

마이크로 부동액막을 이용한 착상방지에 관한 실험적 연구

장 영 수[†], 윤 원 남
한국과학기술연구원 열유동제어연구센터

An Experimental Study on the Frost Prevention using Micro Liquid Film of an Antifreezing Solution

Young-Soo Chang[†], Won-Nam Yun

Thermal/Flow Control Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

(Received July 22, 2004; revision received March 16, 2005)

ABSTRACT: The effect of antifreezing solution liquid film on the frost prevention is experimentally investigated. It is desirable that the antifreezing solution spreads widely on the heat exchanger surface forming thin liquid film to prevent frost nucleation and reduce the thermal resistance across the film. A porous layer coating technique is adopted to improve the wettedness of the antifreezing solution on a parallel plate heat exchanger. The antifreezing solution spreads widely on the heat exchanger surface with 100 μm thickness by the capillary force resulting from the porous structure. It is observed that the antifreezing solution liquid film prevents a parallel plate heat exchanger from frosting. The reductions of heat and mass transfer rate caused by thin liquid film are only 1~2% compared with those for non-liquid film surface.

Key words: Frost prevention(착상방지), Antifreezing solution(부동액), Micro liquid film(마이크로 액막), Porous layer(다공물질층)

기 호 설 명

A : 면적 [m^2]	k : 열전도율 [W/mK]
d_p : 다공물질 직경 [m]	l : 부동액 젖음 길이 [m , mm]
d_n : 등가 모세관 직경 [m]	m : 질량유량 [kg/s , g/min]
g : 중력가속도 [m/s^2]	ΔP : 압력차 [Pa]
h : 열전달계수 [$\text{W/m}^2\text{K}$]	q : 총열전달량 [W]
h_D : 물질전달계수 [$\text{kg/m}^2\text{s}$]	r : 모세관 반지름 [m]
i_{fg} : 응축잠열 [J/kg]	Re_f : 액막 Reynolds 수
	T : 온도 [$^{\circ}\text{C}$]
	t : 시간 [s]
	u : 모세관 유속 [m/s , mm/s]
	v : 액막의 수직 방향 속도 [m/s]
	w : 절대습도
	x : 액막 단면 방향 [m]

[†] Corresponding author

Tel: +82-2-958-6746; fax: +82-2-958-5689

E-mail address: yschang@kist.re.kr

그리스 문자

Γ	: 단위길이당 질량유량 [kg/ms]
γ	: 표면장력 [N/m]
δ	: 액막 두께 [μm]
θ	: 계면접촉각 [deg]
μ	: 부동액 점도 [kg/ms]
ρ	: 밀도 [kg/m^3]
ϕ	: 공극률 [%]

하첨자

a	: 공기
L	: 잠열
l	: 액막
s	: 현열
w	: 벽면

1. 서 론

식품의 신선도를 유지하기 위해 가정, 대형 슈퍼마켓, 식당 등에서 냉장고 및 냉동기의 사용이 보편화되고 있으며, 앞으로도 그 의존도가 계속 증가할 것이다. 저온에서 작동하는 공기열원 냉동기의 가장 큰 문제 중의 하나는 증발기 표면에 형성되는 서리이며, 착상으로 인해 증발기에서 열저항이 증가하고, 공기유로를 막아 공기유량이 감소하게 된다. 이로 인해 증발기의 열전달 성능이 저하하고, 착상이 심하면 증발기의 역할을 하지 못하여 압축기의 손상을 일으킬 수 있다. 그러므로 냉동기의 성능과 안정적인 운전을 위해서는 착상된 서리를 제거해 주는 제상과정이 필수적이다. 그러나 제상작업으로 인한 냉동기의 작동중단으로 연속적인 냉동효과를 얻을 수 없을 뿐만 아니라 제상작업을 위한 부가적인 열량공급이 필요하다. 또한 냉동사이클을 재차 수행시 제상을 위해 공급된 열을 제거하는 데 필요한 에너지 소모가 발생하게 된다. 따라서 제상작업은 냉동성능 및 에너지절약 측면에서도 비효율적이라 할 수 있다.

지금까지 증발기에서 발생하는 착상에 대한 연구에서는 주기적인 착상과 제상과정의 반복으로 냉동기의 냉동질과 효율의 저하를 피할 수 없었

다. 따라서 이러한 증발기에서의 착상문제를 근본적으로 해결할 수 있는 방법이 요구된다.

증발기 표면의 착상과정을 보면 주변조건(냉각면온도, 공기유속, 공기온도와 습도 등)에 따라서 많이 달라지지만 크게 결정 성장기, 서리층 성장기, 서리층 성숙기의 3단계로 진행된다.⁽¹⁾ 결정 성장기에는 공기의 수증기 분압과 표면의 포화수증기 분압차가 상변화의 추진력으로 작용하여 서리의 핵이 형성되고, 서리결정들 위에 집중적으로 수증기가 착상되어 서리층 표면과 수직인 방향으로 서리 기둥이 형성되면서 성장한다. 서리층의 형성과정을 미시적 관점에서 보면 수증기 분자들이 기체상태에서 고체상태로의 상변화를 지속적으로 하는 과정인데, 여기에는 과포화라는 필수적인 과정이 존재한다.

본 연구의 기본개념은 착상조건외 열교환기의 표면에 빙점 이하에서도 얼지 않는 부동액을 공급하여 공기 중의 수분 동결을 근본적으로 막는 것이다. 수증기가 응축된 과포화액이 부동액에 흡수되어 착상원인인 핵의 생성을 억제한다. 따라서 부동액은 열교환기 표면의 착상조건 하에서도 얼지 않고 유동성을 가지고 있어야 하며, 물과의 용해성이 우수하여 응축되는 수분을 흡수하여 수분이 동결되는 것을 방지한다.

열교환기의 표면에 공급된 부동액은 착상을 방지함으로써 착상에 의한 증발기의 성능저하를 방지할 수 있으나, 부동액 자체가 열교환기의 또 하나의 열저항이 되기 때문에 가능한 얇은 액막을 유지해 주는 것이 좋다. 또 부동액이 열교환기 표면을 완전히 적시지 못하는 경우 부분적으로 착상이 발생할 수 있다. 따라서 열교환기 전체 표면을 가능한 얇게 적셔 주는 것이 중요하다.

공기열원 냉동기나 히트펌프의 증발기로 사용되는 열교환기는 핀 튜브방식으로 얇은 알루미늄 핀이 수 mm 정도의 간격으로 밀집해 있는 형태이다. 이러한 형상의 핀에 부동액을 균일하게 도포하기 위해서는 부동액의 퍼짐성을 촉진시킬 수 있는 알루미늄 핀의 표면처리방법이 필요하다.

본 연구의 목적은 착상조건 하에서 공기 중의 수분 동결을 근본적으로 차단하기 위해 열교환기 표면에 빙점 이하에서도 얼지 않는 부동액을 공급하여 평행 평판 열교환기에서의 착상방지에 관한 효과를 고찰하려는 것이다. 이를 위해 다공물질 표면처리된 평행 평판 열교환기에서 부동액의

젖음성 향상을 확인하였다. 착상조건의 평행 평판 열교환기에서 마이크로 액막 부동액에 의한 착상방지 효과와 열전달 특성을 고찰하였다.

2. 해석 모델

2.1 다공물질 표면처리

본 연구에서는 부동액의 젖음성을 향상시키기 위해 다공물질을 열교환기의 표면에 코팅하는 기술을 이용하였다. 다공물질이 코팅된 표면의 개략도는 Fig.1과 같다. 표면에 공급된 액체는 모세관 현상에 의하여 다공층 내부로 확산되기 때문에 표면을 얇은 액막으로 덮어 젖음도를 획기적으로 향상시킬 수 있다. 표면처리하지 않은 알루미늄 표면과 증발기에 흔히 사용되는 친수성 폴리머로 코팅된 표면에 비하여 다공물질로 코팅 처리된 표면의 젖음성이 크게 향상된다.

다공물질 코팅은 고체입자를 용사(thermal spray) 공정을 이용하여 표면에 코팅하거나, 적절한 반응성 접착제(reactive adhesive)를 이용하여 고체입자를 표면에 접착함으로써 얻을 수 있다. 본 연구에서는 10~30 μm의 실리카 파우더와 반응성 접착제를 혼합하여 열교환기 표면을 코팅하였으며, 코팅두께는 50 μm 정도이다.

2.2 젖음성 향상 모델

다공물질 표면처리한 평판에서의 유동은 모세관력^(2,4)에 의해 퍼짐성이 향상된다. 다공성 표면에서 부동액이 퍼져 나가는 현상을 모세관 튜브에서 모세관 유동으로 모델링할 수 있다.

모세관 유동은 Poiseuille's equation으로 나타낼 수 있으며,⁽³⁾ 액주의 길이 증가속도는 다음과 같이 표현된다.

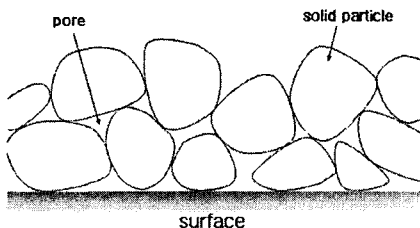


Fig. 1 Schematic of porous layer coating.

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\Delta P r^2}{8\mu_l l} \quad (1)$$

여기서 μ_l 은 부동액의 점도이고, l 은 시간에 따라 부동액이 수평 방향으로 퍼진 길이이며, ΔP 는 모세관에서 유동을 발생시키는 압력차이다. 수평 모세관의 경우, 유동을 발생시키는 모세관력은 다음과 같다.

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r} \cos \theta \quad (2)$$

γ 은 표면장력이고, θ 는 계면접촉각이다. 식(1)과 식(2)를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\left(\frac{2\gamma}{r} \cos \theta\right) r^2}{8\mu_l l} \quad (3)$$

식(3)을 적분하면, 모세관 모델에서 시간에 따라 부동액이 수평 방향으로 퍼지는 길이를 구할 수 있다.

$$l = \sqrt{\left(\frac{\gamma \cos \theta}{2\mu_l}\right) r t} \quad (4)$$

다공물질의 흐름통로는 직경 d_n 인 모세관으로 이루어져 있는 것으로 가정하면, 고체입자의 모양이 구(sphere)형이며 직경이 d_p 일 경우, 다음과 같은 관계식을 갖는다.⁽⁴⁾

$$d_n = 2r = \frac{2}{3} \frac{\phi}{(1-\phi)} d_p \quad (5)$$

ϕ 는 공극률(porosity)이며, 따라서 식(4)를 고체입자의 직경과 공극률의 함수로 나타낼 수 있으며, 모세관력에 의해 퍼진 정도와 퍼지는 속도를 식(6), (7)과 같이 예측할 수 있다.

$$l = \sqrt{\left(\frac{\gamma \cos \theta}{2\mu_l}\right) \left[\frac{\phi}{3(1-\phi)}\right] d_p t} \quad (6)$$

$$\frac{dl}{dt} = \left(\frac{\gamma \cos \theta}{4\mu_l l}\right) \left[\frac{\phi}{3(1-\phi)}\right] d_p \quad (7)$$

2.3 부동액막 모델

열교환기 표면에서 물방울 또는 서리가 맺히는 현상은 단순히 온도차에 의존하지 않으므로 응축수 또는 서리 생성과 관련된 열전달식이 필요하다. 본 연구의 모형판에서 착상방지시 열전달과정은 Fig. 2와 같으며, 열교환기 표면 역할을 하는 알루미늄 평판에 착상방지를 위한 부동액 액막이 흐르면서 공기와 열 및 물질전달을 한다.

수직 평판에서 얇은 액막을 이루면서 중력에 의해 흐르는 액막유동은 공기유동에 의한 전단력과 부력을 무시하면 다음과 같은 수직 방향 속도 분포를 가진다.

$$v = \frac{g}{\mu_l} \rho_l \delta^2 \left[\frac{x}{\delta} - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{\delta} \right)^2 \right] \quad (8)$$

식(8)을 액막 두께 방향으로 적분하면, 수직 평판의 폭 방향으로 단위길이당 유량을 계산할 수 있으며, 이를 이용해 단위길이당 유량과 액막 두께와의 관계를 구할 수 있다.

$$\Gamma = \int_0^\delta \rho_l v dx = \frac{g \rho_l^2}{3 \mu_l} \delta^3 \quad (9)$$

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3 \mu_l \Gamma}{g \rho_l^2}} \quad (10)$$

액막에서의 열전달은 Nusselt의 가정과 같이 전도에 의해 일어나는 것으로 가정하면 다음과 같다.⁽⁵⁾

$$dq = \frac{k_l}{\delta} (T_l - T_w) dA \quad (11)$$

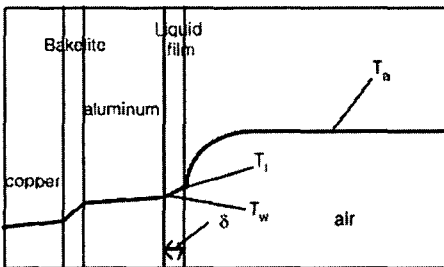


Fig. 2 A diagram for heat transfer process on the heat exchanger.

미소면적 dA 에 대해 공기에서 액막으로의 열전달량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$dq = dq_s + dq_L \quad (12)$$

$$dq_s = h(T_a - T_l) dA \quad (13)$$

$$dq_L = h_D(w_a - w_l) i_{fg} dA \quad (14)$$

여기서 h 는 현열 열전달계수, h_D 는 물질전달계수이다. 식(13)은 공기와 액막의 온도차에 의한 현열 열전달량이고, 식(14)는 공기 중의 수증기가 액막에서 응축, 흡수되는 양에 의한 잠열 열전달량을 나타낸다. 계면에서 온도와 습도는 포화상태를 가정하여 구할 수 있다.

실험 결과의 분석을 위해서 공기측에서 측정된 자료를 이용하여 열전달량을 계산하였는데, 식(12)~(14)에서처럼 열전달을 현열 열전달과 잠열 열전달로 나누어 고려하는 이중 포텐셜 모델을 사용하여, 마이크로 액막이 있을 경우 열전달 성능을 분석하였다.

3. 실험장치 및 방법

착상방지를 위해 공급되는 부동액의 열교환기에서 젖음성 성능과 이에 따른 열전달 성능의 변화를 관찰하기 위해 Fig. 3과 같은 장치를 구성하였다. 착상을 위해 시험부에 일정한 온도와 습도의 공기를 공급하는 공기공급부와, 착상을 위해 알루미늄 모형판 하부 열교환기에 저온의 부동액을 공급하는 부동액 공급부, 착상방지를 위해 알루미늄 모형판에 부동액을 뿌려 주는 부동액 분사장치, 공기의 온도, 습도, 모형판의 온도 등을 측정하는 측정부로 구성되어 있다.

알루미늄 모형판을 통과하는 공기유로는 투명 아크릴 덕트로 구성하여, 모형판의 관찰이 가능하도록 하였다. 공기유로의 폭은 10 mm이다. 열교환기의 공기 입출구에서는 온도 보정된 정밀 RTD 센서를 이용하여, 건구와 습구 온도를 측정하였다. 공기풍량은 노즐을 이용하여 측정하였다.

부동액 분사장치는 저온 칠러와의 열교환을 통해 일정한 온도로 유지되는 부동액을 알루미늄 표면의 상부에 공기와 수직한 방향으로 공급해 주며, 시험부 표면에서의 국부적인 착상현상을 방지하기 위하여 착상 이전에 부동액으로 표면을

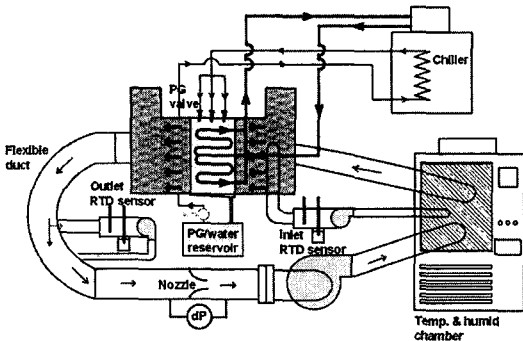


Fig. 3 Schematic of performance test setup.

완전히 도포할 수 있도록 Fig. 3에서 보는 것과 같이 부동액을 3곳에서 동시에 공급하였다. 열교환기 표면에 뿌려 주는 부동액의 유량은 소량으로 유량계를 사용한 측정이 어려우므로 일정시간 뿌려지는 부동액의 양을 저울로 측정하였다.

Fig. 4는 알루미늄 평판 열교환기의 시험부를 나타낸 것이며, 3개의 층으로 구성된다. 실제 착상이 일어나는 알루미늄판과 알루미늄판의 온도를 제어하기 위해 내부에 유료가 파여진 구리판, 그리고 열유속을 측정하기 위하여 알루미늄판과 구리판 사이에 두께 1mm의 베이클라이트판(bakelite plate)을 설치하였다. 공기가 접하는 표면이 알루미늄인 이유는 핀-튜브 열교환기에서 핀부분을 모사하기 위해서이고, 알루미늄 표면의 온도를 조절하기 위한 하부 열교환기에는 열전달 성능을 촉진하기 위해 구리판을 사용하였다. 알루미늄판의 크기는 200×300×5mm이며, 3개 층의 접촉면에는 써멀 그리스(Thermal grease)를 도포하여 접촉 저항을 최소화하였고, 베이클라이트의 앞뒤 면과 알루미늄판에 T-type 열전대를 부착하였다.

상온의 건표면에서 부동액을 알루미늄 평판과

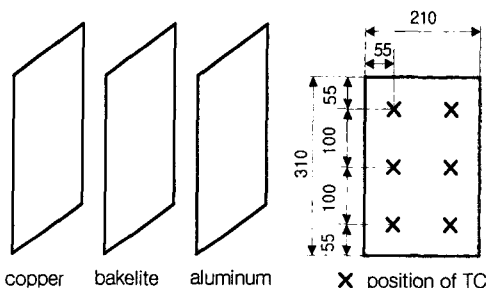


Fig. 4 Schematic of plate heat exchanger.

Table 1 Test conditions

Plate temperature [°C]	-10
Air temperature [°C]	20
Relative humidity [%]	50, 60, 70
Air flow rate [cmh]	31, 42, 51
Supplied brine flow rate [g/min]	3, 6, 9

알루미늄 평판에 다공물질 표면처리한 것에 대해 분사량을 변화시키며, 젖음성 성능 가시화 실험을 수행하였다. 가시화 실험은 시험부의 앞쪽에 설치된 CCD 카메라를 이용하여 촬영하였다.

착상방지 및 열전달 성능실험을 위한 실험조건을 Table 1에 정리하였다. 착상조건은 공기온도는 20°C로 일정하게 유지한 상태에서 상대습도를 50, 60, 70%로 변화시키며 실험을 수행하였으며, 알루미늄판의 표면온도는 -10°C로 유지하였다.

풍량범위는 31~51 CMH이며, 공기층 Re는 3500~6000에 해당한다. 분사부동액으로는 프로필렌 글리콜과 물을 부피비로 50/50 혼합한 것을 사용하였다.

열전달계수와 물질전달계수의 계산을 위한 현 열전달량과 응축수량은 노즐을 이용하여 측정된 공기의 유량과 평판형 열교환기의 입출구에서 측정된 건구온도와 습구온도로부터 구하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 젖음성 향상 실험결과

코팅처리하지 않은 알루미늄 평판과 젖음성 향상을 위한 다공성 물질 코팅처리된 평판에 대하여 부동액의 유량에 따른 젖음성 성능을 가시화 실험을 통해 나타내었다.

Fig. 5는 상온의 건표면 조건에서 동일한 온도의 부동액을 상부에서 뿌려 준 결과이다. 수직 평판에서 물줄기의 흐름은 물의 유량, 고체 표면과의 접촉각 등의 영향으로 다양한 형태를 갖게 된다. Fig. 5(a)의 무처리 표면인 경우에는 약 6mm 폭의 리블렛(rivulet) 형태의 물줄기를 갖는 반면에 다공물질로 코팅된 Fig. 5의 (b)와 (c) 경우에는 모세관력에 의해 주위로 부동액이 퍼져나가기 때문에 무처리 평판에 비해 부동액의 퍼짐성이 크게 증가하여 20~40mm 정도의 물줄기 폭을 갖는 것을 확인할 수 있다.

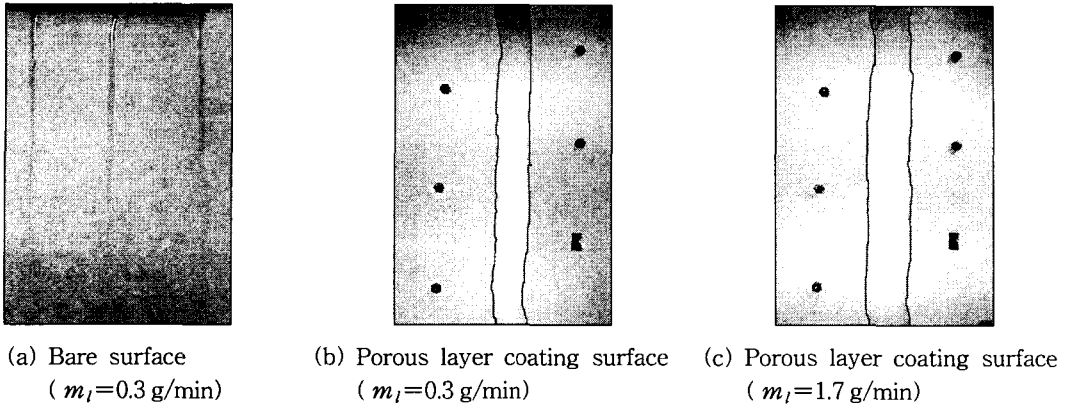


Fig. 5 Wetting shape on the dry surface.

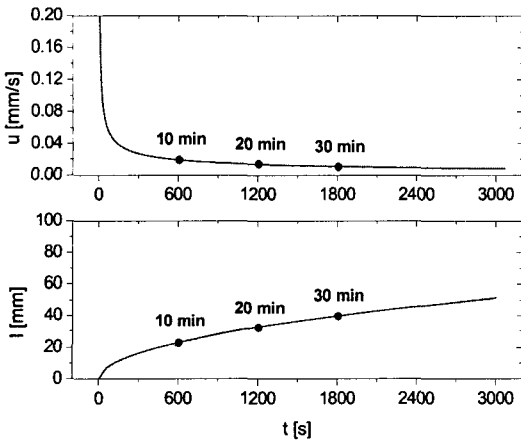


Fig. 6 Wettability length and velocity of anti-freezing solution with the lapse of time.

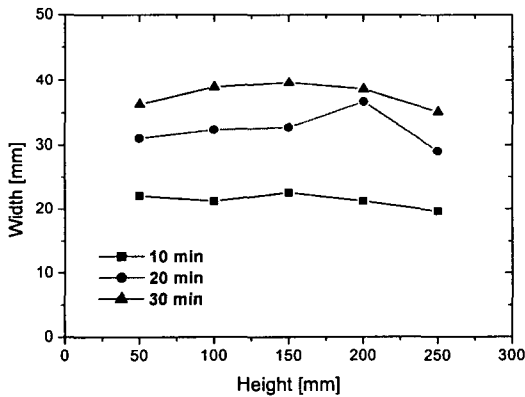


Fig. 7 Wettability variation with the lapse of time ($m_l=2.5$ g/min).

식(6)과 (7)의 이론식을 이용하여 부동액 살포 후 50분 동안 다공성 물질에서 부동액의 퍼지는 정도와 퍼지는 속도를 계산하여 실선으로 Fig. 6에 나타내어 보았다.

이때 입자 직경은 $30\ \mu\text{m}$, 공극률은 25%, 접촉각은 20° , 부동액의 점도는 $0.064\ \text{kg/ms}$, 표면장력은 $0.036\ \text{N/m}$ 로 가정하였다. 퍼지는 속도는 초기 2~3분이 지나면 급격히 감소하고, 시간이 경과할수록 지속적으로 감소하는 경향을 보인다. 이에 따라 퍼지는 길이는 부동액 공급 초기의 가파른 증가를 제외하고는 느리지만 시간에 비례하여 퍼지는 길이가 길어지는 경향을 보여준다.

이는 Fig. 7의 부동액의 젖음성에 대한 실험결과와 유사한 경향을 보인다. 알루미늄판의 수직 높이에 따라서는 부동액이 퍼진 정도가 큰 편차

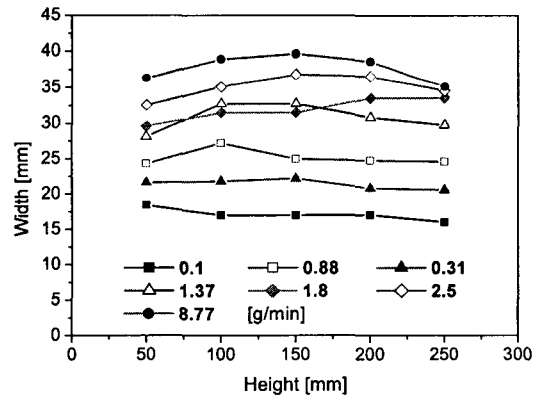


Fig. 8 Wettability with respect to mass flow rate of brine.

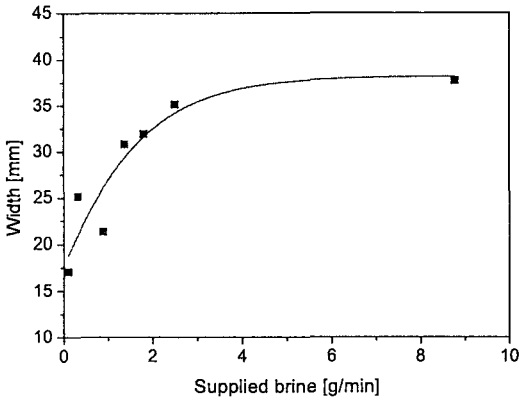
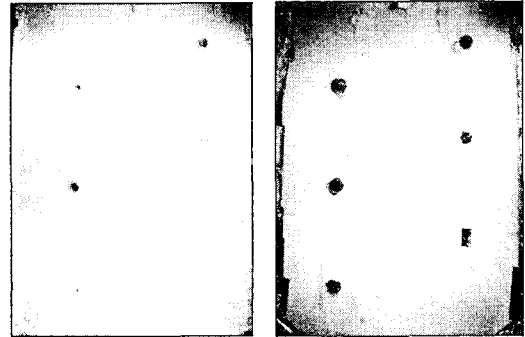


Fig. 9 Averaged wettability with respect to mass flow rate of brine.



(a) Frosting surface (b) Frost-less surface

Fig. 10 Photography of aluminum plate under frost condition.

가 없으며, 시간이 지남에 따라 퍼지는 정도가 증가하는 경향을 보인다. 따라서 본 연구의 젖음성 실험은 부동액 살포 후 30분이 경과한 후의 결과를 이용하여 대푯값으로 나타내었다.

Fig. 8은 부동액의 분사유량에 따른 부동액의 퍼진 정도를 평판의 높이에 따라 나타낸 것이며, 알루미늄판의 높이에 크게 영향을 받지 않고 거의 일정한 모양을 나타낸다. 부동액 분사유량이 증가할수록 퍼지는 폭도 증가한다.

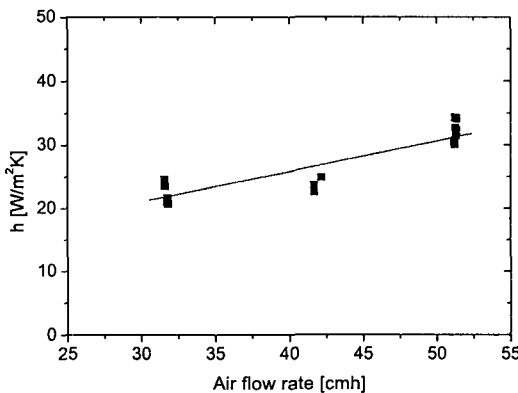
Fig. 9는 부동액의 유량에 따라 퍼진 정도를 수직 평판의 높이 방향으로 평균한 값을 나타낸 것이다. 부동액 유량이 증가됨에 따라 퍼진 정도가 증가하며, 3g/min 이상에서는 퍼지는 폭의 증가율이 급격히 둔화되는 것을 확인할 수 있다. 실선은 이러한 경향을 나타내기 위하여 표시하였다.

4.2 착상방지 성능실험

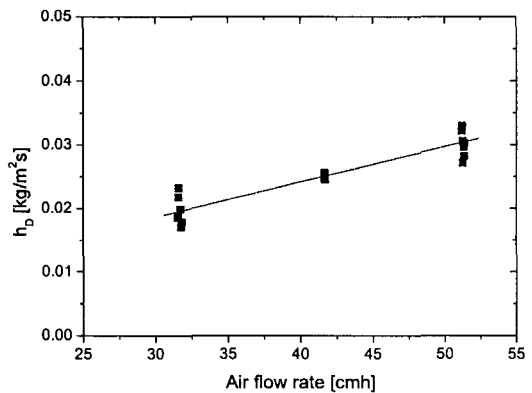
앞 절에서 다공성 표면처리 평판이 우수한 부동액 젖음성 특성을 가짐을 알 수 있었다. 이러한 다공성 표면을 이용하여, 착상조건 하에서 부동액을 공급한 경우와 그렇지 않은 경우의 알루미늄판 표면사진을 Fig. 10에 나타내었다.

공급 부동액의 온도에 의한 영향을 줄이기 위해 부동액의 온도를 알루미늄 평판과 동일한 온도로 제어하여 공급하였다.

부동액을 공급하지 않은 경우 알루미늄 표면 전체에 착상에 의한 서리층이 발생한 것을 볼 수 있으나, 부동액이 공급된 경우 부동액의 액막에 의해 열교환기 표면에 서리가 존재하지 않음을 볼 수 있다. 즉, 부동액이 열교환기 표면에 액막



(a) Heat transfer coefficient



(b) Mass transfer coefficient

Fig. 11 Heat and mass transfer coefficient of air side with variable air flow rate.

Table 2 Uncertainty of air flow rate, heat transfer and heat and mass transfer coefficients

	q_s	h	q_L	h_D
41 cmh	11.17%	11.34%	21.39%	21.48%
51 cmh	11.02%	11.21%	19.87%	19.96%

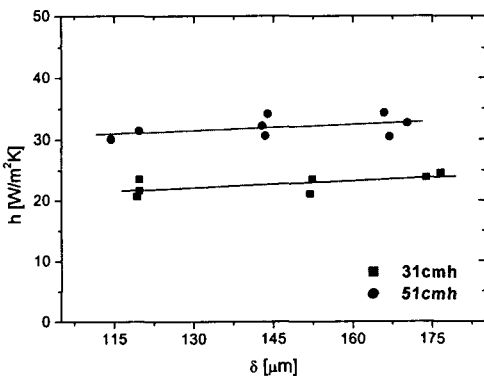
형태로 완전히 도포되어 착상을 방지하는 효과를 확인할 수 있다.

부동액 공급에 의해 착상이 방지되는 상황에서 공기 풍량을 변화시키면서 측정한 공기측 열전달계수와 물질전달계수를 Fig. 11에 나타내었다. 실선으로 표시된 추세선에서 보듯이 공기 풍량이 증가하면서 열전달계수 및 물질전달계수는 증가하는 경향을 보이고 있다.

실험결과의 정확성을 평가하기 위하여 주요 측정항목인 공기 풍량, 건습구 온도, 알루미늄 표면 온도 등의 실험오차를 이용하여, Kline and McClintock이 제안한 방법⁽⁶⁾으로 q_s 와 h , 그리고 q_L 과 h_D 에 대해서 불확실도(uncertainty)를 평가하여 Table 2에 나타내었다.

부동액 공급에 의한 액막 두께를 식(10)을 이용하여 계산하여 Fig. 12에 나타내었다. 그 경향을 추세선으로 나타내었다. 전체 실험 범위에서 약 100~180 μm 의 아주 얇은 두께를 가지므로 나타났으며, 막 레이놀즈수의 정의는 다음과 같다.

$$Re_f = \frac{4\Gamma}{\mu_l} \quad (15)$$



(a) Heat transfer coefficient

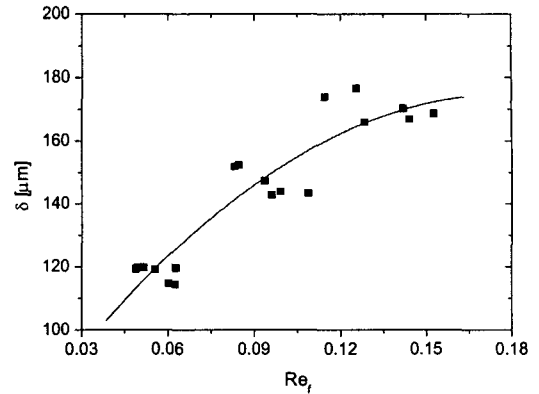
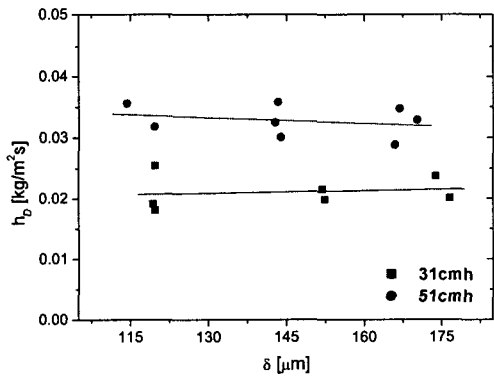


Fig. 12 Liquid film thickness on frost-less surface with film Reynolds number.

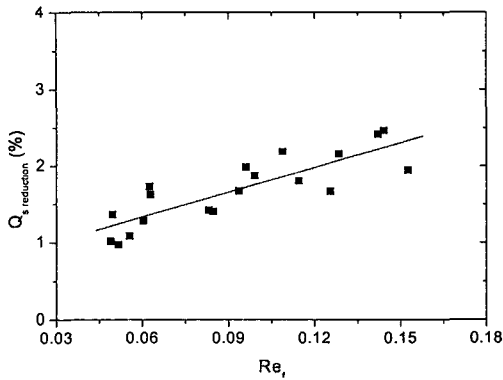
Fig. 13은 2가지의 서로 다른 풍량조건에 대해 액막의 두께에 따른 공기측 열전달계수 및 물질전달계수를 나타낸 것이다. 그림의 실선은 액막 두께에 따른 열과 물질전달계수의 경향을 나타내는 추세선이다. 열 및 물질전달계수가 Fig. 11에서와 같이 풍량에 의한 영향은 확연하게 나타나지만, 액막의 두께에 따라서는 실험오차 범위 내에서 큰 차이를 보이지 않고 있다.

마이크로 액막이 공기측 열전달계수와 물질전달계수에 미치는 영향은 작다고 하더라도 액막 자체가 공기와 알루미늄 평판 사이의 열과 물질전달의 하나의 저항이 될 수 있다. 즉, Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 액막의 공기와의 계면온도는 알루미늄 평판의 표면온도보다 약간 높기 때문에 액막이 없는 경우에 비해 열과 물질전달량이 감소하게 된다. 이를 Fig. 14에 막 레이놀즈수에 따

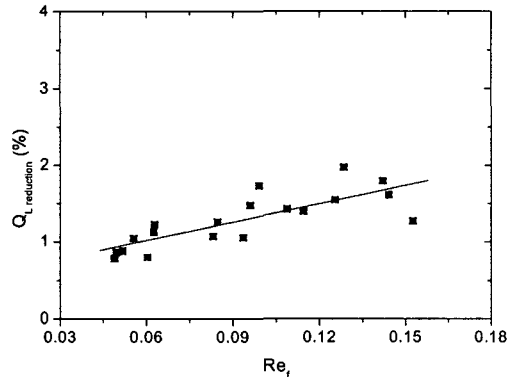


(b) Mass transfer coefficient

Fig. 13 Heat and mass transfer coefficient of air side with liquid film thickness.



(a) Heat transfer rate



(b) Mass transfer rate

Fig. 14 Performance deterioration of heat exchanger by liquid film.

라 나타내었으며, 실선은 추세선으로 경향성을 나타내기 위해 표시하였다.

막 레이놀즈수가 증가할수록 열 및 물질전달량의 저하 정도가 커지지만, 성능 저하 정도가 약 1~2% 정도로 매우 작음을 알 수 있다. 따라서 부동액의 유량 증가로 인한 액막 두께의 변화가 열교환기의 열 및 물질전달 성능에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

결론적으로 액막의 두께가 마이크로 스케일로 매우 작기 때문에, 액막에 의한 열저항은 무시할 수 있을 정도로 작은 값을 갖게 된다.

5. 결 론

본 연구에서는 평행 평판 열교환기에서 부동액에 의한 착상방지 성능을 고찰하기 위해 부동액의 유량과 공기 온습도를 변화시키며 실험하여 다음의 결론을 도출하였다.

- (1) 다공성 물질 표면처리한 경우, 다공성 구조에 의한 모세관력에 의해 부동액의 알루미늄판에서의 젖음성이 크게 향상되었다.
- (2) 착상조건에서 부동액막에 의해 평판 열교환기 표면의 착상현상이 방지되었다.
- (3) 열교환기 표면에 약 100 μm 정도의 얇은 부동액막을 유지할 수 있으며, 이로 인한 열 및

물질전달 성능 저하는 1~2% 정도로 매우 작다.

참고문헌

1. Hayashi, Y., Aoki, A., Adachi, S. and Hori, K., 1977, Study of frost properties correlating with frost formation types, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 99, pp. 239-245.
2. Lee, J. W., Lee, D. Y. and Kang, B. H., 2003, An experimental study on the effects of porous layer treatment on evaporation heat transfer from an inclined surface, *Proceedings of the SAREK*, pp. 153-158.
3. Erik, K., 1996, Wetting and wicking, *Textile Res. J.*, Vol. 66, pp. 660-668.
4. Kim, H. J. and Lee, J. H., 1992, Analysis of evaporative heat transfer in a porous layer by capillary model, *Transaction of KSME (B)*, Vol. 16, pp. 391-399.
5. Collier, J. G. and Thome, J. R., 1994, *Convective Boiling and Condensation*, Clarendon Press, p. 445.
6. Holman, J. P., *Experimental Methods for Engineers*, 6th ed., McGraw-Hill Int. Edition, pp. 49-50.