

가변용량 복수 실내기형 열펌프의 동계 현장 성능 측정

김 경 록, 조 금 남*, 김 진 홍**, 홍 희 기***, 유 호 선†
성균관대학교 대학원, *성균관대학교 기계공학부, **경희대학교 대학원,
***경희대학교 기계 산업 시스템공학부, † 숭실대학교 기계공학과

A field test of variable capacity heat pumps with multi-indoor units during heating season

K. R. Kim, K. Cho*, J. H. Kim**, H. Hong***, and H. Yoo****†

Graduate School, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

**School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea*

*** Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea*

**** School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea*

*****Dept. of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea*

ABSTRACT: This study focuses on the field performance of variable capacity heat pump systems during heating season. While a special care is paid to measure the electric consumption rate reflecting the compressor's on/off, a set of basic data, such as temperature and humidity at various locations of interest, are simultaneously recorded. Reduction of raw data leads to some meaningful results that represent typical heating performance patterns in the field environment. From the analysis of the results, it can be deduced that the present systems are capable of meeting the heating load throughout the whole season. In view of the fact that the performance data measured under the actual operating conditions are hardly reported, the present work is expected to serve as a reference for comparison.

Key words: Field test (현장측정), Heating performance (난방 성능),
Variable capacity heat pump (가변용량 열펌프)

1. 서 론

주거 및 사무 공간에 대한 쾌적한 생활 환경
요구와 대형화, 고급화의 추세에 따라 고급형 공
조기기의 사용이 점차 확대되고 있다. 뿐만 아니
라 국내외의 공조 산업 분야에서 에너지 소비효

율 향상을 위한 많은 연구가 진행되고 있으며,
에너지 절감을 위하여 개별 용량 조절이 가능한
용량 가변형 개별 공조 시스템의 사용이 점차 확
대되고 있다. 이에 따라 중소형 건물에서 신축
및 리모델링 과정에서 기존의 중앙 공조 방식의
시스템보다는 한 대의 실외기에 여러 대의 실내
기를 연결하여 개별 용량 조절과 운전이 가능한
시스템 멀티 에어컨의 설치가 급증하고 있는 추
세에 있다.

중앙 공조 시스템을 대체하고 있는 시스템 멀

† Corresponding author

Tel.: +82-2-820-0661; fax: +82-2-820-0668

E-mail address: hsyoo@engineer.ssu.ac.kr

터 에어컨은 냉난방 운전을 병행하는 열펌프 형태로 사용되는 경우가 많다. 이러한 다수의 실내기를 갖는 시스템 멀티 에어컨의 난방 성능에 관한 연구가 많이 수행되고 있다.

Jun et al.⁽¹⁾은 PWM 방식과 인버터 방식의 용량 가변형 압축기를 적용한 시스템 멀티 에어컨에 대하여 칼로리미터에서 실험을 수행하여 냉난방 성능 및 특성에 대하여 비교하였다. 또한 Kim et al.⁽²⁾은 PWM 방식의 압축기를 사용한 시스템 멀티 에어컨의 $-15 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 의 저온 실외 온도 조건에서 실내기에 전기 히터를 사용한 방식과 사용하지 않은 방식에 대하여 칼로리미터 실험을 통하여 비교하였다. Han et al.⁽³⁾은 멀티 히트 펌프 시스템에 대한 시뮬레이션을 통하여 냉방, 난방 성능을 예측하였고 Lee et al.⁽⁴⁾은 칼로리미터 시험을 통하여 디지털 스크롤 압축기를 이용한 시스템 멀티 에어컨의 냉난방 운전 시 부하량에 따른 압축효율의 변화가 크지 않아 부하가 적은 영역과 큰 영역에서의 운전이 모두 효과적임을 증명하였다.

이와 같이 시스템 멀티 에어컨에 대한 연구는 최근 수년간 활발히 진행되어 왔으나 대부분의 연구와 시험 등이 칼로리미터 등의 인위적 안정 조건 또는 시뮬레이션을 통하여만 수행되었다.

따라서 본 연구에서는 실제 현장에서 사용되는 디지털 스크롤 압축기를 적용한 시스템 멀티 에어컨의 난방 성능 및 열환경에 대한 측정을 수행 하였다.

2. 현장 시험 장치 및 방법

본 연구가 수행된 대상 공간은 서울에 위치한 지하2층, 지상 6층 건물의 4층에 위치한 중식당이며, 설치된 시스템 멀티 에어컨은 냉난방 겸용의 열펌프 시스템으로 PWM방식의 용량 가변형 압축기와 정속 압축기가 병렬로 연결된 10마력 용량의 실외기에 고정압 덕트형 2대의 실내기가 연결된 시스템과 PWM방식의 용량 가변형 압축기가 적용된 6마력 용량의 실외기와 고정압 덕트형 1대의 실내기가 연결된 2대의 시스템에 대하여 측정을 수행하였다. 성능 평가에 사용된 시스템 에어컨의 제원은 Table 1과 같다.

시스템의 실외기는 3층 발코니에 설치 되었으며, 실내기는 고정압 덕트형으로 실내기에 연결

Table 1 Specification of the heat pump system for field test

	Type	Cooling capacity	Heating capacity	Q'ty
Outdoor unit	Sideway	14.5kW	15kW	1
	Upward	29kW	31.4kW	1
Indoor unit	Duct type (High pressure)	12.8kW	13.8kW	3

된 Duct를 통하여 실내에 분배되어 토출하는 방식을 적용하였다.

Fig. 1은 측정 대상 공간 및 측정점을 나타낸 개략도이다. 실내기의 입출구점에서 공기 측 온도와 습도를 측정하고 디퓨저에서 시스템의 풍량을 측정하여 공기 측 엔탈피 차이를 계산하여 실내기의 성능을 구하고자 하였으며, 실내에 대표점을 정하여 실내공기의 온도, 습도 및 CO₂ 농도를 측정하여 실내 환경의 변화를 파악하고자 하였다. 습도 센서나 CO₂ 농도 센서의 경우 상용화되어 판매되는 제품을 사용하였으며 온도 센서의 일부는 K-type의 열전대를 이용하여 직접 제작하였으며 이를 보정 작업을 통하여 오차 범위 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 이내인 것만을 사용하였다. 실외기에 공급되는 전력을 측정하여 소비 전력의 변화 및 EER를 구하는데 적용하였다. 또한 실내공간의 열부하를 산출하기 위하여 외벽 및 천정과 바닥에 대표점을 정하여 온도를 측정하였다. 시스템의 운전 상태 및 제어 사양을 측정하기 위하여 Snet 프로그램을 설치하여 압축기 운전상태 및 전자팽창밸브의 개도를 파악하였다.

온습도, CO₂ 및 시스템 운전조건은 20초 간격으로 측정을 하였으며, 소비전력량은 10, 20초 간격으로 운전 상태를 변화하는 PWM제어에 대응하기 위하여 1초 간격으로 측정을 하였다. 실내공간의 온습도 및 기류 분포를 3회 측정하였다. 시스템 운전은 사용자에게 의하여 운전 되었으며, 2003년 11월부터 2004년 2월까지 측정된 자료를 사용하였다.

이러한 측정 장치를 통하여 실제 현장에서 운전되는 시스템 멀티에어컨의 중간기와 동절기에서 능력, 효율 및 사용되는 공간의 열환경에 대

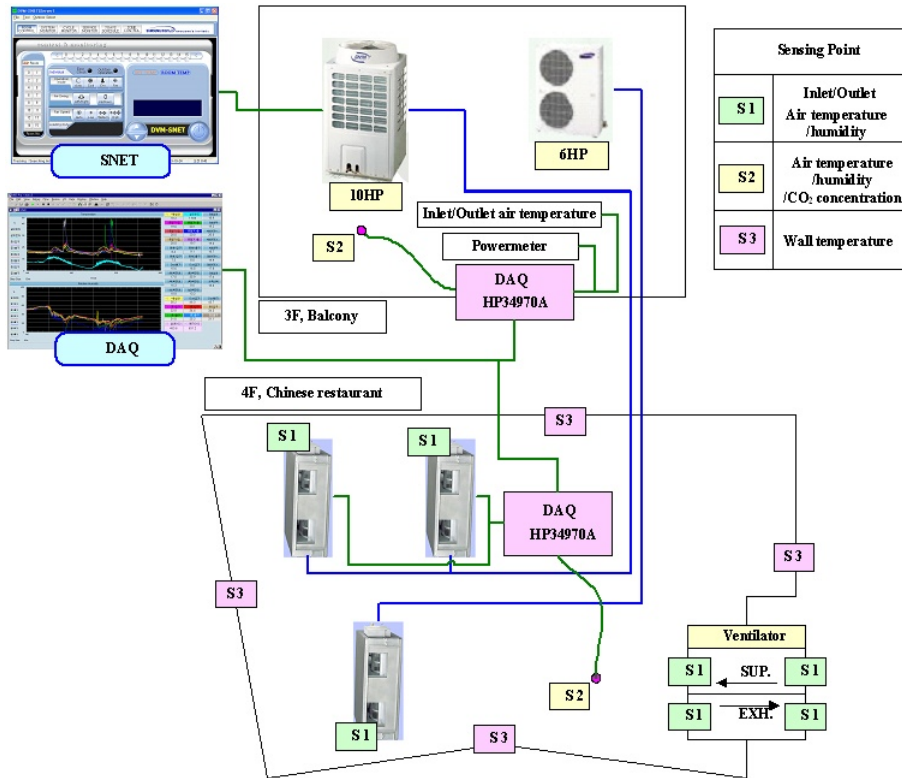


Fig. 1 Schematic diagram of the field test system.

하여 평가하고자 하였다. 시스템이 정상 상태로 운전 되는 10분간의 성능 및 소비전력을 적산하였으며, 또한 중식당의 영업시간을 고려하여 오전 9시부터 오후 9시까지의 성능 및 소비 전력을 적산하여 일별 소비전력과 난방능력을 구하였다.

3. 현장 시험결과 및 고찰

Fig. 2는 동절기중 6 HP, 10 HP 시스템의 정상상태 조건에서 10분간 난방능력을 실외온도변화에 따라 나타낸 것이다. 10 HP 시스템의 경우 약 -5°C 이하에서, 6 HP 시스템의 경우 약 -12°C 이하에서 정격능력 이하로 성능이 저하 되는 것을 볼 수 있다. 이는 시스템의 증발 압력이 저하됨에 따라 압축기의 토출유량이 감소하여 시스템 전체의 성능이 저하되는 증기 압축식 열펌프의 특성에 의한 것으로 판단된다. 이때의 EER 변화를 보면 Fig. 3과 같다. 6 HP 시스템의 경우 2.25 ~ 2.75 사이의 분포를 보이는데 비해 10 HP 시스템의 경우 1.9 ~ 2.5 사이의 분포를 보이는 것을 확인할 수 있다. 특히 10 HP 시스

템의 경우 -5°C 이하에서 EER이 저하되는 것을 볼 수 있는데 이는 난방능력을 증가시키기 위하여 병렬로 연결된 시스템의 경우 소비동력이 증가하게 되고 압력비의 증가와 압축기 토출부의 냉매 토출부의 냉매 과열로 효율이 떨어지기 때문으로 판단된다. 또한 같은 실외온도 조건이어도 성능 및 EER에서 차이를 보이게 되는데 이는 실내온도 변화에 의한 영향으로 판단된다. 따라

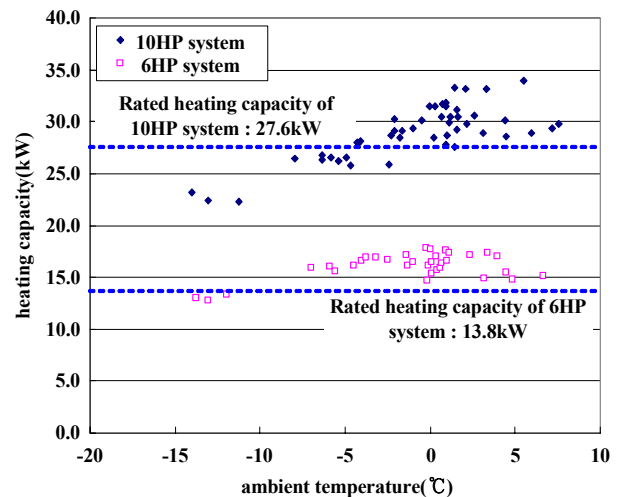


Fig. 2 Variation of heating capacity as the function of the ambient temperature.

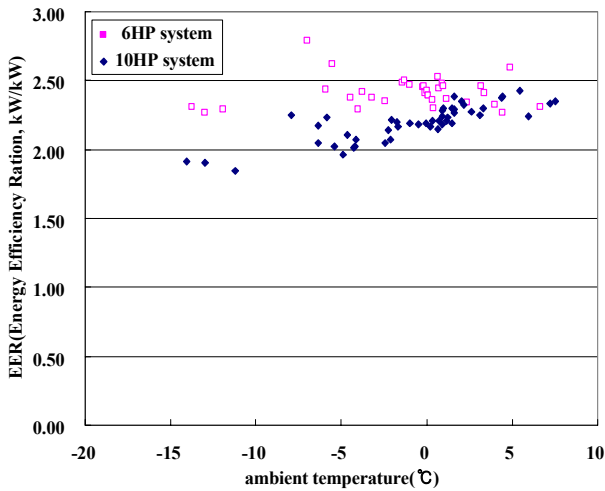


Fig. 3 Variation of EER as the function of ambient temperature.

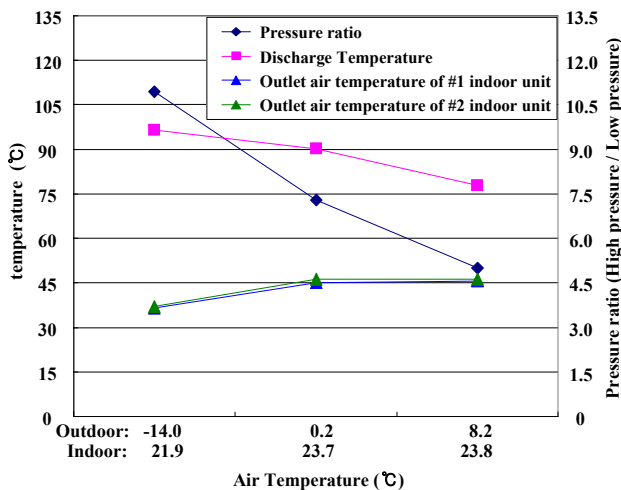


Fig. 4 Variation of 10 HP system characteristics with ambient temperature.

서 실외온도 변화에 따른 시스템의 영향을 보다 정확히 평가하기 위하여 10 HP 시스템의 유사한 실내온도 조건에서의 운전 데이터를 분류하여 Fig. 4에 나타내었다. 이에 사용된 냉매 측의 압력과 토출온도 데이터는 S-net 프로그램에 의하여 측정된 자료를 사용하였다. 실외온도 조건이 저하됨에 따라서 시스템의 고압과 저압의 압력비가 5.0에서 10.9로 증가하고 이에 따라 시스템의 토출 온도 또한 증가하게 된다. 그러나, 시스템의 유량이 감소함에 따라 실내기 토출 공기 온도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 대표적인 3일간에 대하여 시스템의 가동 시 설정 온도 및 실내온도, 실외 온도를

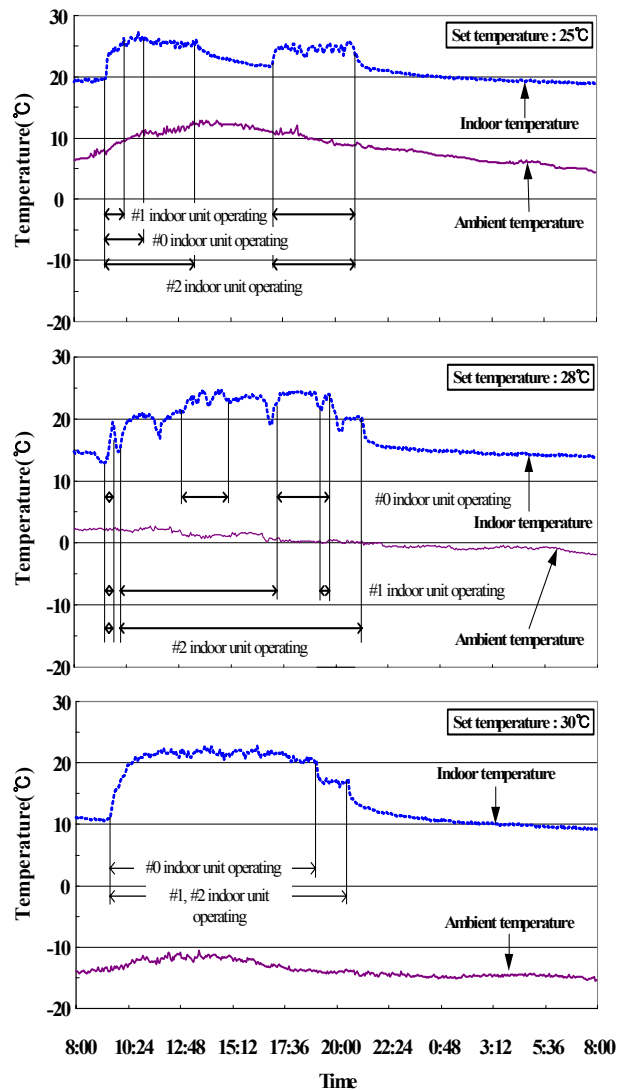


Fig. 5 Transient variation of indoor temperature with the ambient and set temperatures.

같이 나타내었다. 주간 시간대에 실외온도는 8~13°C 분포를 보인 경우, 시스템 가동 시 설정온도인 25°C에 실내온도가 근접하여 분포하는 것을 볼 수 있다. 실외온도가 0 ~ 2°C를 유지하는 상태에서 설정온도인 28°C에 실내온도가 약 3~4°C 미치지 못하는 상태로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 또한 실외온도가 -15 ~ -12°C로 분포할 때 실내온도가 설정온도 30°C에 약 7°C 미치지 못하는 상태로 운전 되고 있다.

Fig. 6은 실내 대표점에서 1월13일 하루 동안의 CO₂농도를 나타낸 것이다. 급기Fan 가동 및 정지, 영업 시작 후 재실자 증가에 따른 농도

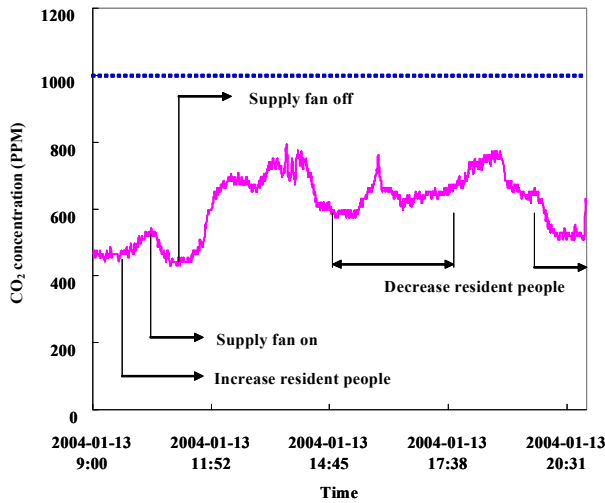


Fig. 6 Variation of CO₂ concentration for a day.

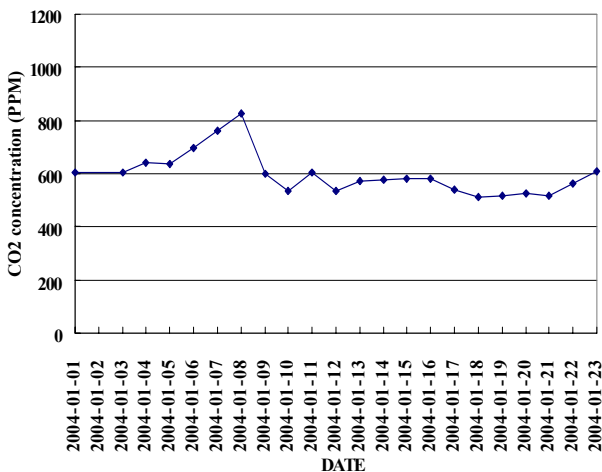
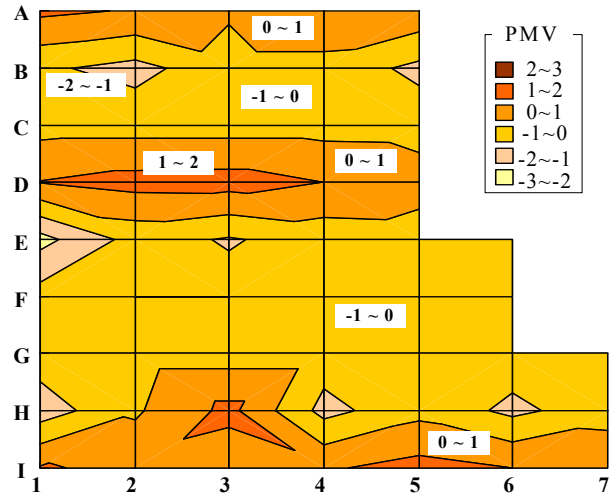


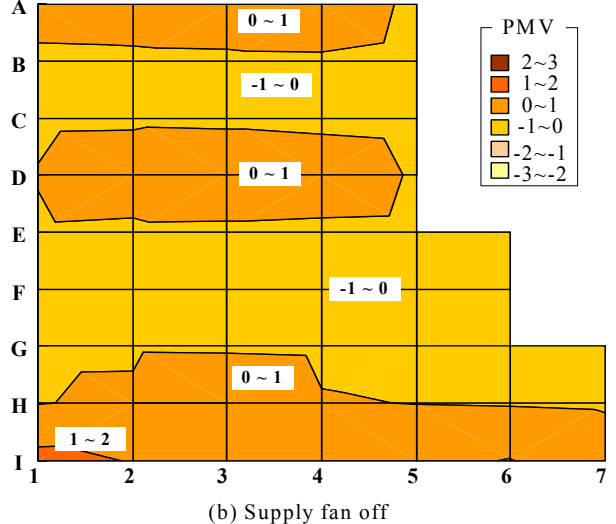
Fig. 7 Variation of CO₂ concentration for a month.

의 변화를 확인할 수 있다. 또한, 하루 중 환기 기준 농도 1000ppm을 넘지 않는 것을 확인할 수 있으며, 측정된 동절기 기간 동안 1000ppm을 넘지 않는 상태에서 실내 CO₂ 농도가 유지되었다. Fig. 7은 1월의 실내 대표점의 CO₂ 농도 변화를 나타낸 것이다.

대표지점을 선정하여 온도, 습도 및 CO₂ 농도를 측정하였다. 이를 실외온도 변화에 따라 대표적인 8℃, 0℃, -14℃로 실외온도를 선정하여 3일간의 측정 자료를 분석하면, Comfort Zone을 건구온도 20~26℃, 상대습도 40 ~ 70%라 할 때 만족시키는 구간으로 취하면, 실외온도 8℃인 경우 60% 즉 12 시간 중 7.18시간, 0℃인 경우 22% 즉 12 시간 중 2.4시간, -14℃인 경우 0%의 분포를 보



(a) Supply fan on



(b) Supply fan off

Fig. 8 Distribution of PMV on the horizontal plane.

이고 있다. 온도 조건은 대부분 만족시키고 있지만, 실외 온도가 낮을수록 상당히 낮은 습도 조건을 보이고 있다. 이는 히트펌프와 무관하게 공조 공간 내의 환기 부족으로 인한 현상으로 판단된다. 따라서 보다 쾌적한 공간을 조성하기 위해서는 현재의 단순 급배기 장치가 아니라 ERV와 같은 효율적인 급배기 장치의 사용이 필요함을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 1월15일 실외온도가 -3℃인 경우 측정 공간에서의 디퓨저 하단, 바닥으로 부터 170cm 지점에서 측정한 온도, 습도, 기류 분포를 바탕으로 급기 팬을 가동한 경우와 가동하지 않는 경우에 대하여 예상 온열감(Predicted Mean Vote, PMV) 분포를 나타내었다. 급기 팬

을 가동한 경우 $-2.34 \sim 1.38$ 로 실내 공간 내에서 편차가 크게 발생하였으며, 급기 팬을 가동하지 않는 경우 $-0.34 \sim 1.30$ 의 분포를 보였다. 실내기의 토출구가 위치한 A, D, I 행에서 덥게, 급기 팬의 토출구가 위치한 B, E, H 행에서 춥게 느낄 수 있는 값이 분포되었다. 특히 급기 팬을 가동하는 경우 실내의 공기의 온도차에 의한 PMV의 편차가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이 문제 또한 보다 효율적인 급배기 시스템을 적용한다면 개선 가능한 문제로 판단된다.

4. 결론

서울에 위치한 6층 건물의 4층에 위치한 중식당에 설치된 1대의 실내기가 연결된 6 HP 시스템과 2대의 실내기가 연결된 10 HP 시스템이 동절기 동안 운전되는 동안 시스템 및 공조공간에서의 측정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 10 HP 시스템의 경우 -5°C 이하에서, 6 HP 시스템의 경우 -12°C 이하에서 정격 능력 이하로 난방 능력이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 증기 압축식 열펌프의 저온에서 특성인 고저압의 압력비 증가로 인한 냉매 유량의 감소로 인한 것으로 판단된다.
- (2) 실외온도가 $8\sim 13^{\circ}\text{C}$ 분포를 보인 경우 실내 대표점의 온도가 시스템 설정온도에 근접하였으며, 실외온도가 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 분포를 보인 경우 약 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ 정도의 차이를 보였으며, 실외온도가 $-15\sim 12^{\circ}\text{C}$ 분포에서는 약 7°C 의 차이를 보였다.
- (3) 실내 대표점에서의 CO_2 농도의 경우 측정기간 동안 $500 \sim 800\text{ppm}$ 사이의 분포를 보였으며, 실내 환기 기준 1000ppm 을 넘는 경우는 없었다.
- (4) Comfort Zone을 건구온도 $20\sim 26^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $40\sim 70\%$ 라 설정할 경우 시스템의 에서 측정된 온습도 분포의 경우 실외온도의 변화에 따라 실내의 건구온도 조건은 대부분 만족시키지만, 실내 습도가 건조한 분포를 보였다. 이는 보다 효율적인 환기 시스템의 사용으로 개선 될 수 있다고 판단된다.

- (5) 실내공간의 PMV는 급기 팬의 정지 시 $-0.34\sim 1.30$, 가동 시 $-2.34\sim 1.38$ 의 분포를 보였으며, 급기 팬 가동 시 PMV의 편차가 크게 되는 것을 확인할 수 있었다. 이 문제 또한 환기 시스템의 개선으로 해결될 수 있다고 판단된다.

후 기

본 연구는 삼성전자(주)가 지원하는 “시스템 멀티에어컨의 열환경 평가 및 공조설계 기준연구” 과제의 일부로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Jun, Y. H., Kim, D. H., Heo S. H., Kwon, Y. C., Moon, J. M., and Hong, J. T. 2003, Experimental study on performance evaluation of system air-conditioner using compressor of PWM or Inverter method (Cooling and Heating Characteristics), Korean Journal of Air conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.15, No.9, pp. 738-743.
2. Kim, D. H., Jun, Y. H., Lee, Y. S., Moon, J. Y. and Hong, J. T., 2003, Experimental study on performance evaluation of system A/C using PWM or Inverter method(Heating characteristics at low temperature conditions), Korean Journal of Air conditioning and Refrigeration Engineering Vol.15, No.7, pp. 551-556.
3. Han, D. Y., Kwon, H. J., Ha, S. C., 1999 Design and performance prediction of the multi-type heat pump system, Proceeding of the SAREK, pp. 515-520
4. Lee, Y. S., Jun, Y. H., Kim, D. H., Chang, K. S., Youn, B., Moon, J. M., Hong, J. T., Oh, M. D., 2002, An Experimental Study on the cooling and heating characteristics of system air-conditioner using the digital scroll compressor, Proceeding of the SAREK, pp.575-580.