

쇼케이스에서 고온가스 바이패스 및 단속운전 제상사이클의 성능특성에 관한 실험적 연구

조 홍 현, 김 용 찬*, 노 현 일**, 김 영 득***, 박 윤 철****

고려대학교 기계공학과 대학원, *고려대학교 기계공학과, **만도공조(주), ***인덕대학교 기계공학과, ****제주대학교

Experimental Study on the Performance Characteristics of Hot-gas Bypass and On-off Defrosting Cycle in a Showcase Refrigeration System

Honghyun Cho, Yongchan Kim*, Hyun-il Noh**, Youngdeug Kim***, Youn Cheol Park****

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

*Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

**Mando Winia Co. Ltd, Asan 377-840, Chungnam, Korea

***Department of Mechanical Engineering, Induk University, Seoul 139-749, Korea

****Mechanical Energy and Production Engineering, Cheju National University, Cheju-city 690-753, Korea

(Received November 3, 2001; revision received February 15, 2002)

ABSTRACT: During the defrosting process, the temperature in the cabinet of a showcase becomes high as compared to the setting point, which is not desirable for stored foods or materials. It is necessary to develop a more efficient defrosting method to prevent large temperature fluctuation. In this study, the performance of a showcase refrigeration system with three evaporators is investigated by employing a hot-gas bypass defrosting technology in the system under frosting and defrosting conditions. The operating characteristics are compared with those for the on-off defrosting method that has been widely used in current products. As a result, the hot-gas bypass defrosting method shows higher refrigerating capacity and less temperature fluctuation than the on-off method under frosting/defrosting conditions, while the power input is relatively high for the hot-gas bypass method.

Key words: Multi-evaporator(복수 증발기), Frosting(적상), Defrosting(제상), On-off cycle(단속 운전), Hot-gas bypass defrosting(고온가스 제상방식)

1. 서 론

냉장 및 냉동실의 열교환기 표면온도가 0℃ 이하인 경우에는 증발기의 표면에 서리(frost)가 생성되어 증발기의 열교환 성능을 저하시키고 서리의 성장을 가속화시킨다. 따라서 적절한 시점에

서 증발기에 생성된 서리를 제거하는 제상운전을 실시하여야 한다. 현재 쇼케이스 냉동시스템에서는 단속운전(on-off) 또는 제상히터를 사용하여 증발기의 표면을 가열하는 방법을 적용하여 제상을 실시하고 있다. 서리가 많이 쌓여 있는 상태에서, 제상을 하기 위하여 시스템을 정지하거나 제상히터를 사용하면 저장실 내부의 온도가 설정 온도보다 크게 상승하게 된다. 일부 쇼케이스의 경우 식품의 손상을 줄이기 위하여 제상기능을 사용하지 않고 운전하는 경우도 있으나, 증발기

† Corresponding author

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

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

의 성능이 현저히 감소하여 필요한 냉동용량을 확보할 수 없으며, 냉동시스템의 효율이 크게 감소하게 된다. 또한 단수의 증발기를 사용하여 냉기를 분배하기 때문에 저장고 내의 온도가 불균일하게 운전되는 문제가 발생한다. 식품의 장기간 보존을 위해서는 냉장/냉동기는 각 식품에 적합한 온도를 부하변동에 상관없이 일정하게 유지하여야 한다. 따라서 운전시에 충분한 냉동능력을 가지고 제상시 저장실 내부의 온도를 균일하고 일정하게 유지할 수 있는 사이클 및 제어기술에 대한 연구가 요구된다.

증발기에 생성된 서리를 제거하는 제상방식은 외기 사용방식, 전열기 사용방식, 물 사용방식, 고온가스 사용방식 등 여러 가지가 있다. 이중 고온가스 제상방식은 제상시간이 짧고 냉매를 다시 회수하여 사이클에 이용하게 되므로 경제성을 확보할 수 있는 방식으로 짧은 제상시간으로 인하여 고내온도의 균일성에 가장 적합한 방식이라 할 수 있다.

서리의 생성은 현열 및 잠열 열전달을 동시에 포함하고 있으며, 전자는 냉매와 공기 사이의 온도차 그리고 후자는 착상으로 인한 수증기의 물질전달 및 상변화에 의한 열전달을 포함하고 있다. Kondepudi et al.^(1,2)은 대수 평균 엔탈피차(LMED)란 개념을 도입하여 현열 및 잠열 열전달을 동시에 계산하였다. 또한 Kondepudi et al.⁽³⁾은 여러 가지 핀 형상(평판 핀, 웨이비 핀 및 루버 핀)에 대해 착상실험을 실시하여 각각의 성능을 비교하였는데, 서리가 성장함에 따라 열교환기 전후의 압력강하가 점차 증가하며 현열 열전달계수 및 열교환기 유용도(effectiveness)는 크게 감소하지 않는다고 발표하였다. Lee et al.⁽⁴⁾은 착상조건에서 냉장고용 증발기에 대한 실험 및 해석적 연구를 수행하여 증발기의 열전달 성능이 공기유량 또는 냉매유량에 대한 함수관계임을 밝혀내고 증발기의 최적 운전조건 설정을 위한 관계식을 제시하였다.

Martinez-Frias et al.⁽⁵⁾은 착상과정에서 증발기가 공기 대 공기 열펌프의 성능에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하여 열펌프의 운전조건에 따른 성능계수를 예측하였다. O'Neal et al.⁽⁶⁾은 공기 열원 열펌프의 제상사이클에서 팽창장치로 사용하고 있는 오리피스 직경의 변화에 따른 시스템 성능을 측정하고, 오리피스 직경의 영향과 제상

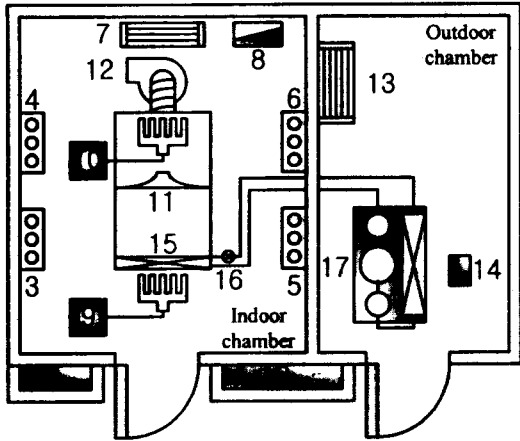
과정에서 열펌프 사이클의 동적 특성에 대하여 고찰하였다. 이들은 오리피스의 직경이 커질수록 시스템성과 제상성능이 향상된다고 보고하였으나, 시스템과 팽창장치의 특성차이를 좀더 명확하게 고찰할 수 있는 연구가 필요함을 지적하였다. 또한 O'Neal et al.⁽⁷⁾은 제상과정에서 냉동시스템의 동적 특성에 관한 연구를 통하여 어큐뮬레이터(accumulator)와 자동온도조절 팽창밸브(thermostatic expansion valve, TXV)가 시스템 응답에 큰 영향을 미침을 밝혀내었다. 특히, TXV가 가변면적 팽창장치이기 때문에 제상사이클 특성에 매우 적합하다고 언급하였다.

이상과 같이 냉동시스템의 착상 및 제상에 대한 일반적인 연구는 국내외적으로 많이 진행되어 왔다. 그러나 대형 쇼케이스에서 제상운전 중 고내상태의 균일성을 위한 온도유지 및 성능향상에 대한 냉동시스템 연구는 아직 미흡한 실정이다. 특히, 국내의 경우 쇼케이스 시장이 대단위 규모가 아닌 소규모 단위로 이루어지고 있으며, 사이클 구성 또한 기존의 에어컨이나 냉장고의 단순한 형태를 인용하는 구조로 제작되어 있다. 그리고 대부분 쇼케이스가 개방형으로 되어 있으며 많은 습기를 가지고 있어 고내의 온도를 일정하게 유지하기 위한 냉동시스템에 대한 연구가 절실히 요구되고 있으나 그에 대한 자료는 거의 없는 것이 현실이다.^(8,9)

따라서, 본 연구에서는 복수의 증발기가 설치된 쇼케이스용 냉동시스템의 착상운전시 시간에 따른 시스템 운전특성을 살펴보고 제상운전에 필요한 기본자료를 확보하고자 한다. 다음으로 복수의 증발기에 전자팽창밸브(electronic expansion valve, EEV)를 개별적으로 설치하여 단속시간에 따른 단속운전 성능특성과 고온가스를 일정한 주기로 각 증발기에 순차적으로 공급하는 고온가스 제상사이클의 EEV 개도에 따른 제상운전 특성을 고찰한다. 또한 저장고 내의 온도변화를 최소화할 수 있는 가능성에 대한 연구로 단속운전 제상사이클과 고온가스 제상사이클 운전시 고내온도를 비교 평가하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 3개의 증발기를 포함하고 있는 쇼케이스용 냉동시스템에 대하여 단속운전 및 고



- 1 - Data acquisition system
- 2 - Chamber control panel
- 3, 4, 5, 6 - Heater
- 7 - Indoor refrigerator
- 8 - Humidifier
- 9 - Inlet psychrometric box
- 10 - Outlet psychrometric box
- 11 - Nozzle
- 12 - Fan
- 13 - Outdoor refrigerator
- 14 - Outdoor temp. measure
- 15 - Evaporator
- 16 - Expansion valve
- 17 - Outdoor Unit

Fig. 1 Schematic of the experimental setup.

온가스 바이패스 방식으로 제상운전을 하면서 성능특성을 측정할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 실험장치는 크게 시험용 쇼케이스와 실내(indoor chamber) 및 실외 챔버(outdoor chamber)의 운전조건을 설정할 수 있는 항온항습실로 구분된다. 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 항온항습실 실외 챔버에 쇼케이스의 압축기 및 응축기를 설치하고 실내 챔버에 증발기를 설치하여 각각의 온도 및 습도를 조절하면서 실험을 수행할 수 있도록 구성하였다. 본 연구에 사용한 시험용 쇼케이스는 멀티형 냉장/냉동시스템으로 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 3개의 증발기를 포함하고 있고 각 증발기마다 개별적인 EEV를 적용하여 냉매유량 제어하였다. 고온가스 바이패스 제상방식을 구현하기 위해 압축기 토출부의 고온가스를 바이패스하여 각 증발기와 직접 연결하는 배관을 설치하고, 각 바이패스 라인에 솔레노이드 밸브를 장착하여 제상운전 경로에 따라 유동경로를 조절할 수 있도록 하였다. 따라서 증발기 #1을 제상운전하고자 할 때는 바이패스 라인에 있는 솔레노이드 밸브를 열고 응축기 출구의 솔레노이드 밸브를 닫아 압축기에서 토출된 고온가스가 증발기 #1에 공급되도록 유동경로를 조정한다. 이때 증발기 #2 및 #3의 바이패스 라인

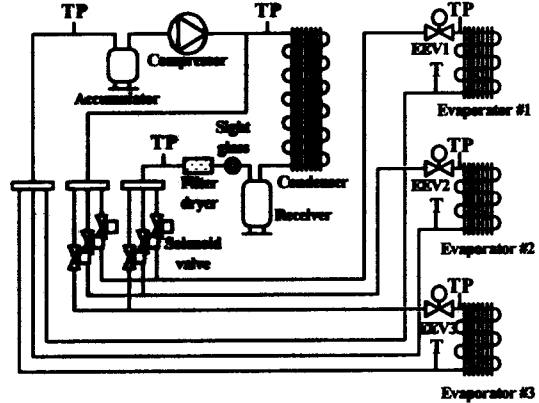


Fig. 2 Schematic of the showcase system.

에 있는 솔레노이드 밸브는 닫혀 있으므로 증발기 #2와 #3은 정상적인 증발기로 역할을 수행하여 저장고 내의 일정온도 유지에 필요한 냉동용량을 확보하도록 설계하였다. 본 연구에 사용한 EEV는 1-2상 여자방식으로 356 스텝펄스에 로터가 1회전하게 설계되어 있다.

착상/제상운전을 실시하는 동안 운전시간에 따른 압축기 소요동력, 냉동용량, 성능계수와 시스템 주요 부위의 온도 및 압력변화를 측정하여 시스템 특성을 고찰하였다. 증발기의 용량은 각 증발기에 덕트를 설치하여(Fig. 1 참조) 노즐 전후의 차압과 열교환기 전후의 건습구 온도를 측정하여, 공기 엔탈피법을 사용하여 계산하였다. 또한 압축기에 소요되는 동력은 전력계를 사용하여 측정하였다. 시스템을 흐르는 냉매유량은 질량유량계를 이용하여 측정하였으며, 시스템의 각 부분에서 온도측정은 T-형 열전대를 이용하였다. 또한 제상성능평가를 위한 서리량 측정은 응축수받이를 설치하여 간접적으로 측정하였다. 측정의 오차를 줄이기 위하여 수 차례의 재현실험을 통하여 신뢰성을 확인하였다. 각 측정기기의 오차는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental uncertainties

Parameters	Uncertainties
Temperature (T-type)	±0.2°C of reading
Pressure	±4.5 kPa of reading
Mass flow rate	±0.2% of reading
Power	±0.2% of reading
Current transformer	±1.0% of the F.S

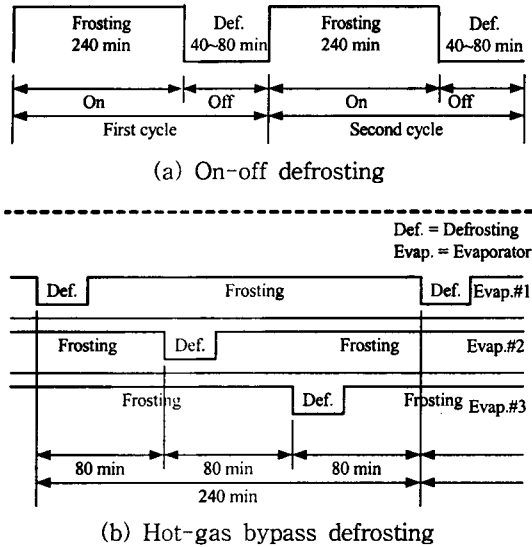


Fig. 3 Test conditions.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 실험은 크게 착상에 따른 시스템 운전특성 측정과 제상방식에 따른 시스템 성능특성 측정으로 구분하여 수행하였다. 착상에 따른 시스템 운전특성 평가를 위하여 실외온도는 35℃, 실내온도는 15℃, 실내 상대습도는 80%⁽²⁻⁴⁾로 일정하게 유지하였으며, 운전시간 변화에 따른 운전특성과 착상량을 측정하고 이를 고찰하였다. 이때 착상량 측정을 위한 실험은 1시간 단위로 6시간까지 진행하였다. 즉, 처음 실험은 1시간까지 진행한 후 착상량을 측정하고, 열교환기에서 서리를 완전히 제거하고 난 후 다시 실험을 시작하여 2시간까지 진행한 후 착상량을 측정한다. 이런 방식으로 실험을 실시하여 6시간까지의 착상운전특성을 측정하였다.

제상방식으로는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 단속운전 제상방식(on-off defrosting)과 고온가스 바이패스 제상방식(hot-gas bypass defrosting)을 적용하였으며, 이를 적용한 시스템의 특성을 서로 비교, 고찰하였다. 단속운전 제상방식은 시스템을 연속해서 240분간 운전 후 시스템 정지시간(off-time)을 변화시키면서 제상운전을 실시하였다. 제상을 위한 시스템 정지시간은 40, 60 및 80분으로 변화시켰으며, 잔상을 최소화하여 다음의 제상운전시 성능감소를 최소화할 수 있는 운전정지시간을 고찰하였다. 시스템의 제상운전시점은 순간냉동능력이 최대값에서 10% 감소하는 시점으로 선정하였다.

Table 2 Specification of the showcase system

Compressor	Capacity=3.7 kW Displacement=23 m ³ /hr
Condenser	Plate fin and tube type Fan capacity=80 m ³ /min
Evaporator	Plate fin and tube type Fan capacity=130 cm ³ /min
Cooling capacity	5.5 USRT (evaporating temp.=5℃)
Liquid receiver	7.6 liters
Expansion valve	Model=CEV18RC

고온가스 바이패스 제상방식은 Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 각 증발기를 80분 간격으로 순차적으로 제상하여 한 증발기가 240분 간격으로 제상되도록 설정하였다. 하나의 증발기가 제상되는 동안 다른 두 개의 증발기는 정상적인 냉동시스템으로 운전된다. 하나의 증발기의 제상운전에서 바이패스된 고온가스 냉매유량의 변화에 따른 제상성능을 측정하기 위하여 제상운전하고자 하는 증발기에 설치된 EEV 개도를 완전히 밀폐된 개도에서 1/4씩 증가시키면서 실험을 실시하였다. 즉, EEV 개도를 178/356, 256/356 및 356/356(개도필스/총개도)로 변화시키며 실험을 수행하였다. 그리고, 완전한 제상효과를 위하여 제상완료시점은 증발기 출구의 온도가 20℃가 될 때를 기준으로 하였다.

제상방식에 따른 저장고 내의 온도변화를 고찰하기 위하여 9개의 증발기를 가진 시험용 대형 쇼케이스를 제작하였으며, 그 사양을 Table 2에 나타내었다. 실험에 적용한 쇼케이스는 증발기 3개를 장착한 실험장치와 똑같은 구조로 제작하였으며, 이를 통하여 단속운전 제상방식과 고온가스 바이패스 제상방식을 적용하여 실험을 실시하였다. 쇼케이스 저장고 내의 온도변화는 한국공업규격 냉동, 냉장 진열장 시험방법(KS-B-6367)을 적용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 착상에 따른 시스템 특성평가

Fig. 4는 운전시간에 따른 착상량의 변화를 나타낸 것이다. 초기운전시 착상량은 급격히 증가하기 시작하여 일정시간 이후에는 거의 선형적으로

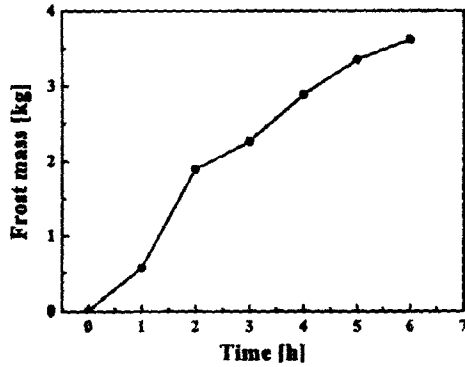


Fig. 4 Variation of frost weight with time.

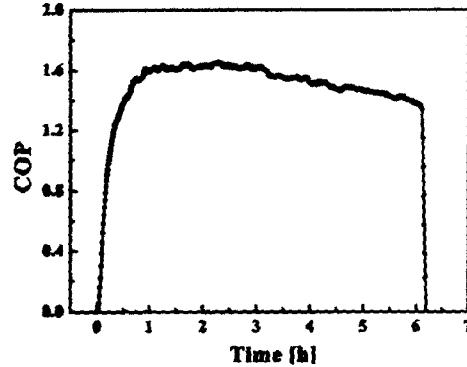


Fig. 5 COP variation with time.

로 증가하는 것을 볼 수 있다. 초기에 서리량이 급격히 증가하는 이유는 착상 초기에 생성되는 얇고 거친 서리층으로 인한 큰 착상률 때문이다. 증발기 입구부분부터 착상량이 많아지기 시작하여 열교환기 전부분으로 착상이 진행되며, 약 4시간이 지나면 열교환기 전체에 서리가 형성된다. 이때 증발기 입구의 하부는 서리에 의해 공기의 유동경로가 차단되게 되며, 착상량은 조금씩 감소하게 된다. 이러한 경향은 Kondepudi et al.⁽³⁾ 및 Lee et al.⁽⁴⁾ 등에 의하여 보고되었다. 열교환기 표면에 생성되는 서리의 메커니즘은 두 가지로 구분하여 설명할 수 있다. 공기 중의 수증기가 증발기와 접촉하며 물질전달이 일어나는 경우⁽¹⁻⁴⁾와 증발기 중상부에서 생성된 응축수가 증발기 하부로 이동하면서 온도가 낮아져 얼음이 되는 과정으로 나눌 수 있다. 전자는 기존의 서리에 관한 연구논문들에서 많이 다루어져 왔으나, 후자의 서리 생성과정을 고려한 연구는 거의 없으며, 앞으로 연구가 진행되어야 할 부분이라 사료된다.

기존의 연구결과들에 의하면 착상이 진행될 때, 초기 성능계수는 약간씩 감소하다가 일정시간 이상 착상이 진행되면, 성능계수가 급격히 감소하는 경향성을 나타내었다.⁽³⁻⁵⁾ 서리의 성장 초기에는 열교환기 표면의 거칠기가 증가하여 총괄 열전달계수가 약간 증가하게 되나, 그후 약간씩 감소하기 시작하고, 서리가 완전히 성장한 순간부터는 갑자기 악화되는 것을 볼 수 있다. Fig. 5에 나타낸 바와 같이 본 연구에서는 초기에 성능계수가 상승한 후 계속해서 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 본 연구에서 사용한 증발기의 핀 간격이 10mm로 크기 때문에 적당량의 서리가 쌓

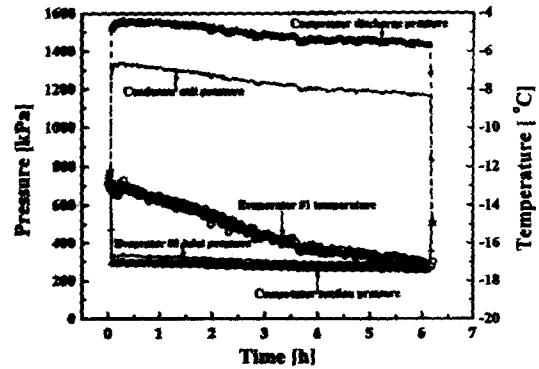


Fig. 6 Variations of pressure and temperature with time.

이기 전까지는 흡입되는 공기의 양이 줄어들지 않으나 소요동력은 시간이 지남에 따라 감소하기 때문이다. 이때 냉동용량은 초기에는 조금씩 증가하다가 서리가 성장함에 따라 점차 감소한다.

Fig. 6은 시간에 따른 시스템의 각 주요부분의 압력과 온도변화를 나타내고 있다. 운전시간이 증가되면서 착상 때문에 열교환량이 감소하여 냉매유량이 감소하고, 시스템의 압력이 점차 낮아져 증발온도가 감소하게 된다. 증발온도의 감소로 인하여 점차 착상의 진행이 가속화되고, 일정시간이 경과하면 증발기가 완전히 막혀 열교환기의 역할을 수행할 수 없게 된다.

3.2 단속운전 제상사이클의 성능평가

착상운전을 240분간 실시한 후, 각각 40, 60 또는 80분간 제상운전을 실시하고 다시 240분 착상운전을 실시하면서 성능을 평가하였다. Fig. 7에

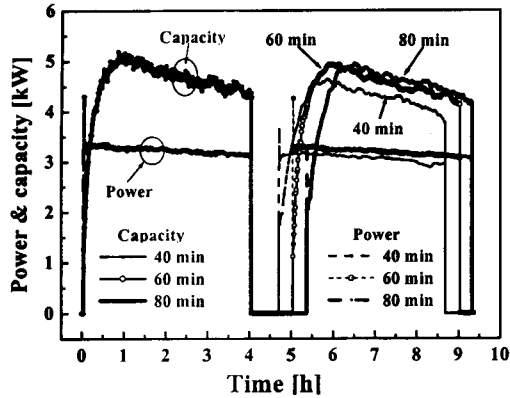


Fig. 7 Variations of power and capacity during the on-off defrosting process.

나타낸 바와 같이, 일정기간 제상을 실시한 후, 냉동용량은 제상기간이 길수록(80분) 용량감소가 적어 처음 사이클과 거의 동일한 값을 나타내었다. 하지만 제상기간이 짧은 경우(40분) 용량감소가 크게 나타났다. 제상운전을 40분 실시한 경우, 증발기의 표면의 서리가 완전히 제거되지 않은 상태에서 사이클이 다시 운전되어 서리성장을 촉진하였기 때문에 용량감소가 크게 나타난 것으로 사료된다. 압축기의 소요동력은 모든 사이클에서 시간에 따라 약간 감소하는 경향을 거의 동일하게 나타내고 있다.⁽⁸⁾

Fig. 8은 제상 전 및 제상 후 사이클의 평균 COP를 각각 나타내고 있다. 시간이 지남에 압축기 소요동력이 일정하게 감소하므로 제상 전후의 성능계수변화는 제상기간에 따라 큰 차이를 나타내지는 않지만, 40분 제상운전을 실시한 경우 제

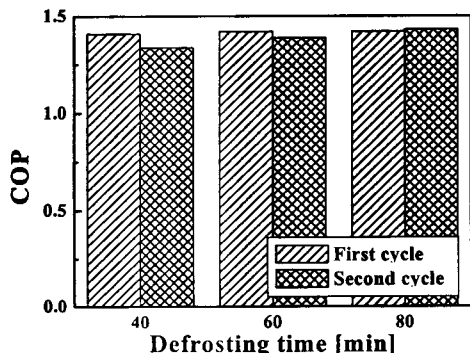


Fig. 8 Averaged COP before and after defrosting.

상 후의 성능계수가 5% 정도 감소하였다. 제상기간이 60분이나 80분인 경우에는 성능계수의 감소가 무시할 만큼 작게 나타났다. 따라서 단속운전 제상시 충분한 제상기간을 확보해야만 초기의 냉동용량을 계속적으로 유지할 수 있다.

3.3 고온가스 바이패스 제상사이클의 성능평가

Fig. 9는 압축기 토출부의 고온가스를 바이패스시켜 제상운전을 실시할 때 증발기 입출구의 온도변화를 나타내고 있다. 압축기에서 바이패스된 약 100℃의 고온냉매가 제상하고자 하는 증발기에 유입되므로 증발기 입구의 서리가 내부부터 녹기 시작하여, 열교환기 전부분으로 핀을 따라 열이 전달되면서 주변의 서리도 함께 녹게 된다. 서리가 모두 녹기 전까지 증발기 출구의 온도는 거의 상승하지 않으나, 증발기 표면의 서리가 제거되고 잔류하는 물방울을 증발시키는 과정에서 증발기 출구의 냉매온도가 빠르게 상승하기 시작

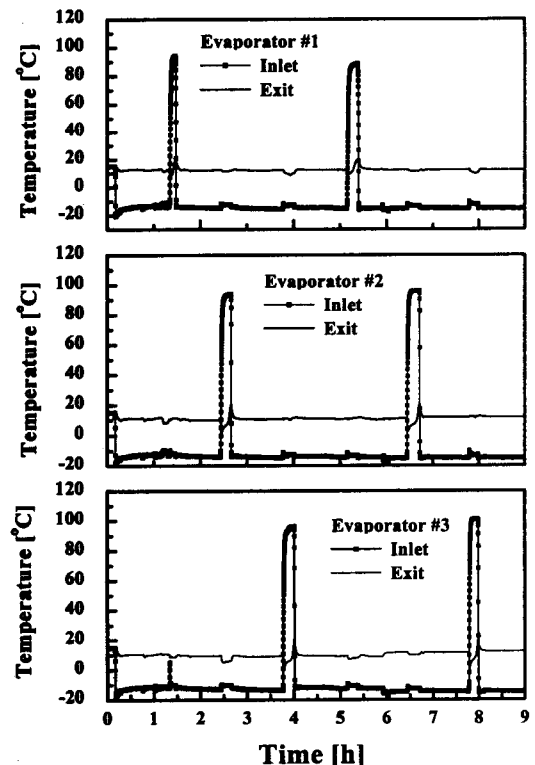


Fig. 9 Variation of evaporating temperature of hot-gas bypass defrosting at a EEV step of 356/356.

한다. 착상량이 적은 첫 번째 증발기의 경우, 출구온도가 20℃에 이르는 제상기간이 짧은 반면, 두 번째 증발기부터는 거의 동일한 제상기간을 나타냄을 알 수 있다. 제상시 각 증발기 입구의 최고온도는 100℃ 정도로 비슷하게 나타났다. 또한, 증발기 출구온도는 제상이 시작되면서 개도 변화에 의하여 순간적으로 낮아졌다가 그후 조금씩 상승하기 시작한다.

Fig. 10은 EEV의 개도가 178/356 스텝일 때, 고온가스 바이패스 제상시 냉동용량, 압축기 소비동력 및 성능계수의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 시간은 제상이 시작되는 시점을 0으로 하여 상대적으로 나타내었다. 제상이 시작될 때, 3개의 증발기 중 제상이 실시되는 증발기의 팬이 정지하기 때문에 냉동용량은 제상 직전의 2/3 정도인 2.4 kW 정도를 나타내고 있다. 제상운전 중인 증발기로의 냉매유량이 상대적으로 적기 때문에 일시적으로 나머지 두 증발기로 냉매가 많이 유입되어 냉동용량이 증가하며, 이후 수액기와 어큐물레이터의 완충작용으로 인하여 다시 냉매유량이 감소하기 시작한다. 제상운전이 종료되면 냉동용량은 증가하게 되나, 제상시 증발기에 잔류한 고온가스와 급격한 냉매유동 방향의 변화로 인하여 시스템이 순간적으로 불안정해지며 용량은 약간 감소하는 경향을 보인다. 그 후 시스템이 정상상태로 운전되면 냉동용량은 다시 증가하게 된다. 시스템의 성능계수는 냉동용량과 비슷한 형태로 나타나지만 약간의 시간지연을 두고 변화하는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 고온가스 제상시 EEV 개도별 제상소

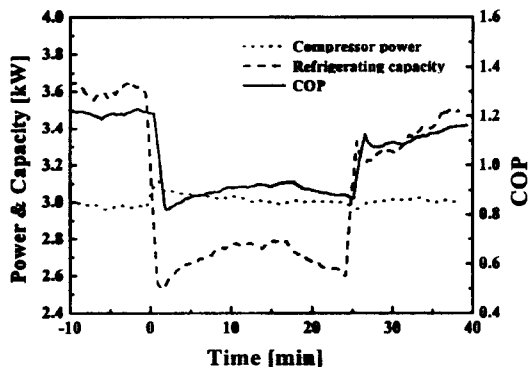


Fig. 10 Variations of power, capacity and COP of hot-gas bypass defrosting cycle at a EEV step of 178/356.

요시간을 나타낸 것이다. 각 증발기의 EEV 개도가 증가할수록 제상시간은 거의 선형적으로 감소하였다. 제상시간은 EEV개도가 178/356 스텝의 경우, 1132초, 1488초 및 1424초였으며, 356/356 스텝일 때 각각 408초, 712초 및 748초를 나타냈다. 이는 제상 증발기에 공급되는 고온가스의 유량이 EEV의 개도에 선형적으로 비례하는 특성을 나타내기 때문이다.

Fig. 12는 고온가스 바이패스 제상운전시 EEV 개도 변화에 따른 냉동용량, 압축기 소비동력 및 성능계수를 나타내고 있다. 여기서 냉동용량 및 소비동력은 제상기간 중에 측정된 모든 값을 산술평균한 것이다. 냉동용량은 EEV 개도가 267/356 스텝일 때 가장 크게 나타났으며, 개도가 356/356 스텝일 때 가장 작게 나타났다. 356/356

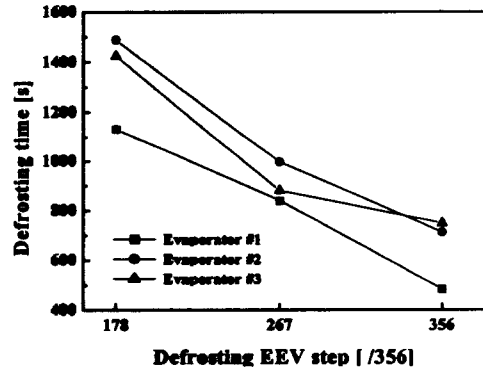


Fig. 11 Defrosting time of hot-gas bypass defrosting cycle at EEV steps of 178/356, 267/356 and 356/356.

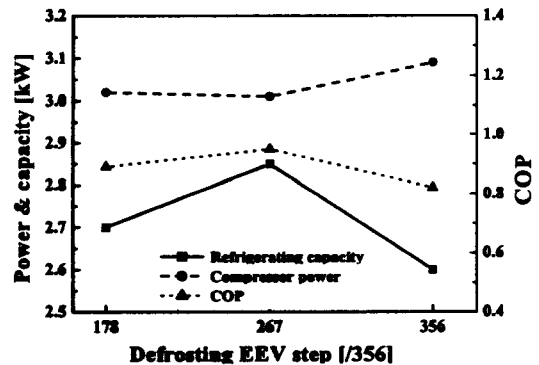


Fig. 12 Power, capacity and COP variations of hot-gas bypass defrosting at EEV steps of 178/356, 267/356 and 356/356.

스텝의 경우, 많은 냉매가 제상과정에 사용되어 냉동용량이 상대적으로 감소하였고, 성능계수도 낮게 나타났다. 압축기 소비동력은 EEV 개도가 178/356 스텝 및 267/356 스텝인 경우 거의 동일하게 나타났지만, 356/356 스텝에서는 급격히 증가하였다. EEV 개도가 적게 열렸을 경우, 제상시간이 증가하여 적산시간이 길어지고 산술 평균한 냉동능력은 감소하게 된다. 본 실험에서는 완전개도의 3/4인 267/356 스텝이 고온가스 바이패스 제상시 가장 높은 성능계수를 나타냈다.

3.4 제상방식의 비교 및 평가

각 제상방식의 성능을 평가하기 위하여 냉방 부하계수(cooling load factor, CLF), 일부하계수(work load factor, WLF) 및 부분부하계수(partial load factor, PLF)를 계산하여 비교하였다. CLF는 실제 냉동용량과 정상상태 운전시 냉동용량의 비로 정의되며, WLF는 실제 압축기의 소요동력과 정상상태 운전시 소요동력의 비로 정의된다. 또한 PLF는 CLF와 WLF의 비로 정의된다. 착상의 영향으로 시스템의 냉동용량 및 압축기 소비동력이 시간에 따라 변화하므로 제상을 마친 후 다음 제상 때까지 측정된 값들을 시간에 대하여 평균하여 정상상태의 냉동용량과 압축기 소비동력으로 사용하였다. CLF, WLF 및 PLF는 다음과 같이 정의된다.

$$CLF = \frac{\int \dot{Q}_{actual} dt}{\int \dot{Q}_{steady state} dt} \quad (1)$$

$$WLF = \frac{\int \dot{W}_{actual} dt}{\int \dot{W}_{steady state} dt} \quad (2)$$

$$PLF = \frac{CLF}{WLF} \quad (3)$$

여기서, \dot{Q} 과 \dot{W} 은 시스템의 냉동용량과 압축기 소요동력을 나타낸다.

Figs. 13, 14 및 15는 단속운전에서 제상기간과 고온가스 바이패스 제상운전에서 EEV 개도에 따른 CLF, WLF 및 PLF를 나타낸 것이다. 단속운전 제상방식의 경우, 80분 제상시 CLF는 0.749, WLF는 0.746, PLF는 0.99를 나타냈으며, 고온가

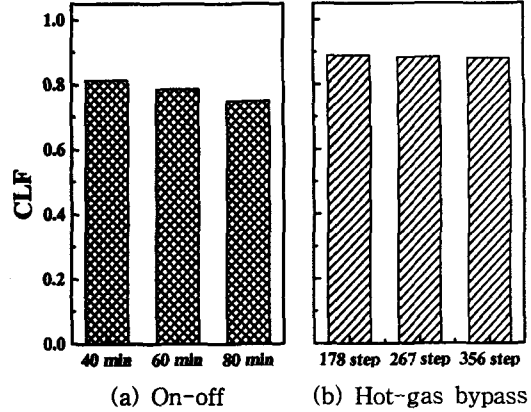


Fig. 13 CLF of each defrosting system.

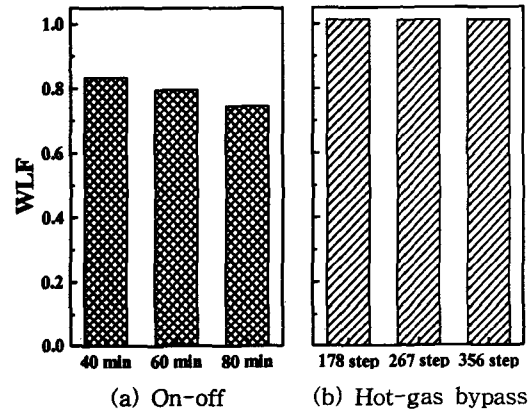


Fig. 14 WLF of each defrosting system.

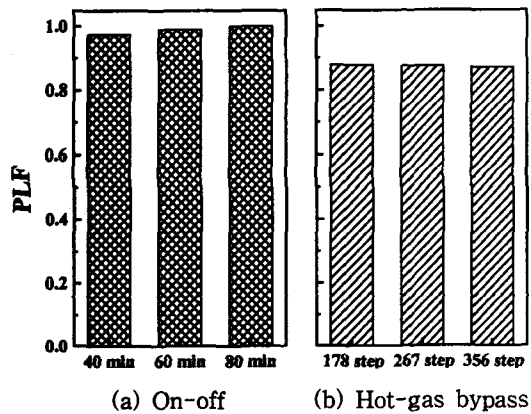


Fig. 15 PLF of each defrosting system.

스 바이패스 제상방식의 경우 제상개도가 267/356 스텝일 때, CLF는 0.884, WLF는 0.796, PLF는 0.875을 나타내었다. CLF는 고온가스 바이패스

제상방식이 단속운전 제상방식에 비해 전반적으로 10~15% 정도 향상된 값을 나타내었다. 단속운전 제상방식의 경우 단속운전시간이 증가할수록 낮은 CLF를 가지는 반면, 고온가스 제상방식의 경우 EEV 개도에 따라 CLF가 거의 변화 없이 동일하게 나타나고 있다. WLF는 고온가스 바이패스 제상방식이 단속운전 제상방식에 비해 약 26% 정도 크게 나타나고 있다. 이에 PLF도 WLF가 작은 단속운전 제상방식이 14~24% 정도 높게 나타난다. 따라서, 소비동력의 절감을 위해서는 WLF가 작은 단속운전 제상방식을, 고내온도를 일정하게 유지하기 위한 냉동용량을 확보하기 위해서는 CLF가 큰 고온가스 바이패스 제상방식을 선택하는 것이 유리하다.

Fig. 16는 단속운전 제상방식과 고온가스 바이패스 제상방식을 쇼케이스에 적용하였을 때, 저장고 내의 평균 온도의 변화를 나타내고 있다. 단속운전 제상방식을 적용하였을 때 쇼케이스 저장고 내의 평균 온도는 설정온도에 비하여 약 8°C까지 상승하였지만, 고온가스 바이패스 제상방식을 적용하였을 때 저장고 내의 평균 온도는 설정온도와 1°C 이내에서 일치하였다. 냉장제품의 품질을 오래 유지하기 위해서는 고내의 온도를 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 단속운전 제상방식의 경우 제상시간이 길어져 외기의 침입이 증대되고 고내 내용물의 온도가 높게 상승하게 된다.^(8,9) 제상운전시 소요동력이 증가하더라도 필요한 냉동용량을 확보하고 짧은 제상시간으로 저장고 내의 온도변화를 최소화할 수 있는

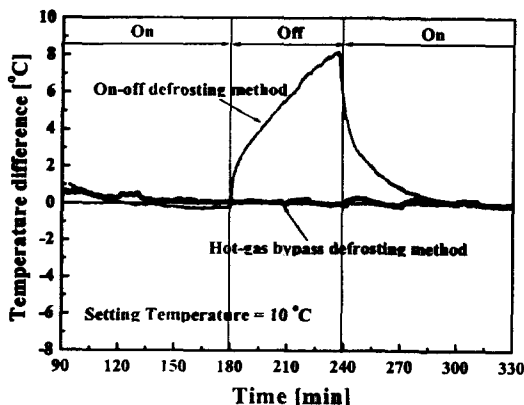


Fig. 16 Variations of storage temperature using on-off defrosting and hot-gas bypass defrosting methods.

고온가스 바이패스 제상방식이 쇼케이스에 적합한 방법으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 쇼케이스용 열교환기에 대해 착상 및 제상실험을 실시하였으며, 단속운전 제상방식과 고온가스 바이패스 제상방식을 비교 및 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 착상운전시 착상량은 초기에 급격히 증가하기 시작하여, 일정시간 이후에는 선형적인 증가를 나타내었다. 시스템 성능계수는 초기에 약간 상승한 후, 서리의 성장에 따른 열교환량의 감소로 인하여 점차 감소하였다.

(2) 단속운전 제상방식에서 최적의 제상효과를 얻기 위해서 적절한 제상시간의 설정이 필요함을 알 수 있었고, 고온가스 바이패스 제상방식의 경우는 최적의 제상 EEV 개도의 설정이 요구되었다. 본 연구에서는 최대 개도의 3/4 정도인 267/356 스텝이 최적의 개도로 나타났다.

(3) 소비동력의 절감 측면에서는 단속운전 제상방식이 유리하지만, 제상운전 중에 적절한 냉동용량 확보 및 저장고 내의 일정한 온도유지를 위해서는 고온가스 바이패스 제상방식이 유리함을 확인하였다.

후 기

본 논문은 산업자원부 산업기반기술의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kondepudi, S.N. and O'Neal, D.L., 1993, Performance of Finned-tube Heat Exchangers under Frosting Conditions: I. Simulation Model, *Int. J. of Refrigeration*, Vol. 16, No. 3, pp. 175-180.
2. Kondepudi, S.N. and O'Neal, D.L., 1993, Performance of Finned-Tube Heat Exchangers under Frosting Conditions: II. Comparison of Experimental Data with Model, *Int. J. of Refrigeration*, Vol. 16, No. 3, pp. 181-184.
3. Kondepudi, S.N. and O'Neal, D.L., 1990,

- The Effect of Different Fin Configurations on the Performance of Finned-Tube Heat Exchangers under Frosting Conditions, ASHRAE Trans., Vol. 96, pp. 439-444.
4. Lee, T.H., Lee, J.S., Park, J.J., Kim, B.J., Lee, S.W. and Yun, J.Y., 1997, An Experimental and Numerical Study on the Performance Analysis of an Evaporator Used in a Domestic Freezer, Proceedings of the SAREK, pp. 196-203.
 5. Frias, J.M. and Aceves, S.M., 1997, Effects of Evaporator Frosting on the Performance of an Air-To-Air Heat Pump, Proceeding of the ASME Advanced Energy Systems Division, AES-Vol. 37, pp. 357-363.
 6. O'Neal, D.L., Peterson, K. and Anand, N.K., 1991, Effect of Short-Tube Orifice Size on the Performance of an Air Source Heat Pump During the Reverse-Cycle Defrost, Int. J. of Refrigeration, Vol. 14, pp. 52-58.
 7. O'Neal, D.L., Peterson, K.T., Anand, N.K. and Schliesing, J.S., 1989, Refrigeration System Dynamics During the Reverse Cycle Defrost, ASHRAE Trans. VA-89-9-1, pp. 689-698.
 8. Noh, H.I., Kim, Y. and Park, Y.C., 2000, Frosting and defrosting characteristics of a show case system, Proceedings of the KSME 2000 Fall Annual meeting B, pp. 309-313.
 9. Noh, H.I., 2001, Experimental Study on the Performance Enhancement of Showcase Storage Temperature Control, M.S. Thesis, Korea University, Korea.