

하이브리드 제상 방식을 적용한 냉장고용 핀-관 열교환기의 제상 성능 평가

이 수 원, 박 용 주*, 권 래 언**, 정 영 만**, 이 재 근***†

LG전자 냉장고연구소, *LG전자 HA연구소, **부산대학교 기계공학부

Performance Evaluation of the Hybrid Defrost Process in the Fin-Tube Evaporators of Refrigerators

Suwon Lee, Yongjoo Park*, Laeun Kweon**, Youngman Jeong**, Jaekeun Lee***†

Refrigerator R&D Laboratory, LG Electronics, Gyeongnam 641-711, Korea

*HA R&D Laboratory, LG Electronics, Seoul 153-802, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received July 12, 2010; revision received November 17, 2010)

ABSTRACT: The hybrid defrost process combined with hot-gas bypass defrost and electric heater defrost was experimentally evaluated about its defrost performance in the fin-tube evaporators of household refrigerators. Also the hybrid defrost process was compared with only electric heater defrost process. The defrost efficiency of the hybrid defrost process was shown two times higher than electric heater defrost process. The defrost time of the hybrid defrost process was shorten about 10%~50% than electric heater defrost process. Thermal shock after defrost process was decreased about 50% for the case of the hybrid defrost. It was found that energy consumption ratio of defrost process was reduced up to 7.4% compared with 22.4% of electric heater defrost at the condition of 25°C ambient temperature.

Key words: Defrost performance(제상 성능), Hybrid defrost(하이브리드 제상), Hot-gas bypass defrost(핫가스 바이패스 제상), Electric heater defrost(전기 히터 제상), Refrigerator evaporator(냉장고 증발기)

기 호 설 명

E_d : 제상 에너지 소비 비율 [%]
 LH : 용해 잠열 [J/g]
 M_f : 제상량 [g]
 Q_c : 핫가스에 의한 공급 에너지 [J]
 Q_d : 총 제상 공급 에너지 [J]

Q_h : 전기 히터 공급 에너지 [J]
 T : 온도 [°C]
 t_d : 제상 시간 [min]
 t_{damper} : 댐퍼 개방 시간 [min]
 W_c : Hot gas 제상시 압축기 입력 [W]

그리스 문자

η_b : 제상 효율
 Δ : Difference

† Corresponding author
Tel.: +82-51-510-2455; fax: +82-51-582-6368
E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

1. 서 론

가정용 냉장고 또는 냉동고의 증발기는 영하의 조건에서 운전하므로 수분을 포함한 냉장고 외부 습 공기 및 보관 식품의 수분 증발에 의해 그 표면에 착상이 발생하게 된다. 착상은 시간이 지남에 따라 증가하게 되고 일정 수준 이상으로 서리의 두께가 증가하면 서리의 열저항에 의한 열전달 감소뿐만 아니라 공기 유로를 막게 되므로 공기측의 압력손실이 증가하고 풍량이 감소하게 되어 열교환기 성능은 크게 저하하게 된다.

이러한 착상에 의한 문제점을 해결하기 위해 일반적인 냉동 시스템은 착상에 의해 열교환기 성능이 크게 감소하기 전에 다양한 방법으로 증발기 표면에 부착된 서리를 제거하는 제상 방식을 적용하고 있다. 간냉식 냉각방식을 사용하는 일반적인 가정용 냉장고의 경우 증발기 근처에 전기 히터를 위치시키고 전기 히터의 전원을 On-off 제어함으로써 증발기 표면의 서리를 제거하는 전기 히터 제상 방식을 적용하고 있다.

그러나 제상을 위해 전기 히터에 투입된 열량은 증발기의 온도뿐만 아니라 냉장고 내부의 온도도 함께 상승시켜 식품의 보관 성능을 저하시키기도 한다. Kang et al.⁽¹⁾은 가정용 냉장고의 제상 횟수와 제상에 따른 온도 상승이 냉동식품의 품질에 미치는 영향을 다양한 식품을 대상으로 분석하였으며 제상 주기를 길게 하고 제상 운전 중 온도 상승폭을 줄인다면 가정용 냉장고에서의 품질 저하를 감소시킬 수 있음을 보였다.

냉장고 관점에서 증발기의 제상에 관한 연구는 Lee et al.⁽²⁾이 실제 냉장고용 증발기를 대상으로 전기 히터 제상 방식의 경우 제상 시간에 따른 제상수 배출량, 증발기 주위 온도변화, 제상 공급 열량의 영향에 대하여 실험적 연구를 수행하였고, 전기 히터의 공급 열량이 낮을수록 용해 및 제상 효율이 높게 나타난다는 결과를 얻었다.

Bansal et al.⁽³⁾은 전기 히터 제상 방식을 이용하여 자동 제상을 실시하는 가정용 냉동고에서 착상량이 과도할 때 제상에 투입되는 열량이 일반적인 착상량에 비해 12.3% 더 에너지를 소모함을 보였고, 이를 개선하기 위한 방향으로 히트 펌프 등에 사용되어지고 있는 역사이클 제상 방식을 가정용 냉동고에 적용하면 제상 과정에 투입되는 에너지를 줄일 수 있을 것이라고 제안하였으나 그 결과를 제

시하지는 못하였다.

히트 펌프의 경우 겨울철 외부 온도가 낮아지면 실외 열교환기의 표면온도가 영하로 떨어지므로 냉장고 증발기와 같은 열교환기의 착상 문제가 발생하게 된다. 종래에는 가정용 냉장고와 같이 전기 히터 제상 방식을 이용하였으나 에너지 및 제상 효율 측면에서 이를 개선하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다.

O'Neal and Katipamula⁽⁴⁾와 Krakow et al.⁽⁵⁾은 히트 펌프에 대해 사방면을 이용한 역 사이클 제상 방식과 핫가스 바이패스 제상 방식에 대한 실험적 연구를 수행하였고, Hoffenbecker et al.⁽⁶⁾과 Dopazo et al.⁽⁷⁾은 핫가스 바이패스 제상 방식의 과정을 세분화하고 과도 조건에서의 해석을 포함한 해석적 모델을 제시하고 실험과 비교하여 검증하는 등 많은 해석적 연구도 수행되었다.

역 사이클 제상 방식은 일반 냉동 사이클 구성에 사방면을 추가하여 냉매의 흐름을 변경해 증발기와 응축기의 역할을 바꾸어 줌으로써 제상을 실시하는 방법이고, 핫가스 바이패스 제상 방식은 일반 냉동 사이클에서 압축기 출구의 고온 고압 냉매 가스를 삼방면을 이용하여 응축기로 보내지 않고 대신 증발기로 보내어 증발기 표면의 서리를 제거하는 방식이다. 이러한 방식은 모두 증발기 관 내측의 고온 냉매를 이용하여 제상을 실시하는 방식으로 전기 히터 제상 방식에 비해 제상 효율이 높아 현재 대부분의 히터 펌프의 제상 방식으로 적용되어지고 있다.

가정용 냉장고 증발기는 히트 펌프용 열교환기와 달리 핀 간격이 넓어 착상층이 두꺼우며 유로 구조가 달라 핫가스 바이패스 제상 방식을 적용할 경우 관 내측에서의 빠른 열전달에 의해 서리층이 완전히 용해되지 못하고 무게 때문에 낙하하는 잔빙이 발생한다. 이러한 잔빙이 용해되지 못하고 냉장고 내에서 제상수 배출구 주위에 쌓이게 되면 냉각 운전시 재결빙 되는 문제를 발생시키므로 히트 펌프를 대상으로 한 다양한 연구와 달리 가정용 냉장고 증발기를 대상으로 관 내측 고온 냉매를 이용한 제상 방식의 영향과 효과에 관한 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 가정용 냉장고에 적용할 수 있는 새로운 제상 방식으로써 핫가스 바이패스 제상 방식과 전기 히터 제상 방식을 혼합한 하이브리드 제상 방식을 제시하고, 실제 핀-관 열교환기가 장착된 냉장고를 대상으로 착상 후, 하이브리드

제상 방식과 기존의 전기 히터 제상 방식의 제상 성능을 평가하여 비교 분석하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 열교환기 시료

Fig. 1은 본 연구에 사용된 핀-관 열교환기의 개략도이다. 열교환기는 실제 양문형 냉장고에 적용되고 있는 사양으로서 핀과 관 모두 알루미늄으로 제작되었고 공기의 유동 방향이 하측에서 흡입되어 열교환 후 상측으로 토출되므로 착상량을 고려하여 핀의 배열이 3단계로 나누어져 있으며 상세한 열교환기 각 부분별 사양은 Table 1에 나타내었다. 핀은 제상시 제상수의 배출이 용이하고 열교환기의 공기 입구측과 출구측의 형상을 잘 유지할 수 있는 연속형 평판 핀이 적용되어 있다.

전기 히터만을 이용하여 제상을 실시하는 일반적인 전기 히터 제상 방식의 열교환기 제상용 전기 히터는 260 W를 사용하였으며, 핫가스 바이패스 제상 방식을 혼합한 하이브리드 제상 방식의 열교환기 제상용 전기 히터는 130 W를 부착 하였다.

2.2 실험 장치 및 실험 방법

2.2.1 핫가스 바이패스 혼합 제상 사이클

Fig. 2는 본 연구에 적용한 하이브리드 제상 방식

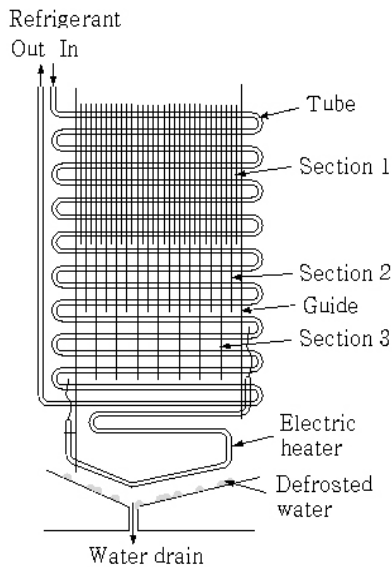


Fig. 1 Schematics of fin-tube heat exchanger.

Table 1 Specification of heat exchangers used in this study

Item		Value
Tube	Diameter [mm]	8.5
	No. of row	2
	No. of column	18
	Pitch [mm]	30
	Width [mm]	220
	Length of tube [m]	7.92
	Surface area [m ²]	0.211
Section 1	Length [mm]	210
	Width [mm]	60
	No. of fin	16
	Surface area [m ²]	0.403
Section 2	Length [mm]	330
	Width [mm]	60
	No. of fin	9
	Surface area [m ²]	0.356
Section 3	Length [mm]	480
	Width [mm]	60
	No. of fin	8
	Surface area [m ²]	0.461
Guide	Surface area [m ²]	0.125
Total surface area [m ²]		1.556

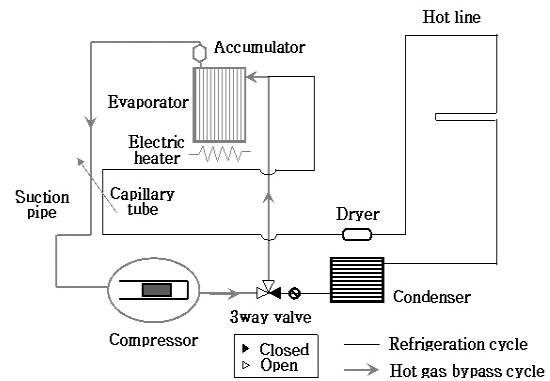


Fig. 2 Schematic diagram of hybrid hot-gas bypass defrost process for refrigerator.

의 개략도이다. 냉동 사이클은 전기 히터만을 사용하여 제상을 실시하는 냉장고와 동일하게 구성하였고, 하이브리드 제상 방식을 구성하기 위하여 냉장고 제조 과정에 삼방변 및 증발기로 연결되는 배관을 추가로 장착하였으며 전기 히터용량을 변경하여 냉장고를 제작하였다. 삼방변은 밸브를 통과하는 과정에서 냉매의 압력 손실로 인한 제상 열량 감소를 줄이기 위하여 밸브의 내부 유로 직경을 적절히 선정하였으며 배관의 직경 또한 이를 고려하여 선정

하였다.

실험 장치로 이용한 냉장고는 754 Li. 용량의 양문형 냉장고로써 하나의 증발기를 가지며 냉동실 용량은 295 Li., 냉장실 용량은 459 Li.이다. 냉매는 R600a를 사용하며 압축기는 ASHRAE 조건에서 280 W의 냉동 능력을 가지고 있는 리니어 압축기를 장착하고 있다.

2.2.2 착상 실험

Fig. 3과 같이 실험 장치로 제작된 냉장고를 온도 조절 가능한 항온 챔버 내에 위치시키고 착상을 위해 냉장실에는 각 선반에 개구 면적 600 cm², 깊이 5 cm의 플라스틱 용기에 증발 촉진 용을 장착하고 25°C, 500 cc의 물을 투입한 수부하 4개를 올려놓은 후 냉장고를 가동시켜 착상을 진행하였다.

항온 챔버의 온도를 조절하여 실험 장치 외부 온도의 변화 및 냉장실 내부의 온도를 변경하여 증발기의 착상량을 변화시키고, 전기 히터를 사용하여 제상시킨 후 제상수량을 전자 저울로 측정하여 착상량을 평가하였다. 온도를 측정하기 위한 T형 열전대(Omega사, 지름 0.13 mm)는 불확실도 ±0.4%를 가지며, 데이터 로그(Yokogawa사, DR230)는 불확실도 ±0.5%, 디지털 전력계(Yokogawa사, WT210)는 불확실도 ±0.1%, 전자 저울(Mettler Toledo사, PB4002-S /FALT)은 0.01 g 단위로 불확실도 ±0.05%를 가진다.

2.2.3 제상 실험

전기 히터 제상 실험 장치와 하이브리드 제상 실험

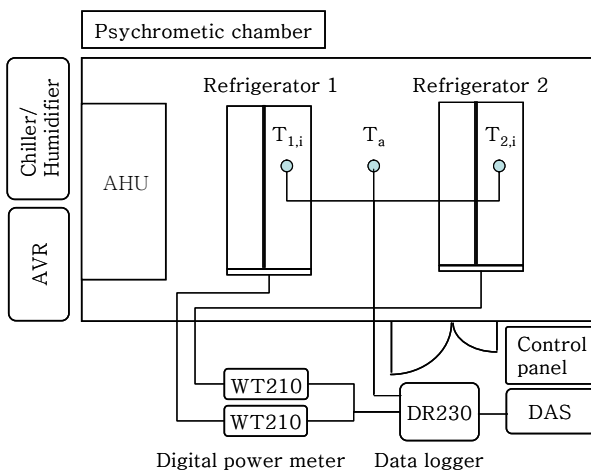


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus.

험 장치를 하나의 항온 항습 챔버에 설치하여 각각 냉동실 온도 -18°C, 냉장실 온도 2°C의 동일 조건으로 일정 시간 동안 착상 실험 후 제상 실험을 수행하였다. 전기 히터 제상 실험 장치의 경우 압축기 및 냉각용 팬의 운전을 정지시키고 제상용 전기 히터에 전원을 인가하여 제상 운전을 실시하였다.

하이브리드 제상 실험 장치의 경우에는 압축기 와 냉각용 팬의 운전을 정지시키고 냉매의 흐름 방향을 변환시키는 삼방변을 핫가스 바이패스 제상 운전 방향으로 전환하여 압축기에서 토출된 냉매가 증발기로 흐를 수 있도록 한 후 다시 압축기를 가동하였으며 동시에 잔빙 제거를 위한 전기 히터에도 전원을 인가하여 제상 운전을 실시하였다.

제상 운전은 열교환기 상측에 위치한 제상 온도 센서의 온도가 5°C가 되면 종료하였다. 제상수량은 제상 운전이 종료되고 7분 동안의 휴지 시간을 둔 다음 제상수 받이에 모인 물의 양을 전자저울로 측정하였다. 제상 과정 중 소요된 전기적 입력은 착상 실험과 마찬가지로 각 실험 장치에 연결된 디지털 전력계를 이용하여 실시간으로 측정하고 저장하였다.

2.3 실험결과 처리 방법

하이브리드 제상 방식에서 공급되는 에너지는 식(1)과 같이 핫가스 바이패스에 의한 공급 에너지와 전기 히터의 공급 에너지의 합으로 나타낼 수 있다.

$$Q_d = Q_c + Q_h \quad (1)$$

핫가스 바이패스에 의한 공급되는 에너지는 압축기의 전기적 입력과 제상 시간 사이의 관계로부터 식(2)와 같다.

$$Q_c = W_c \cdot t_d \quad (2)$$

착상 및 제상 실험 후 제상 성능을 알아보기 위하여 다음과 같이 정의된 제상 효율을 사용하였다.⁽⁸⁾

$$\eta_b = \frac{M_f \times LH}{Q_d} \quad (3)$$

여기서, η_b 는 제상 효율이며 M_f 는 제상수량, LH 는 물의 용해 잠열, Q_d 는 총 제상 공급 에너지이다. 본

연구에서 측정된 제상수량의 불확실도는 $\pm 7.1\%$, 총 제상 공급 에너지의 불확실도는 $\pm 2.0\%$, 제상 효율의 불확실도는 $\pm 7.4\%$ 이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 착상 실험결과

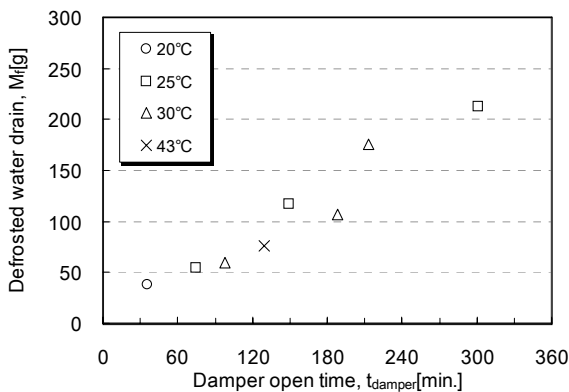
Fig. 4(a)는 다양한 외부 온도에서 냉장실 온도를 2°C 로 일정하게 유지했을 때의 제상수량을 나타내었다. 제상수량은 댐퍼 개방 시간 300분 일 때 약 210 g을 나타내고 있으며, 외부 온도에 의한 영향보다는 댐퍼의 개방 시간에 비례하는 경향을 나타내고 있다.

Lee et al.⁽²⁾은 제상 종료 후 열교환기에 남아 있는 잔류 제상수는 열교환기 표면 고유의 표면 장력에 영향을 받아 착·제상 운전조건에 관계없이 거의 일정량을 보였다는 연구 결과를 발표하였다. 이러한 결과를 바탕으로 볼 때 본 실험 장치의 조건에서 열교환기의 착상량은 측정된 제상수량과 비례하

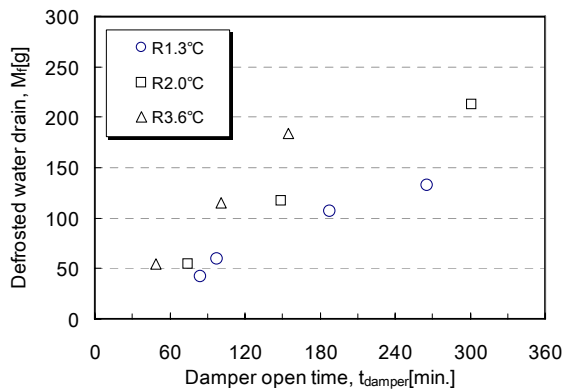
며, 외부로부터 공기 유입이 없어 외부 온도에는 무관하고, 냉동실은 -18°C 로 절대 습도가 매우 작기 때문에 대부분의 착상은 냉장실의 수부하로부터 증발된 수분을 열교환기로 가져오는 유동이 발생하는 댐퍼가 개방되는 시간에 비례하는 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

단, 하나의 압축기와 하나의 증발기를 가진 냉장고의 경우 외부 온도는 냉장고의 열 침입 부하를 변화시켜 냉장실의 온도를 제어하는 댐퍼의 개방 시간을 변동시키는 인자이기 때문에 외부 온도가 높을수록 동일한 냉장고 운전 시간에서도 댐퍼의 개방 시간이 증가하여 착상되는 서리량은 증가하는 결과를 나타낼 것으로 예측된다.

Fig. 4(b)는 외부 온도가 25°C 일 때 다양한 냉장실 온도에서 댐퍼 개방 시간에 따른 제상수량을 나타낸 것으로 냉장실의 온도가 높을수록 절대 습도량이 증가하여 동일한 댐퍼 개방 시간에서도 착상량이 증가했다는 것을 알 수 있다. 댐퍼 개방 시간이 약 100분일 경우에 제상수량은 냉장실의 온도가 3.6°C 에서는 115.0 g을 나타내었으나 1.3°C 에서는 60.1 g을 나타내었다. 본 착상 실험 결과로부터 냉장고 외부 온도와 내부의 온도가 일정하면 운전 시간에 따른 착상량도 일정하다는 것을 예측할 수 있으므로 제상 실험을 위한 기본 착상 조건은 외부 온도 25°C , 냉동실 온도 -18°C , 냉장실 온도 2°C 에서 실시하였다.



(a) Refrigerator room temperature, 2°C



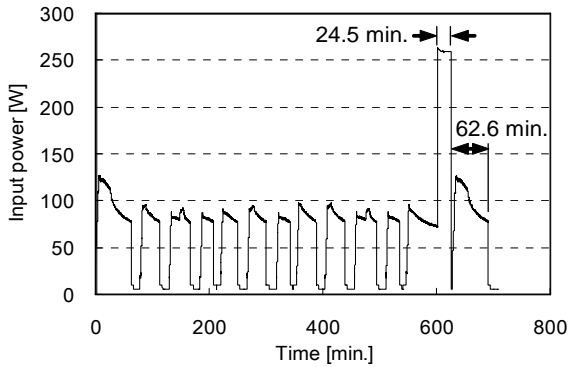
(b) Ambient temperature, 25°C

Fig. 4 Amount of defrosted water according to damper open time.

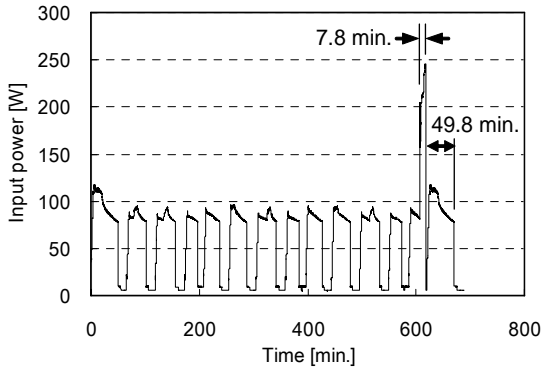
3.2 제상 실험결과

Fig. 5는 외부 온도 25°C 기본 착상 실험 조건에서 10시간 동안 착상을 실시한 후 전기 히터 제상 방식과 하이브리드 제상 방식을 적용하였을 때 시간에 따른 입력 전력값의 변화를 나타낸 것이다. 착상이 이루어질 때의 입력 전력은 두 가지 방식에서 유사하지만 10시간 이후 제상이 실시될 경우 전기 히터 제상 방식은 실험 장치의 기본적인 10 W 대기 전력에 250 W 제상용 전기 히터의 입력 전력이 더해진 260 W의 매우 일정한 입력 전력을 나타내고 있는 것을 알 수 있으며 제상 운전이 24.5분이 소요되었다.

그러나 하이브리드 제상 방식의 경우 제상이 시작되는 시점에는 200 W의 입력 전력을 보이거나 제상이 진행됨에 따라 250 W까지 상승하는 경향을 보이며 제상 운전이 7.8분이 소요되었다. 하이브리드



(a) Electric heater defrost



(b) Hybrid defrost

Fig. 5 Variation of input power as function of operating time.

드 제상 방식의 경우 130 W의 전기 히터 입력 전력은 시간에 무관하게 동일하므로 핫가스 바이패스 제상을 위한 압축기의 입력 전력이 변화한 것을 의미한다.

또한 주목해야 할 부분은 제상 운전 후 첫 번째 냉각 운전 사이클로서 제상에 소요된 입력이 열로 변환되어 실험 장치 냉장고 내부의 냉동 부하를 증가 시키므로 이를 냉각하기 위한 압축기의 냉각 운전 시간에 제상 운전이 영향을 미친다는 것이다. 전기 히터 제상 방식의 경우 제상 운전 후 첫 번째 냉각 사이클 운전 시간이 62.6분이 소요되었으나 하이브리드 제상 방식의 경우 49.8분이 소요되어 12.8분의 냉각 운전 시간이 감소하는 결과를 얻었다.

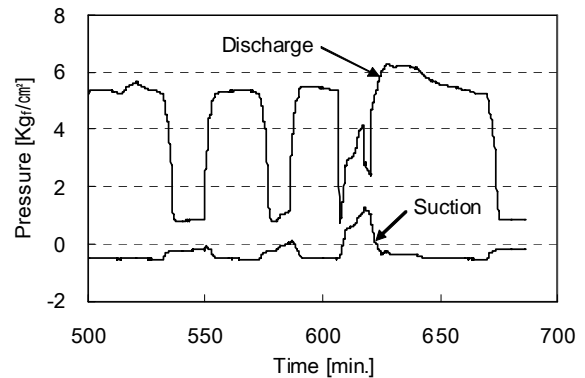
Fig. 6(a)는 외부 온도 25°C에서 하이브리드 제상 운전을 실시할 경우 압축기 입구와 출구의 게이지 압력을 나타내었다. 제상 운전이 실시되는 약 600 분 시점에서 핫가스 바이패스 사이클 운전에 의해 압축기 흡입 압력이 급격히 상승하며 제상 운전 중에도 서서히 압력이 상승함을 알 수 있다. 이러한

압축기 흡입 압력의 상승이 하이브리드 제상 운전 중 입력 전력의 상승 원인으로 판단된다.

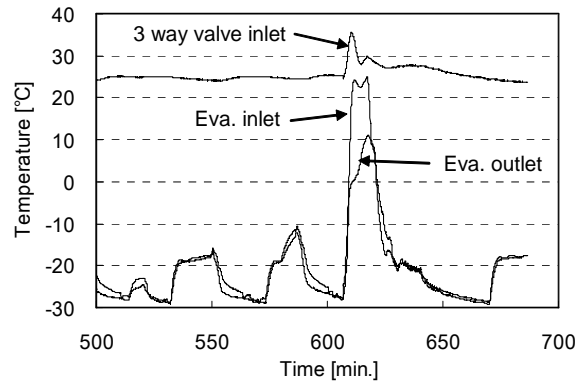
Fig. 6(b)는 외부 온도 25°C에서 하이브리드 제상 운전을 실시할 경우 증발기 입구와 출구의 온도 변화 및 삼방변 입구의 온도 변화를 나타낸 것이다. 증발기 입구 온도의 경우 냉각 운전시 -27.8°C에서 하이브리드 제상 운전이 시작하면 급격히 최대 25.1°C까지 상승하여 증발기 표면의 서리를 관내측으로부터 열전달하여 제상한다.

증발기 출구 온도의 경우 0°C까지 급격히 상승했다가 서서히 증가하는 경향을 보이며 이는 서리층이 용해되면서 물의 잠열에 의한 것으로 판단된다. 증발기 출구의 온도는 최대 11°C까지 상승하여 제상 운전을 마치며 다시 냉각 운전이 시작되면서 온도가 급격히 내려감을 알 수 있다.

삼방변 입구 온도의 경우 일반적인 냉각 운전중에는 외부 온도와 동일한 25°C 수준의 온도를 가지지만 하이브리드 제상 운전이 시작되면서 압축기 출



(a) Compressor pressure



(b) Temperature of evaporator and valve

Fig. 6 Variation of compressor pressure and evaporator temperature as function of operating time during hybrid defrost.

구의 고온 냉매가 응축기로 흐르지 않고 삼방면으로 바이패스 유입되어 온도가 급상승하게 되며 최대 35.5℃까지 상승하여 증발기로 들어가게 된다. 삼방면 입구의 온도와 증발기 입구의 온도차는 배관에서의 압력 손실 및 열손실에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 7는 외부 온도에 따른 두 가지 제상 방식의 제상 운전에서 소요되는 시간을 나타낸 것으로 전기 히터 제상 방식의 경우에는 외부의 온도에 영향을 받지 않고 30 분 전후의 제상 시간이 소요되었으나, 하이브리드 제상 방식의 경우에는 외부 온도가 높을 때 제상 소요 시간이 매우 단축되는 결과를 얻었다. 외부 온도가 43℃일 경우 5℃에 비하여 제상 운전에서 소요되는 시간이 약 1/2로 감소하였다. 이러한 원인으로서는 하이브리드 제상 방식이 압축기에서 토출되어 바이패스 된 핫가스 냉매에서 제상에 필요한 열을 상당 부분 얻기 때문으로 판단되며, 외부의 온도가 낮을 경우 압축기 출구의 냉매 가스 온도가 낮아져 제상열의 발생이 감소하기 때문이다. 본 실험에서 외부 온도 43℃일 경우 압축기 토출 온도는 73℃이었으나 외부 온도 5℃에서는 11.7℃의 압축기 토출 온도를 나타내었으며, 15℃ 이상의 일반적인 실내 온도를 기준으로 볼 때 전기 히터 제상 방식에 비해 하이브리드 제상 방식이 매우 빠른 시간 내 제상이 완료되는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 식(3)의 제상 효율을 나타낸 것으로 외부 온도에 따라 두 가지 제상 방식에 대하여 비교하였다. 전기 히터 제상의 경우 3.7~6.8%의 제상 효율을 나타내었으며, 하이브리드 제상 방식의 경우에는 4.8~17.7%의 제상 효율을 나타내어 하이브리드 제상 방식이 전기 히터 제상방식에 비해 높은 제상 효율을 나타내었다. 이러한 원인으로서는 하이브리드 제상 방식의 경우 냉동 사이클 내의 냉매 가스를 이용하여 열교환기 관 내측에서부터 서리층으로 전도에 의해 열을 빠르게 전달하고 보조적으로 열교환기 하측의 전기 히터를 사용하여 잔빙을 제거하는 반면 전기 히터 제상은 히터가 가열되는 시간과 자연 대류에 의해 비교적 느린 속도로 열전달이 이루어지기 때문으로 판단된다.

Fig. 9(a)는 냉장고 성능 평가 규격인 KS C ISO 15502⁽⁹⁾의 평가 조건으로 총 소비전력에서 제상에 소모된 소비전력 비율을 나타내었다. 최근 냉장고의 경우 변동 제상 운전 알고리즘을 적용하고 있어 주위 환경에 의해 제상 주기가 변동하지만 본 실험에서는 가장 짧은 제상 주기 시간을 기준으로 하여 평가

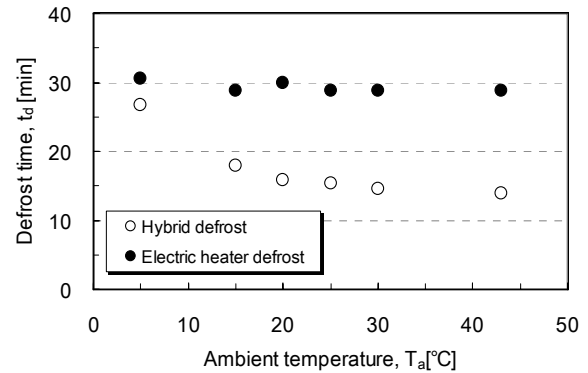


Fig. 7 Defrost time with ambient temperature.

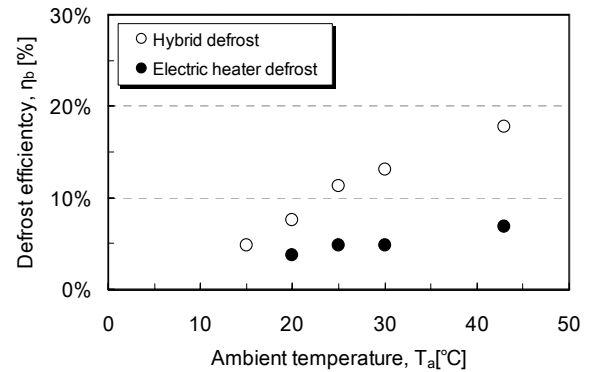


Fig. 8 Comparison of defrost efficiency between the hybrid defrost process and the electric heater defrost process.

하였다. 그 결과 전기 히터 제상 방식의 경우에는 제상에 소모되는 전기 에너지가 냉장고 전체 소비전력의 22.4%를 차지하였으나, 하이브리드 제상 방식의 경우에는 7.4%를 차지하여 약 1/3수준으로 냉장고 소비전력에 대해 적게 영향을 미침으로써 냉장고의 에너지 소비 효율에도 하이브리드 제상 방식이 우수함을 알 수 있다.

Fig. 9(b)는 제상을 위해 투입된 제상열이 제상 후 냉장고 내의 저장 온도에 얼마나 영향을 미치는지를 나타낸다. 제상에 의한 저장 온도의 급격한 상승은 식품의 보관 성능에도 악영향을 미치므로 매우 중요한 인자이다. KS C ISO 15502의 평가 조건에서 냉동실에는 시험용 부하를 적재하며 이 부하는 냉동 육류와 유사한 성질을 가지고 있어 냉동 식품의 보관 성능을 유추할 수 있으므로 두 가지 제상 방식에 대해 제상 온도 상승 실험을 수행하였다. 전기 히터 제상 방식의 경우 실험 후 시험 부하의 온도가 2.1℃ 상승하나 하이브리드 제상 방식의 경우에는 1.2℃로 제상열에 의한 온도 상승이 0.9℃ 작음을 알

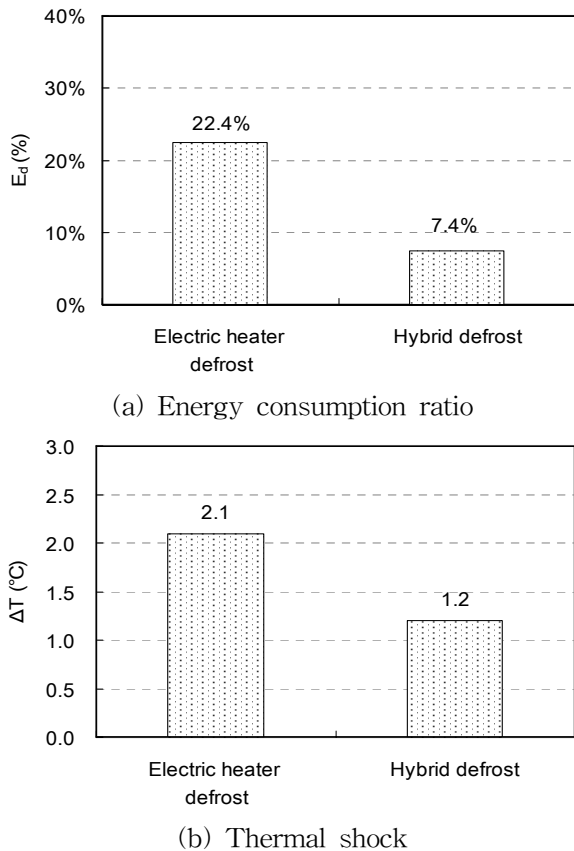


Fig. 9 Energy consumption ratio and thermal shock due to defrost heat in the hybrid defrost process and the electric heater defrost process.

수 있다. 이 또한 제상에 투입된 에너지가 전기 히터 제상 방식에 비해 작았다는 것을 의미하며, 장기간 냉동 사이클 운전 시 제상이 반복적으로 실시될 경우 식품의 장기 보관 성능에 있어서도 하이브리드 제상 방식이 더욱 우수할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 가정용 냉장고에 적용할 수 있는 핫가스 바이패스 제상 방식과 전기 히터 제상 방식이 혼합된 하이브리드 제상 방식을 제시하고, 실제 냉장고의 핀-관 열교환기를 대상으로 전기 히터 제상 방식과 제상 성능을 비교 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 하나의 압축기와 증발기로 이루어진 냉장고에서 착상량은 냉장실 공기가 증발기로 유입되도록 제어하는 댐퍼의 개방 시간에 비례하며, 동일한 댐퍼의 개방 시간에서는 냉장실 온도가 높을수록 착상

량이 증가한다.

(2) 제시된 하이브리드 제상 방식의 경우 실험 조건의 착상량에 대해 전기 히터 제상 방식과 비교하여 제상에 소요되는 시간 및 전력이 약 1/3로 단축되어 고효율 냉장고용 제상 방식의 가능성을 확인하였다.

(3) 하이브리드 제상 방식의 경우 외부 온도가 높을수록 제상 효율이 높으며 외부 온도가 15°C 이상에서 전기 히터 제상 방식에 비해 보다 효율적인 결과를 얻었다.

향후 하이브리드 제상 방식과 같이 열교환기 내측의 고온 냉매를 통한 열전달과 외측의 전기 히터에 의한 대류 열전달이 혼합된 형태의 제상 현상에 대한 해석적 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Kang, G. J., Auh, J. H., Kim, M. J., Cho, K. Y., Choi, Y. H., Jung, D. S., Kook, S. U., and Park, K. W., 1996, Influence of thermal oscillation on quality of frozen foods stored in domestic refrigerator, *Korean J. Food Sci. Technol.*, Vol. 28, No. 4, pp. 624-631.
2. Lee, K. S., Kim, G. W. and Jhee, S., 1998, An experimental study of behavior of defrosting on the fin-tube heat exchanger, *Journal of HVAC &R*, Vol. 10, No. 6, pp. 649-657.
3. Bansal, P., Fothergill, D. and Fernandes, R., 2010, Thermal analysis of the defrost cycle in a domestic freezer, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 33, pp. 589-599.
4. O'Neal, D. L. and Katipamula, S., 1991, Effect of short-tube orifice size on the performance of an air source heat pump during the reverse-cycle defrost, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 14, pp. 52-58.
5. Krakow, K. I., Yang, L. and Lin, S., 1992, A model of hot-gas defrosting of evaporators, *ASHRAE Transaction*, Vol. 98, No. 1, pp. 451-474.
6. Hoffenbecker, N., Klein, S. A. and Reindl, D. T., 2005, Hot gas defrost model development and validation, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, pp. 605-615.
7. Dopazo, J. A., Fernandez-Seara, J., Uhiá, F. J.

- and Diz, R., 2010, Modelling and experimental validation of the hot-gas defrost process of an air-cooled evaporator, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 33, pp. 829-839.
8. Choi, B. J. and Shin, J. M., 2002, The frost and defrost performances of fin-and-tube exchangers with different surface characteristics, *Korean Journal of Air conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 14, No. 6, pp. 525-531.
9. KS C ISO 15502, 2007, Household refrigerating appliances-Characteristics and test methods, pp. 41-47.