

나선형 핀-튜브 증발기를 적용한 냉장고의 성능 특성에 관한 연구

이상헌* · 윤원재* · 김용찬*† · 이무연** · 윤성중***

* 고려대학교 기계공학과, ** 자동차부품연구원, *** 한국번디(주) 연구소

Study on Performance Characteristics of Spiral Fin-Tube Evaporator Applied to Domestic Refrigerator-Freezers

Sang Hun Lee*, Won Jae Yoon*, Yongchan Kim*†, Mooyeon Lee** and Seongjung Yun***

* Dept. of Mechanical Engineering, Korea Univ.,

** Korea Automotive Technology Institute

*** Research and Development Team, Korea Bundy Corporation

(Received October 20, 2011 ; Revised November 20, 2012 ; Accepted November 23, 2012)

Key Words : Spiral Fin(나선형 핀), Evaporator(증발기), Domestic Refrigerator-Freezer(가정용 냉장고)

초록: 본 연구는 평판 핀-튜브 증발기와 나선형 핀-튜브 증발기를 적용한 가정용 냉장고의 성능특성 비교를 통하여 기존에 사용하고 있는 핀-튜브 증발기를 나선형 핀-튜브 증발기로 대체할 수 있는 가능성을 고찰하는데 그 목적이 있다. 실험은 2 단 15 열의 평판 핀-튜브 증발기와 2 단 15 열에서 2 단 11 열까지 열 수를 단계적으로 감소시킨 3 종류의 나선형 핀-튜브 증발기를 실제 냉장고에 적용하여 수행하였다. 핀-튜브 증발기의 열 수가 감소할수록 냉동시스템의 최적 냉매 충전량은 감소하였으며, 2 단 13 열과 2 단 11 열의 나선형 핀-튜브 증발기를 장착한 냉장고의 소비전력은 기존 2 단 15 열의 평판 핀-튜브 증발기를 적용한 냉장고 대비 각각 1.5%와 2.8% 감소하였다. 또한 내착상 실험결과 나선형 핀-튜브 증발기가 기존 평판 핀-튜브 증발기와 비교하여 같은 착상조건에서 3~7% 향상된 냉각능력을 보였다. 냉각속도 실험에서는 모든 증발기는 동등수준의 성능을 나타내었다.

Abstract: The objective of this study was to investigate the feasibility of replacing a conventional plate fin-tube evaporator with a spiral fin-tube evaporator by comparing the performance of domestic refrigerator-freezers adopting either the plate fin-tube evaporator or spiral fin-tube evaporator. Experiments were conducted for the domestic refrigerator-freezers using either a 2-column and 15-row plate fin-tube evaporator or three spiral fin-tube evaporators with 11, 13, and 15 tube rows (N). The optimum refrigerant charge decreased with a decrease in the number of tube rows. The power consumptions of the domestic refrigerator-freezers using the spiral fin-tube evaporators with N = 11 and 13 were 2.8% and 1.5% lower than those using the plate fin-tube evaporator, respectively. In addition, the cooling capacity of the spiral fin-tube evaporator with N = 13 was 3~7% higher than that of the plate fin-tube evaporator under the frosting condition. In a cooling speed test, all of the evaporators showed similar performances.

- 기호설명 -

- C : 단 (Column)
- R : 열 (Row)
- Evap. : 증발기 (Evaporator)
- Comp. : 압축기 (Compressor)

1. 서론

전세계적으로 환경에 대한 관심의 고조와 규제가 강화되면서 지구온난화를 유발하는 이산화탄소 배출을 저감하기 위한 연구가 학계 및 산업체에서 다양하게 이루어지고 있다. 그 일환으로 가정용 냉장고에 사용되어 온 R-134a 대신 환경 친화적 자연냉매인 R-600a가 사용되고 있으며, 냉동 시스템의 에너지 효율을 향상시키기 위하여 유도 전동

† Corresponding Author, yongckim@korea.ac.kr
© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

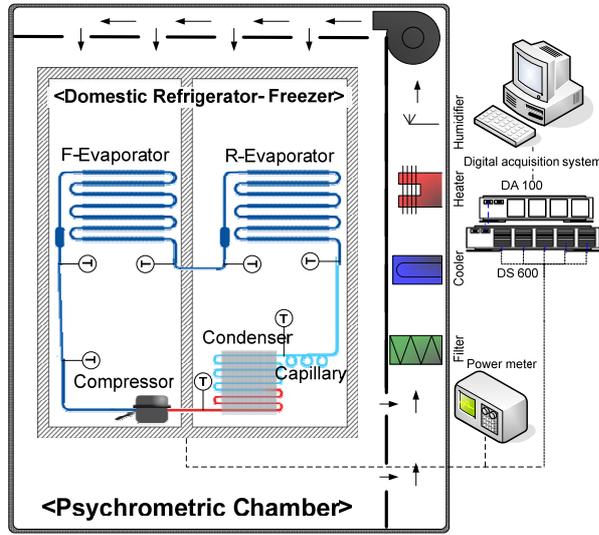


Fig.1 Schematic of the experimental setup

기로 구동되는 기존 정속형 압축기가 BLDC 전동기가 적용된 용량 가변형 압축기로 대체되고 있는 추세이다. 또한, 냉동 사이클의 에너지 효율 개선을 위해 응축기와 증발기의 최적화 및 고효율화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

냉장고의 증발기는 영하의 온도에서 운전되기 때문에, 열전달 효율을 저감시키는 표면에서의 착상과 이를 제거하기 위한 주기적인 제상운전이 불가피하다. 증발기의 착상은 순환되는 공기의 노점 온도보다 낮은 증발기 표면과 공기와의 열 및 물질전달로 인하여 표면에 서리가 성장하게 되는 현상이다. 이와 같은 서리의 성장으로 인해 냉매와 공기 사이의 열저항이 증가하여 단위 전열면적당 열전달율이 감소하고 공기유동 측면에서 압력강하가 증가한다. 한편, 증발기에 착상된 서리의 제거를 위한 제상운전은 제상히터의 동작을 위한 소비 전력 입력과 히터의 발열에 의한 열부하 발생의 측면에서 냉장고의 에너지 효율을 악화시키는 요인으로 작용한다.

이러한 문제들로 인해 냉장고 증발기의 최적화 연구는 착상 및 무착상 조건에서의 성능특성과 제상운전까지 고려한 종합적인 관점에서 수행되어야 한다. 특히 냉동실은 온도가 -15°C 이하로 유지되기 때문에 냉장실 대비 운전시간이 매우 길고 착상에 취약하므로 냉장고의 에너지 효율을 향상시키기 위해서는 착상조건에서 장시간 운전되는 냉동실 증발기의 효율을 높이는 연구가^(1~4) 필요하다. 기존의 냉장고에서는 형상이 비교적 단순한 평판 핀-튜브 증발기가 일반적으로 사용되었으며, 증발

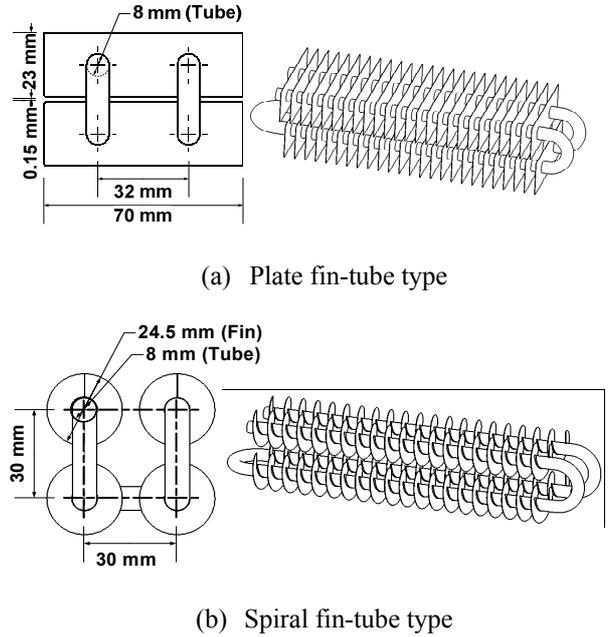


Fig. 2 Types of fin-tube evaporators for household refrigerator-freezer

기 최적화에 대한 연구도 이에 대한 연구가 대부분이었으나 최근 평판 핀-튜브 증발기와 비교하여 성능특성이 우수한 나선형 핀-튜브 증발기에 관한 연구⁽⁵⁾가 소개되고 있다. 그러나 현재까지 연구는 냉장고의 운전조건을 모사하여 형상 변수에 따른 나선형 핀-튜브 증발기의 열전달 특성에 집중되었고, 나선형 핀-튜브 증발기를 실제 냉장고의 냉동실에 적용하여 성능특성을 고찰한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 나선형 핀-튜브 증발기의 우수한 열전달 성능을 고려하여, 기존 평판 핀-튜브 증발기와 같은 2 단 15 열에서 2 단 11 열까지 전열면적을 단계적으로 감소시킨 3 개의 시료를 제작하였으며, 실제 냉장고에 적용하여 기존의 2 단 15 열 평판 핀-튜브 증발기와 성능특성을 비교하고 대체 가능성에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 구성 및 방법

Fig. 1 은 본 연구에서 사용한 실험장치의 구성을 나타낸 개략도이다. 실험조건을 충족하기 위하여 R-600a 를 사용하는 0.75 m^3 (750 l) 내용적의 양문형 냉장고를 온도 및 습도가 일정하게 유지되는 항온항습실 내부에 설치하였다. 사이클의 운전상태 분석을 위하여 압축기, 응축기, 모세관, 냉장실과 냉동실 증발기의 입/출구 온도를 오차 범위 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 의 열전대를 설치하여 측정하였다. 증발기 핀 표면에

Table 1 Specifications of the fin-tube evaporators

Parameters	Specifications	
	Plate fin type	Spiral fin type
Fin type	Plate fin type	Spiral fin type
Fin/tube alignment	Inline / Inline	
Columns/rows	2/15	2/15, 13, 11
Fin size (mm)	70*23 (H*W)	24.5 (diameter)
Fin thickness (mm)	0.2	0.2
Tube pitch (mm)	30.0	30.0
Tube outer diameter (mm)	8.0	8.0
Tube thickness (mm)	0.5	0.5

형성된 서리로 인한 냉각 성능 저하를 분석하기 위하여 오차 범위 ± 0.003 mm의 캐시토크미터(NCM-D-500, N.O.W.)를 이용하여 서리두께를 측정하였다. 냉장고의 소비전력은 적산전력계(WT-1030, YOKOGAWA)로 측정하였고, 측정된 데이터들은 매 10 초마다 데이터로거(DA100, YOKOGAWA)를 사용하여 기록하였다.

Fig. 2는 냉동실용 증발기에 적용한 평판 핀-튜브 증발기 및 나선형 핀-튜브 증발기의 형상을 나타낸 것이다. 각 증발기는 정렬 핀(inline fin) 및 정렬 튜브(inline tube) 배열이다. 평판 핀은 각 열마다 2개의 튜브와 연결되어 있고, 나선형 핀은 각 튜브마다 핀들이 개별적으로 결합되어 있다. 나선형 핀-튜브 증발기는 동일 튜브 길이를 기준으로 기존의 평판 핀-튜브 증발기와 비교하여 약 65%정도의 전열면적을 가지도록 설계하였고, 핀 형상을 제외한 증발기의 형상 변수는 기존의 평판 핀-튜브 증발기와 동일하게 제작하였다. Table 1은 본 연구에서 사용한 증발기에 관한 자세한 사양을 나타낸다.

외기온도와 냉동실 내부 평균온도는 국제규격(ISO 15502, 2005 N-class condition)⁽⁶⁾을 고려하여 선정하였고, 각 실험의 외기조건을 Table 2에 명시하였다. 본 실험에 앞서, 기존 평판 핀-튜브 증발기에 대하여 성능평가를 진행한 후, 각 사양의 나선형 핀-튜브 증발기를 적용하여 최적 냉매량을 도

Table 2 Test conditions

Test	Ambient temperature / relative humidity (°C/%)
Energy consumption	25 / 75
Cooling capacity under frosting condition	35 / 75
Cooling speed under non-frosting condition	32 / 75

출하고, 각 증발기의 최적 냉매량을 주입한 상태에서 모든 성능평가를 수행하였다.

2.1 소비전력량 실험

소비전력량 실험은 외기온도 25°C, 상대습도 75%의 조건에서 냉동실 온도를 -18°C, 냉장실 온도를 3°C로 설정한 후 동봉을 통하여 측정된 고내 평균온도가 설정 온도로 안정화 되는 시점부터 48시간 동안 소비된 전력량을 측정한다. 24시간 운전 후 2차 제상 직전의 가장 안정화된 4사이클의 소비전력을 평균하여 월간 소비전력량으로 산출하였다. 고내 평균온도의 측정은 25g의 동봉에 삽입하여 측정 후 평균치를 구하였다. 동봉은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 냉동실과 냉장실을 지면과 수직 방향으로 각각 4분할하여 분할된 칸마다 그 중앙부에 설치하였다. 또한 내벽으로부터 전도되는 열전달을 차단시키기 위하여 동봉 하단에 단열재를 설치하였다.

2.2 내착상 실험

내착상 실험은 일정한 간격으로 착상부하를 투입함으로써 강제적으로 증발기의 서리성장을 촉진시켜 과도한 착상조건에서 증발기가 냉동성능을 유지할 수 있는 최대 시간을 평가하였다. 본 실험은 외기온도 35°C 상대습도 75%의 조건에서 고내를 최대 냉각온도로 안정화시켰으며 실험이 시작되면 제상운전을 강제적으로 수행시킨 후 제상 종료와 동시에 24시간 동안 제상운전 및 압축기 단속운전 없이 연속적으로 냉각운전 상태를 유지시켰다. 실험 시작으로부터 매 3시간마다 냉동실에 물부하를 교체, 투입함으로써 동일한 조건으로 착상을 촉진시켰다. 실험은 투입된 부하로 인한 서리의 성장이 증발기의 열전달 성능을 약화시켜, 물부하 투입으로 상승한 냉동실의 온도를 다시 낮출 수 없을 때까지 계속 수행한 다음 증발기 덕트를 분리하여 증발기 핀 표면에 형성된 서리두께를

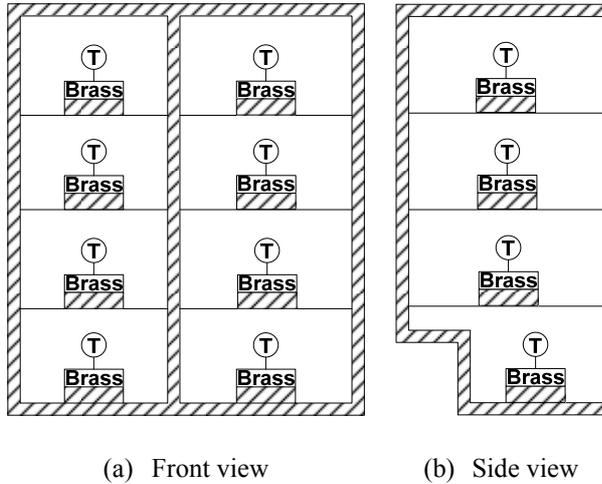


Fig. 3 Storage plan for energy consumption test and cooling speed test under non-frosting condition

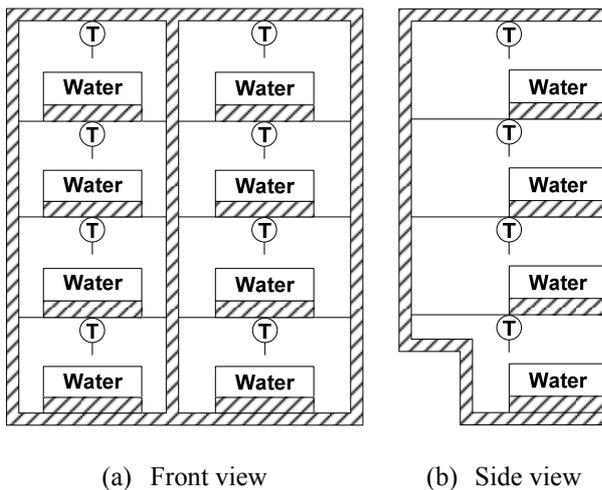


Fig. 4 Storage plan for cooling capacity test under frosting condition

측정하였다. 부하는 50 mm(H)*100 mm(W)*200 mm(L)의 용기에 35℃의 물을 채워 사용하였고, Fig. 4 에 나타난 바와 같이 냉동실과 냉장실을 수직 방향으로 각각 4 분할 하여 분할된 칸마다 적재하였다. 물부하량은 증발기의 전열면적을 고려하여, 냉동실은 내용적 0.1 m³ 당 760 ml 로, 냉장실은 0.05 m³ 당 760 ml로 선정하였다. 내벽으로부터 부하에 전도되는 열을 차단하기 위해 부하 하부에 단열재를 설치하였다. 고내 평균온도는 4 분할 된 각 부분의 중앙부에 열전대를 설치하여 측정한 후 평균치를 구하였다.

2.3 냉각속도 실험

냉각속도 실험은 냉동실을 상온으로부터 설정온도까지 냉각시키는데 소요되는 시간을 측정하였으

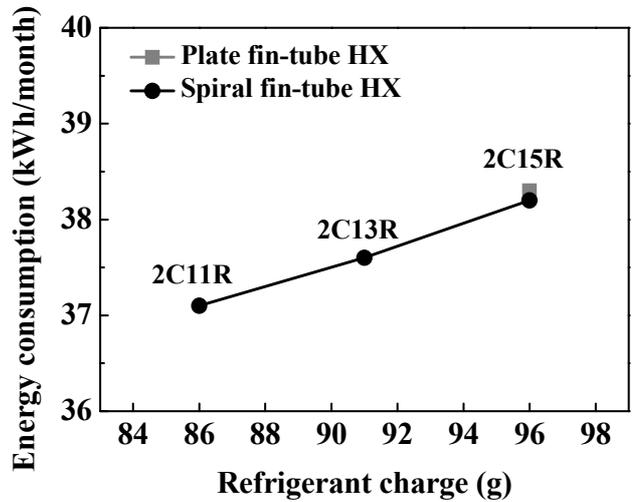


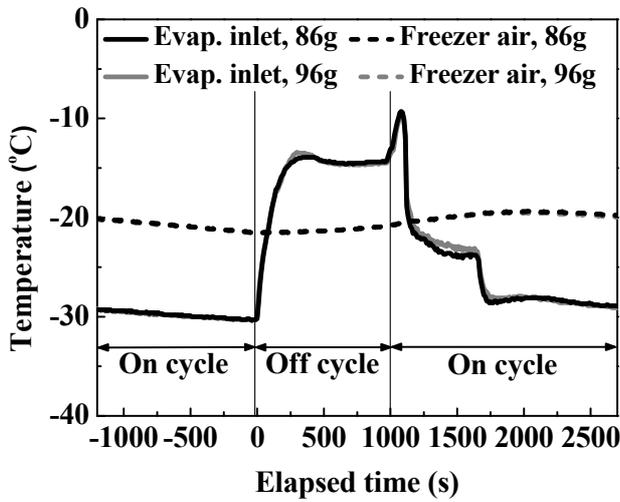
Fig. 5 Comparison of the energy consumption of the household refrigerator-freezers with various evaporators

며, 이를 통해 무착상 조건에서 증발기의 열전달 성능을 확인할 수 있다. 본 실험은 외기온도 32℃, 상대습도 75%의 조건에서 수행하며, 냉장고의 도어를 열어 냉장고 전체 부품 온도가 외기온도와 동일할 때까지 안정화시킨 후, 도어를 닫고 냉장고를 기동하여 냉동실의 고내 평균온도가 -18℃에 도달할 때까지 진행하였다. 본 실험에서 압축기 단속이 없는 연속적인 냉각운전을 통해 고내 온도가 설정온도에 도달하는 시간을 측정함으로써, 무착상 조건에서의 증발기 냉각성능을 평가한다. 고내 평균온도의 측정과 동봉 적재 방식은 소비전력 측정과 동일한 방법으로 수행하였다.

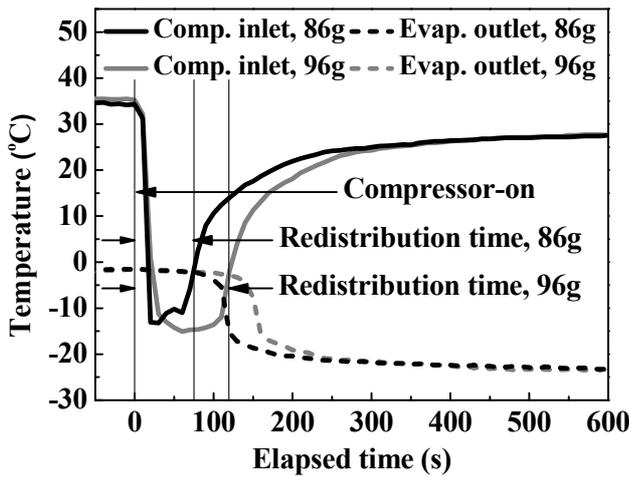
3. 결과 및 고찰

3.1 소비전력량

나선형 핀-튜브 증발기를 적용한 냉장고의 최적 냉매 충전량을 측정한 결과, 최적 냉매 충전량은 기존 시스템과 동일한 96 g으로 나타났으며, 열수가 단계적으로 2 열씩 감소한 2 단 13 열은 91 g, 2 단 11 열은 86 g 이 최적으로 나타났다. 본 연구에서는 소비전력량이 최소가 될 때를 기준으로 최적 냉매 충전량을 결정하였고, 실험에서 충전량 변경은 5 g 단위로 수행하였다. Fig. 5 는 각 증발기를 적용한 냉장고의 월간 소비전력량을 나타내고 있다. 2 단 15 열 평판 핀-튜브 증발기와 2 단 15 열 나선형 핀-튜브 증발기의 경우 냉매가 순환하는 튜브 내용적이 동일하기 때문에 최적 냉매 충전량의 변화가 없었고, 냉매 충전량이 동일하여 월간



(a) Migration loss



(b) Redistribution loss

Fig. 6 Comparison of the cycling loss with various optimum refrigerant charges.

소비전력량 또한 동등 수준을 보였다. 반면 최적 충전량이 91 g 과 86 g 으로 감소한 2 단 13 열과 2 단 11 열의 나선형 핀-튜브 증발기는 소비전력량이 각각 1.5%와 2.8% 감소하였다.

Björk 등⁽⁷⁾과 Rubas 와 Bullad⁽⁸⁾은 냉장고와 같이 On/off cycle 로 운전되는 시스템에서 압축기가 정지되면 응축기에 있는 고온의 냉매가 압력이 낮은 증발기로 유입되어 증발온도가 상승되고, 압축기 기동 시 증발기에 유입된 냉매를 재분배하는 데 전력이 손실된다고 보고하였다. Fig. 6 (a)의 증발기 입구와 고내의 온도 상승은 Off cycle 에서 고온의 냉매 유입으로 인한 냉매의 이송손실(migration loss) 을 나타낸다. 냉매 충전량이 감소하여도 Off cycle

에서 증발기 입구의 온도 및 고내 온도의 변화 추이는 동일하였다. 냉매 충전량의 변화에 따라 고온의 냉매가 증발기로 유입되면서 나타나는 증발기 입구온도 상승 폭이 서로 동일한 것은 이송손실에 대한 냉매량의 영향이 적음을 나타낸다. 반면 Fig. 6 (b)의 압축기 입구측의 온도 변화는 Off Cycle 에서 증발기로 이송되었던 저온의 냉매가 On cycle 초반에 재분배되면서 발생하는 현상이므로, 흡입 온도가 낮게 유지되는 구간은 재분배 손실(redistribution loss) 구간을 나타낸다. 재분배 손실 구간의 소비전력은 고내 냉각과 상관없이 냉매의 재분배만을 위한 것으로 냉장고의 효율을 저해한다. 냉매 충전량이 감소하는 경우 재분배 손실 구간이 감소하였으며, On cycle 구간 대비 약 3% 단축되었다. 따라서 2 단 13 열 나선형 핀-튜브 증발기와 2 단 11 열 나선형 핀-튜브 증발기를 적용하면, 압축기 기동 시 최적 냉매 충전량의 감소로 인해 재분배 손실이 감소하여 냉장고의 소비전력량이 개선되는 것을 확인할 수 있다.

3.2 내착상 성능

내착상 실험을 통해 과착상 조건에서 각각의 증발기가 냉각성능을 유지할 수 있는 시간을 평가하고 성능특성을 비교하였다. Fig. 7 은 평판 핀-튜브 증발기와 나선형 핀-튜브 증발기의 내착상 성능을 냉동실의 평균온도로 나타낸 것이다. 동등한 착상 조건에서 동일한 누적시간동안 증발기 표면에 서리를 착상시켰을 때, 상대적으로 낮은 고내 온도를 유지하는 것은 냉각 성능의 향상을 나타낸다. 2 단 15 열의 나선형 핀-튜브 증발기는 12 시간까지 냉동실 평균온도를 -15°C 이하로 유지하였으며, 기존의 2 단 15 열 평판 핀-튜브 증발기와 비교하였을 때 동등 수준의 내착상 성능을 보였다. 한편, 2 단 13 열의 나선형 핀-튜브 증발기는 기존의 증발기와 비교하여 실험시작 3 시간부터 12 시간 구간에서 냉동실 온도상승폭을 기준으로 3~7% 우수한 냉각성능을 보였다. 또한 평판 핀-튜브 증발기의 경우 12 시간 이후 냉동실 평균온도가 급격하게 상승하지만 나선형 핀-튜브 증발기의 경우 3 가지 시료 모두 냉동실 온도의 상승이 18 시간까지 상대적으로 지연되었다.

Lee 등⁽⁹⁾은 착상조건에서의 나선형 핀-튜브 열교환기와 평판 핀-튜브 열교환기의 성능특성 실험을 통하여 Fig. 7 과 유사한 경향을 보고하였다. Fig. 8 은 24 시간 동안 증발기 핀에 형성된 서리 무게를 각 열마다 측정된 것이다. 2 단 15 열 평판 핀-

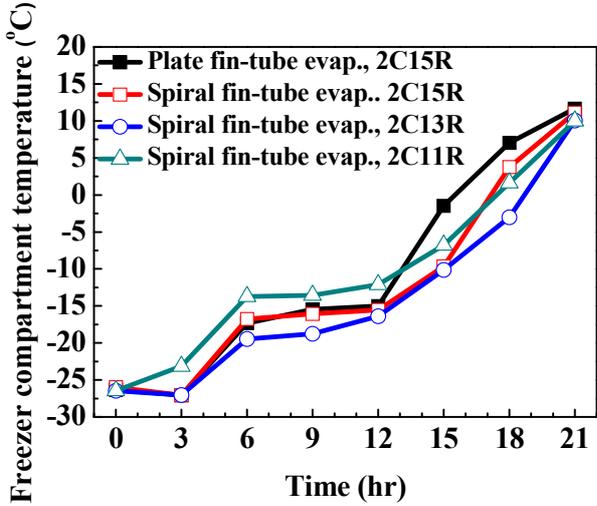


Fig. 7 Comparison of the cooling capacity with various evaporators under frosting condition.

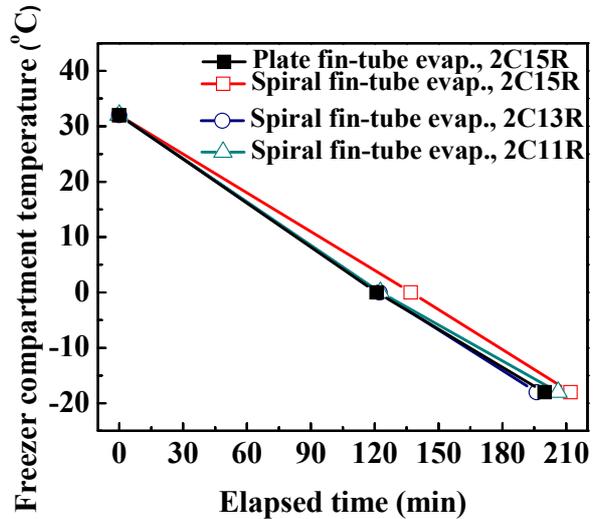


Fig. 9 Comparison of the cooling speed with various evaporators under non-frosting condition.

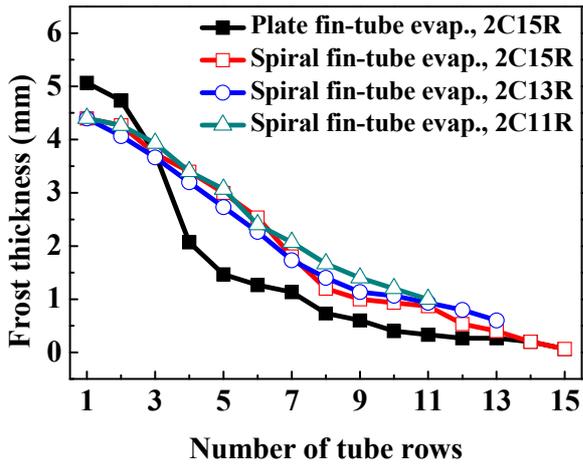


Fig. 8 Comparison of the frost thickness with various evaporators under frosting condition.

튜브 증발기의 경우 공기층 입구 2 열까지 서리착상이 집중되고 4 열 이상에서는 서리두께가 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반면, 나선형 핀-튜브 증발기의 경우 서리두께의 변화가 평판 핀-튜브 증발기 대비 상대적으로 작다. 평판 핀의 경우에는 서리가 성장하면 공기층 유로를 급속하게 차단하여 하단부 4 열 이내에 착상이 집중되어 공기유로가 감소하여 열전달 성능이 악화된다. 반면 나선형 핀은 개별 핀의 특성상 서리가 성장하더라도 핀 간의 떨어진 간격으로 인해 공기층 유로 확보가 용이하기 때문에 나선형 핀-튜브 증발기는 평판 핀-튜브 증발기와 비교하여 상대적으로 균등한 서리 성장이 진행되고, 냉각성능도 장시간 유지할 수 있게 된다.

2 단 11 열의 나선형 핀-튜브 증발기는 전체적으로는 양호한 수준의 내착상 성능을 보였으나, 기존 증발기와 비교하였을 때 실험시작 초기 12 시간까지 약 4~7% 가량 추가적인 냉동실 온도상승이 발생하였다. 이는 2 단 11 열 나선형 핀-튜브 증발기의 전열면적이 다소 부족하기 때문에 발생하는 현상으로 판단된다. 증발기의 열수가 감소하면, 그에 비례하여 증발기의 전열면적은 감소하지만, 공기층 유동저항의 감소로 동일한 팬을 적용했을 때 유속이 빨라져 공기층 열전달계수가 향상되는 효과를 가진다. 하지만 열전달계수의 상승이 과부하 조건에서의 전열면적 감소에 의한 사이클의 냉각 능력 악화를 완전히 상쇄할 수는 없다. Yan 등⁽⁹⁾은 착상조건에서 핀-튜브 열교환기의 공기층 입구 유속을 증가시키면, 물질전달량이 증가하여 서리의 성장이 촉진되어 유속의 증가로 인한 열전달계수 향상의 영향이 감소한다고 보고하였다. 따라서, 2 단 11 열의 나선형 핀-튜브 증발기의 경우 냉매 충전량 저감을 통한 소비전력량 개선과 증발기 점유체적의 감소효과 등을 기대할 수 있으나 증발기 전열면적이 다소 부족하여 과부하 또는 과착상 조건에 대응하기에는 다소 무리가 있다. 기존의 평판 핀-튜브 증발기를 나선형 핀-튜브 증발기로 대체할 경우 증발기의 크기를 얼마나 축소(down-sizing) 할 수 있는지는 냉장고 시스템의 사양 및 요구 성능에 따라 달라질 수 있으나, 최소 15 열과 13 열의 차이인 13% 축소는 가능하며 이 경우 소비전력량 및 내착상 성능 측면에서도 부수적인 성능개선 효과를 기대할 수 있다.

3.3 냉각속도 성능

냉각속도 실험을 통해 무착상 조건에서 각각의 증발기가 냉동실을 설정온도까지 냉각시키는데 소요되는 시간을 평가하여 열전달 성능을 비교하였다. Fig. 9 는 각각 평판 핀-튜브 증발기와 나선형 핀-튜브 증발기를 적용한 경우 냉동실 평균온도가 32℃에서 -18℃까지 감소하는데 소요되는 시간을 나타낸 것이다. 2 단 15 열의 평판 핀-튜브 증발기와 비교하여 2 단 13 열의 나선형 핀-튜브 증발기는 냉각속도가 2% 정도 단축되고, 2 단 11 열의 나선형 핀-튜브 증발기는 약 3% 정도 지연되어 동등 수준의 냉각성능을 가진다고 판단된다. 그러나 2 단 15 열의 나선형 핀-튜브 증발기는 기존의 증발기와 비교하여 약 6% 지연된다. 2 단 15 열의 나선형 핀-튜브 증발기의 냉각속도 지연은 나선형 핀의 형상으로 인한 마찰계수 증가에 기인한다. Tang 등⁽¹⁰⁾은 나선형 핀-튜브 열교환기가 다른 형상의 핀-튜브 열교환기와 비교하여 높은 열전달계수를 가지지만, 또한 매우 높은 마찰계수를 가진다고 보고하였다. 공기측 출구에서 팬을 이용하여 공기를 유동시키는 냉장고 특성상 마찰계수가 클 경우 공기측 입구에서 유속이 감소하게 되고, 유속의 감소는 Yan 등⁽⁹⁾이 보고한 바와 같이 열전달 성능의 감소로 이어진다. 따라서 2 단 15 열 나선형 핀-튜브 증발기의 냉각지연은 기존 평판 핀-튜브 증발기의 성능에 대응하기 위해 최적 설계된 팬의 용량 부족으로써 발생한 것이다. 냉각속도 실험에서 냉장고는 증발기에서 공기와 냉매와의 온도차이가 큰 상태로 운전되기 때문에, 전열면적은 상대적으로 여유가 있어 냉각속도의 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 나선형 핀-튜브 증발기를 실제 냉장고에 적용하여 기존의 평판 핀-튜브 증발기와 (1) 소비전력량, (2) 내착상, (3) 냉각속도 측면에서 성능 특성을 비교하였다.

(1) 소비전력량 측면에서 2 단 15 열 나선형 핀-튜브 증발기는 기존 열교환기 대비 성능이 동등하였고, 2 단 13 열과 2 단 11 열 나선형 핀-튜브 증발기는 최적 충전량의 감소로 인해 소비전력량이 1.5%와 2.8% 감소하였다.

(2) 내착상 성능 측면에서 나선형 핀-튜브 증발기는 기존 평판 핀-튜브 증발기 대비 과착상 구간에서 매우 우수한 성능을 나타내었다. 이는 나선형 핀의 형상에 의해 서리성장이 진행되어도 상대

적으로 공기측 유로의 감소가 평판 핀에 비하여 작고, 서리두께가 나선형 핀-튜브에서 보다 균일하게 나타났다. 하지만 2 단 11 열 나선형 핀-튜브 증발기의 경우 과착상 및 과부하 조건에서 전열면적이 다소 부족함을 확인할 수 있었다.

(3) 냉각속도 측면에서 2 단 13 열과 2 단 11 열 나선형 핀-튜브 증발기는 기존 증발기 대비 동등 수준의 성능을 나타내었다. 그러나 2 단 15 열의 나선형 핀-튜브 증발기의 경우 나선형 핀의 공기측 저항으로 인해 풍량이 감소하여 다소 지연되었다.

(4) 기존의 평판 핀-튜브 증발기를 나선형 핀-튜브 증발기로 대체할 경우 증발기의 크기를 얼마나 축소할 수 있는지는 냉장고 시스템의 사양 및 요구 성능에 따라 달라질 수 있으나, 최소 15 열과 13 열의 차이인 13% 축소는 가능하며 이 경우 소비전력량 및 내착상 성능 측면에서도 부수적인 성능개선 효과를 기대할 수 있다. 또한, 증발기의 소형화에 의한 고내 용적의 추가확보 및 재료비 절감을 실현할 수 있으므로 나선형 핀-튜브 증발기는 가정용 냉장고의 대체 증발기로서 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2012 년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 2010T100200474, No. 20124010203250)입니다.

참고문헌

- (1) Lee, M., Lee, D. and Kim, Y., 2008, "Performance Characteristics of a Small-Capacity Directly Cooled Refrigerator Using R290/R600a (55/45)," *Int. J. of Refrigeration*, Vol. 31, pp. 734~741.
- (2) Yun, R., Kim, Y. and Kim, Y., 2009, "Air Side Heat Transfer Characteristics of Plate Finned Tube Heat Exchangers with Slit Fin Configuration Under Wet Conditions," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, pp. 3014~3020.
- (3) Jung, H. W., Yoon, W. J., Chung, H. J. and Kim, Y. C., 2010, "Performance Characteristics of a Bypass Two-Circuit Refrigeration Cycle Designed for Refrigerators," *Int. J. of Air-Conditioning and Refrigeration*, Vol. 18, No. 2, pp. 141~147.
- (4) Lee, M., Kim, Y., Lee, H. and Kim, Y., 2010a, "Air-Side Heat Transfer Characteristics of Flat Plate Finned-Tube Heat Exchangers with Large Fin Pitches Under Frosting Conditions," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 53, pp. 2655~2661.

- (5) Kang, T., Lee, M., Kim, Y. and Yun, S., 2010, "Experimental Study on the Air-Side Heat Transfer Characteristics of a Spirally-coiled Circular Fin-Tube Heat Exchanger with the Variation of Geometric Parameters," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 34, No. 5, pp. 515~522.
- (6) ISO 15502:2005(E), 2005, Household Refrigerating Appliances - Characteristics and Test Methods, pp. 1~81.
Björk, E., Palm, B., 2006 "Refrigerant Mass Charge Distribution in a Domestic Refrigerator. Part I. Transient Conditions," *Applied Thermal Engineering* Vol. 26, pp. 829~837.
- (7) Rubas, P. J., Bullad, C. W., 1995, "Factors Contributing to Refrigerator Cycling Losses," *Int. J. of Refrigeration*, Vol. 18, No. 3, pp. 167~176.
- (8) Lee, M., Lee S., Jung, H., Kim, Y. and Park, J. 2010c, "Frosting Heat Transfer Characteristics of Evaporators used for Household Refrigerators According to Fin Configuration," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 34, No. 12, pp. 1071~1078.
- (9) Yan, W. M., Li, H. Y., Wu, Y. J., Lin, J. Y. and Chang, W. R., 2003, "Performance of Finned Tube Heat Exchanger Under Frosting Condition," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 46, pp. 871~877.
- (10) Tang, L.H., Zeng, M., Wang Q.W., 2009, "Experimental and Numerical Investigation on Air-Side Performance of Fin-and-Tube Heat Exchangers with Various Fin Patterns," *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 33, pp. 818~827.