



냉방부하 매칭 운전 알고리즘을 적용한 VRF 시스템의 성능평가

Performance Evaluation of a VRF System Based on Cooling Load Matching Algorithm

이재완* · 장석훈* · 김정훈* · 장세동** · 안영철****†

Jae-Wan Lee*, Seok-Hoon Jang*, Jeong-Hun Kim*, Se-Dong Chang**
 and Young-Chull Ahn****†

(Received 28 July 2019, Revision received 12 October 2019, Accepted 14 October 2019)

Abstract: A typical VRF system is an air conditioner that assures the performance of several combined indoor units by fixed control of the target low pressure in cool operation. If the cool load is reduced compared to the cool design conditions, a cold draft due to the over-cooling and a reduction in system efficiency may occur. In this study, it was proposed to apply a target variable control algorithm for VRF system considering ambient humidity as well as ambient temperature. The algorithm obtained improvement in the partial load operation efficiency while maintaining indoor comfort, and the effect was confirmed through actual environmental test. As a result of the simulation of annual power consumption while performing the DSEC control, the power consumption is reduced by 23% compared with the conventional low pressure fixed control algorithm. The actual environmental condition test results show that the cases 1 and 2 are reduced by 32% and 13%, respectively. It is expected that the DSEC algorithm can widely contribute to the improvement in the partial load efficiency of the VRF system because there is no burden on additional.

Key Words : VRF System, Partial Load, Annual Power Consumption, External Load Matching Control

1. 서 론

1.1 연구배경 및 연구목적

VRF(Variable Refrigerant Flow) 시스템^{1,2)}은 한 대의 실외기에 여러 대의 실내기를 조합할 수 있는 공조기로서 개별공간의 독립적인 공조가 용

****† 안영철(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-0377-8101)

: 교수, 부산대학교 건축공학과

E-mail : ycahn@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-2492

*이재완(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-2318-6760):

연구원, LG전자(주)

*장석훈(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-1543-1669):

연구원, LG전자(주)

*김정훈(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6095-3231):

연구원, LG전자(주)

**장세동(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-3859-4508):

상무, 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, Tel : 051-510-2492

*Jae-Wan Lee(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-2318-6760):

Researcher, LG Electronics.

*Seok-Hoon Jang(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-1543-1669) :

Researcher, LG Electronics.

*Jeong-Hun Kim(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6095-3231) :

Researcher, LG Electronics.

**Seo-Dong Chang(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-3859-4508)

: Director, LG Electronics.

이하고, 짧은 공사기간과 적은 유지 보수비용의 특성을 갖고 있어 기존 공조시스템을 빠르게 대체해 나가고 있으며 핵심 구성요소인 압축기³⁾, 열교환기⁴⁾, 팽창 밸브⁵⁾ 등에 대한 연구가 많은 연구자들에 의해 수행되며 전체적인 효율 향상을 주도하고 있다. 대부분의 VRF 시스템은 한 개의 실외기를 여러 대의 실내기가 공동으로 사용하며, 운전모드에 따라 동일한 목표 증발온도를 고정하여 운전한다. 그로 인해 개별 공조공간 내 실내부하 변화에 따라 실내기의 잦은 온오프가 발생하거나, 실외 부하변화에 따라 운전율이 가변되지 않기 때문에 에너지 효율적인 운전이 제한되는 단점이 있다.^{6,7)} 반면에, 연중 사용 에너지 개선을 위한 부분부하 조건에서의 운전효율이 강조되는 추세에 맞추어 그 부분부하 조건에서의 효율 개선이 지속적으로 요구되고 있다.⁸⁾ 하지만 이러한 가변 목표 증발온도제어 수행에 따른 실제 사용 조건에서의 에너지 사용량 변화를 정량적으로 측정하여 검증한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 VRF 시스템의 실외 냉방부하 변화에 맞추어 운전 목표 증발온도를 가변 제어함으로써 실내 쾌적성을 유지하면서 부분부하 운전효율을 극대화하기 위한 운전 알고리즘을 제안하고, 연간 시스템 에너지사용량에 미치는 영향을 시뮬레이션 하였다. 또한 실제 공조용으로 사용되는 기기에 적용하여 그 효율 개선 정도를 확인하여 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 실외 온습도 변화에 따른 냉방부하의 변화

일반적으로 공조공간의 열부하는 외부부하(External load)와 내부부하(Internal load)로 구분되며, 외부부하는 주로 실외온도와 습도의 영향을 받게 된다. 공조공간의 용도 및 사용 환경에 따른 내부부하가 일정하다고 가정했을 때 설계조건 대비 냉방부하의 변화는 실외 온도와 습도 변화에 따라 변화한다고 할 수 있다. 실내조건 30℃/50%RH에서 27℃/55%RH로 공조하기 위한 냉방부하를 1로 가정했을 때 실내조건 30℃/80%RH에

서 27℃/55%RH로 공조하기 위한 냉방부하는 3 이상이다. 즉, 실내 환기량을 고정시키면 전체 냉방부하는 실외온도뿐만 아니라 습도에도 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다. 이론적으로 가변되는 부하에 정확히 매칭하여 시스템의 성능을 공급할 경우 시스템은 불필요한 온오프 운전 없이 연속적으로 운전이 가능하며 에너지 손실을 최소화할 수 있게 된다. 하지만, 습도를 고려하지 않고 실외온도만 고려하여 운전율을 가변하면 습기에 의한 잠열부하 특성을 올바르게 반영하지 못할 가능성이 있다. 예를 들어, 습도에 관계없이 동일한 목표저압으로 제어할 경우 습도가 높은 경우에는 부하에 비하여 냉방능력이 부족하게 될 가능성이 있고, 반대로 습도가 매우 낮은 경우에는 능력이 과다하여 사용자에게 과다한 온도하락에 의한 불쾌감을 야기할 가능성이 있다. 본 연구에서는 외기 온도 변화뿐만 아니라 습도환경을 고려하여 습도가 높은 경우에는 증발온도를 낮추어 잠열 제거가 충분히 가능한 운전을 수행하고, 습도가 낮을 때는 증발온도를 높여 과다한 온도하락을 방지하고 고효율 운전이 가능한 최적 운전을 수행하도록 제어 로직을 구성하여 그 효과를 평가하였다.

2.2 DSEC(Dual Sensing Energy Control) 로직

최근의 VRF 시스템은 대부분 인버터 방식의 부품을 적용하여 시스템의 운전을 제어가 매우 용이하며, 이는 목표 증발온도를 가변함으로써 쉽게 실제 운전을 제어를 구현할 수 있다. 실외온도와 습도 변화에 따른 부하 변화량과 저압변화에 따른 성능 변화를 매칭함으로써 그 최적 제어를 구현할 수가 있다.

본 연구에서는 실외온도 및 습도 조건 변화에 따른 부하변동 발생시 목표저압(증발온도)을 가변하도록 제어 로직을 구성하여, 실외 온도나 습도가 낮으면 목표 증발온도를 올려 실내기 취출 공기의과다 온도하락을 방지하고 압축기를 적게 운전하여 고효율 제어를 수행하도록 하였다. 단, 기존의 VRF 시스템에서 설정된 목표 저압 이하로

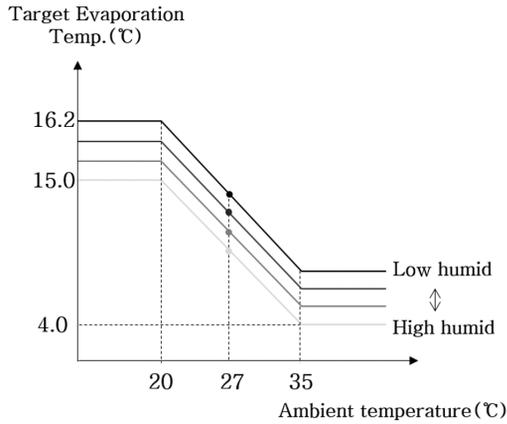


Fig. 1 Diagram of target pressure according to ambient condition

낮추지는 않도록 로직 설계를 하였다. 이는 목표 증발온도를 낮출수록 고습도 조건에서 능력을 더 증가시키는 것은 가능하지만, 이 경우 오히려 실 내기 외관의 결로 발생 문제를 야기할 소지가 있고, 소비전력도 정격운전 대비 과대해지기 때문이다. 또한 실외 온도가 높아서 냉방요구가 큰 경우는 상대습도의 영향이 적도록 하기 위하여 실외 35도 이상에서는 목표저압을 상향 조정하는 제어를 수행하지 않도록 하였다. 목표 증발온도의 제어 범위는 만일 사용자의 요구와 반대로 제어가 되더라도 기초 냉방이 가능한 범위로 +3도 이내로 제한하였다. 여기서 습도는 실내기에 습도센서가 적용된 경우, 측정된 가중평균 습도값을 사용하였고, 실내기에 습도센서가 적용되지 않은 경우 실외기에 습도센서로 측정된 습도값을 이용하였다. 실내습도가 실외습도와 상관관계가 있지만 건물별/공조공간별로 환기량 및 침입외기량이 다르기 때문에 잠열 부하를 정확하게 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 습도 고정 상태에서 실외온도변화에 따른 부하변화에 매칭하여 목표 증발온도를 Fig. 1과 같이 설정하여 요구부하에 대응하도록 로직을 구현하였다. 습도변화에 따른 잠열부하는 고습도 조건으로 갈수록 증가하는 특성이 있으므로, 고습도 조건(70% RH 이상)에서 저습도 조건(30% RH 이하)대비 약 15%의 냉방능

Table 1 Target evaporation temperature variation according to humidity conditions

Relative Humidity (%)	Adjusting Value of Evaporation Temp. (°C)	Calculated Target Evaporation Temp. @27°C
RH > 70	0	9.9
50 < RH ≤ 70	+0.4	10.3
30 < RH ≤ 50	+0.8	10.7
RH ≤ 30	+1.2	11.1

력이 증가될 수 있도록 4개의 습도 구간으로 나누고 별로 목표 증발온도를 0.4°C씩 변화를 주어 Table 1과 같이 알고리즘에 반영하였다.

2.3 경제성 분석 방법

실외 온도와 습도의 변화에 대해 목표 증발온도 고정방식으로 운전한 시스템과 DSEC 제어를 적용하여 운전한 시스템의 연간 소비전력을 분석하기 위하여 시스템 목표저압에 따른 성능의 변화를 시뮬레이션하였으며, 22마력 VRF 제품을 대상으로 Fig. 2와 같은 특성을 확인하였다. 실외온도 조건을 35°C, 27°C, 21°C로 변화시키며 습도 조건별로(80% RH, 30% RH) 각각 데이터를 획득하였다. 목표 저압을 상승시키면 능력이 감소하지만 소비전력의 감소가 능력 감소보다 크게 되어 효율(EER)의 상승효과가 나타났다.

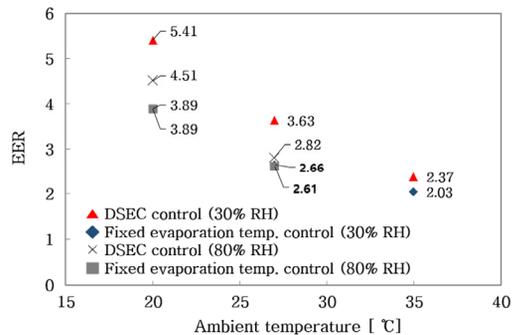


Fig. 2 EER comparison between DSEC and fixed evaporation temperature control

DSEC 알고리즘을 적용한 시스템의 성능과 소비전력 변화를 예측하기 위하여 냉방 표준 조건에서의 저압변화에 따른 능력과 소비전력으로 시스템의 성능을 식 (1)과 같이 보간하여 정의하고, 소비전력 변화를 식 (2)와 같이 보간하여 정의하였다.

$$TC = 196.25 - 0.19482 \times LP \quad (1)$$

$$II = 176.56 - 0.35 \times LP + 0.000174 \times LP^2 \quad (2)$$

기후 데이터를 바탕으로 일별 온도와 습도 조건에서 DSEC 제어 방식의 목표 증발온도 변화를 구하고, 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 가변된 목표 증발온도에서의 시스템 성능과 소비전력을 시뮬레이션 하였다. 또한 DSEC 제어를 실제 건물 공조용으로 사용되는 시스템에 적용하여 소비전력을 측정함으로써, 시뮬레이션 결과와 비교하여 그 효과를 실증하였다. 서울시 금천구 가산동 소재 오피스 건물에 #1, #2의 두 대를 설치하였으며, 하나는 사무실 내부, 하나는 동일층의 로비공간에 실내기가 위치하도록 설치하였다. 두 대 모두 목표증발온도 고정방식과 DSEC 제어방식을 24시간마다 전환하여 각각의 제어방식에서의 소비전력을 총합하여 운전 로직에 따른 소비전력량을 비교하였다. 시스템의 성능과 소비전력량 시뮬레이션은 실험기간 동안 서울지역의 기후 데이터를 사용하였고, 시스템 가동시간은 오전 7시~오후 7시로 가정하였다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과 분석

Fig. 3에서는 목표 증발온도 고정방식과 DSEC 제어방식에 대해 냉방운전시 월별 소비전력 시뮬레이션 결과를 나타내었다. DSEC 제어를 실시하였을 때 기존 목표 증발온도 고정방식 제어 대비 소비전력이 23% 저감됨을 확인하였으며, Fig. 4에 나타낸 바와 같이 실제 사용 환경조건에서의 테스트 결과는 #1 시스템의 소비전력이 19% 저감되었고, #2 시스템의 소비전력이 27% 저감되는

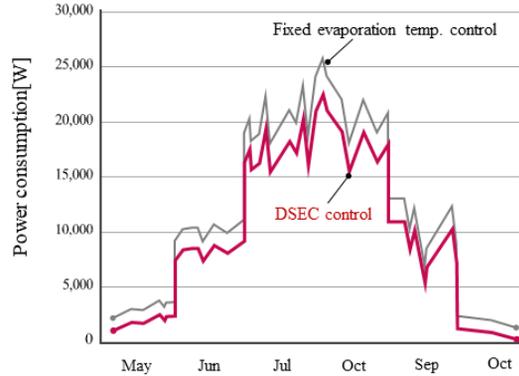


Fig. 3 Simulation results of monthly power consumption

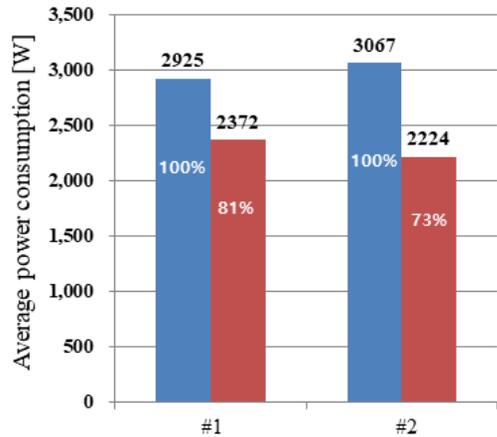


Fig. 4 Comparisons between the previous control and the DSEC control on actual air-conditioning system

과를 얻을 수 있었다. 실제 환경조건 테스트에서 오차가 크게 발생한 것은 실사용 환경에서 실외 온도 및 습도에 의한 부하 이외의 부하에 대한 통제가 되지 않았기 때문으로 사료된다. 하지만, 1개월 동안의 테스트를 수행함으로써 소비전력 저감에 대한 개선 효과는 시뮬레이션 결과를 추증함을 확인하였다.

DSEC 로직 적용시 냉방 표준 조건 대비하여 부하가 경감되는 조건에서 목표 저압 고정제어에 비해 소비전력이 감소하고, 시스템 운전효율이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 고습도 조건에서

운전율을 유지하여 쾌적한 공조공급을 지속하면
서, 저습도 조건에서는 운전율을 낮추어 시스템
효율을 상승시키기 때문에 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 VRF 시스템의 부하에 따른 목
표 증발온도 가변 제어를 제안하였다. 냉방 부하
조건에서 실외온도와 습도를 고려하여 목표
증발온도를 높여 시스템의 능력을 줄여줌으로써
연속적인 운전을 가능하게 하고, 시스템 효율을
극대화 할 수 있도록 하였다. 이러한 로직 적용을
통해 연간 소비전력의 저감 효과를 시뮬레이션과
현장 제품테스트를 통하여 비교 검증하였다. 부하
변동을 고려한 운전율 가변 제어시 쾌적성과 시
스템 효율의 측면에서 온도와 습도를 함께 고려
하여 제어하는 것이 효과적임을 확인하였다. 이러
한 운전 제어 알고리즘을 이용한 효율의 개선은
추가 비용 부담이 없이 소프트웨어의 업그레이드
만으로 가능하기 때문에 VRF 시스템의 부분부하
효율 향상에 널리 기여할 수 있을 것으로 기대된
다. 향후 다양한 설계조건에서의 시뮬레이션과 실
증테스트를 통하여 DESC 로직의 실부하 운전조
건에서의 부하대응 알고리즘을 더욱 정교하게 하
여 VRF 시스템의 부분부하 운전에서의 효율을 더
욱 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

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

Author contributions

Y. C. Ahn; Writing-review & editing, J. W. Lee;
Conceptualization, Writing-original draft, S. H. Jang;
Investigation, S. D. Chang; Funding.

References

1. T. N. Aynur, 2010, "Variable Refrigerant Flow Systems: A Review", *Energy and Buildings*. Vol. 42, No. 7, pp. 1106-1112. (<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.024>)
2. ASHRAE Handbook, 2012, "HVAC System and Equipment", *American Society of Heating, Refrigerant, and Air-Conditioning Engineers*, Chapter 18. Variable Refrigerant Flow.
3. 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, No. 5, pp. 5-12. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2017.21.5.005>)
4. 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, No. 3, pp. 82-87. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2019.23.3.082>)
5. 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, No. 6, pp. 79-85. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2017.21.6.079>)
6. D. Zhao, X. Zhang, and M. Zhong, 2015, "Variable Evaporating Temperature Control Strategy for VRV System Under Part Load Conditions in Cooling Mode", *Energy and Buildings*, Vol. 91, pp. 180-186. (<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.039>)
7. X. Xiangguo, P. Yan, D. Shiming, X. Liang, and C. Mingyin, 2013, "Experimental Study of a

- Novel Capacity Control Algorithm for a Multi-evaporator Air Conditioning System", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 50, pp. 975-984.
(<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.08.007>)
8. G. Y. Yun, J. H. Lee, and H. J. Kim, 2016, "Development and Application of the Load Responsive Control of the Evaporating Temperature in a VRF System for Cooling Energy Savings", *Energy and Building*, Vol. 116, pp. 638-645.
(<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.012>)