

## 간헐운전 시 바닥 복사난방시스템의 온열 쾌적감 향상을 위한 PCM 최적 삽입 위치

The Optimal Insertion Position of PCM for the Improvement of the Thermal Comfort of Floor Radiant Heating Systems During Intermittent Operations

---

저자 (Authors)	최성호, 유재윤, 김성은, 박진철 Seong Ho Choi, Jae Yun Yoo, Seong Eun Kim, Jin Chul Park
출처 (Source)	<a href="#">설비공학논문집 33(5)</a> , 2021.5, 233–243 (11 pages) <a href="#">Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 33(5)</a> , 2021.5, 233–243 (11 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">대한설비공학회</a> The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10551280">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10551280</a>
APA Style	최성호, 유재윤, 김성은, 박진철 (2021). 간헐운전 시 바닥 복사난방시스템의 온열 쾌적감 향상을 위한 PCM 최적 삽입 위치. <i>설비공학논문집</i> , 33(5), 233–243.
이용정보 (Accessed)	중앙대학교 165.194.26.*** 2021/06/04 10:54 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.



## 간헐운전 시 바닥 복사난방시스템의 온열 쾌적감 향상을 위한 PCM 최적 삽입 위치

The Optimal Insertion Position of PCM for the Improvement of the Thermal Comfort of Floor Radiant Heating Systems During Intermittent Operations

최성호(Seong Ho Choi)<sup>1</sup>, 유재윤(Jae Yun Yoo)<sup>1</sup>, 김성은(Seong Eun Kim)<sup>2</sup>, 박진철(Jin Chul Park)<sup>3†</sup>

<sup>1</sup>중앙대학교 건축공학과 석사과정, <sup>2</sup>중앙대학교 건축공학과 박사과정, <sup>3</sup>중앙대학교 건축학부 교수

<sup>1</sup>M.S Course, Graduate School, Department of Architectural Engineering Chung-Ang University, Seoul, 06974, Korea

<sup>2</sup>Ph.D. Course, Graduate School, Department of Architectural Engineering Chung-Ang University, Seoul, 06974, Korea

<sup>3</sup>Professor, School of Architecture and Building Science, Chung-Ang University, Seoul, 06974, Korea

(Received January 14, 2021; revision received February 22, 2021; Accepted: February 24, 2021)

**Abstract** The floor structure of the floor radiant heating system of most apartment houses in Korea adopts the standard floor structure advised by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport in order to resolve the noise dispute between floors. In such a floor structure, when the supply of hot water is stopped when the heat storage part of the mortar is shortened during intermittent heating, the surface temperature drops rapidly and it is difficult to expect a continuity in the temperature level. In order to resolve this problem, PCM with excellent heat storage performance was added to the floor radiant heating system. In addition, an optimal PCM insertion location was proposed in order to show more efficient heat storage performance. Two mock-up laboratories have been established to compare the heat storage performance of a standard floor radiant heating system and a PCM applied floor radiant heating system. The PCM was inserted at the top, side, and bottom of the hot water pipe and the temperature change was measured through the introduction of a heating schedule. The experiment confirmed that when the PCM was inserted at the bottom of the hot water pipe, the rising rate and persistence of the floor surface temperature and indoor temperature were higher than that of the general room, making it advantageous to insert the PCM at the bottom.

**Key words** Phase change material(상변화물질), Radiant floor heating system(바닥복사난방 시스템), Thermal storage performance(축열성능)

† Corresponding author, E-mail: [jincpark@cau.ac.kr](mailto:jincpark@cau.ac.kr)

### 1. 연구배경 및 목적

국내 대부분의 공동주택 바닥 복사난방시스템의 바닥구조는 국토교통부에서 고시하고 있는 표준바닥구조 1-I로서<sup>(1)</sup> 바닥의 구조체에 매설되어있는 온수관에서 공급되는 온수를 열원으로 하여 실내를 난방하는 방식이다.<sup>(2)</sup> ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’<sup>(3)</sup> 제12조 1항에 따라 바탕층-콘크리트 슬래브 210 mm, 단열층-완충재 20 mm, 채움층-경량 기포 콘크리트 40 mm, 마감 및 배관층-마감 모르타르 40 mm로 이루어져 축열식 난방을 하게 된다.

그러나, 이와 같은 바닥구조는 충간소음 분쟁을 해소하기 위한 목적으로 바닥표면으로 열을 전달하는 모르타르의 경우 축열 구간이 짧아 온수공급 중단 시 표면 온도가 빠르게 저하되는 문제점이 발생한다.<sup>(4)</sup> 또한, 짧은 시간 동안 다수의 간헐적 난방을 하였을 경우 축열로 인한 바닥표면 온도의 지속성을 기대하기 힘들어

난방 재가동 시 바닥표면과 실내온도가 상승하는데 많은 에너지와 시간이 소요되게 된다. 이러한 문제 해결을 위해 구조체에 공급되는 열에너지를 축열하여 이용할 수 있는 상변화물질(Phase Change Material; PCM)을 활용한 연구가 최근 주목받고 있다.

PCM은 뛰어난 축열 성능을 가지고 있어, 건물의 구조체와 융합하여 실내 냉·난방 및 온열환경 유지에 사용되고 있다. PCM을 건물에 적용하기 위해서는 구조 재료와 열적특성을 고려해야 한다. Kim and Jeong<sup>(5)</sup>은 PCM의 특성 분석을 통해 PCM을 건축 자재에 적용할 경우 열적 효율을 높일 수 있다고 하였으며, Lim<sup>(6)</sup>은 PCM을 적용한 구체축열 복사냉난방시스템을 활용할 경우 실내 온열환경 개선을 통해 열적 쾌적성이 향상할 수 있다고 설명하였다. Kim and Lee<sup>(7)</sup>는 PCM을 모르타르에 적용하여 물성과 성능을 확인하였으며, PCM 혼입량에 따른 열적 성능의 변화를 확인하였다. 지금까지의 연구는 PCM을 건물의 외벽, 지붕, 벽체 등에 적용한 것으로 바닥 구조체 특히 바닥구조체에서도 PCM 위치에 따른 축열량에 대한 연구개발은 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 실내 온열 쾌적감 향상을 위해 바닥구조 내 PCM을 삽입하였다. 또한, 간헐난방 시 PCM 위치에 따른 실내 및 바닥표면 온도변화를 Mock-up 실험을 통해 확인하고 최적 삽입 위치를 도출하였다. 이와 같은 연구는 추후 바닥 복사난방시스템에서 축열성능 향상의 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

## 2. Mock-up 실험실 구축

기존 바닥 복사난방시스템과 PCM을 적용한 바닥 복사난방시스템의 보일러 가동과 정지 시 온도상승과 하강의 편차를 보기 위해 Mock-up 실험실을 Fig. 1과 같이 구축하였다. 즉, 총 2개의 실로 구성하였으며, 각 실은 바닥면적  $3.5 \text{ m}^2$ , 실 체적  $8.4 \text{ m}^3$ (W : 1.75 m, D : 2.00 m, H : 2.40 m)로 구성되어 있다. 실의 벽체 두께는 100 mm로 이루어져 있으며, 각 실의 구분을 하기 위한 중앙의 벽은 단열재 200 mm(발포폴리스틸렌)로 구성하여 열적 간섭을 최소화하였다. 실험실은 실내에 설치되어 외부조건은 모두 동일하게 하였다. 비교를 위한 일반 바닥 복사난방시스템은 표준바닥구조 1-I을 준용하여 Room 1을 구성하였고, 일반 바닥복사난방시스템에서 마감층 모르타르 내에 PCM을 삽입하여 Room 2를 구성하였다.

PCM 재료의 선택은 선행연구 결과를 바탕으로 바닥복사난방시스템에 적용 가능한 최대 융해온도  $44^\circ\text{C}$ 인 RT44의 n-Paraffin 계열을 사용하였다. 또한, PCM의 용량은 선행연구를 통해 온수 배관에서 PCM으로 전달되는 열량과 모르타르의 열저항값, 선정된 PCM의 열적특성을 수학적 계산식을 사용하여 총 20kg으로 산정하였다.<sup>(8)</sup> 이때, PCM의 포장은 열전도율과 내구성이 높은 알루미늄 재질의 레토르트 포장 용기에 진공 포장하여 상안정화 후 바닥구조에 적용하였다.

Table. 1은 일반 바닥복사난방시스템의 구조(Room 1)와 PCM을 온수관 상부와 하부 그리고 측면에 배치한 구조(Room 2)이다. 특히, PCM 삽입 시 바닥구조의 온도변화 비교를 위해 T-type 열전대 센서와, ‘Graphtec 社’의 Portable Data Logger GL820을 사용하여 난방 배관 온도, 바닥표면 온도, PCM 온도, 실내온도를 측정하였다.

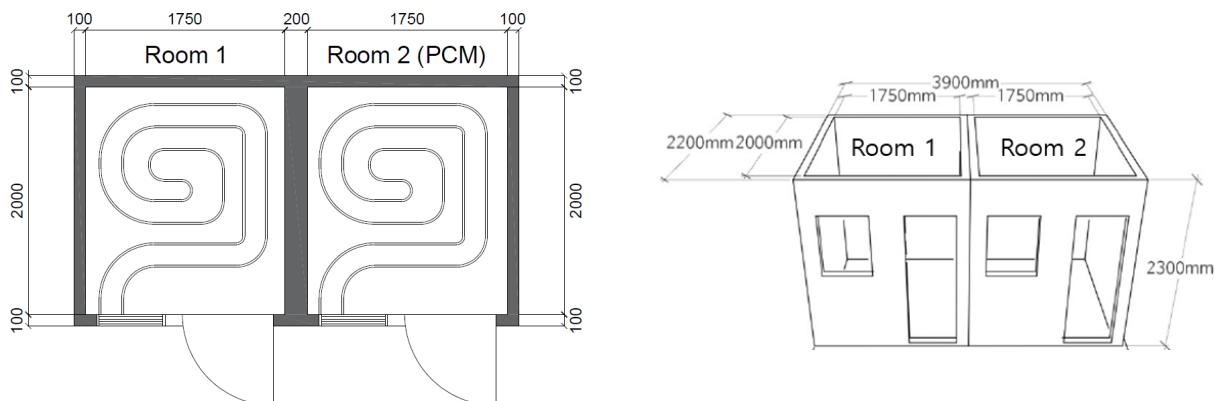


Fig. 1 Mock-up plan and 3D model.

Table 1 Mock-up floor structure

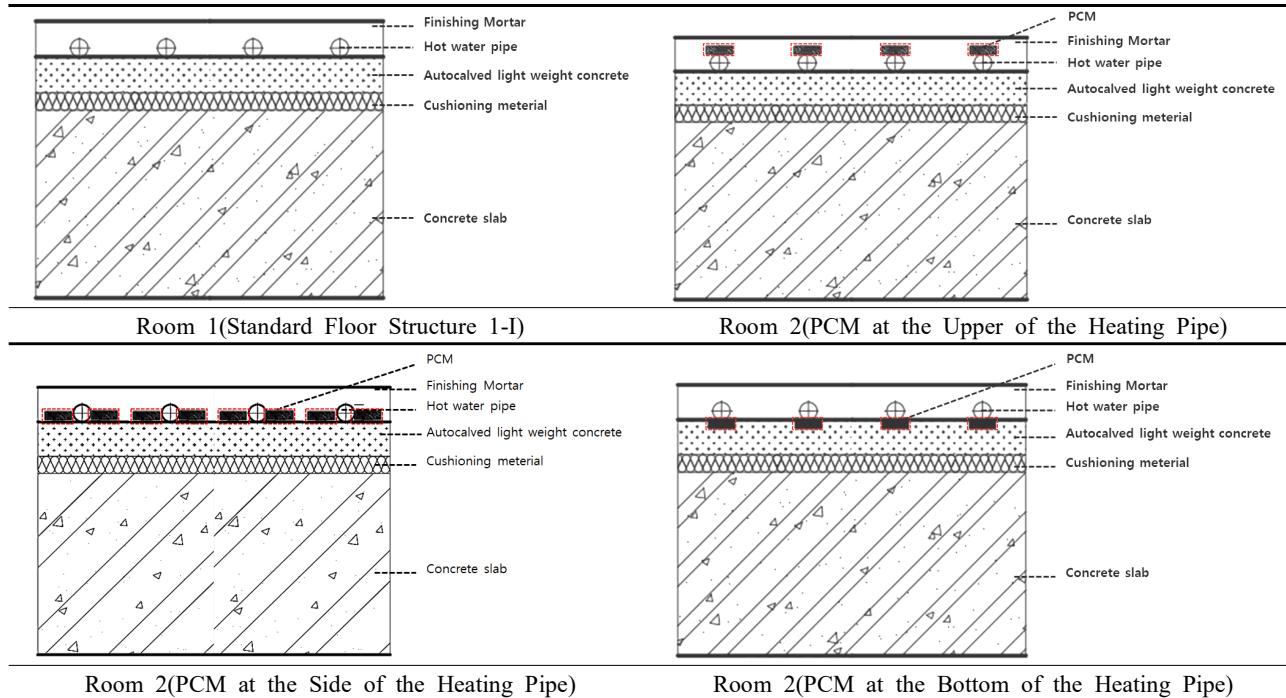


Table 2 Boiler heating schedule

Stop time	Heating schedule(Time)														
	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8
3 hour	On		Off		On		Off	On		Off	On		On		Off

보일러 공급온도는 65°C로 설정하였으며, 가동 스케줄은 Table 2와 같이 온수난방 1시간 가동 후 3시간 동안 정지로 설정하여 실험을 진행하였다. 이는 간헐난방 시 실내 온열 쾌적성 유지를 위해 선행연구의 실험결과를 바탕으로 PCM의 축열성능을 최적으로 활용할 수 있는 가동시간으로 설정하였다. 실험 결과 30분 가동으로는 가동시간이 짧아 PCM 축열효과가 크게 나타나지 않고 1시간 이상의 가동시간에서 일반 바닥구조 대비 높은 축열 성능이 나타났다. 또한, 난방가동 후 정지시간은 장시간 난방 정지 시 PCM에 의한 온도 지속성을 확인하고자 3시간 정지로 설정하였다.<sup>(9,10)</sup>

### 3. 실험 결과

#### 3.1 온수 배관 상부

##### 3.1.1 표면 온도

PCM 온수 배관 상부삽입 결과 표면온도는 Table 3, Table 4와 Fig. 2와 같이 나타났으며 자세한 사항은 다음과 같다. 일반실인 Room 1과 PCM 적용 Room 2의 온도변화는 25.4°C에서 26.8°C까지 평균 1.0°C로 PCM 적용실의 온도가 더 상승한 것으로 나타났다.

1 Cycle 당 Room 1의 최대 최소 온도 평균은 26.8°C, 25.4°C이며 온도차는 1.3°C로 나타났다. Room 2는 26.6°C, 25.9°C로 나타났으며, 온도차는 0.7°C로 나타났다. 이는 온수 배관의 열이 PCM으로 전달되어 모르타르와 같이 축열 되어 일반실 대비 축열효과를 보이는 것으로 판단된다.

Table 3 PCM upper insert start point and end point surface temperature

Start Temperature(°C)		End Temperature(°C)		Average Temperature(°C)	
Room 1	Room 2	Room 1	Room 2	Room 1	Room 2
19.4	19.4	26.7	27.7	21.7	21.4

Table 4 PCM insertion surface temperature comparison on the upper of the hot water pipe

Cycle	Room	Surface Temperature(°C)			Temperature difference (°C)
		Maximum temperature	Minimum temperature	Maximum minimum average	
1	1	24.6	23.9	24.2	0.7
	2	24.2	23.9	24.0	0.3
2	1	27.3	25.8	26.5	1.5
	2	27.1	26.3	26.7	0.8
3	1	28.6	26.7	27.6	1.9
	2	28.6	27.6	28.1	1.0
Average	1	26.8	25.4	26.1	1.3
	2	26.6	25.9	26.2	0.7

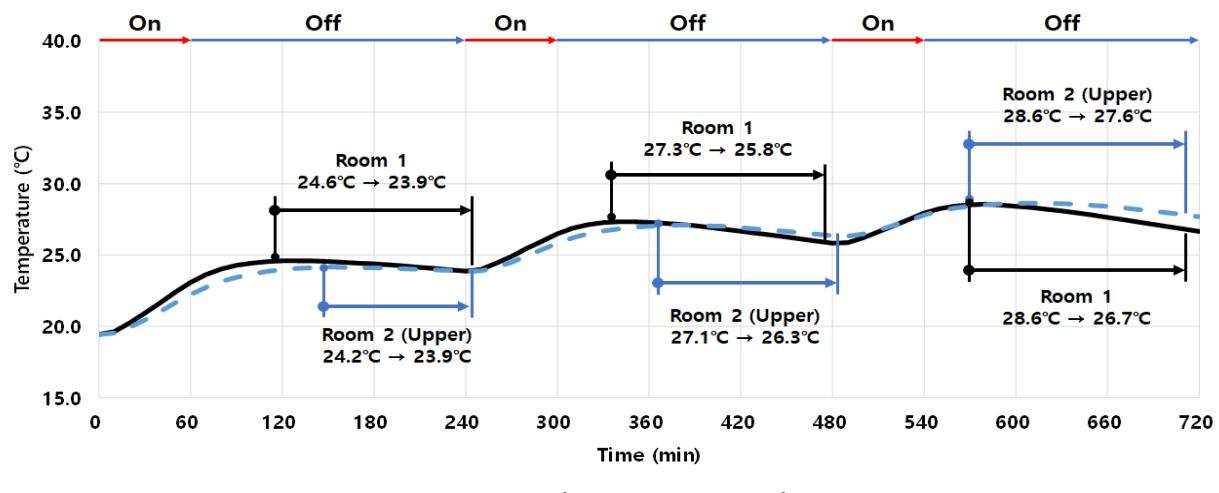


Fig. 2 Surface temperature when inserting PCM hot water pipe upper.

### 3.1.2 실내온도

PCM을 온수 배관 상부에 삽입 후 난방 1시간 가동 3시간 정지의 스케줄을 도입하여 측정된 실내온도는 Table 5와 Fig. 3과 같다. 실내온도는 일반실인 Room 1은 18.3°C에서 22.6°C까지 상승하였으며, PCM 적용 실인 Room 2는 18.0°C에서 23.0°C까지 증가하였다. 그러나, 실내평균온도는 Room 1이 21.9°C, Room 2가 21.6°C로 PCM 적용된 실이 안정적으로 일정한 온도분포를 나타내고 있었다.

Table 5 Indoor temperature when inserting upper of PCM hot water pipe

Insert Position	Room	Temperature(°C)		Average Temperature(°C)
		Start	End	
Hot water pipe Upper	1	18.3	22.6	21.7
	2	18.0	23.0	21.4

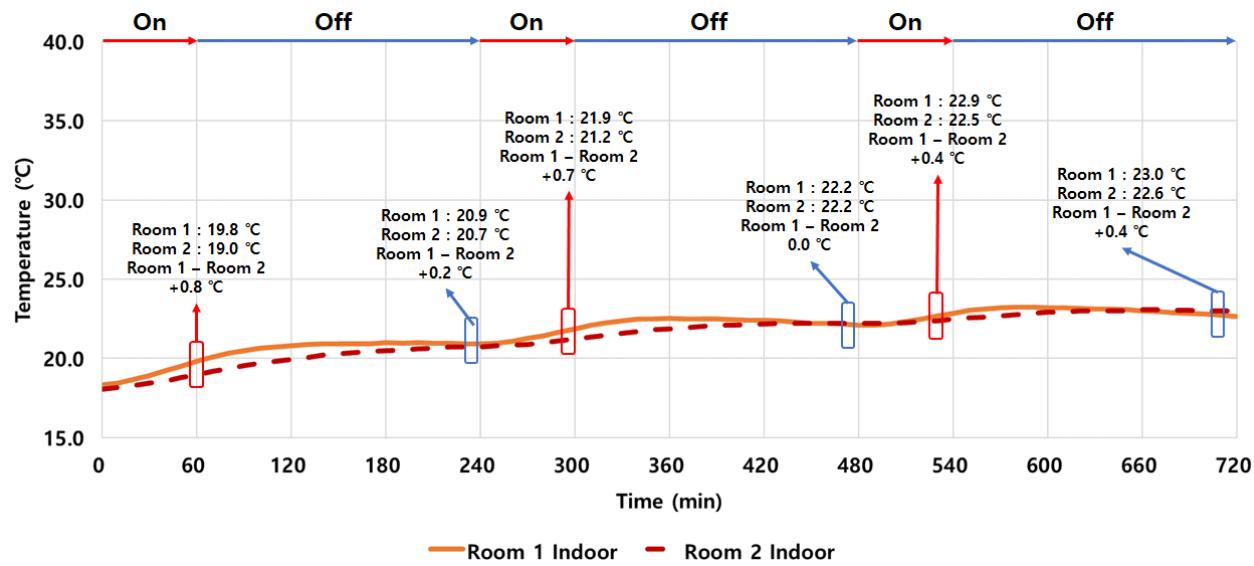


Fig. 3 Indoor temperature when PCM upper is inserted.

### 3.2 온수 배관 측면

#### 3.2.1 표면 온도

PCM 온수 배관 측면삽입 시 온도분포는 Table 6, Table 7과 Fig. 4와 같이 나타났다. 바닥표면온도는 난방가동 시 Room 1이 평균 24.6°C Room 2가 23.5°C로 PCM 적용실이 일반실보다 1.0°C 낮게 나타나고 있었다.

1 Cycle 당 Room 1의 최대 최소 온도 평균은 24.6°C, 23.1°C이며 온도차는 1.5°C로 나타났다. Room 2는 23.5°C, 22.1°C로 나타났으며, 온도차는 1.3°C로 나타났다. 이는 PCM이 온수 배관 측면에 삽입되어 온수배관에서 방출되는 열을 양쪽으로 나누어 흡수하게 되면서 PCM이 열을 충분히 축열하지 못하는 것으로 판단된다. 또한, 난방정지 시 반대로 표면 모르타르의 온도를 빼앗아 일반실 대비 온도가 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

Table 6 PCM side insert start point and end point surface temperature

Start Temperature(°C)	End Temperature(°C)		Average Temperature(°C)	
	Room 1	Room 2	Room 1	Room 2
20.8	20.8	24.4	23.0	24.1

Table 7 PCM insertion surface temperature comparison on the side of the hot water pipe

Cycle	Room	Surface Temperature(°C)			Temperature difference (°C)
		Maximum temperature	Minimum temperature	Maximum minimum average	
1	1	23.5	22.2	22.8	1.3
	2	22.8	21.5	22.1	1.3
2	1	24.9	23.1	24.0	1.8
	2	23.7	22.2	22.9	1.5
3	1	25.5	24.1	24.8	1.4
	2	24.1	22.8	23.4	1.3
Average	1	24.6	23.1	23.8	1.5
	2	23.5	22.1	22.8	1.3

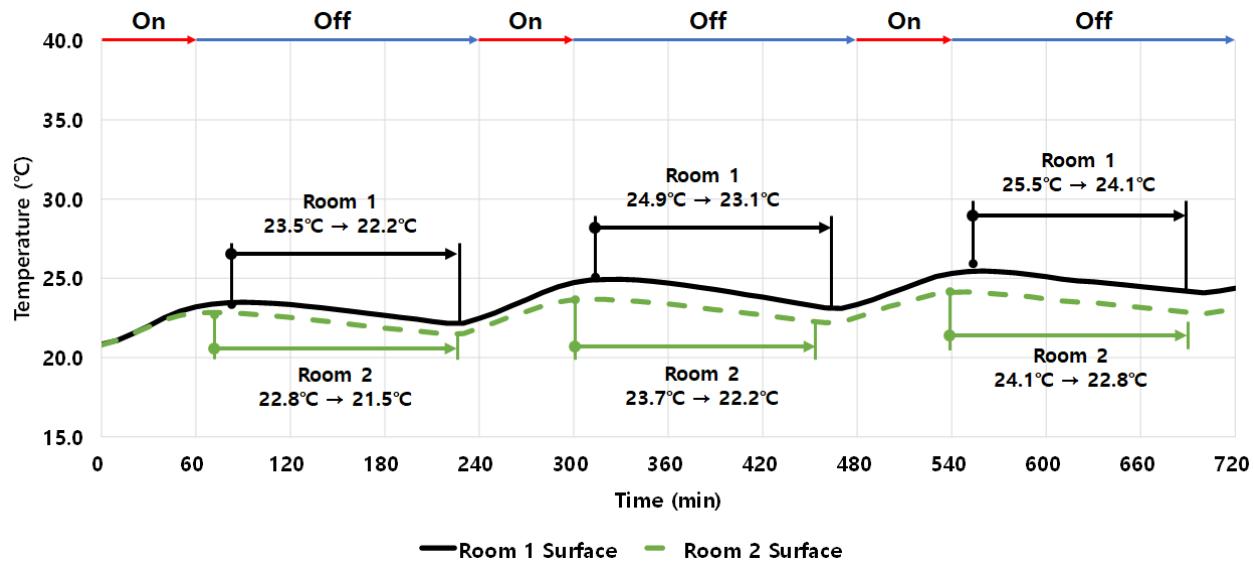


Fig. 4 Surface temperature when inserting PCM hot water pipe side.

### 3.2.2 실내온도

PCM을 온수 배관 측면에 삽입 후 난방 1시간 가동 3시간 정지의 스케줄 적용 시 측정된 실내온도는 Table 8과 Fig. 5와 같다. Room 1의 실내온도는 20.2°C에서 21.0°C Room 2는 20.0°C에서 20.1°C까지의 분포로 PCM이 설치된 Room 2가 0.5°C 정도 낮은 온도가 유지되었으며, 온도상승폭 또한 낮게 나타났다.

Table 8 Indoor temperature when inserting side of PCM hot water pipe

Insert Position	Room	Temperature(°C)		Average Temperature(°C)
		Start	End	
Hot water pipe Side	1	20.2	21.0	21.0
	2	20.0	20.1	20.2

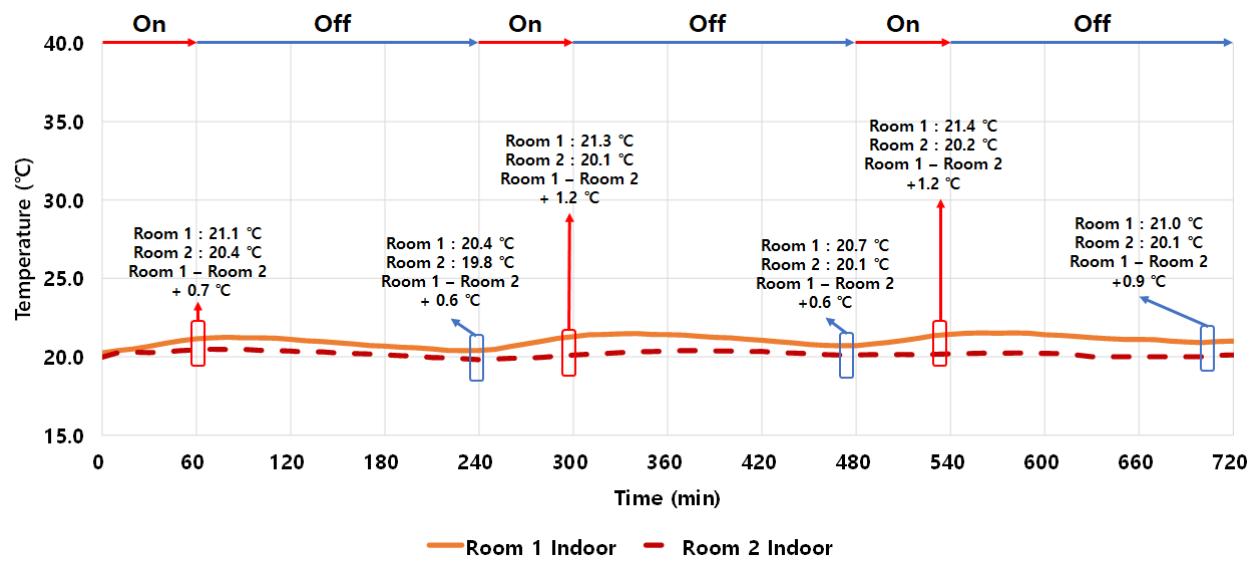


Fig. 5 Indoor temperature when PCM side is inserted.

### 3.3 온수 배관 하부

#### 3.3.1 표면 온도

PCM을 온수 배관 하부삽입 결과의 온도분포는 Table 9, Table 10과 Fig. 6과 같이 나타났다. 즉, 일반실인 Room 1 대비 PCM이 적용된 Room 2의 바닥표면 온도가 24.5°C에서 26.2°C까지 평균 0.3°C에서 0.5°C 높게 나타났다.

1 Cycle 당 운전 가동 시 Room 1의 최대 최소 온도 평균은 25.9°C, 24.5°C이며 온도차는 1.4°C로 나타났다. Room 2는 26.2°C, 24.9°C로 나타났으며, 온도차는 1.3°C로 나타났다. 이는 온수 배관 하부에 삽입된 PCM이 온수 배관 하부로 방출되는 열을 축열하여 난방 정지 시에도 표면으로 열을 전달해 온도를 지속시키는 것으로 판단된다.

Table 9 PCM bottom insert start point and end point surface temperature

Start Temperature(°C)		End Temperature(°C)		Average Temperature(°C)	
Room 1	Room 2	Room 1	Room 2	Room 1	Room 2
17.8	17.8	25.6	26.4	24.8	25.2

Table 10 PCM insertion surface temperature comparison on the bottom of the hot water pipe

Cycle	Room	Surface Temperature(°C)			Temperature difference (°C)
		Maximum temperature	Minimum temperature	Maximum minimum average	
1	1	23.9	23.1	23.5	0.8
	2	23.8	23.1	23.4	0.7
2	1	26.4	24.8	25.6	1.6
	2	26.7	25.2	25.9	1.5
3	1	27.5	25.6	26.5	1.9
	2	28.2	26.4	27.3	1.8
Average		25.9	24.5	25.2	1.4
		26.2	24.9	25.5	1.3

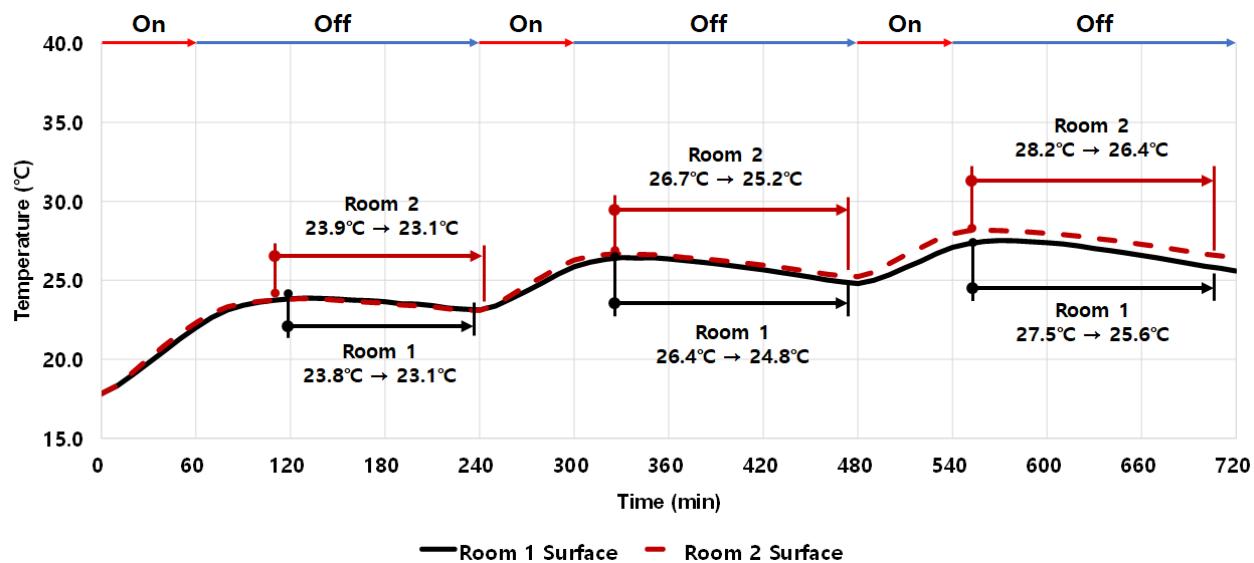


Fig. 6 Surface temperature when inserting PCM hot water pipe bottom.

Table 11 Indoor temperature when inserting bottom of PCM hot water pipe

Insert Position	Room	Temperature(°C)		Average Temperature (°C)	Average temperature difference at the end of heating(°C)
		Start	End		
Hot water pipe Bottom	1	18.0	22.5	21.7	± 0.4
	2	18.2	23.0	21.7	+ 1.5

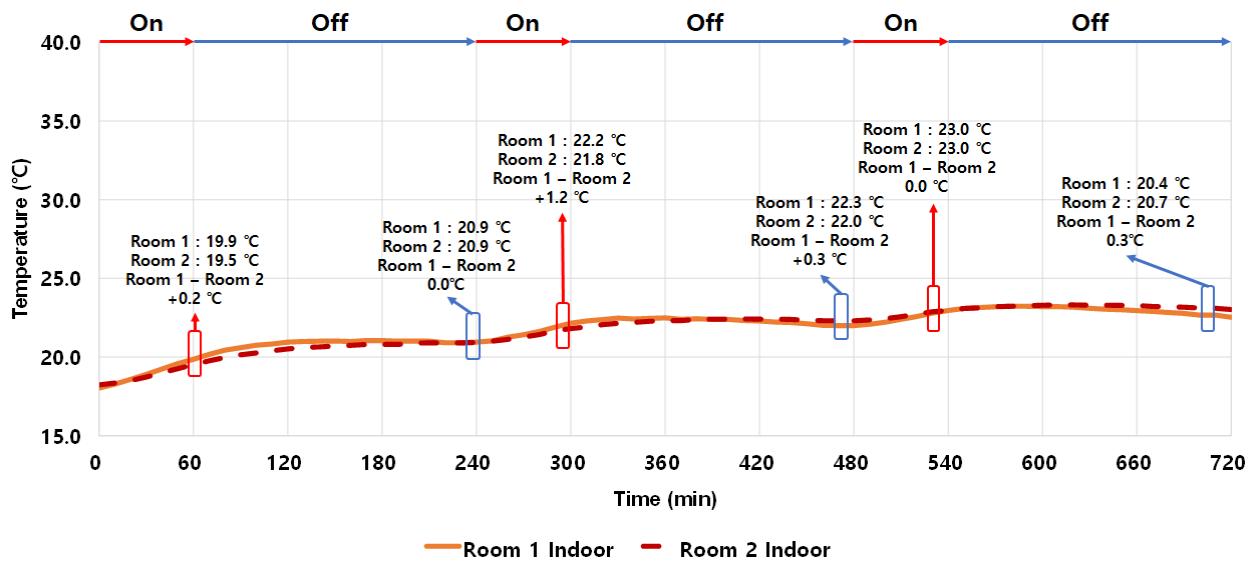


Fig. 7 Indoor temperature when PCM bottom is inserted.

### 3.3.2 실내온도

온수배관 하부에 PCM 삽입 후 난방 1시간 가동 3시간 정지 시 실내온도분포는 Table 11과 Fig. 7과 같다. 즉, Room 1의 실내온도는 18.0°C에서 22.5°C까지 4.5°C Room 2는 18.2°C에서 23.0°C까지 4.8°C의 온도가 상승하였다.

### 3.4 PCM 온도

Table 12와 Fig. 8은 Room 1(일반실)과 Room 2(PCM 적용실)에 1시간 가동 3시간 정지 시 측정된 PCM 온도 분포결과이다. 즉, PCM 온도는 배관 상부삽입 시 평균 28.1°C에서 31.7°C, 측면삽입 시 평균 23.1°C에서 24.6°C, 하부삽입 시 27.0°C에서 30.2°C의 분포를 나타냈다. 이와 같은 결과를 분석해보면 PCM 자체의 온도는 온수배관 상부(평균 29.9°C)와 하부(평균 28.6)에 위치할 때 가장 높게 나타났고 온수배관 측면(평균 23.9°C) 삽입 시에 가장 낮게 나타나고 있었다.

따라서, 바닥 복사난방시스템에서 PCM의 삽입 위치는 온수배관 상부나 하부가 온수의 열이 가장 잘 전달되는 것으로 확인되었다. 특히, 배관 측면부위는 열전달이 잘 이루어지지 않는 것으로 나타나 PCM의 삽입 위치로 적절하지 않은 것임을 판단할 수 있다.

### 3.5 PCM 삽입 위치별 온도상승률

이상의 결과를 종합하여 온수배관에서 PCM 삽입 위치별 온도상승률을 분석결과를 살펴보면 Table 13, Fig. 9, 10과 같다. 온수배관 주위 PCM 삽입 위치 하부-측면-상부에서 하부에 PCM을 삽입하였을 시 온도가 가장 높게 나타났다. 하부삽입을 기준으로 하여 온도 상승률을 비교하였을 시 상부삽입은 평균 1.2°C, 측면삽입 시 평균 5.3°C의 온도차가 나타났다. 특히, 하부삽입 시 표면온도와 실내온도 모두 일반실 대비 높게 나타났으며, 난방가동 1 Cycle 당 최고점 온도와 최저점의 온도차 또한 적게 나타나 난방가동이 정지하여도 온도저하가 크게 나타나지 않고 있었다.

Table 12 PCM temperature change at 1 hour operation and 3 hour shutdown

PCM Installation Position	Cycle	Temperature(°C)			Reduced temperature after stopping heating (minute)
		Peak Temperature (°C)	Off-Peak Temperature (°C)	Temperature difference (°C)	
Upper	1	28.7	25.5	3.2	60
	2	32.2	28.5	3.7	0
	3	34.1	30.2	3.9	0
Side	1	23.4	22.2	1.2	50
	2	24.8	23.1	1.7	40
	3	25.5	24.0	1.5	30
Bottom	1	27.4	24.8	2.6	30
	2	30.7	27.4	3.3	40
	3	32.5	28.9	3.6	30

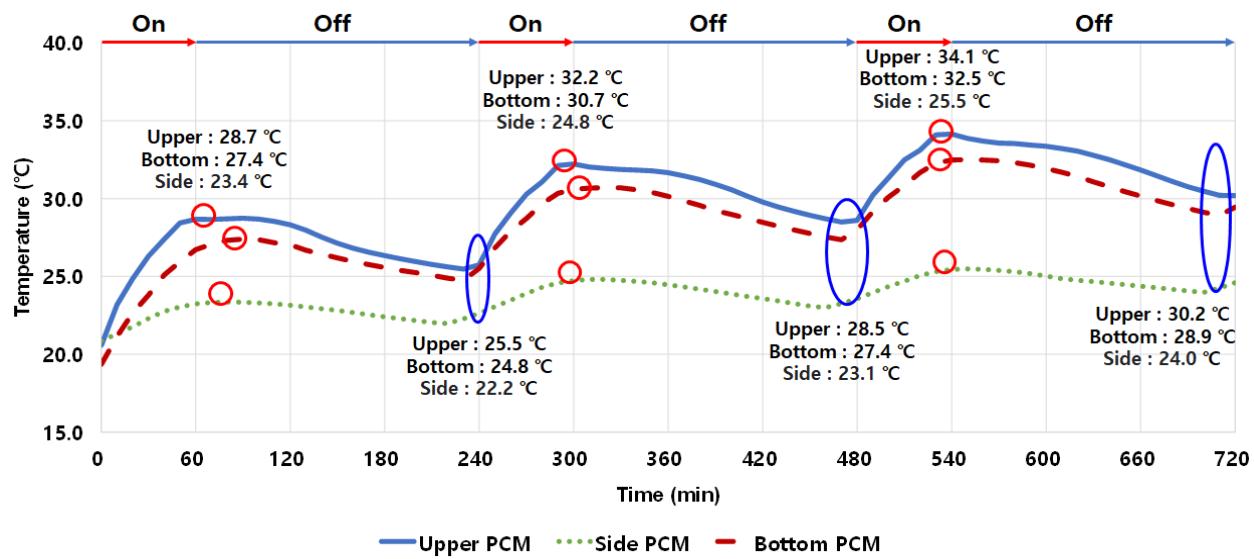


Fig. 8 PCM temperature installed around the hot water pipe.

Table 13 Comparison of temperature rise rate according to PCM insertion position

PCM Installation Position	Cycle	Surface Temperature(°C)		Average temperature difference(°C)
		Peak Temperature	Average Temperature	
① Upper	1	4.8		
	2	7.7	6.2	③-①
	3	9.2		1.2
② Side	1	2.1		
	2	2.9	2.1	③-②
	3	3.4		5.3
③ Bottom	1	6.1		
	2	8.9	7.4	-
	3	10.4		

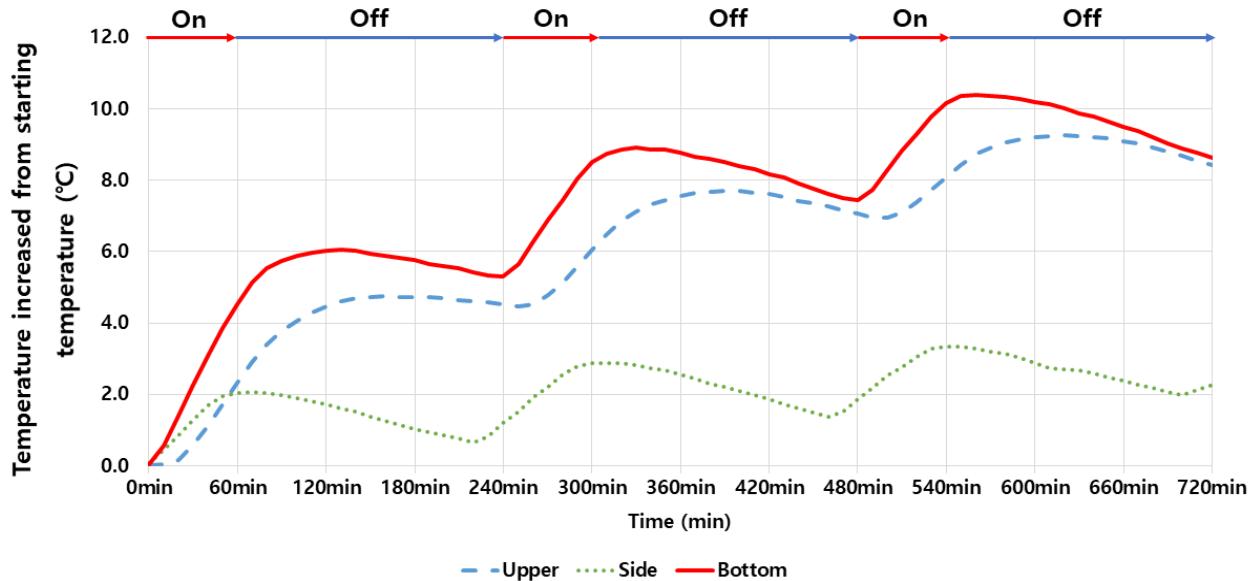


Fig. 9 Comparison of surface temperature according to insertion position.

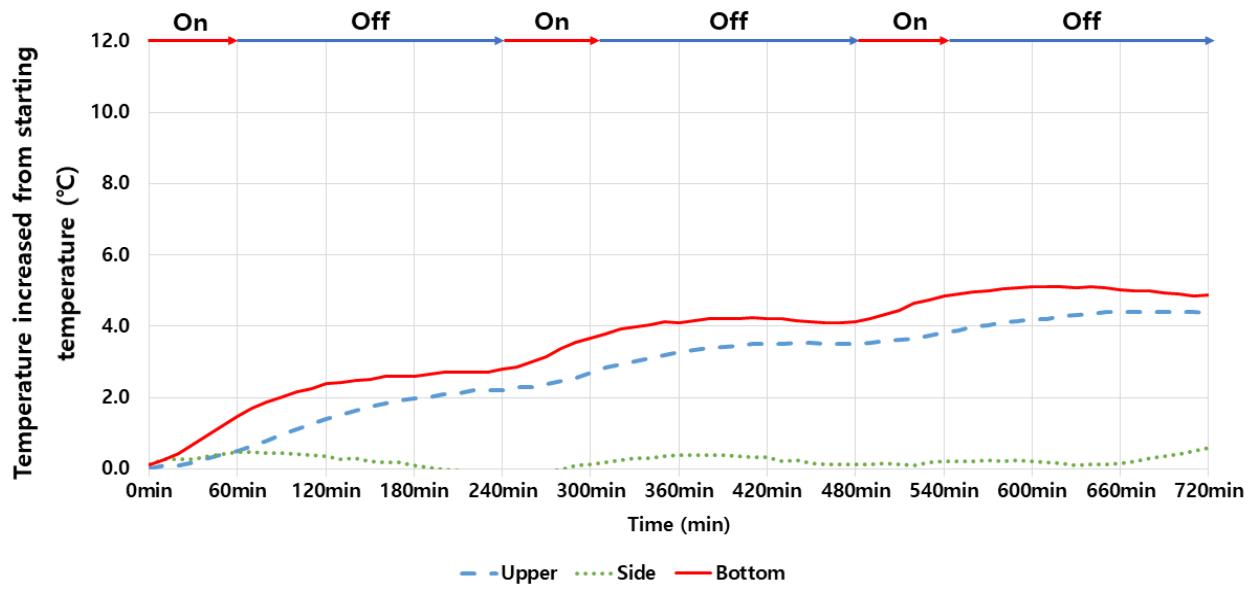


Fig. 10 Comparison of indoor temperature according to insertion position.

#### 4. 결 론

본 연구는 바닥복사난방시스템에서 PCM 위치에 따른 실내 및 바닥표면 온도변화를 Mock-up 실험을 통하여 확인한 것으로 채적  $8.4 \text{ m}^3$ (W : 1.75 m, D : 2.00 m, H : 2.40 m)의 Mock-up실에서 용해온도 44°C인 RT44의 n-Paraffin PCM을 사용하여 PCM 삽입 위치(온수 배관 상부, 측면, 하부)에 따라 난방 1시간 가동 후 3시간 정지 후 온도변화를 측정하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 온수배관 상부에 PCM을 삽입한 결과 바닥표면온도는 25.4°C에서 26.8°C까지 PCM 적용실이 평균 1.0°C PCM 높게 나타났다. 그리고 1 Cycle 당 최고점 온도와 최저점의 온도 비교 결과 일반실 대비 온도 최고점 평균 26.6°C에서 최저점 평균 25.9°C까지의 온도차는 0.7°C로 평균 0.6°C 낮은 온도편차가 나타났다.

- (2) 온수배관 측면에 PCM 삽입결과 바닥표면온도는 24.6°C, 23.5°C로 PCM 적용실이 일반실보다 1°C정도 낮게 나타났다. 그러나 1 Cycle 당 최고점 온도와 최저점의 온도 비교 결과 일반실 대비 최고점 평균 23.5°C에서 최저점 평균 22.1°C까지의 온도차는 1.3°C로 나타나 PCM 적용실이 0.2°C낮은 온도편차가 나타났다.
- (3) 온수배관 하부에 PCM 삽입결과 바닥표면온도는 24.5°C에서 26.2°C까지 PCM이 적용된 실이 0.3°C에서 0.5°C 높게 나타났다. 또한, 1 Cycle 당 최고점 온도와 최저점의 온도 비교 결과 PCM 적용실이 최고점 온도 평균 26.2°C에서 최저점 온도 평균 24.9°C까지의 온도차는 1.3°C로 일반실 대비 더 낮은 온도편차가 나타났다.
- (4) 바닥복사난방시스템에서 난방 시 PCM 온도는 온수배관 상부(평균 29.9°C)와 하부(평균 28.6°C)에 위치할 때 가장 높게 나타났고 온수배관 측면(평균 23.9°C) 삽입 시에 가장 낮게 나타나고 있었다.
- (5) PCM 삽입 위치별 온도상승률 분석결과 온수배관 주위 삽입 위치 하부-측면-상부에서 하부에 PCM을 삽입 하였을 시 온도가 가장 높게 나타났다. 특히, 하부삽입 시 표면온도와 실내온도 모두 일반실 대비 높게 나타났으며, 난방가동 1 Cycle 당 최고점 온도와 최저점의 온도차 또한 적게 나타나 난방가동이 정지하여도 온도저하가 크게 나타나지 않고 있었다.

따라서, 본 연구결과에서는 바닥복사난방시스템의 PCM 삽입 위치는 온수배관 하부에 삽입하는 것이 유리한 것임을 확인하였다.

## 후 기

이 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 이공분야 기초연구사업의 지원을 받아 수행 되었습니다(NRF-2016R1D1A1B01015616).

## References

1. KICT, 1996, Thermal Performance Improvement of Floor Heating System in Apartment Housing.
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2018, Standard for Floor Impact Sound Insulation for Noise Prevention
3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020, Rules on Equipment Standards for Buildings, etc.
4. Kim, S. E., Choi, S. H., and Park, J. C., 2020, Analysis of Thermal Storage Effects of PCM Floor Radiant Heating System According to Heating Schedule, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32 No. 6, pp. 272-277.
5. Kim, S. M. and Jeong, S. G., 2014, High Thermal Efficiency Heat Storage Building Materials Applying Phase Change Material(PCM), Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 8, No. 2, pp. 20-27.
6. Lim, J. H., 2014, Phase Change Material Sphere Heat Storage Radiant Air Conditioning System, Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 8, No. 2, pp. 28-34.
7. Kim, B. H. and Lee, H. S., 2011, A Study on Thermal Performance of Cement Mortar with PCM, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 23, No. 4, pp. 521-528.
8. Kim, T. W., 2019, A Mock-up Test of Thermal Storage Performance for PCM Radiant Floor Heating System M.E., Chung-Ang Univ.
9. Park, J. C., Kim, S. E., and Choi, S. H., 2020, Mock-up Experiment on Temperature Variation according to PCM Position in Radiant Floor Heating System, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 36, No. 10, pp. 127-132.
10. Park, J. C., Kim, S. E., and Choi, S. H., 2020, Analysis of Thermal Storage Effects of PCM Floor Radiant Heating System According to Heating Schedule, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 32, No. 6, pp. 272-277.