

인버터 스크롤 압축기를 사용한 멀티 에어컨의 냉방 특성에 대한 실험적 연구

권 영 철[†], 고 국 원, 진 의 선^{*}, 허 삼 행^{*}, 전 용 호^{*}, 이 영 덕^{**}, 박 인 규^{**}
선문대학교 기계공학과, ^{*}선문대학교 대학원, ^{**}위니아 만도

Experimental Study on Cooling Characteristics of Multi-Air Conditioner using Inverter Scroll Compressor

Young Chul Kwon[†], Kuk Won Ko, Eui Sun Jin^{*}, Sam Haeng Huh^{*},
Young Ho Jun^{*}, Young Duk Lee^{**}, In Kyu Park^{**}

Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University, Chungnam 336-840, Korea

^{}Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Sunmoon University, Chungnam 336-840, Korea*

*^{**}Winia Mando Co., LTD., Chungnam 442-742, Korea*

(Received October 24, 2003; revision received January 28, 2004)

ABSTRACT: In the present study, the cooling characteristics of the multi-air conditioner (A/C) using an inverter scroll compressor are experimentally investigated for the number of the indoor units and the operating conditions (20°C, 24°C, 26°C) under the cooling standard conditions by KS C 9306. In the case of the simultaneous operation for 3 indoor units, the cooling capacity, the mass flow rate and the input power have a decreasing trend and COP has an increasing trend, with decreasing the difference in the operating temperature of the indoor unit and the room temperature. In the case of the simultaneous operation for 2 indoor units, the COP of the indoor unit with large cooling capacity is high when the operating temperature is high, but the COP of the indoor unit with low cooling capacity is high when the operating temperature is low. In the case of the single operation for one unit, when the large cooling capacity of the indoor unit is less than 50% the compressor operates at the minimum operation frequency region and the COP decreases.

Key words: Multi-A/C(멀티 에어컨), Inverter(인버터), Cooling capacity(냉방능력), COP(성능계수), Part load(부분부하), Scroll compressor(스크롤 압축기)

1. 서 론

생활수준의 향상으로 공간 내의 쾌적성에 대한 요구가 높아짐에 따라 사무공간뿐만 아니라 가정에서도 공조기의 사용이 증가되어 한집 1대의 개

념에서 1실 1대의 유형으로 발전하고 있다. 그러나 각 공조공간에 개별적으로 공조기를 설치할 경우 설치공간의 부족 및 에너지 효율성 저하가 나타난다. 따라서 에너지 절약방법으로 1대의 실외기에 다수의 실내기를 설치할 수 있는 멀티 시스템 에어컨은 1대의 실외기에 1대의 에어컨을 설치하는 종래의 방법에 비하여 설치비용 감소와 공간절약의 장점을 가지고 있다. 또한 부하변동에 따라 압축기의 용량을 가변제어하는 인버터

[†] Corresponding author

Tel.: +82-41-530-2396; fax: +82-41-530-2986

E-mail address: yckweon1@email.sunmoon.ac.kr

압축기를 사용하게 되면 각 실마다 냉난방 능력을 개별제어할 수 있어 에너지 효율 측면에서 유리하다.

Rice and Fisher⁽¹⁾는 정속 압축기를 사용하는 것보다 가변속 압축기를 사용할 경우 전체적인 에너지 절약효과가 26.7%에 이른다는 연구결과를 발표하였고, Fujita et al.⁽²⁾는 2실형 멀티 에어컨에 대하여 용량 및 유량제어 연구를 하였다. 시스템은 전자팽창밸브와 로타리 압축기를 사용하였으며, 실내 열교환기의 온도제어를 통하여 냉동능력의 분배와 냉동사이클의 최적화를 가능하게 하였다. Choi et al.⁽³⁾는 2실형 물 대 물 가변속 멀티 열펌프를 이용하여 유량분배에 따른 용량 조절 특성을 연구하였고, Kim et al.⁽⁴⁾은 난방저온 조건에서 PWM(Pulse Width Modulation) 밸브의 on/off 시간을 조절하여 용량을 제어하는 PWM 방식과 인버터 방식 압축기를 적용한 시스템 에어컨을 실험하여 두 압축기의 특성을 비교 연구하였고, Jun et al.⁽⁵⁾은 PWM 방식과 인버터 방식을 적용한 시스템 에어컨의 냉난방 특성에 관하여 연구하였다.

현재 개별공조에 대한 욕구와 설치공간의 부족을 해결하기 위해 일본 및 유럽에서는 이미 다양한 형태의 시스템이 개발되어 시판되고 있으며, 국내에서도 최근 중소형 건물, 학교 및 관공서 등에서 개별공조시스템을 선호하고 있어 멀티 시스템 에어컨이 기존의 패키지 에어컨 시장을 대체하는 공조시스템으로서 주목받고 있다. 그러나 국내의 경우 일부 업체 및 대학 등에서 멀티 시스템 에어컨에 대한 연구를 진행하고 있고 제품

도 출시했지만 시스템의 복잡성과 용량조절의 기술적인 문제점을 가지고 있어 아직은 선진기술을 따라가는 수준이라 할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 여러 실내외 조건에 적용할 수 있는 멀티 시스템 에어컨의 제어로직을 개발하기 위한 기초 연구로, 일본에서 이미 상용화된 인버터형 멀티 시스템 에어컨을 모델로 선정 후 제품의 고유 냉방제어 알고리즘을 조사하고자 하였다. 이를 위해 본 연구는 냉방표준조건에서 실내기 설정온도를 변경하면서 멀티 에어컨의 실험을 수행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 일본에서 상용화된 멀티 시스템 에어컨을 구입하여 실험대상으로 사용하였으며, 인버터 스크롤 압축기와 전자팽창장치(Electronic Expansion Valve, EEV)를 장착한 제품을 실험모델로 선정하였다. EEV는 여러 가지 종류가 있지만 본 제품에는 1-2상 여자방식의 스텝 모터 구동방식의 EEV가 설치되어 있다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 한 대의 실외기에 3대의 실내기가 연결된 멀티 시스템의 개략도로 온도, 압력 및 유량계의 계측위치를 나타내었고 시스템의 주요 사양은 Table 1에 나타나 있다.

Fig. 2는 본 연구에 사용된 멀티 칼로리미터의 개략도⁽⁶⁾로 향온·향습이 가능한 실내챔버 2실과 실외챔버 1실로 구성되어 있으며, 실내챔버에는 3대의 풍량측정장치(code tester)가 설치되어 있다. 냉방의 경우는 약 6RT급 용량의 시료를 그리고 난방의 경우는 약 7RT급 용량의 시료가

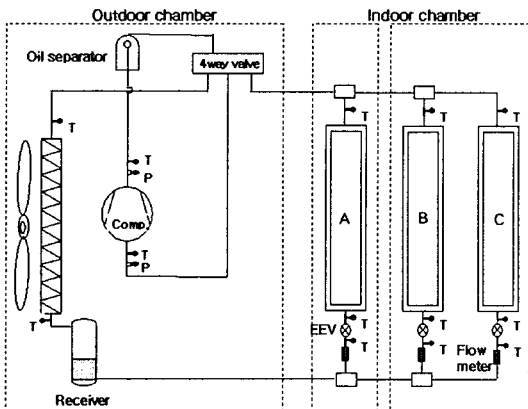


Fig. 1 Arrangement of the multi-system A/C.

Table 1 Specifications of the multi-system A/C

Unit	Outdoor : 14 kW
	Indoor : A - 7.1 KW (4-Way) B - 2.8 KW (1-Way) C - 4.5 KW (1-Way)
Capacity	Cooling : 14,000 W Heating : 16,000 W
Power consumption	Cooling : 4,450 W Heating : 4,900 W
Working fluid	R407C
Compressor type	Inverter scroll

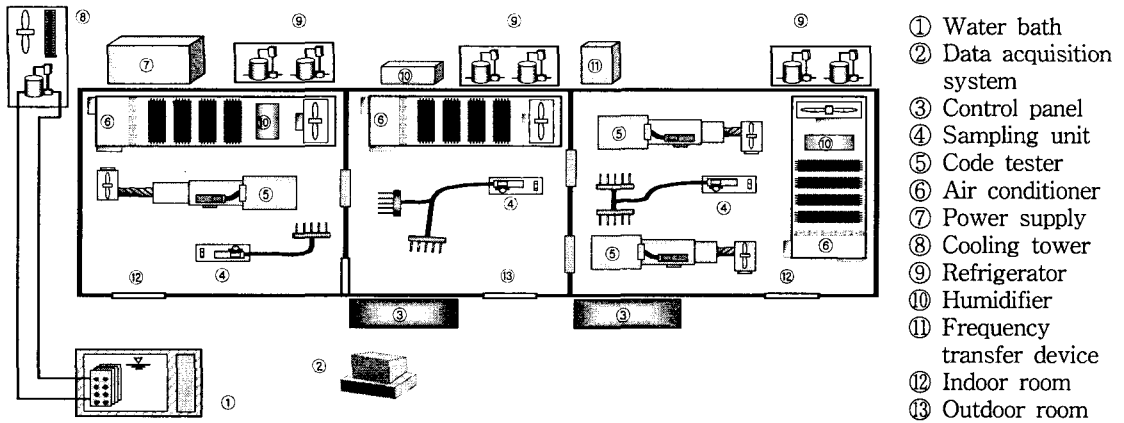


Fig. 2 Schematic diagram of the multi-calorimeter.

시험 가능하다. 모든 실험상태는 PC에서 실험자가 실시간 감지가 가능하며, 또한 온라인 운영 프로그램은 시료의 여러 실험값들을 자동으로 수집, 저장, 분석 및 처리할 수 있는 기능을 내장하고 있다. 시험시료의 실내기 A, B 및 C는 칼로리미터의 실내 향온향습 챔버(indoor chamber)에 그리고 실외기는 실외 향온향습 챔버(outdoor chamber)에 설치되었다.

2.2 측정장치

실험에서 온도는 압축기 입·출구, 증발기 입·출구, 응축기 입·출구, 각각의 EEV 입·출구에서 측정하였고, 온도측정은 T형 열전대를 판 외벽에 접촉한 후 그 외부를 단열제로 단열하는 방법으로 측정하였다. 온도는 자료수집 시스템으로 측정하였으며 압력은 압력변환기를 사용하여 측정하였다. 실내기의 유량은 3대의 유량계를 사용하여 각 실내기 EEV 전단에서 측정하였다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 실내기의 운전조합(3실 : A+B+C, 2실 : A+C, A+B, B+C, 1실 : A, B, C)에 따른 설정온도의 변화를 관찰하기 위하여 KS C 9306⁽⁷⁾을 근거한 냉방표준조건(Table 2) 하에서 실험하였다. 실내기의 설정온도조건을 결정하기 위해 설정온도의 증가에 따른 냉방능력 변화를 측정 한 결과 설정온도에 따른 제어는 20~23℃, 24~25℃, 26℃로 구분되어 동작되는 것으로 판단되

Table 2 Operating temperature conditions (KS C 9306)

Test condition	Indoor room temperature (°C)		Outdoor room temperature (°C)	
	DB	WB	DB	WB
Cooling mode	27	19.5	35	24

어 실내기의 설정온도를 20℃, 24℃, 26℃로 변경하면서 실험을 수행하였다. 실내기 설정온도의 변화에 의해 실내 냉방능력이 변하므로 설정온도에 따른 특성변화, 운전조합에 따른 냉방능력, 냉매 유량, 압력, 소비전력 및 COP 변화를 측정하였다. 시험시료의 측정은 설정온도 및 습도가 안정적으로 유지(DB±0.3℃/WB±0.2℃)된 후 데이터를 획득하였다. 소비전력은 전체 시스템의 소비전력을 기준으로 하였으며 획득된 자료를 통해 각각의 능력과 COP를 계산하였다. 멀티 에어컨의 열량은 ANSI/ASHRAE Standard 116-1983⁽⁸⁾에서 규정한 시험방법을 근거로 계산하였다.

3. 실험결과

3.1 3실 동시운전

Fig. 3은 실내기 A+B+C가 동시운전(전 냉방 부하, 100%)되는 경우에 실내기 설정온도에 따른 각 실내기의 냉방능력 변화로 설정온도 20℃일 때 실내기 A의 냉방능력 6,920 W를 기준으로 하고 있다. 실내기 설정온도가 20℃에서 24℃와 26℃로 높아질수록 실내기 A의 능력은 20℃의 경우

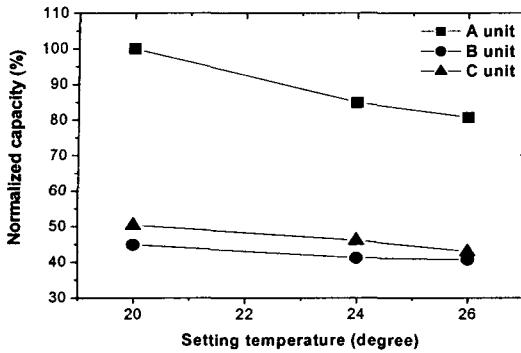


Fig. 3 Variation of each indoor unit cooling capacity on setting temperature at simultaneous operation of A+B+C.

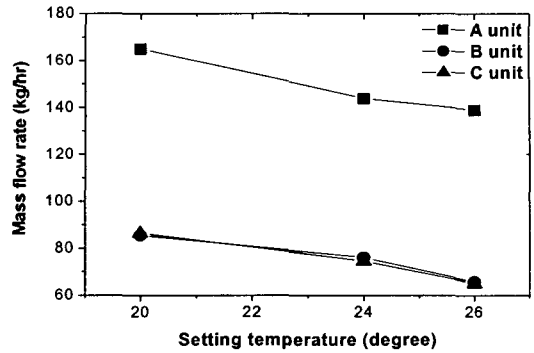


Fig. 5 Variation of each indoor unit refrigerant mass flow rate on setting temperature at simultaneous operation of A+B+C.

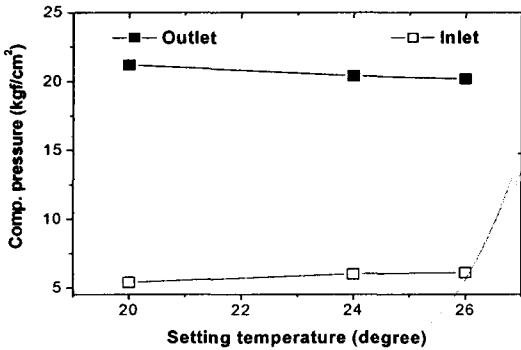


Fig. 4 Variation of compressor inlet and outlet pressure on setting temperature at simultaneous operation of A+B+C.

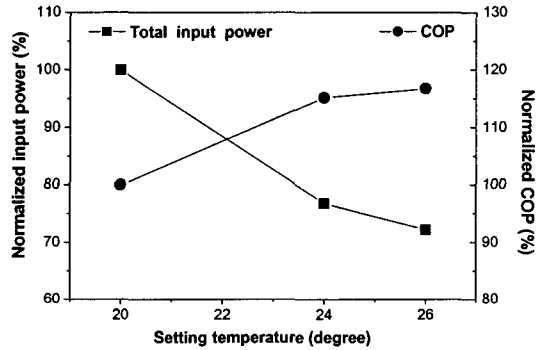


Fig. 6 Variation of input power and COP on setting temperature at simultaneous operation of A+B+C.

보다 각각 15.1%, 19.3% 감소하였고, 실내기 B는 각각 8.2%, 9.3%, 실내기 C는 각각 8.4%, 14.8% 감소하였다. 이는 실내기의 설정온도가 실내온도에 근접하게 되면 각 실내기의 요구 냉방능력이 줄어들기 때문이다. 능력 감소율은 실내기 A가 가장 크게, 그리고 실내기 B가 가장 낮게 나타났다.

Fig. 4는 3실 동시운전시 실내기 설정온도에 따른 압축기 입구측과 출구측의 압력변화를 나타내고 있다. 3실이 동시에 운전되므로 압축기 입출구의 압력변화는 큰 냉방능력을 가진 단실 에어컨과 유사한 거동을 보여주고 있다. 즉, 실내기의 설정온도가 높아짐에 따라 압축기의 입구측 압력은 상승(5.4 kgf/cm² → 6.1 kgf/cm²)하고 출구측 압력은 감소(21.2 kgf/cm² → 20.2 kgf/cm²)하였다. 이는 압축기의 운전주파수가 20℃의 경우(59.4 Hz)에 비해 24℃와 26℃일 때 각각 19.2%와 20.9%

회전수가 줄어들었기 때문이다.

Fig. 5는 3실 동시운전시 실내기의 설정온도에 따른 각 실내기의 냉매의 질량유량 변화를 나타내고 있다. 스크롤 인버터 압축기는 회전속도가 증가해도 체적효율의 변화가 크지 않다.⁽⁹⁾ 본 실험범위 내에서 스크롤 인버터 압축기는 약 2,900 rpm에서 약 3,600 rpm까지 회전을 하며, 이때 체적효율은 최대 1.5% 이내에서 변화하였다. 따라서 압축기 회전속도 증가에 따른 냉매 누설량을 무시할 수 있으므로 냉매의 순환유량은 압축기 회전속도에 거의 비례하게 된다. Fig. 4에 나타난 것처럼, 시스템의 설정온도가 높아질수록 압축기의 회전속도(주파수) 감소(47 Hz → 30 Hz)에 따른 압축기 입구측과 출구측의 압력차 감소로 각 실내기를 흐르는 냉매유량은 감소하게 된다.

Fig. 6은 3실 동시운전시 실내기의 설정온도에

다른 시료의 소비전력과 COP 변화를 나타내고 있으며 설정온도 20℃일 때 소비전력 5,380 W, COP 2.51을 기준으로 하고 있다. 설정온도가 20℃에서 26℃로 높아짐에 따라 압축기 입·출구 압력차와 질량유량의 감소로 인해 시스템의 소비전력은 감소하였다. 반면에 COP는 실내기 설정온도가 20℃에서 24℃와 26℃로 높아질수록 각각 15%, 17% 증가하였다. 이는 설정온도가 높아질수록 냉방 능력의 감소폭보다 소비전력의 감소폭이 더 크기 때문이다.

3.2 2실 동시운전

Fig. 7은 실내기 2실이 동시운전되는 경우로 설정온도에 따른 실내기의 전 냉방능력 변화로 설

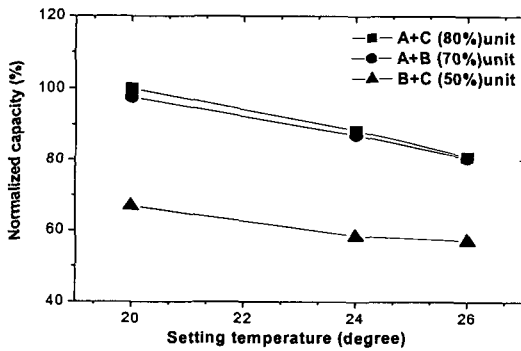


Fig. 7 Variation of cooling capacity on setting temperature at simultaneous operation of A+B, A+C and B+C.

정온도 20℃일 때 실내기 A+C의 냉방능력인 11,200 W를 기준으로 하고 있다. 설정온도가 높아질수록 냉방능력은 선형적으로 감소하며 냉방 용량이 비슷한 실내기 A+B와 A+C의 냉방능력은 유사하게 감소하였다. 여기서 A+C는 전 냉방부하의 80%, A+B는 70%, 그리고 B+C는 50%의 부분냉방부하를 각각 의미한다.

Fig. 8은 2실 동시운전시 설정온도에 따른 압축기 입구측과 출구측의 압력변화를 나타내고 있다. 설정온도에 따른 2실 운전시 압축기의 입구측과 출구측의 압력을 살펴보면 저압측(5.4 kgf/cm² → 6.1 kgf/cm²)은 다소 상승하였고, 고압측(19.8 kgf/cm² → 18.8 kgf/cm², 18.4 kgf/cm² → 17.7 kgf/cm²)은 감소하였다. A+B, A+C 및 B+C의 경우에 설정온도에 따른 저압측의 압력변화는 그림에서

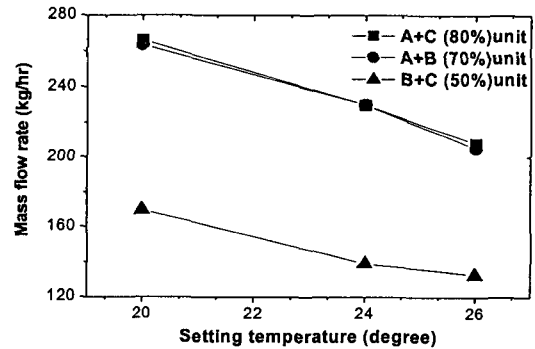


Fig. 9 Variation of refrigerant mass flow rate on setting temperature at simultaneous operation of A+B, A+C and B+C.

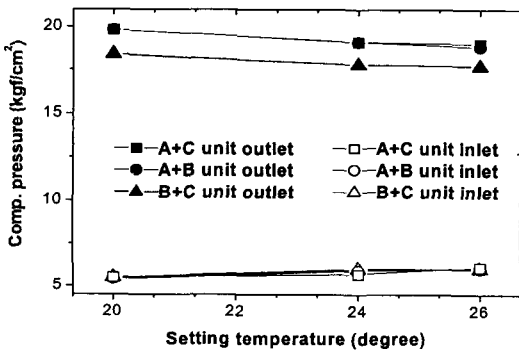


Fig. 8 Variation of compressor inlet and outlet pressure on setting temperature at simultaneous operation of A+B, A+C and B+C.

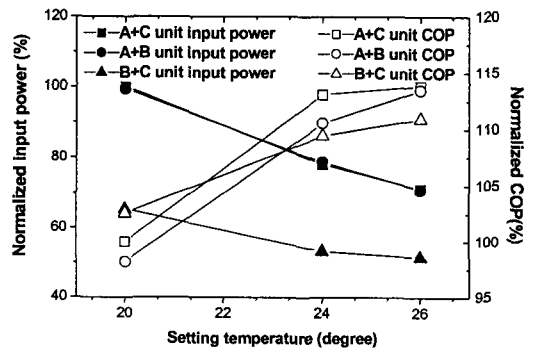


Fig. 10 Variation of input power and COP on setting temperature at simultaneous operation of A+B, A+C and B+C.

볼 수 있는 것처럼 거의 같다. 그러나 고압측은 냉방용량이 비슷한 A+B와 A+C의 경우는 유사한 압력감소를 보였지만, 냉방용량이 작은 B+C의 경우는 A+B, A+C에 비해 압력이 약 6% 낮게 나타났다.

Fig. 9는 2실 동시운전시 설정온도에 따른 냉매의 질량유량 변화를 나타내고 있다. 설정온도가 20℃에서 26℃로 높아질 경우 압축기 압력차가 감소하여 냉매 질량유량은 감소하였다.

Fig. 10은 2실 동시운전시 설정온도에 따른 실내기의 소비전력과 COP 변화로, 설정온도 20℃일 때 실내기 A+C의 소비전력 4,042 W, COP 2.75을 기준으로 하고 있다. 설정온도가 증가할수록 소비전력은 감소하고, COP는 증가하는 경향을 보이고 있다. 설정온도가 증가할 경우 소비전력과 COP를 실내기 냉방용량에 따라 비교해 보면 설정온도 20℃일 때 냉방용량이 작은 실내기 B+C의 COP가 가장 높았으나 설정온도 26℃일 경우는 냉방용량이 큰 실내기 A+C의 COP가 큰 것을 알 수 있다. 이는 실내기의 설정온도가 증가할수록 압축기 주파수가 낮아져 소비전력이 감소하기 때문으로, 냉방용량이 큰 실내기가 냉방용량이 적은 실내기보다 설정온도가 증가할수록 냉방능력의 감소에 비해 소비전력의 감소폭이 더 크게 나타나기 때문이다.

3.3 1실 운전

Fig. 11은 1실 운전시 설정온도에 따른 실내기의 냉방능력 변화로 설정온도 20℃일 때 실내기 A의 냉방능력인 7,490 W를 기준으로 하고 있다. 설정온도가 높아질수록 각 실내기의 냉방능력은 감소하였고, 실내기 B, C의 냉방능력 감소폭이 실내기 A보다 더 크게 나타났다. 여기서 A는 전 냉방부하의 50%, B는 20%, 그리고 C는 30%의 부분냉방부하를 각각 나타낸다.

Fig. 12는 1실 운전시 설정온도에 따른 압축기 입구측과 출구측의 압력변화를 나타내고 있다. 실내기 A 운전시 고압측은 다소 낮아지고 저압측은 상승하였으나 실내기 B, C의 경우는 실내기 A와 달리 설정온도에 따라 고압측과 저압측은 거의 일정하게 유지되고 오히려 설정온도 26℃일 때 저압이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이는 실내기 냉방용량이 50% 미만일 경우 설정온도 상승에 따라 요구되는 능력에 비해 압축기 최소운전능력이

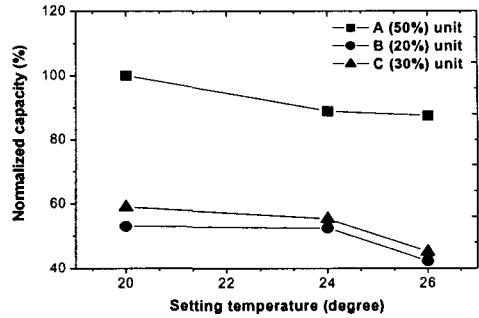


Fig. 11 Variation of cooling capacity on setting temperature at individual operation of A, B and C.

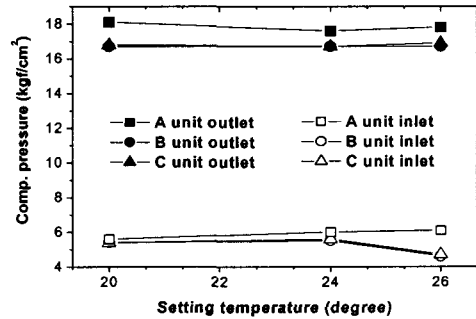


Fig. 12 Variation of compressor inlet and outlet pressure on setting temperature at individual operation of A, B and C.

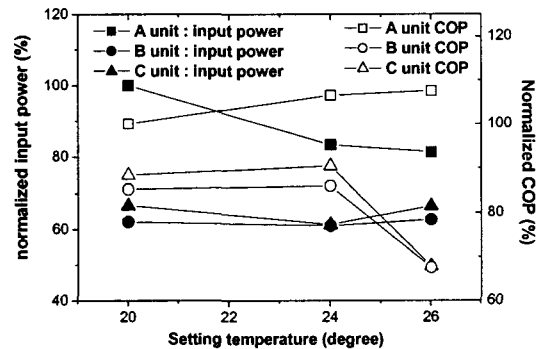


Fig. 13 Variation of input power and COP on setting temperature at individual operation of A, B and C.

크기 때문에 압축기 입구측 압력은 감소하였다. Fig. 13은 1실 운전시 실외온도에 따른 시료의 소비전력과 COP 변화로 설정온도 20℃일 때 실내기 A의 소비전력 2,566 W, COP 2.92을 기준으

로 하고 있다. 설정온도 증가에 따라 실내기 A의 소비전력은 감소하였고 COP는 상승하였다. 그러나 실내기 B, C의 경우는 실내기 A와 달리 설정온도의 증가에도 거의 일정한 소비전력을 보였으나 COP는 크게 감소하였다. 이는 압축기가 최소 운전 영역 내에서 기동되어 소비전력은 거의 일정하게 유지되는데 비해 실내기 B, C의 냉방능력이 크게 감소하였기 때문이다. 이로부터 3실과 2실의 경우는 요구되는 냉방능력이 감소하면 압축기의 능력이 감소하여 COP는 증가함을 그리고 1실 운전의 경우 압축기 최소운전능력에 비해 실내기 냉방용량이 작으면 오히려 COP가 감소됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 인버터 스크롤 압축기를 사용한 3실형 멀티 시스템 에어컨의 제어 알고리즘 분석을 위한 기초연구로 냉방표준조건에서 실내기 설정온도를 변경하면서 실내기 운전조합에 따른 냉방성능 실험을 수행하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) 3실 동시운전시, 실내기 설정온도가 높아질수록 실내기 냉방능력은 크게 감소하였으며, 능력 감소율은 실내기 용량이 클수록 크게 나타났다. 또한 압축기의 운전주파수가 20℃에 비해 24℃와 26℃에서 약 19.2%와 20.9%로 크게 감소하였다. 그 결과 소비전력이 크게 감소하여 COP는 크게 향상되었다.

(2) 2실 운전시, 설정온도에 따른 실험결과는 3실 운전의 경우와 같은 경향을 보였고, 실내기 운전용량에 따라 설정온도가 높을 때는 냉방용량이 큰 실내기가, 설정온도가 낮을 때는 냉방용량이 작은 실내기가 높은 COP를 보였다.

(3) 1실 운전시, 실내기의 냉방용량이 50% 미만인 경우는 압축기가 최소운전 주파수 영역 내에서 작동하여 압축기의 소비전력은 거의 감소하지 않는데 비해 냉방능력은 크게 감소하여 COP가 낮아짐을 알 수 있었다.

후 기

본 과제는 산업자원부 출연금 등으로 수행한 지역전략산업 석박사 연구인력 양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

1. Rice, C. K. and Fisher, S. K., 1985, A comparative analysis of single and continuously variable-capacity heat pump concepts, Proc. of the DOE/ORNL Heat Pump Conference, pp. 57-65.
2. Fujita, Y., Kubo, T. and Suma, S., 1992, Multi air conditioner with two indoor unit, Refrigeration, Vol. 67, No. 772, pp. 171-176.
3. Choi, J. M., Kim, Y. C. and Ha, J. H., 2001, Performance of the flow distribution and capacity modulation of a multi-heat pump system, Proceedings of the SAREK, pp. 313-320.
4. Kim, D. H., Jun, Y. H., Kwon, Y. C., Lee, Y. S., Moon, J. M. 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.
5. Jun, Y. H., Kim D. H., Heo, S. H., Kwon, Y. C., Moon, J. M. and Hong, J. T., 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.
6. KTL, 2001, Sunmoon university air-enthalpy calorimeter performance evaluation project, Final Report.
7. KS C 9306, 1999, Air conditioners, Korean Agency for Technology and Standards.
8. ASHRAE, 1983, Method of testing for seasonal efficiency of unitary air conditioners and heat pumps, ASHRAE Standard ANSI/ASHRAE 116-1983.
9. Lee, G. H., Kim, D. H. and Hwang, Y. K., 1999, Performance analysis of variable speed scroll compressors for alternative refrigerants, Proceedings of the SAREK, pp. 119-124.