

# PCM 유닛을 적용한 공기 열원 히트펌프의 연속난방 성능 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Heat Transfer Performance of an Air-Source Heat Pump Using a PCM Unit for Continuous Heating

장 민(Min Chang)<sup>1</sup>, 정동일(Dong Il Jung)<sup>1</sup>, 정종호(Jong Ho Jung)<sup>1</sup>, 김용찬(Yongchan Kim)<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 기계공학부 대학원, <sup>2</sup>고려대학교 기계공학부

<sup>1</sup>Graduate School of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul, 02841, Korea

<sup>2</sup>Division of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul, 02841, Korea

(Received November 24, 2014; revision received August 31, 2015; Accepted: September 7, 2015)

**Abstract** Air-source heat pumps are widely used in winter as heating units due to their higher efficiency compared to electronic heaters or gas fired equipment. However, the air-source heat pump can cause discomfort during periodic defrosting operations. In this study, a PCM unit for continuous heating was adopted to solve this problem. The PCM unit consisted of a PCM, a heat exchanger, and control valves. It was installed between the outdoor and indoor units. The performance of the proposed system was measured during both defrosting and heating operations. The indoor unit showed an average leaving temperature of 26°C after adopting the PCM unit for continuous heating during the defrosting operation.

**Key words** PCM(상변화물질), Defrosting(제상), Continuous heating(연속난방)

† Corresponding author, E-mail: yongckim@korea.ac.kr

### 기호설명

*CMM* : 풍량 [ $\text{m}^3/\text{min}$ ]  
*COP* : 성능계수(Coefficient of performance)  
*EEV* : 전자팽창밸브  
*h* : 엔탈피 [ $\text{kJ}/\text{kg}$ ]  
*IDU* : 실내기(Indoor unit)  
*m* : 질량유량 [ $\text{kg}/\text{h}$ ]  
*ODU* : 실외기(Outdoor unit)  
*PCM* : 상변화 물질(Phase change material)  
*PU* : PCM 유닛(PCM unit)  
*Q* : 열전달율 [ $\text{W}$ ]  
*W* : 소비동력 [ $\text{W}$ ]

### 하첨자

*a* : 공기(air)  
*h* : 난방(heating)  
*in* : 실내기 흡입구  
*out* : 실내기 토출구

## 1. 서 론

최근 들어 겨울철 난방기기로서 공랭식 히트펌프가

주목을 받고 있다. 저열원에서 흡수한 열을 고열원으로 방출하기 때문에 작동에 필요한 동력 에너지보다 더 많은 에너지를 열에너지로 공급할 수 있다. 이러한 이유로 히트펌프의 경우 전기 히터나 가스 연소 시스템에 비하여 높은 효율을 나타내고 있다. 하지만 낮은 외기온도로 인하여 실외 열교환기 냉매 온도가 0도 보다 낮게 유지되면, 열교환기에 서리가 형성되는 착상 현상이 발생한다. 착상 현상은 실외 열교환기를 통과하는 풍량을 감소시켜 시스템 저압의 감소를 야기하고 이로 인한 착상 증가, 난방성능 감소의 악순환을 야기한다. 이와 같이 공랭식 히트펌프에서 발생하는 착상 현상에 대한 해결책으로서 일정 시간동안 서리를 제거하는 제상운전을 실시한다. 통상 제상운전의 경우 실내 열교환기를 증발기로 사용하고, 실외 열교환기를 응축기로 사용하여, 서리를 제거하는 역사이클 운전을 시행하고 있다.<sup>(1, 2)</sup> 이와 같은 제상운전은 서리를 제거하여 정상적인 난방운전이 되도록 시스템을 초기화 하는 기능을 수행하고 있지만, 제상운전 동안 난방운전 중단으로 인한 난방성능 감소 및 효율 감소 등의 단점이 있다.<sup>(3)</sup> 제상운전으로 인한 주기적인 난방 중단 현상은 제상운전 종료 후에도 발생한다. 제상운전 동안

증발기로 사용되는 실내 열교환기는 저압의 냉매 유동으로 인하여 차가워진 상태로 난방운전을 시작하기 때문에, 제상운전 종료 후에도 일시적인 난방 중단 현상이 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 방법으로 공랭식 히트펌프 연속 난방운전에 대한 연구가 진행되어 왔다. Jang et al.<sup>(4)</sup>은 제상운전 동안 압축기로부터 토출된 고온 냉매의 bypass와 열교환기 상, 하단 분리를 통하여 연속 난방운전을 구현하였다. 제상운전 동안 고온의 냉매는 실내기로 유입되어 난방운전을 수행하고, 일부 냉매는 실외 열교환기로 bypass되어 차가운 서리를 제거하는 운전을 수행한다. 이때 실외 열교환기는 상, 하단 분리되어 있기 때문에 상단이 응축기로서 서리를 제거하는 운전을 수행하며, 하단은 외부로부터 열을 공급 받는 증발기 역할을 수행한다. 열교환기 상단의 제상운전이 완료되면 같은 원리로 하단 제상운전이 이루어지게 되며, 이와 같은 동작으로 연속 난방운전이 구현된다. Jeon<sup>(5)</sup>은 실외 열교환기 상, 하단 분리가 아닌, 열 분리를 통하여 연속 난방운전을 구현하였다. Qu et al.<sup>(6)</sup>은 실내기에 열저장 매체인 PCM을 적용하여 연속 난방운전을 구현하였다. 난방운전 시 PCM은 고온의 냉매로부터 열을 저장하고, 제상운전 동안 열을 방출하여 제상운전을 단축하고 실내 열교환기의 온도가 하락하는 것을 방지하여, 난방운전 복귀 시 발생할 수 있는 난방 중단 현상을 최소화 하였다. 이외에도 다양한 방식으로 제상운전 동안 연속 난방운전을 위한 연구가 이루어져 왔다.<sup>(7-9)</sup>

이와 같은 연구 결과를 살펴보면 공랭식 히트펌프의 연속 난방운전을 위해서는 기존 실내기 및 실외기의 변경이 필요하다는 것을 알 수 있다. 연속 난방운전을 위한 변경 시 기존 실내기 혹은 실외기를 사용하지 못하게 되고, 새로운 기기를 설치하게 되면 비용 상승을 초래할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 실외기 및 실내기를 그대로 이용하여 별도의 PCM 유닛을 연결하여 공랭식 히트펌프의 연속 난방운전이 가능한 시스템을 제안하고, 실험을 통하여 제안된 시스템의 성능특성을 규명하고자 한다. PCM은 한정된 공간에 많은 양의 열 에너지를 저장할 수 있기 때문에 열저장 매체로서 유용하게 쓰이고 있다. 본 연구에서 제안한 시스템은 사용자의 연속난방 요구수준에 따라 PCM 유닛을 유연하게 이용할 수 있다. 기존의 실외기 및 실내기를 그대로 사용할 수 있고, 연속난방 요구수준에 따라 PCM 유닛의 사용 여부를 결정할 수 있으므로 시스템 모듈화가 가능하다.

## 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 연구에 사용한 실험장치 구성도를 나타

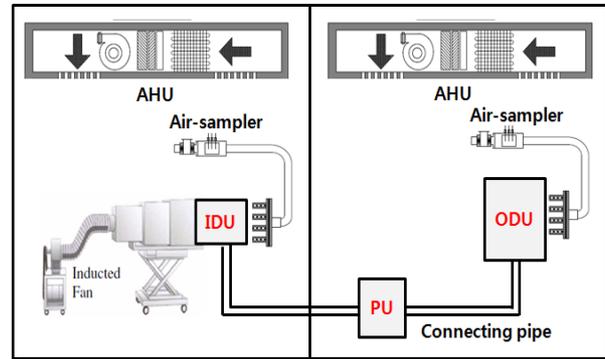


Fig. 1 Psychrometric test facility.

Table 1 Specification of the test apparatus

Parameter		Value
Heating capacity	ODU	32.6 kW
	IDU	8 kW
Pipe length	ODU-PU	5 m
	PU-IDU	5 m
Refrigerant charge		9.0 kg

낸다. 실험장치는 실외 챔버와 실내 챔버로 나뉘지며, PCM 유닛은 실외 챔버에 설치하였다. 각 챔버는 AHU를 사용하여 항온 항습 조건을 유지하며, 실내/외기에는 흡입 및 토출 부위에 air sampler를 설치하여 공기 유동에 따른 정확한 건구 및 습구 온도를 측정하였다. Table 1에 나타낸 바와 같이 실외기에서 PCM 유닛, PCM 유닛에서 실내기까지의 배관길이는 각 5 m를 유지하였다. 실내기 1대는 8 kW 용량으로서 총 4대를 연결하여 전체 실외기 용량에 적합하도록 시스템을 구성하였다.

Fig. 2는 제상운전과 난방운전에서 각각의 냉매 흐름을 나타낸다. 그림과 같이 PCM 유닛 연결에 의하여 제상운전 중에도 난방운전 기능을 유지하게 된다. PCM 유닛 연결이 없는 경우에는 기존 기능을 유지하게 되며, Fig. 2의 실외기에 있는 3개의 배관 중 중간 배관은 실내기와 연결되지 않는다. 연속 난방운전 구현 원리를 살펴보면, 난방운전 시에는 실내기로 흐르는 고온의 가스 냉매 중 일부가 PCM으로 유입되어 열에너지가 저장된다. 이로 인하여 제상운전 동안 PCM이 열원으로 증발기 역할을 할 수 있기 때문에 실내기는 증발기가 아닌 응축기로서 난방운전을 지속할 수 있다.

PCM 유닛은 열저장 매체인 PCM, 열교환기, 냉매 유로 제어를 위한 밸브로 구성하였다. Fig. 3은 PCM 유닛에 설치된 열교환기의 형상을 나타낸다. 외경 6.35 mm 동배관을 20개의 경로로 구성하였다. 열교환기 사양을 비롯한 PCM 유닛의 사양은 Table 2에 나타내었다. PCM 녹는점은 약 37°C를 유지하고 있으며, 212 J/g의 상변

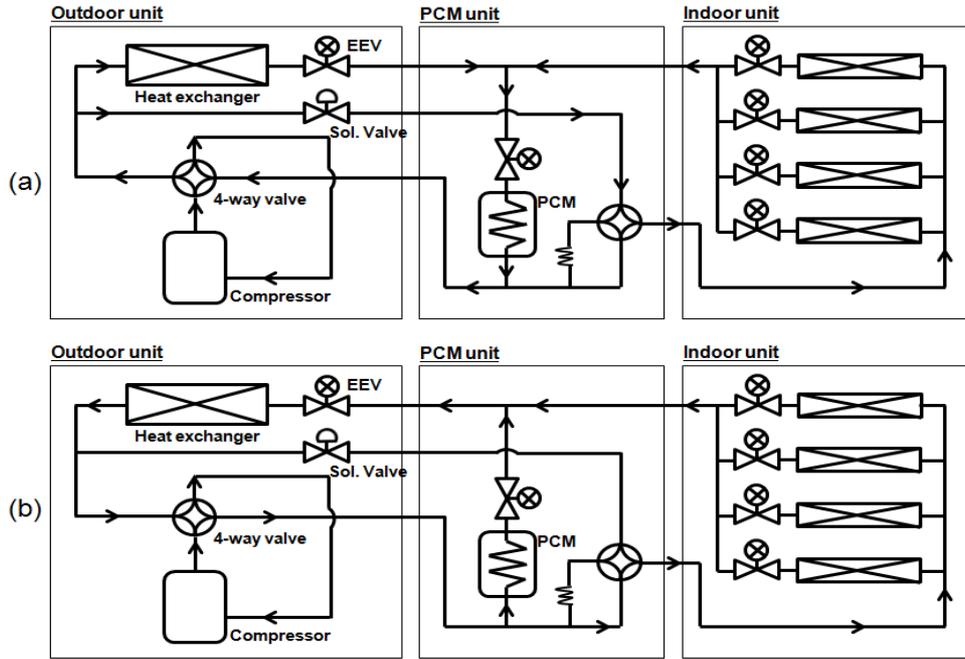


Fig. 2 Schematic diagram of the test setup for (a) defrosting and (b) heating.

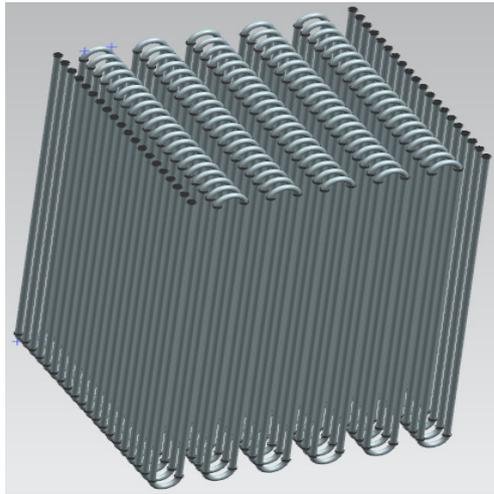


Fig. 3 Shape of the heat exchanger in the PCM unit.

화 열량을 보유하고 있다. PCM과 열교환기는 가로 300 mm, 세로 300 mm, 높이 600 mm, 두께 2.5 mm, Stainless 203 저장 용기 내부에 채워서 사용한다. 본 시스템에서는 PCM 주입량 증가에 따라 열교환 면적이 증가하게 된다. PCM 저장 용기 크기와 열교환기 크기는 고정된 상태에서, PCM 주입량을 증가시키면서 저장 용기 내부에서 PCM이 차지하는 높이와 열교환기와 접하는 면적을 동시에 증가시켰다.

Table 2 Specifications of the PCM unit

Parameter	Value
Diameter	6.35 mm
Composition	20 row 12 step
Heat exchanger	Row pitch Step pitch
	15 mm 25 mm
Length	430 mm
PCM	Freezing point.
	37°C
	Heat of solidification
	212 J/g
PCM storage tank dimension(mm)	300/300/600

Table 3은 본 실험에서 사용한 RTD 온도 센서와 압력계에 대한 제원을 나타내고 있다. RTD 온도 센서의 오차는  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  이내이며, 압력계의 오차는  $\pm 0.13\%$  이내이다. 또한 냉매 질량의 측정을 위한 저울의 정밀도는 1/2,000 ~ 1/7,500이다.

히트펌프의 난방성능은 식(1)과 같이 계산하였고, COP는 식(2)와 같이 계산하였다. 난방성능과 COP에 대한 불확실성 분석을 수행하였으며, 난방 성능에 대한 불확실성은 3.81%, COP에 대한 불확실성은 3.85%로 나타났다.

$$Q_h = m_a \times (h_{out} - h_{in}) \quad (1)$$

$$COP = \frac{Q_h}{W} \quad (2)$$

Table 3 Specifications of sensors

Item	RTD sensor	Pressure transmitter
Manufacturer	Omega	Setra Co.
Model	A class	C207
Range	-200℃~-600℃	0 to 3,000 psi
Accuracy	±0.05℃	±0.13%

Table 4 Test conditions

Condition	Value
Outdoor temp.	2℃ db/1℃ wb
Indoor temp.	20℃ db/15℃ wb
Operation mode	Heating
Operation rate of IDU	100%
Airflow per 1 IDU (heating/defrosting)	20 CMM/7 CMM

Table 5 Control factor

Parameter	Value	
Defrosting operation	PU EEV	500~2,000 step
	ODU EEV	500~2,000 step
	compressor	98~140 Hz
PCM charge	10~17.5 kg	
Heating operation time	37~70 min.	
Operation rate of IDU	50~100%	

Table 4는 주위 온도 및 실내기 운전에 대한 시험조건을 나타낸다. 착상이 쉽게 발생하는 표준 제상조건에서 실험을 수행하였다. 또한 실내기 운전을 변경실험을 제외한 모든 실험에서 100% 실내기 조합으로 가동하였다. 난방운전 시작 후 적절한 시점에서 제상운전을 실시하고, 다시 난방운전을 실시하게 되는데, 각 실험마다 제상 진입 및 해제되는 조건은 동일하게 부여하였다. 제상 해제조건은 실외기 열교환기 하단의 온도 센서가 12℃ 이상이거나 제상운전 시간이 15분 이상을 만족하는 경우로 설정하였다. 본 연구에서는 가변속 압축기를 사용하여 주파수를 변경하였다. 제상운전 동안에는 제감 난방을 향상 시키기 위하여 개별 실내기 풍량을 기존 20 CMM에서 7 CMM으로 낮춰서 운전하여 토출 공기온도를 상승시켰다.

Table 5는 연속난방에 영향을 주는 주요 실험항목을 정리한 것으로서, 각 항목별로 설정치를 변경시키면서 각 변수의 영향도를 고찰하였다. 본 실험에서 사용된 EEV의 최대 개도는 2000 step이다. 연속 난방효과에 대한 판단 기준으로서 제상운전 시간과 제상운전 동안 실

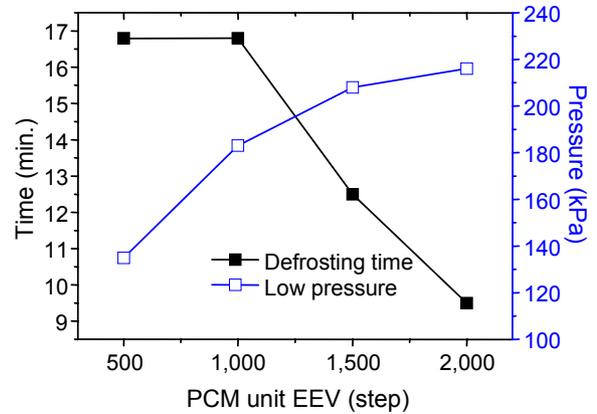


Fig. 4 Variation of defrosting time and low pressure with the EEV opening in the PCM unit.

내기 토출 공기 온도를 참고하였다. 또한 동일한 조건에서 PCM 유닛 유무에 따른 실험결과를 비교하기 위하여 PCM 유닛이 없는 Baseline 경우도 실험을 수행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 PCM 유닛 EEV 개도의 영향

Fig. 4는 PCM 유닛 EEV 개도(step) 변화에 따른 제상운전 시간 및 시스템 저압의 변화를 나타낸다. 제상운전 동안 정상적인 난방운전이 어렵기 때문에 연속 난방운전에 있어서 제상시간은 중요한 요소이다. Fig. 4에서 보면 PCM 유닛 EEV 개도 증가에 따라 제상운전 시간이 짧아지고 시스템 저압이 상승함을 확인할 수 있는데, 시스템 저압 상승은 압축기로 유입되는 냉매 유량 증가를 반영한다. 냉매 유량의 증가는 착상된 실외 열교환기의 응축 열교환량을 증가시키기 때문에 보다 짧은 시간 내에 제상운전을 종료할 수 있다. 하지만 1,000 step 이하에서는 정상적으로 열교환기를 녹여서 제상운전을 종료하는 것이 아니라, 제상운전 최대 시간에 의하여 종료하게 하였다. 제상운전 시간은 시스템 전체 냉매 유량이 증가할수록 짧아지며, 냉매유량의 증가는 PCM 유닛 EEV 개도에 의하여 조절할 수 있다.

#### 3.2 제상운전 중 실외기 EEV 개도의 영향

Fig. 5는 제상운전 동안 실외기 EEV 개도에 따른 제상운전 시간 및 실내기 평균 토출공기 온도를 나타낸다. 실외기 EEV 개도 증가 시 열교환기를 통과하는 냉매유량의 증가로 제상운전 시간이 감소하였다. 실외기 EEV 개도가 감소하는 경우, 실외기를 통과하는 냉매

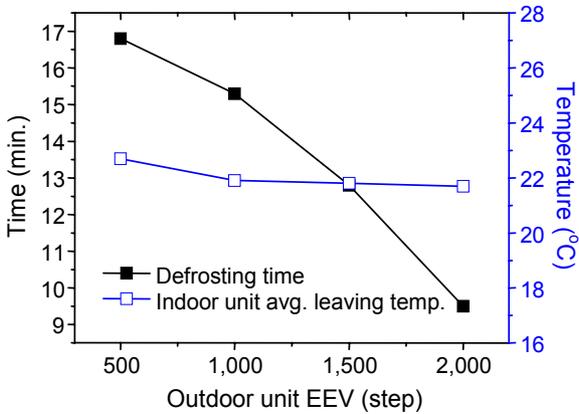


Fig. 5. Variation of defrosting time and leaving temperature with the EEV opening in the outdoor unit.

유량이 감소하는 대신 실내기를 통과하는 냉매 유량이 증가하여 난방효과가 상승하리라고 기대하였지만, 상승 효과에 비하여 제상운전 시간이 크게 늘어났다. EEV 개도 감소에 따라 제상운전 시간이 증가하는 것은 실외 열교환기로 흐르는 냉매 유량의 감소로 인한 열교환 성능의 감소에 기인한다. 또한 실외기 EEV 개도 감소 시 실내기 난방효과 상승이 크지 않은 이유는 차가운 실외 열교환기를 통과하는 냉매유량이 작기 때문에 응축된 많은 냉매가 실외기에 편중되고, 이로 인해 시스템 고압 및 난방을 위한 충분한 냉매 유량 확보가 어려운 것으로 판단된다. 두 가지 측면 모두 고려하였을 때, 연속 난방운전을 위한 실외기 EEV 개도는 최대개도인 2000 step이 적절하였다.

### 3.3 PCM 주입량의 영향

Fig. 6은 PCM 주입량에 따른 제상운전 시간 및 실내기 토출공기 온도를 나타낸다. 토출공기 온도는 제상운전 동안의 평균값과 최대값으로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 PCM 주입량이 늘어나면 연속 난방효과가 증대되는 것을 확인할 수 있다. 특히 17.5 kg 주입 시 최대 토출공기 온도는 30°C가까이 유지되었다. 전반적으로 PCM 주입량 증가에 따라 제상운전 시간의 감소 및 실내기 토출공기 온도의 상승을 확인할 수 있다. 이는 PCM 주입량 증가에 따라 저장된 열에너지량이 증가하여 제상운전 동안 PCM이 열원으로서 역할이 증가하였기 때문이다. 제상운전 동안 열원의 공급 열량은 액상에서 고상으로 상변화 시 PCM의 단위 질량당 상변화 열량과 PCM 주입량과의 곱으로 표현할 수 있으므로 PCM 주입량이 중요한 설계인자임을 알 수 있다.

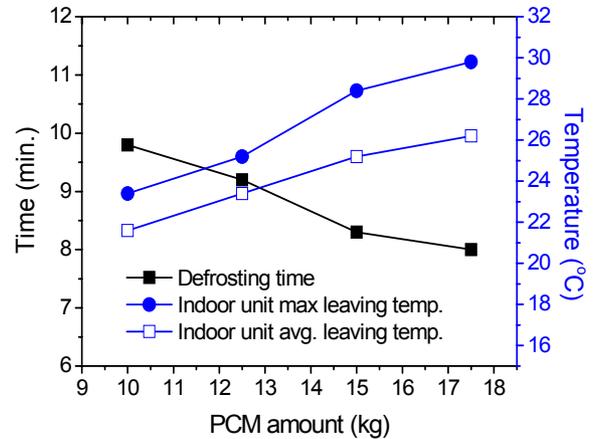


Fig. 6. Variation of defrosting time and leaving temperature with PCM amount.

### 3.4 제상운전 중 압축기 주파수의 영향

Fig. 7은 제상운전 동안 압축기 주파수에 따른 제상운전 시간 및 실내기 토출공기 온도를 나타낸다. 압축기 주파수 상승에 따라 연속 난방효과가 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 그림에서와 같이 제상운전 시간 단축과 함께 실내기 토출공기 온도의 상승을 가져왔다. 주파수 상승은 압축기로 유입되는 냉매 질량유량을 증가 시키며, 이로 인한 실내기 및 실외기 응축 열교환량이 증가하기 때문에 위와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 본 실험에서 압축기 주파수는 시스템에서 허용 가능한 최대값인 140 Hz까지 가동하였고, 이로 인한 저압 하락은 압축기 신뢰성 보증 범위에 있는 것으로 확인할 수 있었다. 이는 제상운전 동안 열원인 PCM이 충분한 증발 열량을 제공하는 것으로 볼 수 있다.

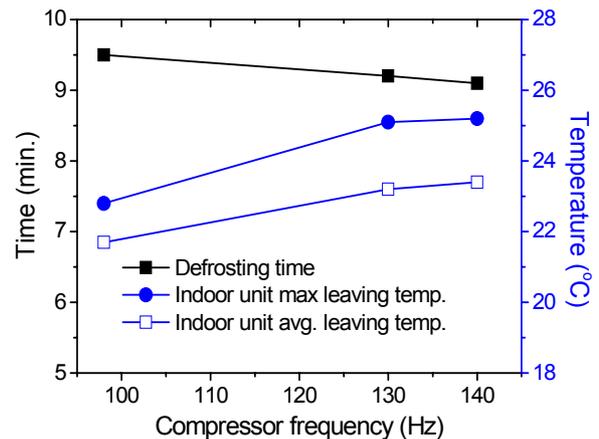


Fig. 7. Variation of defrosting time and leaving temperature with frequency.

### 3.5 난방운전 시간의 영향

Fig. 8은 난방운전 시간에 따른 전체 성능 및 실내기 토출공기 온도를 나타낸다. 전체 성능은 난방구간과 제상구간을 모두 반영한 전체 운전구간에 대한 성능이다. 전체운전 시간에서 난방운전 시간을 길게 유지하면 실외 열교환기에 착상이 많아지게 되며, 제상운전 동안 착상 제거를 위한 실외 열교환기의 응축열량 증가로 실내기의 난방효과는 감소한다. 반대로 난방운전 시간을 짧게 유지하면, 실외 열교환기의 착상이 적어지게 되며, 제상운전 동안 착상 제거를 위한 응축열량의 감소로 난방효과는 증가한다. 본 실험에서는 난방운전 시간을 37분, 45분, 70분이 유지하도록 제상 진입 조건을 변경하였다. 앞서 설명한 바와 같이 난방운전 시간의 증가로 제상운전 동안 난방효과가 감소하기 때문에 가급적 난방운전 시간을 짧게 유지하는 것이 바람직해 보이나, 40분에도 미치지 못하는 짧은 난방운전 시간의 경우 잦은 제상운전 진입으로 체감 난방을 약화 시킬 것으로 보인다. 본 실험에서는 연속난방을 위하여 적절한 난방 유지시간이 존재하며, 전체 성능, 난방운전 시간, 제상운전 동안 난방효과를 고려하였을 때, 1 cycle당 45분 난방운전이 제상 진입조건으로 적절한 것으로 판단된다.

### 3.6 실내기 운전율의 영향

Fig. 9는 실내기 운전율에 따른 제상운전 시간 및 실내기 토출공기 온도를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 실내기 운전율이 작을수록 연속 난방효과가 커지는 것을 알 수 있다. 실내기 운전율이 작을수록 제상운전 시간은 감소하며, 실내기 토출공기 온도는 상승한다. 이는 전체 응축 열교환 면적의 감소로 제상운전 중 고압이 상승하며, 실내기 운전대수 감소가 있더라도 제상운전 동안 압축기 주파수는 동일하기에 실내기 1대당 유입되는 냉매량은 증가하기 때문이다. 50% 운전률 조합은 100% 조합 대비 토출공기의 온도를 약 5°C 이상 상승시켰다.

### 3.7 연속난방용 PCM 유닛 설치에 따른 성능

Fig. 10은 PCM 유닛 연결 여부에 따른 운전 시간별 난방성능의 변화를 나타낸다. PCM 유닛을 적용한 경우 앞서 언급한 각 실험항목에 대한 최적 결과를 모두 반영한 사양(PCM 유닛 EEV 2,000 step, 제상운전 동안 실외기 EEV 2,000 step, PCM 17.5 kg, 제상 Hz 140 등)이다. 그림에 표현된 구간의 특징을 살펴보면, (a)는 제상운전 종료 후 정상적인 난방운전 복귀까지의 구간이며, (b)는 정상적인 난방운전에 해당되는 구간이다. (c)

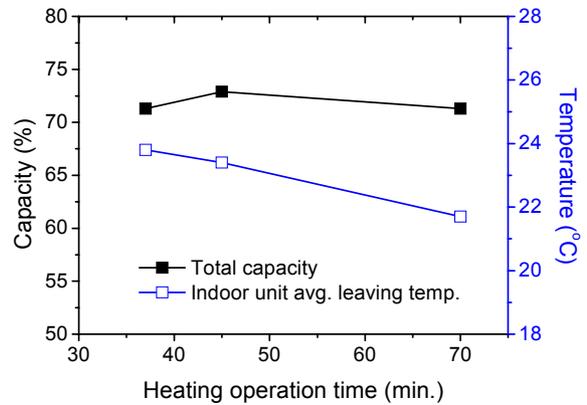


Fig. 8 Variation of total capacity with heating operation time.

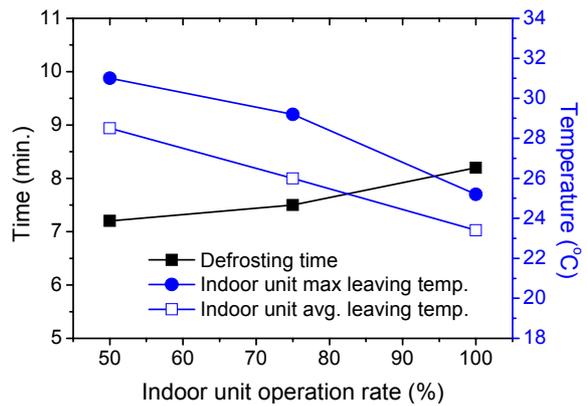


Fig. 9 Variation of defrosting time and leaving temperature with operation rate of the indoor unit.

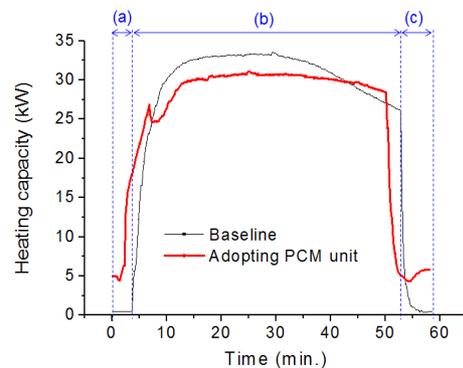


Fig. 10 Variation of heating capacity with t time.

의 경우 제상운전에 해당되는 구간이다. 연속 난방용 PCM 유닛이 없는 경우 (a)에서는 제상운전 후 차가워진 열교환기 및 시스템 재가동으로 인하여, (c)에서는 제상운전으로 인하여 난방중단 현상이 발생한다. 연속

Table 6 Comparison of the results per 1 cycle

	Baseline	PCM unit
Heating capacity	74.8%	74.5%
Power input	11.0 kW	11.2 kW
COP	2.21	2.16
Avg. leaving temp.	None	26.2℃
Max leaving temp.	None	29.8℃
Heating stop time	10 min.	None

난방용 PCM 유닛이 연결된 시스템의 경우에는 난방 운전이 중단되지 않는다. 그리고 (b)에서 연속난방용 PCM 유닛이 연결되어 있는 경우, 난방성능의 감소가 발생하는데, 이는 PCM 축열 과정에 따른 일부 열의 이동이라고 볼 수 있다. 이렇게 난방운전 동안 PCM으로 이동한 열은 제상운전 동안 열원으로 이용하여 연속 난방운전을 구현하게 된다. 난방운전 동안 감소한 난방열량을 제상운전 동안 다시 사용한다고 볼 수 있기 때문에, PCM 유닛을 연결하더라도 전체구간의 난방성능 향상으로는 나타나지는 않는다.

연속난방용 PCM 유닛 연결 여부에 따른 결과를 구체적으로 살펴보면 Table 6과 같다. 전체 성능과 효율은 동등 수준이라고 볼 수 있지만, PCM 유닛이 없는 경우 제상운전 포함하여 약 10분 동안 난방 중단 현상이 발생한다. 연속난방용 PCM 유닛이 있는 경우 제상운전 동안 평균 26.2℃, 최대 29.8℃의 토출 공기온도를 나타내었다. 연속 난방용 PCM 유닛의 목적은 전체 성능이나 효율을 높이기 위한 것이 아니라, 지속적인 난방운전의 구현에 있다. 제상운전 구간에도 최소한의 난방운전을 실현하는데 그 의미가 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 제상운전 중에도 난방운전이 지속되는 시스템에 대하여 고찰하였다. 공랭식 히트펌프 시스템을 구성하는 실내기 및 실외기 변경 없이 연속 난방용 PCM 유닛만 연결하여 연속 난방운전을 구현하였다. 이와 같은 시스템에서 연속 난방운전에 영향을 줄 수 있는 제어 인자를 고찰하였고, 실험적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 제상운전 동안 열원으로 사용되는 PCM 주입량이 증가할수록 연속 난방효과도 증가하는 경향을 보였다. 이는 PCM이 열저장매체로서 본 시스템에 가장 중요한 역할을 하고 있다고 볼 수 있다.
- (2) EEV 개도 등 제어 인자별 실험을 통하여, 각각의 제어 인자가 연속 난방운전에 어떠한 영향을 주는 지 고찰하였으며, 아래와 같은 최적 값을 도출할 수 있었다.

- PCM 유닛 EEV 개도 : 2,000 step
- 제상운전 실외기 EEV 개도 : 2,000 step
- PCM 주입량 : 17.5 kg
- 제상운전 중 압축기 주파수 : 140 Hz

- (3) 연속 난방용 PCM 유닛 유/무에 따른 전체 운전 구간의 성능 특성 비교 시 성능 및 효율은 유사한 수준을 보였으나, 제상운전 동안 평균 26.2℃의 토출 공기온도를 유지하여, 약 10분간 난방운전이 중단되는 기존 방식 대비 연속난방 측면에서 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

#### References

1. Qu, M., Xia L., Deng S., and Jiang Y., 2012, An experimental investigation on reverse-cycle defrosting performance for an air source heat pump using an electronic expansion valve, *Applied Energy*, Vol. 97, pp. 327-333.
2. Ding, Y., Ma, G. Y., and Chai, Q. H., 2004, Experiment investigation of reverse cycle defrosting methods on air source heat pump with TXV as the throttle regulator, *Int. J. Refrigeration*, Vol. 27, pp. 671-678.
3. Kamil, K., 1994, Performance of an air-to-air heat pump under frosting and defrosting conditions, *Applied Energy*, Vol. 48, pp. 225-241.
4. Jang, J. Y., Bae, H. H., Lee, S. J., and Ha, M. Y., 2013, Continuous heating of an air-source heat pump during defrosting and improvement of energy efficiency, *Applied Energy*, Vol. 110, pp. 9-16.
5. Jeon, C. D., 2013, Performance improvement technology on a continuous heating heat pump at frost condition, *Journal of the Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 14, No. 2, pp. 573-577.
6. Qu, M., Xia, L., Deng, S., and Jiang, Y., 2010, Improved thermal comfort during defrost with a novel reverse-cycle defrosting method for air source heat pumps, *Building and Environment*, Vol. 45, pp. 2354-2361.
7. Huang, D., Li, Q., and Yuan, X., 2009, Comparison between hot-gas bypass defrosting and reverse-cycle defrosting methods on an air-to-water heat pump, *Applied Energy*, Vol. 86, pp. 1697-1703.
8. Hoffenbecker, Kelin, S.A., and Reindl, D. T., Hot gas defrost model development and validation, *Int. J. Refrigeration*. Vol. 28, pp. 605-615.
9. Choi, H. J., Kim, B. S., Kang, D. H., and Kim, K. C., 2011, Defrosting method adopting dual hot gas bypass for an air-to-air heat pump, *Applied Energy*, Vol. 88, pp. 4544-4555.