

인버터를 이용한 냉동용 압축기의 용량 제어 Control of Refrigerating Compressor Capacity Using Inverter

양 현 석·김 환 성·김 정 훈·김 상 봉·김 종 수
H.S. Yang, H.S. Kim, J.H. Kim, S.B. Kim, J.S. Kim

Key words : Pulse Width Modulation(펄스폭 변조), Integral Compensator(적분 보상기)
Energy Efficiency Ratio(에너지 효율비), Proportional Control(비례 제어)
Refrigerating Compressor(냉동용 압축기), Capacity Control(용량 제어)

Abstract

Recently, efforts of decreasing energy consumption are continuously increased and user's preference is also diversified in refrigeration and air conditioning systems. Thus, in order to satisfy these demands, high efficiency, high intelligence, and energy saving for those systems are essential.

As the basic study for diverse functions and intelligence of those systems, we investigated the response characteristics through the compressor capacity control concerned with superheat and refrigeration room temperature.

And, response characteristics are investigated experimentally by using micro computer based PWM inverter control method. Experimental result of the conventional on-off control method is given in order to be compared to the results of inverter control method.

The results obtained through this study are summarized as follows.

It is shown from the experimental results of the on-off control method that the range of temperature variation around the steady state(-18°C) is very large(about 7~8°C) and the settling time bringing the steady state is not found.

In the inverter control method, we can see that the refrigeration room temperature after reaching the setting temperature is very stable without fluctuation and a robust control for disturbance such as opening the door has been realized.

기 호 설 명

<p>T_{eva} : 냉매증발온도(증발기 중앙부)[°C] T_{sup} : 증발기 출구의 냉매과열온도[°C] T_r : 냉동실내 온도[°C] V_{DA} : 인버터 입력 전압(D/A Converter 출력 전압)[V]</p>	<p>H_i : 인버터 출력 주파수[Hz] T_{obj} : 제어 목표값(냉동실내 온도)[°C] ΔT_{obj} : 온도차($T_{obj} - T_r$)[°C] ΔT_{sup} : 과열도($T_{sup} - T_{eva}$)[°C] t : sampling time[sec] k_p : 비례제어상수 k_i : 적분제어상수 δ : 보상계수 $n=0, 1, 2, \dots$</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*부산수산대학 대학원

**부산수산대학

하첨자

- DA : D/A컨버터
- eva : 증발기
- I : 인버터
- obj : 목표
- r : 냉동기
- sup : 과열도

1. 서 론

냉동·공조장치는, 생활 수준의 향상과 더불어 보급률이 급격히 증가하고 있으며 소비자들의 기호 또한 다양화하고 있기 때문에, 이들 장치에 있어서도 고효율화, 고성능화가 필수적이라 할 것이다. 에너지 절약적 측면에서 볼 때 이는 국가적 중요 과제라 할 수 있다.

일반적으로 종래의 냉동·공조 장치는 서모스탯(Thermostat)의 설정 온도, 열교환기의 능력 및 열부하의 상호 관계에 의하여 단속 운전(On-Off)이 반복되는 과도 운전이 많기 때문에 시스템 자체의 신뢰성이 떨어지고 소음에 문제가 있으며 수명을 단축시킴으로써, 냉동·공조 장치의 정확한 제어가 불가능하게 된다.

따라서, 보다 고효율, 고성능의 시스템들이 필요하게 되어, 최근 냉방, 난방, 제습등의 다기능을 가진 열펌프식 에어컨이나 급속 동결 기능을 가진 가정용 냉장고 등이 개발되었다. 최근에, 일본을 비롯한 선진 각국에서는 이들 냉동·공조장치의 다기능화, 고효율화, 고성능화 및 에너지 절약의 차원에서, 인버터(Inverter) 제어를 이들 시스템에 적용한 연구^(1~6)가 활발히 진행중에 있으나, 국내에서의 이에 대한 연구는 선진 각국에 비해서는 아직 미진한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 인버터 제어를 냉동·공조 시스템에 적용하여 냉동·공조 시스템의 대용량, 소용량에 관계없이 능력을 가변적으로 조절할 수 있는 냉동·공조 시스템의 다기능화, 지능화, 최적화를 목표로 하였다. 이를 위해서는 시스템의 최적화에 필수적인 여러 변수들인 압축기 뿐만 아니라 팽창 밸브에 의한 냉매 유량의 제어 및 열교환기의 송풍기 제어등을 동시에 실시해야 할 필요성이 있다. 따라서, 우선 가장 기초적인 연구로서

소형 가정용 냉장고를 대상으로 하여, 마이크로 컴퓨터와 PWM(Pulse Width Modulation) 제어 방식의 인버터를 이용하여, 제어 목표로 정한 냉동실내 온도를 일정하게 유지하기 위하여 압축기의 용량 제어(회전수 제어)^(7~9)를 행하고, 단속 운전(On-Off)시와 인버터 제어에 의한 연속 운전 시의 냉각 속도, 주파수 응답, 냉동실내 온도 및 과열도 변화의 응답 특성에 대하여 연구, 검토하였으며, 급격한 냉각 부하(외란)의 변동이 있을 때의 응답 특성에 대해서도 검토하여 냉동·공조 시스템의 최적 제어를 위한 설계 기초 자료를 제공하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 제어 시스템의 개요

인버터를 이용한 냉동용 압축기의 용량 제어를 행하기 위하여 Fig.1과 같이 실험 장치를 구성하였다. 제어 장치는 증발기내의 냉매 증발온도, 증발기 출구의 냉매 과열온도 및 냉동실내 온도를 측정하여 냉매 과열도 및 제어 목표온도와 냉동실내 온도의 차를 구하고, 허용 냉매 과열도($0 \le \Delta T_{sup} \le 5^{\circ}C$)의 범위내에서 냉동실내 온도가 제어 목표온도로 유지되도록 인버터(금성계전 SV-GS2 Type) 입력 전압을 마이크로 컴퓨터에서 계산하여 냉각 부하에 따라 압축기의 PWM 제어가 행해지도록 구성하였다. 본 제어제에서는 냉동 사이클의 정상 운전 상태인 경우를 주요 대상으로 하였으며, 기동이나 정지 등과 같이 큰 과도 운전 상태(2~3분정도)의 경우는 제어 대상으로 하지 않는다. 실험용 냉동 장치는 일반 가정용으로 이용되고 있는 180리터 냉장고를 실험에 알맞도록 개조하여 사용하였

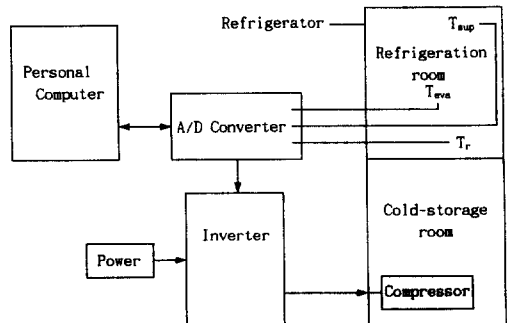


Fig. 1 Block diagram for control of superheat and refrigeration room temperature by inverter

다. 증발기 출구의 냉매 과열 온도, 증발기내의 냉매 증발 온도 및 냉동실내 온도 측정용 온도 센서로는 분해능이 0.0094°C, 동적 응답이 0.7sec인 single 2-wire (Dia 0.125in) PT-100Ω 센서를, 온도 측정과 인버터 제어용으로 A/D 및 D/A 컨버터(Adventech사 PCL-812, 12bit)를 사용하였으며, 온도 센서의 출력을 증폭시키기 위하여 증폭기를 이용하였다. 온도 측정시 검출 시간은 약 10 ms로 하였다.

2.2 인버터에 의한 압축기 용량 제어

(1) 제어계의 구성도

냉동·공조 시스템은 시스템 성능과 압축기의 액압축을 방지하기 위해 적절한 과열도(superheat)로 제어할 필요가 있다.

Fig. 1에서와 같이 증발기 출구의 냉매 과열 온도 검지 센서와 증발기내의 냉매 증발 온도 검지 센서를 통해 온도를 검출하여 과열도를 적정치(0 ≤ ΔT_{sup} ≤ 5°C)로 제어한다. 냉동 사이클을 헌팅이 일어나지 않는 상태에서, 최대한 빠른 시간내에 냉동실내 온도를 제어 목표 냉동실내 온도에 도달하도록 하며, 냉동실내 온도를 일정하게 유지하는 것을 제어 목표로 하여, Fig. 2에 보인 것과 같이 마이크로 컴퓨터를 이용한 PWM방식의 인버터 제어를 행하였다.

Fig. 2에서, PT-100Ω 센서에 의해 검지된 증발기내의 냉매 증발 온도 T_{eva}와 증발기 출구의 냉매 과열 온도 T_{sup} 및 냉동실내 온도 T_r은 각각 IC 모듈로 구성된 증폭기에 의해 증폭된 후, A/D 컨버터에 입력된다. 이 입력 전압은 제어 로직에 의해 D/A 컨버터(출력 전압 0~6[V])로 보내지고, 여기서 D/A 컨버터의 출력을 인버터의 입력 단자에 입력한다. 이 인버터 입력 전압을 다음과 같은 실험식에 의해 주파수로 변환하여 PWM 방식으로 압축기의 회전수 제어를 행한다.

$$H_I = 12.2 V_{DA} \tag{1}$$

여기서, V_{DA} : 인버터 입력 전압[V]

H_I : 인버터 출력 주파수[Hz]

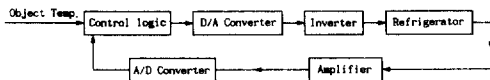


Fig. 2 Schematic diagram for feedback control

인버터 제어시의 압축기 회전 속도는 인버터의 출력 주파수(Hz)와 모터의 극수에 대한 다음 관계식에 의해 변화된다.

$$\text{동기 속도 (rpm)} = \frac{120 \times \text{주파수 (Hz)}}{\text{극수 (P)}} \tag{2}$$

(2) 제어용 프로그램

제어용 프로그램은 C-언어(Turbo-C Ver. 2.0)로 PC-AT급 컴퓨터에서 작성되었으며, 그 흐름도는 Fig. 3과 같다. 제어 목표는 냉동실내 온도 T_{obj}이며, 제어량은 온도 T_{obj}와 실측된 냉동실내 온도 T_r와의 차, 즉 ΔT_{obj}(= T_{obj} - T_r)이며, 그 값에 비례하여 인버터가 제어되도록 프로그램되었다.

과열도는 다음식

$$\Delta T_{sup} = T_{sup} - T_{eva} \tag{3}$$

에 따라 정의된다.

ΔT_{sup} < 0이면 액압축의 위험이 있기 때문에 압

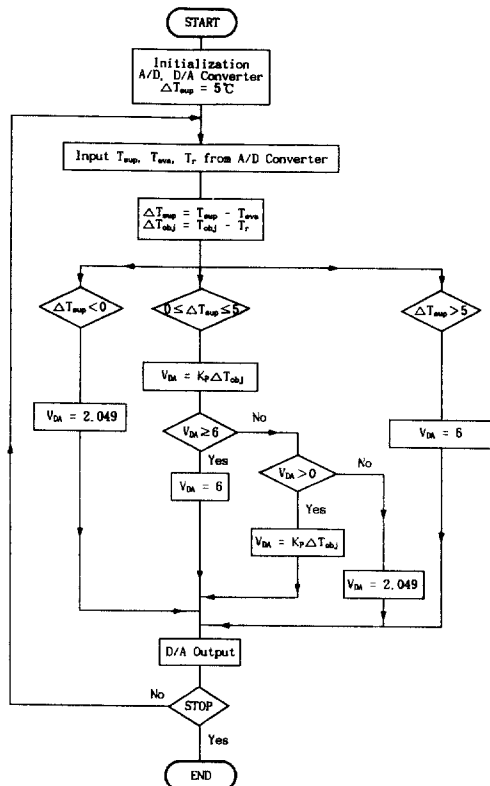


Fig. 3 Flow chart for control

축기의 보호를 위해 인버터의 입력 전압(D/A 컨버터의 출력 전압 V_{DA})는 최저 전압 2.049[V]로 하였다.

$\Delta T_{sup} > 5^{\circ}\text{C}$ (설정 목표 최대값) 경우에는 증발기 출구 이전에서 이미 과열이 진행됨으로써 압축기에서 압축된 토출 가스 온도가 과도하게 상승되어 소손의 위험이 있어 시스템에 무리를 가져온다. 이 경우에는 압축기 회전속도를 상승시켜 증발기 출구 근처에서 과열이 일어나도록 하기 위하여, 인버터의 최대 전압 6[V]로 운전하여 과열도를 신속하게 적정 과열도 범위 ($0 \leq \Delta T_{sup} \leq 5^{\circ}\text{C}$)의 범위내에서 V_{DA} 를 최대 전압 6[V]로 결정하여, 신속하게 T_{obj} 에 도달하도록 하였다. 또, ΔT_{obj} 가 0에 도달되었을 때에는 최저 전압 2.049[V]로 인버터 입력 전압 V_{DA} 를 조정하였고, 이 외의 경우에는 ΔT_{obj} 값에 비례하여 제어되도록 프로그램하였다. 먼저, 비례 제어에 대한 응답 효과를 조사하기 위해 다음식에 의하여 제어되도록 하였다.

$$V_{DA} = k_p (T_{obj} - T_r) \quad (4)$$

단, k_p : 비례제어상수

그러나, 이와 같은 비례 제어만으로는 냉동실내 온도가 제어 목표치인 T_{obj} 에 도달하지 못하게 되는 정상 편차가 일어나게 되며, 목표치에 도달하는 시간이 매우 길어지므로, 본 제어기에서는 정상 편차를 줄이고 신속하게 목표 온도에 도달하도록 하기 위하여 식(4)에 다음과 같은 보상 요소를 부가하여 제어되도록 하였다.

$$V_{DA} = k_p (T_{obj} - T_r) + \delta \quad (5)$$

단, δ : 보상계수

또한, 이와 같은 문제를 해결하기 위한 일반적 방법중의 하나인 적분 보상기(Integral Compensator)를 사용한 비례적분 제어도 아울러 행하였다.

인버터 입력 전압 V_{DA} 는 0[V]로부터 10[V]까지 출력이 가능하다. 그러나, 본 실험에서 사용한 인버터의 최대 전압이 6[V]이므로, 압축기의 저속 회전에서의 보호를 위해 정지시는 2.049[V]로, 정상 운전시는 2.049[V]에서 6[V]사이에서 제어되도록 프로그램되었다. 따라서, 정상 운전시에 인버터의 출력 주파수는 식(1)에 의해 25[Hz](1500 rpm)와 73.2[Hz](4392 rpm)사이에서 제어되게 된다.

적분 보상기를 이용한 인버터 입력 전압은

$$V_{DA}(n) = V_{DA}(n-1) + K_I t \Delta T_{obj} \quad (6)$$

단, t : sampling time[sec]

k_I : 적분제어상수

$n=0, 1, 2, 3, \dots$

과 같이 주어진다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에서의 실험 시간은 1시간 간격으로 하였으며, 냉동실내의 제어 목표 온도는 -18°C , 설정 과열도는 5°C 로 하였다. 압축기 주파수 즉, 모터 회전수, 냉동실내 온도, 과열도의 시간에 따른 변화를 Fig. 4~Fig. 6에 나타내었다.

3.1 On-Off 제어

Fig. 4는 인버터 제어가 아닌 On-Off 제어 운전시의 응답 선도를 나타낸 것이다. 이 시스템은 일반 상용 냉장고의 최대 주파수 60[Hz](3600 rpm)로 실험을 행하였다. 처음 압축기 기동시에는 최대 주파수 60[Hz], 회전수 3600[rpm]으로 모터가 동작하기 시작하며, 과열도나 냉동실내 온도의 목표 설정 온도로의 접근 정도에 관계없이 항상 60[Hz]로 일정하게 유지된다. 그러나, 냉동실내 온도가

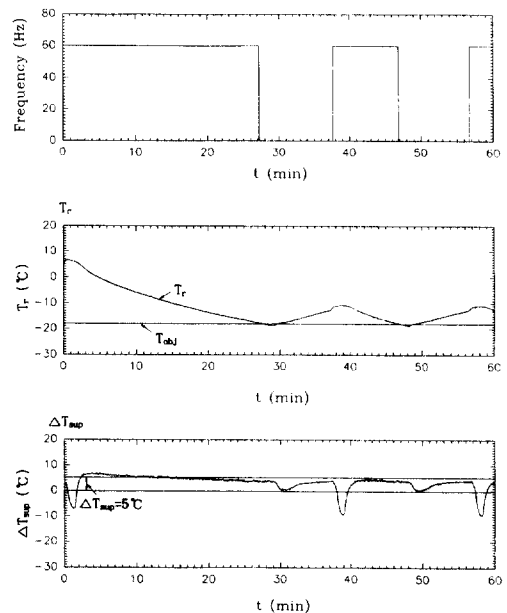


Fig. 4 Response results in On-Off operation

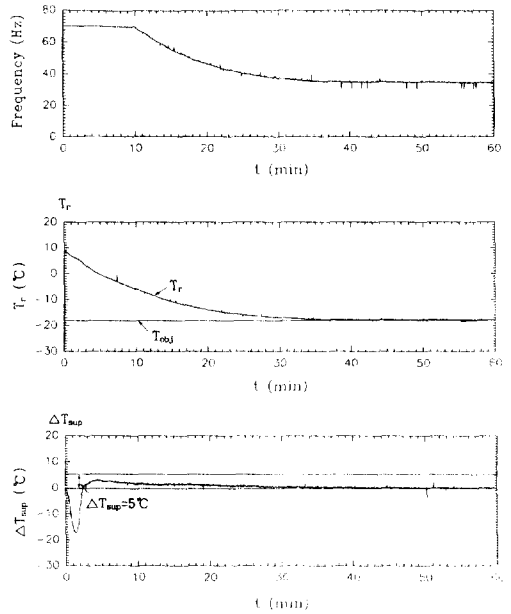
설정 목표 온도에 도달하면 바이메탈이 회로를 끊어 압축기를 정지시키며 이때의 주파수는 0[Hz]로 된다. 이때가 실험 시작후 약 27분 12초가 지난 시각이다. 이때는 바이메탈에 의한 설정 온도차가 약 8°C의 오차를 가지게 되는 상태이며, 이후 압축기가 약 10분 간격으로 On-Off 운전을 반복한다. 그때의 기동시 때의 과열도는 -10°C → 5°C로 구간 사이에서 유지되어, 과열도의 제어가 상당히 불안하다. 그리고, 냉동실내 온도의 경우도 약 8°C의 온도 편차를 가지면서 약 19분 정도 냉동실내 온도가 변화한다. 이와 같이 On과 Off를 반복함으로써 기동시의 많은 동력을 필요로 하며, 냉동실내 온도의 변화폭이 커서 보관 식품의 열화를 촉진시키며, 정지 → 기동시 과열도 제어가 이루어지지 않아서 증발기가 최대의 성능을 발휘하지 못하게 되며, 액압축의 위험성도 있으며 압축기에 무리를 준다.

과열도는 기동시 마다 약 2~3분간은 과열도가 설정폭(5°C)에서 크게 벗어나 -8~-10[°C]까지 떨어졌다가 다시 상승하여 약 15~16[°C]가량의 큰 온도차를 나타낸다. 이때 과열도가 “-”로 떨어지는 것은 시스템의 평형 상태가 형성되기 전, 압축기만이 정상적으로 운전됨으로써, 고압과 저압의 차이가 크지 않음으로써 순간적으로 압축기가 많은 양의 냉매를 흡입함으로써 이와 같은 현상이 일어난다. 그러나, 2~3분 후부터는 고압과 저압의 평형이 이루어짐을 알 수 있다. 그리고, 기동시이외의 경우에도 과열도 제어 설정치(0 ≤ ΔT_{sup} ≤ 5°C)에서 많이 벗어난다. 처음 기동시는 약 12분 정도부터 겨우 제어 설정치인 5°C로 유지되기 시작하며, 전체적으로, 과열도가 4~5°C에서 유지되기 때문에, 과열도 제어면, 냉동실내 온도 제어 면에 있어서 성능이 좋다고 볼 수 없다.

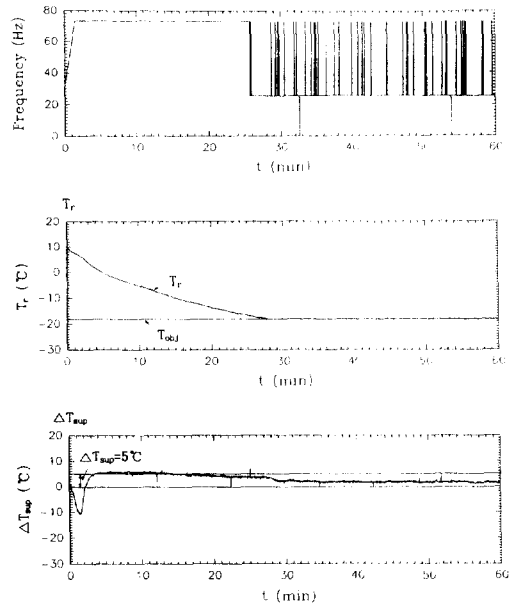
3.2 외란이 없는 경우의 인버터 제어

Fig. 5~Fig. 6은 최대 전압을 6[V]로, 최대 주파수를 73.2[Hz](4392 rpm)로 두고 실험하였다. Fig. 5(a)는 적분 보상기는 적용하지 않고 단순히 비례 제어만을 사용하여 실험을 행한 결과를 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 5(b)는 비례 제어에 적분 보상기를 첨가함으로써 비례적분 제어를 사용하여 실험을 행한 결과이다.

Fig. 5(a) 그림에서 보면, 기동시에는 주파수가 최대 주파수 73.2[Hz]로 작동을 시작한다. 그러나 기동후 10분경 부터는 냉동실내 온도의 변화인



(a) Proportional control



(b) Integral control

Fig. 5 Response results of compressor capacity control using inverter (Without disturbance)

ΔT_{obj}의 변화에 따라 비례적으로 주파수가 제어된다. ΔT_{obj}가 0에 도달해 감에 따라, 즉 냉동실내 온도가 설정 목표 온도(-18°C)에 접근함에 따라,

주파수도 서서히 느려져 약 34[Hz]로 된다. On-Off 제어에 비해 기동, 정지의 반복이 없이, 한번 압축기가 기동한 후 정지됨이 없이 계속해서 연속적으로 운전된다.

과열도에 있어서는 기동시(2~3분)에는 On-Off 제어의 경우와 같이 큰 변화폭을 가지나, ΔT_{obj} 의 변화의 다소에 따라 과열도도 점차 설정 목표 구간에서 제어되기 시작한다. 약 10분 후부터는 약 0~2°C 구간내에서 지속적으로 그리고 안정적으로 과열도가 제어되어 진다. 실험 시작 약 36분 이후 0°C 부근에서 과열도가 계속 유지된다. 이도 역시 냉동실내 온도의 목표 설정 온도와의 차이 ΔT_{obj} 의 변화에 따른 비례적인 것이다. On-Off 제어의 경우의 과열도 설정 구역에서의 변화폭인 0~5°C에 비해 상당히 변화폭이 적었다. 이것은 인버터 제어에 의해서 과열도가 잘 제어되고 있음을 나타내주는 것이라 할 수 있다.

냉동실내 온도는 설정 목표 온도에 도달하는 시간은 On-Off 제어에 비해 다소 느려 약 38분 경에야 도달되나, 설정 목표 온도 도달 후의 온도 변화는 안정적이며 거의 설정 온도를 벗어나지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5(a)의 결과로부터, 비례 요소만에 의한 제어에서는 냉동실내 온도가 설정 목표 온도에 쉽게 도달하지 못하며, 도달한다 하더라도 그 도달 시간이 길어, 시스템의 제어 성능을 떨어뜨린다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이것을 보상하기 위하여 적분보상 요소를 추가하여 Fig. 5(b)의 제어를 행하였다. 그리하여 냉동실내 온도가 설정 온도에 도달하는 시간이 Fig. 5(a)의 비례 요소 만에 의한 제어를 행한 경우에 비교하여 약 10분 정도 절약되었다. 즉, Fig. 5(a)의 경우는 38분 정도 걸리고 Fig. 5(b)의 경우는 28분 정도 걸린다.

그러나, 과열도에 있어서는 과열도 설정 구역내에서의 변화폭이 Fig. 5(a)의 경우와 비교하면 크게 나타나며, 설정 구역인 5°C를 넘는 경우도 약 10여분 정도 발생하고 있다. 이는 기동후의 과도 운전 상태에서의 불안정 상태로 인한 결과이다. 그러나 주파수의 변화, 즉 회전수 변화에 있어서는 비례 제어만을 행한 Fig. 5(a)의 실험 결과에 비해 최대 주파수 73.2[Hz]와 최저 주파수 25[Hz]를 왕복하는 빈도수가 상당히 많다. 이것은 냉동실내 온도가 설정 목표 온도에서 아주 약간만 벗어나더라도 재빨리 이 변화를 보상해주기 위해 압축기가 빠

르게 회전하여 이 미소한 변화를 제거한다는 것을 나타내고 있다.

3.3 외란이 있을 경우의 인버터 제어

Fig. 6(a), (b)는 인버터 제어를 실시하고, 냉동

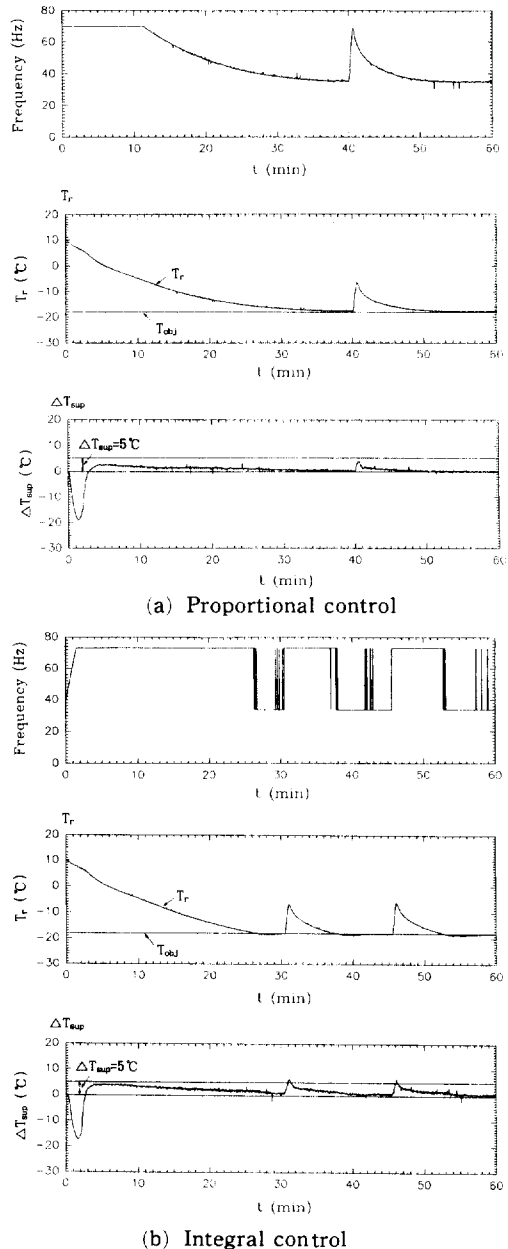


Fig. 6 Response results of compressor capacity control using inverter (With disturbance)

실내 온도가 설정 목표 온도 -18°C 에 도달한 후에 외란을 주었을 경우의 실험 결과이다. Fig. 6(a)의 경우에는 비례 제어만이 적용된 예이고, Fig. 6(b)의 경우는 비례 제어에 적분보상 요소를 첨가한 비례 적분 제어의 경우이다.

Fig. 6(a)의 경우는 냉동실내 온도가 설정 목표 온도에 도달한 후에 냉동실 문을 약 30초 정도 열어서 외기를 도입하였을 때의 실험 결과의 응답 선도를 보여주고 있으며, Fig. 6(b)의 경우는 냉동실 문을 두 번 연속적으로 열어서 외기를 도입하였을 때의 실험 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 6(a) 그림에서 주파수는 초기 기동시에는 최대 주파수 $73.2[\text{Hz}]$ 로 기동되나, 냉동실내 온도가 변화하여 서서히 설정 목표 온도 -18°C 로 근접함에 따라, 주파수도 냉동실내 온도 변화에 비례적으로 서서히 감소하고 있음을 보여주고 있다. 과열도에 있어서도 안정적으로 제어가 행해지고 있음을 볼 수 있다. 그러나 실험 시작후 약 40분경에 냉동실 문을 30초간 열어 외기를 도입하자, -18°C 이던 냉동실내 온도가 -6°C 까지 급격하게 상승하였다. 이렇게 ΔT_{obj} 가 갑작스럽게 커짐에 따라서 압축기 주파수도 이 변화에 비례적으로 대응하여 주파수를 최대 주파수 $73.2[\text{Hz}]$ 로 운전하여 이 온도 변화를 극복하고자 한다. 과열도도 이에 따라 약간 상승하였다. 그러나 인버터 제어에 의한 빠른 응답성으로 인하여 외란에 대한 변화를 신속하게 극복하였고, 냉동실내 온도도 약 10여분이 지나자 설정 목표 온도에 근접하여 제어되었고, 주파수 변화, 과열도 변화도 ΔT_{obj} 에 따라 안정적으로 제어되었다. 냉동실내 온도가 -18°C 에 도달하는 데 걸리는 시간은 Fig. 5의 (a)와 경우와 거의 같이 약 38분 정도가 걸린다. 한편, Fig. 6(b)는 계속해서 외란을 두 번 준 경우, 즉 문을 두 번 계속해서 열어 외기를 도입하였을 때의 경우로, 온도 변화에 대한 인버터 제어의 빠른 응답성을 다시 한번 확인할 수 있다. 온도 변화에 대한 주파수 변화의 응답성은 Fig. 6(a)의 비례 제어만에 의한 실험 결과에 비해 Fig. 6(b)의 실험 결과가 약 1/2 정도로 시간이 절약됨을 알 수 있었다. 냉동실내 온도의 목표치로 도달하는 데 걸리는 시간은 28분 정도로 Fig. 5(b)의 경우와 비슷하게 걸린다.

3.4 고찰

위의 실험 결과들로 부터, 인버터 제어를 행하지

않은 경우와 인버터 제어를 행한 경우를 비교하여 봄으로써 이들 두 제어 사이에 많은 차이점이 있음을 알 수 있었다. 첫째, 기동과 정지의 반복이 On-Off 제어에 있어서는 1시간 동안에 2~3회 정도 반복되었고, 이에 비해서 인버터 제어시에는 기동과 정지의 반복이 전혀 없이 한번 기동되면 그 상태를 지속적으로 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 둘째로, 과열도 변화에 있어서도 인버터 제어를 행한 경우와 On-Off 제어를 비교하면 On-Off 제어에 있어서는 정지 → 기동시와 같은 큰 부하 변동이 있을 때는 과열도가 -9°C 까지 떨어짐으로써 압축기의 액압축의 위험을 초래할 뿐만 아니라, 과열도 제어가 행해지지 않음을 알 수 있었다. 반면에, 인버터 제어에 있어서는 목표 과열도 구역 $0^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 5^{\circ}\text{C}$ 사이에서 ΔT_{obj} 변화에 따라 정밀하게 제어됨을 볼 수 있었다. 세째로, 냉동실내 온도 변화에 있어서도 현격한 차이를 나타내고 있다.

인버터 제어의 경우에 있어서도 비례 제어만을 적용한 경우와 적분보상 요소를 비례 제어에 첨가한 비례적분 제어의 경우를 비교해 보면 여러 차이점들을 발견할 수 있다. 주파수 변화에 있어서는 비례 제어만을 행한 경우가 제어 성능이 뛰어나고, 비례적분 제어의 경우에는 냉동실내 온도의 변화에 따라 최대와 최저 주파수를 왔다 갔다 하는 주파수의 큰 변동폭을 가지고 있었다. 과열도 변화에 있어서도 과열도 설정 구역내에서의 변화폭이 Fig. 5(a), Fig. 6(a)의 경우가 $0^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 2^{\circ}\text{C}$ 로 Fig. 5(b), Fig. 6(b) 경우의 $0^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 5^{\circ}\text{C}$ 에 비해 훨씬 안정적인을 확인할 수 있었다. 그러나 냉동실내 온도가 목표 설정 온도에 도달하는 시간에 있어서는 Fig. 5(b), Fig. 6(b)의 경우가 훨씬 빨리 목표 설정 온도에 도달하는 결과를 가져 왔다.

결과적으로 인버터 제어에 의한 운전시, 정상 운전 상태에서는 냉동실내 온도의 변화, 과열도의 변화의 제어에 의해 압축기의 회전수가 낮아지는 것을 볼 수 있었고, 외란이 발생했을 때, 혹은 기동시와 같이 온도의 큰 변화가 있을 경우에는 최대 출력으로 압축기가 가동되어 빠른 시간내에 냉동실내의 온도를 목표 온도로 복귀시켜, 안정적인 상태를 유지함으로써, 인버터 제어를 시행하지 않은 On-Off 제어에 비하여 급속 냉동이 가능하여, 냉동실내 온도 및 과열도를 정확히 유지시킬 수 있었다.

4. 결 론

마이크로 컴퓨터와 PWM 제어 방식의 인버터를 이용하여, 증발기의 과열도 및 냉동실내 온도를 제어 대상으로 하여 냉동·공조 시스템의 압축기 용량 제어에 관한 실험적 검토를 행한 결과, 다음의 결론들을 얻을 수 있었다.

(1) 냉동실내 온도와 목표 설정 온도와의 ΔT_{oav} 변화에 대한 제어면에 있어서는 종래의 On-Off 제어와 비교해 보면, 냉동실내 온도의 변화폭이 훨씬 작았다.

(2) 외란 발생시의 응답 속도면에서 인버터 제어 중에서도 비례적분 제어의 경우가 비례 제어의 경우 보다 우수하였다.

(3) 압축기의 연속 운전 범위가 인버터 제어의 경우에 종래의 On-Off 제어에 비해 확장되었다.

또, 보다 더 시스템을 적절히 설계하고, 피드백 제어를 실시하면 양호한 제어 특성과 에너지의 절감 효과 및 과열도 유지의 측면에서, 그 유효성은 더욱 커질 것으로 기대된다.

앞으로, 시스템 전체의 최적 제어를 위해서는 압축기 뿐만 아니라 팽창 밸브에 의한 냉매 유량의 제어 및 열교환기의 송풍기 제어 등을 동시에 실시해야 할 필요성이 있으며, 인버터 적용시 발생 가능한 문제점에 대해서 뿐만 아니라 제어 이론에 기초한 제어 방식에 대해서도 검토가 있어야 할 것으로 생각되어 진다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 1992년도 학술연구 조성(지방대 육성 과제) 연구비에 의해 수행된 연구 결과의 일부로서 관계자 여러분께 감사의 뜻을 포함합니다. 또 본 연구의 수행에 도움을 준 첨단유체공학 연구센터(AFERC)의 관계자들에게도 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- (1) 高橋諭史, 1986, "Inverter Room Air Conditioner," 冷凍, Vol. 61, No. 701, pp. 27~30.
- (2) 市居明彦, 阪本則秋, 青野雅夫, 1987, "Technology of Inverter-controlled Refrigerator," (株)東芝, 大阪工場, 東芝 Report, Vol. 42, No. 3, pp. 152~155.
- (3) 近藤 功, 三宅齊和, 相良正志, 順田信英, 1986, "電子膨脹弁とインバータによる冷凍サイクルの2變數制御," 日本冷凍協會學術講演會論文集, pp. 77~80.
- (4) Akira, T. and Michio, M., 1988, "インバータ駆動用壓縮機用電動機の不安定現象について," 日本冷凍協會論文集, Vol. 5, No. 3, pp. 109~112
- (5) Naomi, K., Akio, M., and Tadahiro K., 1990, "Development of Fuzzy Logic Control System for Heat Pump Air Conditioners," Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review, Vol. 27, No. 3, pp. 193~197.
- (6) Takao, Y., 1983, "東芝インバータ搭載能力比例制御ルームエアコン," 冷凍空調技術, Vol. 34, No. 404, pp. 13~20.
- (7) Kinjiro, H., 1981, "容量制御の最近の動向," 冷凍, Vol. 56, No. 644, pp. 459~485.
- (8) Kenji, I., 1981, "周波數變換による容量制御," 冷凍, Vol. 56, No. 644, pp. 486~490.
- (9) 松岡文雄, 永友秀明, 佐久間清, 飯島等, 梅村博之, 1986, "空調機の動的電子制御(1)-過渡應答-", 日本冷凍協會學術講演會論文集, pp. 65~72.
- (10) Kinjiro, H., 1986, "蒸發器の制御システム," 冷凍, Vol. 61, No. 701, pp. 1~8.
- (11) Tadashi, Y. and Mitsuhiro, F., Kiyoharu Ikeda, 1992, "可變速冷媒壓縮機の動的舉動の計算モデル," 日本冷凍協會論文集, Vol. 9, No. 1, pp. 65~71.
- (12) Masahiko, G., Horoshi, K. and Toshisugu, H., 1986, "冷凍サイクルの斷續時エネルギー損失の低減," 日本冷凍協會論文集, Vol. 3, No. 2, pp. 37~44.
- (13) Takao, Y., 1983, "東芝インバータ搭載能力比例制御ルームエアコン," 冷凍空調技術, Vol. 34, No. 404, pp. 13~22.
- (14) 河注植, 1976, 自動制御工學, pp. 11~18.
- (15) 崔炳甲, 沈載煥, 宋宇允, 1987, 自動制御, pp. 7~19.