

## 주파수변조장치를 이용한 열펌프식 공기조화기의 냉방-난방에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Performance of Heat Pump Air  
Conditioner according to Frequency Modulator for Cooling and Heating

이 대 우\*, 조 진 호\*\*  
Dae Woo Lee, Jin Ho Cho

### ABSTRACT

This paper is an experimental study on the pleasantly suitable cool/warm air conditioning system in order to minimize the energy consumption by attaching the electronic- controlled device to the heat pump air conditioning system.

While the cool/warm air conditioning, the air temperatures in the entrance and exit of the indoor heat exchangers should be checked and when the surface of heat exchanger is reached to the dew point temperature, a speed of the compressor is to be automatically controlled by anti-dewing system in order to minimize the energy consumption.

At the result of this study, the energy consuming amount is saved about 5% more than that of the conventional air conditioning system by prevent unnecessary dew forming.

### 1. 서 론

현재 많이 사용되고 있는 공기조화기는 냉방을 위주로 생산되어 우리나라와 같이 사계절의 온도와 습도변화가 심한 지역에서는 냉방 및 난방기기를 이중으로 설치해야 하는 경제 적 부담과 기기가 차지하는 공간, 기기의 유지, 보수등의 어려움이 있으나 열펌프를 이용하는 공기조화기를 설치할 경우에는 하나의 기기로서 냉방과 난방이 가능하다.

또한, 공기조화기의 전력소비는 다른 전기 제품에 비하여 상당히 크다. 따라서 에너지 절약형 공기조화기를 생산하는 것은 중요한 목표중의 하나이다. 그리고 공기조화기는 에

너지효율비가 높아야 하며, 기기의 사용시간 및 사용량이 증가됨에 공기조화기의 성능개선으로는 압축기, 팬 등 구동부품의 운전성능 향상에 의한 방법, 냉동사이클에서의 온도, 압력 등의 운전조건에 적합한 기기의 설계 개선에 의한 방법, 공기조화 냉·난방부하 조절 방법의 최적화를 도모하는 방법 등이 있다.

특히, 부하조절의 최적화는 전자제어를 위한 소프트웨어와 밀접한 관계가 있으며, 총괄적인 운전성능에 영향을 미치는 제어인자의 조절에 관한 연구는 다른 무엇보다도 매우 중요한 과제가 되고 있다. 이 관점에서 공기조화 냉·난방부하의 최적화를 위한 연구는 실내외 온도차를 이용한 Int-Hout III의 연구

\* 한양대학교 대학원 기계공학과

\*\* 한양대학교 공과대학 기계공학과

[1]를 비롯하여 습도센서를 이용하는 Miura의 방법 [2], 전자제어 [3~4] 등이 보고된 바 있다. 그러나 최적 제어에는 제어조건이 다양하고 제어목적에 따른 작용인자의 영향이 각기 다르므로 에너지절약을 위한 연구와 부하조건에 최적제어를 위한 연구는 더욱 많은 연구가 요망되고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 열펌프식 공기조화기의 회전속도 변환이 가능하도록 전자제어 주파수변조장치를 부착하여 쾌적 냉·난방과 함께 에너지 사용의 최소화가 되도록 실험을 행하였으며, 냉방 또는 난방을 하는 동안 실내쪽 열교환기 표면이 결로 온도에 도달하면 결로방지를 위해 압축기의 회전속도를 자동적으로 감속제어함으로써 에너지사용량이 감소되도록 하였다. 실험결과 이 장치를 이용함으로써 불필요한 결로를 방지하고, 실내의 온·습도를 자동제어하여 기존 공기조화기에 비하여 5% 정도의 에너지가 절약됨을 알 수 있었다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 공기조화기 주파수변조장치와 결로방지회로부로 구성되어 있으며, 이중 공기조화기의 개략도는 Fig. 1

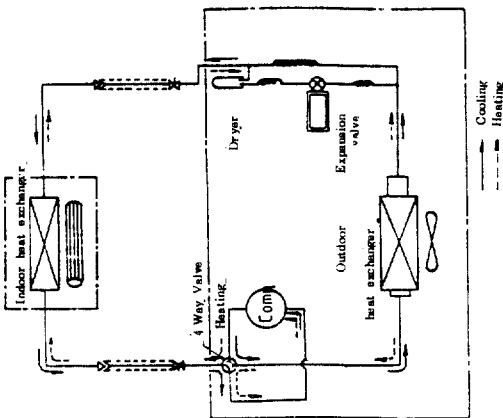


Fig. 1 Schematic Diagram of Heat Pump

과 같이 실내기, 실외기, 4 방향 밸브와 열펌프로 구성되어 있다. 특히 본 연구에서 사용된 열펌프는 난방으로 사용될 때 난방용량 부족으로 인한 보조열원의 장착에 따른 에너지소비의 증가를 방지하기 위해 난방용량을 충분히 고려한 것이다. Fig. 2의 주파수변조장치는 교류를 직류로 변환시키는 정류기, 직류를 교류로 변환시키는 인버터, 일정한 전압/주파수회로부로 구성되어 주파수 변조에 따라 유도전동기의 회전속도가 변화되도록 하였다. 유도전동기에 사용되는 주파수변조장치는 전류와 주파수를 변환하는 '전류용 주파수변조장치'와 전압과 주파수를 변환시키는 '전압용 주파수변조장치'로 구별된다. 전압(또는 전류)을 변환시키는 파 PAM(Pulse Amplitude Modulation)의 두 가지가 있으나, 본 연구에서는 부하변화에 대한 우수한 응답성과 주전원 배선의 단순화 때문에 PWM방식의 주파수변조장치를 공기조화기에 장착하였다. 이 장치는 넓은 주파수영역에서 유도전동기의 최대토크를 유지할 수 있는 일정 전압 / 주파수회로로 구성되어 3상 유도전동기의 속도 조절에 이용했다. 실험에 사용된 공기조화기의 제원은 Table 1과 같으며 이 기기에 부착된 주파수변조장치의 제원은 Table 2와 같다. 압축기의 회전속도는 난방시 30~120Hz (1,800~7,200 rpm), 냉방시 30~70Hz (1,800~4,200 rpm) 범위로 작동하도록 하였다. 한편, 공기조화기의 용량은 난방시에는 1,250~4,000 kcal/h 이고, 냉방시에는 1,500~2,500 kcal/h 로 조절하였다.

결로방지회로부는 주파수변조장치 내에 별도로 구성되어 있으며, 이에 대한 블록선도는 Fig. 3에 나타내었다.

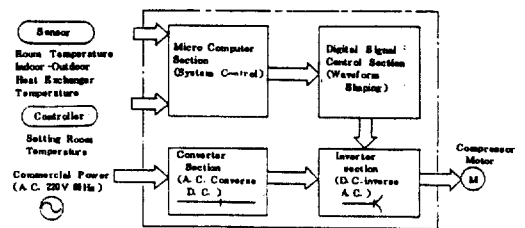


Fig. 2 Functional block diagram of Frequency modulator

Table 1. Specifications of Air Conditioner

Power Supply		Single-phase 220 V, 60 Hz
Heating capacity		4,000 kcal/h
Heating power requirement		1,300 W
Heating EER		2.77 kcal/h.W
Cooling capacity		2,500 kcal/h
Cooling power requirement		950 W
Cooling EER		2.38 kcal/h.W
Starting current		5 A
Rated compressor output		750 W
Product weight	Indoor	9.5 kg
	Outdoor	38 kg
Outside dimension	Indoor	370 * 790 * 155 (H*W*D)
	Outdoor	525 * 720 * 300 (H*W*D)
Frequency Modulator	System	PWM with digital control sine wave approximation
	Output	Variable frequency range : 30 ~ 120 Hz

Table 2. Specifications of Frequency Modulator

Ratings	Input power : Single-phase 220 V, 60 Hz Output : Voltage : Three-phase, 200~400 V Power : 1.5 kVA Frequency : 30~120 Hz (20 Hz for starting operation)
Frequency Modulator System	PWM With digital control sine wave approximation
AC to DC inversion	Voltage double rectifier inversion
Weight	4.5 kg

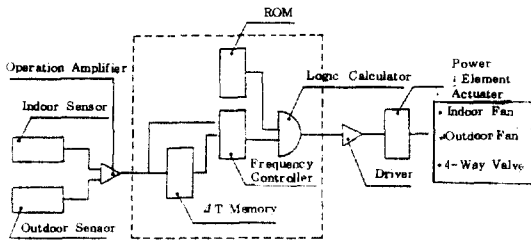


Fig. 3 Block Diagram for Room Temperature and Anti-dewing control System

2.2 실험방법

앞에서 다룬 실험용 공기조화기의 열펌프

와 주파수변조장치 및 PID 제어에 의한 온도 제어장치를 사용한 공기조화기의 실내기와 실외기는 동시제어하도록 하고, Fig. 4의 흐름도와 같다. 실내측 열교환기의 온도 조절장치를 일정값(설정온도)으로 설정하고, 실내측 열교환기 표면온도와 임, 출구 공기온도 및 습도, 실외측 열교환기 표면온도와 흡입공기 온도를 측정하고, 이 값들은 A/D 변환기를 통하여 컴퓨터에 전달되고 ROM에 기억되어 있는 데이터와 비교하여 각 제어단(압축기, 실내외측 열교환기)의 최적회전주파수를 계

산하고, 이 값을 다시 A/D 변환기를 통하여 주파수변조장치에 전달하여 이 장치에서 각 제어단에 일정 전압/주파수를 갖는 신호를 공급한다.

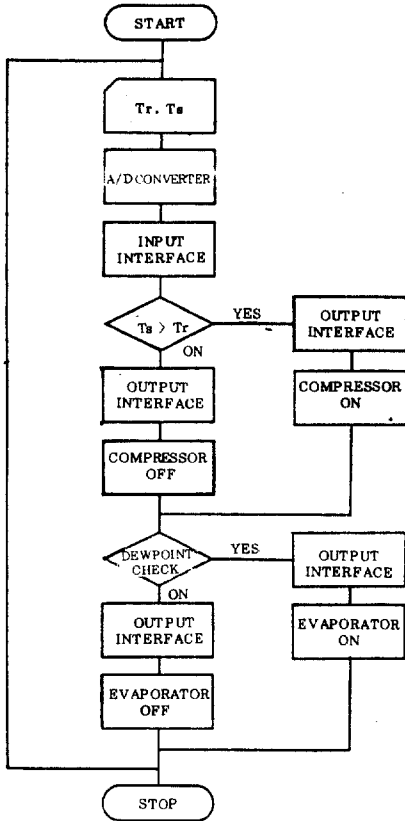


Fig. 4 Flow Chart

실내온도 및 압축기의 회전속도 조절이 가능한 용량가변형 공기조화기의 장점을 최대한 이용하기 위해서 시동 후 실내온도를 설정온도에 가장 빨리 접근되도록 한다. 실내온도가 설정온도와 같아지면, 실내 냉난방용량에 적합한 부하로서 공기조화기는 계속 운전 되도록 하였다.

이러한 제어를 만족하기 위한 실내온도 조절장치는 A/D 변환기에 의해 숫자로 출력되는 실내온도, 설정온도, 실내온도와 설정온도의 차  $\Delta T$  를 모니터로 출력함과 동시에 계속적인 상호전송에 따른 컴퓨터의 제어에 따라 주파수변조장치에서 적정주파수를 각 제어단에 보내 일정시간 후  $\Delta T = 0$  으로 된다.

각 구동부의 신호는 Over-shoot 와 Offset 을 없애기 위해 PID 회로에 의해 전달된다. 실외쪽 열교환기조절장치와 실내쪽 열교환기조절장치 사이의 상호 데이터는 병렬회로를 이용하여 상호전송이 쉽게 하였다. 따라서 압축기 운전주파수에 대한 데이터는 실외쪽 열교환기조절장치를 통한 신호에 의해 변화된다. 실내쪽 열교환기조절장치의 신호를 받아 작동하는 실외쪽 열교환기조절장치는 다시 주파수변조장치를 조작한다. 주파수에 따른 전압에 관한 데이터와 결로온도에 대한 데이터는 ROM에 기억시켜 A/D 변환기를 이용하여 표시 가능하게 하며 ROM에서 입력된 데이터에 따라 컴퓨터는 전원의 ON/OFF 또는 압축기의 회전속도를 결정한다. 압축기는 기계적 마찰등에 의해 작동주파수가 20Hz 이하로 되면 정지하도록 조절하고, 작동 주파수는 최소한 30Hz 이상이 되도록 하였다. 따라서 이러한 방법을 이용하여 냉난방을 하면 쾌적 환경을 유지하면서 에너지사용량을 감소시킬 수 있었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 주파수변조에 따른 에너지효율비의 관계

Fig 5는 Fig 2의 주파수 변조장치를 사용하여 열펌프식 공기조화기를 운전하였을 때의 에너지효율비와 주파수 변화의 관계를 나

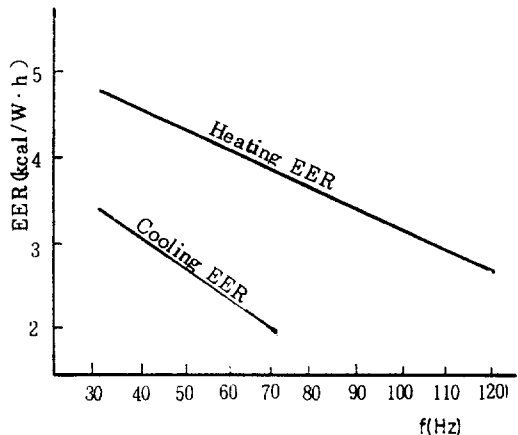


Fig. 5 Relation of EER and Frequency

타낸 것이다. 선도에서 보는 바와 같이 난방시의 에너지효율비는 주파수가 30 Hz 에서 120Hz 로 변화하는 동안 거의 직선적으로 감소하는 경향을 보였으며, 마찬가지로 냉방시도 주파수가 30Hz 에서 70Hz 로 변화하는 동안의 에너지효율비는 거의 직선적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

Fig. 6 은 냉·난방용량과 주파수 변조에 따른 영향을 나타낸 것으로 주파수가 점차 증가함에 따라 냉·난방 용량도 증가됨을 보여준다. 냉방시 주파수가 30Hz 에서 70Hz 까지 변화될 때의 냉방용량을 1,500 kcal/h 에서 2,500 kcal/h 로 증가 되었으며, 난방시는 주파수를 30Hz 에서 120Hz 까지 변화시켰으며 이에 따른 난방용량은 1,250 kcal/h 에서 4,000 kcal/h 로 증가되었다.

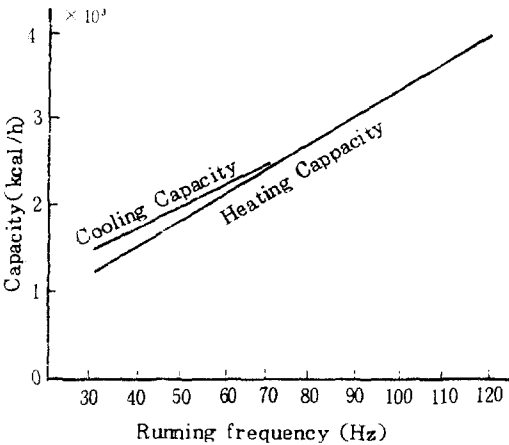


Fig. 6 Relation of Capacity and Frequency

Fig. 7 은 주파수가 60Hz 로 작동하는 일반적인 공기 조화기의 경우와 본 연구의 결과를 종합해서 비교한 것이다. 선도에서 알 수 있듯이 30Hz 로 열펌프를 운전할 때 공기조화기의 성능은 40% 정도이나 냉매가 저압으로 유동하여 열교환기에서의 열교환성능은 향상되어 에너지효율비의 향상효과가 큼을 보여준다.

특히 대부분의 부하에 대해 주파수변조장치 부하 공기조화기는 30~60Hz 의 주파수로 단박없이 연속운전되어 에너지가 절약된다.

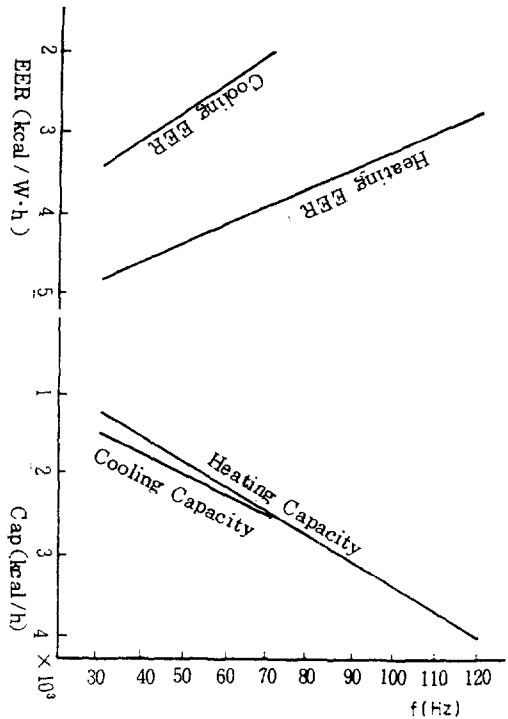


Fig. 7 Relation of Running frequency and Capacity and Efficiency

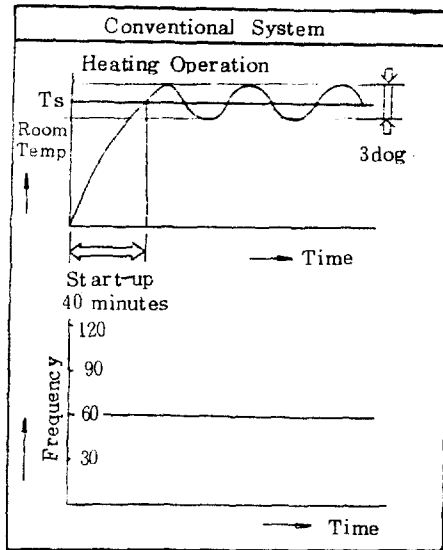


Fig. 8 Start-up and reduction of Temperature deviation

### 3.2 주파수 변조장치를 부착한 공기조화의 운전특성

Fig. 8은 일반적인 공기조화기의 운전특성으로 시동후 60Hz의 일정주파수를 공급받으면서 공기조화기는 운전되기에 실내온도가 설정온도까지 도달되는 시간이 크다. 이와 함께 설정온도 유지에 따른 온도편차도 약 3°C 정도로서 이는 공기조화기가 전원의 ON/OFF로 운전되기 때문이다.

Fig. 9는 주파수변조장치부착 공기 조화기의 운전 특성으로 실내온도가 설정온도까지 도달되는 시간을 최소화하기 위해 시동과 동시에 주파수변조장치에서 최대 주파수인 120 Hz를 공기조화기에 공급하며, 설정온도에 도달되면 실내조건에 따른 부하는 주파수변조장치의 컴퓨터에 의해 자동적으로 조절되므로 설정온도 편차가 기존기기의 1/2 정도로 되어 쾌적조건이 유지되면서도 5% 정도의 에너지가 절약된다.

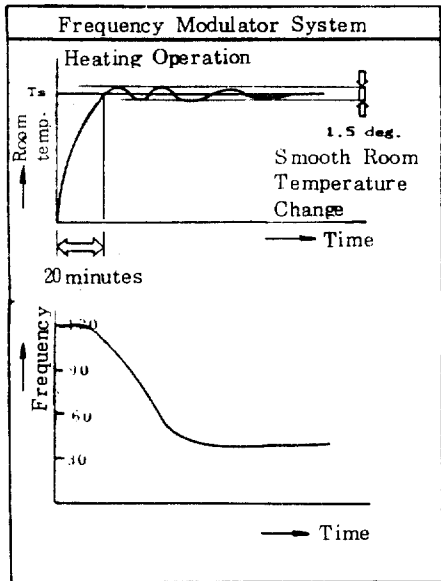


Fig. 9 Quick Start-up and reduction of Temperature deviation

3.3 온도차  $\Delta T$ 에 따른 실내온도의 상태

Fig. 10과 Fig. 11은 냉·난방시 외기 온도를 임의로 변화시키면서 실내온도의 변화상태를 측정 한 결과를 나타낸 선도이며, 냉방시는 Fig. 10의 선도에서 알 수 있듯이 온도차  $\Delta T$ 가 최대 10.5°C이므로 실내온도의

변화없이 냉방이 가능하였다. 그러나 Fig. 11과 같이 난방시는 온도차  $\Delta T$ 가 15~25°C로 냉방시보다  $\Delta T$ 의 범위가 넓어져서 실내 온도도 약간의 변화를 가져옴을 알 수 있었다. 그러나 외기온도가 -10°C의 경우에도 실내를 난방시키기에 충분한 용량을 갖고 있음을 알 수 있었다.

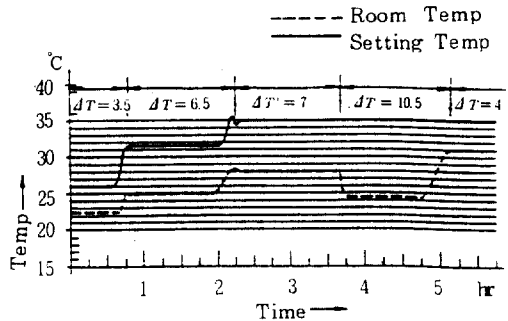


Fig. 10 Relation of Temperature Difference and Cooling Load

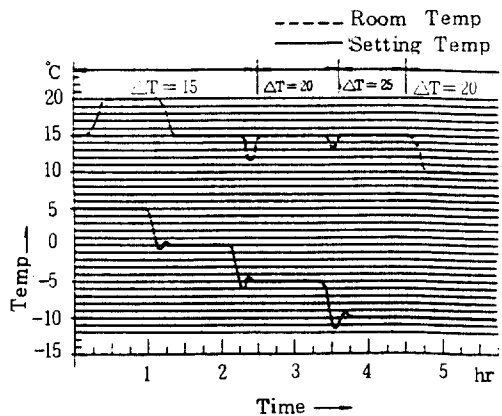


Fig. 11 Relation of Temperature Difference and Heating Load

4. 결 론

주파수 변조 장치를 사용하여 열펌프식 공기조화기의 냉·난방부하제어에 관한 연구결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 냉·난방 부하시 주파수가 30Hz에서 120 Hz로 변화하는 동안 에너지효율비는 거의 직선적으로 감소하는 경향을 보였다.

2. 냉·난방용은 주파수가 30Hz에서 120Hz로 증가할수록 상승됨을 나타내었다.
3. 기존 공기조화기에 비해 실내온도의 편차를 1/2로 감소시킬 수 있었다.
4. 설정온도 유지가 전원 단락없이 지속(30~60Hz)으로 계속 운전되어 에너지가 절약된다.
5. 외기온도가  $-10^{\circ}\text{C}$ 의 경우에도 실내난방에 충분한 용량을 갖고 있다.

### 참 고 문 헌

1. D. Int-Hout III, Microprocessor Control of Zone Comfort, pp. 50~60. ASHRAE Winter Meeting, 1986
2. Miura, T., Development and Application of Humidity Sensors, J. of Sensor Technology, Vol. 1 No. 5, 1981.
3. E. Kuwahara, A Humidity Dectecti-on Method for Use with Room Air Conditioner, ASHRAE Trans. No. 2907, 1985;
4. G. R. Sapieenza, The Effect of EMC S Architecture in Direct Digital Controllers, pp. 9~18. ASHRA Winter Meeting, 1986.
5. 이대우·조진호, 컴퓨터를 이용한 가정용 냉방기기의 실내쾌적상태에 관한 실험적 연구, 공기조화냉동공학회 Vol 17, No. 4, 1988.
6. 村上義介, AC 모터의制御とインバータ技術, pp. 485~500. 트랜ジスタ技術, 1988.
7. 森下昂, カスタム LSI とマイコンによる PWM制御, pp. 58~68. 電子科學 1983.
8. B. G. STARR et al, LSI Circuit for AC Motor Speed Control, pp. 219~229. ELECTRONIC COMPONENTS AND APPLICATIONS Vol 2, No 4, 1988.