

- 상변화 물질을 이용한 Direct Gain System의 열성능 향상에 관한 연구 -

( An Experimental Study on the Improvement of Thermal Performance  
in Direct Gain System using Phase Change Material)

○ 윤 덕 규\* 송 국 섭\*\* 이 언 구\*\*\* 이 명 호\*\*\*  
Yun, Duk Gyu Soon, Gook Sup Rhee, Eon Ku Lee, Myung Ho

ABSTRACT

This experimental study has been performed to investigate the thermal performance of Phase Change Material in Direct Gain Passive Solar System.

The data were obtained from two test models with identical sensible heat capacity: The one with brick as thermal mass; and the other with Phase Change Material and brick combined brick. The magnitude of temperature swing in the model with brick as thermal mass was twice as high as that of temperature swing in the model with PCM and brick combined. It is determined that the Phase Change Materials as thermal mass in Direct Gain System are able to improve thermal environment, to reduce energy consumption and to increase useful floor area.

1. 연구의 목적 및 방법

Direct Gain System은 실내의 온도 변화폭이 크기 때문에 과열과 과냉현상이 발생하여 쾌적한 실내환경을 유지하기 어렵게 된다. 이때 축열재로 상변화 물질(PCM:Phase Change Material)을 이용하면 이와같은 단점을 개선할 수 있을 뿐만 아니라 열에너지 저장에 필요한 공간을 절약할 수 있다.

본 연구에서는 실험모델을 제작하고 각 부위 별로 온도 Sensor를 설치하여 열성능 향상 효과를 정량 분석하고, 상변화물질을 자연형 태양열 시스템에 적용할 경우 열성능 개선의 타당성을 검토하여 시스템 설계에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. PCM의 종류 및 열적특성

상변화물질은 상변화에 따른 잠열을 이용하는 것으로 여러가지의 재료가 있으나 저정한 전이온도 영역을 가지며, 열용량 및 잠열, 과냉현상,

화학적 안정, 반복성, 재현성등 여러가지 조건이 부합되어야 한다. 이러한 조건에 대체적으로 만족할 수 있는 PCM축열재는 <표 1>과 같은 것이 있다.

<표 1> PCM 재료

감 열 재	상변화 온도 (°C)	용융열(무게) (kJ/Kg)	밀도 (Kg/m <sup>3</sup> )	용융열(체적) (MJ/m <sup>3</sup> )
C <sub>18</sub> - C <sub>16</sub> 파라핀	44 - 48	209	786	160
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	27 - 30	170	1670	280
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	40 - 43	140	1830	260
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	32 - 35	247	1440	360
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	35	265	1520	400
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	32	251	1460	370
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ·5H <sub>2</sub> O	48 - 49	210	1730	360

3. PCM의 제작

상변화 물질은 국내에서 시판되는 기존의 재료가 없으므로, 비교적 제작이 용이한 CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O를 선택하여 실험체를 만들었다. CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O는 80°C의 온도와 염화칼슘을 용적비는 8 : 21 (1 : 1.6)로 혼합한 후 서서히 온도를 낮추면서 저온온도에서 상변화가 발생하는지 확인하여 제작하였으며 이를 원통형 알루미늄 용기 (지름 100 mm, 높이 70mm)에 밀봉 저장하였다.

\* 중앙대 대학원  
\*\* 부천공전 교수  
\*\*\* 중앙대 교수

#### 4. 실험 모델의 제작

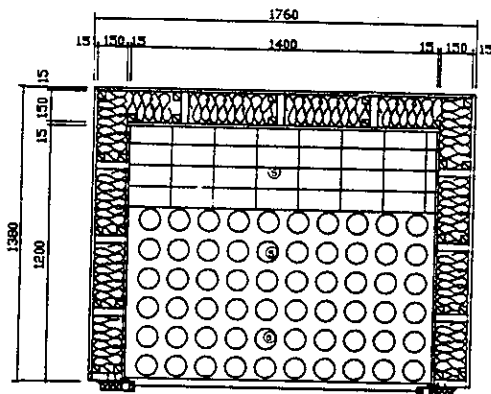
2개의 실험 모델을 제작하여 1개의 모델에는 PCM과 벽돌을 혼합 설치하였고 또 다른 모델에는 현열재인 벽돌만을 설치하여 두 모델의 현열량을 동일 하였다.

< 표 2 > 실험 모델의 특성

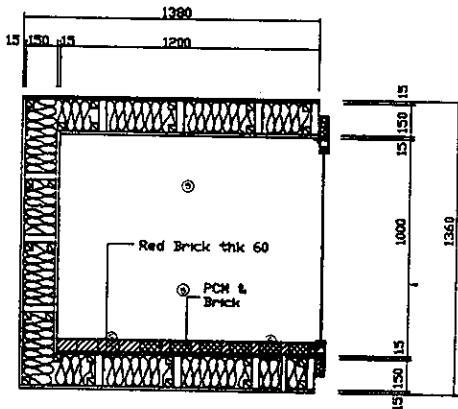
항 목	규 격	구 조	성능(Kcal/M <sup>2</sup> h°C)
직접창	1.4M × 1.0M	2MM유리·6MM공간·2MM유리	3.046
수 직	1.29M×1.18M	15MM 합판 + 150MM 폴리스틸렌 + 15MM 합판	0.207
윗 직	1.58M×1.18M	15MM 합판 + 150MM 폴리스틸렌 + 15MM 합판	0.207
바닥지붕	1.58M×1.23M	15MM 합판 + 150MM 폴리스틸렌 + 15MM 합판	0.207

< 표 3 > 실험 모델의 구성

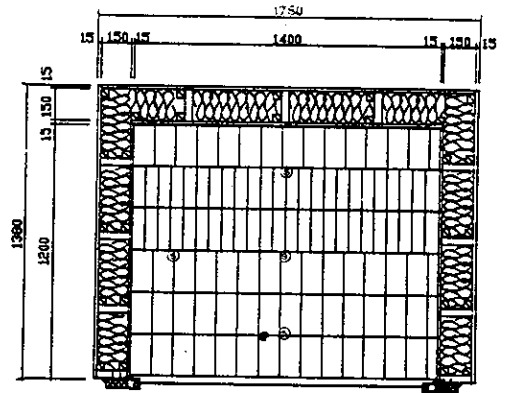
항 목	모 델 1	모 델 2
층열저	벽세의 붉은 벽돌	PCM + 벽세 벽돌
층열량	모델 1과 모델 2는 동등한 현열량으로 하였다.	



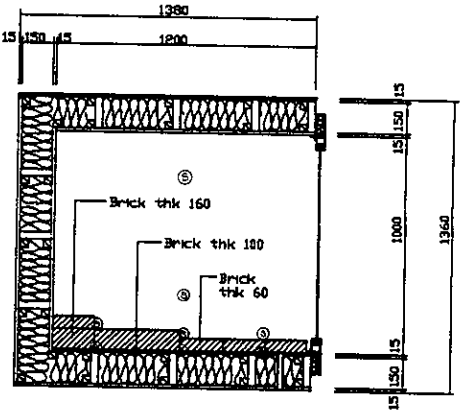
[그림 1] A 실험 MODEL의 평면도 및 Sensor위치



[그림 2] A 실험 MODEL의 단면도 및 Sensor위치



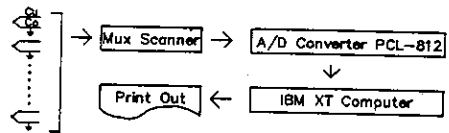
[그림 3] B 실험 Model의 평면도 및 Sensor위치



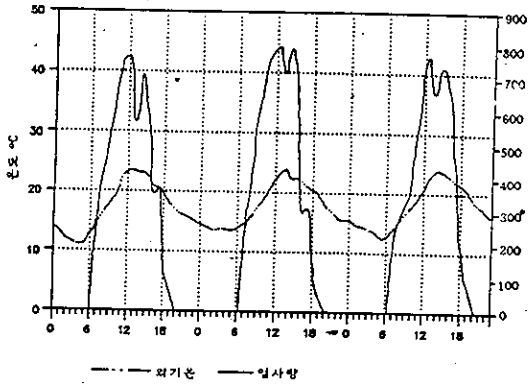
[그림 4] B 실험 Model의 단면도 및 Sensor위치

#### 5. 실험 실측

- 1) 실험장소: 서울시 동작구 흑석동 중앙대학교 공과대학 옥상
- 2) 실험기간: 1990년 5월 21일 00시 - 5월 27일 23시
- 3) 실험기기: 「그림 5」와 같이 Sensor와 Computer를 연결하여 측정 시스템을 구성 하였다.



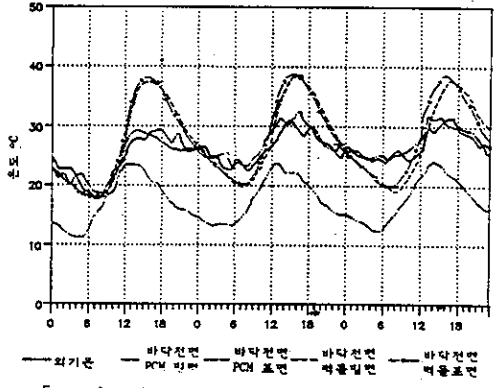
[그림 5] 실험기기의 구성도



[그림 6] 측정기간동안의 기상

6. 실험 결과

1) 축열 부위별 온도 변화



[그림 7] 전면 축열 부의 온도 변화

모델의 전면 부위에서 PCM이 설치된 부분의 온도 변화폭은 약 9°C로 나타난 반면, 일반 벽돌을 설치한 모델에서는 약 19°C로 나타나, 온도 변화폭에서 매우 큰 차이를 나타내고 있다. 따라서 PCM 재료는 온도 변화폭을 줄이는데 매우 효

< 표 4 > 축열부위의 최고 최저 평균 온도

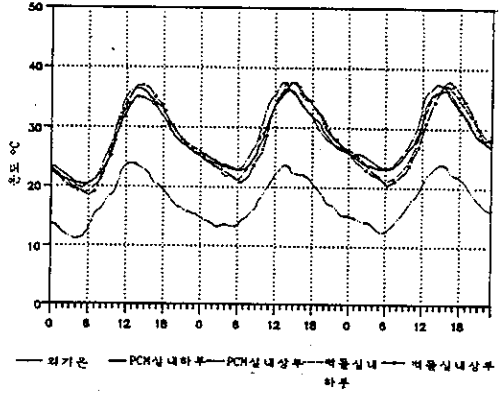
기호	기호 설명	23 일		24 일		25 일				
		최고	최저	평균	최고	최저	평균			
---	외기온	23.9	11.2	17.1	23.9	13.1	17.5	24.1	12.2	17.7
---	바닥전면 PCM방부	28.5	17.5	24.0	31.3	21.8	26.2	31.4	23.6	26.7
---	바닥전면 PCM표면	29.5	18.5	24.7	31.7	22.8	27.3	32.1	24.0	27.5
---	바닥전면벽돌방부	37.4	17.6	26.7	38.6	19.7	28.1	37.8	19.2	27.8
---	바닥전면벽돌표면	38.5	17.9	27.1	39.2	20.0	28.5	38.6	19.6	28.2

< 표 5 > 축열 부위별 온도 평균치

모델별 온도구분 부위	A 실험 모델				B 실험 모델			
	최고	최저	진폭	평균	최고	최저	진폭	평균
건전 바닥 방부	30.4	21.0	9.4	25.6	38.0	18.8	19.2	27.5
건전 바닥 표면	31.1	21.8	9.3	26.5	38.8	19.2	19.6	27.9

율적인 재료로 실내의 쾌적환경과 최대 냉난방부하를 줄일 수 있는 재료로 평가 된다.

2) 실내의 기온 변화



[그림 8] 실내 기온의 변화

두 실험 모델의 온도 평균치는 거의 같은 것으로 나타났다. 이는 실험 모델의 축열량을 상호 동일하였기 때문으로 풀이 된다. 실내 온도의 결정은 PCM 뿐만 아니라 일반 현열재의 영향도 받기 때문에 바닥부에 PCM을 설치하여도 평균온도는 큰 차이가 없었으나, PCM을 설치한 실험 모델의 경우 온도변화의 진폭이 약 2-3°C 이상 줄어든 것을 보여 주고 있어서 PCM이 실내 온도변화에 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 본 연구에서는 실험 모델의 용적 제한 때문에 소량의 PCM만을 사용 하였으나 실제건물에서 충분한 양의 PCM을 사용하면 실내 온도의 변화이 더욱 감소하여 열환경을 향상시키며, 또한 냉난방 부하를 감소시키는데 효과적인 것으로 판단된다. 또한 PCM의 사용은 축열재의 용적을 줄일 수 있어서 실내 공간의 활용에 유리할 것으로 보인다.

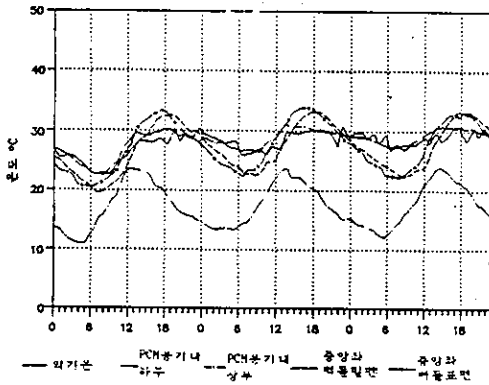
< 표 6 > 실내 기온의 최고 최저 평균 온도

기호	기호 설명	23 일		24 일		25 일				
		최고	최저	평균	최고	최저	평균			
---	실내기온 하(PCM)	35.2	20.3	27.0	36.3	23.1	28.4	36.1	23.1	28.7
---	실내기온 상(PCM)	36.8	19.7	27.4	37.6	22.8	28.7	37.3	23.0	28.7
---	실내기온 하(Brf)	36.6	18.7	27.2	37.4	20.9	28.5	37.1	20.6	28.2
---	실내기온 상(Brf)	37.1	18.6	27.4	37.9	20.9	28.5	38.5	20.2	28.1

< 표 7 > 실내 기온의 온도 평균치

모델별 온도구분 부위	A 실험 모델				B 실험 모델			
	최고	최저	진폭	평균	최고	최저	진폭	평균
실내 기온 하부	35.9	22.2	13.7	28.0	37.0	20.1	16.9	28.0
실내 기온 상부	37.2	21.6	15.4	28.3	37.6	19.9	17.9	28.0

### 3). PCM의 온도 변화



[ 그림 9 ] PCM의 온도 변화

PCM의 온도 변화는 27 - 30 °C 사이에서 상하 진동하는 듯한 모양을 보여 주고 있어서, 이 부분의 온도에서 상이 변하고 있음을 보여 주고 있으나, 상변화에 따른 잠열효과는 명쾌하게 나타나지 않아 PCM의 상이 일시적으로 균일하게 변하지 않는다는 것을 나타내고 있다. 따라서 적절한 조해계를 혼합할 경우에는 이러한 현상을 줄일 수 있을 것으로 보인다.

동일한 장소에서 현열제인 벽돌과 PCM의 열성능을 비교하면 PCM의 진폭이 약 6°C인 반면 벽돌은 약 12°C인 것으로 나타나, 온도변화 진폭이 PCM인 경우 약 반으로 줄어 최고 온도를 낮추고 최저온도를 높일 수 있는 우수한 열성능 재료를 나타내고 있다.

< 표 8 > PCM의 최고 최저 평균 온도

기호	기호 설명	23 일			24 일			25 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
---	PCM 용기내 하부	30.5	22.6	28.6	31.0	28.1	28.6	31.1	26.5	28.9
---	PCM 용기내 상부	30.5	22.8	27.1	31.5	28.7	29.0	31.4	27.4	29.5
---	중앙과 벽돌일면	32.8	19.7	26.3	33.5	22.5	27.9	33.5	22.5	27.7
---	중앙과 벽돌교면	31.5	20.6	26.6	34.2	22.4	28.1	32.3	21.9	27.3

< 표 9 > PCM의 온도 평균치

모델링 온도구분 부위	A 실험 모델 (PCM)				B 실험 모델 (Brick)			
	최고	최저	진폭	평균	최고	최저	진폭	평균
중앙과 하부	30.9	25.1	5.8	28.0	33.2	21.6	11.6	27.3
중앙과 상부	31.1	25.6	5.5	28.5	33.7	21.6	12.1	21.6

### 7. 결 론

PCM 재료를 사용하여 실험모델을 통한 각 부위의 온도 변화와 열류 흐름을 실측 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) PCM은 현열 축열재에 비하여 온도 진폭을 약 1/2 정도로 줄이는 효과가 있어서 과열과 과냉현상을 줄일 수 있는 우수한 축열 재료로 평가되었다. 따라서 겨울철에는 난방부하를 줄일 수 있으며 여름철에는 냉방부하를 줄일 수 있다.

2) 본 실험에서는 축열재의 현열량을 동일하였기 때문에 두 모델의 실내 평균 온도는 서로 큰 차이가 없었으나 PCM의 양을 충분히 사용하면 실내 온도 변화도 큰 차이를 보이며 축열재의 용적을 줄일 수 있어 실내공간을 넓게 사용할 수 있게 된다.

3) CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O는 27 - 30°C에서 상변화를 하는 것으로 나타났으나 상변화시 온도변화는 일정하지 않고 상변화 온도 범위에서 진동하는 모양으로 나타났다. 따라서 일정온도 변화를 위해서는 적절한 조해계를 사용하여야 할 것이다.

4) 본 연구는 자연형 태양열 시스템의 Direct Gain 방식에서 PCM사용의 타당성을 검토하기 위하여 중간기에 실시된 것으로 보다 구체적인 결과는 동계실험을 통하여 제시할 예정이다.

### 참 고 문 헌

1. 대한건축학회, 잠열저장재 적용처 조사연구, 1988.
2. 과학기술처, 잠열저장재 개발연구, 1989.
3. 동력자원연구소, 건물에 있어서 에너지 절약 신기술, K.S.A-88-1, 1988.
4. MARIAN. JACOBS FISK, Introduction to Solar Technology, Addison-Wesley Publishing Company, 1982.
5. R.W.R. MUNCEK, Heat Transfer Calculation for Building, Applied Science Publishers ATD, 1979.
6. Schroder, J. and K. Gawron, Latent Heat Storage, Energy Research, 1981.