

PTC 전열시트를 사용한 핀-관 열교환기의 제상 특성에 관한 실험적 연구

An experimental study of defrosting behaviors on the fin-tube heat exchanger with PTC heating sheet

지 성*, 이 관 수**
S. Jhee, K. S. Lee

Key words : PTC(positive temperature coefficient, 정온도계수), Defrosting(제상), Water drain rate (용해수 배출율), Defrosting efficiency(제상효율)

Abstract

In this work, the defrosting characteristics of PTC heating sheet used as a defrosting heat source of fin-tube heat exchanger in a refrigerator have been experimentally compared with those of conventional electric heater. It is found that the characteristics of water draining rate with defrosting time show smoothly oscillating pattern when PTC heating sheet is used, and the drained water is completely melted. The defrosting efficiency of the PTC heating sheet is about 75%, which represents about 25% higher than that of the electric heater. A reduction of defrosting time and an increase of defrosting efficiency may be obtained by improving the arrangement of heating elements of the heating sheet. It is shown that the defrosting time of PTC heating sheet increases linearly with the amount of frost, however the defrosting efficiency is nearly constant. In the application to the refrigerating system, one should notice the fact that the defrosting performance of PTC heating sheet may be degraded due to the repeated operations.

기 호 설 명

L : 승화 잠열(kJ/kg)

M_w : 용해수 누적 배출량(g)

m_f : 착상량(g)

Q_{heater} : 공급전력량(Wh)

T : 온도(℃)

t : 시간(min)

t_m : 서리 용해 기간

t_p : 용해 준비 기간

t_r : 수분 제거 기간

t_{rest} : 휴지기간

W : 공급전력(W)

\dot{W} : 용해수 배출율(g/s)

그리스문자

* 정희원, 한양대학교 대학원

** 정희원, 한양대학교 기계공학부

η_d : 제상 효율(%)

τ_d : 제상 시간(min)

1. 서 론

냉장고나 열펌프의 증발기 등과 같은 저온 열교환기 전열면에서는 착상(frost formation)으로 인한 성능 저하로 인하여 규정된 성능을 유지하기 위해서는 일정 시간이 경과한 후 부착된 서리를 제거해 주어야 하는 제상(defrosting)작업이 요구된다. 제상작업이 진행되는 동안에는 열교환기의 작동을 잠시 중단해야 하며 부가적인 제상열이 냉장·냉동 시스템의 내부로 공급됨으로 인해서 에너지 효율과 시스템에 대한 신뢰도는 하락한다. 특히 냉장고의 경우에는 음식물의 신선도를 보장할 수 없다는 문제점을 가지고 있다.

이러한 착·제상의 문제점을 해결하기 위하여 지금까지 국내·외에서 연구된 분야로는 1) 착상지연에 의한 시스템 연속운전시간 증대⁽¹⁻⁴⁾, 2) 제상방식의 변화에 의한 제상 성능 향상⁽⁵⁻¹⁰⁾, 그리고 3) 착상과 제상운전의 최적화에 의한 성능 향상을 목적으로 하는 최적 제어 제상⁽¹¹⁻¹²⁾에 관한 분야로 구분할 수 있다. 착상지연에 의한 운전시간 증대에 관한 연구는 최근 활발히 진행되고 있으나 아직까지 실제 시스템에의 적용은 구체화되지 못하고 있으며, 최적 제어 제상은 시스템의 열교환기와 제상 히터에 따라 각각 변화하여 실험적인 결과에 의존하고 있다. 이에 따라 현재까지로는 제상 히터의 성능을 향상시켜 제상 시간 단축 및 효율 증대를 목적으로 하는 연구가 가장 활발히 진행되고 있다.

저온 열교환기의 제상에 현재 사용되고 있는 제상 방식은 냉동 사이클방식(역사이클 hot gas 방식⁽⁷⁻¹⁰⁾, bypass 방식, 축열방식) 및 비냉동 사이클방식(전열방식⁽¹³⁾, 물·브라인 분사방식, 기계적 제거방식)으로 분류할 수 있다. 이 중 전열방식이 일반적으로 많이 사용되고 있으나 제상효율이 높지 않을 뿐만 아니라 히터의 설정 온도가 높아 제상후 제거해야 하는 부가적인 열손실도 매우 크다. 최근에는 서리층이 적외선에너지를 대단히 잘 흡수한다는 점에 착안하여 착상면으로 복사열에너지를 외부에서 공급하는 제상방식도 연구되고 있다.⁽⁵⁻⁶⁾ 또, 미세한 소립자의 유동층에 의해 강제적으로 착상 원관군의 제상을 시도한 연

구와 압축가스 분사에 의한 제거 방식에 관한 연구가 있으나 많은 에너지 투입, 초기 설치비 등의 문제를 갖고 있다. 이에 따라 전열방식의 새로운 형태로써 PTC (positive temperature coefficient) 전열시트를 냉장고용 증발기의 히터로 검토하게 되었다. PTC는 재료 제작시에 첨가된 불순물(dopant)과 제작 공정에 따라 단일의 온도 대 저항 특성을 갖고며, 설정된 온도(Curie 온도 또는 switching point)에 도달하면 저항이 급격히 상승하는 재료이다. 그러므로 제상 종료시까지 계속 전력을 소모하는 기존의 전열식 히터에 비하여, 제상 성능과 효율이 높을 것으로 예상된다. 그러나 PTC 전열시트를 냉장고용 증발기의 제상 히터로 적용할 때의 제상 성능과 효율 등에 대해서 알려진 바가 없으므로 이에 대한 검증이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 실제 냉장고용 증발기로 사용되고 있는 핀-관 열교환기에 PTC 전열시트와 기존의 전열식 히터를 각각 장치하여, 동일한 착상 조건하에서 운전한 후 제상 특성을 관찰한다. 또 제상 성능 평가를 위하여 각 열교환기의 제상시 제상 종료 시간 및 총 입력전력과 제상 효율, 그리고 제상시 열교환기 및 시험부의 온도 변화 등을 조사한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

이 연구의 실험을 수행하기 위한 실험 장치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 폐회로 풍동장치로서 시험부, 항온항습실, 순환부, 냉각부, 그리고 전열부로 구성되며, 각 부분을 독립적으로 제어하여 실험할 수 있도록 설계하였다.⁽¹³⁾

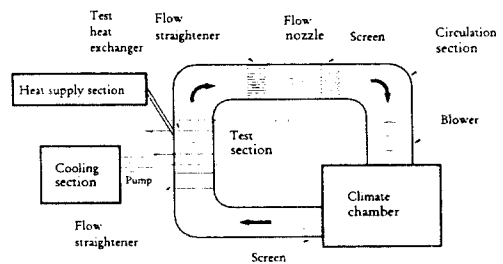


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig.2에서는 본 연구에서 사용한 핀-관 열교환기 및 제상 히터를 나타내었다. 사용한 핀-관 열교환기의 사양은 관의 단 수 8개, 열 수 2개이며, 꼭관부를 제외한 관의 길이는 400mm이고, 핀 피치가 아랫 단에서부터 20, 10, 10, 7, 7, 5, 5, 5mm로 배열되어 있다. Fig.2의 (a)는 기존의 전열 히터를 사용한 열교환기로 히터는 관과 엇갈린 형태로 핀에 연결되어 있고 기준 입력 전압(220V)에서 167W의 전력을 소모한다. Fig.2의 (b)는 PTC 전열 시트를 사용한 열교환기를 도시한 것으로, 열교환기의 전·후면에 전열 시트가 부착되어 있다. 전열 시트내의 발열부의 폭은 1cm이며, 전열 시트는 열교환기의 관과 수직한 방향으로 배치되어 있다. 전열시트에 사용된 PTC 재료의 Curie 온도는 60℃이며 상온 저항은 317Ω이다. 열교환기 및 히터에는 히터의 제상 성능을 파악하기 위하여 열교환기를 상·중·하단부로 나누고 각 위치의 중앙에 있는 핀, 관, 히터에 type T의 열전대(지

름 0.1mm)를 부착하여 제상시 열교환기의 핀, 관 및 히터의 온도를 측정할 수 있도록 하였다.

2.2 실험방법

PTC 전열 시트를 사용한 핀-관의 열교환기에 대한 제상 거동을 파악하고, 기존의 전열식 히터와 성능을 비교하기 위해서는 각각의 히터를 장착한 열교환기에 대하여 착상 및 제상 실험을 연속적으로 수행하여야 한다. 즉 Fig.1의 시험부에 열교환기를 장착하여, 착상 기준 운전 조건인 입구 공기 온도 8℃, 상대 습도 70%, 입구 공기 유속 2.0m/s로 유지하며 3시간 동안 착상 실험을 수행하고, 곧바로 제상 실험을 진행한다. 제상시 히터의 기준 전압은 220V로 공급하며, 관 상단부 온도가 13℃에 도달하면 제상을 종료한다. 또, PTC 전열시트의 제상 거동 특성을 관찰하기 위하여 착상 기준 조건 외에 입구 공기의 습도를 조절하여 착상량의 영향을 조사한다.

실험 과정은 먼저 입구 공기는 원하는 실험 조건의 유속으로 설정하여 시험부 내로 유입되게 하고, 항온 항습실을 통하여 순환하는 공기의 온·습도를 실험 조건과 동일하게 제어한다. 동시에 냉매 수조의 냉매를 미리 설정한 온도로 냉각시킨다. 입구 공기 상태 및 냉매 온도가 설정된 실험 조건이 되면 냉매를 열교환기 내로 순환시켜 착상 실험을 시작하였으며, 3시간동안 착상운전을 진행한다. 착상실험이 완료됨과 동시에 순환부 내의 공기 흐름을 중지시키고 열교환기에 부착된 제상 히터에 전원을 연결하여 제상 실험을 시작한다. 제상 기간 중의 용해수 배출량을 측정하기 위하여 미리 무게를 측정된 화장지를 용해수 받이 위에 깔아 놓고, 시험부 아래 부분에 설치한다.⁽¹³⁾ 용해수 받이는 정해진 시간 간격에 따라 교체하며, 교체 때마다 각각 배출된 용해수와 화장지의 총무게를 정밀 전자 저울을 사용하여 시간별 용해수 배출량을 구한다. PTC 전열 시트의 경우 온도가 증가함에 따라 저항이 증가하여 입력 전력이 시간에 따라 달라지므로, 용해수 배출량 측정과 동시에 전력을 기록한다. 열교환기 상단 중앙부의 관 표면 온도가 13℃에 도달하면 서리 용해가 완료된 것으로 간주하여 제상 히터의 열량 공급을 중단하고 일반 냉장고에서처럼 일정 시간의 휴지 기간을 둔 후 제상을 종료한다.

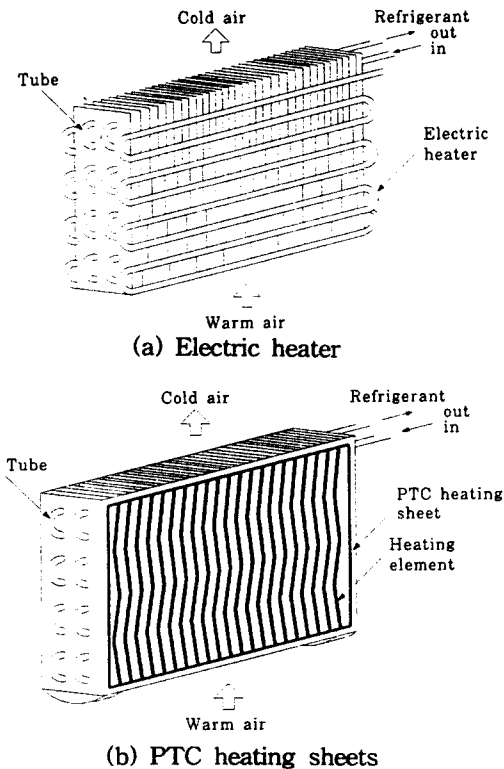


Fig.2 Fin-tube heat exchanger with heater

본 연구에서 착상 실험시 불확실도는 입구 공기 온도 2.48%, 입구 공기 절대 습도 2.15%였으며, 제상시 용해수 배출율의 불확실도는 3.46%였다.

3. 결과 및 고찰

PTC 전열 시트를 사용한 핀-관 열교환기에 대한 제상 거동을 파악하고, 기존의 전열식 히터와 성능을 비교하기 위하여 착상 기준 조건에 대한 제상 특성을 비교하였으며, PTC 전열 시트의 제상 거동 특성을 파악하기 위하여 운전인자(입구 습도)의 영향을 분석하였다.

3.1 PTC 전열시트의 제상 성능 및 특성

Fig.3은 착상 기준 조건에서 기존의 전열식 히터

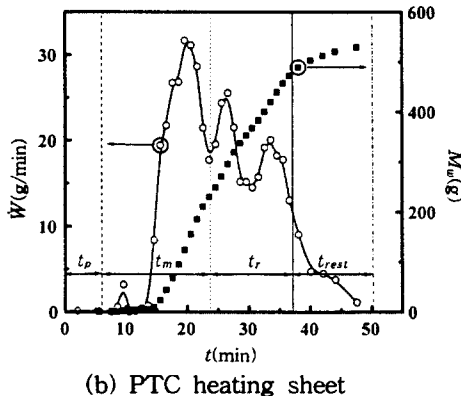
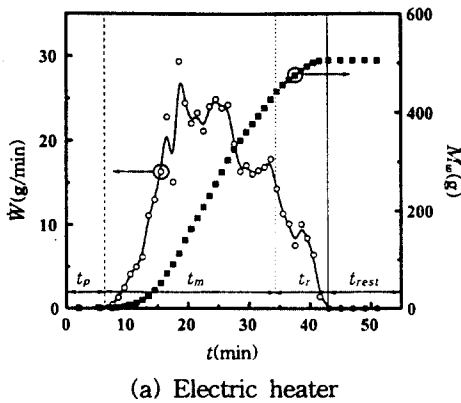


Fig.3 Water draining rate and total amount weight of draining water with defrosting time

(착상량 615g)와 PTC 전열시트(착상량 639g)의 시간에 따른 용해수의 배출율(W)과 누적배출량(m_w)을 각각 도시한 것이다. 기존의 전열식 히터는 열량이 공급된 뒤 대략 $t=7$ 분이 경과한 후부터 지속적으로 배출되는데 반하여, PTC 전열시트는 이보다 늦은 $t=9$ 분이 경과한 후에 전열 시트면에 부착된 서리가 먼저 배출되며 $t=14$ 분부터 본격적으로 용해수가 배출된다. 제상 기간 중의 용해수 배출 거동의 특이한 점은 기존의 전열식 히터의 경우 완전히 용해되지 않은 상태의 서리가 상당량 배출되면서 다소 불규칙적인 용해수 배출 분포를 보이고 있는데 반하여, PTC 전열시트의 경우 $t=20, 26, 33$ 분에서 극대점을 갖으며 진동하는 형태를 보이고 있다. 용해수 배출 곡선이 진동형으로 나타나는 이유는 열교환기의 각 열마다 서리의 용해속도가 다르기 때문이다. 즉, 열교환기의 상단부에 부착된 서리가 용해되어 배출될 때 직접 용해수 반이로 배출되는 것이 아니라, 상온의 용해수가 열교환기를 타고 흘러내림으로써 하단부에 부착된 서리에 2차적인 열을 가하기 때문에 하단부쪽의 용해속도가 더 빠르게 된다. 특히, PTC 전열시트의 경우에 용해수 배출율이 매끄러운 곡선 형태를 나타내는 것은 PTC 전열시트의 경우 면열원이므로 열교환기 전면에 걸쳐서 균일하게 가열하기 때문에 거의 순수 용해수만이 배출되기 때문이다. 그러나 선열원인 기존의 전열식 히터는 부착된 서리를 부분적으로 가열하므로 완전히 용해되지 않은 서리 덩어리도 배출되어 이 효과가 감소한다. 용해수 배출 거동의 또 하나의 특징은 전열식 히터의 경우 휴지 기간에 배출되는 양이 거의 없으나 PTC 전열시트의 경우에는 히터의 전원공급을 중단한 이후에도 전체 배출수의 약 11%에 해당하는 상당히 많은 양의 용해수가 배출된다. 그 이유로는 마지막 배출 극대점으로부터 용해 종료까지의 시간이 상대적으로 짧고, 또한 서리 덩어리가 배출되지 않고 순수 용해수만이 배출되므로 열교환기에 잔류한 용해수가 배출되는데 시간이 소요되는 것으로 판단된다.

히터의 제상 특성은 열교환기 각 부분 및 시험부 공기 온도의 변화와 그에 따른 용해수의 배출 거동에서 찾을 수 있다. 제상 과정은 제상시 열교환기 온도의 경향에 따라 크게 용해 준비 기간(t_p), 서리 용해 기간(t_m), 수분 제거 기간(t_r) 그리고 휴지 기간(t_{rest})

의 네 구간으로 나뉘어 진다.⁽¹³⁾ Fig.4는 제상시 히터(PTC 전열시트 및 전열식 히터), 열교환기 핀-관 및 시험부 공기의 대표 온도의 변화를 나타낸 것이다. 여기서, 히터의 대표 온도로는 히터의 상·중단부 평균 온도를 취하였으며, 열교환기 핀-관의 온도는 핀과 관의 온도 경향이 서로 유사하므로 열교환기 상·중단부에서의 핀과 관의 온도를 평균하였다. 또, 시험부 공기 대표 온도는 제상시에 유동이 없는 상태이므로 시험부의 입·출구 공기 온도의 평균값을 취하였다. Fig.4에 나타난 PTC 전열시트의 온도 특성을 각 구간별로 살펴보면, 융해 준비 기간 중에 전열시트 발열부의 온도 상승폭이 기존의 전열식 히터보다 매우 커서 서리 융해 기간이 시작될 때의 발열부 온도는 전열식 히터보다 10℃ 이상 높은 온도를 나타내고 있다. 서리 융해 기간에는 전열식

히터의 온도가 거의 일정한데 반하여, PTC 전열시트의 온도는 계속 상승하고 있으며 그 기간이 상대적으로 짧다. 수분 제거 기간에는 전열식 히터를 사용한 경우의 공기 온도가 급격히 상승하고 있지만, PTC 전열시트를 사용한 경우에는 그 변화폭이 매우 작다. 그러나 PTC 전열시트의 발열부 온도가 전열식 히터보다 약 15℃ 정도 더 높으며, 전원 공급을 중단할 때의 열교환기 핀-관의 평균온도도 제상 기준 온도인 13℃보다도 훨씬 높은 24℃를 나타내었다. 휴지 기간을 지나 제상이 종료한 후에는 열교환기 핀-관의 온도는 PTC 전열 시트와 전열식 히터가 서로 거의 비슷하지만 공기온도는 PTC 전열시트를 사용한 경우 약 10℃로 기존의 전열식 히터보다 약 6℃ 정도 낮았으며, 제상 시간은 약 5분 단축되었다.

제상 구간별 온도 변화에서 나타난 특징은 첫 번째로 PTC 전열시트 발열부의 온도가 상당히 높다는 점이고, 두 번째는 공기측 온도의 상승폭이 매우 작다는 점, 그리고 세 번째로는 열교환기 핀-관의 온도 변화가 빠르다는 점이다. 발열부의 온도가 높은 이유는 PTC 전열시트 자체의 특성도 있겠지만, 전열시트의 형태에 따른 특성으로 판단된다. 즉, Fig.2와 같이 PTC 전열시트가 열교환기에 수직으로 부착되어 면적에 비하여 상대적으로 작은 양의 서리만이 부착되며, 제상중에는 융해수가 전열시트를 통해 흘러 내리지 않기 때문에 거의 젖어 있지 않다. 그러나 전열식 히터의 경우 열교환기에서 배출되는 융해수와 직접 접하므로 항상 젖어 있게 되며, 이러한 융해수들이 히터에서 공급되는 열을 상대적으로 많이 흡수하게 된다. PTC 전열시트를 사용한 경우에 공기측 온도의 상승폭이 작은 것은 전열시트가 면열원이므로 기존의 전열식 히터보다 서리에 대해서 가열하는 부분의 면적이 많기 때문에 공기측으로의 열손실 작기 때문이다. PTC 전열시트를 사용한 열교환기 핀-관의 온도 변화가 빠르게 나타나고 또 그 변화폭이 크다는 점은 효율면에서 좋지 않은 측면이다. 그러나 이 점은 PTC 전열시트의 특성이라기 보다는 전열시트 내의 발열부 배치에서 나타난 문제점이라고 판단된다. 융해수 배출율에서 설명한 바와 같이 열교환기의 상단부의 서리 융해속도가 상대적으로 느리므로 이는 곧 상단부의 온도가 하단부 보다 낮다는 것

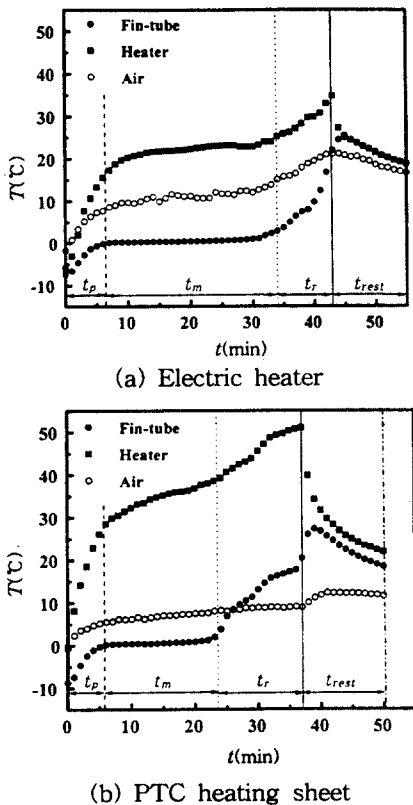
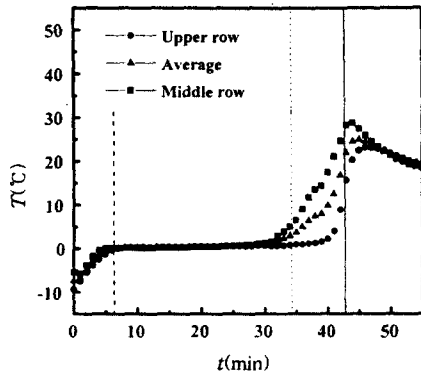


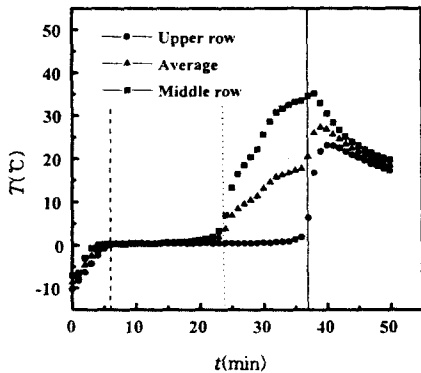
Fig.4 The variation of temperature in test section with defrosting time

을 의미한다. 본 연구에서 사용한 전열시트의 구조를 살펴보면, Fig.2(b)에서 보인 바와 같이 입력단자로부터 발열부의 연결을 위하여 열교환기의 가장자리로부터 약 2cm 떨어진 곳에서부터 발열부가 위치하고 있다. 따라서 상대적으로 용해속도가 빠른 하단부는 문제가 되지 않지만, 용해속도가 느린 상단부에서는 더욱 늦어지고 이에 따라 용해가 종료된 중·하단부의 열교환기 온도는 계속 상승하면서 용해 종료시에 제상 기준 온도보다도 훨씬 높은 24℃를 나타내게 된다.

Fig.5는 제상시 열교환기 핀-관의 온도 변화를 자세히 살펴보기 위하여 중단부 온도와 상단부 온도, 그리고 평균 온도를 도시한 것이다. 전열식 히터의 경우 상단부 온도와 중단부 온도의 편차가 크지 않지만, PTC 전열시트의 경우 중단부의 온도가 빨리 상승하



(a) Electric heater



(b) PTC heating sheet

Fig.5 The spatial variation of fin-tube temperature

면서 편차가 크게 나타나고 있다. 즉, 서리 용해가 먼저 종료된 중·하단부에서는 상단부의 서리가 용해되는 동안 공기층과 열교환기의 온도를 상승시키는 작용을 하므로, 제상이 종료된 후에 제거해야할 제상열을 증가시키게 된다. 따라서 앞서 설명한 PTC 전열시트의 발열부 배치를 개선할 경우에는 제상시간을 단축시키고 제상효율을 증가시킬 수 있을 것이라고 판단된다.

Fig.6은 제상시 히터의 공급 전력의 변화를 도시한 것이다. 전열식 히터는 기준 전압인 220V에 대해서 167W의 일정한 전력을 사용하지만, PTC는 온도에 따라서 저항이 변화하므로 시간이 경과할수록 점차

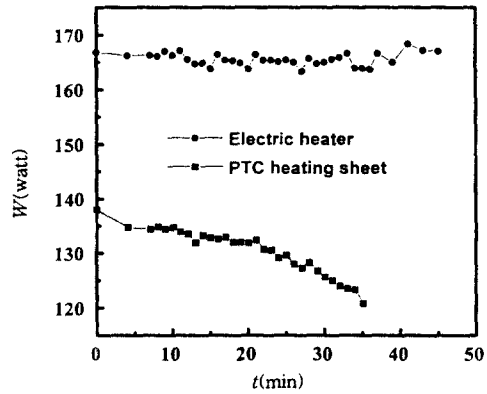


Fig.6 The variation of power supply with defrosting time

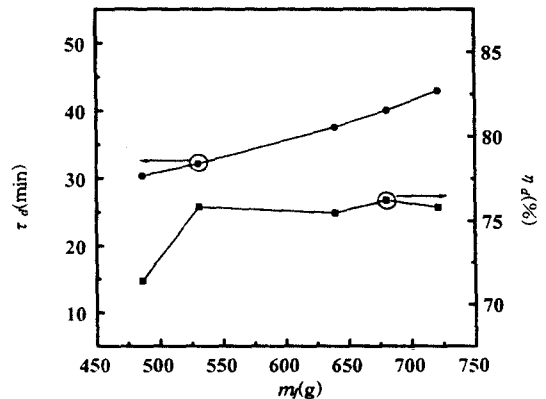


Fig.7 Defrosting times and efficiencies with the weight of frost for relative humidity

사용 전력이 감소하고 있다. 이 점은 제상 효율 측면에 있어서 전체 소비 전력을 감소시키므로 상당한 장점이라고 할 수 있다.

제상 효율은 착상량과 공급 전력, 그리고 제상 시간의 함수로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\eta_d = \frac{m_f L}{\int_0^{\tau_d} q_{heater} dt} \quad (1)$$

PTC 전열시트의 경우 제상 시간이 5분 단축되었고, 또 사용 전력이 Fig.6에서 도시한 바와 같이 기존의 전열식 히터보다 낮기 때문에 제상 효율이 높게 된다. 착상 기준 조건에서 전열식 히트는 약 50.5%, PTC 전열시트는 약 75.5%로 25% 정도 높은 효율을 나타내었다.

3.2 운전 인자의 영향

Fig.7은 입구 공기 습도를 조절하였을 경우의 PTC 전열 시트를 사용한 열교환기의 착상량에 따른 제상 시간(τ_d) 및 제상 효율(η_d)의 변화를 도시한 것이다. 제상 시간은 착상량에 대해서 선형적으로 증가하고 있지만, 제상효율은 486g에서 71%인 경우를 제외하고 530g 이후에는 약 75% 정도로 일정하게 유지하고 있다. 따라서 열전달 성능과 제상 시간이 규정된다면 이 두 조건을 모두 고려하여 최적의 착상량을 선정할 수 있을 것이라고 판단된다.

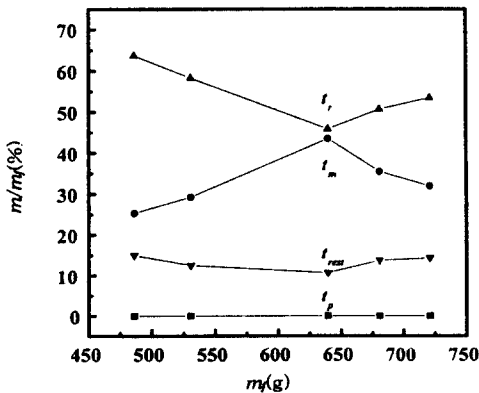


Fig.8 Draining water ratio for defrosting period with the weight of frost for relative humidity

Fig.8은 제상 구간별 용해수 배출 비율을 착상량에 따라 도시한 것이다. 착상량 639g(습도 70%)인 조건에서는 서리 용해 기간과 수분 제거 기간의 배출비율이 각각 약 45%로 서로 비슷하지만, 그 외의 경우에는 수분 제거 기간의 배출 비율이 더 높았다. 또한, 착상량에 따른 배출 비율은 639g인 조건을 중심으로 서리 용해 기간의 비율은 감소하고, 수분 제거 기간 및 휴지 기간의 배출 비율은 증가하는 형태를 보이고 있다.

3.3 PTC 전열시트의 반복성능

시스템이 규정된 성능을 유지하기 위해서는 착상시 열교환기의 열전달 성능뿐만 아니라 제상시 히터의 제상 성능도 유지되어야 한다. 히터의 제상 반복성능은 제상시 공급 열량과 제상 시간, 그리고 제상 효율로부터 비교할 수 있다. Fig.9는 착상 기준 조건에서 반복 운전에 따른 PTC 전열시트의 제상시 공급 열량의 변화를 도시한 것이다. 반복 운전(착상량 639g)의 제상 초기 전력은 초기 운전(착상량 636g)과 거의 비슷하지만, 이후 급격히 전력이 감소하여 제상 종료시에는 9W의 차이를 보이고 있다. 이에 따라 제상시간은 초기 운전의 37분보다 5분 늦어진 42분이 소요되었다. 또한 제상 종료후 공기측 온도도 초기 운전에 비하여 1.5°C 상승하였으며, 제상 효율은 초기 운전 75%에 비하여 5% 감소한 약 70%였다. 따라서 PTC 전열시트를 실제 시스템에서 사용하기 위

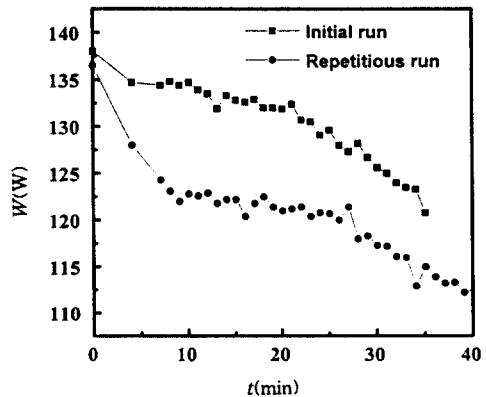


Fig.9 The comparison of power supply between initial run and repetitious run during defrosting

해서는 제상 성능을 유지하기 위한 PTC 재료에 대한 연구와 함께 반복에 의한 성능 저하를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 핀-관 열교환기에 대하여 전열식 히터와 PTC 전열시트를 사용하여 제상 실험을 수행하였으며, 제상시 시험부 내의 온도 분포와 용해수 배출 거동을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) PTC 전열시트의 용해수 배출율은 열교환기의 각 열마다 서리의 용해속도가 다르기 때문에 진동하는 형태를 나타내었다.

(2) PTC 전열시트는 면열원이므로 균일하게 가열하여 제상시 완전히 녹은 용해수만을 배출하고, 기존의 전열식 히터와는 달리 휴지기간에 많은 용해수가 배출되었다.

(3) PTC 전열시트의 발열부 온도의 상승폭이 큰 데 반하여, 공기측 온도의 상승폭이 매우 적어 전열식 히터보다 25% 정도 높은 제상 효율을 나타내었다.

(4) 제상 효율은 530g 이후에는 약 75% 정도로 일정하게 유지하므로 열전달 성능과 제상 시간이 규정되면, 최적의 착상량을 선정할 수 있다.

(5) PTC 전열시트의 반복 사용에 의하여 제상 성능이 저하하므로, 실제 적용을 위해서는 이를 고려하여야 한다.

후 기

이 연구는 1997년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 : ME97-F-12)에 의하여 연구되었으며, "핀-관 열교환기에 대한 제상 거동에 관한 실험적 연구"의 일부임을 밝힌다. 또한, PTC 전열시트를 제공한 (주)대일 피에프티 측에 심심한 사의를 표한다.

참 고 문 헌

1. Takeuchi, H., Sato, K., Sato, S., and Aoki, H., 1991, "Development of a new heat collector from air without frost problems", *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 4, No. 4, pp. 441~447.
2. Munakata, T., Yabe, A., and Tanasawa, I., 1992, "Effect of electric field on frosting phenomenon", *Trans. of JSME*, 58-548, pp. 1171~1177.
3. Tsuda, Y., and Iwamoto, A., 1992, "Anti-frosting heat exchanger", *National Technical Report*, Vol. 38, No. 1, pp. 108~113.
4. Ogawa, K., Tanaka, N., and Takeshita, M., 1992, "Performance improvement of plate fin-and-tube heat exchangers under frosting conditions", *ASHRAE Trans*, Vol. 99, Pt. 1, pp. 762~774.
5. Inaba, H., Otake, H., and Nozu, S., 1992, "Fundamental study on a horizontal frost layer melted from above by radiative heat", *일본기계학회논문집(B편)*, 58-55호.
6. Inaba, H., and Imai, S., 1996, "Study on sublimation phenomenon of horizontal frost layer exposed to forced convection air flow and radiation heat", *Trans. of the ASME*, Vol. 118, pp. 694~701.
7. Sugawara, M., Uemura, S., Yajima, R., Takahashi, T. and Fujita, T., 1990, "Melting of frost on heat exchanger of a heat pump", *일본기계학회논문집(B편)*, 56-531, pp. 3457~3461.
8. Sugawara, M., Sakae, S. and Fujita, T., 1991, "A basic study of defrost of heat exchanger", *일본기계학회논문집(B편)*, 57-537, pp. 1874~1879.
9. Patin, A., 1990, "Optimisation des dégivrages par gaz chauds en chambre à basse température", *Int. J. Refrig.*, Vol. 13 September, pp. 325~329.
10. O'Neal, D., L., Peterspm, K., and Anand, N. K., 1991, "Effect of short-tube office size on the performance of an air source heat pump during the reverse-cycle defrost", *Int. J. Refrig.*, Vol. 14, January, pp. 52~57.
11. Allard, J. and Heinzen, R., 1988, "Adaptic

- defrost", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 24, No. 1, pp. 39~42.
12. Knoop, D. E., Tershak, A. T., and Thieneman, M., 1988, "An adaptic demand defrost and two-zone control and monitor system for refrigeration products", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 24, No. 2, pp. 337~342.
13. 이관수, 김규우, 지성, 1998, "핀-관 열교환기에 대한 제상 거동에 관한 실험적 연구", 공기조화·냉동공학회 논문집, Vol. 10, No. 6, pp. 649~657.