

시스템 에어컨의 냉매충전량에 따른 사이클 운전특성 및 냉매량 판독 프로그램 개발

태상진, 김훈모*, 조금남**, 문제명**, 김종엽**, 권형진**

성균관대학교 대학원, *성균관대학교 기계공학부, **삼성전자 시스템가전 사업부

Effect of Charged Refrigerant Amount on Operating Characteristics and Development of Detecting Program for System Air-Conditioner

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

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

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

**System Appliances Division, Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon 442-742, Korea

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 system air-conditioner than in a general single air-conditioner. Experiments were performed for 6 HP outdoor units with 3 indoor units in a psychrometric calorimeter. The experimental amount of charged refrigerant were ranged from 60% to 140% with 10% increasement. Fuzzy algorithm were employeed for detecting the charged refrigerant amount in a system air-conditioner. The experimental data were used for curve fitting for general ranges for indoor and outdoor temperature conditions. membership function were determined for whole ranges of experimentally measured data and rulebase were defined for each amount of refrigerant charge. Developed program successfully predicted the measured data within 10% resolution range.

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

1. 서 론

시스템 에어컨은 공조 공간 및 공조 수요의 확대와 함께 고효율, 고성능화를 추구하는 현대 공

조 기기 시장에서 가장 획기적이며 효율성 높은 차세대 공조 시스템으로 주목 받고 있다. 시스템 에어컨이란 한 대의 실외기로 여러 대의 실내기를 부하에 따라 용량을 조절하여 운전할 수 있는 시스템을 말한다. 시스템 에어컨은 사용자의 요구에 따라 1실 운전부터 전실 운전까지 다양한 부하에 대응할 수 있어야 할 뿐만 아니라 이러한 부하 범위에서 효율적 운전 성능을 발휘할 수 있

† Corresponding author

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

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

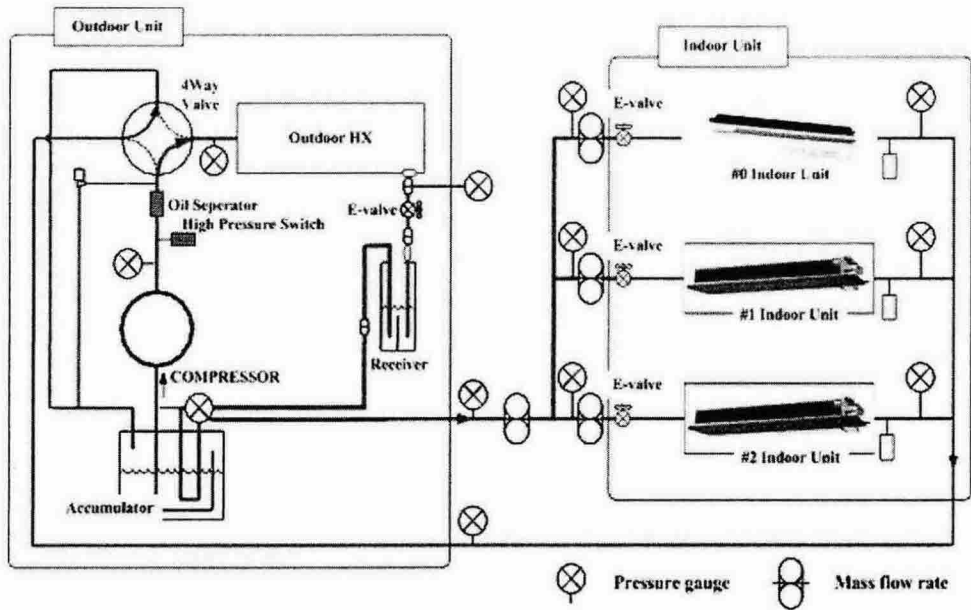


Fig. 1 Schematic diagram of test system

어야 한다. 따라서, 이에 따른 압축기의 부분 부하 운전 및 각 실내기의 적절한 냉매 분배 기술이 요구된다. 한편, 시스템 에어컨은 설비의 대형화에 따라 충전 냉매량이 일반 패키지 에어컨에 비해 매우 많고 또 운전 조건에 따라 시스템 특성이 크게 달라지므로 적정 냉매량의 판별과 현장 설치 시스템의 냉매 부족 또는 과충전 시 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 온습도 측정과 통계적인 분석을 통하여 증기 압축식 에어컨의 Rule-based FDD 모델을 연구하였고, 패키지 에어컨에서 자주 발생하는 고장에 대한 특성을 조사하여 시스템의 성능을 평가 하고 통계적인 Rule-based 고장 검출 모델을 적용하였다. Han et al.⁽³⁾은 시스템 에어컨의 고장 모사 장치를 개발한 후 이를 사용하여 냉매 누설, 실내기 팬 고장, 응축기 오염 고장에 대한 특성을 파악하고자 하였으며, 이외에도 냉방기에 대한 고장 검출을 위하여 다양한 알고리즘을 적용한 연구를 수행하였다.^(4, 7)

그러나, 시스템 에어컨은 설계 조건 및 운전 조건에 따라 그 운전 특성이 매우 다르고 또 고장 시에 나타나는 시스템의 운전 특성도 고장

의 원인 및 현상에 따라 일반화된 알고리즘으로는 그 적용에 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 실내의 온도 조건에 대한 냉매량별 운전 특성을 조사하고 이에 퍼지 알고리즘을 적용한 냉매량 판독 프로그램을 개발함으로써 다양한 운전 조건에 대응한 냉매량 판독 시스템을 개발코자 하였다.

2. 냉매량 실험 장치 및 방법

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

실험 조건은 실내의 온도 조건과 충전 냉매량을 변화시켜 실험하였으며, 전실 운전 조건에서 데이터를 측정하였다. Table 1은 냉난방 각각의 온도 조건을 나타낸다. 충전 냉매량은 최적 냉매량(100%) 기준으로 60%에서 140%까지 10% 단위로 실험하였다.

측정 변수는 응축 냉매 온도(Cond. Temp.), 응

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 |

축기 출구 냉매 온도(Subcool Temp.), 압축기 출구 냉매 온도(Discharge Temp.), 저압(Low Pressure) 및 고압(High Pressure) 등이다. 또한, 난방 시에는 위의 변수 이외에 난방 전자팽창변개도(Exp. Step)을 위 변수에 추가하였다. 이외에도 실내기 증발기의 입출구 온도, 실내기 전자팽창변개도(EEV Step) 등도 측정하였으나, 다양한 실내기 조합 및 설치 조건에 대응하기 위하여 실외기 내 측정 변수만을 알고리즘 개발에 적용하였다. 시스템 기동 후 약 1시간 이후 시스템이 완전히 안정된 상태에서 정상 상태 데이터를 측정하여 사용하였다.

3. 냉매량에 따른 시스템 운전 특성

본 연구에서는 냉매량 판독 알고리즘 개발을 위하여 다양한 냉매 충전량 조건에 대한 실험 및 데이터 수집을 수행하였다. Fig. 2는 난방 시 실내온도 27°C, 실외온도 35°C의 표준 조건에서 냉매량에 따른 실내기 전자팽창변개도(EEV Step)를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 냉매충전량이 약 60%까지 감소하는 경우 전자팽창변개도(EEV Step)가 급격히 증가하는 것은 냉매 충전량 감소에 따라 각 실내기로 유입되는 냉매 순환량이 급격히 감소하는 것을 간접적으로 보여주고 있다. 또한, 냉매 충전량이 140% 이상 증가하는 경우 전자팽창변개도(EEV Step)는 감소하여 최소 개도 수준까지 낮아지며, 이는 각 실내기로 유입되는 냉매 순환량이 과잉되어 있음을 나타낸다.

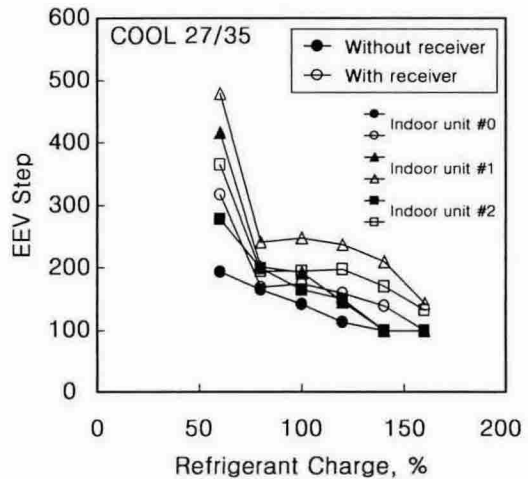


Fig. 2 Effect of charged refrigerant amount on EEV step of indoor unit

Fig. 2에서 보는 바와 같이 수액기(Receiver)의 유무에 따른 영향을 파악하기 위하여 수액기(Receiver)를 제거한 경우와 장착한 경우에 대한 전자팽창변개도(EEV Step) 변화 특성을 비교해서 나타냈으며 수액기(Receiver)가 없는 경우 전자 팽창변개도(EEV Step)는 냉매 충전량에 따라 더욱 민감하게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 그러나, 전자팽창변개도(EEV Step)는 실내외 온도 조건은 물론, 설치 장소에 따라 달라지게 되는 실내기의 낙차, 배관 길이, 실내기 용량 및 부하율에 따라라도 매우 민감하게 변화하는 변수로서 냉매 충전량을 판단하기 위한 기준 설정에 있어 어려움이 있다.

Fig. 3은 냉매량에 따른 압축기 입구와 출구의 고압(High pressure) 및 저압(Low pressure)을 나타낸 것이다. 저압의 경우 수액기(Receiver)의 유무와 관계없이 냉매량에 따른 큰 차이를 나타내지 않았으나 고압은 다른 변수와 비교하여 볼 때, 냉매량 판독의 주요 인자가 될 수 있으며 수액기(Receiver)가 있는 경우보다 수액기가 없는 경우 더 정확한 판독이 가능할 것으로 예상되었다.

Fig. 4는 난방의 경우 냉매 충전량에 따른 난방 전자팽창변개도(Exp. Step)를 나타낸 것이다. Fig. 2에 나타낸 난방 시 실내기의 전자 팽창변개도(EEV Step)와 마찬가지로 냉매량 증가에 따

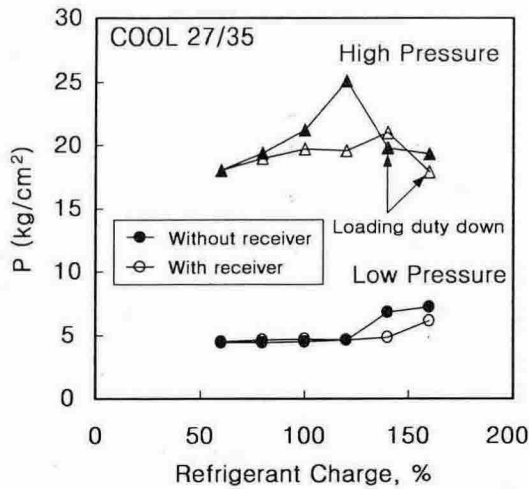


Fig. 3 Effect of charged refrigerant amount on high and low pressures

라 난방 전자팽창변 개도(Exp. Step)는 지속적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 난방 시에도 냉방 시와 마찬가지로 냉매 충전량 증가에 따라 냉매 순환량이 증가하는 것을 보여준다. Fig. 4에서 수액기(Receiver)가 없는 경우, 수액기(Receiver)가 있는 경우에 비해 약 30% 정도 냉매가 과충전된 경향을 나타냈다. 이는 수액기(Receiver)가 제거된 경우에 수액기(Receiver)가 있는 경우와 같은 냉매량을 주입하였을 경우, 운전 시 수액기(Receiver)에 저장되어 있던 냉매가 시스템에 과잉 공급되어 나타나는 현상으로 파악되었다.

위의 결과들을 종합하여 볼 때, 수액기(Receiver)가 있는 경우 수액기(Receiver)의 수위 조절에 의한 완충 작용으로 인해 냉매량 80-120% 범위에서는 냉매량에 따른 시스템 운전 특성의 큰 차이를 나타내지 않았으나, 수액기(Receiver)를 제거한 경우 이러한 범위에서도 냉매 충전량에 따른 운전 특성 변화가 크게 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 수액기(Receiver)가 없는 경우 적정 냉매량을 산정하여 주입한 후 적정 냉매량 기준 60-140% 범위의 냉매 충전량에 대해 다양한 온도 조건에서 실험을 수행하여 데이터를 수집하였고 이를 통해 냉매량 판독 알고리즘 및 프로그램을 개발하였다.

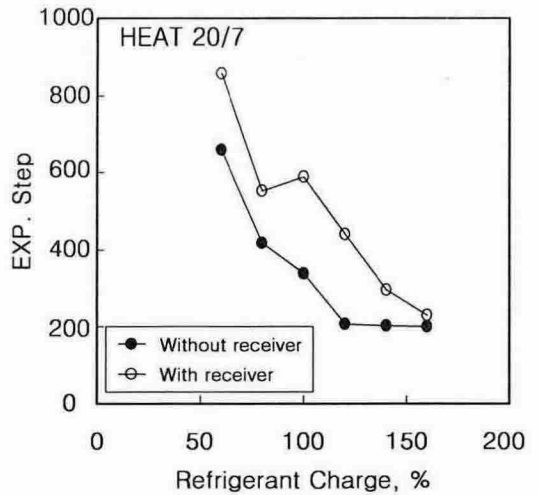


Fig. 4 Effect of charged refrigerant amount on expansion valve step (EXP. Step)

4. 냉매량 판독 알고리즘 개발

본 연구에서는 냉매량 판독 알고리즘 개발을 위하여 실험 데이터를 바탕으로 각 충전 냉매량별 Curve fitting을 수행하여 실내, 외 온도조건에 따른 인자들의 변화 경향을 파악 하였으며 퍼지 로직을 이용하여 정상구간(냉매량 90 ~ 110%)을 제외한 나머지 냉매량 판독 범위에서 10% 단위로 냉매량을 판독 할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

냉매량 판독 알고리즘 개발을 위해 퍼지 로직을 이용하였으며 신뢰성 확보를 위하여 전문가 시스템 구현 전문 프로그램⁽⁸⁾을 이용하였다. 냉매량 판독 인자는 알고리즘 개발 후 현장 적용 시에 발생 할 수 있는 실내기 수 및 모델의 용량 차이 등에 대한 문제점을 방지하기 위하여 실외기 인자 중 냉매량에 따른 차이를 가장 잘 나타낼 수 있는 인자를 대상으로 선정하였다. 냉매량 90% ~ 110% 구간은 시스템의 특성을 고려하여 냉매량 정상 구간으로 설정하였으며 룰베이스는 냉매량별 실험을 통해 얻은 데이터를 바탕으로 냉매량 판독 인자들의 각 조건별 범위를 설정하였다. Table 2는 냉매량 120%인 경우 일정 실내외 온도 조건에서의 실험 데이터의 범위와 이에 대한 룰베이스의 일부를 나타낸 것이다. 각 조건별 실험에 따라 실험 데이터가 Table 2의 저압(Low pressure)과 같이 2-3개의 멤버쉽 함수에

Table 2 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 |

중복되어 나타나는 경우도 있었으며 이러한 변수 변화의 허용 범위에 룰베이스 작성에 고려되었다. 퍼지룰의 추론 방법으로는 Mamdani 방법을 사용하였고, 역퍼지화 방법은 무게중심법을 사용하였다.^(9, 11)

이와 같이 개발된 냉매량 판독 알고리즘을 바탕으로 현장에서 시스템 에어컨의 운전 시 데이터를 실시간으로 인식하여 충전 냉매량을 판독할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 시스템 운전 시작 후 데이터를 입력받아 1800초 이후의 데이터를 정상 상태 데이터로 인지하고 이를 이용해 개발된 냉매량 판독 알고리즘에 적용하여 냉매량을 판독하게 된다. 1분당 3개의 데이터를 입력받게 되며, 10분간 총 30개의 데이터를 판독하여 2/3 이상의 데이터가 동일한 냉매량 결과를 산출하게 될 경우 최종적으로 냉매량을 판정토록 하였다.

Fig. 5와 6은 다양한 실내외 온도 조건과 냉매 충전량 조건에서 실험한 데이터를 개발한 프로그램에 적용하여 예측 결과와 실제 냉매량 조건을 비교하여 냉방과 난방에 대해 각각 나타낸 것이다. Fig. 5와 6에서 보는 바와 같이 프로그램을 통한 예측 결과는 실제 실험에서 주입한 냉매량과 알고리즘의 예측 정밀도인 10% 이내에서 일

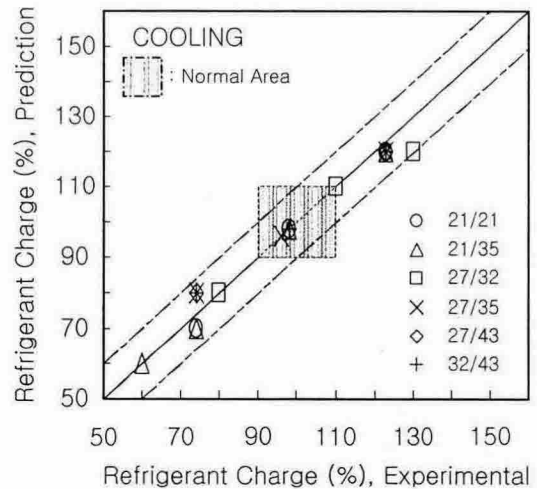


Fig. 5 Prediction results for cooling mode

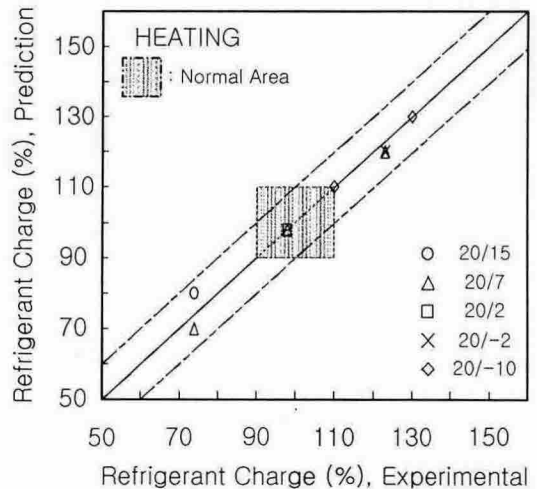


Fig. 6 Prediction results for heating mode

치하였다. 이러한 예측 정밀도는 냉매량에 대한 좀 더 조밀한 많은 데이터의 획득을 통해 높아질 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

5. 결론

1) 본 연구에서는 다양한 실내외 온도 조건과 냉매량 범위(60-140%)에 대한 시스템 에어컨의 조건별 운전 특성을 실험적으로 조사하였다.

2) 냉매량에 따른 시스템 운전 특성은 수액기(Receiver)가 있는 경우보다 수액기(Receiver)가

없는 경우에 좀 더 민감한 변화를 나타내었으며, 이는 수액기(Receiver)가 냉매량 변화에 따른 완충 작용을 수행하기 때문으로 판단된다.

3) 실험 결과를 토대로 퍼지 알고리즘을 적용한 냉매량 판독 프로그램을 개발하였으며, 다양한 설치 조건에 대응할 수 있도록 설치 조건에 따른 변수 변화가 적은 실외기 측정 변수들을 이용하였다.

4) 검증 실험을 통한 프로그램의 정확도는 알고리즘의 정밀도인 10% 이내로 나타났으며, 더 정밀한 범위의 냉매량 실험을 수행하고 이에 대한 변수들의 민감도와 측정 오차 등에 대한 고려를 추가함으로써 예측 정밀도를 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 성균관대학교 미래가전연구센터의 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- 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., 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., 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., 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 Syst. 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.