

工學碩士學位論文

디더 신호를 적용한 멀티형 히트펌프의
전자팽창밸브 과열도 제어

The Superheat Temperature Control of EXV for
Multi-type Heat Pump by Using the Dither Signal

國民大學校 大學院

機械工學科

表 守 煥

2 0 0 1

디더 신호를 적용한 멀티형 히트펌프의
전자팽창밸브 과열도 제어

The Superheat Temperature Control of EXV for
Multi-type Heat Pump by Using the Dither Signal

指導教授 韓 道 榮

이 論文을 工學碩士學位 請求論文으로 提出함.

2001年 12月 日

國民大學校 大學院

機械工學科

表 守 煥

2 0 0 1

表守煥의

工學碩士學位 請求論文을 認准함.

2001年 12月 日

審 查 委 員 長 _____ ㉠

審 查 委 員 _____ ㉠

審 查 委 員 _____ ㉠

國民大學校 大學院

목 차

List of figures	iii
List of tables	v
List of photos	v
Nomenclature	vi
Subscripts	vii
Greek letters	vii
국문 요약	viii
 제 1 장 서 론	 1
 제 2 장 텐덤형 멀티 히트 펌프 시스템	 3
2.1 시스템 개요	3
2.2 시스템 구성	5
2.2.1 압축기	5
2.2.2 열교환기	6
2.2.3 팽창 밸브	8
2.2.4 기타 부품	9
 제 3 장 동적환경조성챔버	 11
3.1 실외기용 동적환경조성챔버의 구성	12
3.1.1 실외 유니트	13
3.1.2 실내 유니트	14
3.2 실내기용 동적환경조성챔버의 구성	15

제 4 장 데이터 수집 및 제어 시스템	16
4.1 데이터 수집 시스템	16
4.1.1 온도	18
4.1.2 상대 습도	18
4.1.3 압력	19
4.1.4 유량	20
4.1.5 소비 전력	21
4.2 제어시스템	22
4.2.1 그래픽언어 제어 프로그램	23
 제 5 장 전자팽창밸브의 정적 및 동적 실험	30
5.1 정상 상태 실험	30
5.2 동적 상태 실험	31
 제 6 장 과열도 제어 알고리즘 및 성능 실험	38
6.1 과열도 제어	38
6.2 실험 결과	39
 제 7 장 결 론	48
 References	49
 Abstract	51

List of figures

Fig. 2-1	Tandem-type multi heat pump system	4
Fig. 2-2	Indoor electronic expansion valve	9
Fig. 2-3	Outdoor electronic expansion valve	9
Fig. 2-4	Receiver	10
Fig. 3-1	Dynamic environmental chambers	11
Fig. 3-2	Outdoor chamber cooling and heating system	13
Fig. 3-3	Indoor chamber cooling and heating system	15
Fig. 4-1	Sensor position	17
Fig. 4-2	Data acquisition program	18
Fig. 4-3	Control system for a multi heat pump system	22
Fig. 4-4	Main display for control system	23
Fig. 4-5	Control block diagram	24
Fig. 4-6	Display of initialization setting	25
Fig. 4-7	Block diagram for initialization setting	25
Fig. 4-8	On/Off control display	26
Fig. 4-9	On/Off control block diagram	26
Fig. 4-10	Block diagram of hardware interface	27
Fig. 4-11	Control display of electronic expansion valve	27
Fig. 4-12	Control block diagram for electronic expansion valve	28
Fig. 4-13	Data display	28
Fig. 4-14	Block diagram for temperatures measurement	29
Fig. 4-15	Block diagram for real-time data acquisition	29
Fig. 5-1	Superheat temperature w.r.t valve opening step	31
Fig. 5-2	Superheat temperature for the valve opening	33
Fig. 5-3	Mass flow rate for the valve opening	33

Fig. 5-4	Pressure for the valve opening	34
Fig. 5-5	Superheat temperature for the valve closing	35
Fig. 5-6	Mass flow rate for the valve closing	35
Fig. 5-7	Pressure for the valve closing	36
Fig. 6-1	PI algorithm with dither signals	38
Fig. 6-2	Superheat temperature control(unit A)	40
Fig. 6-3	Frequency analysis without dither signal(unit A)	41
Fig. 6-4	Frequency analysis with dither signal(unit A)	41
Fig. 6-5	Superheat temperature control without dither signal (units A and B)	42
Fig. 6-6	Superheat temperature control with dither signal (units A and B)	43
Fig. 6-7	Frequency analysis without dither signal(unit A)	43
Fig. 6-8	Frequency analysis without dither signal(unit B)	43
Fig. 6-9	Frequency analysis with dither signal(unit A)	44
Fig. 6-10	Frequency analysis with dither signal(unit B)	44
Fig. 6-11	Superheat temperature control without dither signal (units A and C)	45
Fig. 6-12	Superheat temperature control with dither signal (units A and C)	46
Fig. 6-13	Frequency analysis without dither signal(unit A)	46
Fig. 6-14	Frequency analysis without dither signal(unit C)	46
Fig. 6-15	Frequency analysis with dither signal(unit A)	47
Fig. 6-16	Frequency analysis with dither signal(unit C)	47

List of tables

Table 2-1	Specification of compressor	5
Table 2-2	Specification of electronic expansion valve	8
Table 3-1	Specification of dynamic environmental chambers	12
Table 3-2	Specification of unload type compressor	14
Table 5-1	Dynamic parameters of superheat temperature	36
Table 5-2	Dynamic parameters of pressure	37

List of photos

Photo. 2-1	Outdoor heat exchanger	7
Photo. 2-2	Indoor heat exchanger	7
Photo. 2-3	Oil separator	10
Photo. 2-4	Accumulator	10
Photo. 4-1	Data acquisition system	16
Photo. 4-2	Humidity sensor	19
Photo. 4-3	Pressure sensor	20
Photo. 4-4	Mass flow meter sensor	20
Photo. 4-5	Power meter	21

Nomenclature

Symbol	Brief definition	Unit
A	: Area	m^2
Q	: Capacity	kcal/h
H	: Height	m
D	: Inside diameter of a circular tube	m
L	: Length	m
$\dot{m}$	: Mass flow rate	kg/h
T	: Temperature	$^{\circ}\text{C}$
SH	: Superheat temperature	$^{\circ}\text{C}$
CO	: Valve opening change	step
K	: Gain	$^{\circ}\text{C}$
$\cdot$	: Compressor motor power	W
P	: Pressure	N/m^2

Subscripts

Symbol	Brief definition
I	Integral
P	Proportional
D	Differential
d	Delay
max	Maximum
min	Minimum

Greek letters

Symbol	Brief definition	Unit
τ	: Time constant	sec
μ	: Viscosity	kg/m · s
ρ	: Density	m ³ /kg
ν	: Specific volume	kg/m ³

국 문 요 약

디더 신호를 적용한 멀티형 히트펌프의 전자팽창밸브 과열도 제어에 관한 연구 결과는 다음과 같다.

멀티에어콘에서 실내기 용량별, 설치 배관의 설계방법에 따라 각 실내 부하 요구를 만족시키기 위해 실내기로 냉매를 적절히 분배할 수 있도록 전자팽창밸브의 사용이 증대되고 있다. 한 대의 실외기에서 여러 대의 실내기로 배관을 연결하는 방법은 실외기 집중형, 중간 분류기형, Y-분지기형으로 구분할 수 있으며 각각의 배관 설계에 따라 실내기의 성능 차이를 보완하기 위하여 적절한 냉매 유량 제어 알고리즘의 개발이 요구되고 있다. 멀티 에어콘에서 냉매 분배 문제는 실내 냉방 환경을 결정하는 중요한 요인으로 싱글형 에어컨에 비교해서 시스템의 외란과 비선형성 등으로 증발기 입·출구 과열도 제어가 어렵다.

본 연구는 멀티형 히트 펌프에서의 과열도 제어 시 전자팽창밸브의 비선형성인 히스테리시스로 인한 과열도 오실레이션과 정상 상태 에러가 발생함을 확인할 수 있었으며 이러한 제어 성능 저하를 방지하기 위하여 밸브 제어 신호에 디더 신호를 적용하여 한 대 실내기와 두 대 실내기를 대상으로 제어 실험을 한 결과 진폭 저감 효과가 있음을 확인하였다.

제 1 장 서 론

한 대의 실외기로 다양한 실내 환경조건을 만족시킬 수 있는 멀티형 냉방 시스템의 장점이 알려지면서 그에 대한 관심이 증가하고 있으며 더욱이 사계절이 뚜렷한 계절적 특성에도 불구하고 에어컨을 이용한 냉방과 보일러를 사용한 난방 시설을 따로 갖추고 있는 국내의 특성상 한 대의 장치로 냉·난방을 동시에 수행할 수 있는 멀티형 히트펌프의 사용이 요구되고 있다. 이러한 추세를 바탕으로 멀티형 에어컨의 주요 부품 중에서 각 실내 부하 요구를 만족시키기 위해 각 실내기로 냉매를 적절히 분배할 수 있는 전자팽창밸브의 사용이 점차 증가하고 있다. 한 대의 실내기에서 여러 대의 실내기로 냉매 분배하는 배관 연결 방법에 따라 실외기 집중형, 중간 분류기형, Y-분지기형으로 구분할 수 있으며 배관 설계 방법에 따른 실내기의 성능 차이를 보완하기 위하여 적절한 냉매 유량 제어 알고리즘이 연구, 개발되고 있다. 그러나 멀티 에어컨에서의 냉매 분배는 실내 환경 조성에 중요한 요인으로 일대일 에어컨에 비교해 시스템의 외란 및 밸브의 비선형성으로 인하여 증발기 입·출구의 과열도 제어가 어려운 실정이다.

멀티형 공조 시스템에 대한 기존 연구를 살펴보면 국외의 경우, Jia⁽¹⁾등은 증발기의 과도 응답을 예측할 수 있는 모델을 연구하였으며, Outtagarts⁽²⁾등은 전자 팽창밸브를 이용한 과열도 제어 시 증발기 동적 응답을 연구하였다. Finn⁽³⁾등은 냉매 팽창 장치의 최적 제어에 대해 연구하였으며, Jolly⁽⁴⁾등은 증발기 성능을 최적화하는 방법과 과열도 헌팅을 저감할 수 있는 제어 방법에 대해 연구를 하였다. Tassou⁽⁵⁾등은 전자팽창밸브와 TXV를 사용하여 정상 상태와 과

도 상태의 성능에 대한 비교 연구를 하였으며, Van Der Meer⁽⁶⁾등은 증발기 성능에 미치는 팽창변의 영향에 대해 연구를 하였다. Higuchi⁽⁷⁾는 전자팽창밸브 제어에 대해 연구를 하였으며, Wallen⁽⁸⁾은 밸브의 고장 및 자동 조정 방법에 대해 연구하였다. 또한, 국내의 경우, Han⁽⁹⁾은 멀티 시스템의 과열도 제어를 위한 전자팽창밸브의 동적 모델에 대하여 연구하여 멀티 시스템 개발의 기초를 확립하였으며, Kim⁽¹⁰⁾은 가변 압축기를 사용한 멀티형 냉방 시스템의 설계 및 제어에 관하여 연구하였다.

따라서 본 연구에서는 스텝핑 모터 구동형 전자팽창밸브를 사용한 텐덤형 멀티 히트펌프 시스템에서 전자팽창밸브의 히스테리시스로 인한 과열도 제어 성능 저하를 방지하고 실내 부하에 대응할 수 있는 최적의 과열도 제어 알고리즘을 개발하고 시스템의 동적 특성을 파악한 후 동적환경조성챔버를 사용하여 실험을 통하여 검증하는 것을 목적으로 한다.

제 2 장 텐덤형 멀티 히트펌프 시스템

2.1 시스템 개요

텐덤형 멀티 히트펌프 시스템은 Fig. 2-1과 같이 로터리 압축기, 사망절환밸브, 실외 열교환기, 실외기 팬, 전자팽창밸브, 오일분리기, 액분리기, 수액기 등으로 구성된 1대의 실외 유니트와 전자팽창밸브, 실내 열교환기, 실내기 팬 등으로 구성된 4대의 실내 유니트로 구성되어 있으며 사망절환밸브의 작동에 따라 냉방과 난방 모드로 운전하도록 구성하였다.

Fig. 2-1에서 보듯이 냉방모드는 다음과 같이 작동한다. 압축기로부터 토출된 고온고압 상태의 냉매는 사망절환밸브를 지나 실외 열교환기로 유입되고 실외 열교환기에서 실외 공기와 열교환되어 기상에서 액상으로 상변화를 일으키게 된다. 액상의 냉매는 분지관과 팽창밸브를 거쳐 저온저압의 증발하기 쉬운 상태로 되어 실내 열교환기에 유입된 후 각각의 실내 열교환기에서 증발된다. 실내 열교환기를 거쳐 나온 가스 상태의 냉매는 다시 분지관에서 합쳐져 압축기로 회수되어 냉방사이클을 형성한다.

난방모드의 경우는 압축기로부터 토출된 고온고압 상태의 냉매가 사망절환밸브를 지나 분지관을 거쳐 실내에 위치한 각각의 실내 열교환기로 차례대로 분기되어 기상에서 액상으로 상변화를 일으키고 실내로 열을 방출하여 실내를 난방하게 된다. 각 실내 열교환기를 통과한 액상의 냉매는 분지관을 거쳐 하나로 합쳐지게 되며 실외기 유니트의 팽창밸브를 지나 저온저압의 증발하기 쉬운 상태로 실외

열교환기에 유입되고 실외 공기로부터 열을 흡수하여 기상으로 상변화를 한 후 사방절환밸브를 거쳐 다시 압축기로 회수되는 난방사이클을 형성한다.

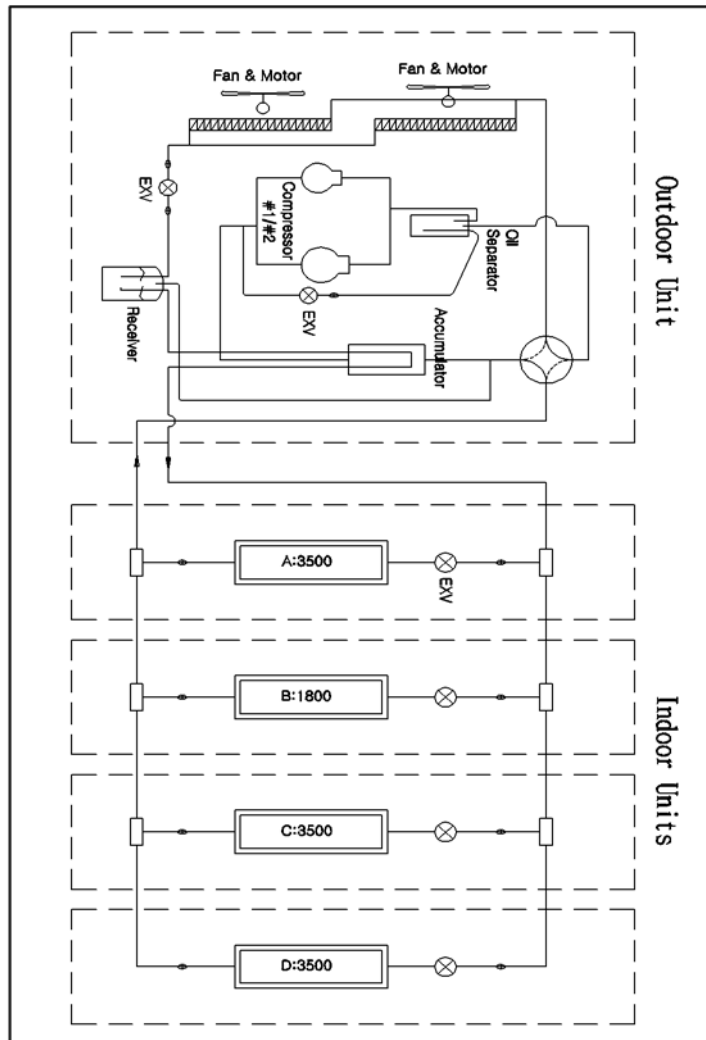


Fig. 2-1 Tandem-type multi heat pump system

2.2 시스템 구성

개발된 텐덤형 멀티 히트펌프 시스템은 설계용량 5686 W와 8353 W의 로타리 압축기로 구성된 실외기 1대와 설계 용량 3500 kcal/h의 실내기 3대와 설계 용량 1800 kcal/h의 실내기 1대로 구성된 시스템으로서 그 구성 요소는 다음과 같다.

2.2.1 압축기

냉동·공조 분야에 사용되는 압축기로는 왕복동식, 스크류식, 로터리식, 스크롤식 등이 있으며 시스템 내에서 저온저압의 냉매를 고온고압의 냉매로 압축하는 역할을 한다. 개발된 텐덤형 멀티 히트펌프 시스템에 사용된 압축기는 로타리식으로 Table 2-1과 같은 사양으로 구성되었으며 용량을 조절하기 위하여 5686 W와 8353 W인 로터리 압축기 두 대를 사용하였다.

Table 2-1 Specification of compressor

Model	S 48B190IV	C EDB292211A
Capacity	5686 W	8353 W
Flow rate	27.18 cc/rev	40.77 cc/rev
Motor power	1883.5 W	2714.3 W
EER	10.3 Btu/Wh	10.5 Btu/Wh

2.2.2 열교환기

히트펌프 시스템에 있어서 냉방모드인 경우 실외 열교환기는 응축기로, 실내열교환기는 증발기로 사용되며, 난방모드인 경우 실외 열교환기는 증발기로 실내 열교환기는 응축기로 사용된다. 실외 열교환기로는 Fig. 2-1에서와 같이 직경 9.52 mm인 동관에 알루미늄 평편이 사용되었으며 핀-튜브의 배열은 2열 34단, 폭은 816 mm, 핀 피치는 1.7 mm, 높이는 850 mm로 전열 면적은 1.39 m^2 이다. 실내 열교환기에는 Fig. 2-2에 나타난 것과 같이 직경 6.4 mm인 동관에 알루미늄 평편이 사용되었으며 핀-튜브의 배열은 4열 6단, 폭은 690 mm, 핀 피치는 1.4 mm, 높이는 290 mm로 전열 면적은 0.41 m^2 이다. 실외 열교환기에는 풍량 60 CMM의 축류팬을 사용하였으며 실내 열교환기에는 3500 kcal/h 실내기의 경우 풍량 9 CMM, 1800 kcal/h 실내기의 경우 풍량 6 CMM의 크로스플로우팬을 사용하였다.



Photo. 2-1 Outdoor exchanger



Photo. 2-2 Indoor exchanger

2.2.3 팽창밸브

팽창장치로는 모세관식, 수동식, 정압식, 내부균압방식과 외부균압방식의 온도식 자동팽창밸브, 전자팽창밸브 등이 있으며 개발된 텐덤형 멀티 히트펌프 시스템에는 Table 2-2에 나타낸 것과 같이 난방 모드에 사용되는 실외기용 전자팽창밸브 1개와 냉방 모드에 사용되는 실내기용 전자팽창밸브 4개로서 총 5개의 전자팽창밸브를 사용하였다.

Fig. 2-2와 Fig. 2-3에 보여준 것과 같이 전자팽창밸브는 제어 신호에 의해 내부 회전자를 회전시키는 코일과 오리피스와 니들의 간격을 조절하여 냉매 유량을 제어하는 본체로 구성되어 있으며 각 열교환기의 입구와 출구 온도를 측정하여 적절한 과열도를 유지하여 최적의 냉방사이클과 난방사이클을 구성할 수 있도록 사용하였다.

Table. 2-2 Specification of electronic expansion valve

	Indoor electronic expansion valve	Outdoor electronic expansion valve
Phase	1-2 Phase	2 Phase
Pulse range	0~480 pulse	0~2000 pulse
Operating pressure	30 kgf/cm ²	30 kgf/cm ²
Capacity	5.3 kW	18 kW
Diameter	6.4 mm	6.4 mm
Voltage	DC 12±1.2V	DC 12±1.2V

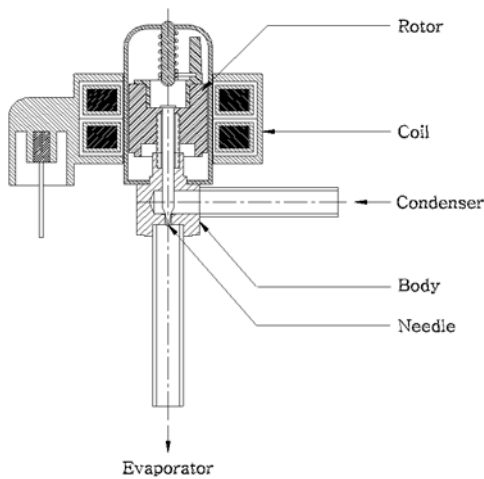


Fig. 2-2 Indoor electronic expansion valve

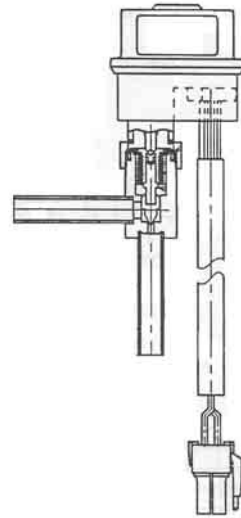


Fig. 2-3 Outdoor electronic expansion valve

2.2.4 기타 부품

개발된 텐덤형 멀티 히트펌프 시스템에 사용된 기타 부품으로는 오일분리기, 수액기, 액분리기 등이 있다. 오일분리기는 고압측 부속 기기로 압축된 냉매 증기로부터 윤활유를 분리시켜 냉매만이 응축기로 순환되고 오일은 압축기로 회수되도록 하는 역할을 하며 Photo. 2-3에 보여준 TS 1005, 5/8" ODS Solder 모델을 사용하였다. Fig. 2-4는 수액기의 단면도로 응축기와 팽창밸브사이에 설치되어 실내 부하 변동에 따라 냉매를 보충하고 불응축 냉매 가스는 압축기로 회수시키는 역할을 한다. Photo. 2-4는 액분리기의 외형으로 증발기 출구와 압축기 입구사이에 설치하여 냉매 가스와 냉매 액을 분리시켜 냉매 가스만을 압축기에 흡입시켜 액압축으로 인한 압축

기 파손을 방지하는 역할을 한다.



Photo. 2-3 Oil separator

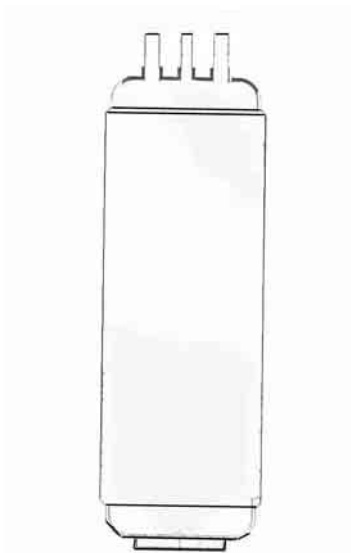


Fig. 2-4 Receiver



Photo. 2-4 Accumulator

제 3 장 동적환경조성챔버

탠덤형 멀티 히트펌프 시스템의 정상상태 성능 실험과 동적 환경 변화에 대한 제어 알고리즘의 평가를 위해 동적환경조성챔버용⁽¹¹⁾하였다. 본 연구에 사용된 동적환경조성챔버는 Fig. 3-1과 Table. 3-1에서 보듯이 가로 3900 mm, 세로 3820 mm, 높이 2500 mm 크기로서 온도 $-5^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$, 습도 20%~90%의 제어 성능을 갖는 실외기용 챔버 1개와, 가로 1300 mm, 세로 1940 mm, 높이 2500 mm 크기(A, B실)와 가로 1760 mm, 세로 1800 mm, 높이 2500 mm 크기(C, D실)로서 온도 $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$, 습도 20%~90%의 제어 성능을 갖는 실내기용 챔버 4개로 구성되어 있으며 데이터의 기록과 저장을 위한 데이터 수집 시스템(DAS), 동적환경조성챔버 제어 시스템, 멀티형 냉방기 제어 시스템 등이 운전실에 설치되어 있다.

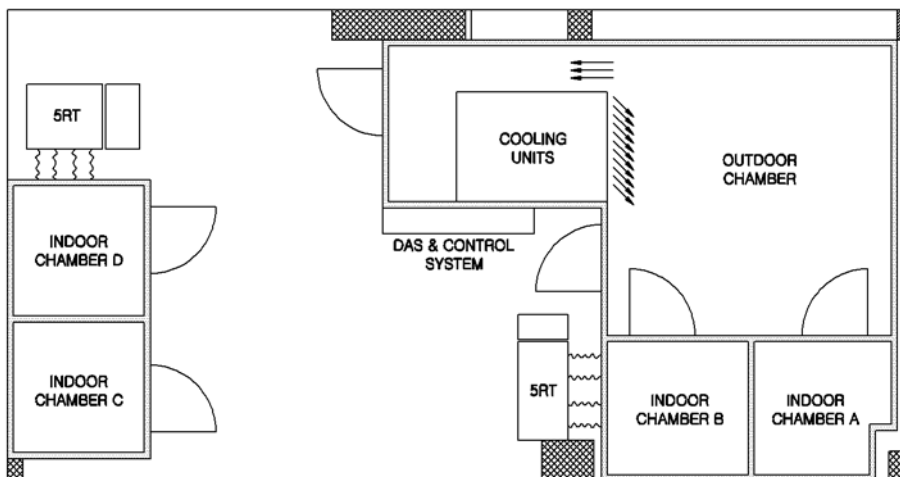


Fig. 3-1 Dynamic environmental chambers

Table. 3-1 Specification of dynamic environmental chambers

		Dimension (W×L×H mm)	Control Range
Outdoor		3900×3820×2500	-5℃ ~ 40℃ 20% ~ 90%
Indoor	A	1300×1940×2500	15℃ ~ 30℃ 20% ~ 90%
	B	1300×1940×2500	
	C	1760×1800×2500	
	D	1760×1800×2500	

실내기용 챔버 A와 B는 실외기용 챔버와 인접하여 설치되어 있으며 실내기용 챔버 C와 D는 실외기용 챔버와 분리하여 설치되었고 챔버 실내의 환경유지를 위해 냉·난방 시스템이 별도로 설치되었다.

3.1 실외기용 동적환경조성챔버의 구성

실외기용 동적환경조성챔버의 냉·난방 시스템 개략도가 Fig. 3-2에 나타나 있다. 실외기용 챔버의 냉방 환경조성을 위하여 압축기는 3단계 언로드 타입을 사용하였고, 압축기와 연동하도록 3단으로 구성된 증발기와 한 대의 응축기로 구성되어 있으며 냉방 정도에 따라 냉방용량을 조정할 수 있도록 3단의 증발기는 전자밸브를 통해 제어가 가능하도록 구성하였다. 또한, 난방 환경 조성을 위하여 각

증발기에 인접하게 전기 히터를 설치하여 두 대의 전기 히터는 단속으로 작동하고 나머지 한 대의 전기 히터는 가변으로 작동하여 부하변동에 효과적으로 대응할 수 있도록 구성하였다. 또한 안전을 고려하여 모든 히터는 팬과 연동하여 가동할 수 있도록 구성하였다.

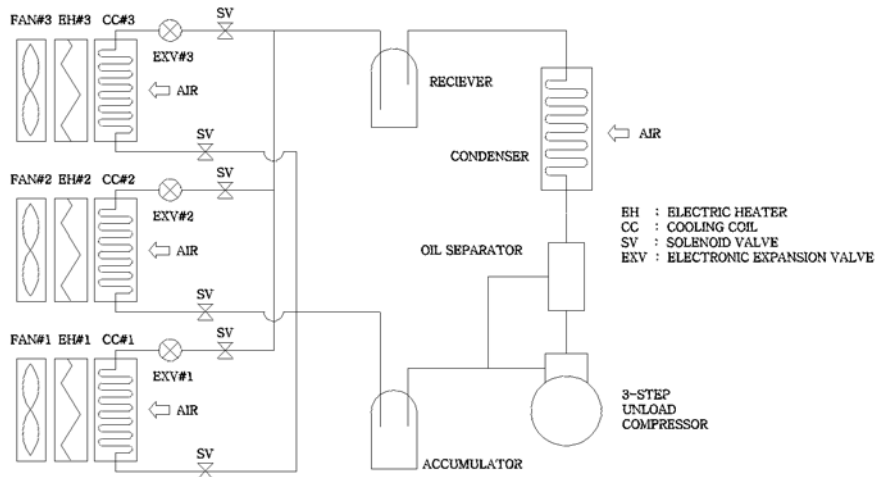


Fig. 3-2 Outdoor chamber cooling and heating system

3.1.1 실외 유닛

실외 유닛은 압축기, 오일분리기, 수액기, 액분리기, 응축기 코일과 팬으로 구성되어 있으며 압축기는 Table. 3-2와 같이 부분부하시의 압축기 용량을 조절하기 위하여 3단계 언로드 타입의 반밀폐형 왕복동식 제품을 사용하였으며 응축기 코일은 핀-튜브 형식으로서 배관경 1/2", 3열 24단, 길이 1420 mm로서 인치당 8매의 마운틴 루버 핀을 사용하였다.

Table. 3-2 Specification of compressor

Piston diameter (mm)	51
Stroke (mm)	49
Cylinders (ea)	6
Displacement (m ³ /min)	63
RPM	1750
Power (HP)	15
Rated load current (A)	71
Operating current (A)	266

3.1.2 실내 유닛

실내 유닛은 3단으로 구성되어 있으며 각 단은 증발기, 전기히터, 가습기, 팬, 전자팽창밸브 등으로 구성되어 있다. 증발기 코일은 핀-튜브 형식으로 배관경 5/8", 2열 14단, 길이 1200 mm로서 인치당 6매의 마운틴 루버 핀을 사용하였다. 전기히터는 7 kW 용량의 제품을 각 단에 설치하였으며 두 개의 히터는 단속제어, 한 개의 히터는 가변제어를 사용하여 부분부하에 대응할 수 있는 시스템을 구성하였다. 압축기와 증발기의 용량을 적절히 제어하기 위하여 일반적인 온도식 팽창밸브 대신에 전자팽창밸브를 사용하였으며 습도 조절을 위하여 증발기 코일 앞에 20 kW 용량의 전극봉식 증기분무형 가습기가 설치되었다.

3.2 실내기용 동적환경조성챔버의 구성

실내기용 동적환경조성챔버의 냉·난방 시스템 개략도가 Fig. 3-5에 나타나 있다. 냉방 시스템은 17,600 W 용량의 하부토출형 향온향습기의 토출 부분에 덕트를 사용하여 한 대의 향온향습기로서 두 개 챔버의 실내 부하를 조성하도록 구성하였다. 챔버에 필요한 난방 부하를 위하여 각 실내 챔버 덕트 말단에 4,000 W 용량의 가변 전기히터를 설치하여 부분부하에 대응하여 적절한 부하를 제공하도록 구성하였다. 실내기용 동적환경조성챔버의 냉·난방 시스템 제어는 상용화된 DDC(Direct Digital Controller)를 사용하였다.

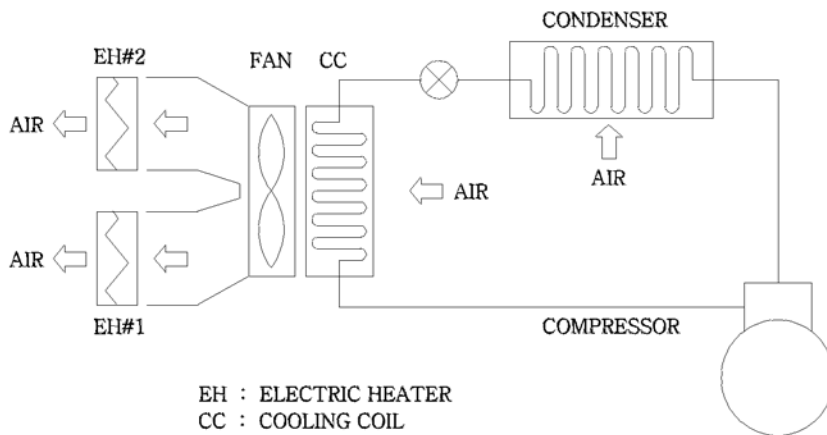


Fig. 3-3 Indoor chamber cooling and heating system

제 4 장 데이터 수집 및 제어 시스템

4.1 데이터 수집 시스템

탠덤형 멀티 히트펌프 시스템의 성능 실험을 위한 동적환경조성 챔버에 시스템의 온도, 압력, 상대습도, 유량 등을 실시간으로 측정하기 위한 데이터 수집 시스템을 적용하였으며 Fig. 4-1에 설치된 센서들의 위치를 나타내었다.

데이터 수집 시스템은 Photo. 4-1에 보듯이 아날로그/디지털 변환기를 내장한 데이터 수집 장치와 Fig. 4-2와 같은 상용화된 데이터 수집 프로그램으로 구성되어 있으며 데이터 수집 장치는 센서로부터 측정된 아날로그 신호를 내장된 아날로그/디지털 변환기로써 디지털 신호로 변환하는 기능을 수행하고 데이터 수집 프로그램은 변환된 디지털 신호들을 모니터에 표시함과 동시에 파일형태로 저장한다.



Photo. 4-1 Data acquisition system

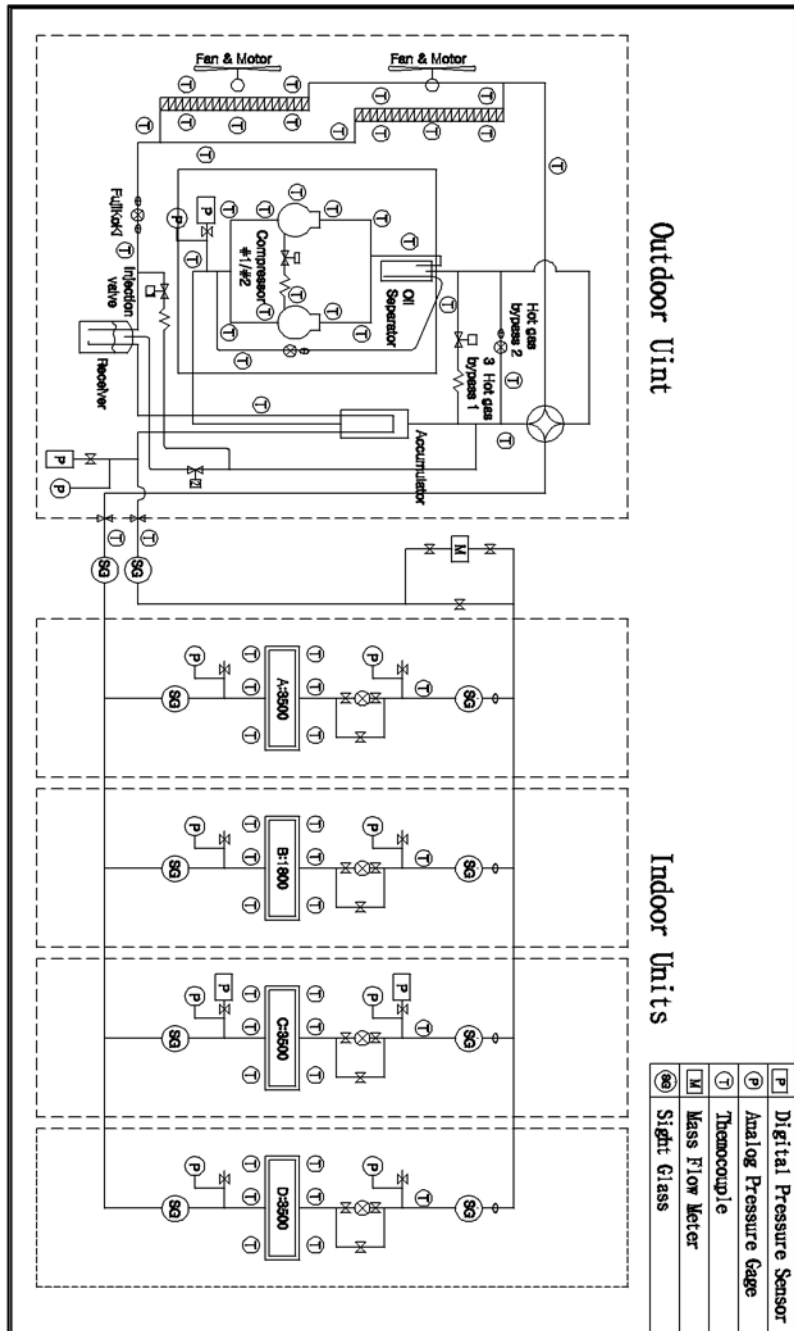


Fig. 4-1 Sensor position

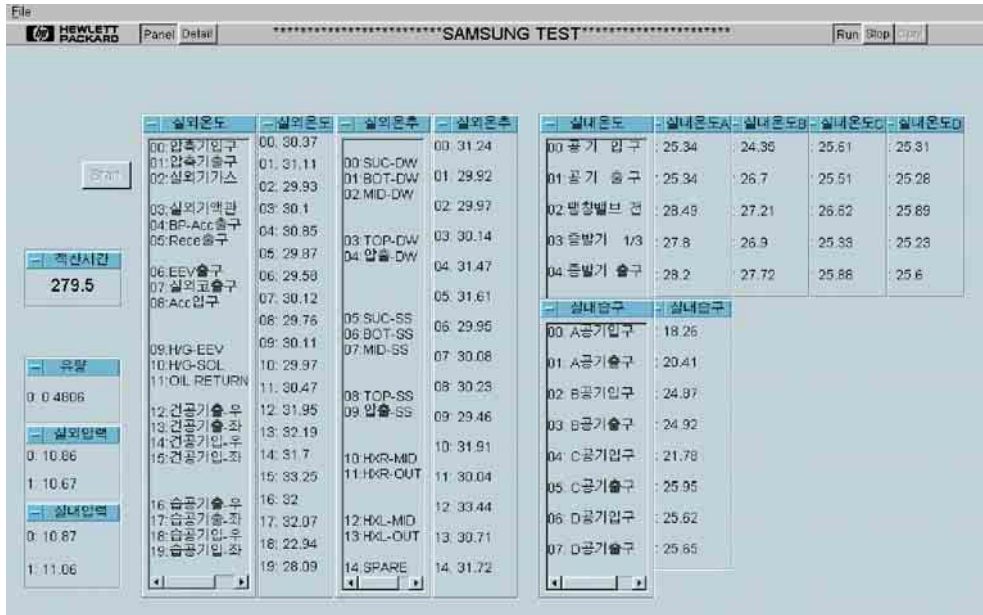


Fig. 4-2 Data acquisition program

4.1.1 온도

Fig. 4-1에서 보듯이 멀티형 히트펌프 시스템의 냉매 배관에서의 온도와 열교환된 공기의 건구 및 습구 온도를 측정하기 위해 실외기 쪽에 34곳, 각 실내기마다 7곳을 선정하여 측정 범위 $-270 \sim 40^{\circ}\text{C}$, $\pm 1\%$ 의 정확도를 갖는 T형 서머커플을 설치하였으며 서머커플의 온도보정은 데이터 수집 장치 내부에서 하드웨어적으로 보정되었다.

4.1.2 상대습도

챔버 내의 상대습도를 측정하기 위하여 Photo. 4-2와 같은 벡타입

으로 측정 범위 5~95%, $\pm 1\%$ 정확도를 갖는 습도 센서를 사용하였다. 센서 설치장소는 실외챔버에 2곳, 각 실내챔버에 각 1곳씩 선정하였으며 습도 센서로부터 출력된 전류는 데이터 수집 장치와 프로그램을 사용하여 %단위로 환산하였다.

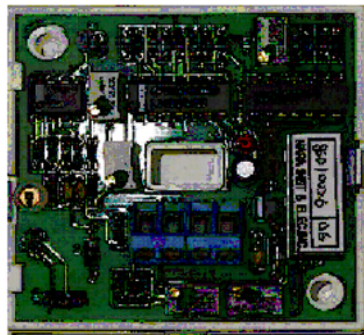


Photo. 4-2 Humidity sensor

4.1.3 압력

멀티형 히트펌프 시스템의 압력 측정을 위해 Photo. 4-3과 같은 압력 센서를 사용하였으며 Fig. 4-1에서 보듯이 센서의 설치위치는 압축기 흡입과 토출 그리고 C실 실내기 팽창 밸브 전과 증발기 출구에 설치하여 시스템의 압력 변화를 측정하였으며 나머지 실내기의 경우 압력 게이지를 설치하여 압력 변화를 확인하였다. 압력 센서의 측정 범위는 0~500 psi로 $\pm 1\%$ 의 정확도를 가지고 있으며 압력 변화에 따라 4~20 mA의 아날로그 출력값이 데이터 수집 장치와 프로그램을 통해 atm단위로 환산된다.



Photo. 4-3 Pressure sensor

4.1.4 유량

시스템 성능 분석에 필요한 냉매 유량을 측정하기 위하여 Photo. 4-4와 같은 코리올리 효과를 이용한 질량 유량계를 시스템의 액 배관 쪽에 설치하였다. 측정 범위는 0 ~ 6 kg/min로서 $\pm 1\%$ 의 정확도를 가지며 냉매 유량의 변화에 따라 4~20 mA의 아날로그 출력값이 데이터 수집 장치에 입력되어 환산된다.



Photo. 4-4 Mass flow meter sensor

4.1.5 소비전력

멀티형 히트펌프 시스템의 소비 전력을 측정하기 위하여 Photo. 4-5와 같은 6~99.9 Hz의 측정 범위와 ± 0.3 Hz의 정확도를 갖는 다기능 파워 미터를 주 전원차단기 출력측에 설치하여 사용하였다.



Photo. 4-5 Power meter

4.2 제어 시스템

멀티형 히트펌프 시스템의 제어를 위해 Fig. 4-3과 같이 제어 시스템을 구성하였다. Fig. 4-3에서와 같이 제어 시스템은 히트펌프 시스템의 각종 데이터를 입력하고 처리된 신호를 출력하는 모듈이 설치되어 있는 데이터 통합보드와 전자팽창밸브 제어를 위한 제어 신호를 출력하는 모션 제어보드로 구성되어 있다. 데이터 통합보드에 설치된 모듈은 온도 측정에 사용되는 32채널 아날로그 입력 모듈, On/Off 제어를 위한 32채널 디지털 출력 모듈, 주파수 제어용 아날로그 출력모듈로 구성되어 있으며 그중 아날로그 입력 모듈로는 Fig. 4-1에서 보듯이 각 실내기의 증발기 입출구와 실내 등 총 12곳에 설치되어 있는 상온용 서미스터로부터 온도 데이터를 수집하기 위하여 사용하였으며 디지털 출력 모듈은 압축기, 실외팬, 기타 밸브 등을 On/Off 제어하기 위해 사용되었으며 6채널의 아날로그 출력모듈은 압축기의 회전수를 제어하기 위하여 사용되었다.

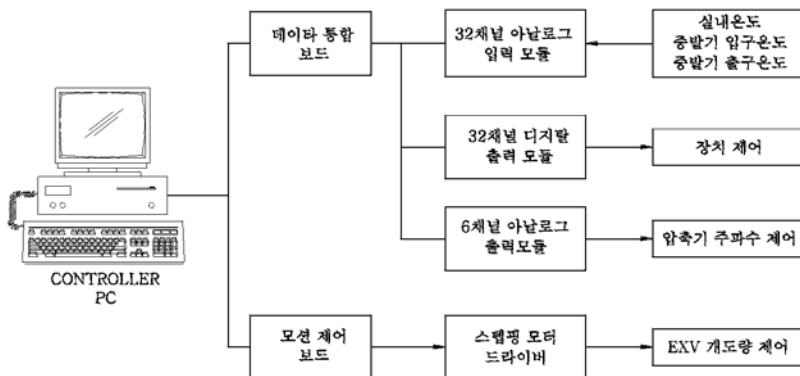


Fig. 4-3 Control system for a multi heat pump system

모션 제어보드는 전자팽창밸브 개도량 제어에 사용되며 아날로그 입력 모듈에서 입력받은 각 실내기의 증발기 입출구 온도차에 따라 개도 제어 신호를 펄스형태로 스텝핑 모터 드라이버에 전송한다.

4.2.1 그래픽언어 제어 프로그램

문법이 복잡한 텍스트 기반의 범용언어를 사용하지 않고 상용화된 그래픽언어를 사용하여 제어 프로그램을 구성하였다. 멀티형 냉방 시스템을 제어하기 위하여 구성된 메인 화면은 Fig. 4-4와 같으며 초기화 설정, 압축기, 실외팬, 밸브 수동제어, 전자팽창밸브 수동 제어 등을 수행하고 전자팽창밸브 개도량 및 실내기 제어용 온도 데이터를 디스플레이 할 수 있도록 구성하였다. Fig. 4-5에 보듯이 제어 블록 다이어그램은 메인 화면의 기능을 수행하도록 조건문, 시퀀스문 등의 내부루프들로 구성되었다.



Fig. 4-4 Main display for control system

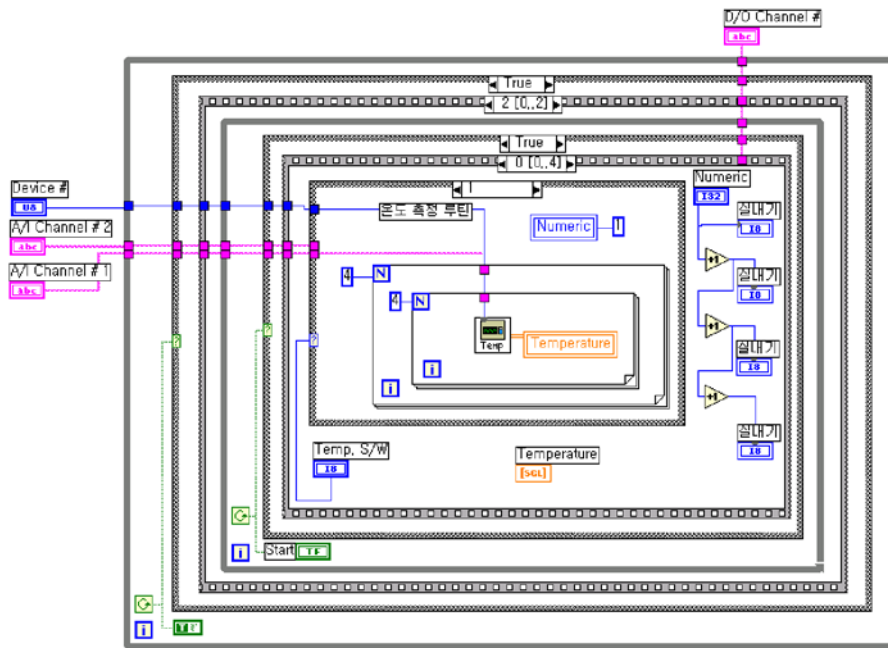


Fig. 4-5 Control block diagram

4.2.1.1 초기화 설정

초기화 설정 화면은 Fig. 4-6과 같이 사용할 장치, 아날로그 입력 채널, 디지털 출력채널을 설정하기 위한 설정 텍스트 박스와 전자팽창밸브의 초기화 버튼으로 구성되었다. 초기화 설정과정의 제어 블록다이어그램을 Fig. 4-7에 나타내었으며 Fig. 4-7에서와 같이 시퀀스문에 의해 순차적으로 실내기 전자팽창밸브를 완전히 닫은 후 다시 160 스텝으로 열어주는 초기화 과정을 거쳐 입력된 제어 신호는 모션제어 보드를 통해 펄스형태로서 스텝핑 모터용 드라이버에 전송하여 전자팽창밸브 개도를 변화시킨다.

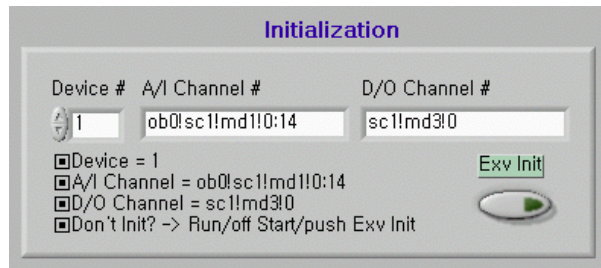


Fig. 4-6 Display of initialization setting

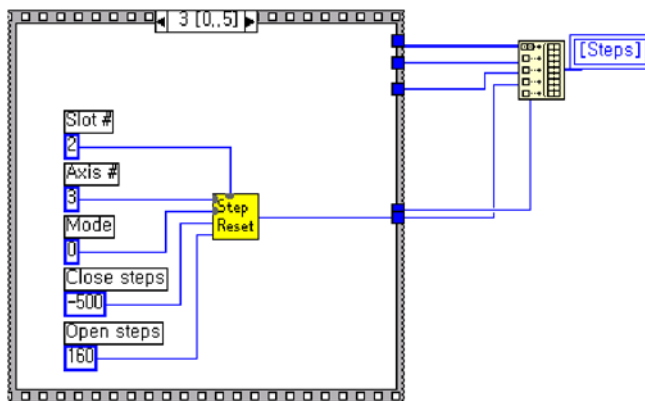


Fig. 4-7 Block diagram for initialization setting

4.2.1.2 압축기, 팬, 밸브 수동제어

압축기, 팬, 밸브 등의 수동제어를 위하여 Fig. 4-8과 같이 On/Off 제어 화면을 구성하였다. 2대의 압축기, 2대의 실외팬, Hot-gas bypass 밸브, Vent bypass 밸브, Injection 밸브의 수동 제어가 가능하며 그중 On/Off 제어 화면을 구성하는 세부 블록다이어그램은 Fig. 4-9와 같이 구성되어 있으며 2대의 압축기, 2대의 실외팬, 부속 밸브 스위치 조작에 따라 디지털 신호를 출력한다. 출력된 디지털

신호는 Fig. 4-10의 하드웨어 연결 블록다이어그램과 실외기에 설치된 릴레이보드를 통해 압축기, 실외팬, 밸브를 On/Off로 제어한다.



Fig. 4-8 On/Off control display

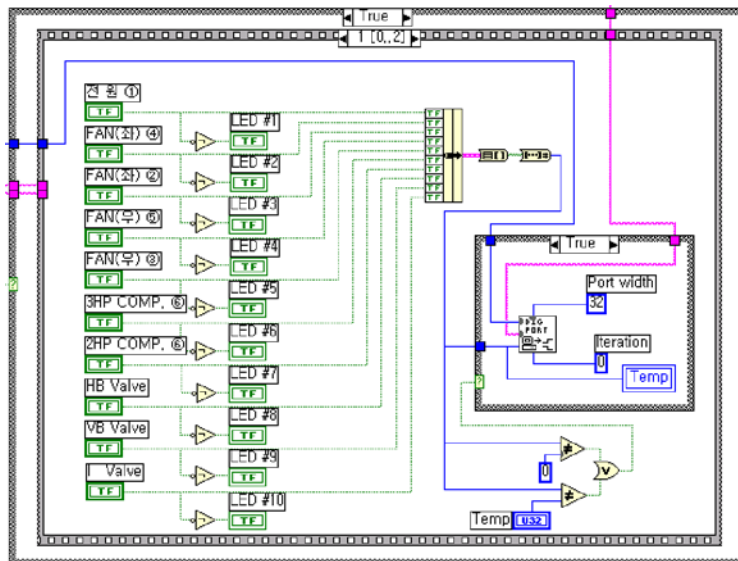


Fig. 4-9 On/Off control block diagram

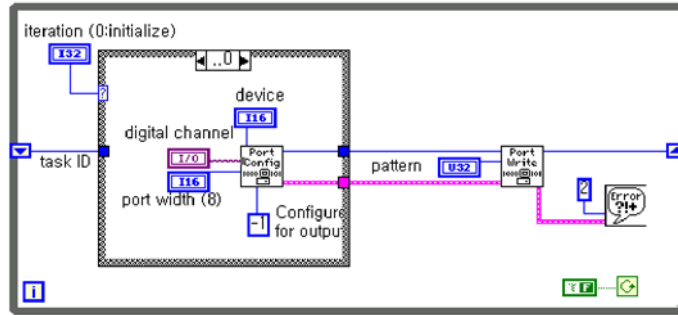


Fig. 4-10 Block diagram of hardware interface

4.2.1.3 전자팽창밸브 구동 화면

Fig. 4-11에 보듯이 전자팽창밸브 구동 화면은 설정 개도값으로 전자팽창밸브를 제어하는 기능과 제어 과정에서 스텝모터 구동형 전자팽창밸브의 특성상 발생할 수 있는 히스테리시스나 슬립 등과 같은 위치인식 문제로 인한 성능 저하에 대처할 수 있도록 개별적인 초기화 기능을 가지고 있다. Fig. 4-12에 나타난 제어 블록 다이어그램은 전자팽창밸브를 설정 개도값으로 제어하는 역할을 한다.



Fig. 4-11 Control display of electronic expansion valve

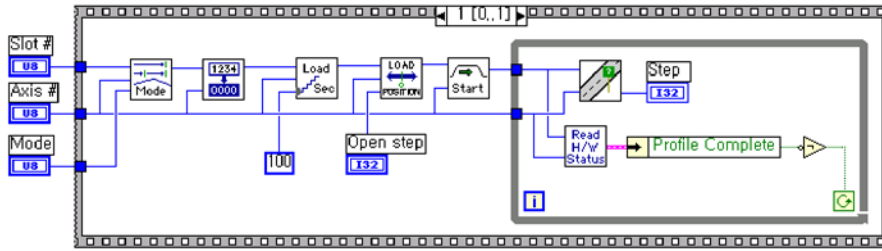


Fig. 4-12 Control block diagram for electronic expansion valve

4.2.1.4 디스플레이

Fig. 4-13은 데이터 디스플레이로서 전자팽창밸브의 개도 스텝과 서미스터로 측정되는 온도값들을 디스플레이한다. 각 실내 챔버온도 및 증발기 입·출구 온도 수집을 위해 설치된 서미스터에 의해 측정된 32개의 온도값을 2개의 창에 16개씩 분할하고 창 변환 스위치를 통해 선택적으로 디스플레이하며 이 기능을 수행하는 블록다이어그램을 Fig. 4-14에 나타내었다. Fig. 4-15는 아날로그 입력 모듈의 채널을 10 Hz로 시분할하여 데이터를 수집하는 블록다이어그램을 나타내었다.

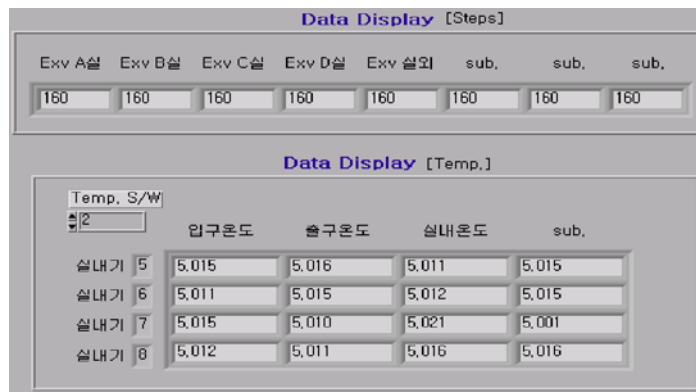


Fig. 4-13 Data display

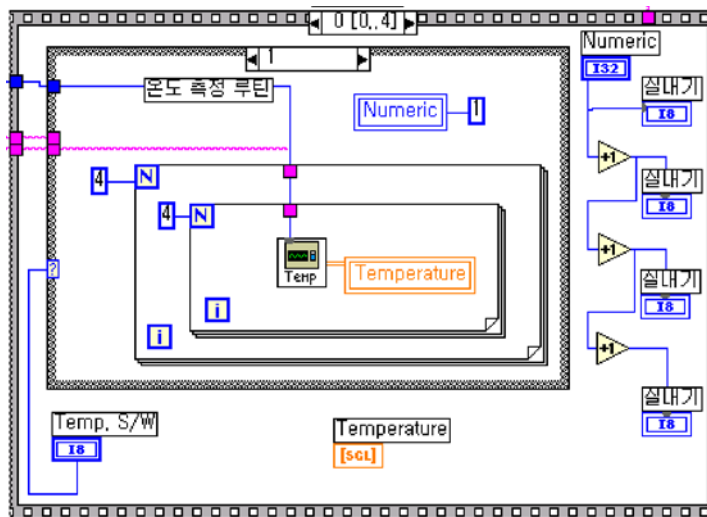


Fig. 4-14 Block diagram for temperatures measurement

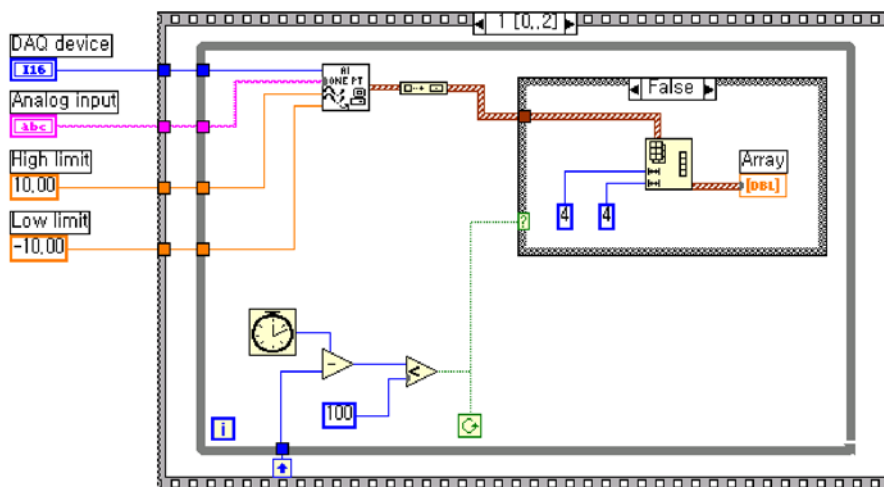


Fig. 4-15 Block diagram for real-time data acquisition

제 5 장 전자팽창밸브의 정적 및 동적 실험

제어의 주요 목적중의 하나는 과도상태를 줄이고 시스템을 안정화시키는 것이다. 이를 위해서는 시스템의 동적 거동을 나타낼 수 있는 시뮬레이션 프로그램이 필요하다. 다시 말해 정상상태 도달 전, 시스템의 과도상태에 대한 표현이 가능한 프로그램이 구성되어야 제어 목적중의 한가지인 과도 상태를 줄일 수 있는 제어 알고리즘이 제대로 구현되었는지 확인할 수 있다. 따라서, 동적 시뮬레이션 프로그램을 개발하기 위해서는 시스템을 구성하고 있는 주요 부분에 대한 세부적인 동적모델이 요구된다. 즉, 주요 부분의 입력에 대한 출력의 관계를 나타내는 모델이 필요하게 된다. 이를 구하기 위해 각각의 구성요소에 대한 동특성 실험이 필요하며 정확한 동특성이 파악된 후 전체 시스템의 효과적인 제어를 위한 알고리즘 개발이 가능하게 되며, 추가적인 알고리즘 개발과 통합적인 시스템 제어가 가능하게 된다. 따라서, 본 장에서는 텐덤형 멀티 히트펌프의 구성요소 중 다양한 실내 부하 요구에 민첩하게 대응할 수 있는 전자팽창밸브에 대한 정적 및 동적 실험을 수행하였다.

5.1 전자팽창밸브의 정상 상태 실험

냉방 표준 조건⁽¹²⁾ 하에서 정격 용량 3500 kcal/h의 실내기 1대와 5686 W 압축기 1대를 가동 한 후 전자팽창밸브의 개도 변화를 135 스텝에서 210 스텝까지 5 스텝씩 변화를 주면서 정상상태에 도달한 후 전자팽창밸브의 개도량에 따른 과열도 변화 실험을 수행하였다.

Fig. 5-1은 정상 상태에서의 전자팽창밸브 개도량에 따른 과열도를 보여준다.

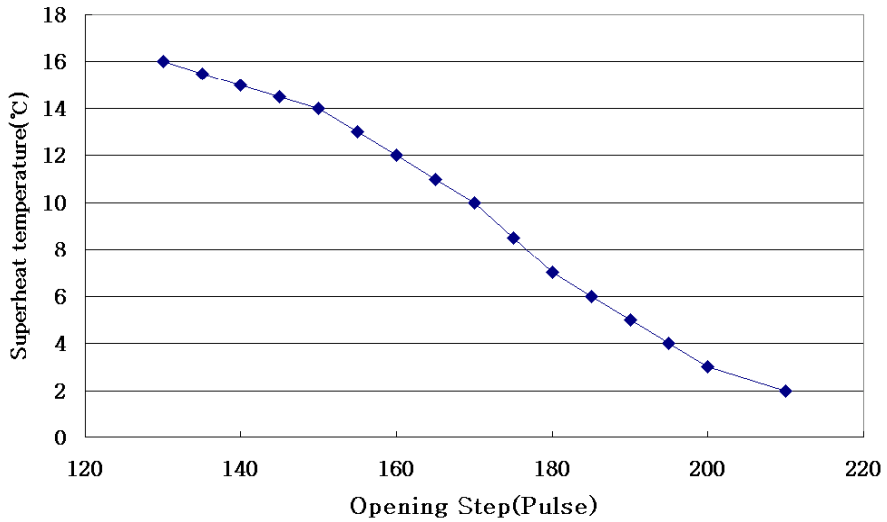


Fig. 5-32 Superheat temperature w.r.t valve opening step

5.2 동적 상태 실험

시스템의 과열도 동적 모델은 식(1)과 같이 시간 지연을 갖는 1차 시스템으로 가정할 수 있으며

$$\frac{\Delta SH}{\Delta CO} = \frac{K e^{-T_d s}}{\tau s + 1} \quad (1)$$

여기서 ΔSH 는 과열도 변화량, ΔCO 는 전자팽창밸브의 개도 신호

변화량을 의미하며, K 는 정상상태 계인, τ 는 시정수, T_d 는 시간지연을 의미한다.

정의된 과열도 동적 모델의 파라미터를 구하기 위하여 전자팽창 밸브의 개도를 130 스텝에 고정하고 시스템 과열도가 정상상태에 도달한 후 개도 신호를 185 스텝으로 계단 변화하여 그 때의 과열도, 유량 및 압력 변화를 측정하였으며 그 때의 결과를 Fig. 5-2, Fig. 5-3, Fig. 5-4에 나타내었다. 개도 계단 변화에 따라 과열도의 동적 파라미터는 Fig. 5-2에서와 같이 시간 지연 2.3초, 시정수 23.1초, 정착 시간 95초를 가지며 과열도는 16℃에서 4℃로 변화하였으며 그 때의 냉매 유량 변화를 Fig. 5-3에 나타내고 있으며 냉매 유량은 48 kg/h에서 73.5 kg/h로 급격히 변화하였다. Fig. 5-4는 그 때의 압력 변화를 나타내고 있으며 저압은 시간 지연 4.6초, 시정수 11.6초를 가지며 3.2 kg/cm²에서 4.5 kg/cm²로 상승하였다. 반면, 고압은 시간 지연 9.2초, 시정수 46.2초를 가지며 14.7 kg/cm²에서 15.9 kg/cm²로 상승함을 나타내었다.

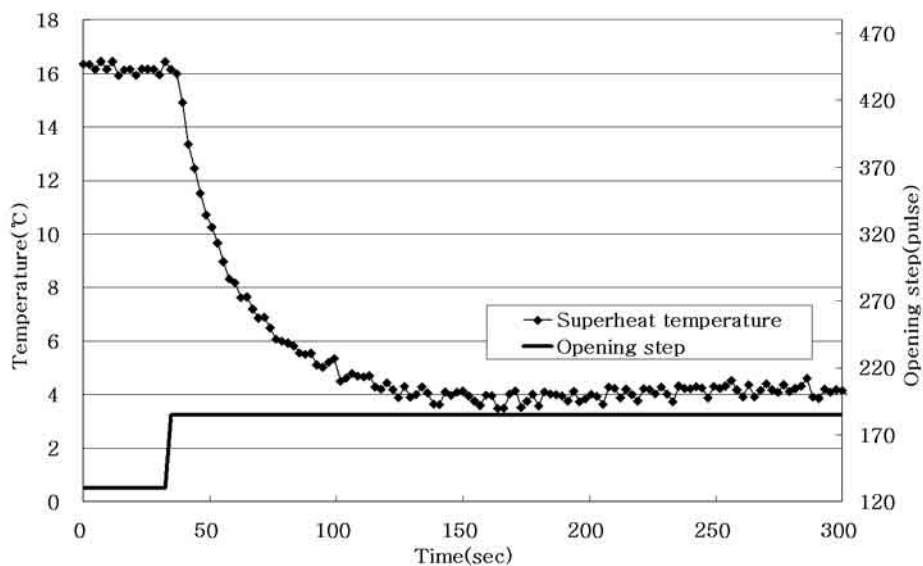


Fig. 5-2 Superheat temperature for the valve opening

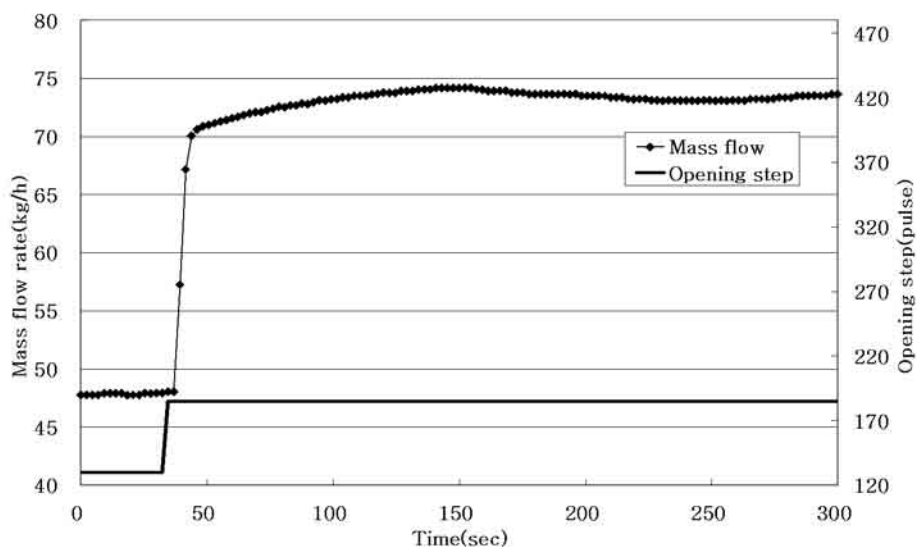


Fig. 5-3 Mass flow rate for the valve opening

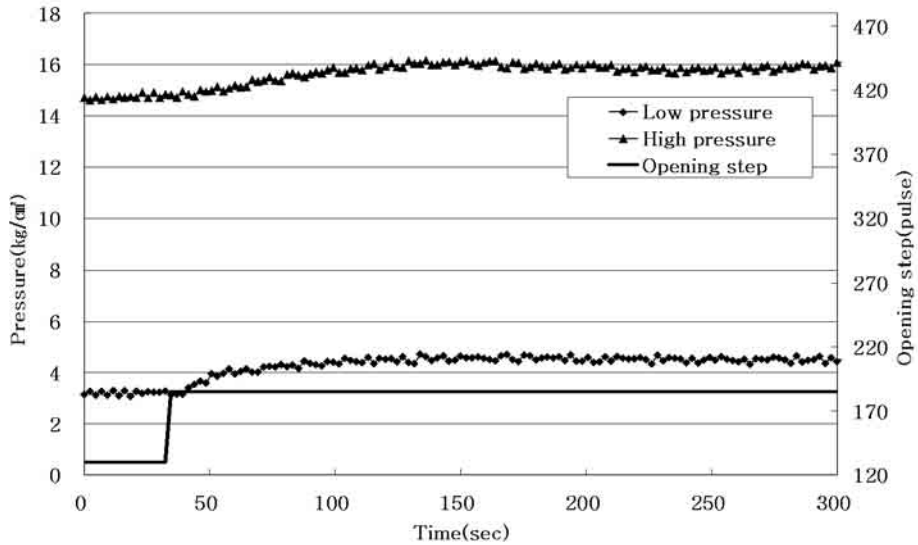


Fig. 5-4 Pressure for the valve opening

전자팽창밸브의 개도를 185 스텝에 고정하고 시스템 과열도가 정상상태에 도달한 후 개도 신호를 130 스텝으로 계단 변화한 경우 과열도, 유량 및 압력 변화를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 5-5, Fig. 5-6, Fig. 5-7에 나타내었다. 개도 계단 변화 실험에 따른 과열도 동적 파라미터는 Fig. 5-5에서와 같이 시간 지연 2.3초, 시정수 58.4초, 정착 시간 152초를 가지며 과열도는 4℃에서 15.5℃로 변화하였으며 Fig. 5-6은 그 때의 냉매 유량 변화를 나타내고 있으며 냉매 유량은 73.4 kg/h에서 48 kg/h로 급격히 변화하였다. Fig. 5-7은 그 때의 압력 변화를 나타내고 있으며 저압은 시간 지연 4.6초, 시정수 27.7초를 가지며 4.7 kg/cm²에서 3.2 kg/cm²로 하강하였다. 반면, 고압은 시간 지연 7초, 시정수 53초를 가지며 16.1 kg/cm²에서 15.1 kg/cm²로 하강함을 나타내었다.

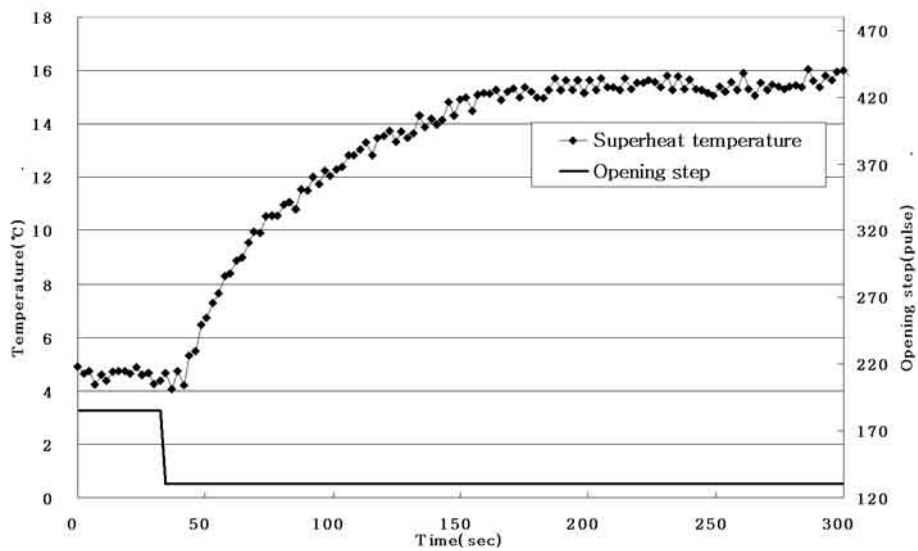


Fig. 5-36 Superheat temperature for the valve closing

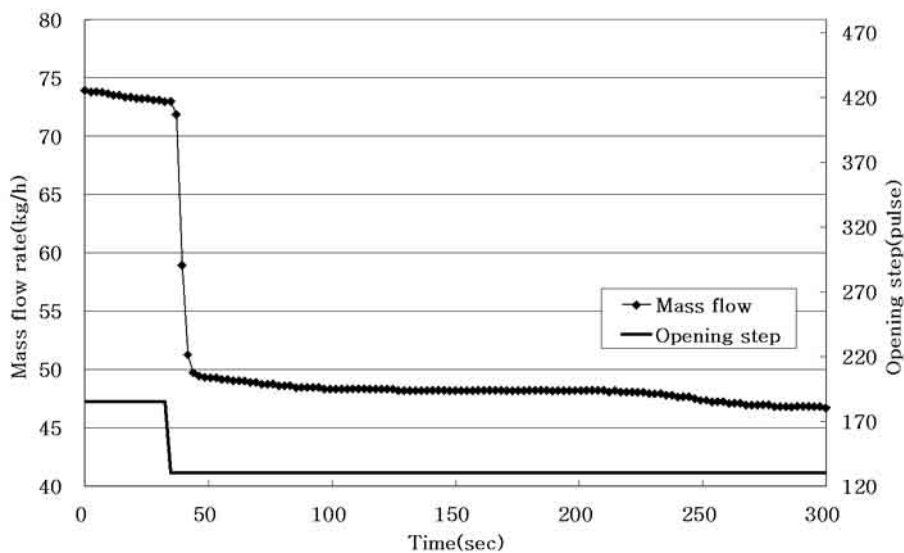


Fig. 5-6 Mass flow rate for the valve closing

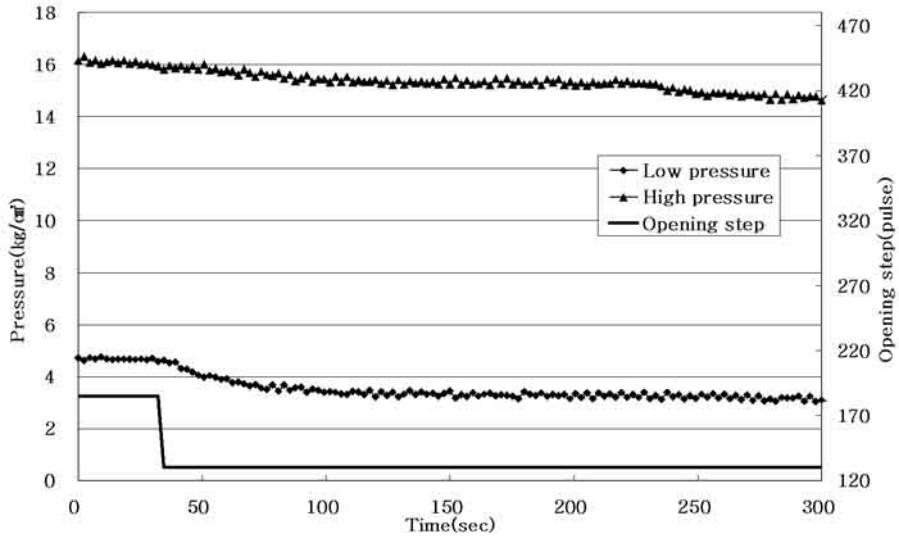


Fig. 5-38 Pressure for the valve closing

전자팽창밸브의 개도 증가와 감소시에 따른 Fig. 5-2, Fig. 5-5의 실험결과로부터 시스템의 과열도 동적 모델과, Fig. 5-4, Fig. 5-7의 실험결과로부터 시스템의 압력 변화에 대한 동적 모델을 구한 정상 상태 게인(K), 시정수(τ), 시간지연(T_d)에 대한 각각의 제어 변수 값을 Table. 5-1, Table. 5-2에 나타내었다.

Table. 5-1 Dynamic parameter of superheat temperature

	Time constant (τ , sec)	Gain (K , $^{\circ}\text{C}$)	Time delay (T_d , sec)
Opening	23.1	12	2.3
Closing	58.4	11.5	2.3

Table. 5-2 Dynamic parameter of pressure

		Time constant (τ , sec)	Gain (K , kg/cm ²)	Time delay (T_d , sec)
Opening	High	46.2	1.2	9.2
	Low	11.6	1.3	4.6
Closing	High	53	1	7
	Low	27.7	1.5	4.6

실험 결과에서 전자팽창밸브 개도 감소 시 시스템 동적 반응은 과열도와 압력 반응보다 냉매 유량이 빠르게 반응하여 개도 증가 시와 유사한 경향을 나타내고 있다. 또한, 전자팽창밸브 개도 계단 변화에 따른 증발기 과열도 응답 시정수는 냉매 유량이 증가할 때가 감소할 때보다 35초 짧다. 이러한 증발기 과열도 동적 반응의 차이는 전자팽창밸브 개도 증가와 감소 시 냉매 유량 변화와 액-가스의 불연속 마찰로 인하여 발생하는 것으로 판단되어 전자팽창밸브의 제어 시 고려하여야 한다.

제 6 장 과열도 제어 알고리즘 및 성능 실험

멀티 히트 펌프의 과열도를 제어하기 위해 설정 과열도와 측정 과열도의 차를 사용하여 전자팽창밸브를 개폐함으로써 실내 부하에 따른 냉매 유량을 제어한다. 과열도 제어 시 전자팽창밸브의 비선형성인 히스테리시스로 인한 과열도 오실레이션과 정상 상태 에러가 발생하며 이러한 제어 성능 저하를 방지하기 위하여 시스템의 주기 및 진폭을 고려하여 밸브 제어 신호에 일정한 진폭의 고주파 신호인 디더 신호를 첨가하여 시스템의 과열도 제어 성능을 향상시킨다.

6.1 과열도 제어

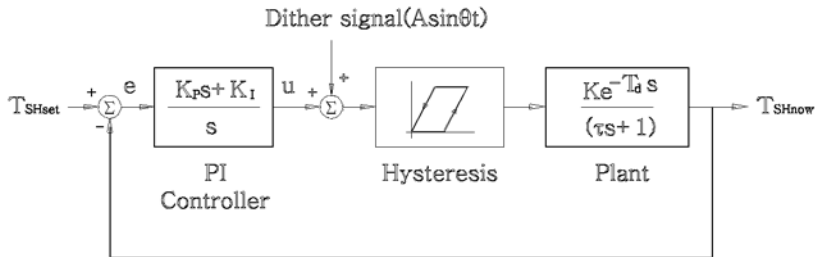


Fig. 6-1 PI algorithm with dither signals

Fig. 6-1은 전자팽창밸브의 히스테리시스를 고려한 과열도 제어 시스템을 나타내고 있다. 그림에 보듯이 플랜트인 증발기의 동적 모델로 식(1)과 같이 시간 지연을 갖는 1차 시스템으로 가정하였으며

$$G(s) = \frac{\Delta SH}{\Delta CO} = \frac{K_E e^{-T_d s}}{\tau s + 1} \quad (1)$$

여기서 ΔSH 는 과열도 변화량, ΔCO 는 전자팽창밸브의 개도 변화량을 의미하며 전자팽창밸브의 동적 실험을 통하여 정상 상태 게인(K_E), 시상수(τ), 시간 지연(T_d)을 각각 9, 22.5초, 3초로 선택하였다. 사용된 제어 알고리즘으로 식(2)와 같은 PI 제어기를 선택하였으며

$$D(s) = K_P + \frac{K_I}{s} \quad (2)$$

여기서 비례 게인(K_P)과 적분 게인(K_I)은 Ziegler-Nichols 조정 방법을 사용한 후 제어 반응을 주시하면서 각각 7.5, 0.14로 조정하여 사용하였다. 전자팽창밸브의 히스테리시스로 인한 제어 성능 저하를 방지하기 위하여 디더 신호를 밸브 제어 신호에 첨가하여 사용하였다. 선택된 디더 신호는 진폭과 주파수를 1 step과 1 Hz로 선정하여 사용하였다.

6.2 실험 결과

과열도 제어 실험은 멀티형 히트펌프의 A실 실내기와 용량이 다른 A, B 실 두 대 실내기, 용량이 동일한 A, C실 두 대 실내기를 대상으로 비교 실험을 수행하였다. Fig. 6-2는 용량이 3500 kcal/h 인 A실 실내기의 설정 과열도를 5℃로 고정하고 실험한 결과를

보여 준다. 그림에서 보듯이 디더 신호를 적용하여 제어한 경우에는 240초까지의 초기 과도 영역에서 압축기로 액 냉매 유입을 방지하고 있음을 보여 준다. Fig. 6-3과 Fig. 6-4는 240초 이후 안정 상태의 과열도 데이터를 푸리에 변환하여 주파수 분석 결과를 비교한 것으로 PI 제어 실험에서는 과열도 특성 주파수의 주기와 진폭이 125초, 0.783℃로 나타났다. 이와 비교해 디더 신호를 적용하여 실험한 경우에는 과열도 특성 주파수의 주기와 진폭이 73초, 0.21℃로 73%의 진폭 저감 효과와 동시에 주기가 52초 단축되었음을 보여 준다. 이 때의 디더 신호를 적용하지 않은 경우의 A실 실내기 과열도와 전자팽창밸브의 개도는 각각 4.09~5.97℃, 180~198 step 에서 제어되는 반면에 디더 신호를 적용한 경우에는 과열도와 밸브 개도는 각각 4.33~5.6℃, 175~187 step 에서 제어되고 있음을 보여 준다.

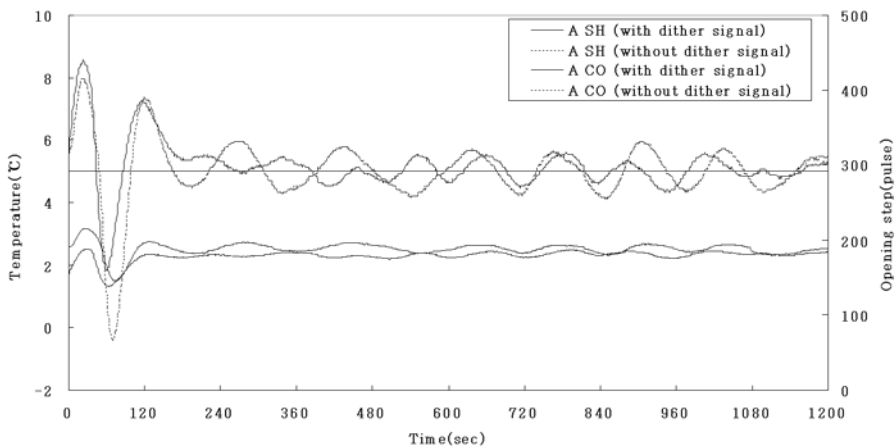


Fig. 6-2 Superheat temperature control(Unit A)

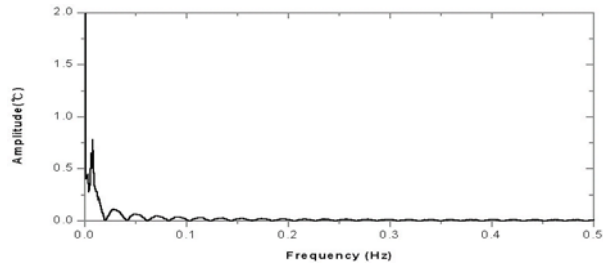


Fig. 6-3 Frequency analysis without dither signal(Unit A)

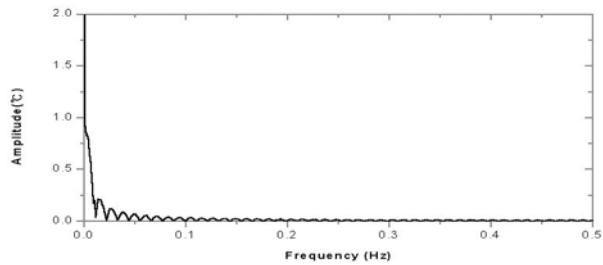


Fig. 6-4 Frequency analysis with dither signal(Unit A)

Fig. 6-5와 Fig. 6-6은 용량이 3500 kcal/h인 A실 실내기와 용량이 1800 kcal/h인 B실 실내기의 설정 과열도를 5°C로 고정하고 실험한 결과로 디더 신호의 영향으로 한 대 실내기 과열도 제어와 동일하게 240초까지의 초기 과도 영역에서 압축기로 액냉매 유입을 방지하고 있음을 보여 준다. Fig. 6-7에서 Fig. 6-10까지는 240초 이후 안정 상태의 과열도 데이터를 푸리에 변환하여 주파수 분석 결과를 비교한 것으로 PI 제어 실험에서는 A실과 B실의 과열도 특성 주파수의 주기와 진폭이 118초, 0.637°C와 122초, 0.565°C로 나타난 반면에 디더 신호를 적용하여 실험한 경우에는 특성 주파수의 주기와 진폭이 136초, 0.595°C와 105초, 0.521°C로

6.6%와 7.8%의 진폭 저감 효과가 있음을 보여 준다. 이 때의 디더 신호를 적용하지 않은 경우의 A실과 B실 실내기 과열도와 전자팽창밸브의 개도는 각각 4.33~5.91℃, 162~178 step와 4.47~5.62℃, 124~136 step에서 제어되는 반면에 디더 신호를 적용하여 실험한 경우에는 과열도와 밸브 개도는 각각 4.21~6.09℃, 155~172 step와 4.59~5.5℃, 121~129 step에서 제어되고 있음을 보여 준다.

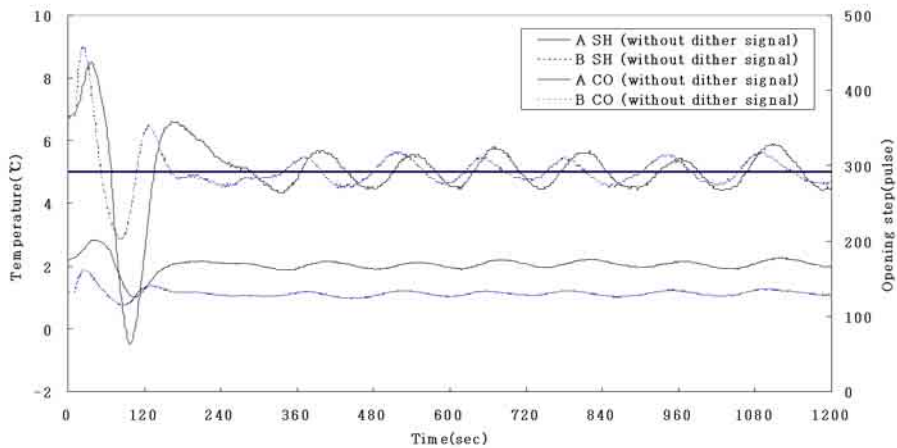


Fig. 6-5 Superheat temperature control without dither signal(Units A and B)

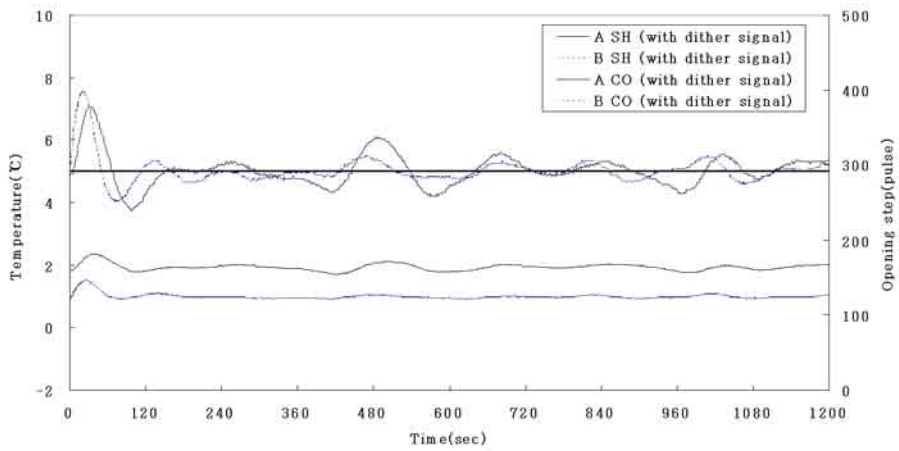


Fig. 6-6 Superheat temperature control with dither signal
(Units A and B)

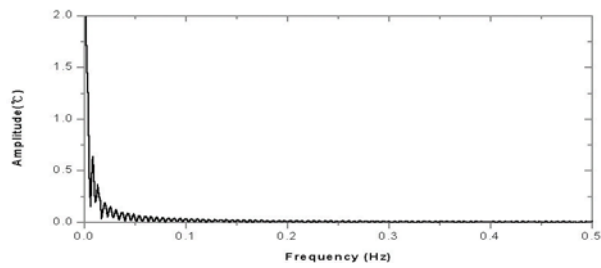


Fig. 6-7 Frequency analysis without
dither signal(Unit A)

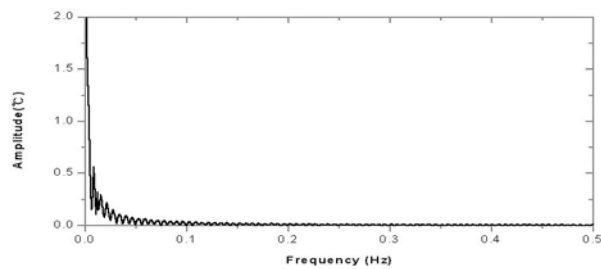


Fig. 6-8 Frequency analysis without
dither signal(Unit B)

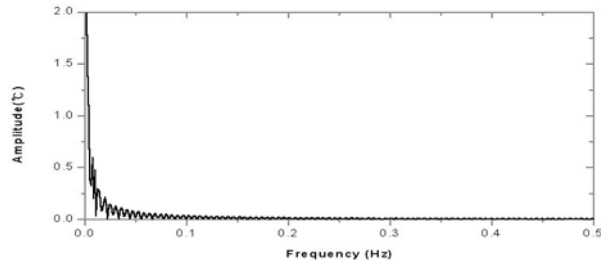


Fig. 6-9 Frequency analysis with dither signal(Unit A)

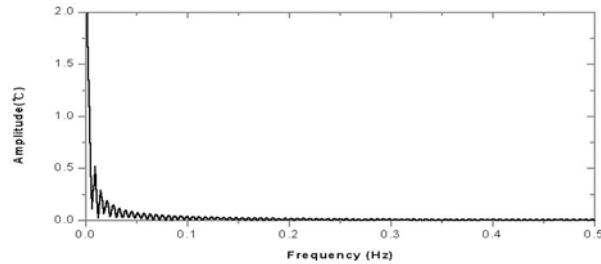


Fig. 6-10 Frequency analysis with dither signal(Unit B)

Fig. 6-11과 Fig. 6-12는 용량이 3500 kcal/h인 A실 실내기와 동일 용량의 C실 실내기의 설정 과열도를 5°C로 고정하고 실험한 결과로 디더 신호의 영향으로 240초까지의 초기 과도 영역에서 압축기로 액 냉매 유입을 방지하고 있음을 보여 준다. Fig. 6-13에서 Fig. 6-16까지는 240초 이후 안정 상태 과열도 데이터를 푸리에 변환하여 주파수 분석 결과를 비교한 것으로 PI 제어 실험에서는 A실과 C실 과열도 특성 주파수의 주기와 진폭이 122초, 0.684°C와 103초, 0.532°C로 나타난 반면에 디더 신호를 적용하여 실험한 경우에는 특성 주파수의 주기와 진폭이 153초, 0.53°C와

120초, 0.51°C 로 22%와 4%의 진폭 저감 효과가 있음을 보여 준다. 이 때의 디더 신호를 적용하지 않은 경우의 A실과 C실 실내 기 과열도와 전자팽창밸브의 개도는 각각 $3.97\sim 5.97^{\circ}\text{C}$, 160~176 step과 $4.24\sim 6.48^{\circ}\text{C}$, 133~151 step에서 제어되는 반면에 디더 신호를 적용한 경우 과열도와 밸브 개도는 각각 $4.33\sim 6.02^{\circ}\text{C}$, 136~159 step과 $4.5\sim 5.8^{\circ}\text{C}$, 133~149 step에서 제어되고 있음을 보여 준다.

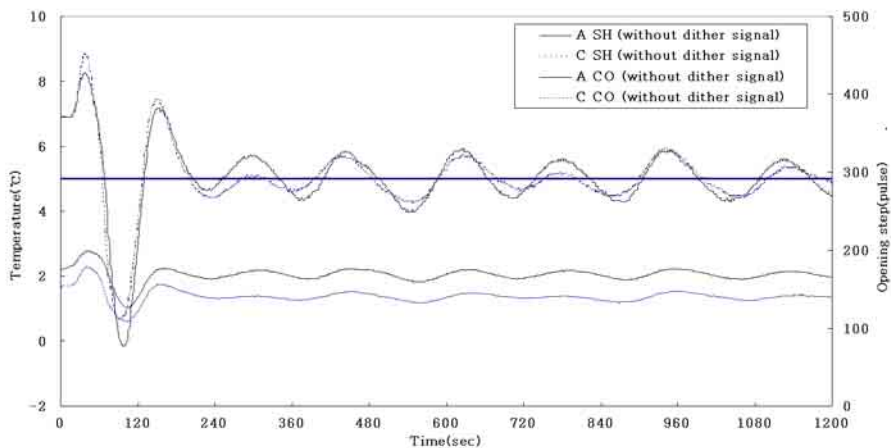


Fig. 6-11 Superheat temperature control without dither signal(Units A and C)

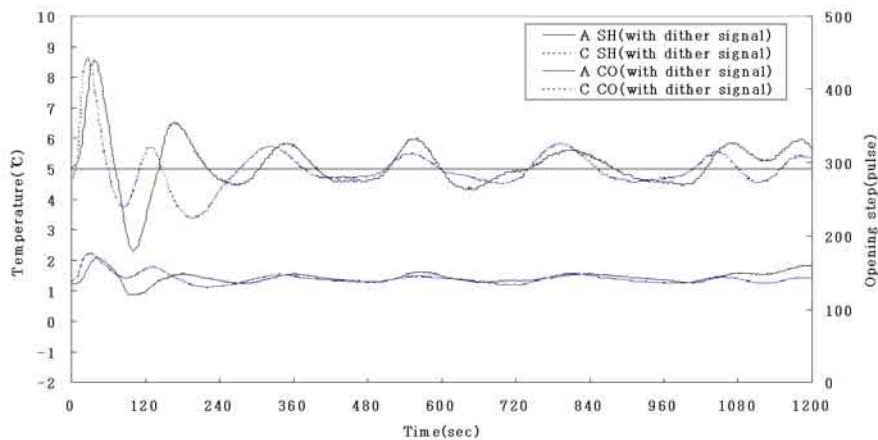


Fig. 6-12 Superheat temperature control with dither signal
(Units A and C)

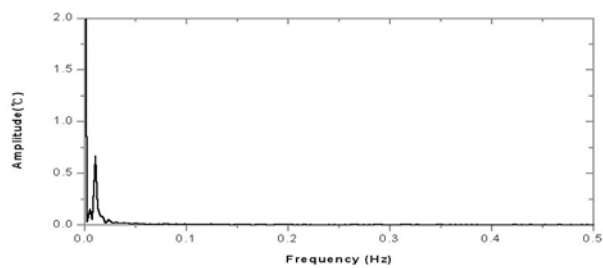


Fig. 6-13 Frequency analysis without
dither signal(Unit A)

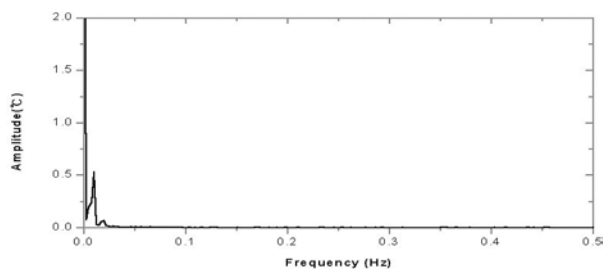


Fig. 6-14 Frequency analysis without
dither signal(Unit C)

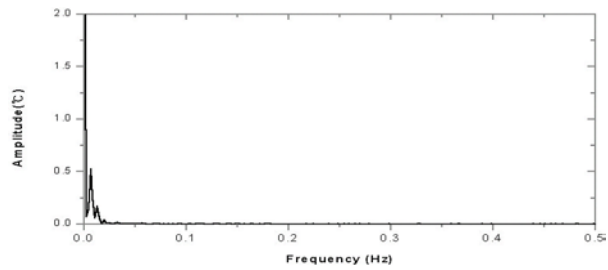


Fig. 6-15 Frequency analysis with dither signal(Unit A)

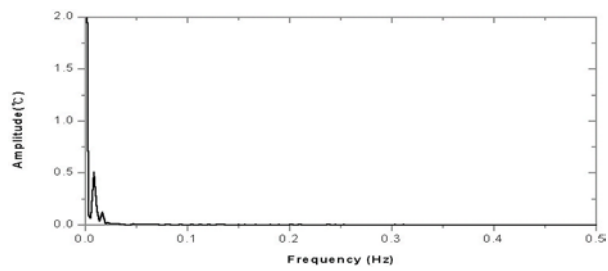


Fig. 6-16 Frequency analysis with dither signal(Unit C)

제 7 장 결 론

멀티형 히트펌프에서 디더 신호를 이용한 전자팽창밸브 과열도 제어 실험을 통하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) PI 알고리즘을 사용한 과열도 제어 실험에서 시스템의 비선형성으로 인한 주기적인 오실레이션이 발생함을 실험을 통해 확인하였다.
- (2) PI 알고리즘에 적절한 디더 신호를 첨가하여 제어함으로써 한 대 실내기 과열도 제어 시 73%로 진폭 저감 효과가 있으며 두 대 실내기 과열도 제어 시 약 10%로 진폭 저감 효과가 있음을 확인하였다.
- (3) 따라서 디더 신호를 첨가한 PI 알고리즘을 과열도 제어에 적절히 사용할 수 있음을 확인하였다.

Reference

1. Jia, X., Tso, C. P., and Chia, P. K., 1995, A Distributed Model for Prediction of the Transient Response of an Evaporator, *Int. J. Refrigeration*, Vol. 18, pp. 336–342.
2. Outtagarts, A., 1997, Electronically Operated Evaporator Response, *Int. J. Energy Res.*, Vol. 2, pp. 221–232.
3. Finn, P. D., and Cormac, J. D., 2000, Control and Optimization Issues Associated with Algorithm-Controlled Refrigerant Throttling Devices, *ASHRAE Transactions*, Vol. 106, Pt. 1, DA-00-4-2.
4. Jolly, P. G., Tso, C. P., and Chia, P. K., 2001, Intelligent Control to Reduce Superheat Hunting and Optimize Evaporator Performance in Container Refrigeration, *ASHRAE Transactions*, Vol. 107, Pt. 1.
5. Tassou, S. A., and Al-Nizari, H. O., 1995, Investigation of the Effects of Thermostatic and Electronic Expansion Valve on the Steady-State and Transient Performance of Commercial Chillers, *Int. J. of Refrigeration*, Vol. 16, pp. 49–56.
6. Van Der Meer, J. S., and Touber, S., 1986, Influence of the Expansion Valve on the Evaporator Performance. *Int. Institute of Refrigeration*, pp. 71–79.
7. Higuchi, K., 1986, Electronic Expansion Valve and Control, *Japanese Association Refrigeration*, Vol. 61, No. 701, pp. 1–8.
8. Wallen, A., 1997, Valve Diagnostics and Automatic Tuning,

- Proceeding of the American Control Conference, pp. 2930-2934.
9. Han, D., 2000, Dynamic Model of the Electronic Expansion Valve for the Development of Superheat Temperature Control Algorithm, Proceedings of SAREK, pp. 1343-1347.
 10. Kwon, H. J., 2000, 가변 압축기를 사용한 멀티형 냉방시스템의 설계 및 제어에 관한 연구, 국민대학교 박사학위논문.
 11. Han, D., and Kim, K. H., 1998, Design and Control of Dynamic Environmental Chamber, Proceedings of the SAREK, pp. 656-661.
 12. Korean Standards Association, 1985, KS B 6369 Package Air Conditioner Test Manual, Korean Standards.

Abstract

The Superheat Temperature Control of EXV for Multi-type Heat Pump by Using the Dither Signal

by Soohwan Pyo

*Dept. of Mechanical Engineering
Graduate School, Kookmin University
Seoul, Korea*

(Directed by professor Doyoung Han Ph. D.)

The electronic expansion valve(EXV) may be used to control the refrigerant flow rate for the multi-type heat pump. EXV using a stepping motor may precisely control the refrigerant flow rate to meet each internal load requirement. To control the EXV, PI algorithm may be used. But the hysteresis of EXV deteriorates the performance of superheat temperature control. To reduce the performance degradation, a PI controller along with the dither signal, whose frequency is higher than the system crossover frequency, may be used. For the superheat temperature control of EXV, dither signals were used. Test results show the effectiveness of the dither signal added to the PI algorithm.