circ C$

An Investigation into the Building's Thermal Mass Effect on the Variation of Indoor Temperature

Chun, Wongee, Jeon, Myung Seok

Korea Institute of Energy Research

This paper is concerned with the accurate estimation of the thermal mass effect on the variation