

플레이트 흰 코일형 증발기의 착상에 관한 기초 실험

백승문, 김창영, 한인근, 김재돌*, 윤정인**
부경대학교 대학원, 동명대학*, 부경대학교**

Basic Experiment on Frost of Plate Fin Coil Evaporator

S. M. Baik, C. Y. Kim, I. G. Han, J. D Kim*, J. I. Yoon**
Pukyong National University Graduate School, Dongmyung College*,
Pukyong National University**

Abstract

One of the problems in a refrigerator operation is the frost formation on a cold surface of the evaporator. The frost layer is formed by the sublimation of water vapor when the surface temperature is below the freezing point. This frost layer is usually porous and formed on the cold surface of the evaporator. The frost layer on the surface of a evaporator will make side effect such as thermal resistance. However, these important factors have not been used in determining the defrosting period. In this report, a prediction taking into account the change of the fin efficiency due to the growth of the frost layer.

Key Words : Evaporator(증발기), Superficial Heat Transfer Coefficient(겉보기 열전달 계수), Frost Formation(착상형성)

기호설명

A : 전열면적 [m^2]
a : 관열 피치의 반경 [m]
b : 관 피치의 반경 [m]
 ΔC_m : 절대습도차 평균[kg/kg]
 H_a : 겉보기 열전달 계수 [$kcal/m^2h^\circ C$]
 H_d : 물질전달 [$kg/m^2h\Delta C$]
l : 상층 높이 [mm]
P : 핀 피치 [m]
r : 관 반경 [m]
S : 핀 두께 [m]
V : 유속 [m/s]
 ϵ : 면적효율
 ϵ_t : 온도효율
 ρ_f : 착상밀도 [kg/m^3]

하첨자

a : 공기
f : 착상상태 및 상층
F : 핀
i : 입구
o : 출구
P : 관
T : 전체

1. 서론

냉동·냉장산업뿐만 아니라 공기를 열원으로 한 히트펌프, 액화천연가스, 극저온 유체의 이용 등 공조분야에서도 착상은 매우 중요시되고 있다. 그러나 종래에는 냉

동·공조장치의 증발기에 있어서 착상의 예측과 착상을 수반하였을 경우에 열전달⁽¹⁾에 관해서는 냉동장치가 착상에 의하여 치명적인 영향을 받지 않는다는 견해도 있었기 때문에 체계적으로 연구가 이루어지지 않았다. 그러므로 착상이라 함은 습공기의 온도가 0℃ 이하 또는 노점온도 이하로 내려가면 고체표면에 접하면 공기중의 수증기는 응축된 후 상(霜)으로 고체표면에 부착하여 성장을 한다. 이 상은 눈과 같은 결정체로 구성되어 열전도율이 낮은 공기를 함유한 다공질을 이루고 있으며, 열저항체로 작용한다. 또, 착상은 공기중의 수증기가 응고할 때, 그 냉각표면에 부착하는 현상이므로 그 과정을 상변화라고 하고 있다. 그리고 이 과정은 일반적으로 수증기가 직접 열면서 상변화하는 것으로 되어 있다. 그러므로 열역학적 평형조건(과냉각이 없다는 의미)을 만족한다고 하면, 수증기가 노점온도에서 응축할 때 냉각표면에서 근접한 공기중에서 응고할 때 상으로 된다고 할 수 있다. 그리고 냉각표면 접근에서의 상변화는 경계층의 온도와 수증기의 영향을 미치고 경계층내의 온도분포 및 수증기분포에 따라 지배한다. 그러므로 냉동장치의 증발기에 있어서 착상을 수반한 열전달은 물질전달(수증기 이동)이 변화하여 냉각표면에 부착한 상은 결정구조를 가지고 성장한다. 상의 내부에는 공기를 함유한 다공물질층을 만들고 있기 때문에 열전달률이 저하하고 열저항으로 작용한다. 林勇二郎과 青木和夫⁽²⁻³⁾는 착상의 성장 및 융해와 착상을 수반한 관군형 열교환기의 특성에 관하여 해석을 하였고, 安立正明⁽⁴⁻⁶⁾은 히트펌프식 사이클에 대한 착상현상을 제시하였다. 그러나 이와 같은 연구는 소형 증발에서의 착상실험을 하였다. 따라서 본 연구는 냉동장치에 있어서 제상장치를 운전하기 이전에 착상현상을 정확하게 파악하기 위하여 대형 냉동·냉장용 증발기를 선정하여 착상을 수반한 증발기의 열·물질전달과 송풍기 회전수를 변화를 주었을 경우 증발기에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같이 작동유체는 HCFC-22냉매를 사용하였으며, 저압의 냉매를 고압으로 압축시키는 압축기와 고압냉매를 액화시키는 응축기 그리고 냉매액을 팽창시키는 팽창밸브와 열교환을 하는 증발기로 구성되어 있다.

압축기는 밀폐형 압축기(4HP)로 설치였고, 토출측 관경은 15mm이고 흡입측의 관경은 20mm로 하였다. 과부하 운전이 가능하고 소음이 적으며, 축봉부가 없어 냉매 및 오일누설이 없으므로 밀폐형 압축기를 선택하였다. 응축기는 공냉식 응축기를 설치하고 송풍기는 220V이고 0.56A정도 소모된다. 극수는 4극으로 송풍기 회전날개의 방향을 조절할 수 있고, 외기 온도 변화에 따른 응축부하 변동을 빨리 제어할 수 있도록 수냉식 응축기를 겸하고 인제든 바이패스 밸브를 사용하여 공냉식 응축기와 수냉식 응축기를 교대운전이 가능하도록 설치하였다. 팽창밸브는 온도식 자동 팽창밸브를 설치하고, 실험을 정확히 하기 위해 수동식 팽창밸브를 별도로 설치하였다. 증발기는 핀코일형 열교환기로서 15.88mm의 동관에 핀 두께 0.3mm의 알루미늄 핀을 부착한 것으로, 핀의 간격은 105mm이고 증발기와 외부온도를 차단하고 차가운 공기가 계속 순환할 수 있도록 덕트를 설치하였다. 그리고 순환하는 공기에 일정한 습

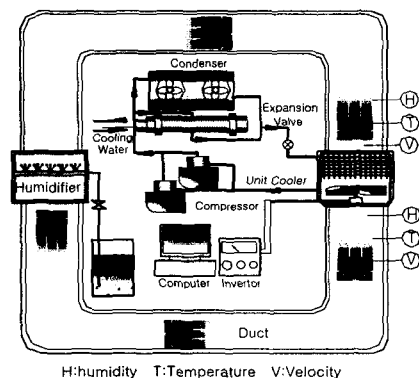


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of evaporator

	Component	Specification
Design Conditions	Number of columns	14
	Number of rows	4
	Tube OD	15.88 (mm)
	Fin material	Aluminium
	Fin pitch	8.00 (mm)
	Fin thickness	0.3 (mm)
	Fin type	Flat type

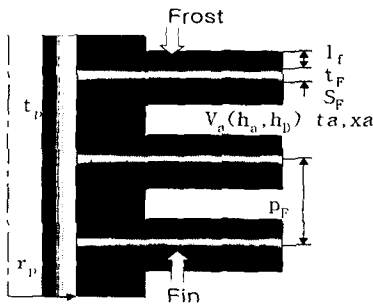


Fig. 2. Frosting model of evaporator

도를 유지하기 위해서 초음파 가습기를 설치하였다.

2.2 실험방법

증발기에서의 착상현상을 파악하기 위하여 증발기 입구측 공기온도를 -5°C 로 일정하게 유지하였고, 초음파 가습기를 설치하여 상대습도를 80%, 60%로 각각 조절하였고, 송풍기의 회전수는 1520RPM과 960RPM으로 일정하게 유지하여 실험을 실시하였다. 증발기의 세부 사항은 Table 1에서 나타내었고 착상을 수반한 착상모델은 Fig. 2에 나타내었다. 증발기에 있어서 전체 겉보기 열·물질전달계수는 다음식으로 나타내었다.

$$h_a = \frac{Q_a}{A_T \cdot \Delta t_m} \quad (1)$$

$$h_D = \frac{m}{A_T \cdot \Delta C_m} \quad (2)$$

여기서 Q_a 는 증발기를 통과하는 공기측 열량(kcal/h)이며, m 은 (kg/h)로 나타내었고 A_T 는 전열면적(m^2)으로써 관부와 핀부를 종합한 전열면적이다. 그리고 Δt_m 은 대수평균 온도차로 나타내었다. ΔC_m 은 습도차이며 대수평균 온도차와 습도차를 다음과 같이 나타내었다.

$$\Delta t_m = \frac{(t_{ai} - t_{ao})}{\ln \frac{(t_{ai} - t_p)}{(t_{ao} - t_p)}} \quad (3)$$

$$\Delta C_m = \frac{(C_{ai} - C_{ao})}{\ln \frac{(C_{ai} - C_p)}{(C_{ao} - C_p)}} \quad (4)$$

여기서 t_{ai} 와 C_{ai} 는 증발기의 입구측 공기온도와 습도이며, t_{ao} 와 C_{ao} 는 증발기의 출구측 공기온도와 습도이다. 그리고 t_p 와 C_p 는 관표면 온도와 습도를 나타내었다. 그리고 착상밀도(kg/m^3)는 다음과 같이 계산하였다.

$$\rho_F = \frac{2.7 (h_D)^{0.35}}{(\Delta C_m)^{0.5} (-t_p)^{0.3}} \quad (5)$$

증발기에서 착상을 고려한 온도효율은 아래와 같이 나타내었다.

$$\epsilon_i = \frac{(t_{ai} - t_{ao})}{(t_{ai} - t_p)} \quad (6)$$

3. 결과 및 고찰

증발기에 있어서 순환하는 공기의 속도를 송풍기회전수로 변화를 시켰고, 상대습도변화를 시간에 따른 각 상태에 있어서 추이를 비교해 보았다.

Fig. 3은 공기의 입구온도를 -5°C 로 일정하게 유지하였고, 송풍기 회전수를 960RPM과 1520RPM로 변화를 주었고, 순환하는 공기의 상대습도를 60%, 80%의 조건하에서 시간에 따른 착상높이 변화를 나타내었다. 시간이 경과함에 따라 착상두께는 점점 증가하였고, 송풍기 회전수가 높은 경우가 낮

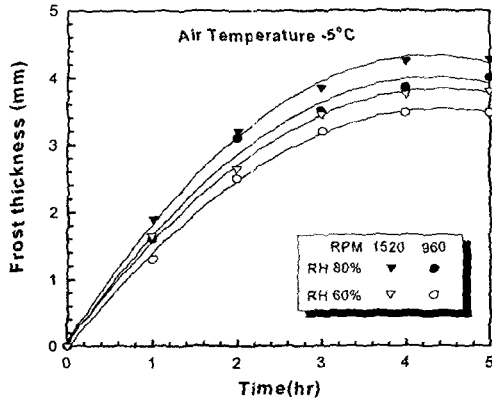


Fig. 3 Variation of frost thickness on time

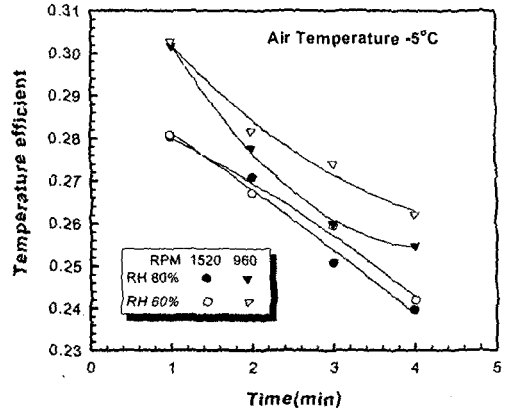


Fig. 5 Variation of temperature efficient on time

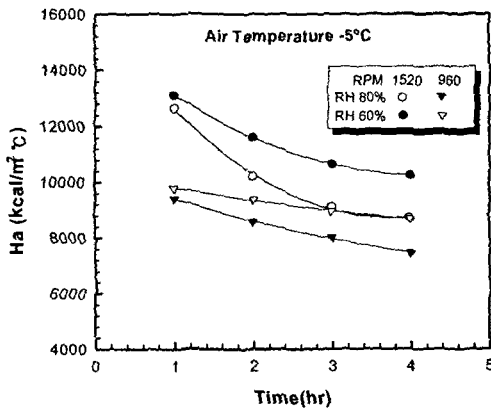


Fig. 4 Variation of heat transfer coefficient on time

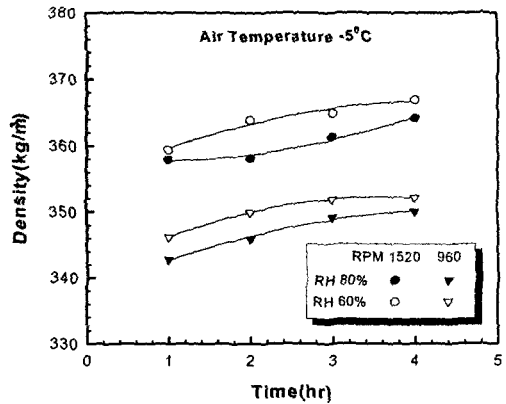


Fig. 6. Variation of density on time

은 쪽보다 착상높이는 높게 증가하였다. 상대습도의 조건에서는 습도가 낮은 쪽보다 높은 쪽이 착상두께는 두껍게 나타났다. 그러므로 송풍기 회전수가 증가할 수록, 그리고 상대습도가 높을수록 착상높이 변화는 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 4는 시간변화에 따른 겉보기 열전달계수의 변화를 나타내었다. 그림에서와 같이 증발기에 있어서 겉보기 열전달계수 변화는 전체적으로 일정하게 감소하는 경향을 보였으며, 송풍기회전수가 높은 경우가 급속하게 감소하였고, 상대습도에 있어서는 상대습도가 낮은 쪽이 높은 변화로 감소함을 알 수 있었다. 증발기에서 착상증가에 따른 전열관과 핀에서의 전열면적에 유동하는 공기층과 전열면적에 있어서 막을 형성하는 상층의 증가로 인하여 겉보기 열전달계수의 변화는 점점 감소하는 경향을 나

타내었다.

Fig. 5는 시간에 따른 증발기 온도효율 변화를 나타내었다. 송풍기 회전수가 낮은 쪽이 증발기의 온도효율은 빠르게 감소함을 알 수 있으며, 순환하는 공기의 상대습도는 높은 것 보다 낮은 쪽이 높은 온도효율변화를 나타내었다. 그러므로 증발기에 있어서 관부와 핀부에 상층 성장으로 인하여 열저항이 증가하기 때문에 온도효율은 일정하게 감소하는 경향으로 나타내었다.

Fig. 6은 송풍기 회전수 변화와 상대습도의 변화를 주었을 경우에 시간경과에 따른 밀도를 나타내었다. 송풍기 회전수가 높고, 습도가 낮을수록 밀도가 높은 경향을 나타내었다. 그 원인은 높은 송풍기 회전수로 인하여 전열면에 착상량이 급속하게 증가하여 증가한 상층의 성장과정에 있어서 다공질성인 상층이 응고 융해되어 단단한 얼음층을 형성하기 때문으로 파악할 수 있었다.

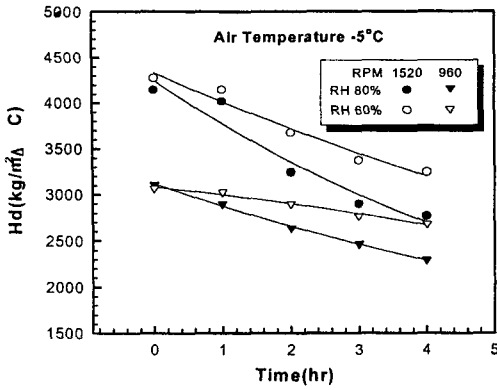


Fig. 7. Variation of mass transfer on time

Fig. 7은 증발기 입구 공기온도를 -5°C 로 일정하게 유지하였을 경우에 시간변화에 따른 물질전달계수의 변화를 나타내었다. 그림에서와 같이 송풍기 회전수에 있어서 낮은 회전수 보다 높은 회전수가 물질전달계수의 변화가 급속하게 감소하는 변화를 보였고, 각각의 상대습도에 있어서는 습도가 높을수록 물질전달계수의 변화는 낮은 변화로 감소함을 알 수 있었다. 그러므로 상대습도가 높을수록 순환하는 공기의 유로단면 축소로 인하여 물질전달계수는 낮은 것으로 분석할 수 있었다.

Fig. 8과 Fig. 9는 결보기열전달과 물질전달과의 상관성을 나타내었다. 그림에서와 같이 상대습도 80%에서의 결보기 열전달계수는 송풍기회전수가 낮을수록, 물질전달에 대한 결보기 열전달계수의 기울기가 높음을 알 수 있었다. 상대습도 60%에서의 결보기 열전달계수는 송풍기회전수가 높을수록 물질전달에 대한 결보기 열전달계수의 기울기가 높음을 알 수 있었다.

4. 결론

저온용 증발기의 착상 기초실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 시간이 경과함에 따라 착상량의 변화는 증가함을 알 수 있었고, 상대습도가 높을수록, 송풍기 회전수가 높은 쪽이 착상높이는 증가하는 경향으로 나타났다.

(2) 시간이 경과함에 따라 물질전달계수의 변화는 송풍기 회전수가 높을수록, 상대습

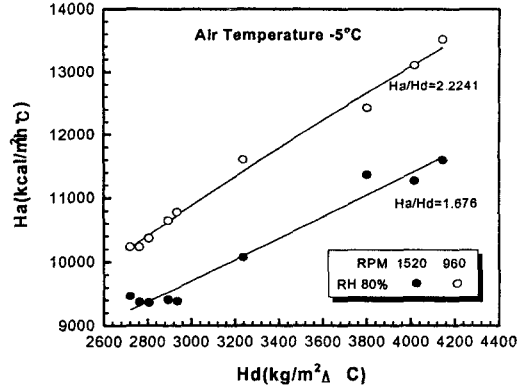


Fig. 8. Comparison of mass transfer and heat transfer coefficient(1520RPM, RH 80%)

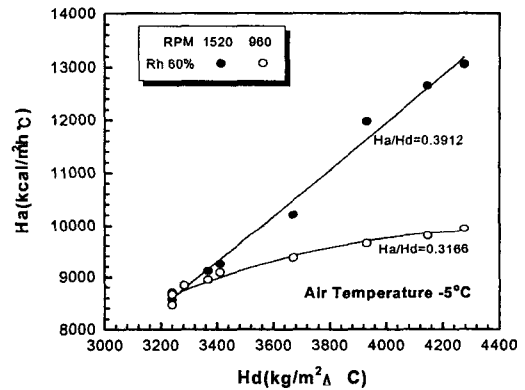


Fig. 9. Comparison of mass transfer and heat transfer coefficient(1520RPM, RH 40%)

도가 낮을수록 감소하는 변화를 보였다.

(3) 시간이 경과함에 따른 결보기 열전달계수의 변화는 시간의 경과에 따라 감소하는 변화를 보였다.

(4) 시간의 변화에 따른 밀도의 변화는 상대습도가 낮을수록, 송풍기 회전수가 높을수록 점차 감소하는 변화를 보였다.

참고문헌

1. 青木和夫·林 勇二郎, “霜層の成長と融解”, 冷凍, Vol.55, No.632, pp. 1~10, 1980.
2. 青木和夫, “ヒートポンプの着想と除霜”, 日本冷凍協會論文集, Vol.3, No.2, pp. 1~9, 1986.
3. 高田 保, “天井冷却管自動除霜機”, 冷凍,

Vol.67, No.779 , pp. 50~55, 1992.

4. 安立正明, "ヒートポンプ 式ルームエアコンにおける着霜現象について", 日本冷凍協會論文集, 第52卷, 第598號, pp. 9~20, 1997.

5. 村井 進, "ホットガスデフロストの省エネルギー-効果", 冷凍, Vol.62, No.716, pp. 56~61, 1987

6. Brian, P.L. T., Reid, R. C., and Stah, Y. T., "Frost Deposition on Cold Surfaces," Ind. Eng. Chem. Fundamentals, Vol.9, No.3, pp. 375~380, 1970.

7. 한인근, 김창영, 김재돌, 윤정인, 1998, "증발기 제상에 관한 기초연구", 한국박용기관학회 '98춘계학술대회 논문집, pp. 8~13

8. Yoshida, Z., 1950, "Heat Transfer by

Water Vapor in Snow Cover," Low Temperature Science, Vol. 5, pp. 93~100.

9. Hayashi, Y., Aoki, K., and Yuhara, H., "Study of Frost Formation in Forced Science, 5, pp 93~100, 1950.

10. 김창영, 한인근, 권오경, 김재돌, 윤정인, "유니트 클러용 제상장치 개발에 관한 연구", 공기조화 냉동공학회 '98하계학술발표회 논문집, pp. 15~20, 1998,

11. 이관수, 이태희, 김우승, 1994, "착상조건하에서 평행 평판 열교환기의 열 및 물질전달", 공기조화·냉동공학논문집, Vol.6, No.2, pp.155~165.

12. 이관수, 김규우, 지성, 1998, "핀-관 열교환기에 대한 제상 거동에 관한 실험적 연구", 공기조화·냉동공학논문집, Vol.10, No.6, pp.649~657.