

표면온도 제어에 의한 착상층 구조변화의 가시화 및 열전달 특성 연구

김경천[†] · 고춘식* · 정재홍* · 고영환** · 신종민**

A Characteristics Study on the Visualization and Heat Transfer of the Frost Formation Structure Variation by Control Plate Surface Temperature

Kyung-Chun Kim · Choon-Sik Ko · Jae-Hong Jeong · Young-Hwan Ko · Jong-min Shin

Abstract

To control the frost formation, a temperature variation of the cooling plate and characteristics on hydrophilic and hydrophobic surfaces was attempted. As a temperature variation of the cooling plate, being closely related to the frost layer density of frost layer is found to be affected by the melting process inside the frost layer during the heating period. At characteristics on surface, completely different structures of frost are appeared in the initial stage of frost formation due to the difference in surface conditions, while those effects are vanished with time. It is found that the frost thickness, density and heat flux characteristics are closely associated with the frost structure.

Key Words : 서리(frost), Hydrophilic(친수성), Hydrophobic(소수성), Frost Control(착상제어), Thermo-Electric Cooler(전자냉각장치),

1. 서론

냉동공조에 사용되는 열교환기에서 발생하는 착상은 열교환기의 성능과 밀접한 관계로 인하여 과거부터 많은 연구가 수행되어 왔다.⁽¹⁾ 이전 논문에서 수행되었던 실험으로부터 착상의 발생 및 성장에 영향을 미치는 공기온도, 습도, 냉각표면의 온도등의 영향을 정성적 및 정량적으로 이해할 수 있다. 지금까지 서리의 성장에 관한 연구는 공기조건과 표면온도가 서리에 미치는 영향이 주

를 이루고 있다.

Seki et al⁽²⁾ 연구에서 착상 표면이 착상에 어떠한 영향을 주는가에 대해 처음으로 관찰하였다.

열교환기에서 착상으로 인해 발생하는 문제를 해결하고 열전달 특성을 높이기 위한 다른 방법으로 착상층의 초기 성장 및 발달 과정을 능동적으로 제어함으로써 착상층의 다공성 구조를 초기에 파괴할 필요가 있다.

본 연구에서는 일정한 표면온도에서 평판의 표면처리에 따른 착상현상에 대해 비교 연구를 수행하고 착상층의 다공성 구조를 초기에 제어하거나 성장 단계에서 제어하기 위해서 착상이 일어나는 평판의 온도를 가변하는 능동적인 방법을 사용하고자 한다.

[†] 부산대학교 기계공학부

E-mail : kckim@pusan.ac.kr

* 부산대학교 대학원 기계공학과

** LG전자 디지털 어플라이언스 사업본부 연구소

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 풍동

본 연구에 사용된 풍동은 개방형 형태이다. 송풍기에서 나오는 유질을 고르게 하기 위해서 Mesh를 송풍구 출구, 정체실의 입구와 출구에 설치하였다. 수축부는 3차원으로 설계하여 박리가 발생하지 않도록 제작되었다. 그리고 시험부의 위치는 수축부의 앞부분으로부터 하류방향으로 약 670mm이다. 시험부의 단면은 25mm×25mm이다. Fig. 1은 실험에 사용된 풍동의 개략도이다.

2.1.2 냉각장치

본 연구에 사용된 냉각장치는 서로 다른 두도체의 접점을 통해 전류를 흘리면 접점부위에서 흡열과 발열이 가역적으로 일어나는 현상을 이용한 열전소자(Thermo-Electric Cooler)를 사용하였다.

2.2 실험조건 및 실험방법

본 연구에 사용된 풍동의 형태가 open형태이기 때문에 풍동입구에서의 조건을 조절할 수 없기 때문에 실험시의 실험실 온도와 습도를 측정하였다.

가변 평판의 온도에 실험조건은 Table 1, Table 2와 같으며 Fig. 3, Fig. 4는 각각의 실험에서 사용된 평판의 온도변화를 나타낸 그래프이다.

평판의 표면처리에 의한 실험조건은 Table 3에 정리되어있으며 실험에 사용된 시료는 정적접촉각에 따라 소수성과 친수성으로 구분되었다. 시료는 정적접촉각이 108°인 테프론 코팅처리와 정적접촉각이 23°인 플라즈마코팅으로 제작되었다.

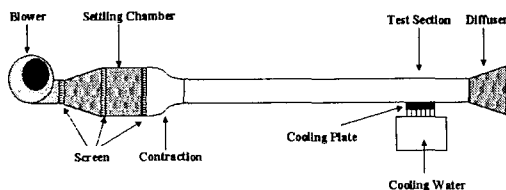


Fig. 1 Schematic of wind tunnel

Table 1 Test condition of visualization

		Condition
Air temperature		26°C (299K)
Air humidity		65%
Air velocity		1.0 m/s
Plate temperature (average)	Periodic	-15.8, -12.6°C(1/240Hz)
	Constant	-17.0°C

Table 2 Test conditions of variation of frost thickness and density

		Condition
Air temperature		24°C (297K)
Air humidity		75%
Air velocity		1.0 m/s
Plate temperature (min & max)	Periodic	-1.0 ~ -12.0°C(1/600Hz)
	Constant	-4.5, -10.0°C

Table 3 Test Condition

		Condition
Air Temperature		14°C (287K)
Air humidity		80±3%
Air velocity		1.2 m/s
Plate temperature		-15°C

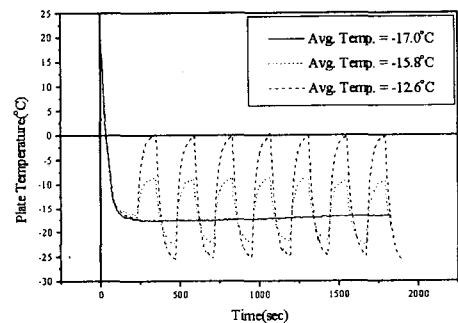


Fig. 2 Temperature variation of the plate for frost visualization.

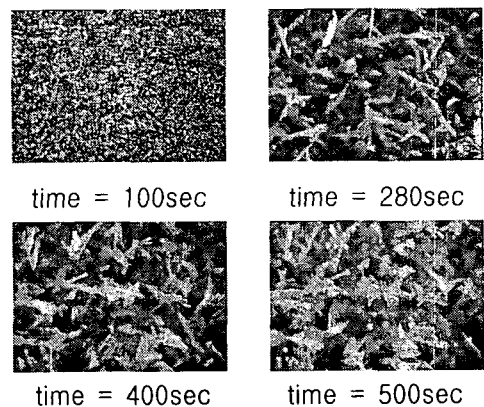


Fig. 3 Visualization of frost layer with a constant all temperature, $T_{c,avg} = -17.0^\circ\text{C}$

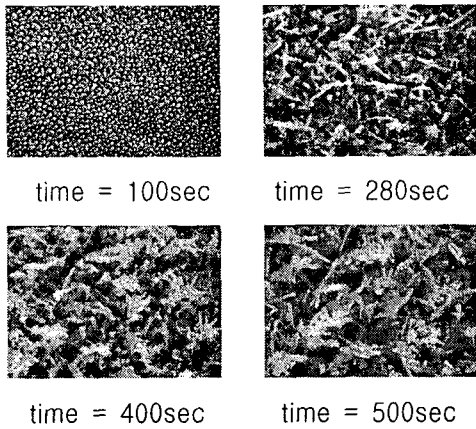


Fig. 4 Visualization of frost layer with a periodic temperature variation, $T_{c,avg} = -15.8^{\circ}\text{C}$.

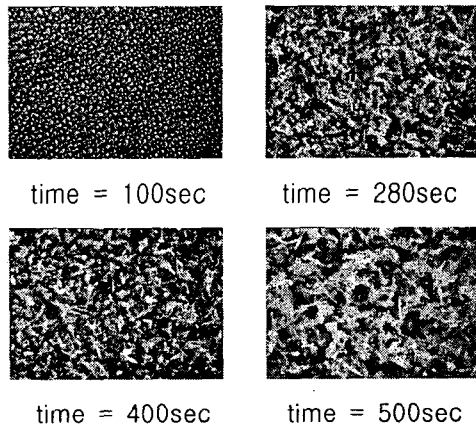


Fig. 5 Visualization of frost layer with a periodic temperature variation, $T_{c,avg} = -12.6^{\circ}\text{C}$.

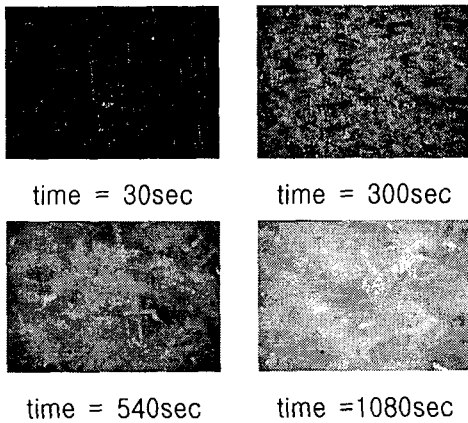


Fig. 6 Visualization of frost layer (Hydrophilic).

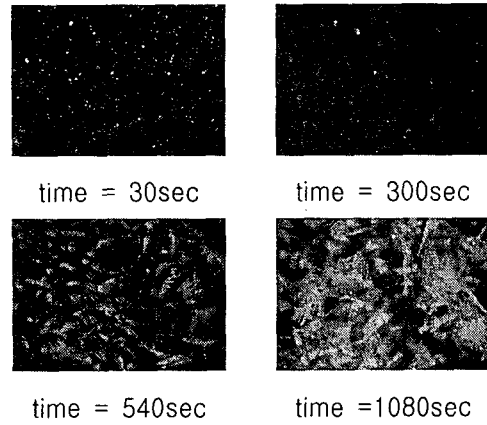


Fig. 7 Visualization of frost layer (Hydrophobic).

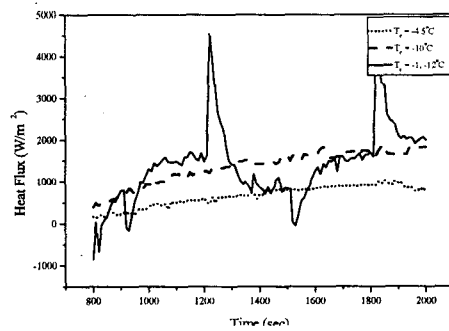


Fig. 8 Variation of Heat Flux.

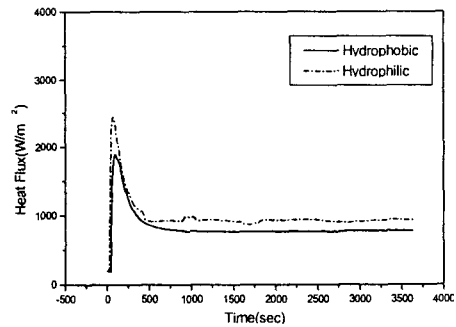


Fig. 9 Variation of Heat Flux.

3. 실험 결과

3.1 착상층 가시화 실험

Fig. 3은 평판의 온도가 -17°C 로 일정할 때의 가시화 실험 결과이다. 얼음 기둥 성장 이후에 나뭇가지(dendrite)를 확실하게 보이지 않지만 가지가 많이 성장하는 것을 볼 수 있다. 그리고 시간이 경과할수록 얼음 기둥의 형태는 크게 변하지 않지만 끝부분에서는 얼음 구조가 생기고 다시 녹는 현상이 반복해서 나타나는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4는 평판의 온도가 $-8.6^{\circ}\text{C} \sim -22.6^{\circ}\text{C}$ 로 변화할 때의 가시화 실험 결과이다. 평판의 온도가 -17°C 까지 떨어지는 동안에서의 응축, 결빙, 착상층 성장 과정은 거의 같은 형태를 나타내고 있다. 그러나, 평판의 온도가 -8.6°C 로 올라가는 순간에 착상층의 나뭇가지 구조가 다소 파괴되는 변화를 관찰할 수 있다.

Fig. 5는 평판의 온도가 $0^{\circ}\text{C} \sim -25^{\circ}\text{C}$ 로 변화할 때의 가시화 실험 결과이다. 평판의 온도가 0°C 로 올라가는 순간에 착상층의 나뭇가지 구조가 완전히 파괴된 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 6은 친수성 시료, Fig. 7은 소수성 시료에 대한 가시화를 나타내며 전체적으로 친수성 시료의 경우 서리구조가 넓게 생성됨을 확인할 수 있다. 이는 친수성 시료의 경우 접촉각이 작으므로 습공기가 표면에 응축되면서 물방울이 넓게 형성되어 시료 표면 전체를 고르게 덮게 되므로 초기에는 얼음판 형태의 서리가 구성되는 것으로 판단된다. 반면 소수성 시료는 접촉각이 크기 때문에 습공기가 표면에 응축될 때 물방울들이 시료 표면에 불연속적으로 생성되며, 각각의 물방울 위치에서 서리가 침상으로 성장됨을 확인할 수 있다. 초기 착상기간이 지난후에는 $t=1080\text{sec}$ 사진에서 보듯이 친수성 및 소수성 시료에 관계없이 덴드라이트 조직이 발달함을 볼 수 있다.

3.2 착상층 열유속

Fig. 8은 평판의 온도에 따른 열유속을 나타낸 것으로 평판의 온도가 낮을수록 열유속이 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 시간이 증가함에 따라 열유속이 증가하고있는데 이는 착상층이 완전히 성장하지 않았기 때문이다. 초기에는 착상층 내부의 다공성 구조가 열전달을 촉진시키지만 착상층이 완전히 성장한 뒤에는 열유속이 감소할 것이다. 평판 온도가 주기적으로 변화할 때를 보면 평판 온도가 상승할 때에는 얼어있던 착상층이 녹으면서 잠열을 방출시켜 열유속이 급속히 증가하다가 평판의 온도가 하강할 때에는 수분이 얼어 버리기 때문에 잠열을 흡수하여 열유속이 떨어지게 된다. 착상층의 초기 성장에서 열유속에 큰 영향을 미치는 요소는 표면 온도와 열전도도 중에서 표면 온도임을 알 수 있다.

Fig. 9에서는 소수성 시료보다 친수성 시료가

높게 나오는 것을 알 수 있었다. 이는 친수성 시료의 표면에는 열전도도가 양호한 넓은 얼음층이 존재하기 때문으로 사료된다.

4. 실험 결과

본 연구의 결과를 종합한 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 온도가 가변하는 평판에서의 결정 성장 구조는 일정한 온도를 가지는 평판에서 발생하는 구조가 초기에는 큰 차이가 없으나 평판의 온도가 올라가는 동안에는 착상층이 과정 중간에 용해(melting) 과정이 있기 때문에 착상층의 구조에 미치는 영향은 매우 크다.
- (2) 표면에서 응축된 물방울의 접촉각이 작을수록 물방울이 표면에 넓게 분포되므로 친수성 표면에서는 서리층이 얼음막처럼 균일하게 형성되는 것을 볼수 있으며, 소수성 표면에서는 응축된 물방울이 불연속적으로 형성되므로 서리도 불연속적으로 기동 형상으로 형성되는 것을 알수 있었다.
- (4) 친수성 표면은 소수성 표면에 비해 열유속이 증가함을 발견하였고, 이는 착상면 표면에서의 서리구조가 기공이 없이 형성되었기 때문이다.
- (5) 착상층의 초기 성장에서 열유속에 큰 영향을 미치는 요소는 표면 온도와 열전도도 중에서 표면 온도임을 알 수 있다.
- (4) 착상층의 능동적 제어방법인 평판의 온도를 변화함으로써 착상층의 구조에 영향을 주어 착상층의 특성을 변화시킬 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 두뇌한국21핵심과제의 일부지원과 LG전자(주)의 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) D.L. O'Neal and D.R. Tree, 1985, "A review of frost formation in simple geometries", ASHRAE Transactions, Vol. 91, pp.267-281.
- 2) Nobuhiro Seki, Shoichiro Fukusako, Kuniyuki Matsuo and Shigeru Uemura, 1984, "Incipient Phenomena of Frost Formation", Bulletin of JSME, Vol. 27, No 233, pp2476-2482.