

냉방에너지 저감을 위한 PCM적용 축열벽 시스템 연구

Study on PCM Applied Thermal Storage Wall System to Reduce Cooling Energy

이규영(Kyuyoung Lee)¹, 류 리(Ri Ryu)¹, 서장후(Janghoo Seo)², 김용성(Yongseong Kim)^{1†}

¹국민대학교 테크노디자인대학원 건축디자인과, ²국민대학교 건축학부/테크노디자인대학원 건축디자인과

¹Department of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

²Department of Architectural Design, Graduate School of Techno Design/School of Architecture, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received January 15, 2014; revision received January 23, 2014; Accepted: January 24, 2014)

Abstract The regulations to reduce energy consumption and carbon dioxide emission in building sectors are being developed and promoted all over the world. However, in Korea, as balcony extension of the apartments has been legally allowed, it became prevalent and resulted in excessive energy consumption. This study derived the possibility of PCM application to the thermal storage wall system through theoretical consideration and investigated the problems occurring when the balcony space has been extended to the diverted space. In addition, this study aims at the possibility of verifying the installation and confirming the cooling energy reduction effect, by conducting measuring tests with the actual installation of PCM applied thermal storage wall system. As a result of theoretical consideration, it is determined that the disadvantages with the existing thermal storage wall system can be complemented by applying PCM, and this study suggests the PCM applied Thermal Storage Wall System. The study was conducted on 1/6 of a miniature inner room of a domestic apartment with 84 m² of exclusive area. From the results of actual measurements, it is confirmed that the balcony extension structure can gain 11.3% of more calories than the existing balcony structure, resulting in the increase in cooling energy usage. It is determined that the installation of the PCM applied Thermal Storage Wall System may gain 25.2% of less calories to reduce cooling energy usage.

Key words Passive Solar System(자연형 태양열 시스템), Thermal Storage Wall(축열벽), Phase Change Material(상변화물질), Energy Saving(에너지 저감)

† Corresponding author, E-mail: yongkim@kookmin.ac.kr

기호설명

M : 실내 공간 용적 [m³]
 C : 공기 비열 [Kcal/m³°C]
 T_i : 실내 온도 [°C]
 T_s : 실내 가상 설정온도 [°C]

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 에너지 소비 및 이산화탄소 배출량의 1/3 이상을 건축분야에서 차지하고 있으며, 국내의 경우에는 국가 에너지 소비의 약 1/4을 그리고 이산화탄소 배출량은 약 1/2을 차지하는 것으로 조사되었다(환경부, 2010). 에너지 사용비중 및 온실가스 배출비중이 높은 건축분야에서는 사용자의 쾌적성 향상과 더

불어 건축물의 에너지 사용량 저감 및 효율을 향상시키기 위한 정책을 개발 및 추진 중이다. 최근 정부는 2008년 저탄소 녹색성장 정책을 추진하면서 친환경건축물 보급을 위한 노력을 기울이고 있으며, 로드맵에 따르면 2025년부터는 공동주택 및 일반 건축물 모두 제로에너지를 의무화 할 것으로 발표하였다.

이에 대한 방안으로, 건물에서 사용되는 에너지를 절약하기 위하여 자연에너지를 적극적으로 활용하는 친환경 시스템들이 활발히 적용되어지고 있다. 축열벽 시스템은 자연형 태양열 시스템 중 대표적 간접획득방식으로써 태양열을 주간에 축적하여 야간에 이용하는 개념으로 태양에너지를 활용하여 건물에 사용되는 에너지를 절약하는 시스템이다.

본 연구가 주된 대상으로 삼은 국내 공동주택에서는 2005년 12월 2일 건축법시행령 개정으로 신규 및 기존 공동주택의 발코니 확장이 법적으로 허용됨에 따

라서 실내공간의 확장이 성행되어지고 있다. Seong⁽¹⁾의 연구에 의하면 공동주택 발코니의 필요 유무는 응답자의 88.1%가 필요하다고 응답했으며, 발코니 확장 시 세탁 및 건조공간의 부족과 에너지의 과소비를 가장 큰 문제점으로 응답하였다.

이에 본 연구에서는 문헌고찰을 통하여 축열벽 시스템에 PCM(Phase Change Material, 상변화물질) 적용 가능성을 판단하고, PCM을 적용한 축열벽 시스템의 특징 및 필요성을 정립하여 제안한다. 또한 발코니 공간이 확장 될 경우에 발생하는 문제점을 규명하고, 냉방기간 동안 공동주택에 PCM을 적용한 축열벽 시스템 설치 유무에 따른 성능평가를 수행함으로써 설치 가능성 검증 및 냉방에너지 저감 효과를 확인하는데 연구의 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 절차

연구의 범위는 국내 공동주택 단위세대 동향을 분석하여 가장 많은 비중을 차지하는 단위세대 크기로 선정하여 진행하였으며, 이는 적용 가능성 검토에 있어서 객관성을 높이기 위함이다. 실측 실험을 통하여 얻은 데이터를 비교 및 분석하여 공동주택에 PCM을 적용한 축열벽 시스템의 설치 가능성을 검증하며, 연구의 세부적인 절차는 Fig. 1과 같다.

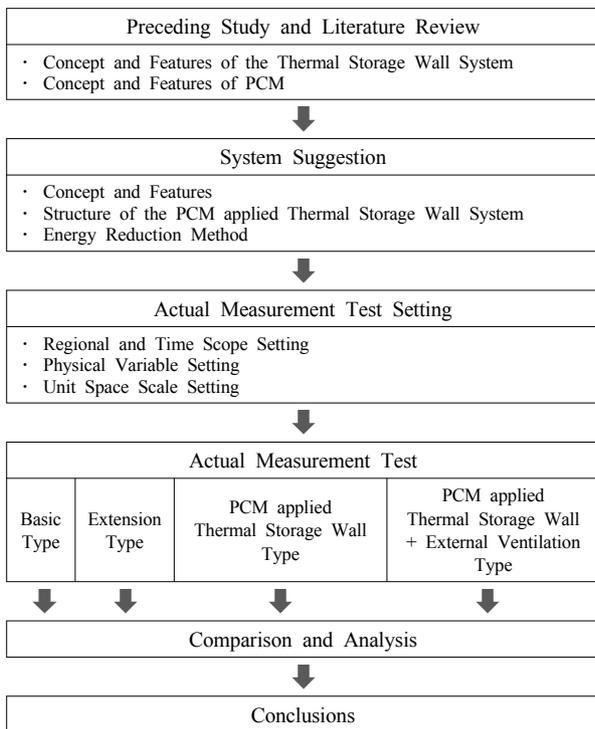


Fig. 1 Flowchart of study.

첫째, 선행 연구 및 문헌 고찰을 통하여 축열벽 시스템과 PCM의 개념 및 특성을 살펴 축열벽에 PCM 적용 가능성을 판단하고, PCM을 적용한 축열벽 시스템의 특징 및 필요성을 정립하여 제안한다.

둘째, 본 연구의 실측 실험을 위한 예비적 고찰을 통하여 PCM을 적용한 축열벽 시스템의 물리적 변수들을 설정하고, 국내 공동주택 현황분석을 통하여 적정 단위공간을 선정한다.

셋째, 선정한 단위공간을 기준으로 발코니의 확장 여부, PCM을 적용한 축열벽 시스템의 설치 여부 및 열적 완충 공간 환기 여부에 따른 비교 분석을 위하여 총 4가지 타입의 상이한 실험체를 제작하고, 냉방기간 중 3일간의 데이터 실측을 실시하여 결과 값을 비교 및 분석하여 PCM을 적용한 축열벽 시스템의 설치 가능성을 검증 및 냉방에너지 저감 효과를 확인한다.

2. 이론적 고찰

2.1 축열벽 시스템의 개념 및 특성⁽²⁻³⁾

2.1.1 자연형 태양열 시스템의 개념

자연형 태양열 시스템(Passive Solar System)은 기계 장치를 이용하지 않고 태양에너지를 실내로 끌어들이 구조체에 태양에너지를 축열하고 이들 부채로부터의 방열에 의하여 난방하는 시스템이며, 이용방식 및 구조에 따라 Table 1과 같이 분류할 수 있다.

이러한 대부분의 자연형 태양열 시스템들은 집열부(Collector element), 축열부(Thermal storage element) 및 이용부(Use element)로 구성된다. 집열부는 남측벽에 에너지 집열용 남향창을 설치하고, 축열부는 건물 내부의 건물 구조체를 이용하여 태양열을 저장하고, 이용부는 실내공간으로 집열부와 축열부의 자연적인 열전달 방법(전도, 대류, 복사)에 의하여 난방효과를 볼 수 있는 구조와 시스템을 갖는다. 특히 남측 집열부와 축열부의 적절한 조화는 난방과 냉방을 겸하게 할 수 있으며, 여름철 일사차단과 통풍을 고려하고 건물 구조체가 태양열에 과열되는 것을 방지하여 실내·외의 열이동을 최소화 한다면 기계적 힘을 이용하지 않고 실내온도를 낮추는 자연형 냉방효과도 기대할 수 있다.

Table 1 Classification of passive solar system

	Direct Gain	Direct Gain System
		Trombe Wall System
Passive Solar System	Indirect Gain	Thermal Storage Roof System
		Attached Sunspace System
	Isolated Gain	Thermosyphon System
		Double Envelope System

자연형 태양열 시스템에서 가장 중요한 요소는 축열체이며, 낮 동안 얻은 태양열을 저장할 수 있도록 충분한 부피와 면적의 축열체가 있어야 한다. 특히, 이러한 축열체는 주간 및 야간의 실내온도차를 최소화하는 역할을 한다.

2.1.2 축열벽 시스템의 개념

자연형 태양열 시스템 중 간접획득형의 일종인 축열벽 시스템은 남측에 설치한 창을 통하여 태양에너지를 받아서 축열벽에 축적된 열이 자연순환에 의하여 실내로 방출되는 특성을 이용한 방식이다. 자연형 태양열 시스템 중 상대적으로 시스템 효율이 높고, 남측벽에 손쉽게 적용가능하기 때문에 가장 많이 응용되고 있는 시스템이다.

Table 2 Analysis on types and features of the thermal storage wall system

Type	Operating Principles	
	Day	Night
Mass Wall		
	- A method to transfer solar energy accumulated in the thermal storage wall to the indoor space	
Water Wall		
	- It is equivalent to the mass wall method but uses water as a thermal storage media - Superior thermal storage performance compared to the mass wall - It is possible to ensure natural lighting and view	
Trombe Wall		
	- A method to transfer solar heat collected in the wall air cavity to the indoor space with natural convection through the upper/lower vents in addition to conduction and radiation of the thermal storage wall	

2.1.3 축열벽 시스템의 유형 및 특징

Table 2에서 나타나듯이 축열벽 시스템은 벽돌이나 콘크리트로 시공된 축열벽에 축적된 열이 순수히 전도에 의하여 전달되는 매스월(Mass Wall)방식, 축열재로 물을 사용하여 축열 성능을 향상시킨 물벽(Water Wall)방식, 상하부 공기순환 벤트가 있는 트롬월(Trombe Wall)방식이 대표적이다.

2.2 PCM의 개념 및 특성

2.2.1 PCM의 개념

Table 3에서 나타나듯이 PCM은 주변의 온도가 상승하면 녹으면서 열을 흡수하고, 주변의 온도가 낮아지면 응고되면서 열을 방출하는 축열성과 방열성을 반복적으로 나타내는 물질을 의미한다. 어떤 물질의 상변화 현상이 일어날 때 열을 흡수하거나 방출하게 되는데 이러한 열을 잠열(Latent heat)이라고 하며, 잠열은 현열(Sensible heat)에 비해서 에너지 저장 밀도가 높기 때문에 PCM이 에너지의 저장 매체로서 주로 많이 이용되고 있으며, 특히 건축분야에서는 녹는점의 범위가 20~30°C인 PCM들이 효율적인 에너지 관리를 위한 축열재로써 많이 사용되고 있다.⁽⁴⁾

2.2.2 건축물 적용을 위한 PCM의 특성

PCM은 기본적으로 열을 축적하거나 방출하는 방식으로써 건축물 내의 냉난방부하를 감소시키면서 그 고유의 역할을 수행할 수 있어서 PCM의 열역학적인 성질은 건축물 적용에 관련하여 중요하다. 같은 종류의 PCM이라도 잠열의 성능이 우수한 PCM이 효율이 높으며, 잠열량이 큰 PCM을 사용하게 되면 같은 냉난방부하를 줄더라도 들어가는 PCM의 체적이 줄게 되어서 결과적으로 요구되는 용기의 체적을 줄일 수 있게 된다. 또한 시간이 경과하더라도 적용되는 PCM 성능의 저하가 없어야 하며, 건축물에 적용하였을 때 건축 재료에 대한 부식성이 없어야 한다. 적용된 PCM은 무독성이어야 하며, 비인화성의 성질 및 비 폭발성의 성질을 가져야 한다.

각각의 PCM은 종류마다 서로 다른 용융점과 응고

Table 3 Concept of phase change material

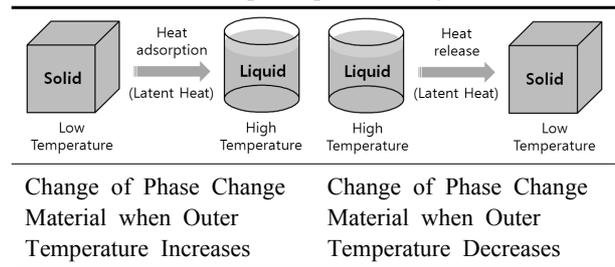


Table 4 Example studies of PCM application

Type	Features
PCM Board	- To reduce indoor energy consumption compared to usual board finish - To increase comfort of the residents and energy reduction effect by reducing frequency of internal air temperature changes
PCM Block	- To reduce energy without any loss of basic physical properties of concrete - The specimen wall containing PCM has relatively less temperature variation than the normal specimen walls
PCM Floor Heating	- With thin and lightweight floor, it has superior thermal energy storage capacity and excellent constructability. - It provides constant temperature within the floor structure and eliminates overheating phenomenon on the thermal energy source and floor surface

점을 가지고 있다. 재실자가 요구하는 쾌적한 온도범위에서 상변화를 일으키는 PCM을 적용하면 재실자의 쾌적성을 보장할 수 있으며, Passive control의 효율을 향상 시키는 목적으로 PCM을 적용하면 Active control의 부하를 감소 시켜서 에너지 소비를 줄일 수 있다.⁽⁵⁾

2.2.3 PCM을 적용한 연구사례⁽⁶⁾

PCM을 적용한 에너지 저장 시스템은 잠열 저장의 장점으로 인하여 1980년대 이전부터 건물의 열저장매체로서 고려되어 왔으며, peak 부하이동과 열에너지 절감을 고려하고 건축물의 열에너지 저장 능력을 증대시키기 위하여 PCM 제품들(보드, 블록, 온돌바닥 등)이 개발되고 시험되어져 왔다. PCM을 적용한 제품들의 특징은 Table 4와 같다.

2.3 소 결

본 장에서는 선행 연구 및 문헌 고찰을 통하여 축열벽 시스템과 PCM의 개념 및 특성을 살펴보고 축열벽 시스템에 PCM 적용 가능성을 도출하였다. PCM의 잠열 특성을 적용한 축열벽 시스템은 기존 콘크리트 및 조적식 축열벽 보다 벽체의 두께를 얇게 하면서도 열 에너지를 충분히 저장할 수 있을 것으로 예상되며, 불투과성 재료로 남측면에 설치해야하는 축열벽 시스템의 단점을 개선할 수 있다. PCM이 고체 상태일 때는 직사광선을 막아주고 확산된 광이 실내로 유입되므로 채광의 효과가 있으며, 액체상태일 때는 채광 및 조망권 확보도 가능하다. 또한, 재실자가 요구하는 쾌적한 온도범위에 맞춰서 PCM 온도를 선정하면 재실자의

쾌적성을 보장할 수 있다.

3. PCM적용 축열벽 시스템 제안

3.1 PCM적용 축열벽 시스템의 개념 및 특징

기존 축열벽 시스템은 남측면에 콘크리트 또는 조적식 구조의 불투과성 재료의 축열부를 설치함에 따라 채광 및 조망권을 확보할 수 없으며, 구조적인 부담이 따른다. 이를 보완하기 위한 방안으로 축열벽 시스템에 PCM을 적용하였다.

축열벽 시스템에 PCM을 적용함에 있어서 PCM의 상변화 온도 선정이 중요하며, 선행연구 분석을 통하여 확인 하였듯이 건축분야에서는 20℃~30℃ 사이의 PCM을 많이 사용하고 있다. 낮과 밤의 온도차에 의하여 상이 변하는 적정 온도를 선정하여야 하며, 재실자가 요구하는 쾌적한 온도범위에 맞춰서 PCM 온도를 선정할 수 있다.

복층판 투명 폴리카보네이트 속에 PCM을 삽입하여 구성한 축열벽 시스템을 본 논문에서 제안하며 세부적인 특징은 다음과 같다.

- (1) PCM이 고체 상태일 때는 직사광선을 막아주고 확산된 광이 실내로 유입되므로 채광의 효과가 있으며, 액체 상태일 때는 채광 및 조망권 확보가 가능하다.
- (2) 기존 콘크리트 및 조적식 축열벽보다 축열부의 두께를 얇게 하면서도 잠열 특성을 이용하여 열에너지를 충분히 저장할 수 있으며, 구조적인 부담을 줄일 수 있다.
- (3) 냉방기간에는 직사광선을 축열벽이 막아주고, 난방기간에는 태양에너지를 적극 활용함으로써 실내 냉·난방에너지 사용량을 저감할 수 있다.
- (4) 재실자가 요구하는 쾌적한 온도범위에서 상변화를 일으키는 PCM을 적용하면 재실자의 쾌적성을 보장할 수 있다.

3.2 PCM적용 축열벽 시스템의 구성

Fig. 2에서 나타나듯이 PCM을 적용한 축열벽 시스템의 구성도는 축열벽 시스템에 대한 고찰을 기반으로 하여 구성도를 제안하였으며, 집열부, 축열부, 이용부로 구성된다.

집열부는 공동주택 외측 창호를 통하여 들어오는 태양에너지를 모으는 역할을 하며, 축열부는 복층판 투명 폴리카보네이트 속에 PCM을 삽입하여 태양에너지를 잠열을 이용하여 축적하게 된다. 이용부는 실내공간으로 집열부와 축열부에 축적된 에너지를 자연적인 열전달 방법(전도, 대류, 복사)에 의하여 사용하는 구조를 갖는다.

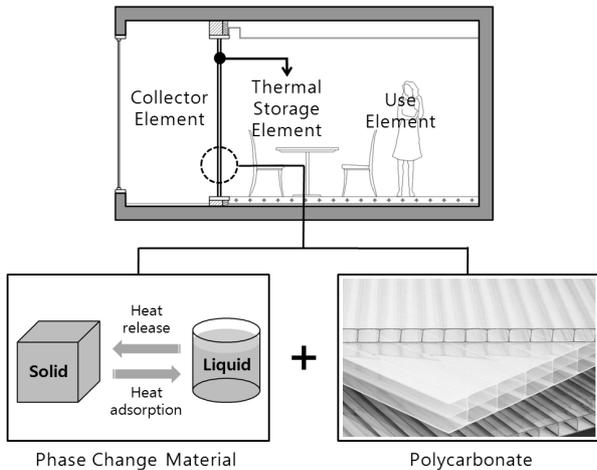


Fig. 2 Block diagram of the PCM applied thermal storage wall system.

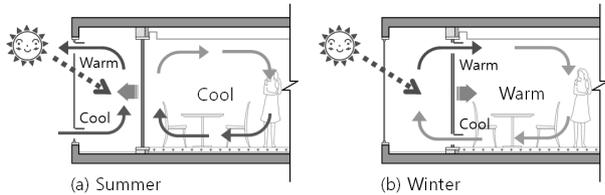


Fig. 3 Energy reduction of the PCM applied thermal storage wall system.

3.3 PCM적용 축열벽 시스템의 에너지저감방안

PCM을 적용한 축열벽 시스템은 실내로 들어오는 태양에너지를 제어하여 실내 냉·난방에너지 저감을 유도한다. Fig. 3에서 나타나듯이 여름철 실내로 유입되는 직사광선은 차단하고 집열부 및 축열부에 축적된 열을 외부로 배출함으로써 냉방에너지 저감을 유도하며, 겨울철 태양에너지를 적극 활용하여 집열부 및 축열부에 축적된 열을 실내로 유입시킴으로써 난방에너지 저감이 가능하다.

4. 실측 실험

4.1 실측 실험 설정

공동주택에 PCM을 적용한 축열벽 시스템을 설치함에 있어서 다양한 변수 및 단위공간, 그리고 지역 및 시간적 범위에 대한 분석이 이루어져야 하지만 모든 상황을 실험하기에는 제약이 따른다. 본 연구의 실험에서는 공동주택에 PCM을 적용한 축열벽 시스템 설치 가능성을 검증하기 위한 목적으로 지역 및 시간적 범위, 물리적 변수, 단위공간의 규모를 다음과 같이 설정 하였다.

4.1.1 지역 및 시간적 범위

본 연구의 실측 실험에서 지역 범위는 대한민국, 서울특별시(북위 37° 34', 동경 126° 58')로 설정한다. 기상청 평년값자료(30년)에 따르면 1981~2010년까지의 서울특별시 연평균 기온은 12.5℃이다. 최한월 평균기온은 -2.4℃로 1월에 나타나며, 최난월 평균 기온은 25.7℃로 8월에 나타난다. 연평균 강수량은 1450.5 mm이며, 연평균 풍속은 2.3 m/s이다(기상청, 2013).

시간적 범위는 냉방기간에 해당하는 6월부터 9월의 기간 중 낮 온도는 상이하지 않으면서 태양의 남중고도가 65° 미만으로 낮아져서 축열부에 태양에너지가 다량으로 도달하는 9월을 실측 실험 기간으로 하였다.

4.1.2 물리적 변수

본 연구는 공동주택에 PCM을 적용한 축열벽 시스템을 설치함에 있어서 세탁 및 건조공간, 열적 완충공간의 확보를 위하여 기존 발코니 공간을 확보하고 내측 창호 대신 축열부를 설치하였으며, PCM 상변화 온도는 냉방기간 실내 적정온도인 26℃~28℃ 범위 안에 들어오며 잠열량이 높아 효율이 좋은 28℃로 선정하였다. 복층판 폴리카보네이트 내부에 PCM을 삽입하여 축열부로 사용하며, 개구부는 실내 공간에 냉방기기가 가동되고 있다는 것을 가정하여서 폐쇄하였다.

4.1.3 단위공간의 규모

적정 단위공간 규모를 선정하기 위하여 국내 공동주택 규모현황을 고찰하였다. 2010년 기준 국내 아파트주거환경통계 지역별 규모현황에 따르면 공급면적 99.0 m²(30평) 이상 115.5 m²(35평) 미만의 규모가 전체의 24.0%를 차지하여 가장 높은 것으로 나타났으며, 66.0 m²(20평) 이상 82.5 m²(25평) 미만은 18.7%, 82.5 m²(25평) 이상 99.0 m²(30평) 미만은 16.5% 순으로 나타났다(국토교통통계누리, 2010). 또한, Fig. 4에서 나타나듯이 2012년 기준 주택건설실적통계 주택규모별 주택건설 인허가실적에 따르면 전용면적 60 m² 이상 85 m² 미만의 규모가 41.4%로 가장 높게 나타났다(국토교통통계누리, 2012).

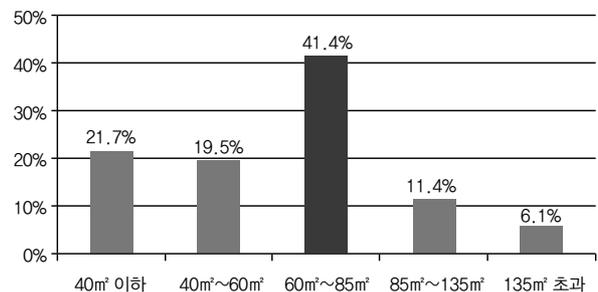


Fig. 4 Results of domestic housing construction licenses(in 2012).

Table 5 Specifications of unit space [mm]

Type	Contents
Floor Plan	
Section	

따라서 본 연구의 적정 단위공간 규모는 전용면적 84 m²로 선정하였으며, 그 중 안방에 축열벽을 적용하는 것을 전제로 한다. Won et al.⁽⁷⁾의 연구 중 84 m² 공동주택 안방 규모 분석을 근거로 Table 5와 같이 세부 치수는 폭 4,200 mm, 깊이 3,600 mm의 공간에 깊이 1,500 mm의 발코니를 가지고 있으며, 층고와 천정고는 각각 2,900 mm, 2,300 mm인 단위공간으로 선정하였다. 단위공간의 방위는 정남향으로 하였다.

4.2 실측 실험체의 개요 및 구성

Table 6에서 나타나듯이 실측 실험에 사용될 실험체

는 선정된 단위공간을 1/6로 축소하여 제작하였으며, 발코니의 확장 여부, PCM을 적용한 축열벽 시스템의 설치 여부 및 열적 완충 공간 환기 여부에 따른 비교 분석을 위하여 총 4가지 타입으로 제작하였다. 첫 번째는 기존 발코니 타입(Type-1 : 기본형), 두 번째는 발코니를 확장했을 경우의 타입(Type-2 : 확장형)으로써 내측 창을 제거하고 외측 창만이 존재하는 형태, 세 번째는 PCM을 적용한 축열벽 시스템을 설치한 타입(Type-3 : PCM 적용 축열벽), 네 번째는 PCM을 적용한 축열벽 시스템 및 외측 환기구를 설치한 타입(Type-4 : PCM 적용 축열벽+외측 환기구)으로 제작하였다. 실내 공간에 냉방기가 가동되고 있다는 것을 전제로 4가지 타입 모두 실내 공간에 면한 창호 및 PCM을 적용한 축열벽 시스템의 환기구는 모두 폐쇄하였으며, Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구)의 외측 환기구는 열적 완충공간에 데워진 공기를 외부로 방출하기 위하여 유입구와 유출구 모두 개방된 상태로 실험하였다. 실험체의 세부 개요 및 구성은 Table 7과 같다.

4.3 실내로 유입된 열량 산출방법

냉방기간에 실내로 유입되는 열량 산출을 위해서는 많은 요소를 고려해야 하며, 계산과정도 단순하지 않다. 실측 실험을 통해 모든 요소를 측정하여 실내로 유입되는 열량을 계산하기에는 제약이 따른다. 본 연구에서는 실내 개구부를 모두 폐쇄하여 자연대류가 없는 경우 실내 온도 변화에 영향을 주는 직접적인 요인은 태양에너지라고 가정하였다. 실내온도와 실내 가상 설

Table 6 Overview of each type of specimen [mm]

Type	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Floor Plan				
Section				

Note) T1 ~ T8 : Temperature/Humidity Sensor.

Table 7 Overview and composition of specimen

Type		Details		
Model Size	Indoor	Width	700 mm	
		Depth	600 mm	
		Height	400 mm	
	Balcony	Width	700 mm	
		Depth	250 mm	
		Height	400 mm	
Material	Foamed Polystyrene	Thickness	100 mm	
		Heat Conductivity	0.034 W/mK	
		Thickness	16 mm(5CL+6A+5CL)	
	Pair Glass	Visible Light Transmittance(81%)	Reflectance(15%)	
		Heat Ray from the Sun	Transmittance(68%)	Reflectance(12%)
		Sheltering Coefficient	0.86	
		Thermal Transmittance	3.19 W/m ² K	
		Thickness	10 mm(CL)	
	Polycarbonate Double Plate Sheet	Light Transmittance	79%	
		Thermal Transmittance	3.0 W/m ² K	
		Compound	n-Octadecane(> 97%)	
	PCM	Formula	C ₁₈ H ₃₈	
Melting Point		28℃		
Heat of Fusion		241 kJ/kg		
Measurement System	Pyrheliometer Sensor	ML-020VM		
	Temperature/Humidity Sensor	SHT11		
	Surface Temperature Sensor	K-TYPE		
	Data Logo	TX-220		

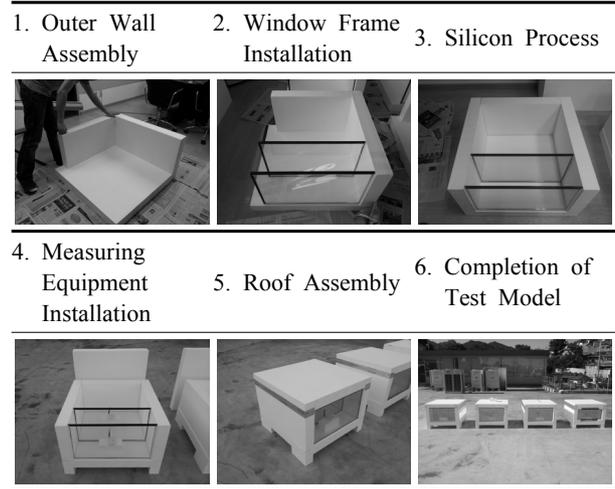
정온도의 차 및 실내 공간 용적, 공기 비열을 이용하여 다음 식(1)로 태양에너지를 받아 실내 온도가 가상 설정온도 보다 높아지는 구간의 열량을 각 타입별로 계산하였다. 이는 냉방기간 동안 설정온도로 실내 공간 온도를 맞추기 위하여 소모되는 냉방에너지량을 각 타입별로 비교하기 위함이다. 공기 비열(C)은 0.31 Kcal/m³℃를 적용하였다.

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

4.4 실측 실험체 제작 및 실험

실측 실험체는 발포폴리스티렌 100 T로 바닥, 벽,

Table 8 Fabrication processes of test model



천정을 구획하고 내·외측 창호는 16 mm 복층유리를 사용하였으며, 10 mm 복층판 투명 폴리카보네이트 속에 PCM을 삽입하여 축열부를 제작하였다. Table 8은 실험체의 제작과정을 나타내며, 2013년 9월 15일부터 2013년 9월 19일까지 실측 실험을 진행하였다.

5. 실험 결과

실측 실험 결과 분석은 2013년 9월 16일 00시 00분 부터 2013년 9월 18일 23시 59분까지 3일간 10분 단위로 측정된 데이터를 그 대상으로 한다.

5.1 실험기간 기후 데이터

실험기간 중 외부공간의 최고온도는 평균 38.5℃로 나타났으며, 최저온도는 평균 13.5℃로 측정되었다. 상대습도는 평균 67%로 나타났으며, 최대 일사량은 평균 849 W/m²로 측정되었다. 실험기간에 해당하는 3일간의 기후 데이터는 Table 9 및 Fig. 5와 같다.

Table 9 Weather data during test period

Type	Temperature [°C] [*]		Humidity [%] [*]	Isolation [W/m ²] [*]	Sunshine Duration [hr] ^{**}	Cloud Cover [10%] ^{**}
	Avg.	Min Max				
	9.16	22.1	12.4 38.7	65	886(12:30)	11.8
9.17	22.9	14.0 37.3	65	815(12:30)	9.6	0.6
9.18	24.4	14.1 39.5	69	847(12:30)	10.9	1.0
Avg.	23.2	13.5 38.5	67	849	10.8	0.6

Note) ^{*} Survey Data

^{**} Korea Meteorological Administration.

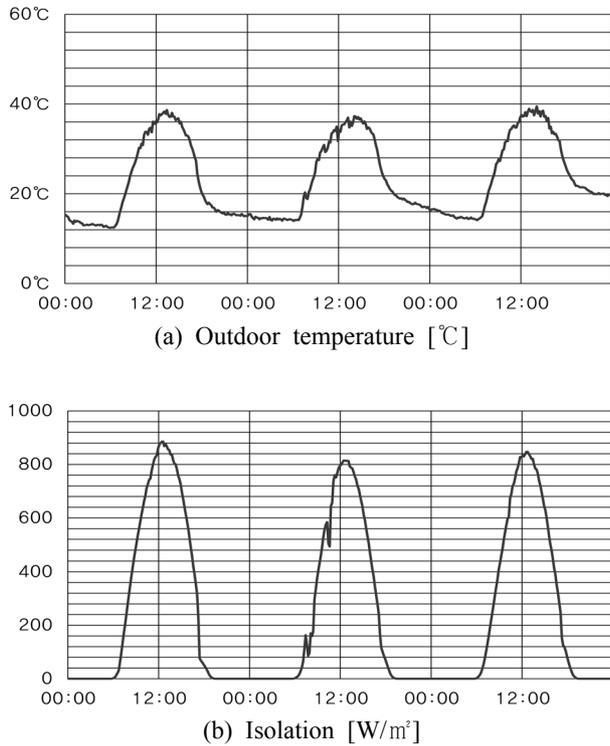


Fig. 5 Weather data during test period.

5.2 실험체의 실측 결과

실험기간 4가지 타입 실험체의 발코니 공간 온도 및 실내 공간 온도는 Table 10 및 Fig. 6과 같이 나타났다. 날짜별로 측정값이 상이한 것은 자연기후에서 실험하였기 때문에 최저 온도값은 외부기온의 영향을 받아서 차이를 보이며, 최고 온도값은 외부기온 및 일사량의 영향을 받아서 차이를 보이는 것으로 판단된다.

실험기간 3일간의 최고 온도값의 평균을 비교해보면, Type-1(기본형), Type-2(확장형), Type-3(PCM 적용 축열벽), Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구) 각각 발코니 공간은 72.3°C, 71.1°C, 64.8°C, 41.4°C로 나타났고, 실내 공간은 62.4°C, 67.0°C, 54.6°C, 34.3°C로 측정되었다.

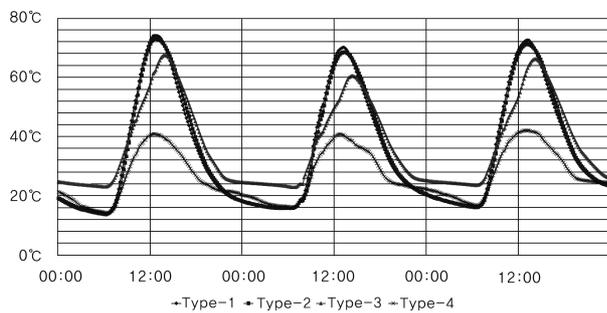
최저 온도값의 평균을 비교해보면, Type-1(기본형), Type-2(확장형), Type-3(PCM 적용 축열벽), Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구) 각각 발코니 공간은 15.3°C, 15.4°C, 23.3°C, 15.8°C로 나타났고 실내 공간은 15.3°C, 15.1°C, 23.1°C, 16.0°C로 측정되었다.

5.3 실험 결과의 분석

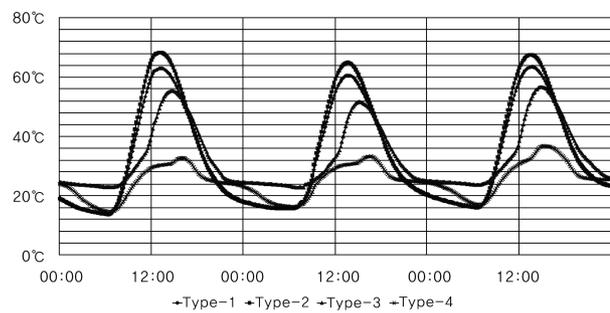
실험 결과 냉방기간의 발코니 공간의 최고온도는 Type-1

Table 10 Test measurement data [°C]

Type	2013-09-16			2013-09-17			2013-09-18			Test Period			
	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	
Balcony	Type-1	13.7	74.1	34.8	15.9	70.2	34.4	16.2	72.6	36.6	15.3	72.3	35.3
	Type-2	14.0	73.2	35.0	15.9	68.6	34.3	16.2	71.4	36.6	15.4	71.1	35.3
	Type-3	23.1	67.5	38.0	23.0	60.6	36.1	23.7	66.3	38.4	23.3	64.8	37.5
	Type-4	14.3	41.1	25.7	16.2	41.0	26.4	16.8	42.2	28.2	15.8	41.4	26.8
Indoor	Type-1	13.9	63.0	32.1	15.8	60.7	32.0	16.3	63.5	34.2	15.3	62.4	32.8
	Type-2	13.7	68.3	33.4	15.7	65.0	33.0	16.0	67.6	35.2	15.1	67.0	33.9
	Type-3	22.9	55.4	32.9	22.8	51.7	31.7	23.7	56.8	34.3	23.1	54.6	33.0
	Type-4	14.7	32.8	24.0	16.3	33.3	24.5	17.0	36.8	26.4	16.0	34.3	25.0



(a) Balcony temperature [°C]



(b) Indoor temperature [°C]

Fig. 6 Test results.

(기본형)이 가장 높았으며, Type-2(확장형), Type-3(PCM 적용 축열벽), Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구) 순으로 점차 낮아지는 결과를 보였다. 실내 공간의 최고온도는 Type-2(확장형)가 가장 높았으며, Type-1(기본형), Type-3(PCM 적용 축열벽), Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구) 순으로 점차 낮아지는 결과를 보였다.

이는 Type-1(기본형)과 비교하여서 Type-2(확장형)는 열적 완충 공간이 없어짐으로 인하여 실내 공간의 온도가 상승하게 되고, Type-3(PCM 적용 축열벽)은 태양 에너지가 축열부에 축적되어 실내 공간의 온도가 상대적으로 낮아진다. 또한, Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구)는 외기 순환이 활발해져서 집열부의 온도가 낮아지고 이에 따라서 실내공간의 온도가 상대적으로 낮아지는 현상으로 판단된다.

실험기간 중 각 타입별 실내 공간 온도의 데이터를 열량 산출방법에 따라서 계산하였다. 실내 가상 설정 온도는 26℃로 가정 하였으며, 이는 냉방기간 실내 적정온도인 26℃~28℃ 범위 안에 들어오는 온도이다. 또한, 본 연구는 냉방에너지 저감 효과를 확인하기 위한 목적으로 실내온도가 26℃ 이하로 측정된 구간은 계산에서 제외하였다.

Fig. 7 및 Table 11에서 나타나듯이 하루당 실내로 유입된 열량의 평균값은 Type-1(기본형) 77,945 cal/day, Type-2(확장형) 86,748 cal/day, Type-3(PCM 적용 축열벽) 58,329 cal/day, Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구) 13,890 cal/day로 계산되었다. 산출된 결과를 바탕으로 Type-1(기본형)을 기준(100%)으로 하여서 실내로 유입되는 열량을 비교해본 결과, Type-2(확장형)는 11.3% 더 많이 획득(111.3%)한 것으로 나타났고, Type-3(PCM 적용 축열벽)은 25.2% 적게 획득(74.8%)한 것으로 나타났다. 또한 Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구)는 82.2% 적게 획득(17.8%)한 것을 확인하였다. 이는 냉방기간 실내로 유입되는 열량이 적으면 결국 냉방에너지 사용량을 줄일 수 있다.

각 타입별로 나타나는 이러한 차이는 외부 온도가 높고 일사량이 상대적으로 많은 시간대에 두드러지게 나타나며, 냉방기간 에너지 부하 저감의 측면에 있어 PCM을 적용한 축열벽 시스템이 설치된 구조가 기존의 발코니나 확장형 구조에 비하여 더욱 효과적이다. 또한, PCM을 적용한 축열벽 시스템을 설치함에 있어서 냉방기간에는 외측 환기구를 개방하여 일사열로 데워진 열적 완충공간의 공기와 축열벽에 축적된 에너지를 외부로 방출하는 것이 보다 효과적인 것으로 판단된다.

Fig. 8에서 나타나듯이 3일간의 실측 실험을 통하여 측정된 실내 공간 온도의 각 시간별 최대값, 최소값, 그리고 평균값을 도출하여서 변화 폭을 비교하였다.

각 타입별 실내 공간 온도변화 폭을 비교하여보면 Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구)의 실내 공간

온도변화 폭이 16.0℃~34.1℃로 가장 적게 나타났으며, Type-3(PCM 적용 축열벽), Type-1(기본형), Type-2(확장형) 순으로 실내 공간 온도변화 폭이 적게 나타

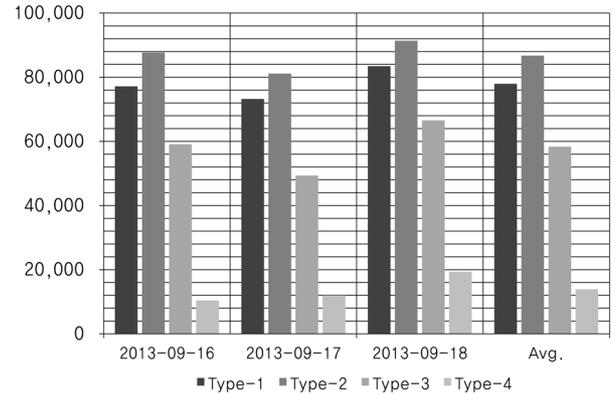


Fig. 7 Calculation results of calorie flowed into indoor [cal/day].

Table 11 Calculation results of calorie flowed into indoor [cal/day]

Type	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
2013-09-16	77,151	86,713	59,080	10,395
2013-09-17	73,222	81,154	49,355	11,941
2013-09-18	83,460	91,377	66,553	19,334
Avg.	77,945	86,748	58,329	13,890

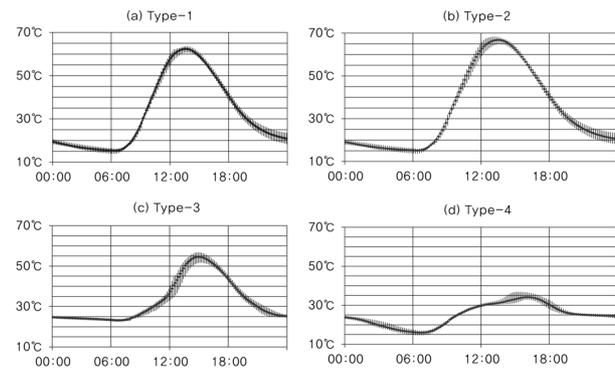


Fig. 8 Temperature changes of indoor space.

Table 12 Temperature changes of indoor space

Type	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Minimum Temperature	15.3℃	15.1℃	23.2℃	16.0℃
Maximum Temperature	62.4℃	66.9℃	54.6℃	34.1℃
Temperature Differential	47.0℃	51.7℃	31.4℃	18.1℃

났다. 이는 PCM을 적용한 축열벽 시스템 설치시 실내 공간 온도 변화 폭을 줄여 재실자의 쾌적성 향상에 효과가 있는 것으로 판단된다. 각 타입별 세부적인 온도 변화폭은 Table 12와 같다.

6. 결 론

본 연구는 문헌조사 및 선행연구 분석을 통하여 축열벽 시스템 및 PCM에 대한 개념 및 특성을 살펴 축열벽 시스템에 PCM 적용 가능성을 판단하였고, 국내의 전용면적 84 m² 규모 공동주택의 안방을 적정 단위 공간으로 설정하여 냉방기간에 PCM을 적용한 축열벽 시스템의 설치 가능성을 Type-1(기본형), Type-2(확장형), Type-3(PCM 적용 축열벽), Type-4(PCM 적용 축열벽+외측 환기구) 총 4가지 타입으로 실측 실험하였다. 결론은 다음과 같다.

(1) 문헌조사 및 선행연구를 통하여 축열벽 시스템과 상변화물질의 개념 및 특성을 고찰한 결과 PCM을 적용한 축열벽 시스템은 기존 콘크리트 및 조적식 축열벽 시스템 보다 벽체의 두께를 얇게 하면서도 잠열 특성을 이용하여 열에너지를 충분히 저장할 수 있을 것으로 판단되며, 구조적인 부담을 줄일 수 있다. PCM이 고체 상태일 때는 직사광선을 막아주고 확산된 광이 실내로 유입되므로 채광의 효과가 있으며, 액체 상태일 때는 채광 및 조망권 확보가 가능하다.

(2) 거주자 요구에 의하여 발코니 공간이 전용공간으로 확장 될 경우 기존의 발코니 구조를 존치시키는 경우에 비해 11.3%의 열량을 더 많이 획득하여 냉방에너지 사용량 증가를 초래한다.

(3) 기존 발코니 구조와 비교하여 PCM을 적용한 축열벽 시스템을 설치하는 경우 25.2%, PCM을 적용한 축열벽 시스템 설치 및 외측 환기구를 개방하는 경우 82.2% 열량을 적게 획득하는 것으로 나타났다. 이는 냉방에너지 소비량을 상당부분 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 실측 실험을 통해 측정된 실내 공간 온도변화 폭을 비교해보면, PCM을 적용한 축열벽 시스템 설치 및 외부 환기구를 개방한 구조의 실내 공간 온도변화 폭이 가장 적게 나타났으며, PCM을 적용한 축열벽 시스템을 설치한 구조, 기존 발코니 구조, 발코니 공간을 확장한 구조 순으로 실내 공간 온도변화 폭이 적게 나타났다. 이는 PCM을 적용한 축열벽 시스템 설치시 실내 공간 온도 변화 폭을 줄여 재실자의 쾌적성 향상에 효과가 있는 것으로 판단된다.

본 연구는 공동주택에 PCM을 적용한 축열벽 시스템의 설치 가능성을 검증하였다. 이에 건축적 적용에 있어서 설치 면적 대비 효율을 분석하여 적정 설치 면적 및 적정 위치를 도출하고, 잠열부하를 고려한 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 외측환기 및 실내환기를 적용한 운영방법, 거주자 라이프 사이클에 맞는 운영방식의 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

1. Seong, B. M., 2010, A study on problems and design improvements according to the diversion of balcony area at high-rise housing, MS thesis, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea.
2. Park, J. S., 2010, An efficiency analysis of the passive solar heating system for office building, MS thesis, Inha University, Incheon, Korea.
3. Yoon, J. H., Baek, N. C., and Shin, U. C., 2008, Experimental study on the thermal performance of passive solar trombe wall system, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 28, No. 1, pp. 75-82.
4. Yun, H. K., 2011, Preparation and characterization of PCM for energy saving accumulator, MS thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea.
5. Jeong, S. G., Jeon, J. S., Seo, J. K., and Kim, S. M., 2011, Consideration for application of Phase Change Material(PCM) for building energy saving, Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 5, No. 1, pp. 7-15.
6. Im, B. C., 2010, Plan to apply PCM to buildings and utilize it, Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 4, No. 2, pp. 12-17.
7. Won, H. S., Oh, S. M., and Oh, S. G., 2009, Double-skin facade's cooling effects on indoor temperature of apartment's room, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 11, No. 4, pp. 241-248.
8. Stazi, F., Mastrucci, A., and di Perna, C., 2012, Trombe wall management in summer conditions : An experimental study, Solar Energy, Vol. 86, No. 9, pp. 2839-2851.
9. Liu, Y., Wang, D., Ma, C., and Liu, J., 2013, A numerical and experimental analysis of the air vent management and heat storage characteristics of a trombe wall, Solar Energy, Vol. 91, pp. 1-10.