

# 창호 블라인드와 상변화물질 적용에 의한 냉방 에너지 사용량 절감효과에 대한 검토 연구

## Experimental Study of Cooling Energy Saving Verification Using Blinds and Phase Change Material(PCM)

송영학(Young-Hak Song)<sup>1</sup>, 김기태(Ki-Tae Kim)<sup>2</sup>, 구보경(Bo-Kyung Koo)<sup>2</sup>, 이건호(Keon-Ho Lee)<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 건축공학과, <sup>2</sup>한국건설기술연구원 그린빌딩연구소

<sup>1</sup>Department of Architectural Engineering, Gyeongsang National University,  
Jinju City, Gyeongnam, 660-701, Republic of Korea

<sup>2</sup>Green Building Research Division, Korea Institute of Construction Technology,  
Goyang City, 411-712, Republic of Korea

(Received July 1, 2013; revision received November 6, 2013; Accepted: November 19, 2013)

**Abstract** This study looks into changing building energy use by application of phase change material (PCM). PCM does not need extra energy for operation and is used for reducing building energy use and, CO<sub>2</sub> output by displaying semi-permanent effects after installation. It also is able to avoid the maximum electric power time-zone by inducing a time lag phenomenon of cooling and heating loads with high thermal capacity using latent heat. To verify the efficiency of blinds and PCM, tests about the PCM operation mechanism using air conditioning machinery and nocturnal panel cooling were done. In the test results of the case using PCM installation, a 45° blind angle with machinery air conditioning and nocturnal panel cooling at the same time shows a 22 percent energy saving effect against general space. The test results of each case were compared and analyzed based on the blind and window opening settings. Finally, the energy reduction of existing buildings using PCM application was reviewed based on the final measurement results.

**Key words** PCM(상변화물질), Night purge(야간복사냉방), Building energy(건물에너지)

\* Corresponding author, E-mail: lee1ncdh@kict.re.kr

## 1. 서 론

지구온난화, 이산화탄소 배출량, 건물에너지 저감 등의 다분히 전문적 느낌의 단어들도 더 이상 그 분야 전공인 들만의 소유가 아니라, 일반 국민들에게도 어 느덧 친숙한 언어로 인식되는 시대에 접어들었다. 이에 건축물의 구조체 및 창호의 단열성능 강화, 고효율 기기와 더불어 이산화탄소 배출량 감소와 건물 에너지 절감에 기여 가능한 여러 기술들이 연이어 시장에 나 오고 있는 실정이다.

그중에서도 잠열을 이용한 높은 열용량과 Time lag 현상을 유도하여 최대 전력사용량 시간대 회피를 기대 할 수 있는 상변화물질(PCM : Phase Change Material, 이하 PCM으로 표기)은 에너지를 추가로 사용하지 않 으며, 1회 설치로 반영구적인 효과를 구현할 수 있어 그 적용방안에 대해 많은 주목을 받고 있다.

그러나 PCM이 특정 온도대에서만 효용을 가지기 때문에 한국과 같이 몬순 기후대에 속해있어 하계와 동계를 모두 고려해야 하는 설계 조건에서는 적용 시, 충분한 검토가 필요한 것도 사실이다. 실제 국내에서 PCM이 적용된 건물 사례가 많지 않은 것은, 상품성을 지닌 제품과 더불어 이 분야에 대한 충분한 연구 및 적용 사례가 부족한 것도 하나의 원인이라 여겨진다.

그동안 PCM에 대한 연구가 동적 시뮬레이션을 이 용한 최적 적용방안 도출, PCM 자체의 성능 검증을 위한 테스트, 주거에의 적용 검토 등에 집중되어 온 경 향이 있으나, 본 연구에서는 보다 폭넓은 활용 가능성을 확인하기 위해 비주거 건물에의 적용을 검토하고자 하였다.

이를 위해 창호 블라인드를 포함하여 오피스 건물 을 상정한 실물공간을 구축하였고, 실험과 실측을 통 해 블라인드의 각도변화와 PCM의 적용에 따른 건물

에너지 절감효과를 확인하는 것을 본 논문의 주요 목적으로 하였다.

## 2. PCM 관련 연구동향

### 2.1 PCM의 일반현황

넓은 의미에서의 PCM은 대량의 열에너지를 축적하거나 저장된 열에너지를 방출하는 잠열재, 축열재, 축냉재 등을 일컫는다. 특정온도에서 상변화가 일어나면서 잠열 형태로 열교환이 이루어지는데, 주변 온도가 높아지면 고체에서 액체로 용해되면서 열을 흡수하고, 반대 조건에서 응고 현상이 일어나면서 주변에 열을 발산하는 것이 기본 원리이다. 상변화 시에 수반되는 잠열을 활용할 경우, 열 저장매체의 부피와 무게를 줄일 수 있으며, 특정 온도에서 제어가 가능한 장점이 있다.

한편, 건축자재로써 널리 적용되는 PCM은 파라핀(Paraffin wax) 계열로 제조 공정에서 용융점에 대한 조절이 가능하므로 특정 온도대의 상품이 시판되고 있다. 그동안 낮은 열전도성과 내화성능 등의 제한 등으로 널리 활용되지 않았으나, 최근 십여 년 사이에 이러한 문제점들이 개량되면서 관련연구와 적용사례가 증가하고 있다.

### 2.2 기존 연구 동향

1980년대 전후, 열저장매체로 이용되었던 PCM은 피크부하 이동과 건물의 열용량 확대 등을 위해 축열조, 월보드(Wall board), 블록, 온돌바닥패널 등의 형태로 적용되었으나, 최근에는 나노입자 등과의 결합으로 태양 외기 일사를 스스로 제어할 수 있는 창호 개발까지 이루어지고 있다.

전지수 등<sup>(1)</sup>의 연구에서는 안정적인 PCM 재료 개발을 위한 연구가 이루어졌으며, 유희권 등<sup>(2)</sup>의 연구에서는 PCM을 이용한 축열조의 축열 및 방열 특성에 대한 실험연구를 진행하는 등 PCM의 기본적인 제조와 활용방안에 대한 연구가 이루어진 바 있다.

또한, 윤두한 등<sup>(3)</sup>의 연구에서는 PCM을 이용한 주거 건물의 바닥난방 온돌패널 실험을 실시하였다. 안정적인 표면온도를 얻기 위하여 PCM이 활용되었으며, 실험을 통해 난방 시스템의 실용화 가능성을 확인한 바 있다. 안상민 등<sup>(4)</sup>의 연구에서는 공동주택의 냉방에너지에 초점이 맞추어져 실내 온도 안정성과 최적 PCM 적용온도가 도출되었으며, Karthik Muruganatham et al.<sup>(5)</sup>의 연구에서는 동일한 두 채의 실물 모형 주택을 통해 연간 에너지 절감량 및 초기 투자비 등에 대한 비교 검토를 하는 등 주거 건물에서의 적용에 대한 연구가 이루어졌다.

한편, 임병찬 등<sup>(6)</sup>의 연구에서는 사무실 공간을 구현한 시뮬레이션을 통해 PCM을 포함한 벽체 구성의 최적 구성을 확인하였고, 이수진 등<sup>(7)</sup>의 연구에서는 비주거 건축물을 대상으로 구체축열의 최대 효율을 이끌어내는 PCM 설정 온도와 냉운수 유량에 대한 검토가 이루어졌다.

## 3. 냉방에너지 변화 확인을 위한 모델 실험

### 3.1 실험실 적용 PCM 사양

본 실험에 적용된 PCM은 미국 B사의 제품이며, 그 주요 재원을 Table 1에 표시하였다. 또한, Fig. 1은 PCM의 용해와 응고 시의 온도 및 열적 특성을 보여주는 DSC (Differential Scanning Calorimeter) Curve<sup>(8)</sup>를 나타낸 것이다. 제품의 제원상에는 용융점이 27°C로 표기되어 있으나, 실제 열거동은 26°C와 19°C에서 용융 및 응고에 의한 최대 잠열이 발생하며 그 값은 약 219 J/g이다.

### 3.2 실험실 개요 및 측정장비

앞서 언급한 바와 같이 사무실 등의 비주거 건물을 구현하기 위해 실험실을 구축하였다. 4층 규모의 건물 중 3층에 위치한 동일 공간을 대상으로 하였으며, 그 사이즈는 Fig. 2와 같이 가로 2.7 m, 세로 4.3 m, 높이 2.3 m의 직방형 형태이며, 실과 실 사이에 회의실 등의 완충 공간(Buffer zone)을 계획하여 양 실의 영향을 최소한으로 하였다. Pic. 1은 각 실험공간의 내부와 PCM

Table 1 Specification of PCM

Depth	Weight	PCM content rate	Melting point	Latent heat capacity
12.7 mm	6.39 kg/m <sup>2</sup>	76%	27°C	219 J/g

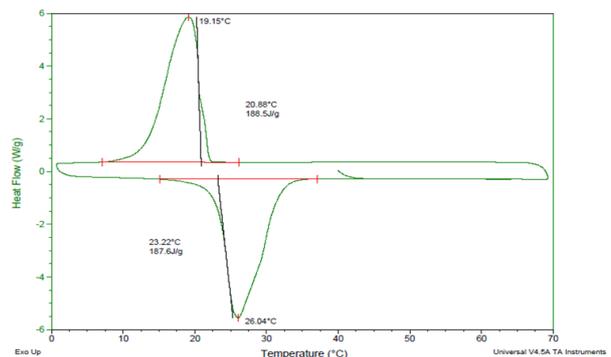


Fig. 1 DSC Curve of applied PCM.

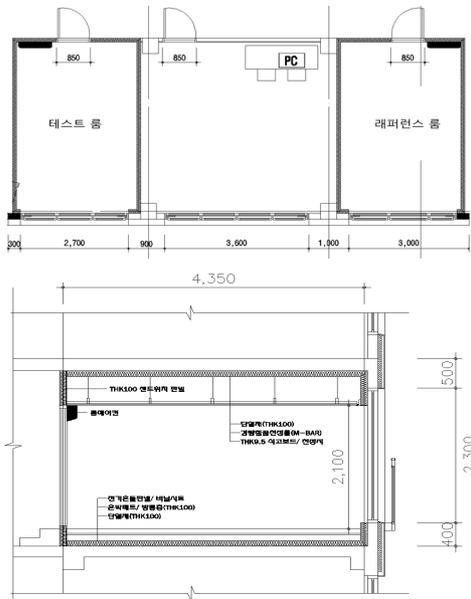
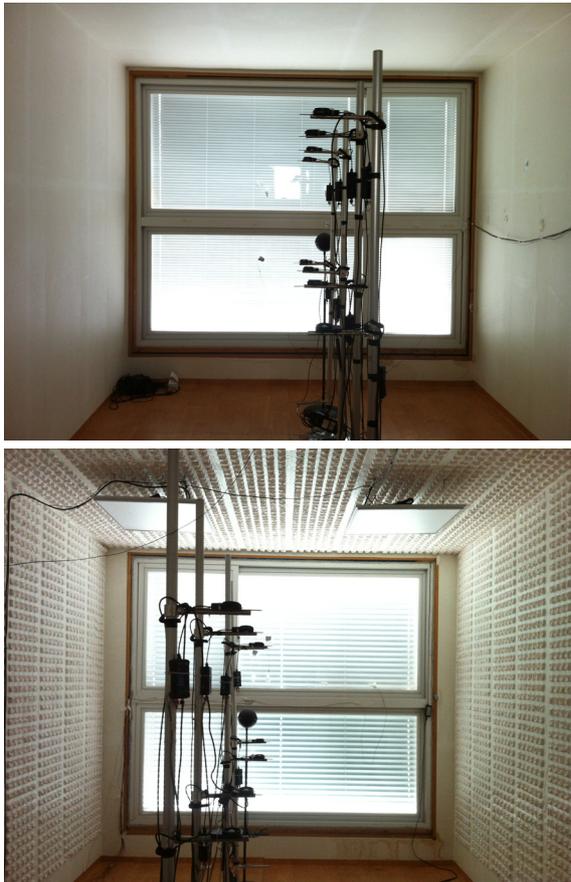


Fig. 2 Laboratory model(Top : plan, Bottom : section).



Pic. 1 Experiment laboratory(Top : reference room, Bottom : test room).

이 설치된 현황을 나타낸 것이다.

PCM 적용에 의한 에너지 저감량을 파악하는 것이 본 실험의 목적이므로, Pic. 1과 같이 레퍼런스로 활용되는 A실(이하, 레퍼런스 룸)은 PCM을 설치하지 않은 상태로 실온과 냉방 전력량을 측정하였으며, 실험대상인 B실(이하, 테스트 룸)의 천장과 양 벽면의 일부에 PCM 제품을 노출상태로 설치하였고 그 면적은 24 m<sup>2</sup>이다. 또한, 각 실에는 동일한 용량(0.8 kW)의 벽걸이식 룸 에어컨을 설치한 후 온도센서를 분리하여 실 중앙의 온도 값과 연동시켰다. 가동 조건은 실온 26℃에서 운전 개시, 24℃에서 운전 중단이며, 이 때 소비되는 전력을 1분 단위로 24시간 측정하였다. 온도 측정장비는 T사의 Robust velocity probe를 이용하여 전력과 동일하게 1분 간격 측정하였고, 디지털 신호 변환 및 데이터 저장 등에 Lab View 8.2를 사용하였다.

### 3.3 실험 조건 및 케이스 분류

사무실 공간을 구현한 실험실 운전을 반영하기 위해 창호 블라인드를 설치하였다. 본 논문에서의 블라인드 각도는 Fig. 3와 같이 실내를 기준으로 블라인드와 수평면 사이에 형성되는 각으로 정의하였다.

PCM 미설치 조건인 레퍼런스 룸은 블라인드의 각도를 90°인 전폐(Closed) 상태로 유지하여 외부 일사에 의한 영향이 발생하지 않도록 하였고, 룸 에어컨을 이용한 기계냉방으로만 운전하였다.

운전시간은 오전 8시부터 9시까지 예냉운전을, 이후 9시부터 오후 6시까지 업무시간을 가정한 냉방운전을 하며 중식시간에 해당하는 정오 12시부터 오후 1시까지는 운전을 정지하는 것으로 설정하였다.

PCM이 설치되어 있는 테스트 룸은 크게 두 가지 상황을 고려하여 실험 케이스를 구성하였다. 먼저 PCM 응고를 위해 실온을 낮추기 위한 방법으로 운전시간 종료 후, 창문을 개방하여 야간복사냉방 항목을 추가하였다. 이를 기준으로 기계냉방만을 실시하는 Case A

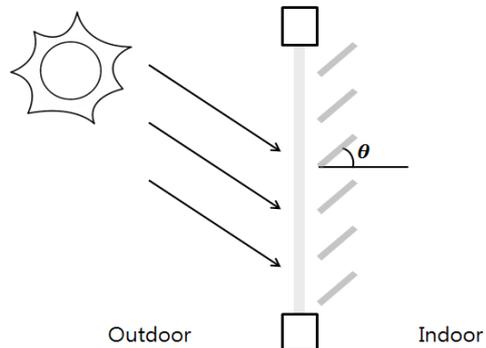


Fig. 3 Definition of blind angle.

와 기계 및 야간복사냉방을 동시에 활용하는 Case B를 설정하였다. 운전시간은 사무실 운영을 반영하여 오전 9시부터 오후 6시까지로 냉방운전을 하며, 업무시작 전 1시간 동안 예냉운전(Pre cooling)을 실시하였다. 또한, 실제 사무실의 탄력적인 블라인드 운용을 고려하여 각도를 90°, 45°, 0°의 3가지 단계로 구분하였다. Table 2는 상기에서 언급된 케이스별 운전 조건을 정리한 것이다.

#### 4. 모델 실험 결과

##### 4.1 기계냉방 실험결과

제 3장의 실험조건 중 기계냉방만을 실시한 Case A의 결과 중 일일 전력 누적량을 Table 3에, 실온과 전력량 변화를 Fig. 4에 정리하였다. 블라인드 각도와는 무관

Table 2 Case operating conditions

Case	Items	Test Room	Reference Room
Case A (Mechanical cooling)	PCM	applied	none
	Blind	A-1 : 90° A-2 : 45° A-3 : 0°	90° (closed)
	Cooling hour	08~09h : pre-cooling 09~18h : cooling 12~13h : cooling off	
	Window	Closed	Closed
Case B (Mechanical and night purge cooling)	PCM	applied	none
	Blind	A-1 : 90° A-2 : 45° A-3 : 0°	90° (closed)
	Cooling hour	08~09h : pre-cooling 09~18h : cooling 12~13h : cooling off	
	Window	Open(night)	Closed

Table 3 Electricity consumption of Case A

Angle	Test Room	Reference Room	Date and Temp.
A-1 (90°)	1.102 kWh	1.374 kWh	Date : 29 Aug. 2012 min : 22°C, Max : 29°C
A-2 (45°)	1.432 kWh	1.608 kWh	Date : 3 Sep. 2012 min : 22°C, Max : 29°C
A-3 (0°)	1,180 kWh	1,259 kWh	Date : 6 Sep. 2012 min : 16°C, Max : 27°C

하게 08시부터 냉방운전이 실시됨과 동시에 실온이 하락하고, 냉방 중지가 되면 실온이 상승하는 패턴을 보였다. 운전시간 동안 레퍼런스 룸과 테스트 룸의 실온 제어목표는 26°C이나, 냉방운전 on/off에 의한 온도 변화의 폭은 약 2~6 K로 비교적 안정적이지 못한 실온분포로 나타났다. 이는 시판되는 에어컨 중 가장 용량이 작은 기종을 설치하였으나, 모델 실험 공간 자체가 협소하고, 실내 내부발열 기기가 배제되어 나타나는 현상이라 사료된다.

또한, 냉방이 off되는 12~13시 사이에 실온은 약 28.5°C까지 상승하며, 운전이 종료되는 18시 이후 실온은 외기 조건에 수렴하는 온도분포를 보였다. 테스트 룸을 기준으로 블라인드 각도가 90°인 Case A-1의 일일 전력 누적량은 1.102 kWh, Case A-2(블라인드 각도 45°)는 1.432 kWh, Case A-3(블라인드 각도 0°)은 1.180 kWh로 나타났다. PCM 미설치 및 블라인드 각도가 90°로 고정된 레퍼런스 룸의 일일 전력 누적량은 각각 1.374, 1.608, 1.259 kWh로 나타났다.

##### 4.2 기계 및 외기복사냉방 실험결과

앞 절과 동일하게 제 3장의 실험조건 중 기계 및 야간복사냉방을 동시에 실시한 Case B의 결과를 Table 4와 Fig. 5에 정리하였다. 야간복사냉방은 축열제거 및 PCM의 응고유도를 위해 실시되었으며, Case B-1의 야간 실내온도는 최저 21.5°C, B-2는 19°C, B-3은 21°C로 모든 케이스에서 PCM 응고가 시작되는 23°C 이하를 나타내었다.

PCM이 설치된 테스트 룸의 경우, 블라인드 각도 90°일 때, 일일 전력사용 누적량은 0.234 kWh, 45°와 0° 시, 각각 0.346, 0.506 kWh의 일일 전력 누적량을 나타내었으며, 각도가 낮아질수록 증가하는 경향을 보였다. 이는 낮은 블라인드 각도 시, 일사의 실내유입 증가의 결과로 사료된다. 한편, 블라인드 각도 90°, PCM 미설치 사양의 레퍼런스 룸의 전력사용 누적량은 0.415, 0.420, 0.518 kWh, 평균 0.451 kWh로 나타났다.

#### 5. 에너지 사용량 비교 및 고찰

Table 5는 제 4장의 실험결과를 바탕으로 레퍼런스 룸과 테스트 룸의 일일 전력 누적량의 차이와 에너지 절감율을 나타낸 것이다.

블라인드 각도 및 야간복사냉방을 제외한 PCM의 적용 유무만으로 도출된 실험결과를 Case A-1이며, 이때의 에너지 절감율은 19.8%로 나타났다.

또한, 기계냉방만을 적용한 Case A의 경우 블라인드 각도에 따라 차이가 있으나 절감율은 6.3~19.8%, 기계냉방 및 야간외기냉방을 동시에 적용한 Case B의 절감

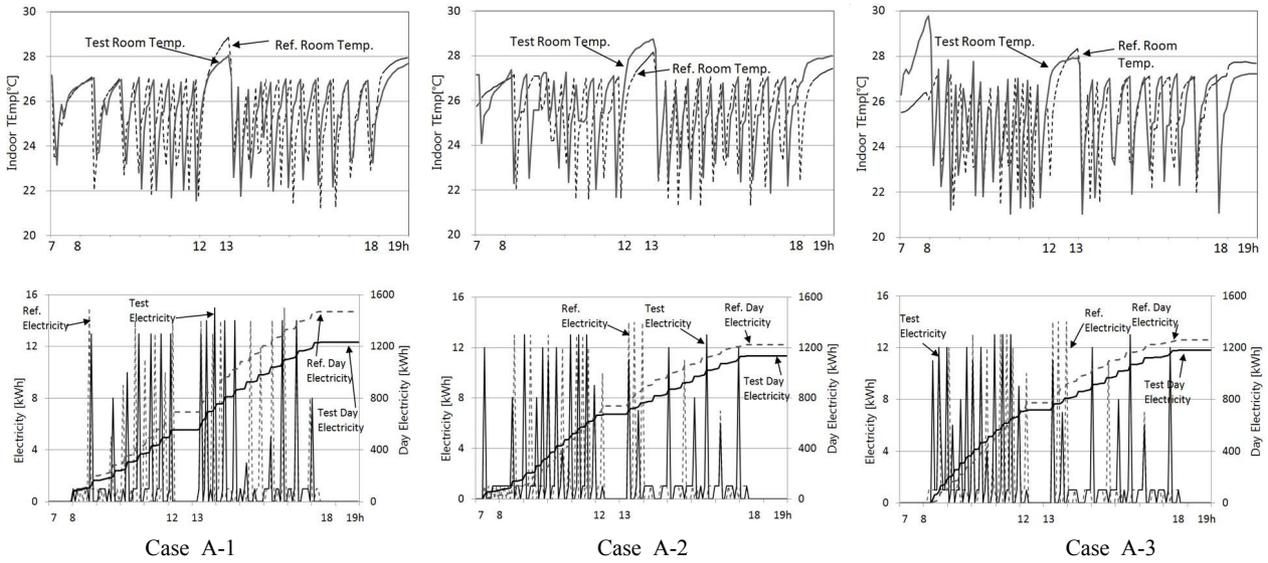


Fig. 4 Room temperature and electricity consumption in Case A(Top : room temperature, Bottom : electricity consumption).

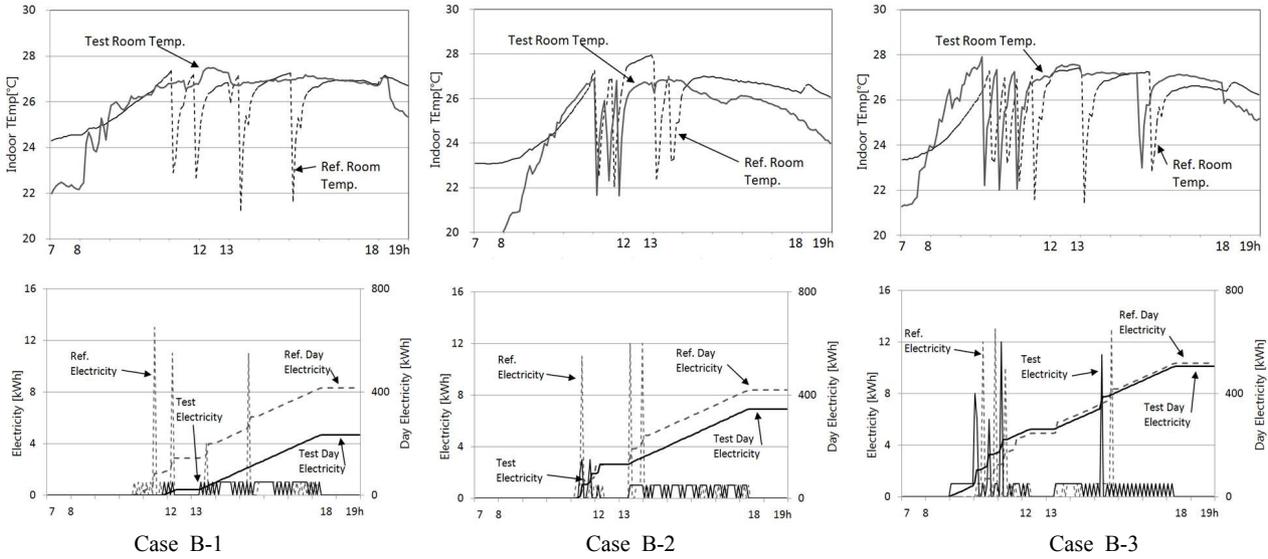


Fig. 5 Room temperature and electricity consumption in Case B(Top : room temperature, Bottom : electricity consumption).

율은 2.3~43.6%로 Case B의 에너지 절감율이 평균 8.9% 높은 것으로 나타났다. 야간 외기냉방에 의해 실내에 축적된 잉여부하가 제거되고, PCM이 예냉 운전시각 이전에 외기조건만으로 응고된 것이 주요 원인으로 사료된다.

한편, 블라인드는 각도가 낮을수록 실내에 부분 직달 및 천공일사량이 입사되어 냉방부하가 증가하므로, 그 결과 Case A, B 모두 낮은 블라인드 각도에서 에너지 절감량이 줄어드는 경향을 보였다.

## 6. 결론

블라인드 각도 제어와 PCM이 적용된 모델실험결과 및 분석 내용을 정리하면 다음과 같다.

(1) 사무실 환경을 가정한 모델 실험을 실시하였고, 블라인드 각도제어와 PCM 적용에 의해 6.3~19.8%의 에너지 절감효과를 확인하였다.

(2) 야간복사냉방은 PCM의 효과적인 운용에 적합한 것으로 나타났으며, 블라인드 각도 등에 따라 최대 43.6%

Table 4 Electricity consumption of Case B

Angle	Test Room	Reference Room	Date and Temp.
B-1 (90°)	0.234 kWh	0.415 kWh	Date : 26 Sep. 2012 min : 18°C, Max : 25°C
B-2 (45°)	0.346 kWh	0.420 kWh	Date : 6 Oct. 2012 min : 16°C, Max : 25°C
B-3 (0°)	0.506 kWh	0.518 kWh	Date : 19 Sep. 2012 min : 18°C, Max : 25°C

Table 5 Electricity difference and cut off rate

Case	Angle	Difference of Electricity * [kWh]	Cut off rate ** [%]
Case A-1	90°	0.272	19.8
Case A-2	45°	0.176	10.9
Case A-3	0°	0.079	6.3
Case B-1	90°	0.181	43.6
Case B-2	45°	0.074	17.6
Case B-3	0°	0.012	2.3

\* Difference of day electricity between reference room and test room.

\*\* (Reference room-Test room)/Reference room×100(%).

의 에너지 절감율을 나타내었다.

(3) 블라인드 각도가 낮아질수록 에너지 절감량 효과는 낮은 경향을 보였다. 그러나 낮은 블라인드 각도는 자연채광 활용 가능성을 의미하므로, 냉방에너지와 조명에너지를 동시에 평가하는 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

일반적으로 PCM은 실내마감 재료로 사용되지 않으나, 이번 논문에서는 실험결과의 명확한 경향을 파악하기 위해 실험실 내부에 최종마감으로 사용되었다. 따라서, 본 실험의 결론으로 도출된 에너지 절감량 수치는 실제 건물 적용 시, 하향된 값으로 나타날 것으로 보인다.

향후, 추가연구에서 실제 사무실 건물을 대상으로 현실성을 구현한 결과를 도출해 나갈 예정이다.

## 후 기

이 논문은 국토해양부 첨단도시 개발사업의 연구비 지원(12 첨단도시 G02)에 의해 수행되었습니다.

## Reference

1. Jeon, J. S., Jeong, K. S., and Kim, S. M., 2012, Consideration for Application of Phase Change Material (PCM) for Building Energy Saving, Proceedings of the KSES, pp. 470-474.
2. Yoo, H. G., Baek, J. H., Park, S. S., Jwong, D. Y., and Park, I. H., 2011, Experimental study on Charging/Discharging Characteristic of Using Two Kinds of PCM in a Thermal Storage System, Proceedings of SAREK Korea, pp. 383-388.
3. Yoon, D. H., Choi, B. S., and Hong, H. G., 2006, Experiments and Property Study of Ondol Panel Based on Phase Change Material, Proceedings of SAREK Korea, pp. 122-125.
4. Ahn, S. M., Jeong, C. H., Hwang, S. H., Lee, S. B., and Kim, T. Y., 2010, An Analysis of Optimum Phase change Temperature of PCM using Wallboard for Cooling Energy Saving in Apartment Buildings, Proceedings of KIAEBS, pp. 141-144.
5. Muruganatham, K., Phelan, P., Horwath, P., Ludlam, D., and McDonald, T., 2010, Experimental Investigation of a Bio-based Phase Change Material to Improve Building Energy Performance, Proceedings of ASME 2010, 4th International Conference on Energy Sustainability, Phoenix, US.
6. Im, B. C., Choi, H. S., Choi, S. H., and Moon, G. S., 2008, The Study on Possibility of PCM Application in Buildings, Institute of Construction Technology, Dong-A University, Vol. 31, No. 2, pp. 29-37.
7. Lee, S. J., Lee, H. H., Kim, S. M., Im, J. H., and Song, S. Y., 2012, A Study on the Heat Storage and Dissipation of Thermally Activated Building System Applied with Phase Change Materials, Proceedings of KIAEBS, pp. 75-78.
8. Horwath, P., 2008, BioPCMTM Longevity Cycle Testing, Phase Change Energy Solution, Inc.