



## 변동 냉매 온도제어 알고리즘을 적용한 VRF 시스템의 에너지 절감효과 연구

# A Study on the Energy Saving Effect of VRF System Adopting Variable Refrigerant Temperature Control Algorithm

장석훈\* · 박노마\* · 안영철\*\*\*†

Seok-Hoon Jang\*, No-Ma Park\* and Young-Chull Ahn\*\*\*†

(Received 28 July 2019, Revision received 21 August 2019, Accepted 21 August 2019)

**Abstract:** Up to now, the VRF (Variable Refrigerant Flow) multi air-conditioning system has controlled the refrigeration cycle at constant target refrigerant temperature regardless of the outdoor temperature, the room temperature, or the room-side set temperature. However, such a simple control strategy fails to meet varying cooling or heating loads in accordance with the changes in the outdoor and indoor temperatures and often results in the degradation of energy efficiency due to frequent switching of thermo-on/off cycles. In this study, a variable refrigerant temperature control algorithm is proposed, and its impact on the efficiency is verified via chamber experiments at variable outdoor and indoor conditions. It is found that the proposed algorithm results in the flexible variation of the refrigerant evaporating temperature within 2~13°C during the cooling operation and that of the refrigerant condensing temperature within 4~50°C during the heating operation. As compared to conventional fixed refrigerant temperature control, the cooling EER and heating COP are increased by 6.5% and 24%, respectively, with proposed variable refrigerant temperature control strategy.

**Key Words :** VRF, System air conditioner, Variable refrigerant temperature control, Energy saving

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 연구목적

2000년대 이후 하나의 실외기에 다수의 냉매

직팽형 실내기가 연결된 VRF(Variable Refrigerant Flow) 시스템에어컨의 보급과 함께 상업용 건물에서 히트펌프 냉난방이 보편화되고 있으며 핵심 구성요소인 압축기<sup>1)</sup>, 열교환기<sup>2)</sup>, 팽창 밸브<sup>3)</sup> 등에

\*\*\* 안영철(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-0377-8101>) : 교수, 부산대학교 건축공학과

E-mail : [ycahn@pusan.ac.kr](mailto:ycahn@pusan.ac.kr), Tel : 051-510-2492

\*장석훈(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-1543-1669>) : 연구원, LG전자(주)

\*박노마(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5793-3459>) : 연구원, LG전자(주)

\*\*\* Young-Chull Ahn(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-0377-8101>) : Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University.

E-mail : [ycahn@pusan.ac.kr](mailto:ycahn@pusan.ac.kr), Tel : 051-510-2492

\*Seok-Hoon Jang(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-1543-1669>) : Researcher, LG Electronics.

\*No-Ma Park(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5793-3459>) : Researcher, LG Electronics.

대한 연구가 많이 수행되며 전체적인 효율 향상을 주도하고 있다. 이러한 시스템에어컨은 개별제어에 적합하며, 열전달 계통이 단순하여 열손실이 적고 펌프와 같은 별도의 반송 동력이 필요 없어 에너지 효율이 우수하다. 특히 용량 가변형 인버터 압축기의 채택으로 시스템에어컨의 효율은 가속화되어 정격 냉난방조건에서의 성능계수 (COP)가 4.0~6.0에 달하게 되었다. 그러나 규격 실험<sup>4)</sup>에서의 정격 냉난방 효율과는 달리 실제 제품 설치현장에서의 시스템에어컨의 효율은 이에 못미치는 경우가 많은데, 이 차이는 자동운전 제어로직으로 인해 발생한다.

과거의 대부분의 VRF 시스템이 채택한 제어로직은 목표 냉매압력(포화온도) 추종제어이고, 이 냉매압력은 냉방의 경우 포화 증발온도 4℃, 난방의 경우 포화 응축온도 50℃ 수준에서 고정되어 있다. 이러한 제어는 단순하고 강건하며 시스템의 정격 냉난방능력을 보장한다는 장점이 있지만, 정격 냉난방 능력 이상이 필요한 시간은 전체 냉난방 운전기간의 10% 미만임을 감안할 때 이러한 고정목표압력 추종제어는 잦은 thermo-on/off 로 인한 운전효율의 감소를 야기한다.

이런 문제를 극복하기 위해 최근에 주요 VRF 제조사를 중심으로 VRF의 실사용 효율을 향상하기 위한 제어로직이 제안 및 검증되고 있다.<sup>5)</sup> 본 논문에서는 이러한 VRF 실사용 효율 향상 제어로직 중 가장 단순한 목표 냉매온도 가변 로직을 제안하고 이 효과를 실험적으로 검증해보고자 하였다.

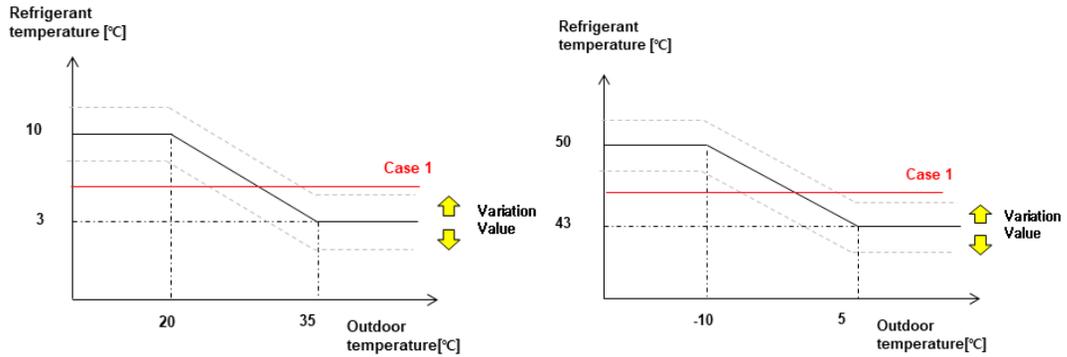
## 2. 변동냉매온도 제어로직

여름철 냉방 운전 시 실외 온도와 실내 온도가 상승하면 냉방을 위한 요구 부하가 증가되고 반대의 경우에는 요구 부하가 감소하게 된다. 기존 제어 방식은 이러한 요구 부하 변화에도 증발기의 냉매 온도를 일정하게 유지함으로써 요구 부하가 낮은 경우에 과도한 냉방과 잦은 썬모오프로 인하여 불필요하게 소비전력이 상승하고 공조공간의 온도를 일정하게 유지하지 못하는 단점이 있었다. 이러한 점을 개선하기 위해 실외 온도와 실내 온도에 따라 냉매 온도를 변동시킴으로써 요구 부하에 맞는 운전을 할 수 있어 소비전력을 절감하고 공조 공간의 온도도 일정하게 유지할 수 있다. 난방의 경우는 응축기의 냉매 온도 변화를 통해 동일한 효과를 기대할 수 있다.

냉매 온도의 변화 값은 한국 온도 조건과 유사하게 냉방의 경우 실외 온도가 35℃ 이상일 때, 난방의 경우는 실외 온도가 영하 10℃ 이하일 때 최대 성능을 낼 수 있는 냉매 온도를 선정하고 최소 성능을 내는 냉매 온도는 냉방의 경우는 실외 온도가 20℃ 이하일 경우, 난방의 경우는 실외 온도가 5℃ 이상의 경우로 선정하여 선형적으로 변동하였다. 그리고 실외 온도에 따른 냉매 온도 변동 값에 현재 실내 온도와 공조 공간의 목표 온도의 차이에 따라 0.5℃에서 2℃를 추가로 변동함으로써 제품의 성능을 적절히 조절하여 썬모오프를 최소화 함으로써 목표 온도 근처에서 지속적으로 운전될 수 있도록 하였다. 실내, 실외 온도 변화에

Table 1 Variation values according to the differences between the room and the set temperature

Cooling		Heating	
Room temperature - Set temperature[A]	Variation Value[℃]	Room temperature - Set temperature[A]	Variation Value[℃]
A<-0.5	+0.5	A<-3.5	+2
-0.5<A<0.5	0	-3.5<A<-2.5	+1.5
0.5<A<1.5	-0.5	-2.5<A<-1.5	+1.0
1.5<A<2.5	-1.0	-1.5<A<-0.5	+0.5
2.5<A<3.5	-1.5	-0.5<A<0.5	0
3.5<A	-2	0.5<A	-0.5



(a) Cooling operation

(b) Heating operation

Fig. 1 Variable refrigerant temperature according to the outdoor temperature

따른 냉매 온도 변화 그래프를 Fig. 1에 나타내었고 실내 온도와 목표 설정 온도 차이에 따른 추가 변동값은 Table 1에 나타내었다.

냉매 온도 변화에 따른 냉난방 능력 및 소비전력을 측정하였다. 실외 챔버의 측정 가능 성능 범위는 최소 10에서 최대 83 kW이고 건구온도는 -20~50°C, 상대습도는 5~95%까지 측정이 가능하다. 실내 챔버는 각각 최소 4에서 최대 16 kW까지 성능 측정이 가능하고 건구온도는 5~35°C, 상대습도는 10~95%까지 측정이 가능하다. 실내 챔버에는 공기 엔탈피법으로 성능 측정을 위해 최대 80 CMM까지 풍량 측정이 가능한 풍동을 설치하였

### 3. 실험 장치 및 방법

#### 3.1 실험 장치

본 실험에서는 하나의 실외 챔버와 두 개의 실내 챔버로 구성된 멀티 칼로리미터를 활용하여

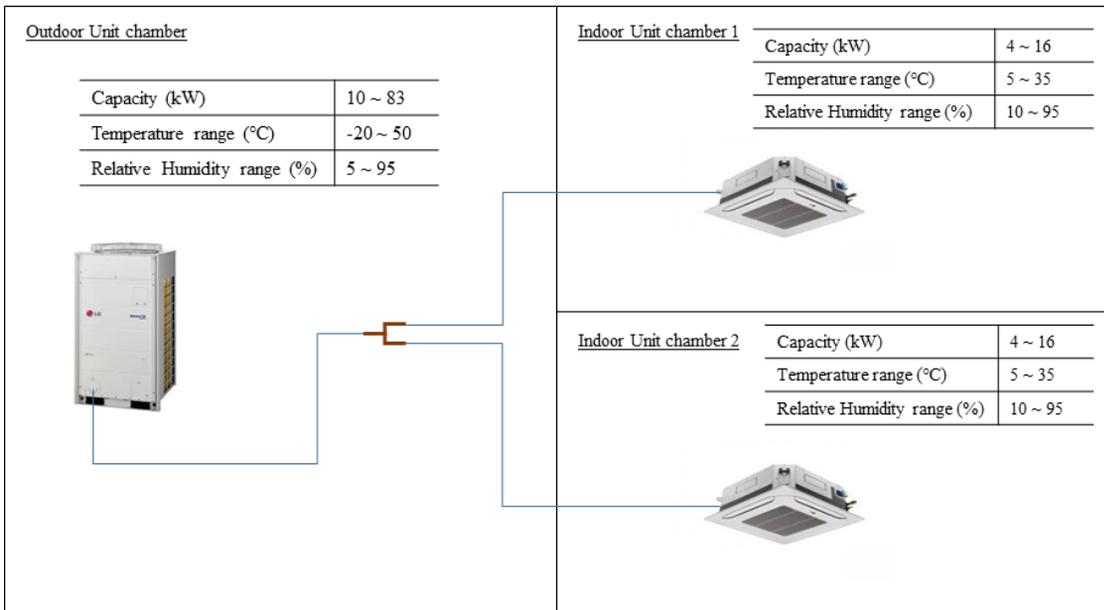


Fig. 2 Outdoor and indoor units of a VRF system used in this study

다. 정확한 평가를 위해 실외, 실내 챔버는 설정된 건구온도와 상대습도를 일정하게 유지하며 각 기기의 흡입 공기와 취출 공기의 건습구 온도를 에어 샘플러를 활용하여 측정된 후 공기 엔탈피법으로 성능을 계산하고 소비전력은 챔버 내에 설치된 파워미터를 통하여 측정한다. 온도 측정 오차는  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ , 소비전력 측정 오차는  $\pm 0.5\%$ 이다.

실험에 사용한 제품은 Fig. 2에 나타난 중소형 상업 건물에 많이 사용하는 28 kW급(83평형) VRF 실외기와 14.5 kW급 천장형 4웨이 카세트 타입 실내기 두 대를 조합하여 측정하였다. 각 실내기는 성능 측정을 위해서 각 실내 챔버당 한 대의 실내기를 설치하였다.

### 3.2 실험 방법

다양한 조건에서의 효율을 비교해 보기 위해서 냉방 운전과 난방 운전 시 실내외 온도를 Table 2와 같이 설정하고 기존 제어로직 (Case 1)과 본 연구에서 제안된 변동 냉매온도 제어 알고리즘 (Case 2)을 각각 제품에 적용하여 냉방과 난방을 자동 운전하면서 시간에 따라 온도를 변화시키면서 온도에 따른 목표압력의 변화와 제품의 능력과 소비전력을 비교 측정하였다. 냉방 실험은 실외 온도를  $20^{\circ}\text{C}$ 로 고정 후 실내 온도를 일정 시간 동안 22, 27,  $32^{\circ}\text{C}$ 로 순차적으로 변화시킨 다음 외 온도를  $27^{\circ}\text{C}$ 로 변화하여 실내 온도를 32, 27,  $22^{\circ}\text{C}$ 로 유지하고 마지막으로 실외온도를  $35^{\circ}\text{C}$ 로 변경하여 실내 온도를 22, 27,  $32^{\circ}\text{C}$ 로 변화시키면서 성능과 소비전력의 변화를 기존 로직과 실 신규 로직을 각각 비교하였다. 난방 실험의 경우도 동일하게 실외온도를 고정한 후 실내 온도를 케이스 별로 변화시키면서 실험을 수행하였다.

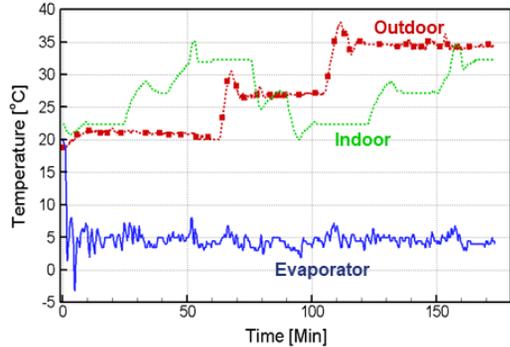
Table 2 Outdoor and indoor temperature of cooling and heating operation

Mode	Outdoor Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	Indoor Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )
Cooling	20 / 27 / 35	22 / 27 / 32
Heating	-10 / 0 / 7	20 / 25

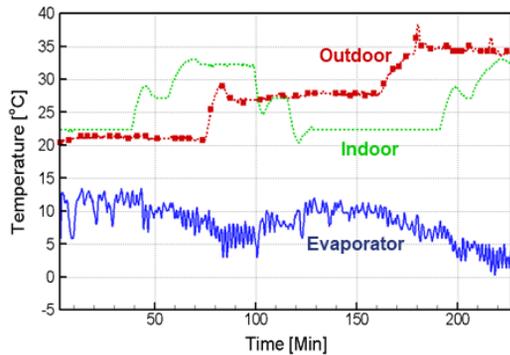
## 4. 실험 결과 분석

### 4.1 냉방 운전

Fig. 3에 나타난 바와 같이 기존 제어로직인 Case 1의 경우 실내외 온도의 변화에 상관없이 냉



(a) Case 1 (Current logic)



(b) Case 2 (VRT logic)

Fig. 3 Temperature variations in cooling operation

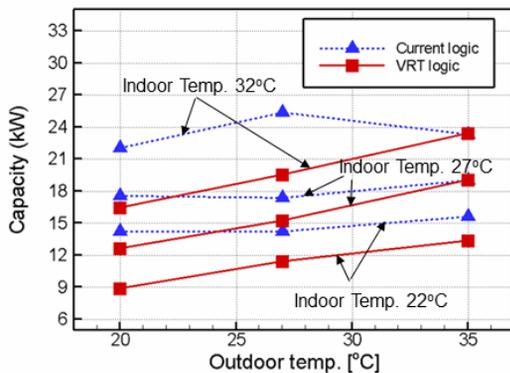
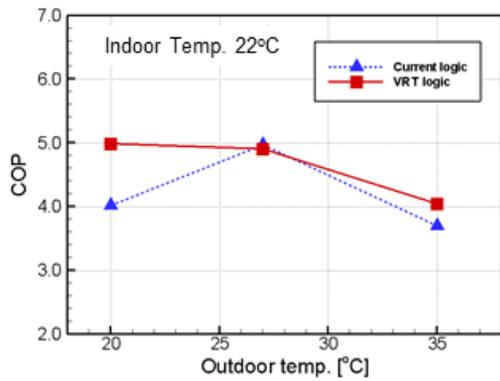
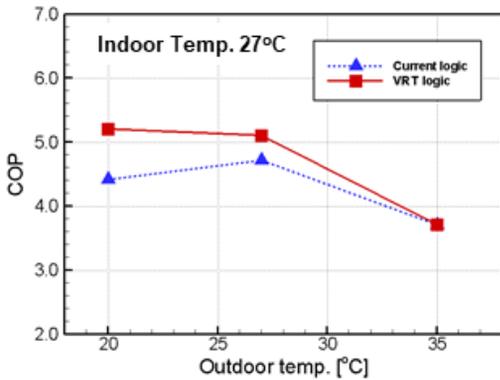


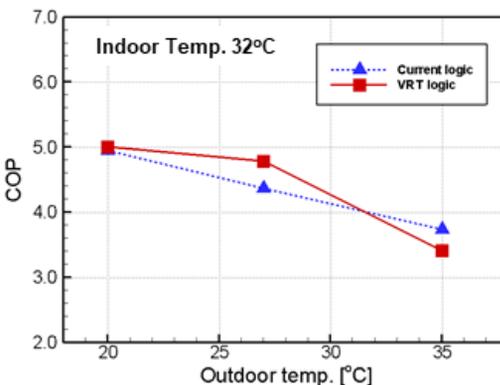
Fig. 4 Capacity variations in cooling operation



(a) 22°C of Indoor Temperature



(b) 27°C of Indoor Temperature



(c) 32°C of Indoor Temperature

Fig. 5 Comparisons of COP in cooling mode

매 온도는 일정하게 4°C에 고정되어 제어되고 변동 냉매온도 제어로직인 Case 2의 경우 실내외 온

도 변화에 따라 2~13°C 사이에서 냉매온도가 가변되는 것을 알 수 있다. 그 결과, Fig 4와 같이 Case 1의 경우 실외온도 변화에 무관하게 실내 온도에 의해서만 70~120% 범위에서 성능이 변화되고 Case 2의 경우 실외 온도와 실내온도의 변화에 따라 40~110% 범위에서 성능이 가변됨을 확인할 수 있다. 모든 조건의 COP를 산술평균 했을 때 Fig. 5와 같이 실내온도가 다르게 설정되더라도 전반적으로 냉매온도 가변제어 방식이 보다 높은 COP 특성을 나타냄을 확인할 수 있으며 Case 1 대비 Case 2의 평균 COP는 6.5% 상승됨을 알 수 있다. 외기온도가 35°C이면서 실내온도가 32°C로 높은 경우, 기존 제어보다 오히려 냉매온도가 2°C 낮아지며, 이에 따라 효율상승이 제한되지만 명확한 부하 대응을 하고 있음을 볼 수 있다.

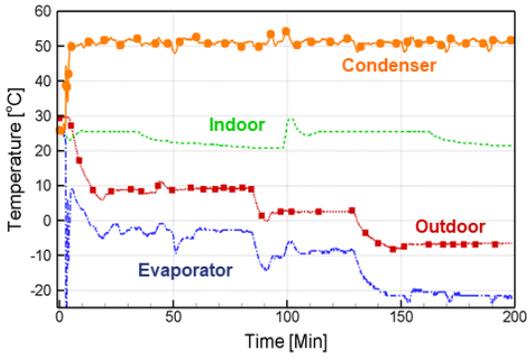
#### 4.2 난방 운전

Case 1의 경우 실내외 온도 변화에 상관없이 냉매 온도는 일정하게 50°C에 고정되어 제어되고, Case 2의 경우 실내외 온도 변화에 따라 40~50°C 사이에서 냉매온도가 가변되는 것을 Fig. 6을 통해 확인할 수 있다. 성능 가변 범위는 난방 운전과 다르게 실외 온도 변화에 따른 성능 변화는 Case 1과 Case 2가 큰 차이를 보이지 않았고 실내 온도 변화에 따른 성능 변화는 Case 2가 우수함을 Fig. 7을 통해 알 수 있다. 난방 운전 결과, Fig. 8과 같이 Case 1 대비 Case 2의 평균 COP는 24% 상승됨을 알 수 있다. 난방 운전은 실외 온도가 높을수록 Case 2의 효율이 현격하게 향상됨을 볼 수 있고 실외 온도가 낮은 조건에서는 압축기의 고속 운전으로 인하여 유사한 COP를 보인다.

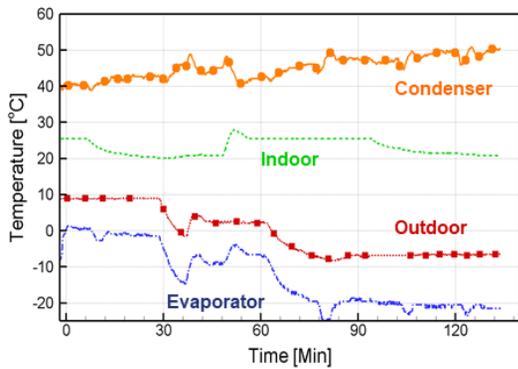
### 5. 결론

본 연구에서는 냉매 온도를 일정하게 운전하는 기존 제어 방식과 다르게 실내외 온도 변화에 맞춰 냉매 온도를 변화시키면서 성능과 효율의 변화를 확인해 보고자 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 난방 운전에서 Case 1 대비 Case 2의 실내외 온도 변화에 따른 평균 효율은 6.5% 상승하였다.



(a) Case 1 (Current logic)



(b) Case 2 (VRT logic)

Fig. 6 Temperature variations in heating operation

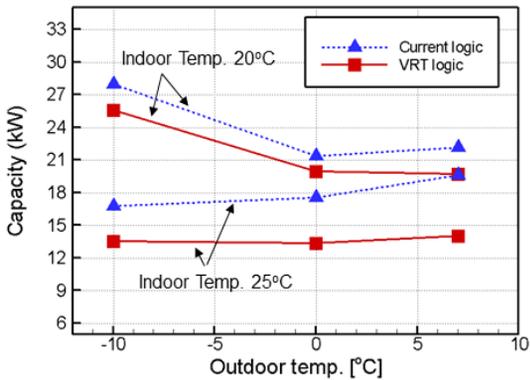
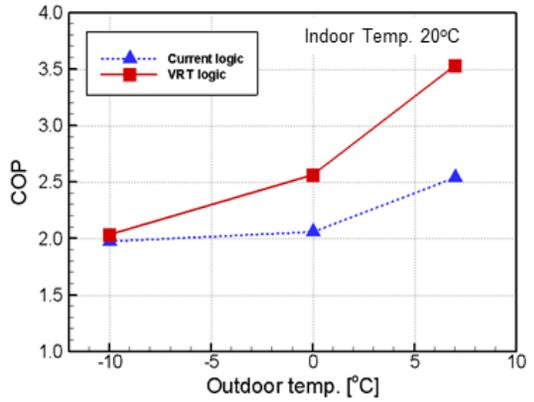
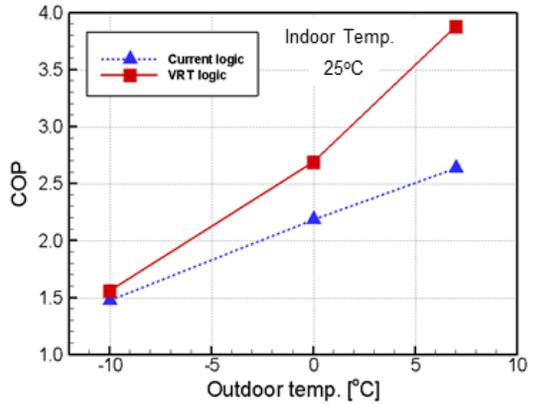


Fig. 7 Capacity variations in heating mode

2) 난방 운전에서 Case 1 대비 Case 2의 실내외 온도 변화에 따른 평균 효율은 24% 상승하였다.



(a) 20°C of Indoor Temperature



(b) 25°C of Indoor Temperature

Fig. 8 Comparison of COP in heating mode

3) 향온 향습 챔버 조건으로 인하여 실내온도와 설정온도 차이 변화에 따른 효율 측정은 이루어지지 않았으나, 실내온도가 설정온도 차이가 줄어들수록 Case 2 알고리즘에 의한 효율 상승 가능성이 기대된다.

본 연구의 사례에서 실외 온도와 실내 온도 변화에 따른 부하 변동 시 냉매 온도를 변화시키면 시스템의 효율이 향상됨을 알 수 있고, 그로 인하여 에너지 절감에 기여할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 적용 시스템과 사용환경과 사용건물에 따라 다른 경향을 나타낼 것으로 보여 실제 건물에 적용하여 검증이 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

이 성과는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2018R1A2B6004137).

## Author contributions

Y. C. Ahn; Writing-review & editing, S. H. Jang; Conceptualization, Writing-original draft, N. M. Park; Investigation.

## References

1. M. C. Park, Y. H. Jung, J. Y. Lee, J. K. Lee, and Y. C. Ahn, 2017, "Performance Evaluation of a Crank-driven Compressor and Linear Compressor for a Household Refrigerator", Journal of the Korea Society For Power System Engineering, Vol. 21, pp. 5-12. (DOI:10.9726/kspse.2017.21.5.005)
2. J. S. Park, J. K. Lee, M. C. Park, C. K. Kim, S. G. Yeo, E. J. Kim, S. K. Yang, and Y. C. Ahn, 2019, "A Study on the Refrigerant Distributor Design on the Reduced Diameter of Evaporator in the Air Conditioner", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 23, pp. 82-87. (DOI:10.9726/kspse.2019.23.3.082)
3. C. H. Son, J. I. Yoon, K. H. Choi, S. J. Ha, M. J. Jeon, S. H. Park, and S. B. Lee, 2017, "Cooling Performance Characteristics of 3RT Heat Pump System applied Electronic Expansion Valve", Journal of the Korea Society For Power System Engineering, Vol. 21, pp. 79-85. (DOI:10.9726/kspse.2017.21.6.079)
4. AHRI(Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute), 2010, "Performance Rating of Variable Refrigerant Flow (VRF) Multi-Split Air- Conditioning and Heat Pump Equipment", AHRI Standard 1230.
5. Daikin, MIE University, 2015, "Development of High Efficiency VRF Systems under Partial Heat Load for Commercial Buildings", Proc. JSRAE Annual Conference.