

핀-관 열교환기에 대한 제상 거동에 관한 실험적 연구

An experimental study of behavior of defrosting on the fin-tube heat exchanger

이 관 수*, 김 규 우**, 지 성**
K. S. Lee, G. W. Kim, S. Jhee

Key words : Defrost(제상), Fin-tube heat exchanger(핀-관 열교환기), Electric heater(전기 히터), Defrosting efficiency(제상 효율), Melting efficiency(용해 효율)

Abstract

In this study, the effects of the various conditions of frosting and defrosting on the behavior of defrosting in a fin-tube heat exchanger have been examined experimentally. The electric heater is used for defrosting in a fin-tube heat exchanger. It is shown that there are several local maxima in the water draining rate. The amount of residual water on the heat exchanger after the completion of defrosting is kept constant due to surface tension on the heat exchanger. Without considering the degradation of the thermal performance due to the frosting, the defrosting efficiency is improved with increasing amount of the frost irrespective of the frosting condition. The defrosting behavior is affected by the frosting density as well as the frost accumulation, which vary with the experimental operating conditions during the frosting period. The heat loss to the surrounding air decreases, and the melting and defrosting efficiencies show high values with decreasing heat input.

기 호 설 명

L : 용해잠열, J/g
 M_w : 용해수 배출 누적량, g
 $M_{w, res}$: 잔류 용해수량, g
 m_t : 착상량, g
 q_{heater} : 제상 공급 열량, W

T : 온도, °C
 t : 시간, min
 t_p : 용해 준비 기간, min
 t_m : 서리 용해 기간, min
 t_r : 수분 제거 기간, min
 t_{rest} : 휴지 기간, min
 \dot{w} : 용해수 배출율, g/s
 \dot{w}_{rest} : 휴지 기간의 용해수 배출율, g/s

* 정희원, 한양대학교 기계공학과

** 한양대학교 대학원

그리스문자

η_d	: 제상 효율
η_m	: 용해 효율
τ_d	: 제상 시간, s 또는 min
τ_m	: 용해 시간, s 또는 min

1. 서 론

착상(frost formation)은 저온 열교환기의 냉각 면에서 주변 공기와 열전달 및 물질전달이 동시에 발생하여 공기에 포함되어 있는 수증기가 다공성 구조의 서리로 냉각면에 부착되는 현상이다. 열교환기 냉각 표면에 부착된 서리는 공기와 열교환기 사이에 열저항으로 작용하여 열전달률을 감소시킬 뿐만 아니라, 열교환기 내의 공기유동 단면을 축소시켜 냉동 시스템의 성능을 크게 저하시킨다. 따라서 규정된 성능을 유지하기 위해서는 열교환기 표면에 부착된 서리를 제거해 주는 제상(defrosting) 작업을 주기적으로 실행시켜야 한다. 하지만 제상을 수행하기 위해서는 전체 냉동 시스템 가동을 잠시 중단해야 하므로 냉동이 연속적으로 이루어지지 않고, 또한 부가적인 제상열이 시스템 내부로 공급되어 성능의 하락을 가져오게 된다. 즉, 착상뿐만 아니라 제상도 냉동 시스템의 성능 감소에 미치는 영향이 상당히 크다고 할 수 있다.

이러한 제상 영향의 중요성에도 불구하고 지금까지 국내외에서 이루어진 열교환기 연구의 대부분은 착상시에 발생하는 제현상을 이해하는데 주력하여⁽¹⁻⁶⁾ 제상에 관한 연구는 극히 드물다. 이제까지 연구된 제상 분야를 살펴보면 1) 제상 메커니즘과 제상 방식에 관한 연구, 2) 제상 성능 평가에 관한 연구 및 3) 최적 제어 제상에 관한 연구 등 세부분으로 나눌 수 있다.

제상 메커니즘과 제상 방식에 관한 연구로 Aoki 등⁽⁷⁻⁹⁾은 테스트 상자에 눈을 담고 아래면에서 열량을 공급하여 녹이는 제상 모델을 선정·제시하였고, 전체 제상 과정을 용해 준비 기간, 서리 용해 기간 및 수분 제거 기간으로 구분하여 실험 결과와 수치 해석 결과를 비교하였다. Inaba 등⁽¹⁰⁻¹²⁾은 수평·수직 평판에서 적외선 복사열에 의하여 서리를 제

거하는 방법을 제시하였다. 제상 성능 평가에 대한 연구를 살펴보면, Sugawara 등⁽¹³⁻¹⁶⁾은 열펌프에 사용하는 고온 가스 제상 방식에 대하여 분석하였으며, 용해 효율 및 수분 제거 기간까지 고려한 제상 효율을 제시하였다. 최적 제어 제상에 관한 연구에서 Allard 등⁽¹⁷⁾은 필요한 시간에 제상을 시작한다는 개념을 도입하여 냉동 효율을 계속 유지할 수 있는 냉동 시스템을 제안하였고, Knoop 등⁽¹⁸⁾은 냉장고 문을 열 때만 습기가 냉장고 안으로 들어온다는 사실을 바탕으로 한 최적 제어 제상 방식을 제시하였다.

이와 같은 연구에도 불구하고 제상은 서리에서 배출된 용해수가 서리와 동시에 존재하는 비정상 2상 열전도 문제이고, 열교환기의 형상이 비교적 복잡하므로 이론 및 실험적 연구에 많은 어려움을 갖고 있다. 따라서 직접 열교환기를 사용한 제상 관련 연구는 상당히 미진하며, 특히 냉장고에서 많이 쓰이는 전기 히터를 사용한 제상 관련 자료는 전무하다.

본 연구에서는 냉장고에 실제로 적용되는 핀-관 열교환기를 사용하여 착상을 진행한 후, 열교환기에 부착된 전기 히터를 이용해 제상 작업을 수행하여 여러 착·제상 조건에서 제상의 제특성에 대해 조사하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

이 연구에서 사용된 착·제상 실험 장치는 Fig.1

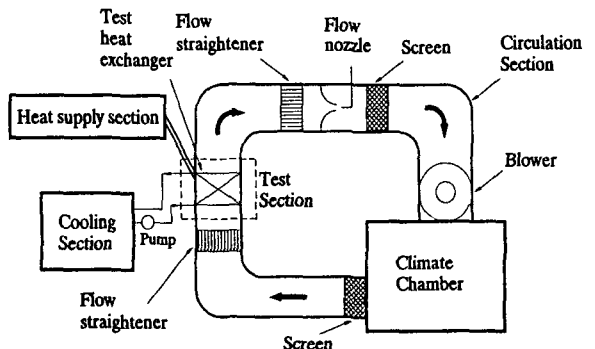


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

과 같다. 시험부에 열교환기를 장착하였고, 외부로의 열손실이 최소화될 수 있도록 시험부 내외곽 모든 부분에 단열재를 부착하였으며, 시험부의 전면은 투명한 아크릴판을 창처럼 설치하여 착상 및 제상 거동을 관찰할 수 있게 하였다. 시험부로 유입되는 공기의 온·습도는 항온항습실에 설치된 냉동기 및 건·습구 히터를 사용하여 원하는 설정의 실험 조건이 되도록 하였다. 공기 유량은 팬(fan)에 설치된 인버터를 사용하여 회전 주파수를 일정하게 함으로써 조절하였으며, 유동을 균일하게 하기 위하여 시험부 입구의 220mm 앞부분에 하니컴을 설치하였다. 냉매는 에틸렌글리콜과 증류수를 혼합한 에틸렌글리콜 수용액을 사용하였으며, 냉각기에 의해 냉각된 냉매를 펌프로 순환시켜 열교환기의 표면 온도를 설정 온도로 유지되도록 하였고, 냉매 유량은 유량계로부터 나온 신호를 피드백(feedback)하여 펌프의 회전수를 변화시킴으로써 조절하였다. 전기 히터로 공급되는 전력은 슬라이더스의 전압 변환으로 제어했으며, 디지털 전력계(wattmeter)를 사용하여 측정하였다.

Fig.2는 시험부 내부에 장착한 핀-관 열교환기의 개략도를 나타낸 것이다. 관의 단 수는 2개, 열 수는 8개이며, 꼭관부를 제외한 관의 길이는 400mm 이고, 핀 피치가 아래 열에서부터 20, 10, 10, 7, 7, 5, 5, 5mm로 배열되어 있다. 또한 열교환기의 외부에는 제상을 위한 전기 히터가 관과는 엇갈린 형태로 핀에 연결되어 있다. 제상시 열교환기의 핀, 관 및 히터의 온도를 측정하기 위하여 열교환기를 상·중·하단부로 나누고, 각 위치의 중앙에 있는 핀,

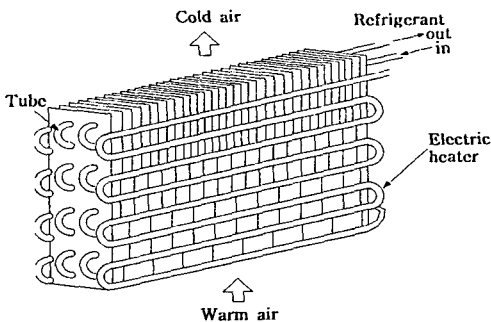


Fig.2 Fin-tube heat exchanger

관 그리고 히터에 T형의 열전대(지름 0.1mm)를 부착하였다.

2.2 실험방법

먼저 입구 공기는 원하는 실험 조건의 유속으로 설정하여 시험부 내로 유입되게 하였고, 순환하는 공기의 온·습도를 실험 조건과 동일하게 제어하였다. 동시에 냉매 수조의 냉매를 미리 설정한 온도로 냉각시켰다. 입구 공기 상태 및 냉매 온도가 설정된 실험조건이 되면 냉매를 열교환기 내로 순환시켜 착상 실험을 시작하였으며, 3시간 동안 착상을 진행하였다. 착상 실험이 완료되면, 순환부 내의 공기 흐름을 중지시키고 곧바로 열교환기에 부착된 제상 히터에 전원을 연결하여 제상 실험을 시작하였다. 이때 용해수 배출량을 측정하기 위하여 미리 무게를 측정한 화장지를 용해수 받이 위에 깔아놓고, Fig.3 처럼 시험부 아래 부분에 용해수 받이를 설치하였다. 용해수 받이는 정해진 시간 간격에 따라 교체하였으며, 교체 때마다 각각 배출된 용해수와 화장지의 총무게를 정밀 전자 저울을 사용하여 측정한 다음 화장지 무게를 빼 시간별 용해수 배출량을 구하였다. 열교환기 상단 중앙부의 관 표면 온도가 14℃에 도달하면, 제상 히터의 열량 공급을 중단하였고 일반 냉장고에서처럼 일정 시간의 휴지 기간을 둔 다음 제상 실험을 종료하였다. 마지막으로 열교환기의 핀과 관 표면에 남아 있는 잔류 용해수를 면봉과 화장지로 닦아내어 측정하였다.

착·제상 실험을 수행한 후, 열교환기의 제상 성

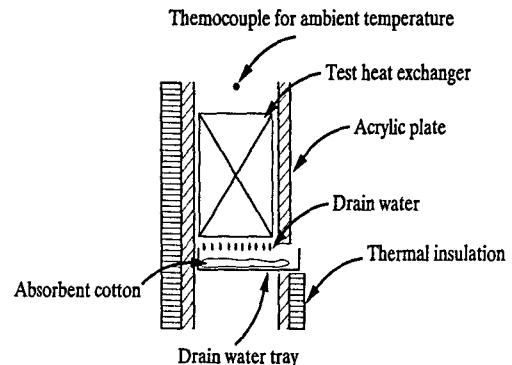


Fig.3 Side view of a test section during the defrosting period

능을 알아보기 위하여 다음과 같이 정의된 용해 및 제상 효율을 사용하였다.

$$\eta_m = \frac{m_f L}{q_{\text{heater}} \tau_m} \quad (1)$$

$$\eta_d = \frac{m_f L}{q_{\text{heater}} \tau_d} \quad (2)$$

본 연구에서 측정된 착상량의 불확실성은 $\pm 6.85\%$, 공급 열량의 불확실성은 $\pm 1.8\%$, 그리고 용해 및 제상 효율의 불확실성은 $\pm 7.08\%$ 이다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 착상 기준 운전 조건은 입구 공기 상태를 온도 6°C , 상대 습도 70% 가 유지되도록 하였으며 입구 공기 유속을 1.35m/s 로 하여 3시간 동안 착상을 진행시켰다. 제상 기준 열량은 167W 로 하여 전기 히터에서 공급하였으며, 관 상단부 온도가 14°C 에 도달하면 제상을 종료하였다. 기준 조건 외에 착상 조건이 제상 거동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 다른 조건의 변화없이 입구 공기 습도를 $50\sim 86\%$, 입구 공기 유속을 $1.35\sim 2.0\text{m/s}$ 로 조절하였으며 히터의 공급 열량을 $70\sim 220\text{W}$ 로 변화시켜 공급 열량의 영향을 살펴보았다.

3.1 제상의 일반적 특성

제상의 일반적 특성은 열교환기 각 부분의 온도

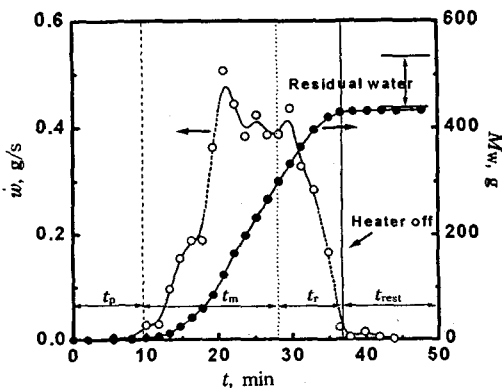


Fig.4 Water draining rate and total amount of draining water with defrosting time

변화와 그에 따른 용해수의 배출 거동에서 찾을 수 있다. Fig.4는 시간에 따른 용해수의 배출율과 누적 배출량을 도시한 것이다. 용해수가 열교환기에서 처음 배출되는 시간은 전기 히터로부터 열량이 공급된 뒤 대략 $t=7$ 분이 경과한 후이며, 그 양은 매우 적다. 그러나 시간이 경과하면서 배출되는 양은 점차 증가하여 $t=20$ 분경에 최초로 극대점을 갖는다. 이후 용해 배출수의 양은 다소 진폭을 보이다가 $t=28$ 분경에 마지막 극대점을 갖은 다음, 배출량이 급격히 줄어들면서 관의 온도가 14°C 가 되는 $t=37.2$ 분에 히터의 열량 공급이 중단되고 제상이 종료되었다. 이러한 용해수 배출 거동에 따라 용해수 배출 누적량은 약 $t=10$ 분을 지나면서 제상 종료 시점까지는 용해수의 배출이 급격히 이루어지면서 배출량 또한 큰 폭으로 상승하지만, 히터에서 열공급이 중단된 후에는 배출이 거의 이루어지지 않았다.

Fig.4에 나타난 제상시 용해수 배출 거동의 특이한 점은 용해수 배출율의 극대점이 여러 개 존재한다는 사실이다. 이러한 현상을 분석하기 위해서는 서리 용해 메커니즘을 이해할 필요가 있다. 열교환기에 부착된 서리는 내부에 공기층을 가진 다공성 물질이기 때문에 히터에서 열이 공급되면 히터 근방의 서리부터 용해수로 바뀌고 용해된 물은 바로 배출되지 않고 모세관 현상에 의해 서리층 내부로 침투한다. 이 침투된 물이 서리층 안에서 포화되면, 이 때부터 용해수의 배출이 시작된다. 이론적으로는 최대의 용해수 배출은 서리가 가장 많이 용해된 시기에 한 번 발생해야 한다. 그럼에도 불구하고 여러 개의 극대점을 갖게 되는 현상은 완전히 용해되지 않은 상태의 서리(즉, 물이 조금 침투된 상태의 서리)가 상당히 많은 양으로 배출되기 때문이다. 다시 말하면 핀-관에 부착된 서리가 침투수에 의해 완전히 포화되기 전에 자중에 의해서 떨어져 순수 용해수(즉, 서리가 녹아서 배출된 물)와 함께 총배출량으로 측정되었기 때문이다. 또한 처음의 극대점이 최대 배출율을 갖는 것도 이같은 상황에 의해서 많은 양의 서리가 용해수와 배출됨으로써 나타난 것이다. 이러한 현상은 육안으로도 관찰되었다. 마지막 극대점을 갖는 $t=28$ 분경에는 서리가 모두 녹아 순수 용해수로만 배출이 이루어진다.

Fig.5에 나타난 열교환기의 핀-관 표면온도를 관

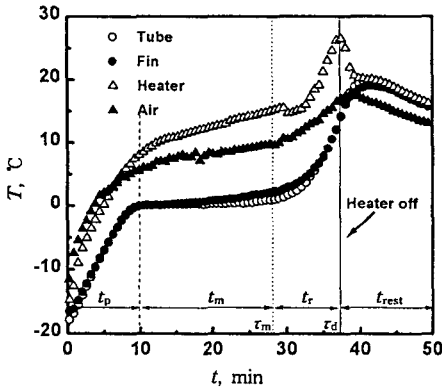


Fig.5 The variation of temperature in a test section with defrosting time

찰하면, 제상 과정은 제상시 온도의 경향에 따라 크게 용해 준비 기간(t_p), 서리 용해 기간(t_m), 수분 제거 기간(t_r) 그리고 휴지 기간(t_{rest}) 네 구간으로 나뉘어 진다. 용해 준비 기간은 핀-관의 온도가 상승하여 0°C에 도달하는 때까지의 기간이며, 제상 시작 후 약 $t=10$ 분까지이고 제상 시간(τ_d)의 약 27%가 소요된다. 이 기간에 공급된 열은 서리의 온도를 올리는 현열 축열에 사용된다. 서리 용해 기간은 핀-관의 온도가 0°C로 유지되는 기간으로 약 $t=28$ 분까지이며, 실제로 서리가 용해되는 시기로 제상 시간의 약 48%를 차지하고 있다. 수분 제거 기간은 핀-관 온도가 상승하여 제상 종료 온도인 14°C에 도달하게 되는 기간으로 $t=37.2$ 분까지이고 제상 시간의 약 25%를 차지하며, 이 시기에는 완전히 녹은 서리들이 용해수로 배출된다. 휴지 기간은 히터에서 열량 공급이 중단된 다음 기간으로 충분히 잔류 용해수가 배출될 수 있도록 13분을 두고 있으며, 전체 착상량의 약 0.4%정도인 소량의 잔류 용해수가 배출된다.

여기서 주목해야 할 구간은 실제의 제상 시기라 볼 수 있는 서리 용해 기간이다. 이 때부터 핀-관에 부착된 서리가 녹기 시작하며 서리와 물이 동시에 공존하고 있다. 이 기간에 잔류수를 제외한 용해수량의 약 75% 이상이 배출되었고, 공급 에너지의 약 48%가 소모되었으며, 용해수 배출율의 극대점들도 대부분 이 시기에 나타났다. 서리 용해 기간으로 들어선지 약 10분이 경과하면 용해수 배출율이 처음으로 극대점을 갖으며 가장 많은 양을 배출하였다.

또한 서리 용해 기간이 끝난 직후인 $t=28$ 분경(서리가 완전히 녹은 시기)에 용해수 배출율은 마지막으로 극대점을 보였다.

히터와 공기 온도의 변화 역시 Fig.5에 나타내었다. 히터의 온도는 처음에는 약 -15°C의 낮은 온도에서 시작하였음에도 불구하고 핀-관의 온도에 비하여 높은 온도로 빠르게 상승하고 있다. 특히 일정한 시간동안 0°C에서 정체되지 않고 곧바로 온도가 상승하는 것은 히터에 부착된 서리로 직접 열전달이 이루어져 서리가 아주 빠르게 용해되었기 때문이며, 초기 용해수의 배출의 대부분은 히터에 부착된 서리에 의한 것이다. 제상 초기의 주위의 공기 온도는 다른 부분의 온도들보다 조금 높은 -11°C 정도이며 용해 준비 기간에서는 온도가 급격히 상승하지만 서리 용해 기간에서는 핀-관의 온도 분포와 같이 어느 정도 일정한 온도를 유지하고 있다. 이는 히터에서 공급되는 열량이 핀-관에 부착된 서리의 용해에 사용되면서 외기로의 열손실은 상대적으로 작아졌기 때문이다. 서리 용해가 종료된 수분 제거 기간에서는 히터에서 공급된 열이 서리 용해에 쓰이지 않고 대류에 의한 외기로의 열손실량이 늘어나 제상이 끝날 무렵부터 주위 공기 온도가 급격히 상승하여 제상 종료 시점에서는 핀-관과 거의 비슷한 온도를 보였다.

3.2 착상 운전 인자의 영향

Fig.6은 입구 공기 습도를 조절하였을 경우의 착상량에 따른 제상 시간(τ_d)에 대한 서리 용해 기간(t_m)의 비와 용해 시간(τ_m)에 대하여 나타낸 것이다. 용해 시간은 착상량이 어느 이상이 되면 일정해지고 있는데, 이는 공기 습도가 높으면 상대적으로 낮은 밀도의 서리가 핀-관 위에 형성되므로 제상시 서리층 내부로 용해수 침투가 용이해져 서리 용해 속도가 빨라졌기 때문으로 판단된다. 그러므로 착상량의 증가만큼 서리 용해 시간이 길어지지 않았기 때문에 제상 시간에 대한 서리 용해 기간의 비가 감소하였다.

Fig.7은 입구 공기 유속을 조절하였을 경우의 착상량에 따른 제상 시간에 대한 서리 용해 기간의 비와 용해 시간을 도시한 것이다. 입구 공기 습도를 조절할 경우와는 달리 착상량이 증가할수록 용해 시

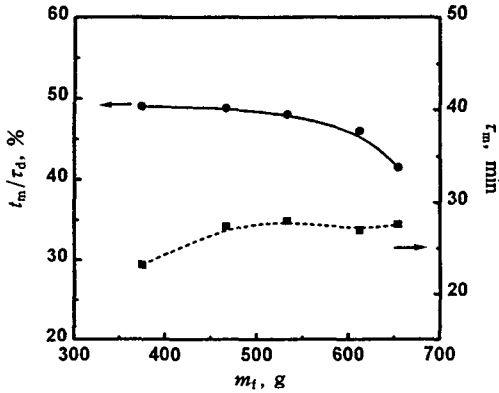


Fig.6 Melting time and the ratio of frost melting period to melting time with the weight of frost for relative humidity

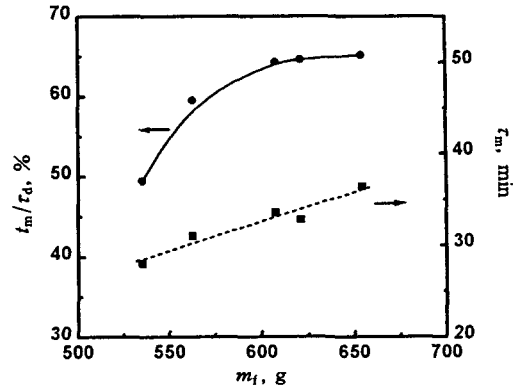


Fig.7 Melting time and the ratio of frost melting period to melting time with the weight of frost for air velocity

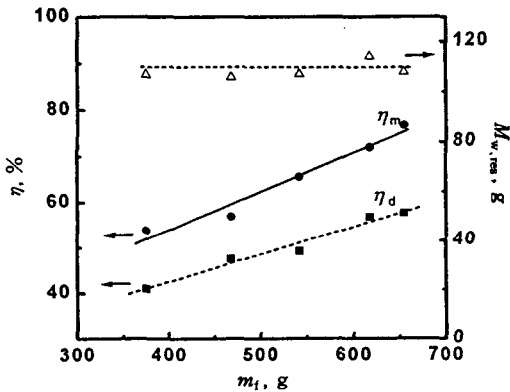


Fig.8 Melting and defrosting efficiencies and residual water weight with the weight of frost for relative humidity

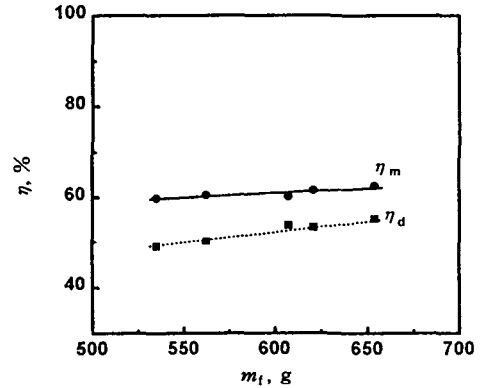


Fig.9 Melting and defrosting efficiencies with the weight of frost for air velocity

간이 거의 선형적으로 늘어남을 볼 수 있는데, 이는 입구 공기 유속이 높아지면 상대적으로 고밀도의 서리가 형성되어 서리의 용해가 어려워졌기 때문이다. 이에 따라 제상 시간에 대한 서리 용해 시간의 비는 착상량에 따라 증가하였으며, 착상량이 어느 이상이 될 때 증가율이 감소하는 것은 그 시기부터 서리 용해 시간이 늘어난 비만큼 제상 시간도 증가하였기 때문이다.

Fig.8에는 입구 공기 습도를 조절하였을 경우의 착상량에 따른 용해 효율(η_m), 제상 효율(η_d) 그리고 열교환기에 남아 있는 잔류 수분량을 도시하였다. 용해 및 제상 효율 모두 착상량에 따라 선형

적으로 증가하고 있는데, 이는 서리 밀도가 상대적으로 낮아지면서 서리 용해 속도가 빨라져 용해 시간의 비가 줄어들었기 때문이다. 하지만 열교환기에 남아 있는 잔류 용해수량은 열교환기 고유 특성인 표면 장력의 영향으로 착상량에 관계없이 일정한 양을 유지하였다.

Fig.9에는 입구 공기 유속을 조절하였을 경우의 착상량에 따른 용해 및 제상 효율에 대하여 나타내었다. 용해 및 제상 효율은 선형적으로 증가하고 있지만, 그 기울기는 입구 공기 습도를 조절하였을 때와 비교하면 아주 작음을 볼 수 있다. 이처럼 기울기가 작은 것은 앞서 설명하였듯이 용해 시간이 선

형적으로 길어졌기 때문에 나타난 현상으로, 용해 및 제상 시간이 착상량의 증가를 만큼은 길어지지 않았기 때문에 소폭이지만 효율은 상승하게 되었다. 따라서 Fig.8과 Fig.9에서 착상으로 인한 성능 저하를 고려하지 않고 제상의 효율적인 측면만을 살펴보면, 어떠한 착상 조건에서도 착상량이 많을 때 제상을 수행하는 것이 바람직하다.

Fig.10은 비슷한 양이 착상되었을 때, 입구 공기 습도를 조절하였을 경우(1.35m/s, 78%)와 입구 공기 유속을 조절하였을 경우(1.8m/s, 70%)의 제상 거동을 비교한 것이다. 입구 공기 유속을 조절하였을 경우에는 입구 공기 습도를 조절한 경우에 비하여 용해수의 배출이 조금 빠르게 이루어졌으며 용해수 배출율의 극대점은 작지만 대부분 엇비슷하게 나타났다. 제상 시간(τ_d)은 다소 증가하였으며 전체적인 용해수 배출율의 그래프는 낮고 폭이 넓은 형태를 보였다. 이러한 현상은 입구 공기 유속을 조절한 경우에는 핀-관에 상대적으로 고밀도의 서리가 형성되었기 때문에 용해수의 서리층 침투가 어려워져 저밀도의 서리보다 용해수의 배출은 일찍 이루어졌지만, 서리의 용해 속도는 느려지므로 용해수가 지속적으로 배출된 것으로 판단된다.

3.3 제상 공급 열량의 영향

Fig.11은 착상 기준 조건에서 제상 공급 열량의 조절에 따른 용해수 배출율을 도시한 것이다. 전기 히터의 공급 열량이 기준 열량(167W)보다 낮은 경우 제상이 진행되는 동안 완만한 용해수 배출율 형

태를 보였으며, 휴지 기간에도 상당량의 용해수가 배출되었다. 특히, 70W의 경우 제상 시간은 기준 열량에서보다 약 44%의 증가를 보였다. 공급 열량이 큰 경우에는 제상 시간이 짧아지고 최대 배출율은 높게 나타났으며 휴지 기간 중의 용해수 배출은 거의 나타나지 않았다. 공급 열량이 클수록 최대 배출율이 커진 것은 제상 초기에 서리의 용해가 빨리 이루어져 제상 시간이 짧아졌고, 충분히 용해수가 침투되지 않은 많은 양의 서리 덩어리가 배출되어 측정되었기 때문으로 판단된다.

Fig.12는 제상 히터 공급 열량 변화에 따른 시험부 내의 공기 온도 변화를 나타낸 것이다. 제상시 열교환기 주변의 공기 온도는 크게 상승하여 실제 냉동시스템은 냉장·냉동에 많은 지장을 받게 된다. 그림에서 보듯이 공급 열량이 크면 용해 시간은 짧아지지만 주위 공기 온도는 상대적으로 높게 상승하였다. 이는 공급 열량이 낮은 경우에 비하여 공기 측으로의 열손실이 컸기 때문이다.

Fig.13은 제상 공급 열량을 조절하였을 때의 용해 및 제상 효율을 도시한 것이다. 공급 열량이 120W 이하인 경우에는 용해 효율과 제상 효율 모두 높게 나타났으며, 70W의 경우에 용해 효율은 거의 100%, 제상 효율은 약 80%를 보였다. 반면에 120W보다 큰 경우에는 용해 효율은 대략 65%, 제상 효율은 약 55%정도로 어느 정도 일정하게 나타났다. 공급 열량이 낮은 경우에는 공기측으로의 열손실이 작을 뿐만 아니라 용해수 침투에 의한 서리 용해가 이루어져 총 공급 열량이 감소하였기 때문에 용해 및

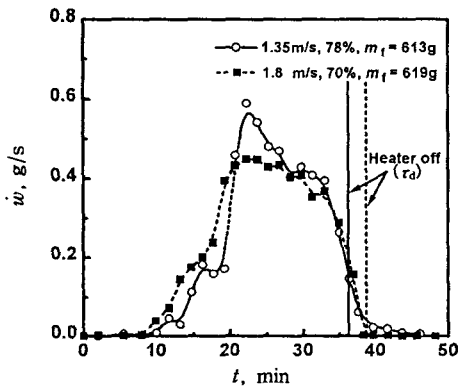


Fig.10 Water draining rate with defrosting time

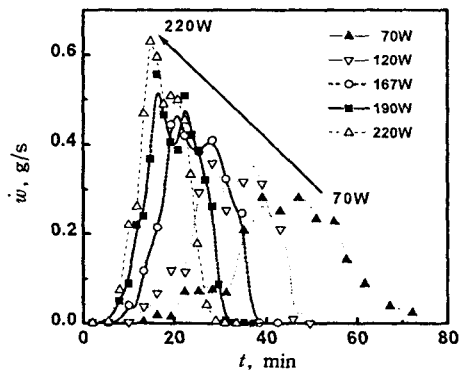


Fig.11 Water draining rate with defrosting time for supplying power

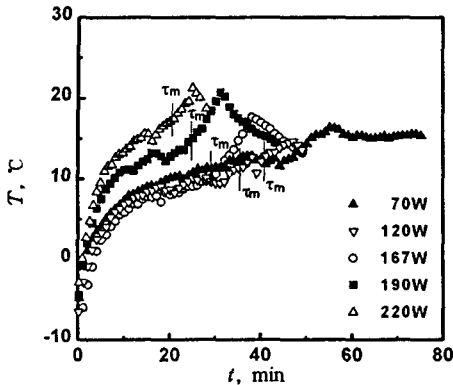


Fig.12 The variation of air temperature with defrosting time for supplying power

제상 효율이 높아진 것으로 사료된다. 공급 열량이 높은 경우에는 서리 덩어리들이 비교적 많이 배출되었지만, 주위 공기로의 열손실이 커져 총 공급 열량은 비슷해졌기 때문에 융해 및 제상 효율 모두 일정해졌다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 핀-관 열교환기에 대하여 여러 착·제상 조건에 전기 히터를 사용하여 제상 실험을 수행하였으며, 제상시 시험부 내의 거동을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 융해수 배출율은 제상 초기에 완전히 융해되지 않은 서리가 상당히 많은 양으로 배출되므로 여러 개의 극대점을 나타내었다.

2) 제상 종료 후 열교환기에 남아 있는 잔류 융해수는 열교환기 고유의 표면장력에 영향을 받아 착·제상 운전 조건에 관계없이 거의 일정량을 보였다.

3) 착상으로 인한 성능 저하를 고려하지 않고 제상의 효율적인 측면만을 살펴보면, 어떠한 착상 조건에서도 착상량이 많을 때 제상을 수행하는 것이 바람직하다.

4) 제상시 나타나는 제현상들(융해 및 제상 시간, 융해 및 제상 효율 등)은 착상 운전 조건에 따라 변화하였으며, 착상량뿐만 아니라 서리 밀도 역시 제상 거동에 영향을 주었다.

5) 전기 히터에서의 공급 열량이 낮을수록 주위 공기로의 열손실은 적어졌으며, 융해 및 제상 효율

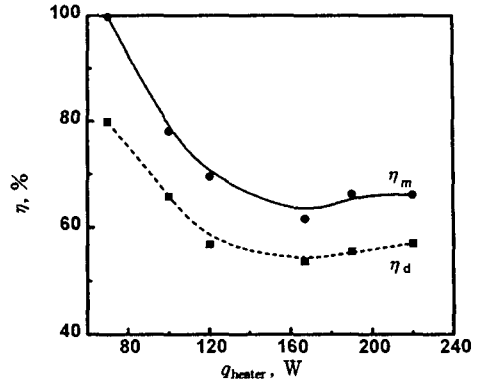


Fig.13 Melting and defrosting efficiencies with supplying power

은 높게 나타났다.

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.

참 고 문 헌

1. 이관수, 이태희, 김우승, 1994, “착상조건하에서 평행 평판 열교환기의 열 및 물질전달”, 공기조화·냉동공학논문집, Vol. 6, No. 2, pp. 155~165.
2. 이관수, 이태희, 김우승, 1995, “착상시 설계인자에 따른 핀-관 열교환기의 성능변화에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회논문집, Vol. 19, No. 10, pp. 2657~2666.
3. Lee K. S., Kim W. S. and Lee T. H., 1997, “A one dimensional model for frost formation on a cold flat surface”, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 40, No. 18, pp. 4359~4365.
4. Jones, B. W. and Parker, J. D., 1975, “Frost formation with varying environmental parameters”, J. Heat Transfer, Vol. 97, pp. 255~259.
5. O'Neal, D. L. and Tree, D. R., 1984, “Mea-

- surement of frost growth and density in a parallel plate geometry”, ASHRAE Trans., Vol. 90, Pt. 2., pp. 278~290.
6. Aoki, K., Hattori, M. and Edayoshi, A., 1989, “Characteristics on heat pump system due to frosting”, ASME, Vol. 4.
 7. Aoki, K., Hattori, M., Chiba, S. and Hayashi, Y., 1981, “A study of the melting process in ice-air composite materials”, ASME paper 81-WA/HT.
 8. Aoki, K., Hattori, M. and Chiba, S., 1986, “A study of the melting process in ice-air composite materials”, Bull. JSME, Vol. 29, No. 253, pp. 2138~2144.
 9. Aoki, K., Hattori, M., and Ujiie, T., 1988, “Snow melting by heating from the bottom surface”, JSME International Journal series II, Vol. 31, No. 2, pp. 269~275.
 10. Inaba, H., Otake, H. and Nozu, S., 1992, “Fundamental study on a horizontal frost layer melted from above by radiative heat”, 일본기계학회논문집(B편), 58-555호.
 11. Inaba, H. and Otake, H., 1993, “Snow melting mechanism of radiative heat absorption material”, 일본기계학회논문집(B편), 59-567호, pp. 278~285.
 12. Inaba, H. and Imai, S., 1996, “Study on sublimation phenomenon of horizontal frost layer exposed to forced convection air flow and radiation heat”, Transactions of the ASME, Vol. 118 pp. 694~701.
 13. Sugawara, M., Kirihoshi, C. and Fujita, T., 1988, “The melting behavior of an ice particles layer on a heated base with fins”, 일본기계학회논문집(B편), 54-508호, pp. 2838~2841.
 14. Sugawara, M., Uemura, S., Yajima, R., Kirikoshi, C. and Fujita, T., 1989, “Study of melting of frost on heat exchanger for heat pump”, 일본기계학회논문집(B편), 55-510호, pp. 504~509.
 15. Sugawara, M., Uemura, S., Yajima, R., Takahashi, T. and Fujita, T., 1990, “Melting of frost on heat exchanger of a heat pump”, 일본기계학회논문집(B편), 56-531호, pp. 3457~3461.
 16. Sugawara, M., Sakae, S. and Fujita, T., 1991, “A basic study of defrost of heat exchanger”, 일본기계학회논문집(B편), 57-537호, pp. 1874~1879.
 17. Allard, J. and Heinzen, R., 1988, “Adaptic defrost”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 24, No. 1, pp. 39~42.
 18. 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.