

## R600a를 이용한 소형 멀티형 냉장고 시스템의 성능특성에 대한 실험적 연구

안 지 훈, 장 용 희, 김 용 찬<sup>\*†</sup>, 최 원 섭<sup>\*\*</sup>, 오 승 환<sup>\*\*</sup>, 김 창 년<sup>\*\*</sup>, 이 재 승<sup>\*\*</sup>  
고려대학교 기계공학과 대학원, <sup>\*</sup>고려대학교 기계공학과, <sup>\*\*</sup>삼성전자(주)

### An Experimental Study on the Performance Characteristics of a Multi Type Refrigerator Using R600a

Jihoon Ahn, Yonghee Jang, Yongchan Kim<sup>\*†</sup>, Wonseop Choi<sup>\*\*</sup>, Seungwhan Oh<sup>\*\*</sup>,  
Changnyeun Kim<sup>\*\*</sup>, Jaeseung Lee<sup>\*\*</sup>

*Graduate School of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea*

*<sup>\*</sup>Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea*

*<sup>\*\*</sup>Samsung Electronics Digital Appliance, Suwon 416, Korea*

*(Received December 22, 2008; revision received February 25, 2009)*

**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 type refrigerator combining these refrigerators to save space and energy consumption. In this study, the performance of a multi type refrigerator, which consists of one machine room and three evaporators, was measured in a bench type multi refrigerator. The multi type refrigerator was tested by varying the number of refrigerator cabinet, refrigerant charge, and temperature conditions. In addition, the multi type refrigerator with a suction line heat exchanger(SLHX) was tested to improve system performance. Based on the experimental data, the multi type refrigerator showed better performance than the conventional refrigerator(single type system). Besides, the COP of the single system increased from 1.0 to 1.37, and those of the dual and triple system increased from 1.29 to 1.39, and 1.22 to 1.51, respectively, by applying the SLHX.

**Key words:** Multi(멀티), R600a(이소부탄), Variable speed(가변속), Refrigerator(냉장고), Performance(성능)

#### 기 호 설 명

$C_p$  : 정압비열 [kJ/kg · K]  
 $Dual$  : Dual 냉장고 시스템  
 $h$  : 엔탈피 [kJ/kg]  
 $\dot{m}$  : 유량 [kg/s]  
 $Q$  : 열전달량 [W]

$Single$  : Single 냉장고 시스템  
 $T$  : 온도 [°C]  
 $t$  : 두께 [mm]  
 $Triple$  : Triple 냉장고 시스템  
 $W$  : 소비전력 [W]

하첨자

<sup>†</sup> Corresponding author

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

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

$base$  : 기본 성능 (SLHX 미적용)

$cond$  : 응축기

evap : 증발기  
 I : 유입  
 o : 유출  
 SLHX : SLHX 적용  
 2nd : 2차 유체

## 1. 서 론

신선하게 식품을 보관하고자 하는 소비자들의 요구와 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 style로 제품의 변화가 이루어지고 있다. 그리고 와인 냉장고와 전문냉동고의 수요도 증대되고 있다. 이제 한 가정에서 2~3개의 냉장고를 사용하는 것은 일반적인 것으로 인식되고 있다. 그러나 가정에서 다수의 냉장고를 사용할 경우 많은 문제점이 발생한다. 각각의 냉장고에서 독립적인 압축기 운전으로 인하여 높은 소비전력이 소요되며, 주방이라는 한정된 공간에서 다수의 압축기와 응축기 팬의 운전으로 인하여 과도한 소음이 발생된다. 마지막으로 압축기 및 응축기가 중복적으로 사용되므로 자원 효율의 문제점을 가지고 있다. 이처럼 냉장고의 소비자 사용 패턴의 변화와 다수 냉장고 운전의 문제점을 해결하기 위하여 멀티형 냉장고 시스템의 연구가 필요하다.

국내에서는 냉장고의 고급화 및 대형화 경향에 따라 에너지 절약에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있으며, BLDC 인버터 압축기의 가정용 냉장고에 적용을 통한 냉장고의 효율 향상과 3방향 밸브와 2개의 증발기, 3개의 모세관을 이용하여 신규 사이클을 적용한 냉장고의 효율 개선에 대한 연구가 발표되었다.<sup>(1-2)</sup> 일본에서는 2단압축 사이클을 적용한 냉장고의 발매와 리니어 압축기를 이용한 2단압축 사이클의 최적 체적비에 대한 시뮬레이션 연구도 수행되었다.<sup>(3-4)</sup> 그 외에 냉장고 과도상태에서 냉매유량의 변화에 대한 연구 및 on/off 운전 손실의 저감에 대한 연구 등이 있었다.<sup>(5-6)</sup> 멀티형 냉동시스템에 대한 연구는 주로 에어컨 등 공조기 분야에서 활발히 이루어졌는데, DC 인버터 방식의 멀티형 에어컨의 성능에 대한 연구와 멀티형 에어컨의 실내기 변화에 따른

성능 변화에 대한 연구 결과가 발표되었다.<sup>(7-8)</sup>

실제 에어컨은 멀티형 냉동 시스템으로 제품이 빠르게 변화하고 있으나, 1개의 기계실에 다수의 냉장고를 병렬로 연결한 시스템(멀티형 냉장고 시스템)의 연구 및 개발은 거의 이루어 지지 않은 실정이다. 본 논문에서는 멀티형 냉장고 시스템에 대하여 냉매 충전량, 냉장실 개수 및 운전조건 변경에 따른 멀티형 냉장고 시스템의 성능특성을 실험적으로 고찰하고자 한다. 또한 멀티형 냉장고 시스템의 성능 개선을 위하여 SLHX(suction line heat exchanger)적용하여 성능 변화를 고찰하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치의 구성

가정용 냉장고는 압축기 및 응축기를 포함하는 기계실이 장착되어 운전을 수행한다. 기계실은 일반적으로 냉장고의 하단뒷면에 위치하여 냉매의 압축과 방열과정을 담당하게 된다. 만약 주방에 일반냉장고, 김치냉장고 및 와인냉장고가 별도로 있는 경우 총 3개의 기계실이 존재하게 된다. 본 연구에서는 1개의 기계실에 다수의 냉장고를 병렬로 구성한 멀티형 냉장고 시스템에 대하여 운전조건에 따른 성능 특성을 고찰하였다.

멀티형 냉장고 시스템에서 압축기에 의해 압축된 냉매는 응축기에서 주위로 방열하면서 응축되며, 냉각된 고압의 액냉매는 유량분배 밸브를 통하여 3개 냉장고로 분배된 후 팽창장치를 통과하며 감압된다. 팽창장치를 통과한 저압의 냉매는 각 냉장고에서 냉동 또는 냉각의 역할을 수행하고, 흡입관에서 혼합되어 압축기로 유입된다. 본 연구에서는 한 개의 증발기를 적용한 경우에는 Single 시스템으로 명명하였으며, 두 개 및 세 개

Table 1 Specifications of the tested system

Component	Specification
Compressor	Reciprocating compressor, SGEC, EQ4A5HL2X
Condenser	8.30 mm(D) × 0.5 mm(t) × 1500 mm
Evaporator	8.30 mm(D) × 0.5 mm(t) × 1000 mm
Expansion valve	HOKE valve D = 1.19 mm, C <sub>v</sub> = 0.024
Heater	0 ~ 150 W

Table 2 Test conditions

Parameter	Condition
Ambient temp.	30°C(± 2°C)
Condensing temp.	35°C(increment ≃ 5.0°C)
Evaporating temp.	-25°C(decrement ≃ 2.5°C)
Superheat	5°C(± 2°C)

의 증발기를 적용한 경우는 각각 Dual 및 Triple 시스템으로 정의하였다.

Table 1은 본 연구의 사용한 냉동시스템의 사양이며, Fig. 1은 시스템의 성능평가를 위한 실험 장치의 개략도이다. 실험장치는 1단압축 3실 병렬사이클, 2차 유체(물 및 에틸렌글리콜 수용액) 순환루프(loop) 및 계측장치로 구성되어 있다. 압축기는 R600a 냉매를 사용하는 BLDC 왕복동식 압축기를 사용하였으며, 응축기는 이중관 열교환기를 사용하였다. 팽창장치는 수동조절형 팽창밸브를 각 증발기 입구에 설치하여 사용하였다.

응축기의 냉각유체는 50% 에틸렌글리콜 수용액을 사용하였다. 증발기 1, 2, 3의 부하는 단일 중공형 원통 히터를 증발기에 부착하여 사용하였다. 압축기의 소비전력은 적산전력계로 측정하였으며, 압축기의 회전수는 인버터 드라이버를 사용하여 변경하였다.

냉동사이클의 분석을 위하여 사이클 주요 운전점에서 온도, 압력 및 유량을 측정하였다. 시스템의 온도는 T-타입의 열전대를 사용하여 측정하였으며, 정밀도는 ±0.3°C이다. 냉매압력은 디지털식 냉매압력계를 사용하였으며, 압력계의 정밀도

는 전체 측정범위에서 ±0.13%이다. 냉매유량은 코리올리식 질량유량계를 사용하여 측정하였으며, 정밀도는 측정값의 ±0.1%이다. 측정값에 의한 냉동능력과 시스템 COP의 불확실도는 각각 1.78%와 1.89%로 나타났다.

2.2 실험방법 및 성능계산

Table 2는 실험에 적용한 기준조건과 가변조건에 대한 간격을 나타내고 있다. 가정용 냉장고는 냉장조건인 3°C에서 냉동조건인 -20°C까지 다양한 온도조건에서 운전되고 있지만, 본 연구에서는 냉장조건인 3°C를 기준으로 실험조건을 선정하였다. 외기온도는 30°C로 고정하고, 응축온도는 35°C를 기준으로 60°C까지 5°C씩 증가시키고, 증발온도는 -25°C를 기준으로 -35°C까지 2.5°C씩 감소시키며 실험을 수행하였다. 기계실 유닛에 연결되는 증발기의 용량은 50.0 W로 선정하여 설계하였다.

증발기 용량에 적합한 압축기의 회전수를 선정하고, 기준조건에서 최대 COP를 나타내는 최적 냉매 충전량을 결정하였다. 실험을 통해 결정된 최적 냉매 충전량에서 증발온도를 변화시키면서 성능특성에 대한 영향을 고찰하였다. 최종적으로 최적 냉매충전량과 최적 증발온도에서 응축온도를 변화시키면서 Single, Dual 및 Triple 냉장고 시스템의 성능 특성을 비교하였다.

냉동시스템의 성능은 냉동용량과 COP를 통해서 나타낼 수 있는데, 응축기에서 2차유체의 열교환량은 2차유체 유량과 입·출구의 온도차로서 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

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

증발기에서 냉동용량은 증발기 부하용 히터의 출력으로 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{evap, r} = Q_{heater} \quad (2)$$

냉동시스템의 COP는 증발기의 총 냉동용량과 소요동력의 비로 나타낸다. Q와 COP의 예상 불확실도는 모두 3.5%로 나타났다.

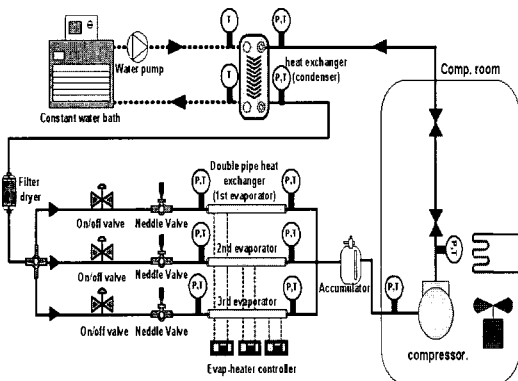


Fig. 1 Schematic diagram of the multi refrigerator system.

$$COP = \sum_1^3 Q_{evap} / W \quad (3)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 냉매 충전량의 영향

냉동 시스템의 증발온도를  $-25^{\circ}\text{C}$ , 응축온도를  $35^{\circ}\text{C}$ 로 고정하고, 냉매 충전량을 변화시키면서 최대의 COP를 얻는 상태를 최적 냉매 충전량으로 결정하였다. Single 시스템인 경우 1500 rpm 에서 50 W의 냉동용량을 나타냈으며, Dual 시스템과 Triple 시스템의 경우 2100 rpm과 3300 rpm에서 각각 100 W 및 150 W의 냉동용량을 나타냈다. 각 시스템에 대하여 위에 명시한 압축기 회전수에서 냉매 충전량 실험을 진행하였다.

Fig. 2에 나타낸 바와 같이 압축기 소비전력은 냉매 충전량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인다. 이는 응축압력의 상승으로 인한 압축비의 증가가 가장 큰 원인이다. 시스템의 냉동용량은 냉매 충전량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이나, 60 g 이상 충전조건에서부터 점차 감소하였다. 냉매 과충전 조건에서 사이클 전체 압력은 상승하였으며, 기준 증발온도를 유지하기 위하여 미터링 밸브의 개도는 감소되었다. 따라서 밸브 개도가 감소됨에 따라 냉매유량 또한 감소하였으며, 이로 인하여 냉동용량이 감소되었다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 COP는 냉동용량과 유사한 결과를 보인다. Single 시스템의 경우 40 g에서 최대의 COP를 나타냈으며, 이때의 COP는

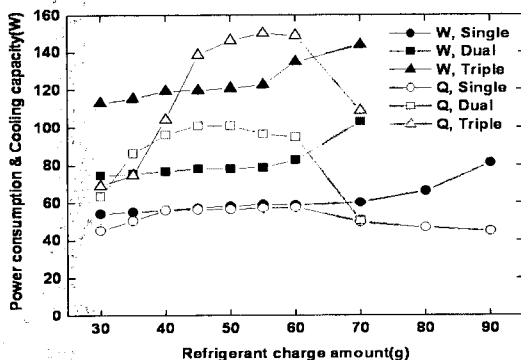


Fig. 2 Variations of cooling capacity and power input with refrigerant charge.

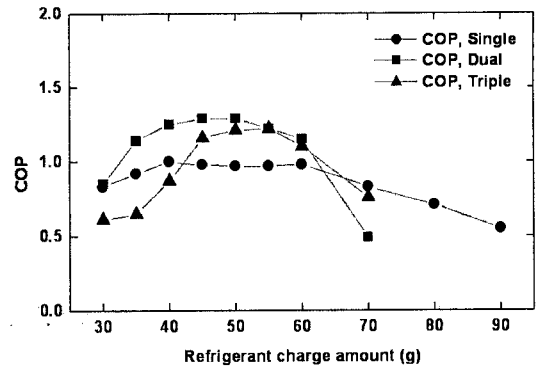


Fig. 3 Variation of COP with refrigerant charge.

1.0이었다. Dual 및 Triple 시스템의 경우 각각 냉매 충전량이 45 g 및 55 g일 때 최대의 COP를 나타냈으며, 이때의 COP는 각각 1.29 및 1.22로 나타났다. 세 가지 시스템의 비교 결과 Single 시스템보다 Dual과 Triple 시스템에서 COP는 22.0~29.0% 정도 높게 나타났다.

냉매량 과충전 조건인 70 g에서 Single 시스템의 경우 COP는 0.83, 냉동용량은 50 W를 나타내어 최적 충전량 조건인 40 g과 비교하여 COP가 17.3% 감소하였으며, 냉동용량은 11.0% 감소하였다. Dual 시스템의 경우에는 응축압력이 급격히 상승하여 COP는 1.29에서 0.49로 62.0% 감소하였으며, 냉동용량은 101.0 W에서 60.7 W로 40.0% 감소하였다. Triple 시스템의 경우 냉동용량은 150.1 W에서 108.9 W로 COP는 1.22에서 0.76으로 사이클 성능이 크게 감소하였다. 따라서 멀티형 냉장고 시스템은 증발기의 조합에 따라 최적 냉매 충전량이 다르므로 이를 완충할 수 있는 수액기의 장착이 필수적임을 알 수 있다.

#### 3.2 증발온도의 영향

Figs. 4와 5는 증발온도의 변화에 따른 시스템의 냉동용량과 COP의 변화를 각각 나타내고 있다. Single 시스템의 경우 증발온도를  $-25^{\circ}\text{C}$ 에서  $-35^{\circ}\text{C}$ 로 변경한 경우 COP는 1.0에서 0.84로 감소하였으며, 냉동용량은 56.2 W에서 35.7 W로 감소하였다. 동일조건에서 Triple 시스템은 COP와 냉동용량이 1.22에서 1.13, 150.1 W에서 93.7 W로 감소하였다. 증발온도가 낮아짐에 따라 소비전력과 냉동용량이 감소하였으며, 이는 흡입 냉매의 비체적이 증가하여 시스템의 냉매유량이 감소되기

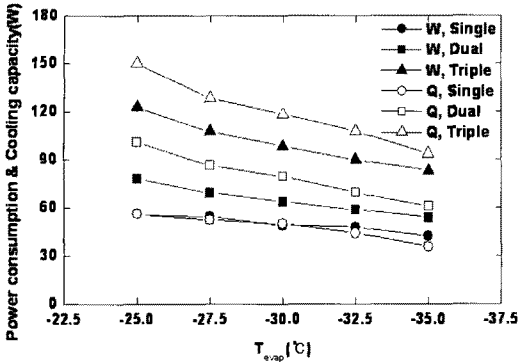


Fig. 4 Variations of cooling capacity and power input with evaporating temperature.

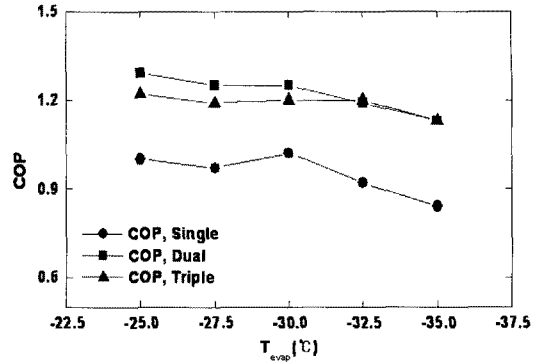


Fig. 5 Variation of COP with evaporating temperature.

때문이다. 따라서 압축비의 증가를 초래하여 COP는 낮아지게 된다.

냉동(-20℃)조건에서 냉장고가 운전될 경우 증발온도는 -35℃까지 낮아지게 된다. 이와 같이 냉장고의 온도가 낮은 저부하 조건에서 Dual과 Triple 시스템의 COP는 1.13으로 Single 시스템 COP 0.84 대비 34% 높은 효율을 나타내었다.

### 3.3 응축온도의 영향

Fig. 6과 Fig. 7은 응축온도의 변화에 따른 시스템의 냉동용량 및 COP를 각각 나타내고 있다. 응축온도 변경실험에서 증발온도는 -25℃로 고정시켰다. 응축온도를 35℃에서 60℃로 증가시킨 경우 모든 시스템의 소비전력은 계속적으로 증가하였으며, 냉동용량은 감소되었다. Single 시스템

의 냉동용량은 56.2 W에서 39.1 W로 30.4% 감소하였으며, 소비전력은 56.0 W에서 74.9 W로 33.8% 증가하였다. Single 시스템과 동일조건에서 Triple 시스템의 냉동용량은 150.1 W에서 73.8 W로 50.8% 감소하였으며, 소비전력은 122.7 W에서 132.0 W로 7.6% 증가하였다.

응축온도의 상승에 따라 냉매와 외기와의 온도 차이가 감소하여 응축기 열량이 감소하게 되어 증발기 입구에서의 건도가 증가되면서 냉매유량의 감소를 유발하여 시스템의 냉동용량이 감소하였다. 그리고 응축압력의 상승으로 인하여 압축비가 크게 상승하였으며, 이로 인하여 압축기의 소비전력은 증가하였고, 결과적으로 COP는 감소하게 되었다. Single 시스템의 COP는 1.0에서 0.52로 48% 감소하였고, Triple 시스템의 COP는 1.22에서 0.56으로 54.1% 감소하였다. 응축온도 증가

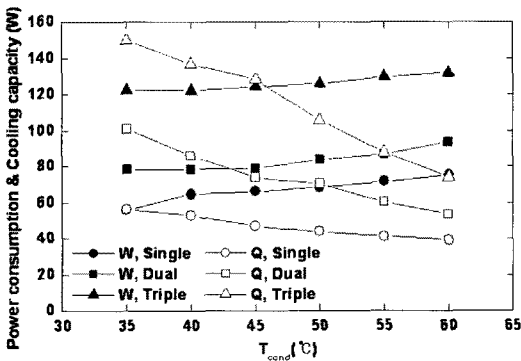


Fig. 6 Variations of cooling capacity and power input with condensing temperature.

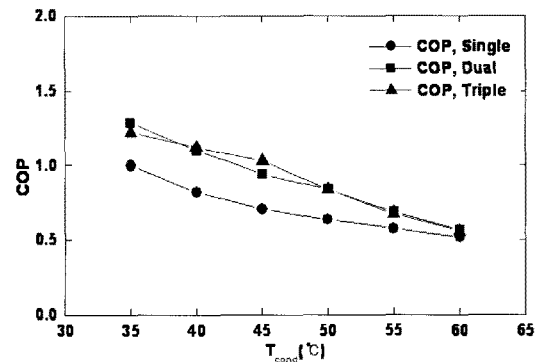


Fig. 7 Variation of COP with condensing temperature.

에 대한 COP 감소율은 Dual과 Triple 시스템에서 Single 시스템 보다 높게 나타났다. 외부 온도가 높거나 혹은 방열부(응축기)의 성능이 낮은 경우에 증발부하가 큰 멀티 시스템의 성능 악화가 더 크게 발생하였다.

3.4 SLHX 적용에 따른 성능개선

SLHX를 적용하여 증발기 출구의 기상의 저온 냉매를 응축기 출구의 액상의 고온 냉매와 열교환시켜 사이클의 성능 변화를 고찰하였다. SLHX의 적용으로 인하여 시스템의 체적이 증가하기 때문에 최적 냉매 충전량 실험을 다시 수행하였다. Fig. 8은 SLHX 적용한 경우 냉매 충전량 변화에 따른 시스템 냉동용량의 변화를 나타내었다. Single 시스템의 최적 냉동용량은 56.2 W에서 90.5 W로 61.0% 증가하였으며, Dual 시스템의 경우 101.0 W에서 112.0 W로 10.9%, Triple 시스템은 150.0 W에서 176.6 W로 17.7% 증가하였다.

Fig. 9는 SLHX 적용에 따른 COP의 변화를 나타내고 있다. 모든 시스템에서 SLHX 적용에 따라 기본 시스템과 비교하여 최적 냉매 충전량이 증가하였다. 특히 Triple 시스템에서 최적 냉매 충전량의 증가가 현저하게 나타났다. SLHX의 적용에 따라 Single 시스템의 COP는 1.0에서 1.37로 37.0% 개선되었으며, Dual 시스템은 1.29에서 1.39로 7.8% 향상되었다. Triple 시스템은 COP는 1.22에서 1.51로 23.8% 증가하였다. SLHX 적용으로 인한 사이클의 효율 향상은 SLHX를 통한 방열량이 향상되었기 때문이다. Fig. 10에 SLHX 적용 전·후의 사이클의 변화를 나타내었다.

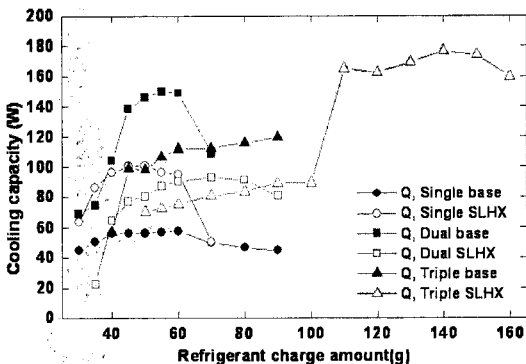


Fig. 8 Variation of cooling capacity with refrigerant charge.

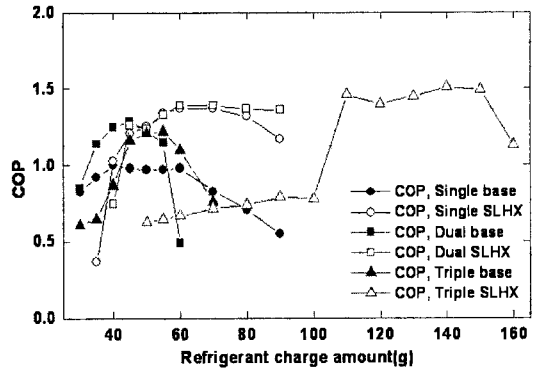


Fig. 9 Variation of COP with refrigerant charge.

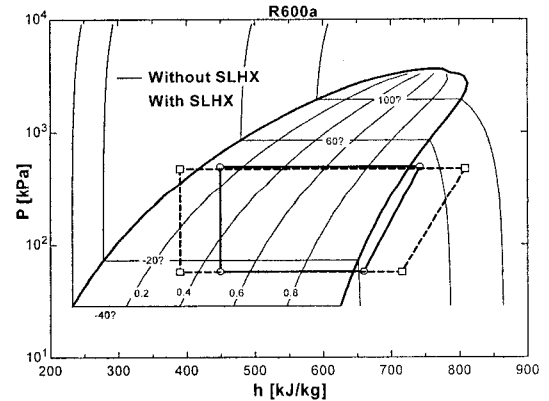


Fig. 10 Effects of SLHX.

SLHX에서 추가적인 열교환으로 인하여 팽창장치 입구에서의 과냉도가 증가되어, 증발기 입구에서 냉매의 엔탈피를 크게 낮출 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 1개의 기계실에 3개의 냉장고를 병렬로 구성하여 응축온도 및 증발온도의 변화, SLHX의 적용에 따른 멀티형 냉장고 시스템의 성능특성을 고찰하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) Single, Dual, Triple 시스템의 최적 냉매 충전량은 각각 40 g, 45 g, 55 g으로 나타났으며, 시스템의 COP는 각각 1.0, 1.29, 1.22로 나타났다. 증발기 대수가 증가함에 따라 시스템 체적이 증가하기 때문에 적절한 냉매 충전량 조절이 요구된다.
- (2) Single, Dual, Triple 시스템은 증발온도의 감소에 따라 소비전력, 냉동용량 및 COP의 감소

는 동일한 경향을 보이거나 증발온도를 1℃ 감소할 때 COP 감소는 Single 0.016, Dual 0.016, Triple 0.01로 Triple 시스템의 COP 감소율이 가장 적게 나타났다.

(3) Single, Dual, Triple 시스템은 응축온도의 증가에 따라 소비전력의 증가, 냉동용량의 감소, COP의 감소는 동일한 경향을 보이며 응축온도를 5℃ 증가시킬 경우 COP 감소율은 Single 시스템이 0.1, Dual 0.14, Triple 0.13으로 멀티 시스템의 COP 감소율이 Single 시스템 보다 높게 나타났다.

(4) SLHX 적용함으로써 모든 시스템에서 성능은 향상되었으며, SLHX 적용으로 인한 COP 상승률은 Single, Dual, Triple 시스템에서 각각 37.0%, 7.8%, 23.8%로서 Single 시스템에서의 성능 향상이 가장 높았다.

#### 참고문헌

1. Yoon, W. J., Ahn, J. H., Kim, Y. H., Seo, K. J., Lee, J. S. and Choi, D. C., 2004, A study on the optimal operation of domestic refrigerator with high efficiency BLDC inverter compressor, Proceedings of the SAREK '04 Summer Annual Conference, pp. 243-248.
2. Kim, C. N., Kim, Y. Y., Lee, J. S., Bae, H. G., Kim, M. W. and Park, Y. J., 2003, A study on the performance of refrigerator with time divided multi-evaporator and expansion cycle, Proceedings of the SAREK '03 Summer Annual Conference, pp. 1261-1266.
3. Noguchi, A., 2004, Refrigerator with 2-stage parallel refrigeration cycle, Refrigeration, Vol. 79, No. 9, pp. 795-797.
4. Shapiro, D., Rohrer, C., 2006, Two-stage linear compressor with economizer cycle where piston(s) stroke(s) are varied to optimize energy efficiency, International Compressor Engineering Conference at Purdue July 17-20, C007.
5. 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.
6. Azzou, K., Leducq, D. and Gobin, D., 2008, Performance enhancement of a household refrigerator by addition of latent heat storage, Int. J. of Refrigeration, Vol. 31, pp. 892-901.
7. Han, D., Kwon, H., 1999, Zone temperature control of the multi-type heat pump system, Proceedings of the SAREK '99 Winter Annual Conference, pp. 611-616.
8. Park, B. K., Seo, D. N. and Um, Y. S., 2007, Experimental study on cooling and heating operation characteristics of inverter type multi-heat pump, Proceedings of the SAREK, '07 Winter Annual Conference, pp. 618-622.