

R600a를 이용한 소형 멀티형 냉장고 시스템의 성능특성에 대한 실험적 연구

안지훈* 장용희* 김용찬† 장의영** 박용종**

고려대학교 기계공학과, *고려대학교 기계공학과 대학원, **삼성전자(주)

Performance characteristics of a multi type refrigerator

Jihoon Ahn*, Yonghee Jang*, Yongchan Kim†, Uiyoung Jang**, and Yongjong Park**

Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea
**Graduate School of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea*
***Samsung Electronics Digital Appliance, Suwon 416, Korea*

ABSTRACT: Various types of refrigerators become popular in the market such as a common refrigerator, kimchi refrigerator and wine cellar. It is required to develop a multi function refrigerator which has different purposes in each evaporator. In this study, the performance of a multi type refrigerator system, which consists of one machine room and three evaporators, was measured in a bench type multi refrigerator. The multi type refrigerator system was tested by varying the number of refrigerator cabinet, refrigerant charge amount, temperature condition. Based on experimental data, the multi type refrigerator showed better performance than the conventional refrigerator(single type) At the same external load condition, the COP of the multi type refrigerator was 1.22~1.29, but the COP of the single type refrigerator was 1.0.

Key words: Multi(멀티), R600a, Refrigerant(냉매), Variable speed(가변속), Small capacity(소형), Refrigerator(냉장고)

기 호 설 명

하첨자

Cp : 정압비열 (kJ/kg · K)
h : 엔탈피 (kJ/kg)
Q : 열전달량 (W)
W : 소비전력 (W)

cond : 응축기
evap : 증발기
1 : single 시스템
2 : twin 시스템
3 : tri 시스템
r : 냉매
2nd : 2차 유체

† Corresponding author

Tel : +82-2-3290-3366; fax: +82-2-921-5439

E-mail address : yongckim@korea.ac.kr

1. 서론

신선하게 식품을 보관하고자 하는 소비자들의 욕구와 업계의 신제품 개발로 인하여 국내 냉장고 시장은 해마다 급격히 성장하여 2007년 국내 양문형 냉장고 시장 규모는 8500억 원으로 성장하였으며, 김치냉장고 또한 2000년 165만대의 판매량을 보인 이후 매년 100만대 이상의 보급이 이루어지고 있으며, 2007년 이후로는 Stand style 로 제품의 변화가 이루어지고 있다. 그리고 와인 냉장고와 전문냉동고의 수요도 증대되고 있다. 이제는 한 가정에서 2~3개의 냉장고를 사용하는 것은 일반적인 것으로 인식되고 있다. 그러나 가정에서 다수의 냉장고를 사용할 경우 각각의 냉장고의 독립적인 압축기 운전으로 인한 과도한 소비전력의 사용, 높은 수준의 소음 발생, 자원 낭비의 문제점을 가지고 있다. 실제 에어컨은 Multi air conditioner로 제품이 빠르게 변화하고 있으나, 1개의 기계실에 다수의 냉장고를 병렬로 연결한 시스템 (Multi-Ref. 시스템)의 연구, 개발은 거의 이루어 지지 않은 실정이다. 본 논문에서는 Multi-Ref. 시스템에 대하여 냉매 충전량, 냉장고 개수, 증발압력과 응축압력 변화, SLHX (Suction Line Heat Exchanger) 적용에 대한 성능 변화를 검토하였다.

2. 실험장치의 구성

가정용 냉장고의 냉동시스템은 각각의 냉장고에 기계실이 장착되어 운전을 수행한다. 기계실이란 냉장고의 하단뒷면에 위치하며, 압축기와 응축기가 설치되어 있는 공간으로서 냉매의 압축과 방열과정이 이루어지며, 에어컨의 실외기와 같은 역할을 한다. 즉 주방에 일반냉장고, 김치냉장고, 와인냉장고가 있는 경우 총 3개의 기계실이 장착되어 있다. 이를 개선하고자, 본 연구는 Multi-Ref. 시스템 성능 분석에 관련한 것으로 1개의 기계실에 다수의 냉장고를 병렬로 구성하였다. 압축기에 의해 압축된 냉매는 응축기에서 응축되며, 냉각된 고압의 액냉매는 유량분배 밸브를 통하여 3개 냉장고로 분배된 후 팽창장치를 통과하며 감압된다. 저압의 냉매는 각 냉장고를 냉각한 후 흡입관에서 혼합되어 압축기로 유입되어진다.

Table 1은 본 연구의 냉동시스템의 사양이며, Fig. 1은 시스템의 성능 평가를 위한 주요 데이터 측정위치를 포함한 실험장치의 개략도이다. 실험장치는 1단 압축, 3실 병렬 사이클, 2차 유체 (물 및 에틸렌글리콜 수용액) 순환루프(loop), 계측장치로 구성된다. 압축기는 R600a 냉매를 사용하는 BLDC 왕복동식 압축기를 사용하였으며, 응축기는 구리재질의 이중관 열교환기를 설계 제작하였으며, 팽창장치 미터링 밸브 3개를 각 증발기 직전에 설치하여 사용하였고, 모든 동배관 및 요소부품들은 적정 수준으로 단열되었다.

응축기 냉각 유체는 물과 에틸렌글리콜 수용액을 사용하였으며 증발기 1, 2, 3의 부하는 히터를 증발기 외부에 부착하였고, 히터의 용량은 Watt transducer와 UT 350을 통하여 정밀하게 제어하였다. 압축기의 소비전력은 적산전력계로 측정하였으며, 압축기의 회전수 변경은 50 rpm 조정이 가능한 Inverter driver를 사용하였다. 기준조건과 변경 실험 시 조건을 Table 2에 나타내었다.

냉동시스템의 성능은 냉동능력과 COP를 통해서 나타낼 수 있는데, 사이클의 방열열량은 2차 유체가 응축기에서 얻어간 열량과 냉매로부터 방출된 열량으로 계산할 수 있으며, 냉매가 증발기에서 흡수한 열량은 증발기에 부착된 히터의 출력값으로 계산할 수 있다. 계측장비와 실험결과를 신뢰하기 위해서는 이 두 가지 계산결과

Table 1 Specifications of the experimental system

Component	Specification
Refrigerant	R600a
Compressor	SGEC, EQ4A5HL2X
Condenser	8.30mm(DO)*0.5mm(T)*1000mm
Evaporator	8.30mm(DO)*0.5mm(T)*1000mm
Expansion valve	HOKE metering valve 1315G4Y Orifice = 1.19mm, Cv = 0.024
Heater evap	0~150watt

Table 2 Experimental conditions

Parameter	Test condition
Tcond	35°C (increment ≒ 5.0°C)
Tevap	-25°C (increment ≒ 5.0°C)

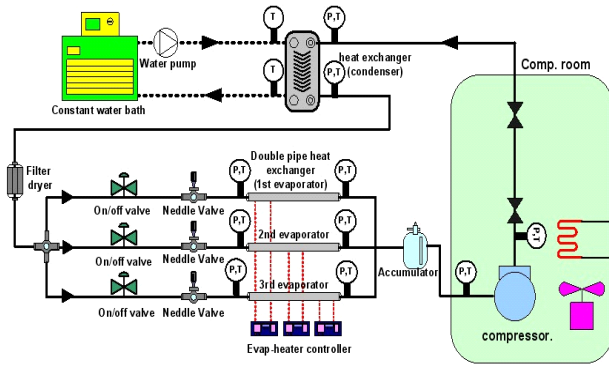


Fig. 1 Schematic diagram of multi ref. system.

오차가 작아야 한다. 응축기에서의 열교환량 및 증발기 냉동능력은 아래의 식으로 계산되었다.

$$Q_{cond,2nd} = Cp_{2nd} \cdot (T_{cond,2nd,o} - T_{cond,2nd,i}) \quad (1)$$

$$Q_{cond,r} = \dot{m}_r \cdot (h_{cond,i} - h_{cond,o}) \quad (2)$$

$$Q_{evap,r} = \dot{m}_r \cdot (h_{evap,o} - h_{evap,i}) \quad (3)$$

$$Q_{evap,r} = Q_{heater} \quad (4)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 냉매 충전량에 의한 영향

냉매 충전량 실험 조건은 실제 냉장고 운전 데이터와 사전실험을 통하여 증발온도 -25°C , 응축온도 35°C 로 결정하였다. 이를 위하여 2차 유체를 온도 25°C , 유량 0.9 kg/min 으로 응축기에 공급하였으며, metering 밸브의 개도를 조절하여, 적절한 증발온도를 유지시켰다. 증발기의 부하는 부착된 히터의 열량을 이용하였으며, 각각의 냉장고는 50 W 의 냉동부하를 가지는 것으로 설정하였다. 시스템의 구성에 있어 1-evap 시스템인 경우 single 시스템으로 명명하였으며, 2-evap 시스템과, 3-evap 시스템은 각각 dual 과 triple 시스템으로 정의하였다. single 시스템인 경우 1500 rpm 에서 50 W 에 대한 냉동능력을 보였으며, dual 시스템과 tri 시스템의 경우 2100 rpm , 과 3300 rpm 에서 각각 100 W , 150 W 에 대한 충분한 냉동능력을 보였다, 위의 압축기 회전수 조건

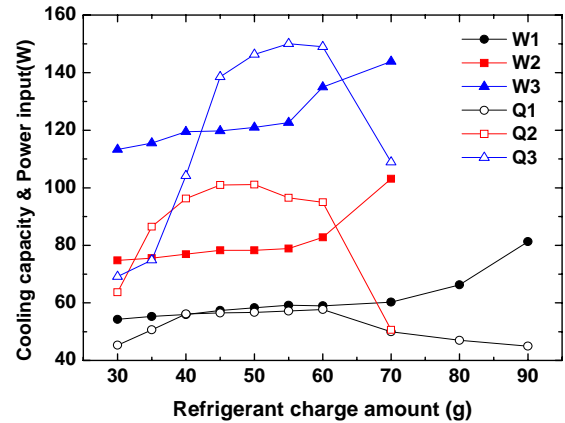


Fig. 2 Variations of cooling capacity & power input of single/dual/triple system with refrigerant charge amount.

에서 냉매 충전량 실험을 진행하였다.

냉매 충전량 변화에 대한 실험결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 제시하였다. 냉매 충전량은 single 시스템의 경우 40 g 에서 최적화되었으며, 이 때의 COP는 1.0이었다. Dual 시스템의 경우 냉매 충전량 45 g 에서 COP는 1.29로 최적화되었으며, tri 시스템의 경우 충전량 55 g 에서 COP는 1.22를 보였다. 냉매 충전량은 $40 \sim 55 \text{ g}$ 에서 최적화되었으며, 냉매량 과충전 조건인 70 g 에서 single 시스템의 경우 COP 0.83, 냉동능력은 50 W 로서 최적 충전량 40 g 대비 COP가 17.3% 감소하였으며, 냉동능력은 11.0% 감소하는 결과를 보이나, dual 시스템의 경우에는 응축압력이 급격히 상승하여 COP는 1.29에서 0.49로 62.0% 감소하였으며, 냉동능력은 101.0 W 에서 60.7 W 로 40.0% 감

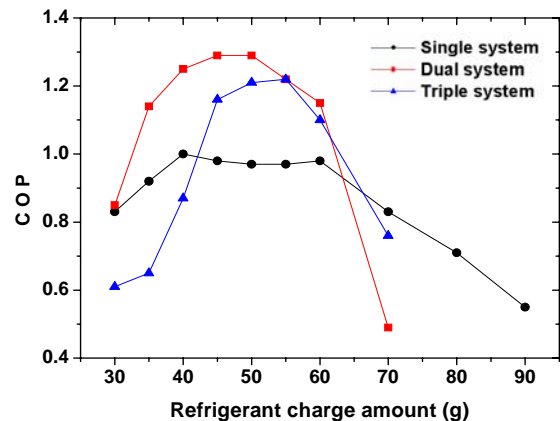


Fig. 3 Variations of COP of single/dual/triple system with refrigerant charge amount.

소하였다. triple 시스템의 경우 냉동능력은 150.1 W에서 108.9 W로 COP는 1.22에서 0.76으로 사이클 성능이 악화되었다. 이 같은 결과로부터 다양한 냉각실 조합을 가지는 Multi-Ref. 시스템은 수액기를 장착하여 냉매 충전량 변화에 대한 완충 역할이 필수적임을 확인하였다.

3.2 증발온도 변경 영향

증발온도 변경실험은 2차 유체의 온도 조정없이 metering 밸브의 개도를 조정하여 진행하였다. 냉동 사이클에서 증발온도가 낮아지면 압축기 흡입 냉매의 비체적이 증가하여 시스템의 순환 유량이 감소되며, 이로 인하여 사이클의 냉동능력, 압축기 소비전력이 감소한다. 그리고 압축비의 증가를 초래하여 COP는 낮아지게 된다.

Fig. 4와 Fig. 5에 실험 결과를 제시하였으며, 이와 같은 경향이 잘 나타나있다. Single 시스템의 경우 증발온도를 -25°C 에서 -35°C 로 변경한 경우 COP는 1.0에서 0.84로 감소하였으며, 냉동능력은 56.2 W에서 35.7 W로 감소하였다. 동일 조건에서 dual 시스템의 COP와 냉동능력은 1.29에서 1.13, 101.0 W에서 60.7 W로 각각 감소하였다. Triple 시스템의 경우에서도 마찬가지로 COP와 냉동능력이 1.22에서 1.13, 150.1 W에서 93.7 W로 감소하였다. Single 시스템의 경우 증발온도를 -25°C 에서 -30°C 로 낮춘 조건에서 COP 변화는 미미하였으며, -30°C 에서 -35°C 로 증발온도를 낮춘 조건에서는 1.02에서 0.84로 감소하였다, 그러나 dual과 triple 시스템에서는 증발온도가

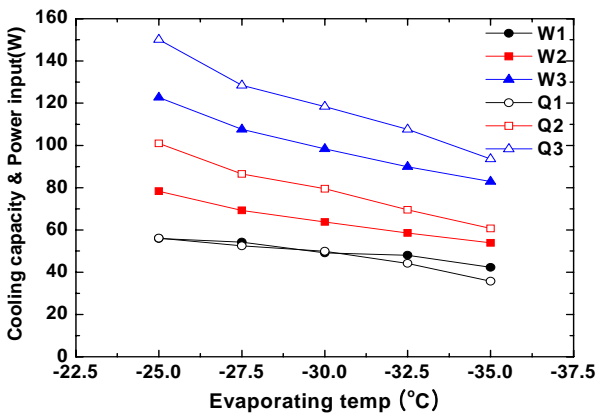


Fig. 4 Variations of cooling capacity & power input of single/dual/triple system with evaporating temperature.

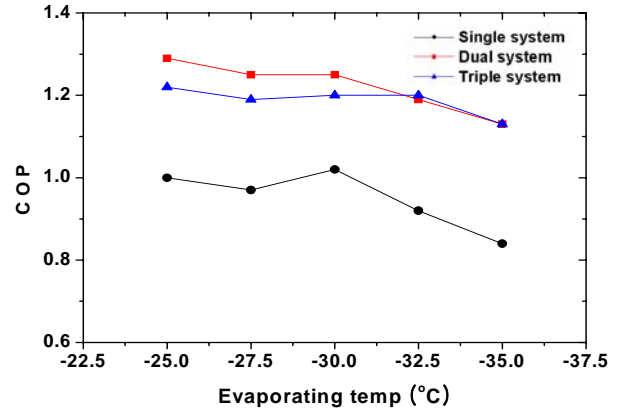


Fig. 5 Variations of COP of single/dual/triple system with evaporating temperature.

낮아짐에 따라 COP 감소가 연속적으로 발생하였다.

3.3 응축온도 변경 영향

응축온도 변경실험은 응축기 측 2차 유체의 온도를 높임과 동시에 metering 밸브의 개도를 조정하여 증발온도를 -25°C 로 고정시킨 조건으로 응축온도만을 조정하여 진행하였다. 냉동사이클에서 응축온도가 상승하게 되면 압축기에서는 토출가스의 온도와 압력이 상승하게 되고, 증발기 입구에서의 건도의 증가로 인하여 단위질량당 냉매유량이 감소하게 된다. 또한 압축기 실린더 내에서 압축된 냉매의 재팽창 비체적이 커지고, 체적 냉동용량은 감소하여 압축기 소비전력은 증가하고, COP가 감소하게 된다. 응축온도 변화에 대

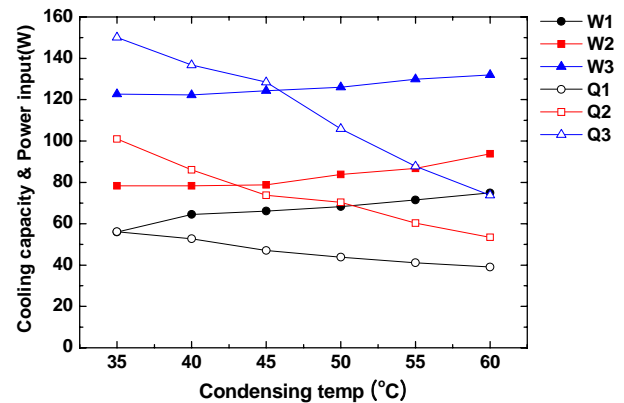


Fig. 6 Variations of cooling capacity & power input of single/dual/triple system with condensing temperature.

한 실험결과를 Fig. 6과 Fig 7에 나타내었으며, 이와 같은 경향이 그대로 나타나 있다. 응축온도를 35℃에서 60℃로 증가시킨 경우 single 시스템의 COP는 1.0에서 0.52로 감소하였으며, 냉동능력은 56.2 W에서 39.1 W로 30.4% 감소하였으며, 소비전력은 56.0 W에서 74.9 W로 33.8% 증가하였다. Dual 시스템은 동일 조건에서 COP는 1.29에서 0.57로 55.8% 감소하였으며, 냉동능력은 101.0 W에서 53.5 W로 53.5% 감소하였으며, 소비전력은 78.3 W에서 93.8 W로 19.8 % 증가하였다. Triple 시스템의 응축온도를 상승시킨 결과 COP는 1.22에서 0.56으로 54.1 % 감소하였으며, 냉동능력은 150.1 W에서 73.8 W로 50.8% 감소하였으며, 소비전력은 122.7 W에서 132.0 W로 7.6% 증가하였다. 응축온도 증가에 대한 COP 감소율은 dual과 triple 시스템에서 55.8%와 54.1%로서 single 시스템의 COP 감소율 48.0%보다 높은 수준을 보였다. 이는 증발 부하가 큰 멀티 시스템에 있어 시스템 방열부(응축기)의 성능이 사이클 성능에 있어 더 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

3.4 SLHX 적용 영향

SLHX(Suction Line Heat Exchanger)는 냉동 사이클의 성능을 높이기 위한 장치로서 응축기의 출구와 증발기의 출구를 서로 열교환시키는 장치를 말한다.

냉장고 증발기에 있어서 증발 부하는 냉동실의 경우 -20℃의 고내 공기, 냉장실의 경우 3℃의

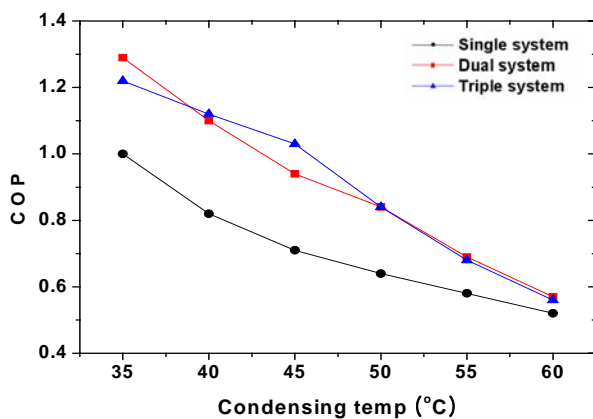


Fig. 7 Variations of COP of single/dual/triple system with condensing temperature.

고내 공기에 한정되며, 냉장고 증발기용 팬도 내부 용적을 고려하여 소용량을 사용하므로 에어컨과 비교하여 아주 작은 수준이다. 따라서 증발기 출구의 냉매를 과열 상태로 만드는 것은 상당히 어렵다. 따라서 증발기 출구의 저온 기체 냉매를 응축기 출구의 고온 냉매와 열교환시켜 응축부의 방열량을 증가시켜 팽창장치 입구 냉매의 건도를 낮추어 사이클 효율을 높일 수 있다. 그리고 증발기 출구의 저온 냉매의 온도는 상승하여 압축기 입구 조건이 열악해지지만 압축기 흡입 파이프에서의 외기 열손실 저감과 압축기의 신뢰성 향상이 이루어져 사이클 효율 저감은 발생하지 않는다. SLHX를 이용한 성능 개선 실험 진행을 위하여 실험 장치를 변경하였다. 응축기 출구 즉 팽창장치의 입구와 증발기 출구의 파이프를 연장시켜, 서로 밀착하여 접촉시킨 후 동관 용접을 하였으며, 증발기 출구의 파이프는 저온 냉매의 외기로의 열손실을 방지하기 위하여 2중으로 단열처리 하였다.

Fig. 8과 Fig. 9에 SLHX 조건에서 냉매량 변경에 대한 실험 결과를 제시하였다. SLHX의 적용으로 인하여 실험 장치의 내체적이 증가하였으며, 증가된 내체적은 고압측이 33.7 cc, 저압측이 16.6 cc이다. 최적 성능을 확인하기 위하여 변경된 조건에서 냉매 충전량 실험을 진행하였다.

Single 시스템의 경우 SLHX 적용 후 최적 냉매 충전량은 40 g에서 60 g으로 증가하였으며, COP는 1.0에서 1.37로 37.0% 증가하였으며, 냉동능력은 56.2 W에서 90.5 W로 61.0%, 소비전력은

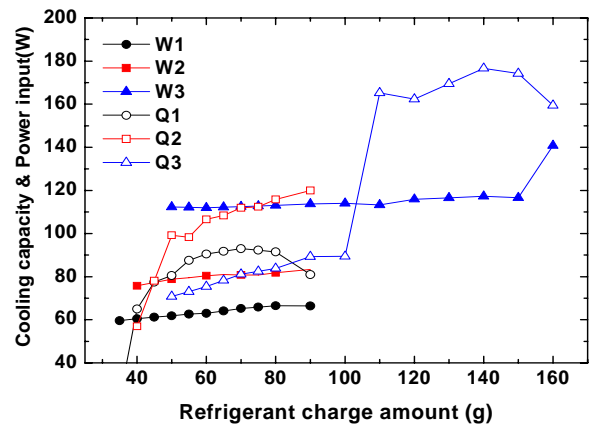


Fig. 8 Variations of cooling capacity & power input of single/dual/triple system with refrigerant charge amount.

56.0 W에서 63.0 W로 12.5% 각각 증가하였다.

Dual 시스템의 경우 SLHX 적용 후 최적 냉매 충전량은 45 g에서 70 g으로 증가하였으며, COP는 1.29에서 1.39로 7.8% 증가하였고, 냉동능력은 101.0 W에서 112.0 W로 10.9%, 소비전력은 78.3 W에서 80.8 W로 3.2% 각각 증가하였다. Triple 시스템은 SLHX 적용 후 최적 냉매 충전량은 55 g에서 140 g으로 변경량이 가장 크게 나타났다, COP는 1.22에서 1.51로 23.8% 증가하였으며, 냉동능력은 150.0 W에서 176.6 W로 17.7% 증가하였으며, 소비전력은 122.7 W에서 117.3 W로 4.6% 감소하였다. SLHX 적용시 COP 개선율은 single 시스템에서 37.0%로 가장 높게 나타났으며 dual과 triple 시스템의 경우 각각 7.8%와 23.8%의 COP 상승을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서 실험을 통하여 1개의 기계실에 다수의 냉장고를 병렬로 구성하여 Multi Ref 시스템의 성능특성을 비교하였으며, 냉장고 개수에 대한 냉매 충전량, 응축온도와 증발온도의 변화, SLHX 적용에 따른 성능특성을 고찰하였으며 결론은 다음과 같다.

(1) single, dual, triple 시스템은 각각 40 g, 45 g, 55 g에서 최적화되며, COP는 single 1.0, dual, triple 시스템의 COP는 각각 1.29, 1.23으로서 single 시스템 대비 29.0% 23.0% 향상되었으며,

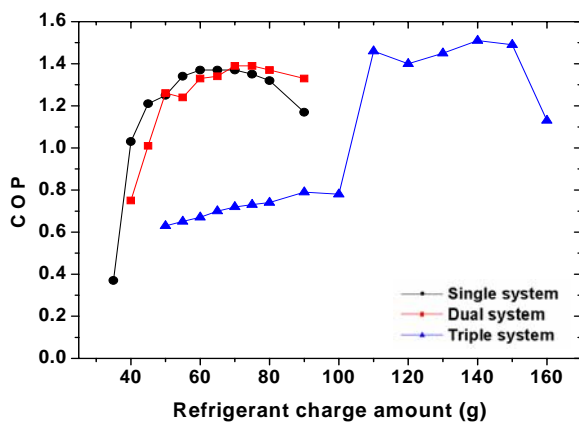


Fig. 9 Variations of COP of single / dual / triple system with refrigerant charge amount.

기존의 single 시스템 대비 Multi Ref. 시스템의 효율이 높음을 확인하였다.

(2) Single, dual, triple 시스템은 증발온도 저감에 대하여 소비전력의 감소, 냉동능력 감소, COP 감소의 동일한 경향을 보이거나 증발온도를 -5°C 감소할 때 COP 감소는 single이 0.04, dual 0.04, triple 0.02로 triple 시스템의 COP 감소율이 가장 적었으며, 증발온도 -35°C 조건에서의 COP 역시 dual, triple 시스템이 각각 1.13으로서 single 0.84보다 높은 성능을 보였다.

(3) Single, dual, triple 시스템은 응축온도 상승에 대하여 소비전력의 증가, 냉동능력 감소, COP감소의 동일한 경향을 보이며 응축온도를 5°C 증가시킬 경우 COP 감소율은 single 시스템이 0.1, dual 0.14, triple 0.13으로 멀티 시스템의 COP 감소율이 single 시스템 대비 높게 나타났다.

(4) SLHX 적용 후 모든 시스템에서 성능 향상을 확인하였으며, SLHX 적용으로 인한 COP 상승률은 single, dual, triple 시스템에서 각각 37.0%, 7.8%, 23.8%로서 single 시스템에서의 성능 향상이 가장 높았다. 그러나 SLHX 적용 후 최고 COP는 single, dual, triple 시스템에서 각각 1.37, 1.39, 1.51로서 triple 시스템이 가장 우수한 성능을 나타냈다.

참고문헌

1. Yoon, W. J., Ahn, J. H., Kim, Y. H., Seo, K. J., Lee, J. S., Choi, D. C., 2004, "A study on the optimal operation of domestic refrigerator with high efficiency BLDC inverter compressor" SAREK, pp. 243~248.
2. Kim, Y. H., Joo, Y. J., Kim, Y. C., Seo, K. J., 2006, "Experimental study on a two-stage refrigeration system with small capacity using R600a" SAREK, pp. 398~403.
3. Outtagarts, A., 1997, The transient response of an evaporator feed through an electronic expansion valve, Int. J. of Energy Research, Vol. 21, pp. 793-807.