

퍼지 알고리즘을 이용한 시스템 에어컨의 냉매충전량 감지 프로그램 개발

태 상 진, 최 창 식*, 김 훈 모**, 조 금 남**, 문 제 명, 김 종 업, 권 형 진
삼성전자 시스템가전사업부, *성균관대학교 대학원, **성균관대학교 기계공학부

Program Development for Detecting Charged Refrigerant Amount in System Air-Conditioner using Fuzzy Algorithm

S. J. Tae, C. S. Choi*, H. M. Kim**, K. Cho**, J. M. Moon, J. Y. Kim, H. J. Kwon

System Appliances Division, Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon 443-742, Korea

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

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

(Received October 17, 2005; revision received January 12, 2006)

ABSTRACT: This study developed a program for detecting charged refrigerant amount in system air-conditioner. System air-conditioner is an air-conditioning system with multiple indoor units. Due to the complexity of the system, it is more difficult to detect the refrigerant amount charged in the system air-conditioner than in a general single air-conditioner. Experiments were performed for a 6HP outdoor unit with 3 indoor units in a psychrometric calorimeter. The experimental amount of the charged refrigerant was ranged from 60% to 140% with 10% increasement. Fuzzy algorithm was employed for detecting the charged refrigerant amount in the system air-conditioner. The experimental data were used for curve-fitting for the general ranges of indoor and outdoor temperature conditions. Membership function was determined for the whole ranges of experimentally measured data and rule-bases were defined for each charged refrigerant amount. Developed program successfully predicted the measured data within 10% resolution range.

Key words: Charged refrigerant amount(냉매충전량), System air-conditioner(시스템 에어컨), Fuzzy algorithm(퍼지 알고리즘)

1. 서 론

시스템 에어컨은 공조공간 및 공조수요의 확대와 함께 고효율, 고성능화를 추구하는 현대 공조기기 시장에서 가장 획기적이며 효율성 높은 차

세대 공조시스템으로 주목받고 있다. 시스템 에어컨은 한 대의 실외기로 여러 대의 실내기를 부하에 따라 용량 가변운전할 수 있으며, 사용자의 요구에 따라 1실 운전부터 전실 운전까지 다양한 부하에 대응할 수 있고, 또한 이러한 부하범위에서 가장 효율적인 냉난방 성능을 발휘할 수 있다. 이러한 시스템 에어컨은 설비의 대형화에 따라 냉매충전량이 일반 팩키지 에어컨에 비해 매우 많고 운전조건에 따라 사이클 특성이 크게 달

† Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7500; fax: +82-31-290-7666

E-mail address: kimhm@me.skku.ac.kr

라지므로, 적정 냉매충전량의 판별과 현장 설치시스템의 냉매 부족 또는 과충전시 이를 실시간으로 판독하고 대응할 수 있는 기술이 요구된다.

냉동기에 대한 일반적 고장 특성 및 검출을 위한 연구들로 Rossi and Braun⁽¹⁾과 Breuker and Braun⁽²⁾은 운습도 측정과 통계적인 분석을 통하여 증기압축식 에어컨의 Rule-based FDD 모델을 연구하였고, 패키지 에어컨에서 자주 발생하는 고장에 대한 특성을 조사하여 시스템의 성능을 평가하고 통계적인 Rule-based 고장 검출모델을 적용하였다. Han et al.⁽³⁾은 시스템 에어컨의 고장 모사장치를 개발한 후 이를 사용하여 냉매누설, 실내기 팬고장, 응축기 오염고장에 대한 특성을 파악하고자 하였으며, 이외에도 냉방기에 대한 고장검출을 위하여 다양한 알고리즘을 적용한 연구를 수행하였다.⁽⁴⁻⁷⁾

그러나, 시스템 에어컨은 설계조건 및 운전조건에 따라 그 운전 특성이 매우 다르고, 또 고장시에 나타나는 시스템의 운전 특성도 고장의 원인 및 현상에 따라 일반화된 알고리즘으로는 그 적용에 한계가 있다. 또한, 최근에는 대체냉매(R-410A) 상용화에 따른 냉매충전량의 절감, 고효율화를 위해 수액기(receiver)를 제거한 사이클 특성에 대한 연구가 국내외적으로 진행되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 R-22 냉매를 사용한 기준

시스템 에어컨 모델에 대하여 다양한 실내의 온도조건에 대한 냉매충전량별 운전 특성 및 수액기 유무에 따른 영향을 실험적으로 조사하고, 이에 퍼지 알고리즘을 적용한 냉매충전량 판독 프로그램을 개발함으로써 다양한 운전조건에 대응한 냉매충전량 판독시스템을 개발코자 하였다.

2. 냉매충전량 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 냉난방 겸용 히트 펌프 시스템을 나타내고 있다. 실외기는 냉방 16 kW, 난방 18 kW 용량의 4 way 밸브를 이용한 냉난방 겸용 모델이며, 총 3대의 실내기를 연결하였다. 압축기는 PWM(pulse width modulation) 제어에 의해 용량을 조절하는 디지털 스크롤 압축기를 사용하였다.

실험조건으로서 실내의 온도조건과 냉매충전량을 변화시켜 실험하였으며, 전실 운전조건에서 데이터를 측정하였다. Table 1은 냉난방 각각의 온도조건을 나타낸다. 냉매충전량은 냉매충전량별 성능을 측정한 기존 데이터를 바탕으로 한 최적 냉매충전량(100%) 기준으로 60%에서 140%까지 10% 단위로 냉매충전량을 증가시키며 실험하였다.

측정변수는 응축 냉매온도(cond. temp.), 응축기 출구 냉매온도(subcool temp.), 압축기 출구 냉매

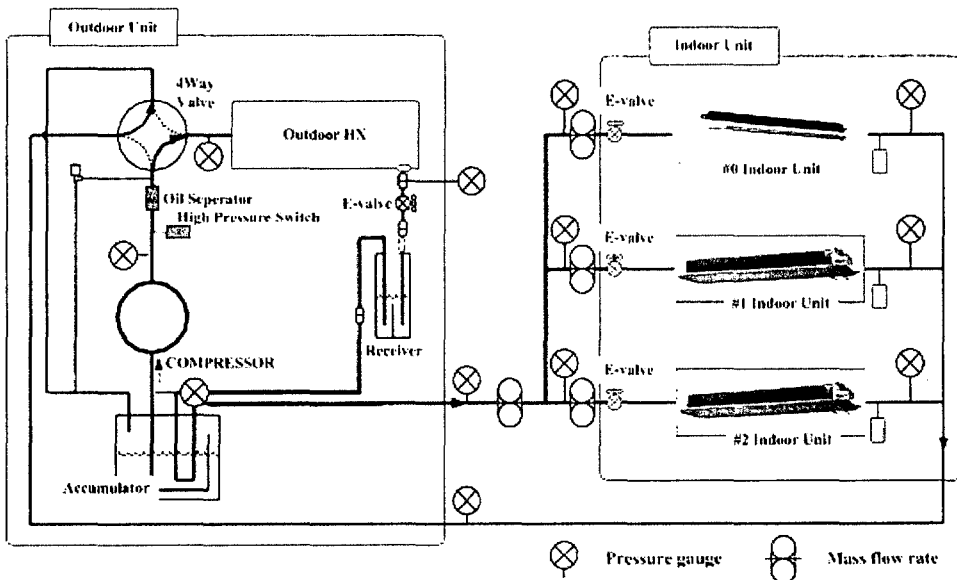


Fig. 1 Schematic diagram of test system.

Table 1 Indoor and outdoor temp. conditions

Mode	Indoor temp. (°C)	Outdoor temp. (°C)
Cooling	21	21
	21	35
	27	35
	27	43
	32	43
Heating	20	-10
	20	2
	20	7
	20	15

온도(discharge temp.), 저압(low pressure) 및 고압(high pressure) 등이다. 또한, 난방시에는 위의 변수 이외에 난방 전자팽창변 개도(exp. step)를 위 변수에 추가하였다. 이외에도 실내기 증발기의 입출구 온도, 실내기 전자팽창변 개도(EEV step) 등도 측정하였으나, 다양한 실내기 조합 및 설치 조건에 대응하기 위하여 실외기 내 측정변수만을 알고리즘 개발에 적용하였다. 시스템 기동 후 약 1시간 이후 시스템이 완전히 안정된 상태에서 정상상태 데이터를 계속하여 사용하였다.

3. 냉매충전량에 따른 시스템 운전 특성

본 연구에서는 냉매충전량 판독 알고리즘 개발을 위하여 다양한 냉매충전량 조건에 대한 실험 및 데이터 수집을 수행하였다. Fig. 2는 냉방시 실내온도 27°C, 실외온도 35°C의 표준조건(Fig. 2의 'COOL 27/35' 표시)에서 냉매충전량에 따른 실내기 전자팽창변 개도를 나타낸 것이다. 본 연구에 사용한 시스템 에어컨은 각 실내기의 냉매순환량을 전자팽창변(EEV)을 통해 자동으로 제어하도록 설계되어 있다. 전자팽창변은 각 실내기의 입구 냉매온도와 비교한 출구 냉매 과열도가 일정 범위에서 유지되도록 제어하기 때문에 같은 조건에서 순환냉매량이 줄어들면 전자팽창변 개도는 증가하고 순환냉매량이 증가하면 전자팽창변 개도는 감소하는 특성이 있다. 따라서, Fig. 2에서 보는 바와 같이 냉매충전량이 약 60%까지 감소하는 경우 전자팽창변 개도가 급격히 증가하는 것은 냉매충전량 감소에 따라 각 실내기로 유입되는 냉매순환량이 급격히 감소하는 것을 간접적으

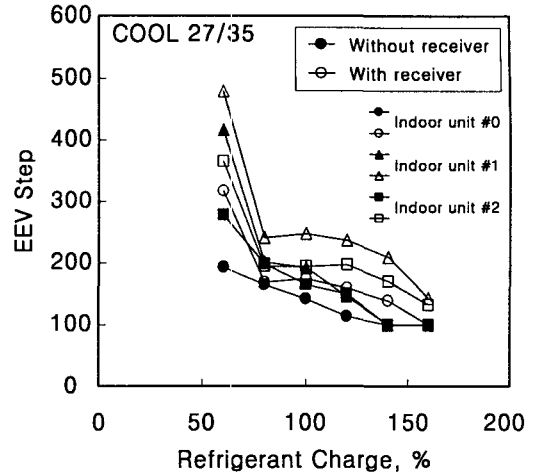


Fig. 2 Effect of charged refrigerant amount on EEV step of indoor unit.

로 보여주고 있다. 또한, 냉매충전량이 140% 이상 증가하는 경우 전자팽창변 개도는 감소하여 최소 개도수준까지 낮아지며, 이는 각 실내기로 유입되는 냉매순환량이 과잉되어 있음을 나타낸다.

그러나, 수액기가 있는 경우, 냉매충전량 80~120% 범위에서는 냉매충전량 변화에 따른 전자팽창변의 개도가 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 시스템 내 장착된 수액기가 냉매충전량 변화에 따라 수위를 조절하여 완충작용을 하기 때문으로 판단된다. 한편, Fig. 2에서 보는 바와 같이 수액기를 제거한 경우 전자팽창변 개도는 냉매충전량 80~120%에서도 냉매충전량에 따라 연속적으로 변화하는 것을 확인할 수 있다.

이와 같이 전자팽창변 개도는 냉매순환량과 충전량에 가장 민감하게 변화하는 변수로 판단되어 지나, 전자팽창변 개도를 냉매충전량 판독에 사용하는 데에는 몇 가지 문제점이 있다. 우선, 전자팽창변 개도는 냉매충전량에 따라서도 민감하게 변화하지만 다른 조건에 따라서도 매우 크게 변화하는 것으로 나타났다. 즉, 전자팽창변 개도는 본 연구의 실험변수인 실내외 온도조건 이외에도 본 연구에서는 일정값으로 고정한 실내기의 낙차, 배관 길이, 실내기 용량 및 부하율 등의 영향에 의해서도 매우 민감하게 변화할 것으로 예상되므로, 본 연구에서 냉매충전량 판단을 위한 변수로서는 적절치 못하다고 판단되었다.

Fig. 3은 냉매충전량에 따른 압축기 입구와 출

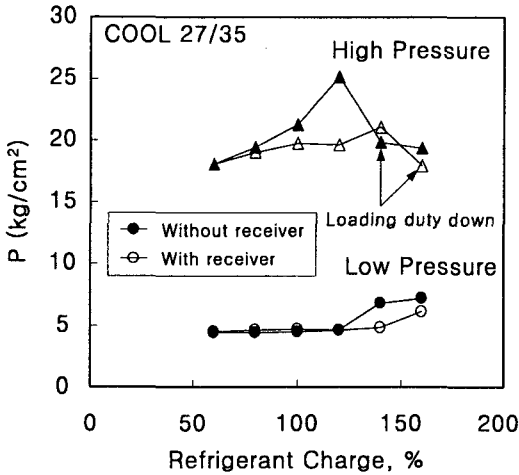


Fig. 3 Effect of charged refrigerant amount on high and low pressures.

구의 고압(high pressure) 및 저압(low pressure)을 나타낸 것이다. Fig. 2와 마찬가지로 수액기가 있는 경우와 없는 경우를 비교하여 나타냈다. 고압의 경우 수액기가 있는 경우 완충작용에 의해 80~120% 범위에서 큰 차이를 나타내지 않은 반면, 수액기가 없는 경우 냉매충전량에 따라 압축기 출구측 고압이 지속적으로 증가한 것을 알 수 있다. 냉매충전량 140% 이후 고압이 급격히 감소하는 경향을 나타낸 것은 고압이 일정 수준을 넘지 않도록 한 시스템 자체의 고압 제어나 실내기 용량에 따른 압축기 운전용 제어에 따른 것이다. 저압의 경우 수액기의 유무와 관계없이 냉매충전량에 따른 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 고압은 다른 변수와 비교하여 볼 때, 냉매충전량 판독의 주요 인자가 될 수 있으며 수액기가 있는 경우보다 수액기가 없는 경우 더 정확한 판독이 가능할 것으로 예상되었다.

Fig. 4는 난방의 경우 냉매충전량에 따른 난방 전자팽창변 개도(exp. step)를 나타낸 것이다. Fig. 2에 나타낸 냉방시 실내기의 전자팽창변 개도와 마찬가지로 냉매충전량 증가에 따라 난방 전자팽창변 개도는 지속적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 난방시에도 냉방시와 마찬가지로 냉매충전량 증가에 따라 냉매순환량이 증가하는 것을 보여준다. Fig. 4에서 수액기가 없는 경우, 수액기가 있는 경우에 비해 약 30% 정도 냉매가 과충전된 경향을 나타냈다. 이는 수액기가 제거된 경

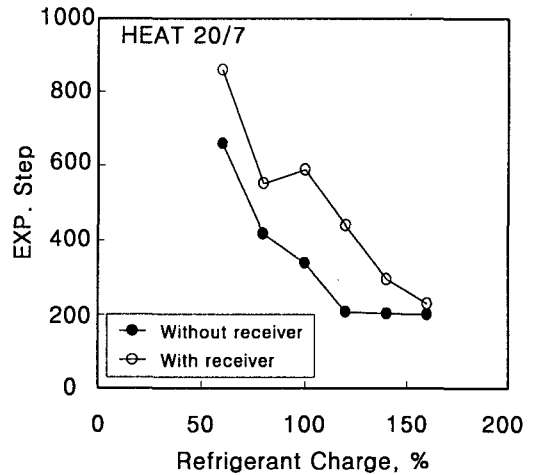


Fig. 4 Effect of charged refrigerant amount on expansion valve step (EXP. Step).

우에 수액기가 있는 경우와 같은 냉매량을 주입하였을 경우, 운전시 수액기에 저장되어 있던 냉매가 시스템에 과잉공급되어 나타나는 현상으로 파악되었다.

위의 결과들을 종합하여 볼 때, 수액기가 있는 경우 수액기의 수위조절에 의한 완충작용으로 인해 냉매충전량 80~120% 범위에서는 냉매충전량에 따른 시스템 운전 특성의 큰 차이를 나타내지 않았으나, 수액기를 제거한 경우 이러한 범위에서도 냉매충전량에 따른 운전 특성변화가 크게 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 수액기가 없는 경우 적정 냉매량을 산정하여 주입한 후 적정 냉매충전량 기준 60~140% 범위의 냉매충전량에 대해 다양한 온도조건에서 실험을 수행하여 데이터를 수집하였고, 이를 통해 냉매충전량 판독 알고리즘 및 프로그램을 개발하였다.

4. 냉매충전량 판독 알고리즘 개발

본 연구에서는 냉매충전량 판독 알고리즘 개발을 위하여 실험데이터를 바탕으로 각 냉매충전량별 curve fitting을 수행하여 실내, 외 온도조건에 따른 인자들의 변화 경향을 파악하였으며, 퍼지 규칙을 이용하여 정상구간(냉매충전량 90~110%)을 제외한 나머지 냉매충전량 판독범위에서 10% 단위로 냉매충전량을 판독할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

4.1 Curve fitting 모델

각 냉매충전량별 실내의 온도조건에 따른 측정 변수들의 변화경향을 파악하기 위하여 Table 1과 같이 실내, 실외 온도조건을 설정하여 냉매충전

량 60~140% 범위에서 10% 단위로 실험을 수행하였다. Figs.5~6는 냉매충전량 70% 상태에서 응축 냉매온도, 고압인자에 대해 curve fitting을 수행한 결과이다. Table 2는 냉매충전량 80%에 대한 curve fitting 모델을 나타내고 있다.

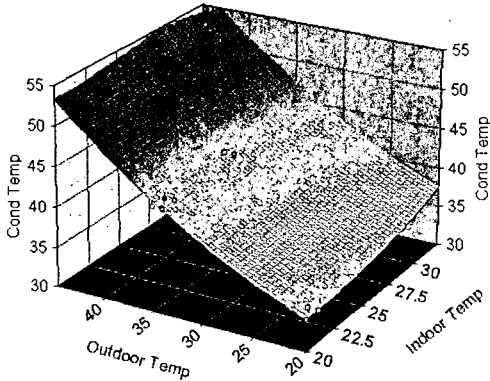


Fig. 5 Cond. temp. for refrigerant 70%.

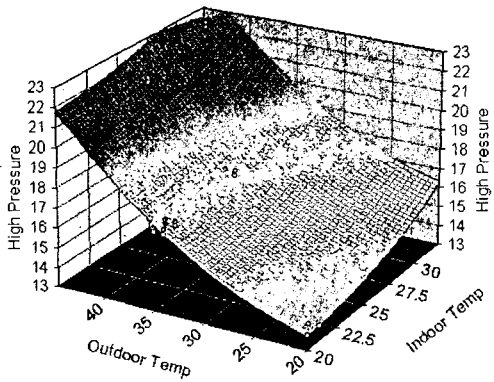


Fig. 6 High pressure for refrigerant 70%.

4.2 냉매충전량 판독 알고리즘

냉매충전량 판독 알고리즘 개발을 위해 퍼지 규칙을 이용하였으며 신뢰성 확보를 위하여 전문가 시스템 구현 전문 프로그램⁽⁸⁾을 이용하였다. 퍼지 규칙의 입력변수로는 Table 3의 냉매충전량 판독 인자와 실내 및 실외 온도를 사용하였다. 여기서 냉매충전량 판독인자는 알고리즘 개발 후 실제 현장 적용시에 발생할 수 있는 실내기 수 및 모델의 용량차이 등에 대한 문제점을 방지하기 위

Table 3 Variables for detection of charged refrigerant amount

Fault diagnosis variables	
Mode	Cond. temp.
	Discharge temp.
	Subcool temp.
Cooling	High pressure
	Low pressure
	Cond. temp.
	Discharge temp.
Heating	Subcool temp.
	Exp. step
	High pressure
	Low pressure

Table 2 Curve fitting model for refrigerant 80%

$$Y = C_0 + C_1X_1 + C_2X_1^2 + C_3X_2 + C_4X_2^2 + C_5X_3 + C_6X_3^2$$

X_1 = indoor temp., X_2 = Outdoor temp., X_3 = Comp. operating rate (%)

Y	Cond. temp.	Disch. temp.	Subcool temp.	Low press.	High press.
C ₀	99.7	110.6	111.0	75.1	79.8
C ₁	-6.58	42.7	-7.85	-0.815	-2.26
C ₂	1.79	-14.9	1.92	0.055	0.205
C ₃	0.122	-0.762	0.151	0.019	0.045
C ₄	-0.009	0.212	-0.010	-0.0002	0.003
C ₅	-5.46	-10.8	-5.41	-6.661	-6.26
C ₆	0.231	-0.316	0.210	0.173	0.201

Table 4 Membership for subcool temperature

Membership function	Temp. range (°C)
N2S	0~18
NS	17~21
S (Small)	20~24
N3M	23~27
N2M	26~30
NM	29~33
M (Middle)	32~36
PM	35~39
P2M	38~43
B (Big)	42~46
PB	45~50
P2B	49~54
P3B	53~59

Table 5 Membership for low pressure

Membership function	Pressure range (bar)
N2S	0~2.5
NS	2.4~3.1
S	3.0~3.5
NM	3.4~3.8
M	3.7~4.1
PM	4.0~4.4
B	4.2~4.6
PB	4.5~4.8
P2B	4.7~5.0
P3B	4.9~5.4
P4B	5.3~6.0
P5B	5.8~6.8
P6B	6.5~10.0

Table 6 Rulebase example for refrigerant 120%

Refrigerant detecting variables	Experimental data	Membership function
Indoor temp. : 27°C, Outdoor temp. : 35°C		
Cond. temp.	47~49°C	PB
Disch. temp.	103~106°C	PS
Subcool temp.	39~41°C	P2M
Low press.	4.0~4.4°C	PM, B
High press.	20.1~21.0°C	PB

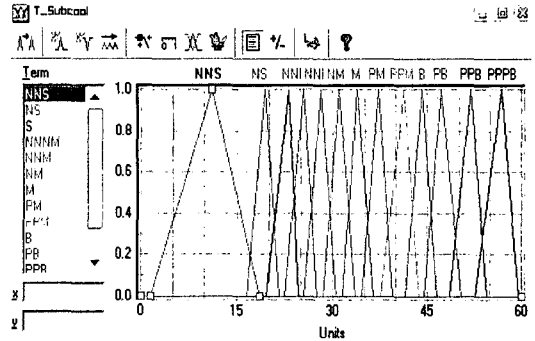


Fig. 7 Membership for subcool temp.

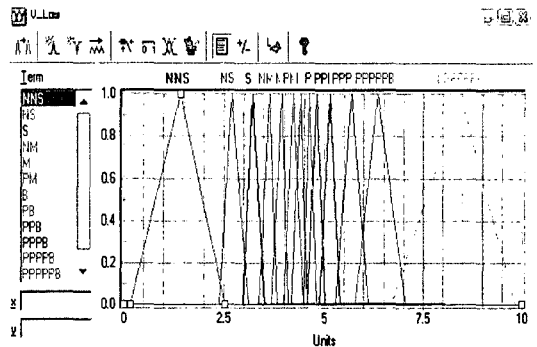


Fig. 8 Membership for low pressure.

하여 실외기 인자 중 냉매충전량에 따른 차이를 가장 잘 나타낼 수 있는 인자를 대상으로 선정하였다. 입력인자들의 멤버십 설정은 냉매충전량별 실험을 통해 얻은 데이터를 바탕으로 Tables 4~5와 같이 정의하고, Figs. 7~8과 같이 프로그램에서 구현되었다. 또한 결과부의 멤버십 설정은 냉매충전량에 따라 10% 단위로 설정하였으며, 냉매충전량 90~110% 구간은 시스템의 특성을 고려하여 냉매충전량 정상구간으로 설정하였다. 룰베이스는 냉매충전량별 실험을 통해 얻은 데이터를 바탕으로 냉매충전량 판독인자들의 각 조건별 범위를 설정하였다. Table 6은 냉매충전량 120%인 경우 일정 실내의 온도조건에서의 실험데이터의 범위와 이에 대한 룰베이스의 일부를 나타낸 것이다. 각 조건별 실험에 따라 실험데이터가 Table 6의 저압과 같이 2~3개의 멤버십 함수에 중복되어 나타나는 경우도 있었으며, 이러한 변수변화의 허용범위도 룰베이스 작성에 고려되었다. 퍼지룰의 추론방법으로는 Mamdani 방법을 사용하였고,

역퍼지화 방법은 무게중심법을 사용하였다.⁽⁹⁻¹¹⁾

5. 프로그램 예측결과 및 분석

본 연구에서 개발된 냉매충전량 판독 알고리즘의 신뢰성을 평가하기 위하여 시스템 에어컨을 이

용한 별도의 검증실험을 수행하였다. 실험은 실내의 온도조건과 냉매충전량에 따라 각각 1시간씩 시스템 에어컨을 운전하여 얻은 데이터를 냉매충전량 판독 프로그램에 입력하여 냉매충전량 판독결과를 얻는 방식으로 진행하였다. Fig.9은 이러한 냉매충전량 판독 프로그램의 순서도를 나타낸 것이다.

프로그램은 시작 후 데이터를 입력받아 1800초 이후의 데이터를 정상상태 데이터로 인지하고 이를 이용해 개발된 냉매충전량 판독 알고리즘에 적용하여 냉매충전량을 판독하게 된다. 1분당 3

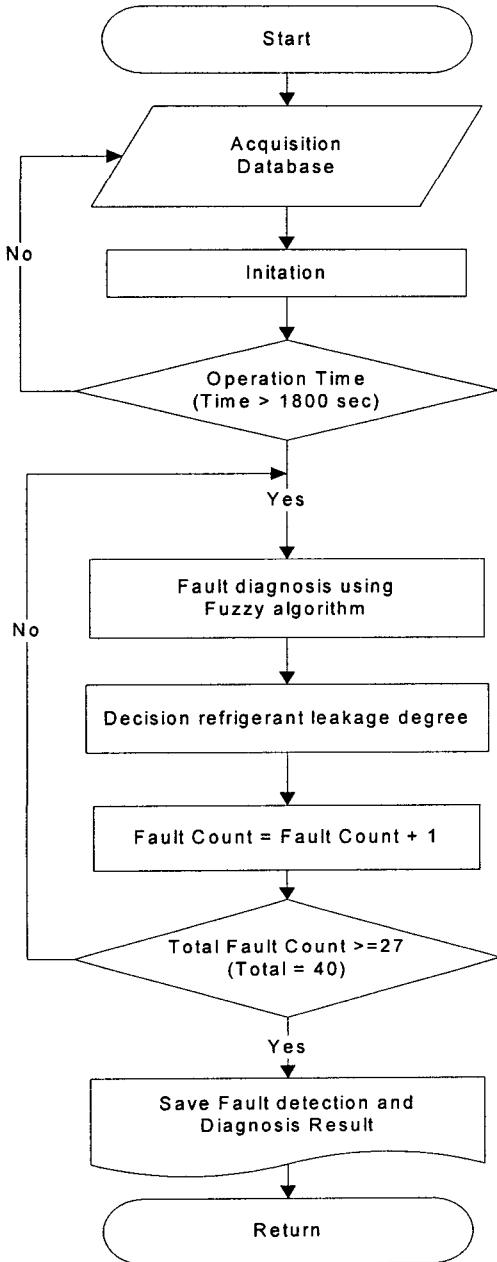


Fig. 9 Flow chart of program.

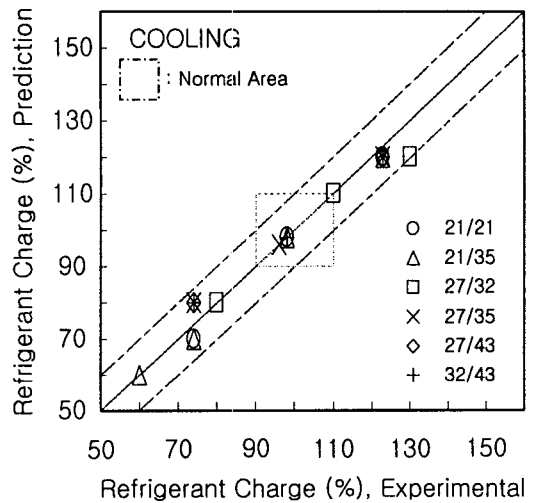


Fig. 10 Prediction results for cooling mode.

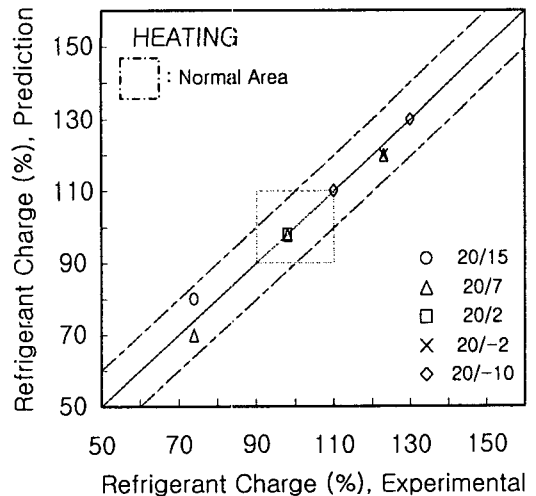


Fig. 11 Prediction results for heating mode.

개의 데이터를 입력받게 되며, 10분간 총 30개의 데이터를 판독하여 2/3 이상의 데이터가 동일한 냉매충전량 결과를 산출하게 될 경우 최종적으로 냉매충전량을 판정토록 하였다.

Figs. 10~11은 프로그램을 통한 예측결과와 실제 검증실험의 냉매충전량 조건에 대한 비교결과를 냉방과 난방에 대해 각각 나타낸 것이다. Figs. 10~11에서 보는 바와 같이 프로그램을 통한 예측결과는 실제 실험에서 주입한 냉매충전량과 알고리즘의 예측정밀도인 10% 이내에서 일치하였다.

6. 결 론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 다양한 실내외 온도조건과 냉매충전량 범위(60~140%)에 대한 시스템 에어컨의 조건별 운전 특성을 실험적으로 조사하였다.

(2) 실험결과를 토대로 퍼지 알고리즘을 적용한 냉매충전량 판독 프로그램을 개발하였으며, 시스템 에어컨의 운전 특성을 고려하여 실외기 측정 변수들을 이용하여 판독 알고리즘을 개발하였고, 검증실험을 통한 프로그램의 정확도는 알고리즘의 정밀도인 10% 이내로 나타났다.

(3) 더 정밀한 범위의 냉매충전량에 대한 실험을 수행하고 이에 대한 변수들의 민감도와 측정 오차 등에 대한 고려를 추가함으로써 예측정밀도를 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 성균관대학교 미래가전연구센터의 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- Rossi, T.M. and Braun, J.E., 1997, A statistical, rule-based fault detection and diagnostic method for vapor compression air conditioners, *International Journal of Heating, Ventilating, Air-Conditioning and Refrigerating Research*, Vol. 3, No. 1, pp. 19-37.
- Breuker, M.S. and Braun, J.E., 1998, Common fault and their impacts for rooftop air conditioners, *ASHRAE HVAC&R Research*, Vol. 4, No. 3.
- Han, D.Y. and Yoon, T.H., 2000, Partial fault response of multi-type air-conditioner, *Proceedings of the SAREK*, pp. 319-323.
- Han, D.Y. and Lee, H., 2002, Partial fault detection of air-conditioning system by neural network algorithm using data preprocessing method, *Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration*, Vol. 14, No. 7, pp. 560-566.
- Han, D.Y. and Lee, H., 2002, Partial fault detection of air-conditioning system by using the model-based method with data preprocessing, *Proceedings of the SAREK*, pp. 295-300.
- Han, D.Y. and Hwang, J.U., 2003, The partial fault detection of an air-conditioning system by the neural network algorithm using normalized input data, *Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration*, Vol. 15, No. 3, pp. 159-165.
- Glass, A.S., Gruber, P., Ross, M. and Todtli, J., 1995, Qualitative model-based fault detection in air-handling units, *IEEE Control Sys. Mag.*, Vol. 15, No. 4, pp. 11-22.
- <http://www.fuzzytech.com>.
- Dexter, A.L., 1993, Fault detection in air-conditioning system using fuzzy models, *IEEE Colloquium Two Decades of Fuzzy Control-Part 2*, Digest No. 1993/118.
- Peitsman, H. and Bakker, V., 1996, Application of black-box models to HVAC systems for fault detection, *ASHRAE Transactions*, Vol. 102, Pt. 1, pp. 628-640.
- Breuker, M.S. and Braun, J.E., 1998, Evaluating the performance of a fault detection and diagnostic system for vapor compression equipment, *International Journal of Heating, Ventilating, and Air Conditioning and Refrigerating Research*, Vol. 4, No. 4, pp. 401-425.