



동절기 이중외피 시스템에 적용 가능한 PCM재료의 온도설정에 따른 실내 열 성능 분석에 관한 연구

Study on Indoor Thermal Performance Analysis upon PCM Temperature applicable to the Double Skin Facade System in the Winter

류리* · 서장후** · 김용성***

Ryu, Ri* · Seo, Jang-hoo** · Kim, Yong-seong***

* Dept. of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin University., South Korea (ri23414@hanmail.net)

** Coauthor, Dept. of Architectural Design, School of Architecture / Graduate School of Techno Design, Kookmin University., South Korea (seojh@kookmin.ac.kr)

*** Corresponding author, Dept. of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin University., South Korea (yongkim@kookmin.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: Recently, many countries around the world are actively looking for the ways to make full use of natural energy sources and also develop and apply an environmentally friendly system designed to save building energy consumption. Under these circumstances, this study intended to determine the applicability and energy saving effect by deriving the indoor thermal performance characteristics and the PCM temperature appropriate for a double skin façade to reduce indoor energy consumption through the application of different PCM temperatures to double skin façade and perform a performance evaluation depending on the application or non-application of PCM to a double skin façade. **Method:** For this study, the physical variables of the double skin façade with PCM were configured through a preliminary examination based on an experimental measurement, and experimental measurements were taken with a total of 7 types of mockup cases: Type-1 (Basic), the basic double skin façade, Type-2 (PCM 18℃) which was applied to the inner skin of the double skin façade depending on the phase-change temperature of PCM, Type-3 (PCM 20℃), Type-4 (PCM 22℃), Type-5 (PCM 24℃), Type-6 (PCM 26℃), and Type-7 (PCM 28℃) with reference to the data analysis of the basic double skin façade which preceded this study, to analyze the indoor thermal performance of the double skin façade depending on PCM temperature and the installation or non-installation of a double skin façade applying PCM based on the selected unit space. **Result:** Indoor thermal performance was analyzed depending on the PCM temperature applicable to double skin façade, and the analysis of heating energy reduction showed that Type-2 (PCM 18℃) gained 15.9% more heat compared with Type-1 (Basic) and secondly, Type-3 (PCM 20℃) gained 11.5% more heat. Based on these findings, it is deemed possible that the use of energy for heating can be reduced when heat coming indoors increases during the heating period, and the appropriate temperature for PCM applied to the inner skin of a double skin façade to reduce heating energy in winter, Type-2 (PCM 18℃) showed the highest efficiency and Type-3 (PCM 20℃) was also deemed appropriate.

KEYWORD

이중외피 시스템
상변화물질
자연형 태양열 시스템
축열

Double Skin Facade System
PCM(Phase Change Materials)
Passive Solar System
Thermal Storage

ACCEPTANCE INFO

Received April 7, 2015
Final revision received May 15, 2015
Accepted May 19, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 세계 각국에서는 자연에너지를 적극적으로 활용하며, 건물사용에너지 절약을 위한 친환경 시스템의 개발 및 적용에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 국가 온실가스 인벤토리 보고서에 따르면 2010년 국가 온실가스 총 배출량의 주요 증가요인은 화력발전과 철강업 등 제조업의 배출량이 증가했기 때문이나, 이에 대한 영향은 폭염, 한파로 인한 냉난방용 전력수요 증가 등으로 화력발전을 통한 온실가스 배출량이 총 증가량의 약 42% 차지하였다. 또한 분야별 온실가스 배출 비중을 보면 건축분야(에너지 소

비)에서는 85.3%, 산업공정 9.4%, 농업 3.2%, 폐기물이 2.1%를 차지하는 것으로 조사되었다(2010, 환경부). 에너지 사용 비중 및 온실가스 배출 비중이 높은 건축분야에서는 사용자의 쾌적성 향상과 더불어 건축물 에너지 사용량저감 및 효율성 향상에 대한 연구 및 정책이 지속적으로 개발 추진 중이다. 이러한 추세에 따라 건축분야에서는 친환경적 시스템 기술 요소들을 도입함으로써 실내 에너지 저감 및 실내 쾌적성 향상을 위해 적용성이 좋은 친환경 기술요소를 도입하고 있는 시점이다. 대표적 요소로는 자연환기, 축열을 통한 히팅 및 냉각, 이중외피 등이 있다. 이중외피 시스템은 외부의 기후조건에 대해 실내 환경을 수동적으로 조절하는 일반적 건물 외피와는 달리 기존 외피에 하나의 외피를 추가하여 외피 사이에 열적 완충층, 중공층을 형성하여 외부 환경 변화에 대응할 수 있는 능동적인 건물외피의 개념으로 건물 외피 부하 및 실내에너지

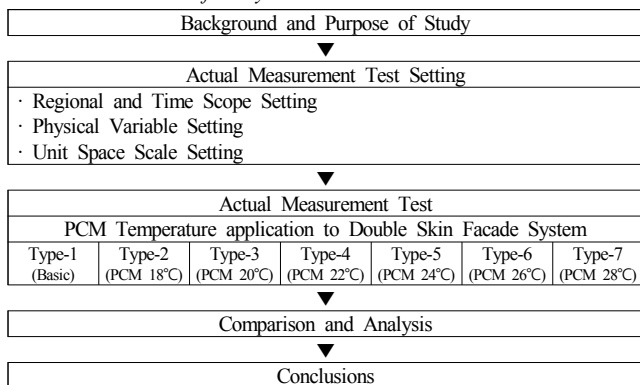
부하를 저감시킬 수 있는 기술이다. 본 연구는 이중외피 시스템이 외부 환경 변화에 대응뿐만 아니라 태양열 에너지를 이용한 에너지저장 성능을 향상시키고자 축열성능을 가진 PCM(PCM: Phase change Materials)을 적용하고자 한다. PCM은 온도에 따라 상을 변화시키며 잠열의 축적과 방출을 통하여 실내온도의 항상성에 기여할 수 있으며, 이를 이용하여 냉·난방기 가동시간을 줄임에 따라 에너지 소비량과 이산화탄소 감소에 기여하는 온도 범위 조정이 가능한 친환경의 고성능 축열재이다. 현재 PCM의 적용과 연구¹⁾는 실내 내장용 건축자재 등이 주를 이루며 이는 외부 환경의 영향을 적게 받는 형태로 적용되고 있다. 적용 사례로는 PCM으로 함침된 건식 벽체와 PCM으로 함침된 콘크리트 블록, PCM을 포함한 Roof - intergrated space heating system 등이 있다. 하지만 본 연구의 제안은 외부 환경을 직접적으로 활용하여 PCM의 물성을 적극 활용하는 방향을 제시함에 있어 기존 자재나 연구에서 도출된 적정 PCM온도와는 다른 적정 온도가 예견되어진다.

본 연구는 제안 시스템의 적정 온도를 찾기 위한 기초연구로 차후 진행되는 하절기 실측 실험 Data 도출과 연계하여 사계절 적용 가능한 적정 PCM온도 도출을 목적으로 한 선행 연구이다. 따라서 본 연구는 이중외피 시스템에 각기 다른 PCM온도를 적용함으로써 실내 열성능 특성 및 실내 에너지저장 위한 이중외피 시스템에 적합한 PCM온도 도출과 이중외피 시스템에 PCM의 적용 유무에 따른 성능 평가를 수행하여 적용 가능성 및 에너지저감 효과를 확인하는데 연구의 목적이 있다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

연구의 범위는 국내 공동주택 동향을 분석하여 가장 많은 비중을 차지하는 단위세대 크기를 선정하고 목업체를 제작하였다. 이는 적용 가능성 검토에 있어 객관성을 높이기 위함이다. 연구의 세부 절차는 아래와 같다.

Table 1. Flowchart of study.



첫째, 본 연구의 실측 실험을 위한 예비적 고찰을 통하여 PCM을 적용한 이중외피 시스템의 물리적 변수들을 설정하고, 실측 실험을 위한 목업체 제작에 앞서 국내 공동주택 현황분석을 통하여 적정 단

위 공간을 선정한다. 이중외피에 적합한 PCM온도 도출을 위해 기본 이중외피 시스템을 제작하여 난방기간 중 데이터 실측 실험한 결과 값을 토대로 이중외피에 적용할 PCM온도 범위를 선정한다.

둘째, 선정된 단위 공간을 기준으로 PCM을 적용한 이중외피 시스템의 설치 여부 및 PCM온도에 따른 이중외피 시스템의 실내 열적성능 분석을 위하여 선행된 기본 이중외피 시스템의 데이터 분석을 바탕으로 선정된 PCM온도를 이중외피 내측외피에 적용, 총 7가지 타입의 상이한 실험체를 제작한다. 난방기간 중 3일간 데이터의 실측을 실시하고 결과 값의 분석을 통하여 PCM을 적용한 이중외피 시스템의 설치 가능성 검증 및 이중외피 시스템에 적합한 PCM온도에 따른 실내 에너지저감 효과 및 적정 온도 도출을 확인한다.

2. 이중외피시스템에서의 PCM재료의 목업체 실험

2.1. 실측 실험 설정

현대는 주거의 고층화와 조망성의 요구로 인해 외피면이 유리로 설치되어짐에 따라 실내 사용 에너지 증가를 초래함에 있어, 본 연구에서는 고층화된 주거에 적합한 이중외피 시스템을 적용하고자 한다. 본 연구는 선행적 실험으로 공동주택에 PCM을 적용한 이중외피 시스템의 설치 가능성 및 적용 가능한 온도 도출을 위한 목적으로 지역 및 시간적 범위, 물리적 변수, 단위공간의 규모는 다음과 같이 설정 하였다.

1) 지역 및 시간적 범위

본 연구의 실측 실험에서의 지역 범위는 대한민국, 서울특별시(북위, 37°34', 동경 126°57')로 설정한다. 기상청 평년자료(30년)에 따르면 1981~2010년까지의 서울특별시 평균기온은 12.5°C이며, 최한월 평균 기온은 -2.4°C로 1월에 나타나며, 최난월 평균기온은 25.7°C로 8월에 나타난다. 연평균 강수량은 1450.5 mm이며, 연평균 풍속은 2.3 m/s이다.(2014. 기상청) 시간적 범위는 2014년 02월 20일부터 03월 01일까지 실측 실험을 진행하였다.

2) 물리적 변수 및 PCM 적용 온도 도출

본 연구에서는 이중외피 시스템에 PCM을 적용하였으며, 이중외피 시스템의 내피면 PCM의 두께 산출은 재료의 최적의 두께를 찾는 연구가 아님을 반영하여 명확한 데이터를 취득하기 위해 복층유리의 두께와 같이 16 mm로 설정 하였다²⁾. 이중외피 시스템의 개구부의 운영방법에 따른 주간, 야간의 운영방식이 이루어져야 하나 목업체의 실측 실험에 대한 제약이 따르므로 실내 공간에 난방기기가 가동되고 있다는 것을 가정하여 폐쇄하였다. 이중외피 시스템의 내피면에 적용할 PCM 상변화 온도 범위 산출을 위하여 기존 이중외피 시스템의 실측 실험을 2014년 2월 21일~22일(48시간)동안 실내온도 측정을 진행 하였다.

1) 참고 문헌 (Reference)
 [2] 류리 외 2명, 『PCM을 적용한 창호형 이중외피 시스템』
 [3] 이규영 외 3인, 『PCM적용 축열벽 시스템 연구』
 [5] 오정익, 『Huri Focus』

2) Ri Ryu, Chung-gu Ji, Janghoo Seo, Young-Seong Kim, A study on the analysis of indoor temperature according to the PCM temperature applied to the double skin facade system for saving cooling energy during summer season, Contemporary Engineering Sciences, 2014

Table 2. Test measurement data of double skin facade system [°C]

Overview		Temperature[°C]			Humidity[%]
		Min	Max	Avg.	Avg.
2014.02.21	Cavity	-7.93	60.64	14.7	36.1
	Indoor	-6.42	45.39	11.6	33.9
2014.02.22	Cavity	-5.82	54.35	14.0	33.7
	Indoor	-5.33	41.83	10.8	31.2

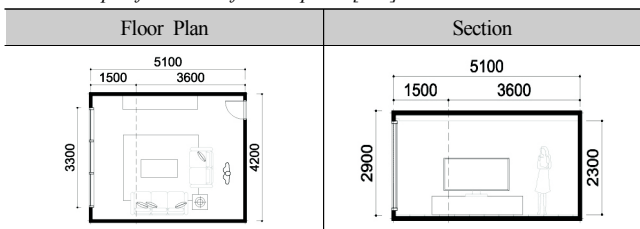
PCM은 현재 건축 분야에서 동절기 18°C, 하절기 28°C를 적용 하나 <Table 2.>에서와 같이 중공층 및 실내온도는 최고 기온은 40°C~60°C까지 온도가 상승하며, 최저 기온은 -5°C~-7°C까지 하강하므로 본 연구는 PCM의 상변화 온도를 각각 2°C차이로써 18°C~28°C 범위 안의 온도로 18°C, 20°C, 22°C, 24°C, 26°C, 28°C로 선정하였으며, 기본형을 포함한 총 7 가지 목업체를 제작하여 기본 이중외피 시스템과 PCM온도를 내측외피에 적용한 이중외피 시스템의 실내 열환경을 비교분석 하고자한다.

3) 단위공간 규모

적정 단위공간 규모를 선정하기 위하여 국내 공동주택 규모 현황을 고찰하였다. 2013년 기준 주택건설실적통계 주택규모별 주택건설인허가 실적에 따르면 전용면적 60㎡이상 85㎡미만의 규모가 42.4%로 가장 높게 나타났다. 따라서 본 연구는 84㎡ 규모의 아파트를 연구 대상으로 하여 이중외피 시스템의 적용에 따른 실내 열환경을 보기 위함으로 안방을 프로토타입 유닛으로 선택하였다. 이는 <Table 3.>과 같으며 단위공간의 방위는 정남향으로 설정하였으며, 세부치수는 폭 4,200 mm, 깊이 3,600 mm의 공간에 깊이 1,500 mm의 발코니를 가지고 있으며, 층고와 천정고의 2,900 mm, 2,400 mm인 단위 공간⁴⁾으로 선정하였다.

본 연구에서 제안하는 시스템은 이중외피 시스템에 원형을 두고 있음에 따라, 기존 이중외피 중공층의 간격이 넓어 공간 효율의 저하라는 문제를 발생시켜 실제 건축물에는 적용성이 떨어지는 문제점이 발생한다. 이런 문제에 대응하기 위해 이진호⁵⁾의 연구에 의하여 중공층의 폭을 줄여 200mm내외에서의 상호형 이중외피 시스템에 대한 연구를 통하여 긍정적인 결과를 도출하였다. 이를 기반으로 기건축물의 리모델링에도 적용가능하며 공간 손실을 최소화 하여 적용 가능한 시스템의 제안을 위해 200mm로 설정하였다.

Table 3. Specifications of unit space [mm]



3) Statistics of Housing Construction Permission per House Size (MOLIT-related Statistics, 2013)
 4) 이규영, 류리, 서장후, 김용성, “냉방에너지 저감을 위한 PCM적용 축열벽 시스템 연구”, 대한건축설비공학회 논문집, Vol. 26 No. 06,
 5) 이진호, 김현수, 장대희, 문수영, 다양한 기후조건에 대응하는 이중외피시스템 개발에 관한 실험적 연구, Vol. 5 No. 2, pp 19-26, 2005

2.2. 실측 실험체의 개요 및 구성

실측 실험에 사용될 실험체는 선정된 단위공간을 1/6로 축소하여 제작하였다. 이에 따른 실험체의 세부 개요 및 구성은 <Table 4.>와 같다.

Table 4. Overview and composition of specimen

Type		Detail	
Model Size	Model	Width	700 mm
		Depth	600 mm
		Height	400 mm
	Double Skin System	Width	700 mm
		Depth	200 mm
		Height	400 mm
Material	Foamed Polystyrene	Thickness	100 mm
		Heat Conductivity	0.034 W/mK
	Pair Glass	Thickness	16 mm
		Visible Light	16 mm(5CL+6A+5CL)
			Transmittance(81%)
		Heat Ray from the Sun	Reflectance(15%)
			Transmittance(68%)
	Sheltering Coefficient	Reflectance(12%)	
	Polycarbonate Double Plate Sheet	Thermal Transmittance	3.19 W/m²K
		Thickness	16 mm(CL)
		Light Transmittance	79%
	PCM	Thermal Transmittance	3.0 W/m²K
General description: n- Octadecane (>97%) Molecular formula: C ₁₈ H ₃₈			
Measurement System	Pyrheliometer Sensor	ML-020VM	
	Temperature/Humidity Sensor	SHT11	
	Surface Temperature Sensor	K-TYPE	
	Data Logo	TX-220	

<Table 5.>에서와 같이 이중외피 시스템에서의 적용 가능한 PCM온도 도출 및 실내 열환경 분석에 따른 비교 분석을 위하여 총 7개 Case를 제작하였다. 첫 번째는 기존 이중외피 시스템 타입 Type-1(Basic), 두 번째는 내피에 PCM의 상변화 온도에 따라 적용한 Type-2(PCM 18°C), Type-3(PCM 20°C), Type-4(PCM 22°C), Type-5(PCM 24°C), Type-6(PCM 26°C), Type-7(PCM 28°C)로 제작하였다.

2.3. 실내로 유입되는 열량 산출 방법

본 연구에서는 실내 개구부를 모두 폐쇄하여 자연대류가 없는 경우 실내온도변화에 영향을 주는 직접적인 요인은 태양에너지라고 가정하였으며, 본 연구의 실험체는 동일 조건에서 실측 실험으로 목업체의 벽체조건은 모두 동일하게 적용하였으므로 변인에서 제외하여 벽체의 열관류율은 고려하지 않았다. 실내온도와 실

Table 5. Overview of each type of specimen [mm]

Type	Type-1(Basic)	Type-2(PCM18°C)	Type-3(PCM20°C)	Type-4(PCM22°C)	Type-5(PCM24°C)	Type-6(PCM26°C)	Type-7(PCM28°C)
Floor Plan							
Section							

Note) T1~T14 : Temperature/Humidity Sensor

내 기상 설정온도의 차 및 실내 공간 용적, 공기 비열을 이용하여 다음 식(1)로 태양에너지를 받아 PCM의 상변화 온도에 따른 실내온도가 기상설정 온도보다 높아지는 구간의 열량을 각 타입별로 계산하였다. 이는 난방기간 동안 설정온도로 실내 공간온도를 맞추기 위하여 소모되는 난방에너지량을 각 타입별로 비교하기 위함이다. 공기 비열(C)은 0.31 kcal/m³°C를 적용하였다.

$$Q = MC(T_i - T_s) \quad (1)$$

M : 실내 공간 용적 [m³]

C : 공기 비열 [kcal/m³°C]

T_i : 실내온도 [°C]

T_s : 실내 기상 설정 온도 [°C]

2.4. 실측 실험체 제작 및 실험

실측 실험체는 발포폴리스티렌 100 T로 바닥, 벽, 천정을 구획하고 내·외측 창호는 16 mm 복층유리를 사용하였으며, 16 mm 복층판 투명 폴리카보네이트 속에 PCM을 삽입하여 내측외피를 제작하였다. <Table 6.>는 실험체의 제작과정을 나타내며, 2014년 02월 27일부터 2014년 03월 01일까지 실측 실험을 진행하였다.

Table 6. Fabrication processes of test model

1. Outer Wall Assembly	2. Double Skin Facade Assembly	3. Silicon Process
4. Measuring Equipment Installation	5. Roof Assembly	6. Completion of Test Model

3. 실험 결과

실측 실험결과 분석은 2014년 02월 27일 00시00분부터 03월 01

일 23시 59분까지 3일간 10분 단위로 측정된 데이터를 분석한다.

3.1. 실험기간 기후데이터

실험기간 중 외부공간의 최고온도는 평균 20.3°C로 나타났으며, 최저온도는 평균 -3.0°C로 측정되었다. 상대습도는 평균 69%로 나타났으며, 최대 일사량은 평균 659 W/m²로 측정되었다. 실험기간에 해당하는 3일간의 기후 데이터는 <Fig. 1.> 및 <Table 7.>와 같다.

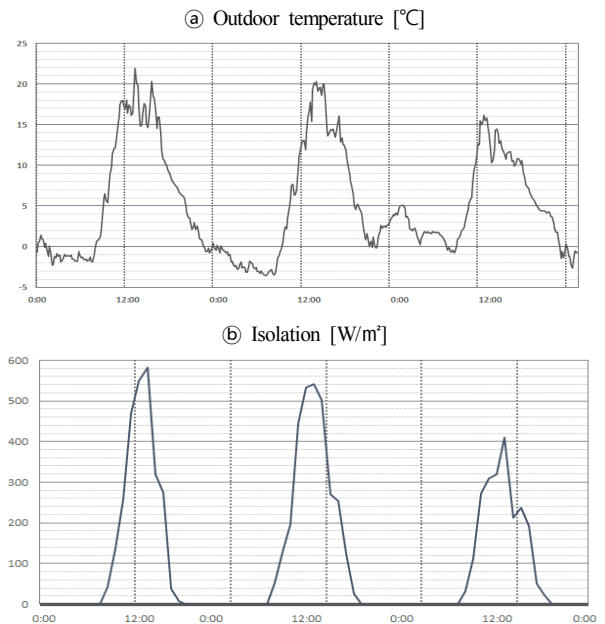


Fig. 1. Weather data during test period.

Table 7. Weather data during test period.

Type	Temperature [°C]*			Humidity [%]*	Isolation [W/m ²]*	Sunshine Duration [hr]**	Cloud Cover [10%]**
	Avg.	Min	Max				
02.27	5.9	-2.7	23.2	67	654	5.4	4.8
02.28	4.8	-3.6	20.8	68	604	4.3	6.3
03.01	5.0	-2.8	16.9	70	423	1.0	8.1
Avg.	5.2	-3.0	20.3	69	560	3.6	6.4

Note) * Survey Data
** Korea Meteorological Administration

3.2. 실험체의 실측 결과

실험기간 동안 7가지 타입 실험체의 중공층 온도 및 실내 공간 온도는 <Fig. 2.>와 같이 나타났다. 날짜별로 측정값이 상이한 것은 자연기후에서 실험했기 때문에 최저 온도 값은 외부 기온의 영향을 받아 차이가 보이며, 최고 온도 값은 외부 기온, 외부 일사량은 미세먼지 및 운량의 영향을 받아 외부 기온의 영향을 준 것으로 판단된다.

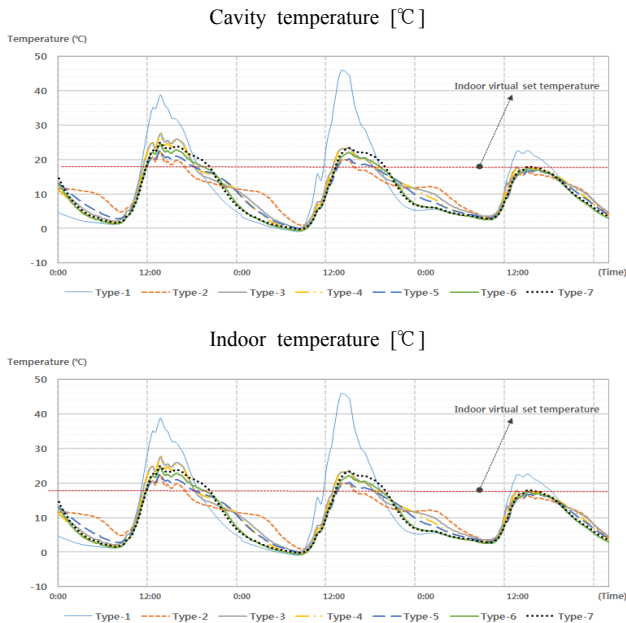


Fig. 2. Test results.

실험기간 3일간의 최고온도와 최저온도의 평균값을 비교해보면 <Table 8.>과 같다. Type-1(Basic)의 중공층 온도는 42.4°C로 가장 높은 온도를 보였으며, 두 번째로 Type-7(PCM 28°C) 38.1°C로 측정되었고, 실내 공간은 Type-1(Basic)은 35.8°C로 가장 높은 온도를 보였으나 중공층과 달리 실내온도는 Type-4(PCM 22°C)와 Type-3(PCM 20°C)은 각각 23.1°C와 23°C로 측정 되었다. 최저

온도의 중공층 측정값은 Type-1(Basic)은 0.7°C로 가장 낮은 온도를 보였으며, 두 번째로 Type-7(PCM 28°C)은 0.8°C로 측정되었고, 실내공간의 온도는 Type-1(Basic)과 Type-6(PCM 26°C)이 1°C로 가장 낮은 온도를 보이며, 두 번째로 Type-4(PCM 22°C)와 Type-7(PCM 28°C)이 1.4°C로 측정 되었다. <Fig. 2.>에서 보듯 주간과 야간의 실내온도 폭을 보면 Type-2부터 Type-7까지의 온도 변화 폭이 적은데 이는 주간에 PCM의 일사의 획득으로 현열 축적의 작용을 하며, 온도저하 가속의 원인인 야간에 일사의 중단과 별도로 주간에 축적된 현열이 방출하면서 주간과 야간의 온도 변화 폭이 발생하는 것으로 판단된다. 또한, Type별 온도의 격차는 외부의 물리적 변수가 발생되어짐에 따라 조금의 차이는 발생하며, 중공층의 온도 격차는 미비하나 실내온도 격차가 크게 발생하는 원인은 실내 개구부 Close로 인한 외기순환이 이뤄지지 않는 현상에 의한 것으로 판단된다.

3.3. 실험결과 분석

실험 결과 난방기간의 중공층의 최고 온도는 Type-1(Basic)이 가장 높았으며, Type-7(PCM 28°C), Type-6(PCM 26°C), Type-5(PCM 24°C), Type-4(PCM 22°C), Type-2(PCM 18°C), Type-3(PCM 20°C) 순으로 점차 낮아지는 결과를 보였다.

실내 공간의 최고 온도는 Type-1(Basic)이 가장 높았으며, Type-4(PCM 22°C), Type-3(PCM 20°C), Type-7(PCM 28°C), Type-6(PCM 26°C), Type-5(PCM 24°C), Type-2(PCM 18°C) 순으로 낮아지는 결과를 보였다. 이는 Type-1(Basic)은 일사열이 실내로 유입되어지면서 아무런 영향 없이 온도 전달이 가능하나, Type-2 부터 Type-7까지는 실내 내측외피에 PCM을 삽입함으로 인해 PCM의 특성으로 축열부에 축열현상이 발생되어짐에 따라 Type-1(Basic)보다 실내온도의 최고 온도가 낮아지는 현상이 발생된 거라 판단된다.

실험기간 중 각 타입별 실내 공간 온도의 데이터를 열량 산출방법에 따라서 계산 하였다. 실내 가상 설정 온도는 18°C 가정하였다. 본 연구는 난방 에너지저감 효과를 확인하기 위함과 동절기 적용 가능한 PCM 온도 도출을 목적으로 실내온도가 18°C이상으로 측정된 구간은 계산에서 제외하였다.

Table 8. Test measurement data [°C]

Type	2014-02-27			2014-02-28			2014-03-01			Test Period			
	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	
Cavity	Type-1(Basic)	0.6	50.6	15.3	-0.9	45.9	13.4	2.4	30.6	11.0	0.7	42.4	13.2
	Type-2(PCM18°C)	4.5	37.0	15.5	0.2	35.0	13.6	2.8	26.7	11.6	2.5	32.9	13.6
	Type-3(PCM20°C)	1.7	29.2	15.3	-0.3	35.7	13.3	3.1	26.6	11.5	1.5	33.8	13.4
	Type-4(PCM22°C)	1.6	39.5	15.5	-0.3	36.8	13.5	3.1	27.4	11.6	1.5	34.5	13.5
	Type-5(PCM24°C)	2.7	39.8	16.1	-0.1	38.0	13.5	3.0	27.8	11.4	1.9	35.2	13.7
	Type-6(PCM26°C)	1.2	42.1	15.6	-0.8	40.3	13.2	2.5	28.9	10.9	1.0	37.1	13.2
	Type-7(PCM28°C)	1.1	43.4	15.6	-1.0	41.4	13.0	2.3	29.4	10.7	0.8	38.1	13.1
Indoor	Type-1(Basic)	1.1	38.8	13.1	-0.9	45.9	13.4	2.8	22.6	9.8	1.0	35.8	12.1
	Type-2(PCM18°C)	4.8	22.3	12.9	0.9	19.9	11.0	3.3	16.3	10.2	3.0	19.5	11.3
	Type-3(PCM20°C)	2.1	27.7	13.0	0.2	23.5	11.0	3.5	17.8	10.2	1.9	23.0	11.4
	Type-4(PCM22°C)	1.7	27.6	12.8	-0.5	23.5	10.6	3.0	18.1	9.7	1.4	23.1	11.1
	Type-5(PCM24°C)	2.8	22.6	12.5	-0.1	20.1	9.8	3.0	16.6	9.1	1.9	19.8	10.4
	Type-6(PCM26°C)	1.3	24.4	11.9	-0.7	22.1	9.3	2.5	17.2	8.5	1.0	21.2	9.9
	Type-7(PCM28°C)	1.6	25.0	12.4	-0.2	23.4	9.8	2.8	18.0	8.8	1.4	22.1	10.3

Table 9. Calculation results of calorie flowed into indoor [cal/day]

Type	Date			
	2014 02-27	2014 02-28	2014 03-01	Avg.
Type-1(Basic)	-37,086	-39,382	-38,783	-38,417
Type-2(PCM18°C)	-26,538	-33,639	-36,801	-32,326
Type-3(PCM20°C)	-30,341	-34,925	-36,746	-34,004
Type-4(PCM22°C)	-30,448	-36,085	-38,513	-35,015
Type-5(PCM24°C)	-28,555	-37,676	-40,964	-35,732
Type-6(PCM26°C)	-31,995	-40,286	-43,202	-38,494
Type-7(PCM28°C)	-31,234	-39,865	-42,019	-37,706

<Table 9.>에서 나타나듯이 하루당 실내로 유입된 열량의 평균 값은 Type-1(Basic) -38,417 cal/day, Type-2(PCM 18°C) -32,326 cal/day, Type-3(PCM 20°C) -34,004 cal/day, Type-4(PCM 22°C) -35,015 cal/day, Type-5(PCM 24°C) -35,732 cal/day, Type-6(PCM 26°C) -38,494 cal/day, Type-7(PCM 28°C) -37,706 cal/day로 계산되었다. 산출된 결과를 바탕으로 Type-1(Basic)을 기준(100%)으로 하여 실내로 유입되는 열량을 비교해본 결과 Type-2(PCM 18°C)는 15.9%로 더 많이 획득한 것으로 나타났고, Type-3(PCM 20°C)는 11.5%로 획득 하였으며, Type-4(PCM 22°C)는 8.9% 획득, Type-5(PCM 24°C)는 7.0% 획득, Type-7(PCM 28°C)는 1.9% 획득으로 나타났으며, Type-6(PCM 26°C)는 0.2% 가장 적게 획득한 것으로 확인하였다. 이는 난방기간 실내로 유입되는 열량이 높으면 난방에너지 사용량을 줄일 수 있다.

각 타입별로 나타나는 이러한 차이는 외부온도와 일사량 및 운량에 의한 영향으로 발생하며, 난방기간 에너지 부하 저감 측면에 있어 일반 이중외피 시스템 보다 PCM 을 적용시 난방 에너지저감이 효과적이다. 또한, 동절기 난방 에너지저감을 위한 이중외피 시스템의 내측외피에 적용되어지는 PCM의 적정 온도는 Type-2(PCM 18°C)가 가장 높은 효율을 보이며, Type-3(PCM 20°C) 또한 적절한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 난방 에너지저감을 위해 이중외피 시스템에 각기 다른 PCM온도를 적용함으로써 이중외피 시스템에 적합한 PCM온도 도출 및 적용 유무에 따른 성능 평가를 수행함으로써 설치 가능성 및 에너지저감 효과를 확인하기 위해, 실측 실험을 위한 예비적 고찰을 통하여 국내의 전용면적 84 m² 규모의 단위공간을 선정하여 PCM을 적용한 이중외피 시스템을 제작하였다. 목업체의 Case는 기본 이중외피 시스템 Type-1(Basic)과 이중외피 시스템의 내피에 PCM의 상변화 온도에 따라 적용한 Type-2(PCM 18°C), Type-3(PCM 20°C), Type-4(PCM 22°C), Type-5(PCM 24°C), Type-6(PCM 26°C), Type-7(PCM 28°C) 총 7가지 타입으로 실측 실험을 진행하였다. 결론은 다음과 같다.

(1) 실측 실험을 통해 측정된 실내 공간 온도 변화 폭을 비교결과 18°C PCM 온도를 적용한 이중외피 시스템의 실내온도 폭이 가장 적게 나타났으며, 20°C PCM 온도, 22°C PCM 온도, 24°C PCM 온도, 28°C PCM 온도, 26°C PCM 온도, 기본형 이중외피 시

스템 순으로 실내 공간 온도 변화 폭이 적게 나왔다.

(2) 기존 이중외피 시스템 대비 이중외피 시스템의 내측외피에 PCM 온도별에 따른 열량획득을 비교한 결과 18°C PCM 온도를 적용한 경우 15.9%, 20°C PCM 온도를 적용한 경우 11.5%, 22°C PCM 온도를 적용한 경우 8.9%, 24°C PCM 온도를 적용한 경우 7.0%, 28°C PCM 온도를 적용한 경우 1.9%, 26°C PCM 온도를 적용한 경우는 0.2%로 나타났다.

(3) 이중외피 시스템에 적용 가능한 PCM온도에 따른 실내 열 성능 분석을 하였으며, 이에 따른 이중외피 시스템에 적용 가능한 PCM 온도 도출 및 성능평가를 통한 난방에너지 저감을 분석한 결과 Type-1(Basic) 대비 Type-2(PCM 18°C)는 15.9%로 열량을 획득한 것으로 나타났으며, 두 번째로 Type-3(PCM 20°C)는 11.5%로 열량이 유입되어졌다. 이와 같은 사항으로 난방기간 실내로 유입되는 열량이 높으면 난방에너지 사용량을 줄일 수 있다고 판단되며 동절기 난방에너지 저감을 위한 이중외피 시스템의 내측외피에 적용되어지는 PCM의 적정 온도는 Type-2(PCM 18°C)가 가장 높은 효율을 보이며, Type-3(PCM 20°C) 또한 적절한 것으로 판단되어진다.

차후 후속 연구로써 동절기 기간뿐만 아니라 하절기 기간에 적용되어지는 PCM 적정 온도를 도출에 대한 성능평가를 통해 동절기 및 하절기에 적용 가능한 적정 PCM 온도 도출 및 이중외피 시스템의 운용 방식이 이루어져야 한다.

References

- [1] 국토교통통계누리 (<http://stat.molit.go.kr>), 주택보급률(Housing Supply Ratio), 승인번호 제11628호 // (www.stat.molit.go.kr, MOLIT-Related Statistics, Housing Supply Ratio, Approval No. 11628)
- [2] 류리, 지충구, 김용성, “PCM을 적용한 창호형 이중외피 시스템 연구”, 대한건축 학회지(학술논문), 제29권 제4호 통권 제294호, pp.227-234, 2013.04 // (Ri Ryu, Chung-gu Ji, Young-Seong Kim, A Study of Window-Type Double Skin System Using PCM: Focusing on Energy Reduction for Heating and Cooling, Architectural Institute of Korea, Vol. 29 No. 04, pp.227-234, 2013.04)
- [3] 이규영, 류리, 서장후, 김용성, “냉방에너지 저감을 위한 PCM적용 축열벽 시스템 연구”, 대한건축설비공학회 논문집, Vol. 26 No. 06, pp.247-256, 2014.06 // (Kyuyoung Lee, Ri Ryu, Janghoo Seo, Yongseong Kim, Study on PCM applied Thermal Storage Wall System to reduce Cooling Energy, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26 No. 06, pp.247-256, 2014.06)
- [4] 이건호, 김현수, 장대희, 문수영, “다양한 기후조건에 대응하는 이중외피시스템 개발에 관한 실험적 연구”, 한국생태환경건축학회 논문집(학술논문), Vol. 5 No. 2, pp 19-26, 2005 // (Lee Keon-ho, Kim Hyeon-soo, Jang Dae-hee, Moon Soo-young, Experimental Study on Developing of Double Facade System dealing with the various climatic Conditions, Vol. 5 No. 2, pp 19-26, 2005)
- [5] 오정익, “Huri Focus : 기후변화대응 축열 건자재의 개발 동향 제 36호”, 주택도시 연구원, 2009 // (Oh, Jung-gik, Huri Focus : Climate change, the development trend of building materials corresponding regenerative, House and City Research Institute, 2009)
- [6] Ri Ryu, Chung-gu Ji, Janghoo Seo, Young-Seong Kim, A study on the analysis of indoor temperature according to the PCM temperature applied to the double skin facade system for saving cooling energy during summer season, Contemporary Engineering Sciences, 2014