



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

B/F형 냉장고 냉동실의 내부
유동해석 및 결빙최소화



부 경 대 학 교 대 학 원

기계공학부 에너지 시스템 전공

박 재 성

공 학 석 사 학 위 논 문

B/F형 냉장고 냉동실의 내부 유동해석 및 결빙최소화

지도교수 이 연 원

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2008 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

기계공학부 에너지 시스템 전공

박 재 성

박재성의 공학석사 학위논문을

인준함

2008 년 2월 일

주 심 공학박사 김 남 식 (인)

위 원 공학박사 이 연 원 (인)

위 원 공학박사 임 희 창 (인)



목 차

목차	i
Abstract	ii
제 I 장 서 론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목적	4
제 II 장 착상이론 및 실험방법	6
1. 착상이론 및 결빙과정	6
2. 실험장치	12
3. 실험방법	17
제 III 장 실험 결과 및 고찰	22
1. 냉동실 내부의 시간에 따른 온도변화	22
2. 냉동실의 시간에 따른 온도장의 변화	36
3. 냉동실 결빙정도의 정량화	49
4. 요약	57
제 IV 장 전산수치모사	59
1. 해석모델 및 지배방정식	59
2. 유동장 해석 결과	68
3. 요약	79
제 V 장 결론	80
참 고 문 헌	82

Flow Analysis and Heat Transfer in The Freezing Compartment of A B/F Refrigerator

Jae Sung Park

Department of Mechanical Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Recently, the customers satisfaction measurement is higher than the past because of improving the performance of home appliances and rising product prices. So, many companies are doing research for satisfy a customer satisfaction measurement. Among all of the freezing machines, refrigerator is the most famous. Refrigerator is supplied to each families and the number of refrigerator is higher than the past. From past to now, refrigerator have a some problem to frost formation. The frost formation in the refrigerator leave a bad impression behind to the customer and that is lower in quality. On this account, recently many researchers are study about the best way to solve frost formation. But, the problem of frost formation is very complex and that's solving method is very hard.

In this study, the purposes are to find out main cause of frost formation and minimize the frost formation in the freezer.

This study is about B/F refrigerator. B/F refrigerator mean to freezer is located to the under of refrigerator. In this paper, we have studied numerical stimulation and experiments. In experiments, we observed that the changes on temperature at the wall and amount of frost formation in the freezer. The experiment on frost formation according to the KS(Korea Standard) C 9305 and KS B 8561 level. We used to T-type thermocouple. In stimulation, we observed that the flow pattern and velocity field in the freezer. The stimulation

use to FLUENT that was solved by K- ϵ turbulence model. In this stimulation, we assumed that the air is incompressible and steady state.

The result shown that the temperature variation is low at the each wall in freezer. But, changes on temperature is high at the each measure point. We can see that temperature is the lowest and changes on temperature is the highest at the inside wall(Grill) in the freezer. The temperature is lowest at the inside wall because of evaporator was located to back of inside wall and inlet of cool air was located to the inside wall. Also, in stimulation, we can see that the cool air tends to flow to the bottom. We represent to temperature fields by experimental temperature data at the freezer. In this temperature fields, we observed high temperature of over 0°C to the inlet of cool air at the compressure was off and the process of defrosting. This changes on temperature make a frost formation because of over 0°C temperature. In the velocity fields, we observed that two recirculating zone was made of air flow in the basket. And, recirculating zone was made of air flow at the space between wall of freezer and basket. Recirculating zone and the region of frost formation was identical. Also, we observed that the recirculating zone's temperature was low.

As a results, the frost formation was created the region of temperature was increase over 0°C and high changes on temperature. Also that was find out the recirculating zone. So, we need to methods about decrease the frost formation in freezer. First, decrease the changes on temperature in freezer. Second, optimize design for the flow in freezer. That is key points on this study.

제 I 장 서 론

1. 연구 배경

최근 시중에 판매되어지는 가전제품의 성능향상과 함께 가격의 상승으로 인하여 소비자들의 만족도는 계속해서 높아지고 있는 실정이다. 따라서 제품을 제조하여 판매하는 업체는 소비자들의 욕구를 충족시켜 주고 보다 더 나은 제품을 생산하기 위한 연구를 거듭하고 있다. 일상생활에서 사용되어지는 대표적인 가전기구중에 하나인 냉장고는 거의 한가구당 1대 이상을 보유하고 있으며 계속해서 보급이 늘어나고 있는 실정이다. 냉장고 또한 그 보급률의 상승과 동시에 제품의 품질향상을 위한 연구가 이루어지고 있으며 소비자들의 요구 또한 늘어나고 있는 실정이다. 냉장고나 냉동기기의 냉각부에서 표면에 서리가 부착되면서 열전달의 저하 및 압력손실 증가와 같은 현상을 일으킨다. 이렇게 표면에 서리가 부착되는 것을 착상이라고 하며 이러한 착상의 성장으로 인한 결빙 현상은 냉각기기의 성능의 저하와 시각적으로나 심리적으로 소비자들에게 좋지 않은 인상을 남긴다. 따라서

최대한 이러한 착상으로 인한 결빙현상을 줄이는 연구를 필요로 하고 있다. 이러한 착상으로 인한 결빙현상은 1940년대 이후로 지속적인 연구가 수행되어져 왔다. 하지만 착상은 시각적인 관찰에 의해서만 그 발달과정과 결빙의 정도를 측정할 수 있기 때문에 연구하는데 있어서 많은 어려움이 따르고 있다. 과거 착상에 대한 연구는 다음과 같이 이루어졌다.

1) 서리층은 공기로부터 전달된 수증기에 의하여 두께와 밀도가 증가되면서 성장한다. 즉, 공기로부터 전달된 수증기의 일부는 서리층의 두께를 증가시키고, 일부는 서리층의 밀도를 증가시킨다. 수증기 유속 중 얼마만큼의 양이 밀도를 증가시키고, 두께를 증가시키는데 대한 이론은 대표적으로 두 가지가 있는데 하나는 White 등⁽¹⁾이 가정한 Half theory이며, 나머지 하나는 Jones와 Parker⁽²⁾ 그리고 Brian⁽³⁾ 등이 제안한 수증기 확산 모델이다.

2) Stocker⁽⁴⁾, Barrow⁽⁵⁾, Gate 등⁽⁶⁾ 그리고 Niederer⁽⁷⁾와 같은 몇몇의 연구자들은 공기의 유량 감소가 착상이 열교환기에 미치는 악영향의 지표라고 주장하였다. 이들의 주장은 부분적으로 타당하며, 실제의 냉동시스템의 경우 공기를 순환시키는 팬(fan)의 입력 주파수가 일정하므로 착상이 진행됨에 따른 공기 유량의 감소는 심각한 것으로 알려져 있다.

3) Stoecker⁽⁴⁾, Hosoda 등⁽⁸⁾ 그리고, Gatchilov 등⁽⁹⁾은 열전달은

착상 초기에 증가하다 착상이 진행됨에 따라 다시 감소하는 것으로 보고한 반면, Rita 등⁽¹⁰⁾은 착상이 진행됨에 따라 열전달이 꾸준히 증가한다는 결론을 내렸으며, Aoki 등⁽¹¹⁾은 열전달은 착상초기에 감소를 보인 후 계속 증가한다는 결론을 얻었다. 또한 이관수 등⁽¹²⁾은 열전달이 착상 초기에 순간적으로 증가한 후, 아주 천천히 감소한 후, 빠르게 증가하여 최고치에 도달한 후 다시 감소한다고 주장하였다.

이와 같이 선행되어진 연구의 경우 특정 부분에 대하여 착상과 서리층의 성장에 관한 내용과 열 및 물질전달에 관한 내용이 주를 이루고 있으며 단순한 실험과 시뮬레이션을 통해서 얻어진 결론들이다. 따라서 전적으로 실제 제품에서 이와 같은 이론이 일치할 것이라고 생각하기는 어렵다. 따라서 본 실험에서는 실제 냉장고를 통하여 착상발생의 원인과 정량적인 결빙의 양을 측정하고 수치시뮬레이션을 통한 내부 유동을 파악함으로써 착상량을 줄이고 결빙을 최대한 억제 시키는 것을 그 목적으로 하고 있다.

2. 연구 목적

실제 냉장고를 이용하다 보면 누구나 한번정도 냉동실 문을 열었을 때 결빙현상이 일어나서 내용물이 냉동실의 바닥과 붙어 있거나 냉동실에 보관했던 음식물의 주변에 결빙현상이 일어난 것을 볼 수 있다. 또한 냉장고를 오래 쓰다보면 냉장고에서 심한 소음이 발생하는 경우도 발견 할 수 있다. 이러한 경우도 주로 냉기를 냉동실 안으로 유입시켜 주는 환과 결빙간의 마찰음이다. 이처럼 결빙이 냉장고 내에서 발생하면 미관상으로도 보기 좋지 않을 뿐만 아니라 제품의 성능저하에도 많은 영향을 미치는 실정이다. 따라서 우리는 냉동실내에서 발생하는 결빙현상을 파악하고 착상이 생기는 부분의 파악과 유로나 유량의 변경을 통한 착상의 최소화가 필요하다.

냉장고의 냉동실에서 일어나는 결빙현상에 영향을 미치는 인자에는 많은 것들이 있다. 이러한 인자들은 크게 외부인자와 내부인자로 나눌 수 있는데 외부인자중 가장 지대한 영향을 미치는 인자로서 냉장고 문의 개폐시 외부에서 투입되는 고온다습한 공기를 들 수 있다. 내부인자로서는 냉동실내부에 유입되는 냉기의 유량의 변화와 제상주기, 냉동실 안에서의 냉기의 유로 등을 들 수 있다.

결빙에 지대한 영향을 미치는 인자들의 파악과 새로운 인자의 발견으로 결빙량을 정량화 하고 이를 토대로 결빙현상에 대한 최적화된 유로의 개발과 외부 인자의 투입을 차단함으로써 착상을 최소화하는 것이 본 실험의 주된 목적이라고 할 수 있다.



제 II 장 착상이론 및 실험방법

1. 착상이론 및 결빙과정

가. 착상의 이론

착상은 수증기를 포함한 습공기가 이슬점보다 낮고 0℃ 이하의 온도로 유지되는 차가운 냉각면과 접하게 되면 일어난다. 즉, 착상은 습공기 중에 포함된 수증기가 공기로부터 냉각면으로 이동하여 다공성의 서리층을 형성하는 것을 말한다. 착상이 일어날 경우 공기와 냉각면 사이에는 온도차로 인한 현열전달과 수증기 압차로 인한 물질전달(수증기의 이동)이 동시에 일어나며, 수증기의 상변화에 따른 잠열전달이 수반된다. 현열전달의 경우는 매우 작으므로 무시할 수 있는 정도이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\text{총열전달 } (Q_t) &= \text{현열전달 } (Q_s) + \text{잠열전달 } (Q_l) \\ &= h_h \cdot A \cdot (T_a - T_{fs}) + \dot{m}_f \cdot L_H\end{aligned}$$

$$\text{착상률 } (\dot{m}f) = h_m \cdot A \cdot (W_a - W_{fs})$$

여기서 h_h : 열전달계수 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

h_m : 물질전달계수 [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]

L_H : 수증기의 승화잠열 [J/kg]

이 과정을 간단히 도시하면 Fig. 1과 같다.

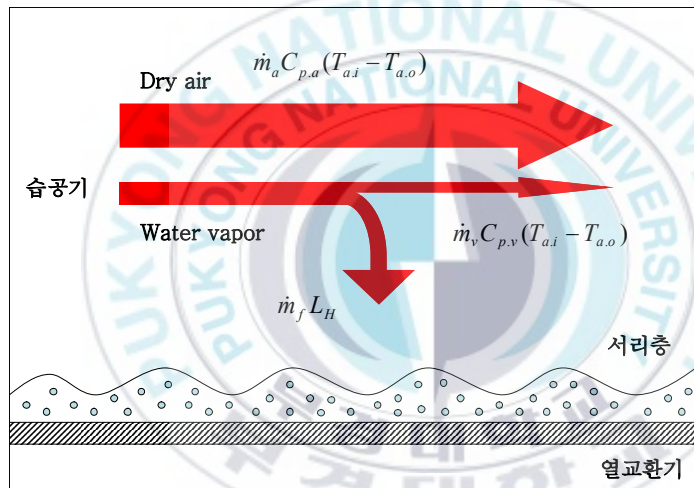


Fig. 1 Heat transfer and mass transfer to the frost formation

나. 서리층(결빙)의 성장과정

착상의 이론은 앞에서 알아보았다. 착상 현상을 파악하기 위해서는 서리층의 성장과정을 이해하는 것이 매우 중요하다. 서리층의 형성과정을 보면 수증기 분자들이 기체상태에서 고체상태로의 상변화를 하는 과정이다. 여기에서는 필수적으로 과포화과정 이 수반된다. 과포화의 결과로 생성된 새로운 상태의 핵이 결정 되어 서리층이 생성되기 시작하는 것이다. 이러한 핵은 온도와 과포화의 정도에 따라서 다른 결정의 형태를 가지게 되는데 핵의 결정구조가 서리층의 형태와 밀도에 크게 영향을 미치게 된다. 핵의 결정 구조는 열전도 계수에 주된 인자이며 열전달률과 물질 전달률의 복합적인 영향을 받는다. 낮은 물질전달률의 경우는 높은 물질전달률의 경우에 비하여 서리 핵의 크기가 작고, 서리핵 생성 직후의 밀도와 성장후의 밀도차가 거의 없기 때문에 전체의 밀도는 높고 거의 일정한 값을 가진다.

서리 결정들이 성장하는 동안에 수증기의 분자들은 성장이 일어나고 있는 위치의 결정 표면 위로 가스 상태의 덩어리로 전달이 된다. 이 전달과정은 체적 확산과 표면 확산이라는 두 가지 과정으로 구분된다. 우선 체적 확산의 경우 서리 결정이 생성되고 있는 곳으로 수증기의 분자들이 그 구배로 인하여 가스 상태의 덩

어리로 전달되는 과정이고, 표면 확산의 경우는 승화된 수증기 분자들이 결정격자 내에서 응집되는 과정이다.

서리층의 성장과정은 주변조건(냉각면의 온도, 공기의 유속, 공기의 온도와 습도 등)에 따라서 많이 달라진다. 서리가 형성되는 과정은 Fig. 2와 같다.

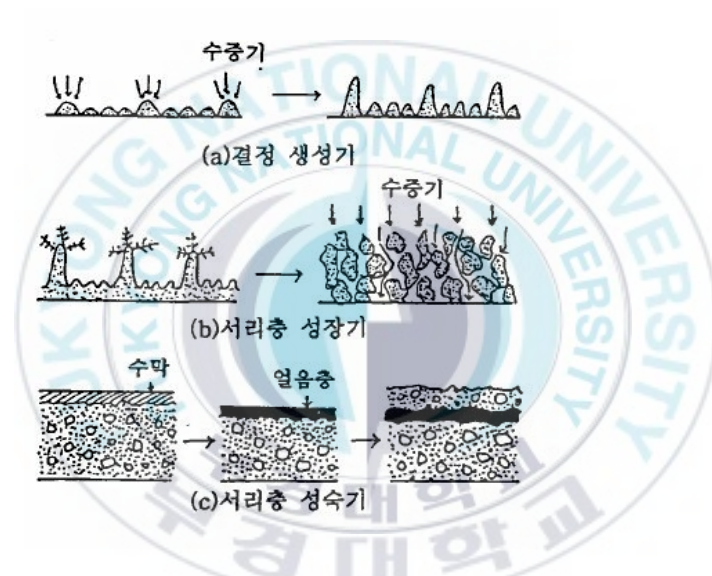


Fig. 2 Growth process of frost layer

(1) 결정 성장기 (Fig. 2 (a))

공기의 수증기 분압과 표면의 포화 수증기 분압차가 상변화를 일으키는 원인으로 작용하여 서리의 핵이 만들어지고 서로 다른 형태를 가지는 결정들이 성장하여 처음으로 서리의 얇은 막이 저온의 열원면을 덮게 된다. 이렇게 서리의 얇은 막이 저온의 열원면을 덮을 때 수증기는 농도구배가 큰 쪽으로 쉽게 모인다. 그리고 그 부위에 집중적으로 수증기가 착상이 된다. 이 때 물질전달률이 낮을수록 서리 기둥들 사이의 간격은 좁아지며 성장률은 감소한다. 이 기간 동안 서리의 밀도는 핵의 수에 의해서 결정되어진다.

(2) 서리층 성장기 (Fig. 2 (b))

결정 성장기에서 형성된 기둥이 기둥의 상단부위에 가지를 형성하고 결정끼리 상호 간섭하여 서리층의 형태를 변형시키며 서리층 표면이 편평해질 때까지 균일한 서리층으로 성장을 한다. 일차원적으로 성장할 때 보다 서서히 성장을 하며, 서리층 내의 밀도는 증가하게 된다. 물질전달률이 높을수록 즉, 과포화도가 클수록 고밀도의 서리층이 생성되며, 이때 성장률 또한 증가한다.

(3) 서리층 성숙기 (Fig. 2 (c))

서리층의 표면 온도가 0℃에 도달한 후의 과정으로써 표면에 서리로서 결정되지 않고 응축에 의한 물방울과 이에 따른 수막

(water film)이 형성된다. 이 물이 다공성 서리층을 침투하면서 과냉각 서리층의 영향을 받아 얼음층(ice layer)으로 변화하게 된다. 이 결빙이 서리의 밀도를 갑자기 증가시키고 이로 인하여 열저항이 급격히 감소하게 되므로 다시 얼음층 위에 서리가 착상되기 시작한다. 수막형성, 침투, 결빙, 착상의 과정이 주기적으로 반복되어 서리층의 밀도가 높아지고 단단해 진다.



2. 실험장치

실험은 B/F(Bottom freezer)형 냉장고를 이용하여 실험을 하였다. 아래의 Fig. 3은 실험에 사용한 B/F형 냉장고의 모습과 실험 과정에서 사용하면서 발생한 냉동실 내부의 결빙현상을 보여준다.

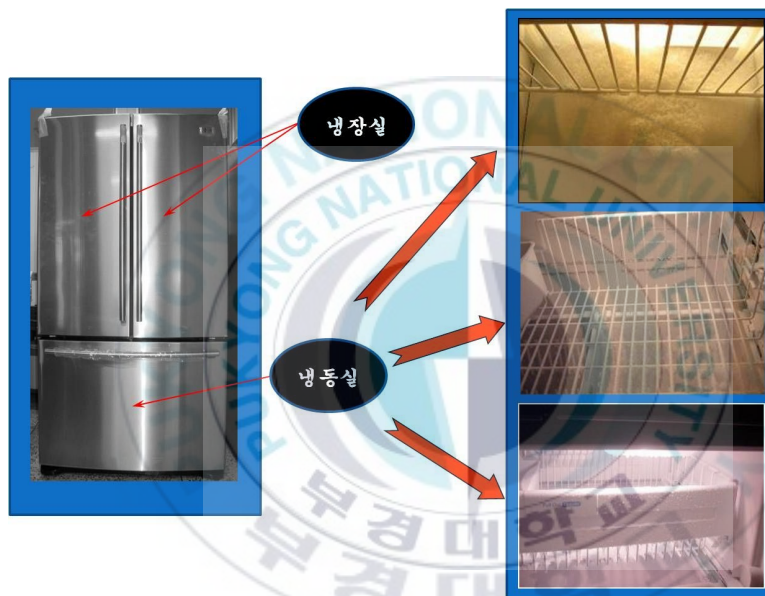


Fig. 3 B/F refrigerator

냉장고의 냉동실의 온도와 결빙상태를 파악하기 위해서는 몇 가지 실험을 위한 장치가 필요하다. 우선 냉장고의 실험을 하기 위해서는 실험 조건을 만족시킬 수 있는 Chamber가 필요하다.

Chamber는 냉장고의 결빙실험을 하는데 있어서 가장 중요한 실험장치중의 하나로써 Chamber내부에 냉장고를 설치하고 항온항습장치를 이용하여 내부 환경을 설정할 수 있으므로 계절이나 상황에 맞는 환경을 재현해 내는 역할을 한다. 현재 실험에 사용한 Chamber의 크기(m)는 2.65×3.48이며 면적(m²)은 9.22이며 층고(m)는 2.97이다. Chamber의 용도는 냉장고 실험용도로 사용하고자 하며 1~2대를 실험할 수 있도록 설치되어져 있다. 다음 Fig. 4는 실험에 사용한 Chamber의 내부를 보여주며 Fig. 5는 Chamber내의 온도나 습도와 같은 환경을 조절 할 수 있는 항온항습장치를 보여 주고 있다.



Fig. 4 Photograph of inner chamber

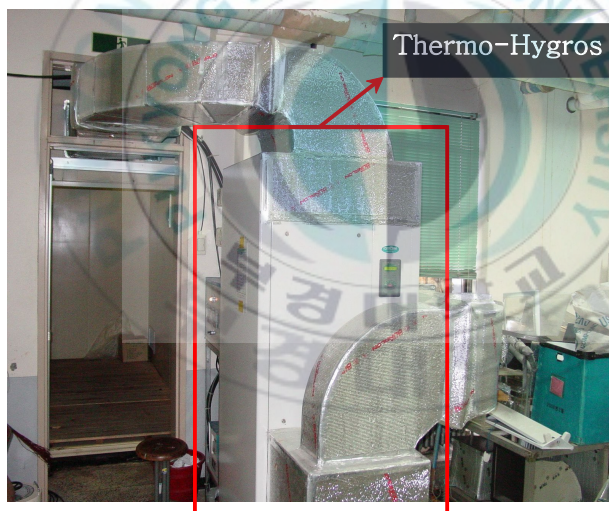


Fig. 5 Photograph of thermo-hygrostat

또한 냉동실의 내부 벽면에서의 온도와 결빙량을 측정을 하기 위해서 온도를 측정할 수 있는 센서와 데이터를 받을 수 있는 데이터로그를 사용하였다. 센서를 선정하는데 있어서 본 실험은 저온의 냉동실 내부의 온도를 측정하기 때문에 $-200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 가지는 T형 열전대를 사용하여 온도를 측정하였다. 데이터로그의 채널수는 60개이며 10(채널) $\times$ 6(슬롯)으로 이루어져 있다. 실험시 사용한 채널의 개수는 56이며 컴퓨터를 통해서 데이터를 저장하였다. 아래의 Fig. 6은 열전대와 데이터 로그를 보여주고 있다.



Fig. 6 Photograph of T-type thermocouple and data log

냉동실에서 발생하는 결빙의 정도를 정량화하기 위해서 결빙량을 전자저울을 통해서 측정을 하였다. 결빙량의 측정에 사용된 전자저울은 CAS사의 제품이며 사용범위는 0.4~200g이며 1논의 값은 0.01g을 나타낸다. 다음 Fig. 7은 결빙량의 측정에 사용되어진 전자저울의 그림이다.



Fig. 7 Photograph of electronic scale

3. 실험방법

실험을 하는데 앞서 실험공간을 확보를 하여야 하는데 이 실험 공간은 실험의 결과에 많은 영향을 미친다. 실험을 하는 공간이 밀폐냐 개방이냐에 따라서도 실험의 결과는 바뀔 것이며 실험공간의 크기에 따라서도 그 결과는 어느 정도 변화가 생길 것이기 때문이다.

우리는 본 실험에서 Chamber내부에 냉장고를 설치하여 실험을 시행하였다. Chamber와 그 안에 냉장고를 설치하는데 있어서 실험 조건을 충분히 만족 시켜야 정확한 실험 결과를 도출해낼 수 있다.

우선 Chamber내에 냉장고를 설치하는 규격은 다음과 같다.

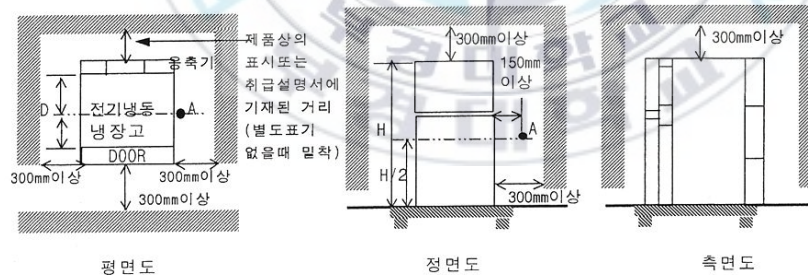


Fig. 8 Set up a refrigerator in chamber

Chamber내부의 냉장고를 설치하는데 있어서 냉장고는 높이 $100\pm 10\text{mm}$ 의 평평한 시험대(나무대)위에 설치하고 시험대의 크기는 냉장고의 각 변으로부터 $300\sim 600\text{mm}$ 의 공간을 가져야 한다. 냉장고의 각 측면, 전면 및 천정은 공기의 자연대류를 방해하지 않도록 Fig. 8에 나타난 것과 같이 공간을 두어야 하며 제품상의 표시 또는 취급설명서에 기재된 거리를 두고 설치를 해야 한다.

우선 실험 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 냉동실내의 각각의 벽면에 대한 온도를 측정하는 방법이며, 두 번째는 냉동실에 악조건을 가하여 결빙을 형성시키는 것이다. 마지막으로 세 번째는 이렇게 두 번째 실험을 통해서 형성된 결빙의 양을 정량화 시키는 것이다. 냉동실의 실험을 하는 방법은 이미 KS 나 Australian Standard, British Standard와 같은 곳에 정해져 있다. 위의 실험방법은 KS C 9305와 KS B 8561에 의거한 것이다. 우선 냉동실의 온도측정 실험방법은 다음과 같다.

가. 온도측정 실험방법

- (1) Chamber의 온도는 4계절 중 가장 습하고 온도가 높은 여름을 기준으로 한다. 이때의 온도는 $30\pm1^{\circ}\text{C}$ 로 설정을 하며, 습도는 $87\pm2\%$ 로 설정을 한다.
- (2) 냉장고내의 온도를 측정하기에 앞서 냉장고의 작동을 중지시키고 냉장고내의 온도와 Chamber내부의 온도가 동일해 질 때 까지 2~3시간정도 안정화를 시킨다.
- (3) 냉장고의 냉동실에서의 온도분포를 측정하기 위해서 앞서 준비해 놓았던 T형의 열전대를 이용하여 측정하고자 하는 지점에 열전대를 설치한다. (본 실험에서는 냉동실의 안쪽벽면에 56개, 천정에 32개, 바닥에 24개, 좌우측면에 40개의 포인트를 두었다.)
- (4) 냉장고의 운전은 냉동실내부와 Chamber내부의 온도가 거의 같아졌을 때를 시작으로 하여 약 14시간동안 냉장고를 가동을 시키고 이 14시간동안의 데이터를 원하는 시간단위로 기록을 한다.

나. 결로 결빙 실험방법

- (1) 무 부하의 냉장고를 정격전압으로 운전시켜 냉장고 내 온도가 안정되어 압축기가 단속이 들어가면 첫 번째 제상이 완료된 것을 확인하고 냉동실을 개폐하여 실험을 실시한다.
 - (2) 일정한 시간에 맞추어서 냉동실을 개폐하고 냉동실의 개폐시간은 횟수 당 10초씩이며, 냉동실 문의 개폐정도는 최대한 개방시키는 것으로 한다.
 - (3) 10시간 냉동실의 개폐실험을 완료 후 8~10시간 정도 냉동실 문을 닫고 냉장고 냉동실의 내부를 안정화 시킨다.
 - (4) 냉장고 내의 결빙 정도를 확인하고 기록을 남기며 결빙량을 측정한다.
- 냉동실의 개폐시간 : 10시간(개폐), 8~10시간(개폐 없이 안정화)
 - 냉동실의 개폐횟수 : 총 40회 10초간 개방/ 15분 (10시간 개폐 실험기준)

다. 결빙정도의 정량화 방법

- (1) 우선 전자저울을 이용하여 마른 휴지의 무게를 측정한다.
- (2) 전자저울을 통해서 측정된 휴지를 이용하여 냉동실 내의 각 면에서 생성된 결빙들을 닦아낸다.
- (3) 결빙들을 흡수한 젖은 휴지를 다시 전자저울을 통해서 그 무게를 측정한다.
- (4) 1번에서 측정된 무게와 3번에서 측정된 무게의 차를 이용하여 결빙량을 정량화시키고 데이터화 한다.

이와 같은 방법으로 실행되어진 실험결과를 토대로 다음 III장에서는 냉동실의 각각의 면에서의 온도분포와 결빙정도를 볼 것이며 냉동실내의 온도 변화가 결빙에 미치는 영향에 대해서 알아볼 것이다.

제 III 장 실험 결과 및 고찰

1. 냉동실 내부의 시간에 따른 온도변화

냉장고의 냉동실에서 착상이 일어나는 원인 중에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 온도이다. 일반적으로 가정에서 냉동실을 쓸 때 냉장실은 0°C , 냉동실은 -18°C 로 맞추어서 쓴다. 하지만 냉동실의 경우 -18°C 로 온도를 설정하여도 각각의 부위마다 온도차이가 발생을 한다. 이렇게 냉동실의 내부에서 온도차가 발생을 하면 온도차에 따라서 착상의 정도가 달라지고 결빙현상을 유발하게 되는 것이다.

전반적으로 착상은 공기와 냉각면의 온도차로 인하여 발생을 하게 된다. 따라서 본 실험에서는 냉동실 내부의 온도장과 각 시간에 따른 각각의 면에서의 온도변화를 관찰해보았다. 우선 냉동실에서의 온도변화를 관찰하기 위하여 우리는 총 안쪽벽면(통칭 Grill fan)에 56개, 좌우 벽면에 40개, 바닥에 24개, 천정에 32개의 포인트를 측정을 하였다. 실험은 각각의 면에 대하여 따로 실험이 이루어 졌다. 실험을 통해서 각각의 면에서 온도가 가장 낮은

부분과 온도차이가 가장 심한 부분인 안쪽벽면에 대하여 중점을 두고 연구가 이루어 졌다. 실험의 결과는 냉동실의 내부 벽면, 천정, 바닥, 좌우벽면의 순서대로 정리하였다.



가. 냉동실의 안쪽벽면(통칭 Grill fan)

냉동실의 안쪽벽면(그릴)부분에서는 총 56개의 열전대를 설치하여 온도를 측정 하였으며 그 측정 포인트는 다음 Fig. 3.1.1과 같다.

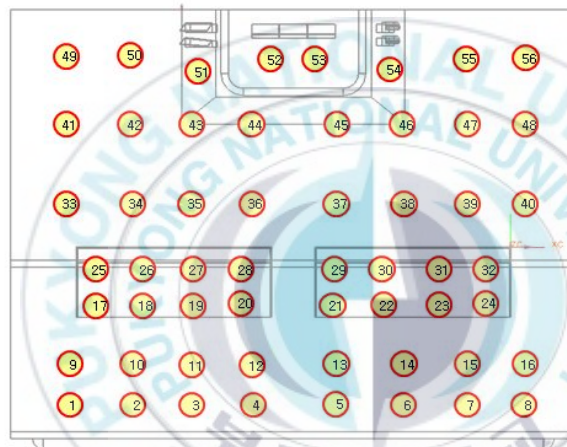


Fig. 9 Data point of temperature at the inside wall(Grill fan) of freezer

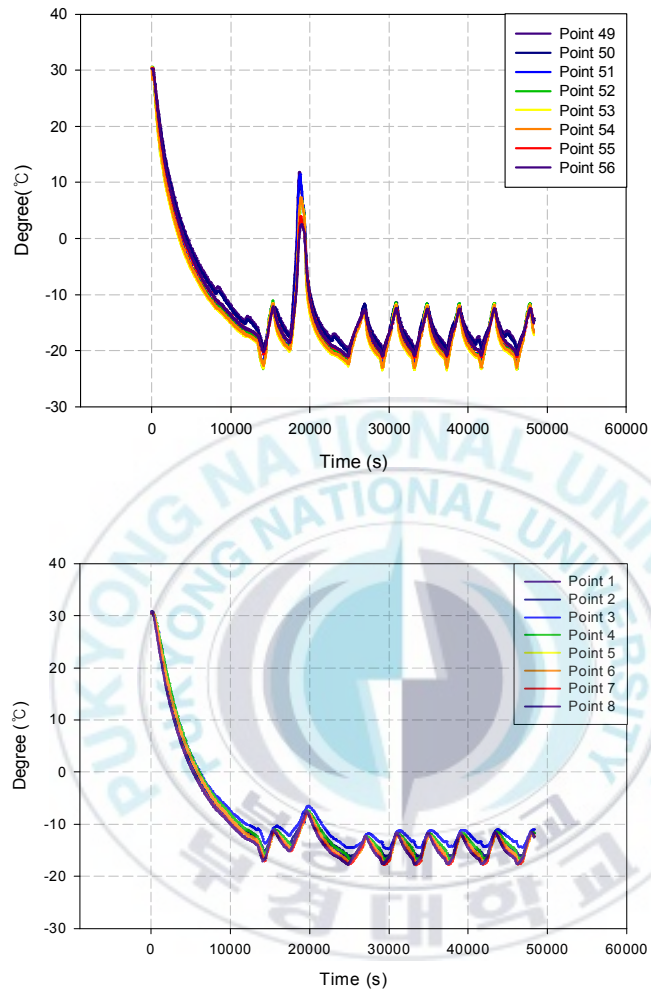


Fig. 10 Changes in temperature graph at the inside wall(Grill fan) in freezer

위 Fig. 10의 그래프를 보면 처음 Chamber내의 실험 조건과 동일한 30℃로 안정화 되어 있다. 이 시점을 기준으로 냉장고의 가동을 시작하면서 온도변화를 관찰하면 다음과 같은 그래프를 볼 수 있다. 위 그래프에서 안정화 된 상태에서 냉동실에 냉기의 투입으로 인하여 온도가 계속적으로 떨어지다 약 17000(s)를 기준으로 온도가 급격히 올라가는 것을 볼 수 있다. 이 타이밍은 제상 타이밍이며 기계실의 증발기에 착상이 되어있는 얼음들을 녹인다. 이 때 냉동실의 49~56 포인트(냉기 토출구 주변)의 온도가 급격하게 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 이때의 온도는 약 13℃ 정도까지 증가를 하게 된다. 이러한 제상 타이밍이 지나고 나면 다시 일정한 주기를 가지고 압축기가 작동과 정지를 시작하게 된다. 이렇게 다시 안정된 주기를 가지고 냉동실의 압축기가 작동을 할 때 냉기 토출구 부근에서의 온도는 최고 -11.5℃에서 최저 -23.5℃까지 약 12℃ 정도의 온도차를 가지는 것을 볼 수 있다.

1~8번 포인트를 나타낸 그래프는 49~56번 포인트의 그래프에 비하여 제상시 온도변화가 매우적은 것을 확인할 수 있다. 제상시 최고 -6℃까지 온도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 이러한 제상 타이밍을 거치고 나면 다시 압축기의 작동과 정지가 주기적으로 일어나며 이러한 주기적인 온도변화는 최고 -11.1℃에서 최저 -17.8℃까지 약 6.7℃ 정도의 온도차를 가진다.

제상 주기에서 냉기 투입구 쪽이 안쪽벽면 하단부에 비하여 온도가 훨씬 높게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이것은 제상시 증발기의 착상을 녹이기 위하여 발생한 열원이 증발기 주변 공기의 온도를 높이게 되며, 이러한 고온의 공기가 냉기 투입구 쪽을 통해서 냉동실의 고내로 투입이 된다는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상이 일어나기 때문에 제상시 냉기 투입구에서 가까울수록 온도가 높게 나타난다는 것을 관찰할 수 있었으며, 냉기가 냉동실로 투입시 안쪽벽면의 상단부에 비하여 하단부로 냉기의 유동이 약하게 나타난다는 것을 보았을 때 냉기가 냉동실 내부에서 고르게 순환하지 못한다는 것을 알 수 있었다.



나. 냉동실의 천장

냉동실의 천장에서는 총 32개의 열전대를 설치하여 온도를 측정 하였으며 그 측정 포인트는 다음 Fig. 11과 같다.



Fig. 11 Data point of temperature at the ceiling of freezer

냉동실의 천정에는 램프가 설치되어져 있다. 그 위치는 좌측 상단 즉 좌측 냉동실의 문 근처에 설치가 되어져 있다. 하지만 온도 변화 실험에서는 냉동실의 문을 개폐하지 않기 때문에 램프 때문에 생기는 열원은 없다고 가정을 한다.

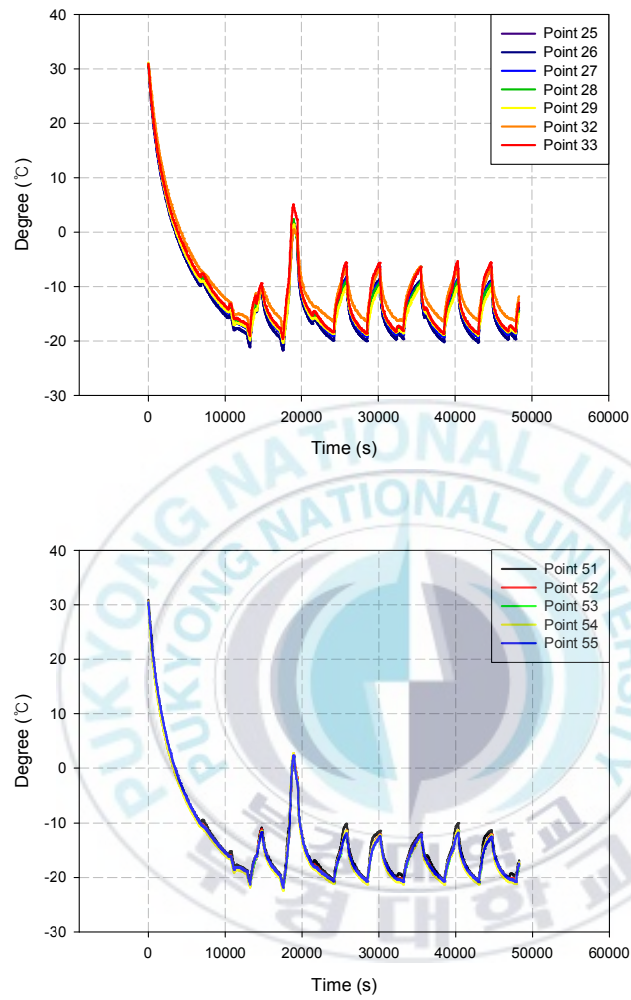


Fig. 12 Changes in temperature graph at ceiling in freezer

Fig. 12를 보면 제상시 온도가 약 $3^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 까지 상승을 하는 것을 볼 수 있다. 이렇게 상승하는 온도는 냉동실의 안쪽벽면 냉기 토출구의 주변 온도인 13°C 만큼 상승하는 것은 아니지만 냉기 토출구를 통해서 증발기에서 생성되는 고온의 공기가 들어오는 것에 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다. 또 하나의 특징은 두 그래프를 보면 압축기가 작동되어 냉동실내의 온도가 낮아질 때 최저 온도는 약 -20°C 정도로 비슷하게 나타났으나 압축기가 정지되어 냉동실의 온도가 상승을 할 때는 그래프에서 보다시피 25~33번 측정지점에서의 온도는 약 -5°C 이며, 51~55번 측정지점에서의 온도는 약 -10°C 로써 냉동실의 문으로 갈수록 그 온도가 더 높다는 것을 볼 수 있다. 결론적으로 냉동실의 천장에서의 온도변화를 보았을 때 천정의 냉동실문 쪽에 가까울수록 압축기의 작동과 정지시 온도변화가 크다는 것을 알 수 있었으며 이로 인하여 천장의 냉동실 문에서 결빙이 생길 확률이 높다는 것을 알 수 있었다.

다. 냉동실의 바닥

냉동실의 바닥에서는 총 24개의 열전대를 설치하여 온도를 측정 하였으며 그 측정 포인트는 다음 Fig. 13과 같다.

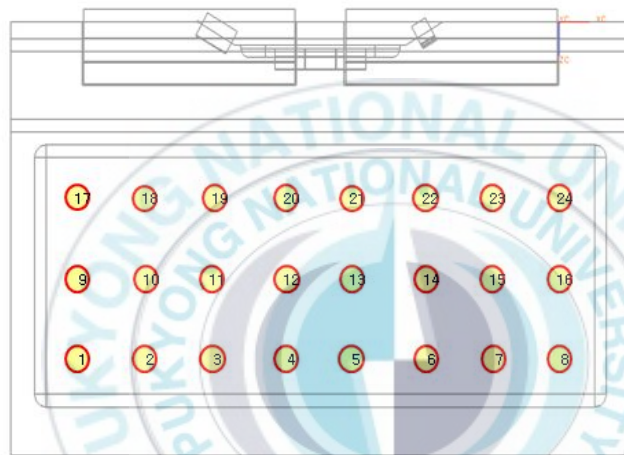


Fig. 13 Data point of temperature at the bottom of freezer

아래의 Fig. 14는 냉동실 바닥에서의 평균 온도변화를 나타낸 그래프이다.

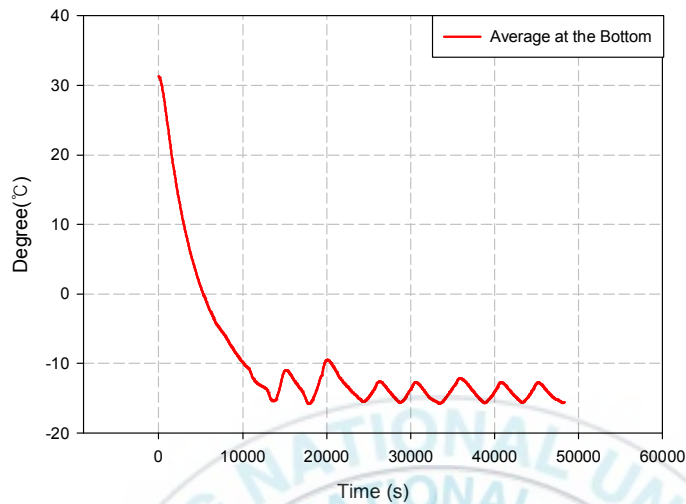


Fig. 14 The average graph of changes in temperature at the bottom in freezer

제상시 바닥에서의 온도는 약 -9°C 까지 평균적으로 상승을 한다. 이는 0°C 이하의 낮은 온도으로써 결빙의 생성되는 조건에 만족을 하지 못한다는 것을 알 수 있었다. 압축기가 작동과 정지를 반복하는 안정된 주기에서는 바닥의 온도는 평균적으로 최고 -11.4°C 에서 최저 -17.9°C 까지 6.5°C 정도의 온도차를 가진다. 이러한 온도차는 다른 부위에 비하여 비교적 작은 온도차로써 결빙 형성에 큰 영향을 미치지 못할 것이라는 것을 예상할 수 있다.

라. 냉동실의 좌우측면

냉동실의 좌우측면에서는 총 40개의 열전대를 설치하여 온도를 측정 하였으며 그 측정 포인트는 다음 Fig. 15와 같다.

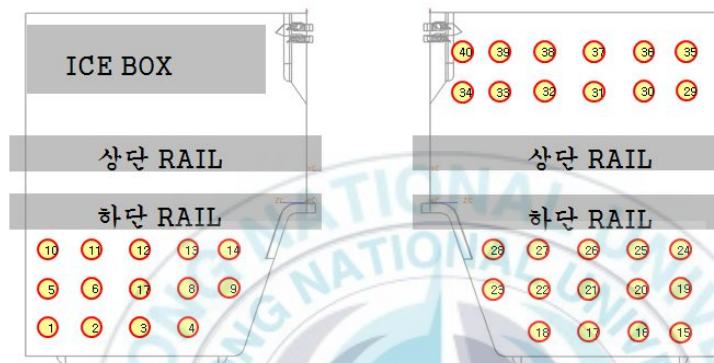


Fig. 15 Data point of temperature at the side wall of freezer

냉동실의 좌우측면을 보면 구조물이 설치되어 있다. 냉동실의 좌우측면에는 상단레일과 하단레일이 각각 설치되어 있다. 그리고 좌측상단 면에는 제빙기가 설치되어 있다. 또한 좌우측면의 하단부분은 약간 경사진 모양을 하고 있다.

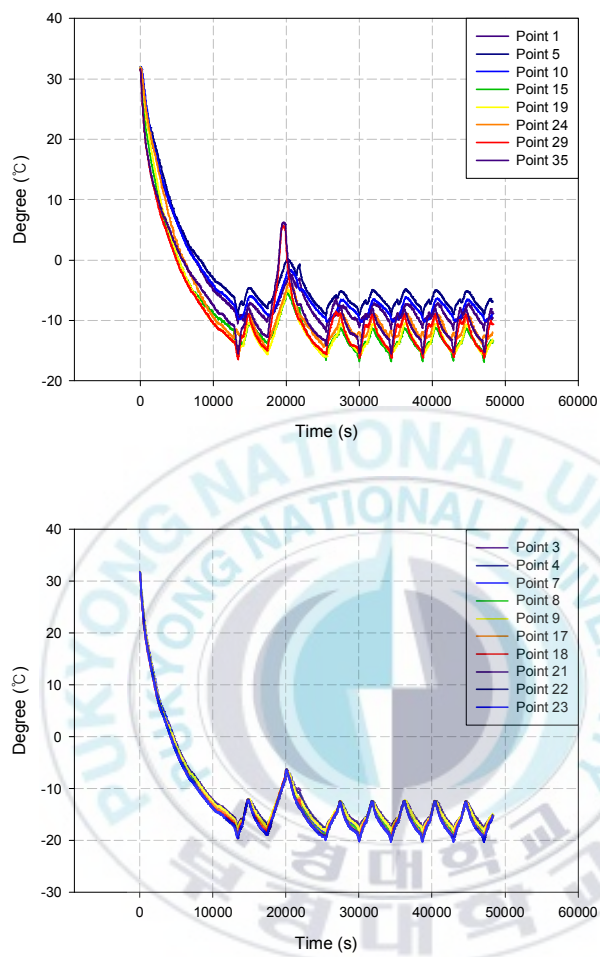


Fig. 16 Changes in temperature graph at the side wall in freezer

냉동실의 좌우측면의 경우 Fig. 16에서 볼 수 있듯이 안정화된 압축기의 작동과 정지주기에서 최고/최소 온도차가 8℃내외로써 그 정도가 매우 작다는 것을 알 수 있었다. 따라서 냉동실의 좌우 측면에서는 비교적 열전달과 물질전달이 적게 일어날 것이며 따라서 결빙상태가 적게 일어날 것을 예측 할 수 있다.



2. 냉동실의 시간에 따른 온도장의 변화

온도변화의 원인을 추론하고자 실험데이터를 토대로 하여 온도장을 분석해 보았다. 아래의 Fig. 17은 냉동실을 가동하여 안정화가 되었을 때 압축기의 작동과 정지주기에 따른 온도변화를 나타내어 준다. 그림은 순서대로 1, 2, 3, 4, 5로 이루어져있다.

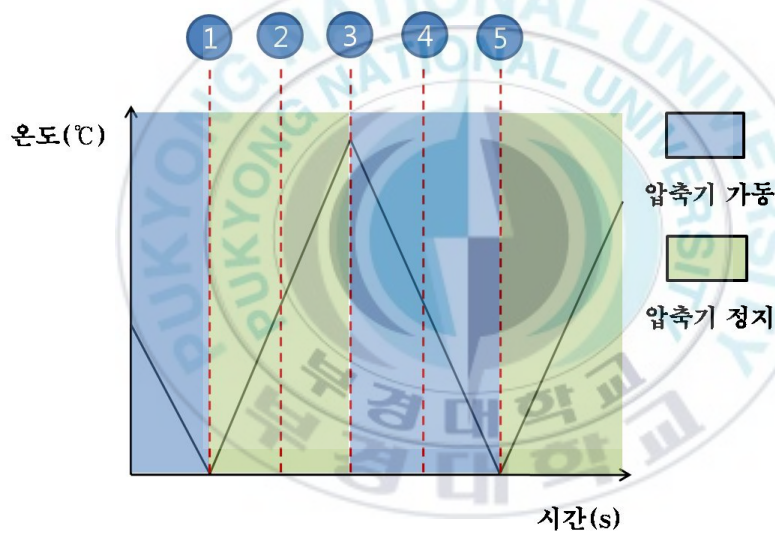
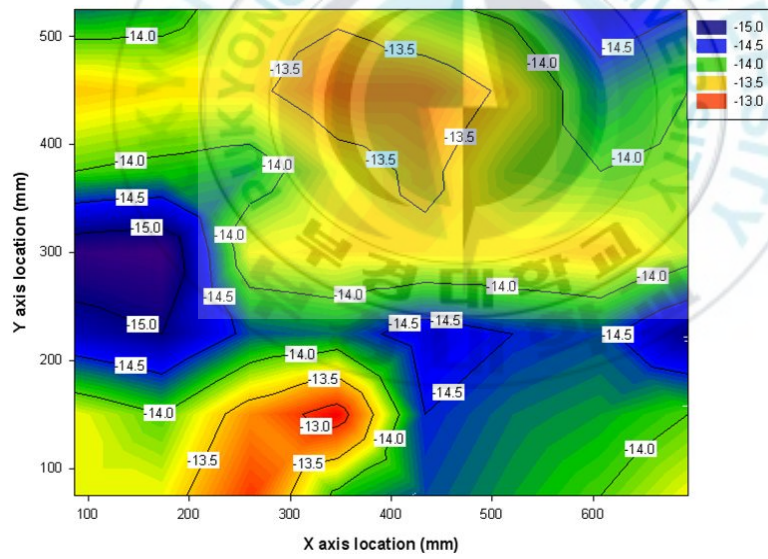
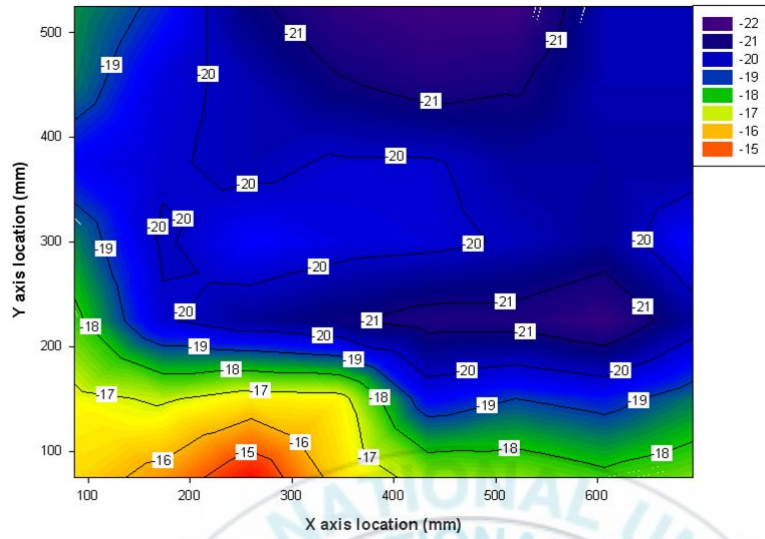
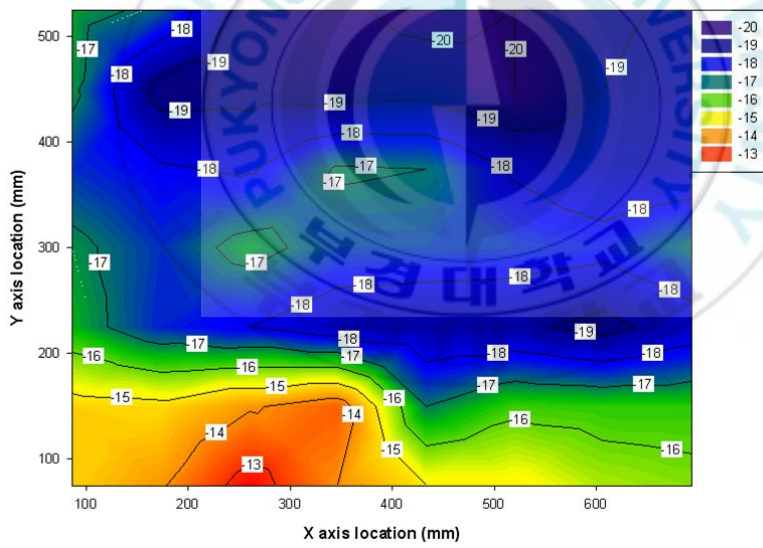
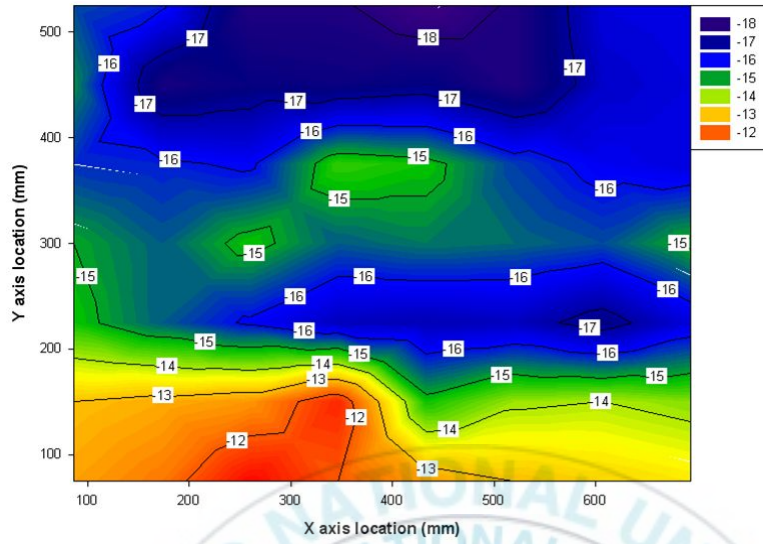


Fig. 17 Located of temperature fields at the
compressure On/Off





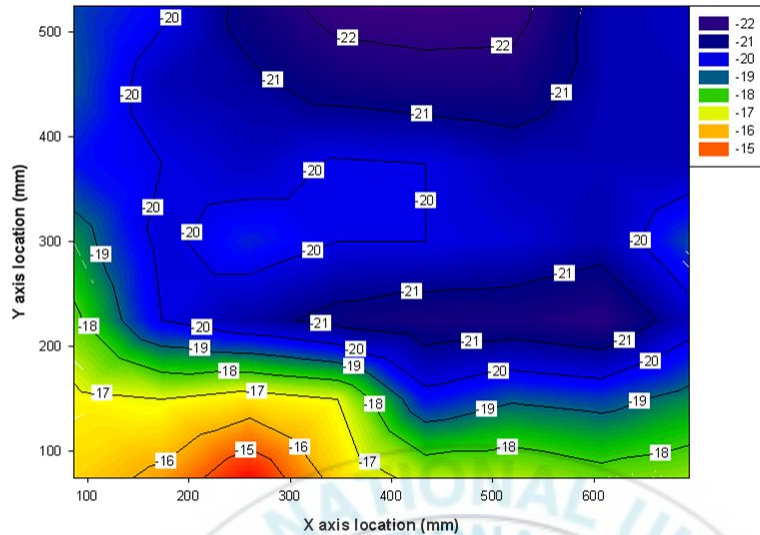
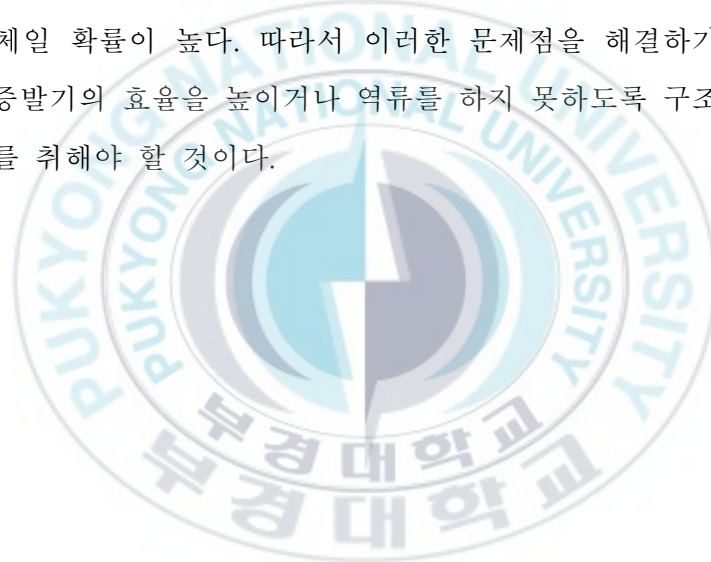
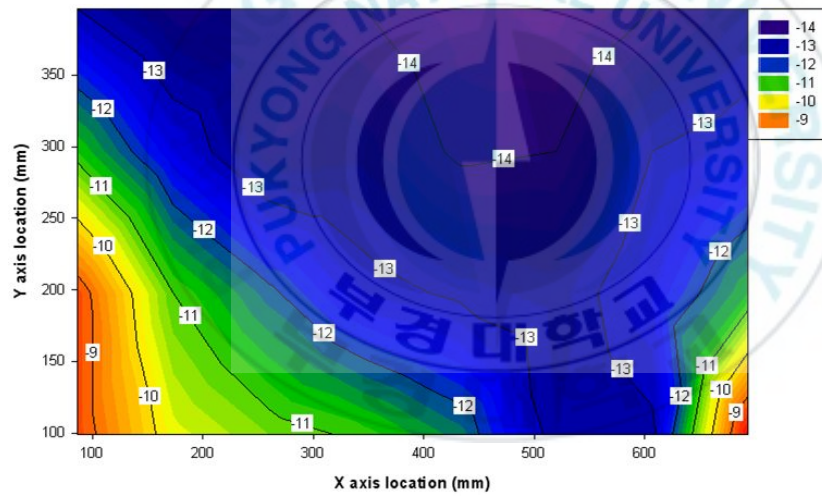
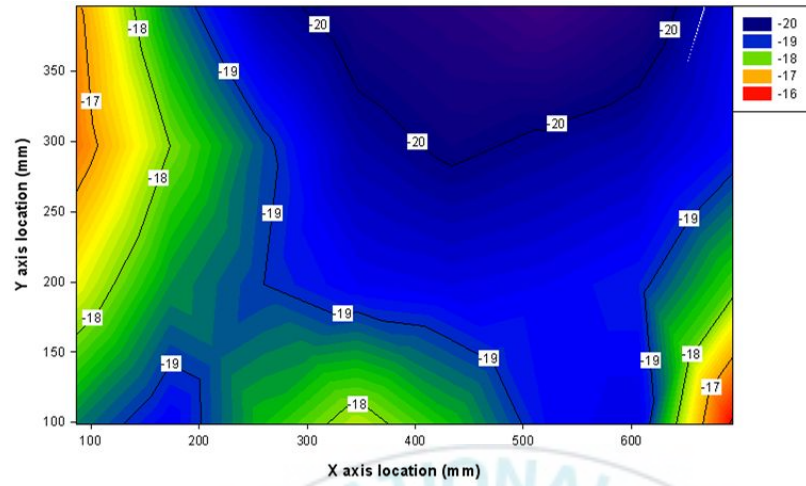


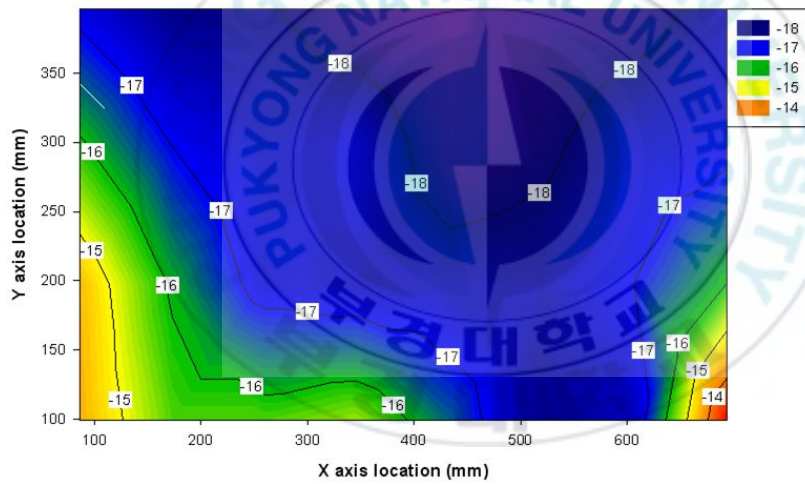
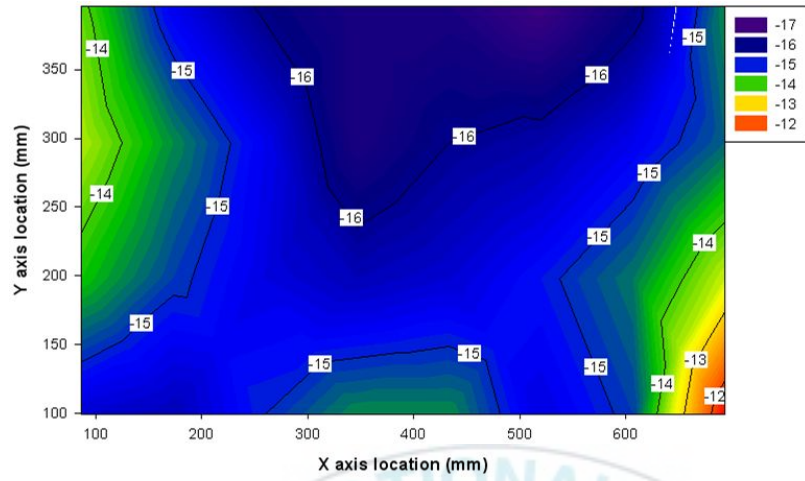
Fig. 18 Temperature fields at the inside wall(Grill fan)
of freezer

Fig. 18은 냉동실의 안쪽벽면(통칭 Grill fan)전체에서의 시간에 따른 온도 변화를 보여주고 있다. 이 온도장에서 냉기의 흐름이 상단부에 집중이 되고 있으며 하단부로 갈수록 온도가 높아지고 있는 것을 확인 할 수 있다. 2번째 그림은 압축기가 정지된 상태에서 냉동실 안쪽벽면에서의 온도장을 보여주고 있다. 이 온도장을 보면 냉기 투입구 쪽의 온도가 주위에 비하여 1~1.5℃정도 높은 것을 볼 수 있다. 이는 압축기가 정지하는 순간 냉기투입구주

변으로 하여 어떠한 열이 발생한다는 것을 예상할 수 있는데, 이러한 원인은 냉동실로 우선적으로 투입되어진 공기가 어느 정도의 온기를 가지고 출구로 빠져나온 후 다시 냉동실내로 침투한다는 것을 보여준다. 이러한 온기의 투입은 고내의 높은 온도변화를 야기하며 이로 인하여 높은 온도차가 일어나는 위치에서 열전달과 물질전달에 의한 상변화가 형성되고 착상이 일어나 결빙이 형성되게 된다. 이렇게 냉기 투입구를 통하여 역류하는 고온다습한 공기는 일반적으로 증발기에서 착상을 시키지 못하고 남은 잔존하는 기체일 확률이 높다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 증발기의 효율을 높이거나 역류를 하지 못하도록 구조적인 조치를 취해야 할 것이다.







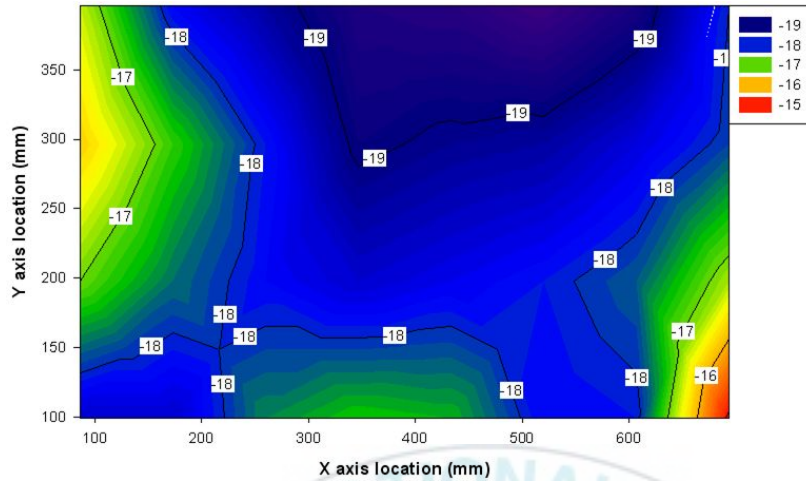


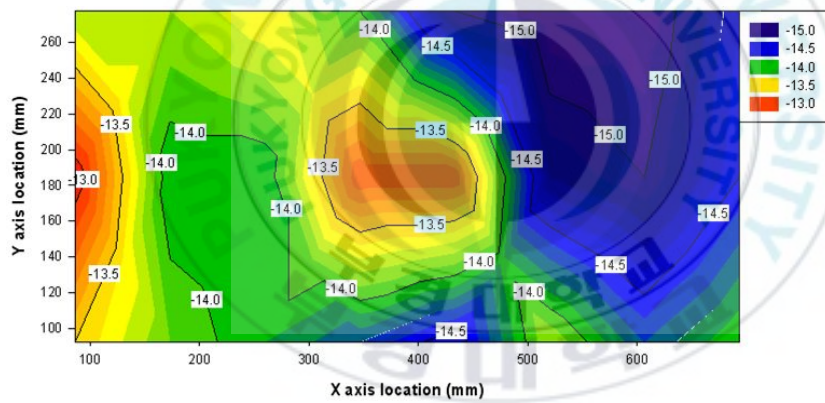
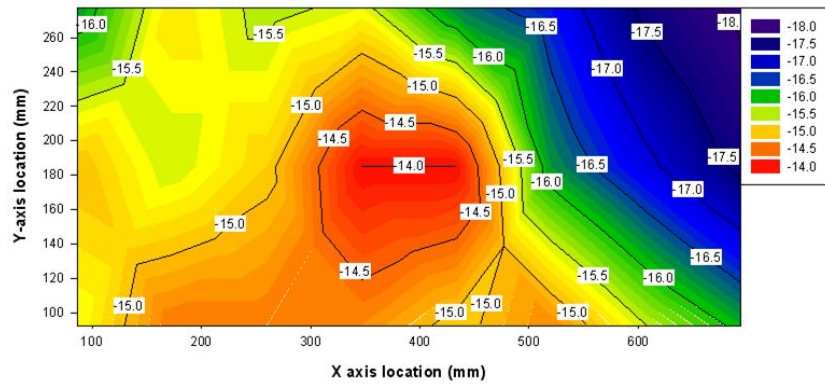
Fig. 19 Temperature fields at the ceiling of freezer

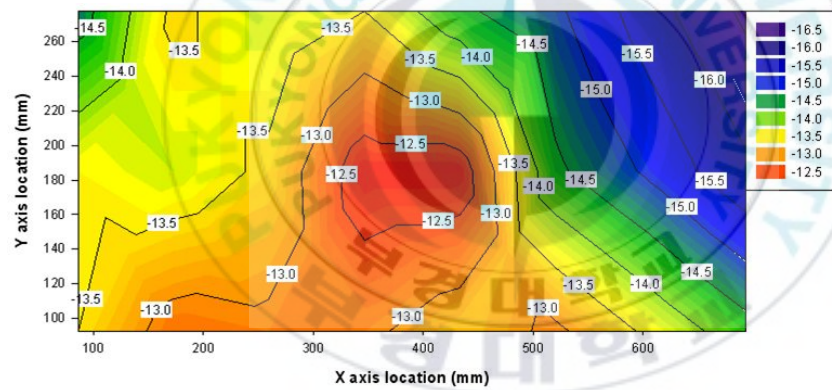
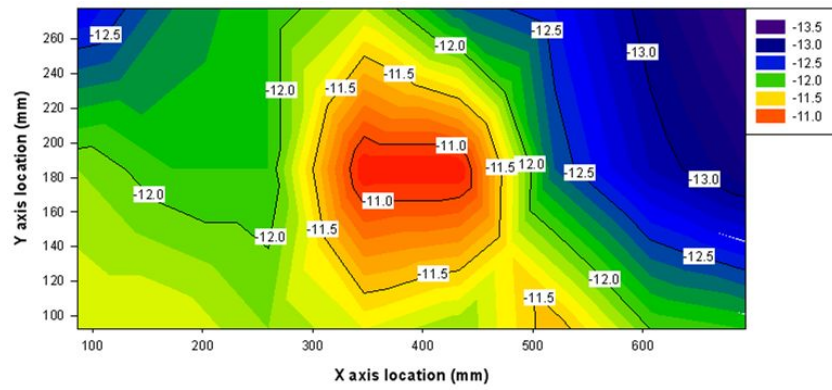
다음 Fig. 19를 보면 천장에서의 온도장 변화를 알 수 있다. 전반적인 온도장을 보았을 때 천장에서의 온도변화는 평균 3~4℃ 정도로써 안쪽벽면(통칭 Grill fan)에 비하여 매우 적다는 것을 관찰 할 수 있다. 하지만 압축기가 정지되는 2번째 그림을 보면 냉동실 문의 좌우측벽면으로 하여 온도가 상승하는 것을 볼 수 있는데 이는 여러 가지 원인이 있을 수 있겠으나 냉동실을 순환하여 흡입구로 빠져 나가야 하는 공기가 냉동실의 천정 좌우 벽면 근처에서 재순환영역을 형성하고 있다고 볼 수 있다.

결론적으로 천장에서의 온도 변화는 매우 적은 것으로써 비교적

고르게 냉기가 분포 하고 있다고 볼 수 있다. 압축기의 작동과 정지주기에 따른 온도의 변화가 결빙에 어느 정도 큰 영향을 미치는지는 3.3절에 나타나있는 결빙실험을 토대로 하여 온도장과 비교해 볼 것이다.







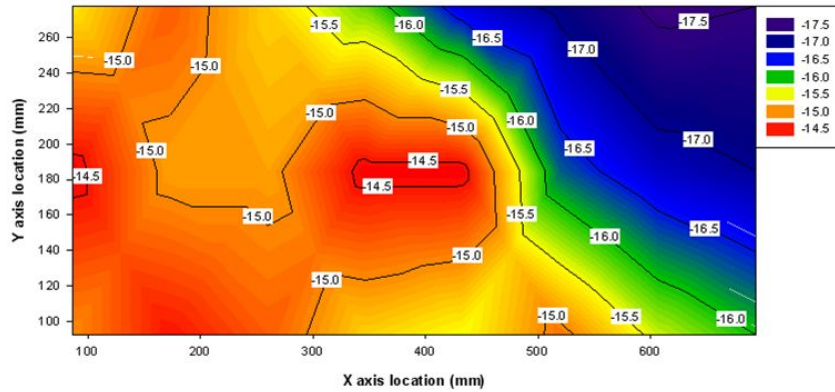


Fig. 20 Temperature fields at the bottom of freezer

다음 Fig. 20은 바닥에서의 온도장을 압축기의 작동과 정지주기에 따라 5단계로 그려놓은 것이다. 우선 전반적인 온도장을 살펴보면 바닥에서는 좌측 하단부에서 우측상단부로 갈수록 온도가 낮아지는 것을 발견할 수 있다. 또한 바닥의 중앙에 원형으로 온도장이 항상 높게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이것은 냉동실의 바닥이 Basket과 가장 가까이 위치해 있으며 그 공간이 매우 좁은 관계로 그 지점에서 유동이 원활하지 못하여 재순환영역이나 와동이 발생하고 있다고 생각할 수 있다. 냉기의 정체영역이라고 하면 오히려 저온의 영역이 되어야 한다고 생각할 수 있으나 냉동실의 하단부는 냉기 토출구를 통해서 나온 저온 건조한 공기가

냉동실내의 온도와 수분을 가지고 다시 증발기로 흡입이 되기 때문에 오히려 온도와 습도가 높다고 볼 수 있다. 하지만 이러한 원형의 온도장은 주변에 비하여 그 온도가 0.5~1℃정도 높기 때문에 결빙의 형성에 크게 영향은 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 결론적으로 바닥에서의 온도장을 보았을 때 바닥 부분에서는 온도변화가 그리 크지 않는다는 것을 볼 수 있었으며 결빙 또한 심하게 일어나지 않을 것이라는 것을 알 수 있다.



3. 냉동실 결빙정도의 정량화

본 실험에서는 냉동실내 각각의 면에서 일어나는 결빙의 정도를 정량화하여 어느 면에서 가장 심각한 결빙이 발생하는지를 알아보았다. 면은 크게 7부분을 측정하였다. 실험은 2차에 걸쳐서 이루어졌으며, 평균값을 이용하여 표를 만들었다. 우선 다음의 Table 1은 결빙량을 나타낸 것으로 1차와 2차와 평균값을 나타낸 것이다.

Table 1 Amount of frost in the freezer

결빙 측정 면	결빙량(g) -1차-	결빙량(g) -2차-	평균 결빙량(g)
Basket	44.3	48.5	46.4
Drawer	10.21	9.27	9.74
냉장고 문	3.54	2.9	3.22
바닥	10.84	12.36	11.6
천장	1.12	1.5	1.31
Rail	4.58	4.46	4.52
안쪽벽면(Grill)	10.34	11.68	11.01

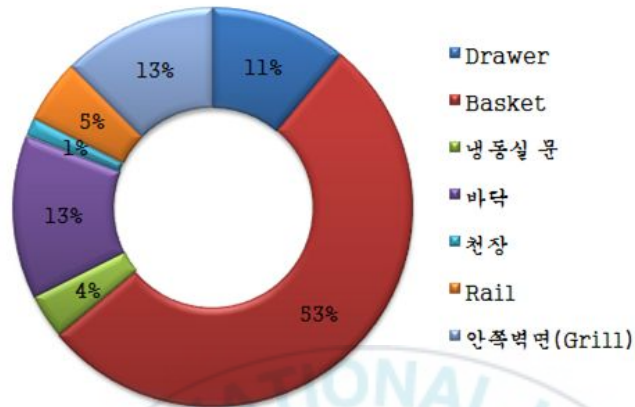


Fig. 21 Distribution chart of frost in the freezer

위의 Table 1을 보면 Basket (하단바구니)에서 가장 많은 결빙이 생성되는 것을 볼 수 있다. 그 양은 Fig. 21에서 보다시피 냉동실 전체 결빙량의 53%를 차지한다. 이렇게 많은 양의 결빙이 Basket에서 일어나는 이유는 냉장고의 문을 개방했을 때 외부의 고온다습한 공기가 냉동실로 투입되면서 박스에서 담겨지기 때문이라고 생각할 수 있다. 그러나 Basket에서 결빙이 가장 많이 일어나는 부분을 살펴보면 우리가 육안으로 관찰하기 힘든 뒤쪽 면이나 바닥면이라는 것을 알 수 있다. 그 이유는 냉장고의 문

을 열었다가 닫았을 때 냉동실의 공간과 Basket의 빈 틈 부분에서 고온다습한 공기의 정체 영역이 형성되고 이로 인하여 냉동실이 다시 차가워짐에 따라 이 부분에서의 결빙이 심하게 일어난다고 볼 수 있다. Fig. 22는 실험에서 나타난 Basket에서의 결빙을 찍은 사진이다.

다음으로 많은 결빙량을 가지는 부분은 바닥과 안쪽벽면(통칭 Grill fan)부분이다. 이 두 부분은 각각 전체의 13%를 차지하고 있다. 우선 안쪽벽면의 경우 앞서 온도변화그래프와 온도장에서 살펴보았듯이 온도변화도 큰 부분이며 가장 온도가 낮은 부분에 한곳이다. 이렇게 온도변화가 큰 부분에서는 우선적으로 물질전달률의 상승으로 인한 상변화가 활발히 일어난다. 이렇게 활발한 상변화로 인하여 생긴 수분들이 차가운 면에서 다시 얼어붙게 되며 이러한 과정을 거듭할수록 결빙의 밀도는 더욱더 높아지게 된다. 착상의 메커니즘에 따르면 물질전달률이 높아질수록 결빙의 밀도는 커지며 그 속도 또한 증가하게 된다. 따라서 온도그래프와 온도장을 관찰하여 결빙정도와 연관 지을 때 큰 폭의 온도변화는 결빙이 성장하는데 있어서 많은 영향을 미친다는 것을 알아 볼 수 있다. Fig. 25와 Fig. 26은 실험에서 나타난 안쪽벽면에서의 결빙을 찍은 사진이다.

바닥의 경우 온도변화와 온도장을 보았을 때 온도변화가 적은

부분이다. 하지만 결빙량의 측정결과 13%라는 높은 결과가 나왔는데 이것은 바닥부분에서의 직접적인 착상으로 인한 결과라고 볼 수 없었다. 바닥에서의 결빙의 원인은 안쪽벽면에서 생성된 수분들이 벽면에서 착상되어 결빙을 일으키지 못하고 벽면을 타고 흘러내린 수분들이 바닥에 모여서 서서히 결빙이 된 것이라고 볼 수 있다. Fig. 27은 실험에서 나타난 바닥에서의 결빙을 찍은 사진이다.

다음으로 전체 결빙의 11%를 차지하는 Drawer(상단 바구니)를 살펴보자. Drawer는 커버부근과 댕살로 이루어진 물건을 담아 놓을 수 있는 공간을 말한다. Drawer의 경우 일반적으로 냉동실의 문을 열었을 때 외부 공기와 가장먼저 접하게 되는 부분이다. 따라서 영하로 떨어져 있던 Drawer가 고온다습한 외기공기와 만나면서 상변화가 일어나며 이렇게 기체에서 액체로 상변화한 수분은 다시 냉동실을 닫았을 때 차가운 냉기와 접하면서 착상이 일어나게 된다. 이러한 결빙현상은 특히 Drawer의 커버에서 많이 발생을 하며 비교적 댕살로 이루어진 부분은 단면적이 좁은 관계로 고드름과 같이 수분이 맺힌 상태에서 결빙이 이루어진다. Fig. 23은 실험에서 나타난 Drawer에서의 결빙을 찍은 사진이다.

다음은 냉장고의 Rail에서 5%정도의 결빙이 나타났다. Rail의

경우 냉동실의 문을 열고 닫을 때 가이드 역할을 하며 문을 닫았을 때 스프링의 힘으로 문을 당겨서 밀폐를 시킬 수 있도록 고안되어져있다. 하지만 결빙실험을 하는 동안 냉동실의 문을 40회 열었다 닫는 과정에서 Rail의 결빙으로 인하여 문에서 구속이 발생을 하는 것을 관찰할 수 있었다. Rail의 경우 금속으로 이루어져 있기 때문에 열전달률이 매우 높다. 따라서 결빙이 Rail부위에서 많이 발생을 하며 그로 인하여 시간이 지남에 따라 냉동실의 문을 구속하게 되는 것이다. Rail의 경우 결빙량이 5%라는 작은 수치를 나타내고 있지만 면적 비를 생각할 때 무시할 수 없다.

Fig. 28은 냉동실 Rail에서의 결빙정도를 나타낸 사진이다.

마지막으로 냉동실의 좌우측 벽면, 천장, 냉동실 문에서 5%정도를 차지한다. 냉동실의 좌우측 벽면과 천장의 경우 온도변화와 온도장을 살펴보았다. 좌우측 벽면의 경우 다른 면에 비하여 온도가 비교적 높았으며 냉동실의 천장의 경우 온도가 비교적 낮게 분포한다. 하지만 여기서 눈여겨 볼 점은 이 부분에서의 시간에 따른 온도변화를 관찰해 보았을 때 온도차이가 매우 적다는 것을 알 수 있었다. 그리고 결빙량을 다른 부분과 비교 했을 때 결빙량이 면적에 비하여 매우 적게 나타나는 것을 볼 수 있다. 결빙이 일어나는 데는 낮은 온도의 분포나 높은 온도의 분포보다 결빙지점에서의 온도변화가 가장 중요한 인자라는 것을 알 수 있다.

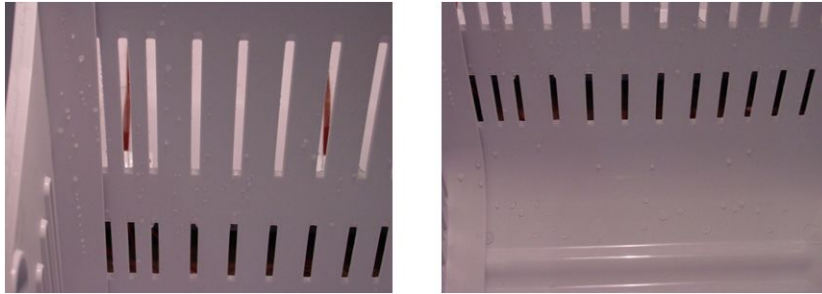


Fig. 22 The frost formation to the basket in the freezer



Fig. 23 The frost formation to the drawer in the freezer

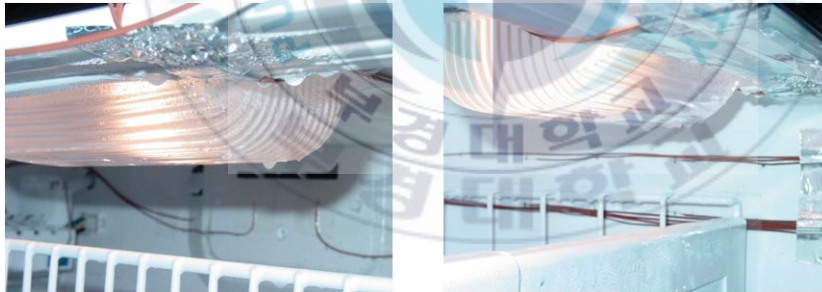


Fig. 24 The frost formation to the ceiling in the freezer

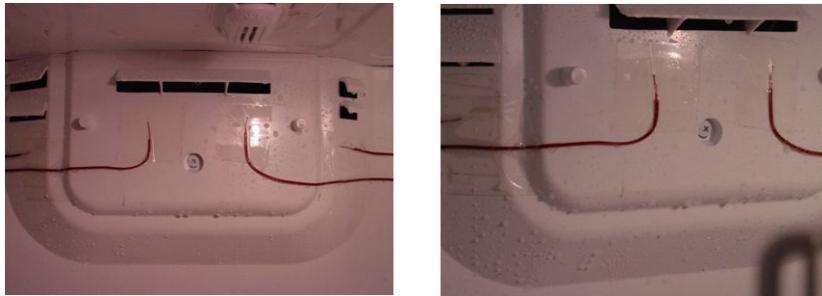


Fig. 25 The frost formation to the inside wall(Grill) in the freezer (Inlet)



Fig. 26 The frost formation to the inside wall(Grill) in the freezer (Outlet)

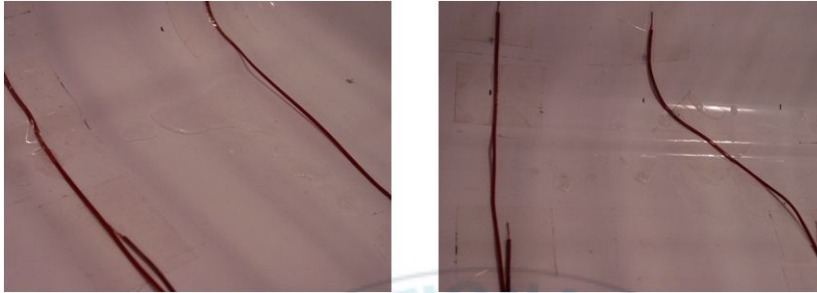


Fig. 27 The frost formation to the bottom in the freezer



Fig. 28 The frost formation to the rail in the freezer

4. 요약

냉장고 냉동실에서의 시간에 따른 온도변화 실험과 결빙의 정량화 실험을 통해서 온도의 고저에 따른 결빙의 정도와 온도변화의 차이에 따른 결빙의 정도에 관해서 생각을 해보았다.

냉동실의 결빙실험에서 Basket과 안쪽벽면과 바닥에서 결빙의 정도가 가장 심하게 일어났다. Basket에서의 결빙이 심한이유는 냉동실의 문을 열고 닫을 때 고온다습한 외기의 공기가 냉동실로 침투하여 Basket주변에서 결빙이 생성되며 이 Basket주변에서 생성되는 결빙은 수치시뮬레이션의 결과를 통해서 원인을 파악해 보도록 하겠다.

냉동실의 벽면들을 살펴보았을 때 안쪽벽면과 바닥에서 많은 양의 결빙이 생성되는 것을 알 수 있었다. 바닥의 경우는 천장이나 안쪽벽면, Basket등에서 형성된 수분이 흘러내려 결빙이 되는 현상이 주된 결빙의 원인이라고 할 수 있는데 이는 결빙이 많이 형성되는 부분의 개선을 통해서 자연스럽게 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

냉동실의 안쪽 벽면은 냉기 토출구와 흡입구가 설치되어 있는 면으로써 온도변화 실험을 통해서 보았을 때 냉동실의 면 중에서 가장 온도변화가 심하게 일어나는 면임을 확인 할 수 있었다. 이

러한 실험결과를 보았을 때 냉동실의 결빙이 많이 발생하는 원인으로써 압축기가 작동중일 때와 정지중일 때의 변하는 온도차를 들 수 있다. 냉동벽면에서의 시간에 따른 온도변화가 클 때 물질 전달률이나 열전달률은 상승을 하게 되고 이로 인하여 결빙의 속도가 증가하게 되는 것이다. 따라서 본 실험을 통해서 냉동실에서의 결빙을 줄이기 위해서는 우선적으로 압축기의 작동중과 정지중일 때의 냉동실의 온도변화를 줄이도록 해야 할 것이다.

Rail부분에서의 결빙의 정도가 냉동실문의 개폐를 어렵게 만드는 경우 또한 발생을 하는데 현재 시중에 출품되어져 있는 냉장고의 경우 Rail이 금속으로 이루어진 제품들이 많이 있다. 이런 금속의 경우 열전달률이 높기 때문에 이 부분에서의 착상을 유발하며 이러한 착상은 결빙으로 이어져 냉동실문을 개폐할 때 간섭을 하게 되므로 이러한 부분 또한 재료를 쓸 때 최대한 열전달률이 낮은 재료를 선택하여야 할 것으로 생각되어진다.

제 IV 장 전산수치모사

1. 해석모델 및 지배방정식

가. 해석모델

본 연구에서 내부 유동장의 경우 실험적인 방법으로 해석하기에는 무리가 있어서, 수치 해석적 방법을 사용하여 냉장고 냉동실의 유동특성을 파악하였다. 냉동실의 부하는 제외하고 Ungraphics(UG)를 사용하여 모델링을 하였다. 냉동실의 구조는 입구 3개가 안쪽 벽면 상단에 위치하고 있으며 각기 다른 방향으로 냉기를 토출하며 각각의 입구마다 풍속이 다르다. 또한 출구 2개가 안쪽벽면 하단에 위치하고 있다. 냉동실의 내부는 Basket (하단바구니)와 Drawer (상단바구니)로 구성이 되어져 있다. Basket의 경우 분리대가 설치되어져 있으며 그 위치는 Basket의 정중앙으로 설치하였다.

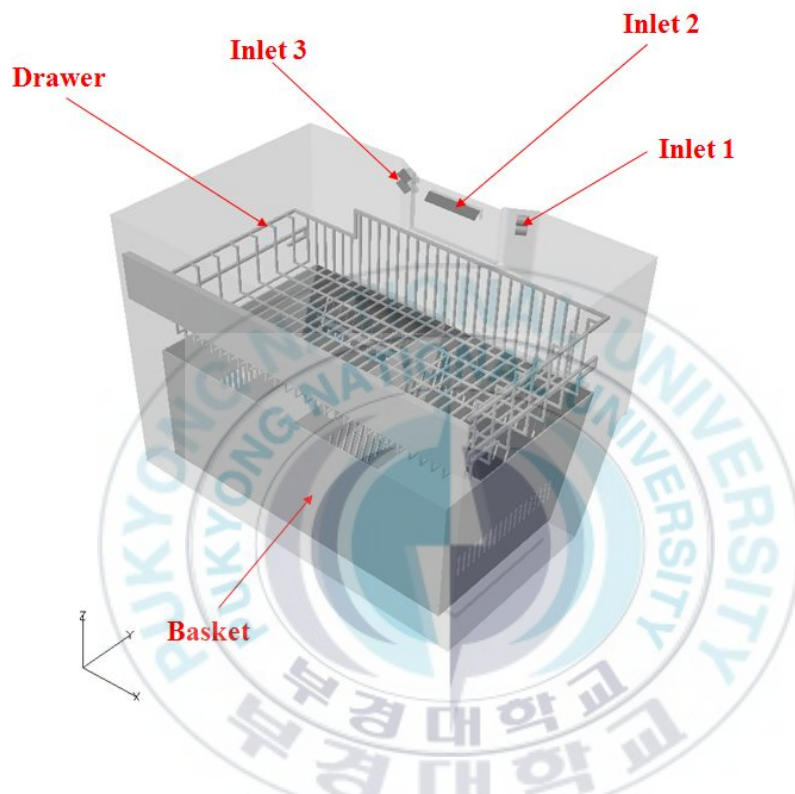


Fig. 29 3D modeling of freezer

나. 격자 생성

먼저 CAD를 이용하여 냉장고 냉동실의 형상을 유동장 해석에 필요한 부분만을 선택해 3-D Modeling 하였다. 격자는 ICEM-CFD를 이용 3-D Model 내부에 4면체의 테트라 격자를 형성하였다. Fig. 30은 수치모사에 사용된 냉장고 냉동실 모델의 격자를 나타내고 있다. Drawer와 Basket 부위는 다른 부위에 비하여 조밀하게 격자를 형성하였다.



Fig. 30 Grid system

다. 기초 방정식

일반적으로 유동의 특성을 나타내는 Reynolds 수가 크고, 유동이 넓은 영역에 걸쳐 큰 성분의 유동과 작은 성분의 유동이 혼재하는 경우를 난류 유동이라고 한다. 이러한 현상은 유동의 비선형적 특성 때문에 발생하게 되는데, 이러한 경우 난류 유동은 밀도변화를 고려할 필요가 없을 때, 다시 말해서, 비압축성 유체유동의 연속방정식과 운동량보존방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

연속방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

운동량방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_j} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \quad (2)$$

여기서, u_i 는 각 성분의 속도벡터를 나타내고, p 는 압력항을, ν 는 동점성계수를 나타낸다.

라. 지배방정식

(1) Reynolds시간 평균

일반적으로 모든 난류 성분은 시간 평균된 항과 난동성분으로 구성되는 것으로 알려져 있다. 이는 곧, 모든 난류유동에서의 변수는 시간평균 성분과 난동성분의 중첩으로 생각할 수 있다. 따라서 각 난류성분 f 는 아래의 (3)에서와 같이 시간 평균항인 $\bar{f}$ 와 난동 성분 f' 으로 표현될 수 있다.

$$f = \bar{f} + f' \quad (3)$$

임의의 위치 r 에서 $f(r, t)$ 의 시간평균은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\bar{f}(r, t) = \frac{1}{T} \int_0^T f(r, t + \tau) d\tau \quad (4)$$

여기서, T 는 T 에 영향을 받지 않을 정도의 무한한 시간이며, 식(4.1.3)을 식(4.1.4)에 대입하면, 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \bar{f}(r, t) &= \frac{1}{T} \int_0^T \bar{f}(r, t + \tau) + f'(r, t + \tau) d\tau \\ &= \bar{f}(r, t) + \frac{1}{T} \int_0^T f'(r, t + \tau) d\tau \end{aligned} \quad (5)$$

그리고 난동성분 f' 에 대한 시간평균값은 다음과 같이 정의한다.

$$\overline{f'}(r, t) = \frac{1}{T} \int_0^T f'(r, t + \tau) d\tau = 0 \quad (6)$$

연속 방정식과 운동량 방정식을 시간 평균하여 전개하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{\frac{\partial u_i}{\partial x_i}} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial t} + \overline{u_j} \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \overline{u'_i u'_j} \right) \quad (8)$$

결국 운동량방정식에서 Reynolds stress라고 불리는 새로운 항 $-\overline{u'_i u'_j}$ 가 생성된다. 이 Reynolds stress는 Boussinesq의 가정에 의하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (9)$$

여기서, μ_t 는 난류점성계수(turbulent eddy viscosity)를 나타내며, 이 난류점성계수를 푸는데 있어서 다양한 난류모델들이 사용되어진다. 이때 k 는 난류에너지를 나타내며,

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u'_1}^2 + \overline{u'_2}^2 + \overline{u'_3}^2) \quad (10)$$

로 정의된다. 식 (4.1.9)에서의 δ_{ij} 는 Kronecker δ 를 나타낸다. 일반적으로 Kronecker δ 는 $i = j$ 일 때, 1의 값을 가지고, $i \neq j$ 일 때 0의 값을 가진다.

(2) 표준 $k-\epsilon$ 모델의 지배방정식

난류점성계수 ν_t 는 물성치가 아니라 난류운동의 양상이나 이력에 따라 변하는 값이다. 이 난류점성계수는 실험이나 고찰로부터 난류운동의 특성길이와 특성속도에 의해 결정되는 값으로 알려져 있다. 특히 표준 $k-\epsilon$ 모델에서는 난류운동에너지 k 에서 특성속도를, 난류운동에너지 소산을 ϵ 에서 특성길이를 구하여 난류점성계수 ν_t 를 계산하는 모델이며, 이를 표현하면 다음과 같다.

$$\nu_t = \frac{C_\mu k^2}{\epsilon} \quad (11)$$

그리고 난류운동에너지 k 와 ϵ 은 다음의 수송방정식에 의해서 결정된다.

$$\frac{\partial u_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + P_k - \epsilon \quad (12)$$

$$\frac{\partial u_j \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right\} + \frac{\epsilon}{k\rho} (C_{\epsilon 1} P_k - C_{\epsilon 2} \epsilon) \quad (13)$$

여기서 생성항 P_k 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_k = \nu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (14)$$

그리고 계수들은 각각 다음과 같이 정의하였다.

$$C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92 \quad (15)$$



2. 유동장 해석 결과

냉장고 냉동실에서의 유동을 해석하기 위하여 우선 입구조건이 되는 냉기가 냉동실로 투입되어질 때의 속도나 유량이 필요하였으며, 실험을 통해서 우리는 필요하고자 하는 각 입구에서의 속도를 측정을 하여 수치해석에 적용을 하였다. 냉동실의 냉기 입구에서의 속도를 측정하기 위하여 우리는 피토관을 이용하였으며, 수치해석에 사용된 경계조건은 Table 2에 나타나 있다.

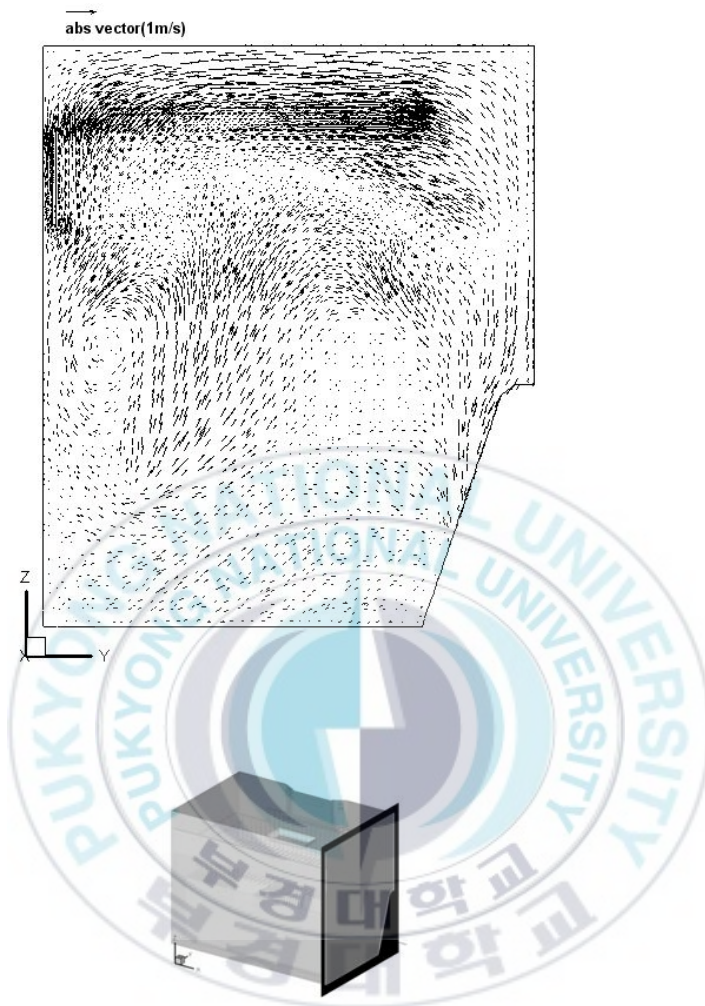
Table 2 Boundary conditions

Inlet 1	4.99 (m/s)
Inlet 2	5.7 (m/s)
Inlet 3	5.57 (m/s)
Outlet	대기압(1atm)
Wall	No-slip
Mesh number	5,000,000

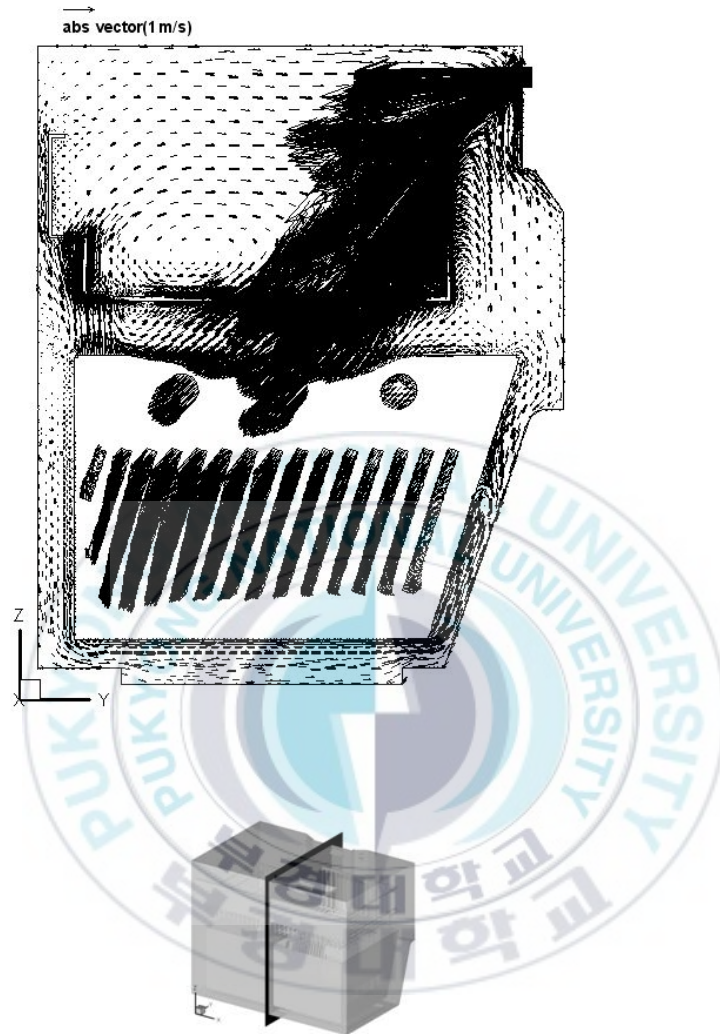
수치시뮬레이션을 하기에 앞서 몇 가지 가정을 하였다. 우선 냉동실내의 냉기는 비압축성 유체이며, 정상상태 해석을 실행하였다. 냉동실내 냉기는 난류유동으로 가정을 하였으며, 유체의 물성치는 일정하다고 가정을 하여 $k-\epsilon$ 난류모델을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

다음 아래의 Fig. 31은 냉동실에서의 $x-y$, $x-z$, $y-z$ 의 3평면에 서 각각의 위치에 따른 속도장을 나타내고 있다.

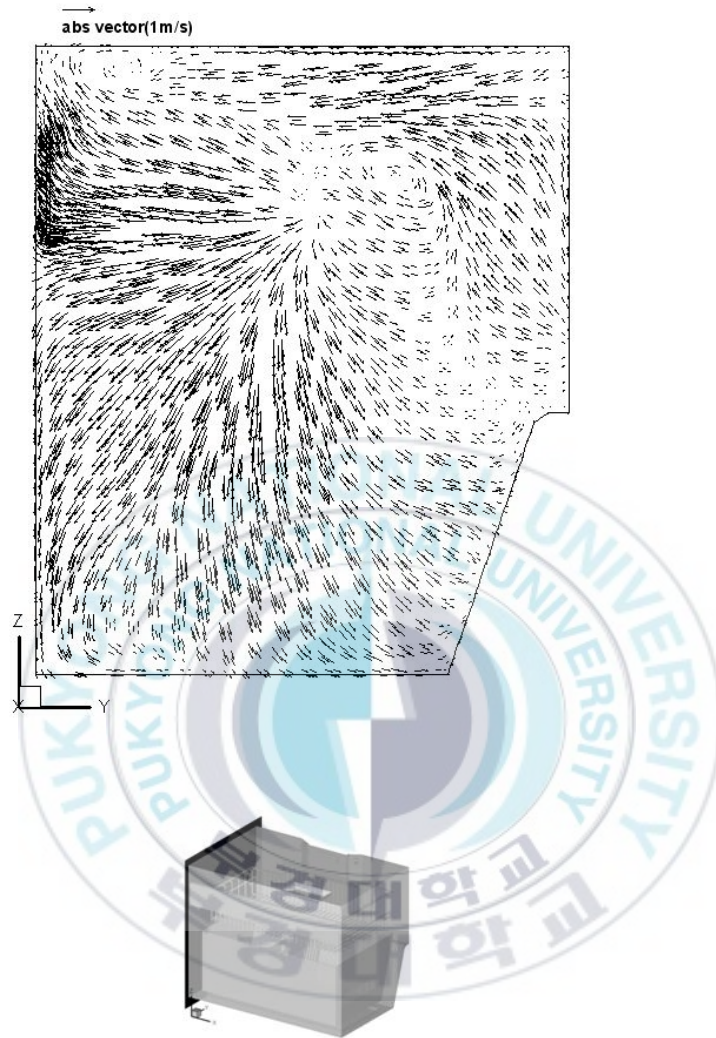




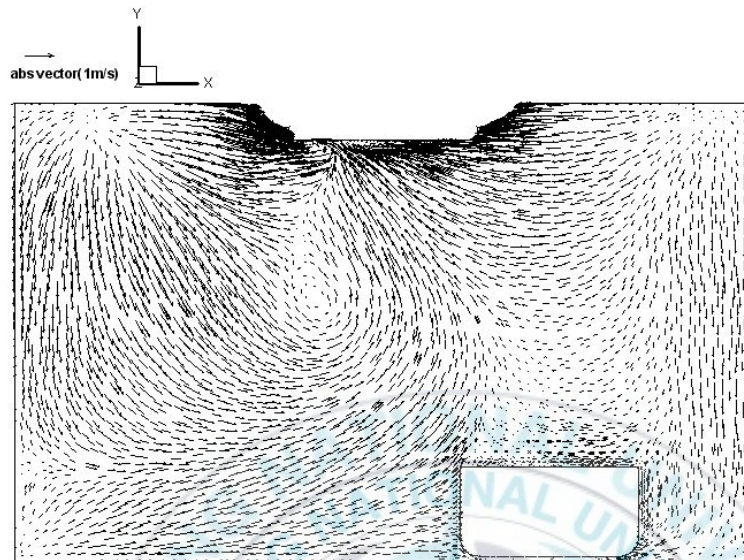
(a) At the right side panel $X=1.5\text{cm}$ (from right wall)



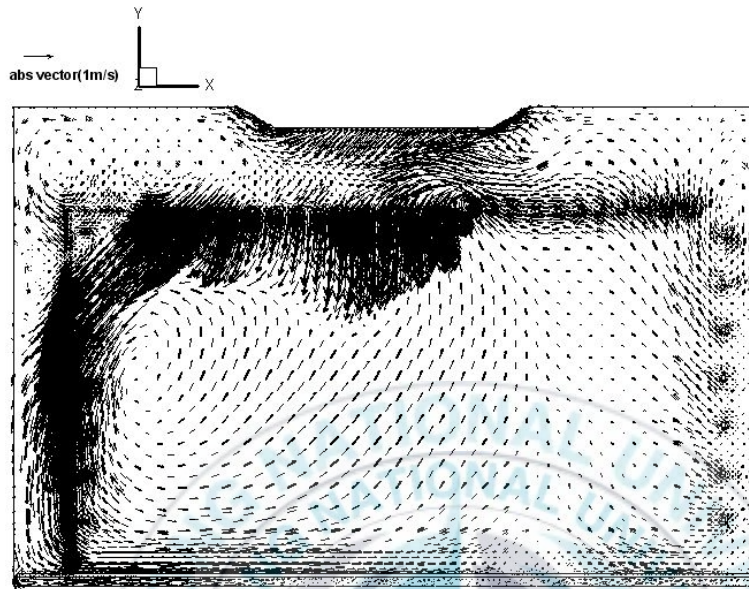
(b) On the center line of the freezing compartment



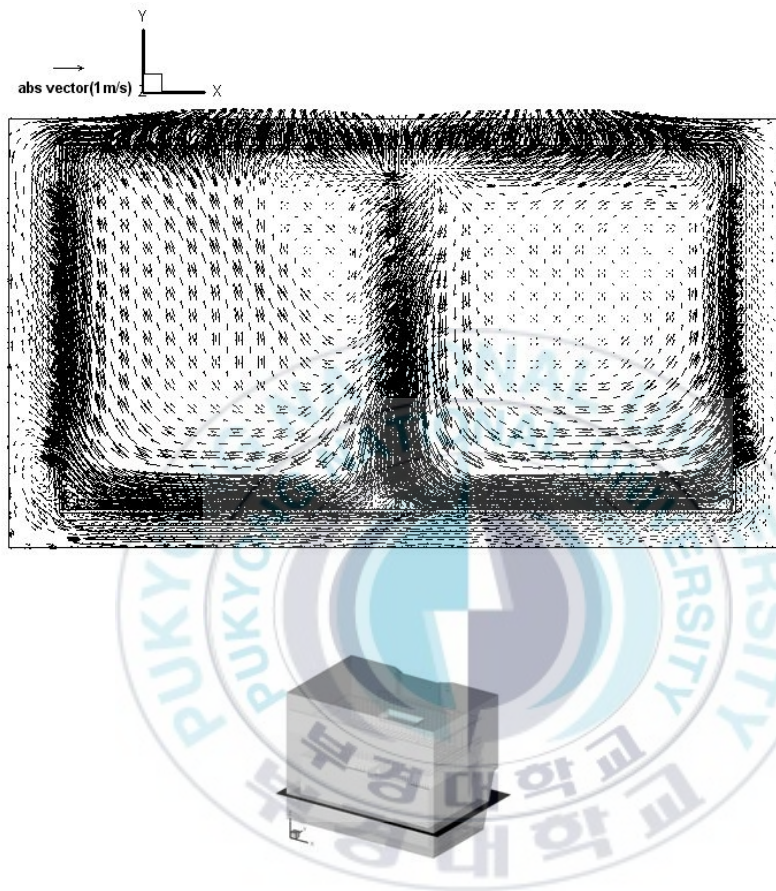
(c) At the left side panel $X=1.5\text{cm}$ (from left wall)



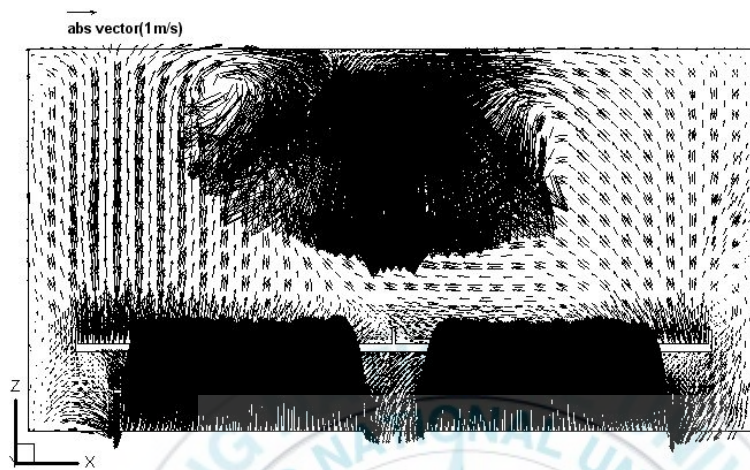
(d) At the top panel $Z=1\text{cm}$ (from top wall)



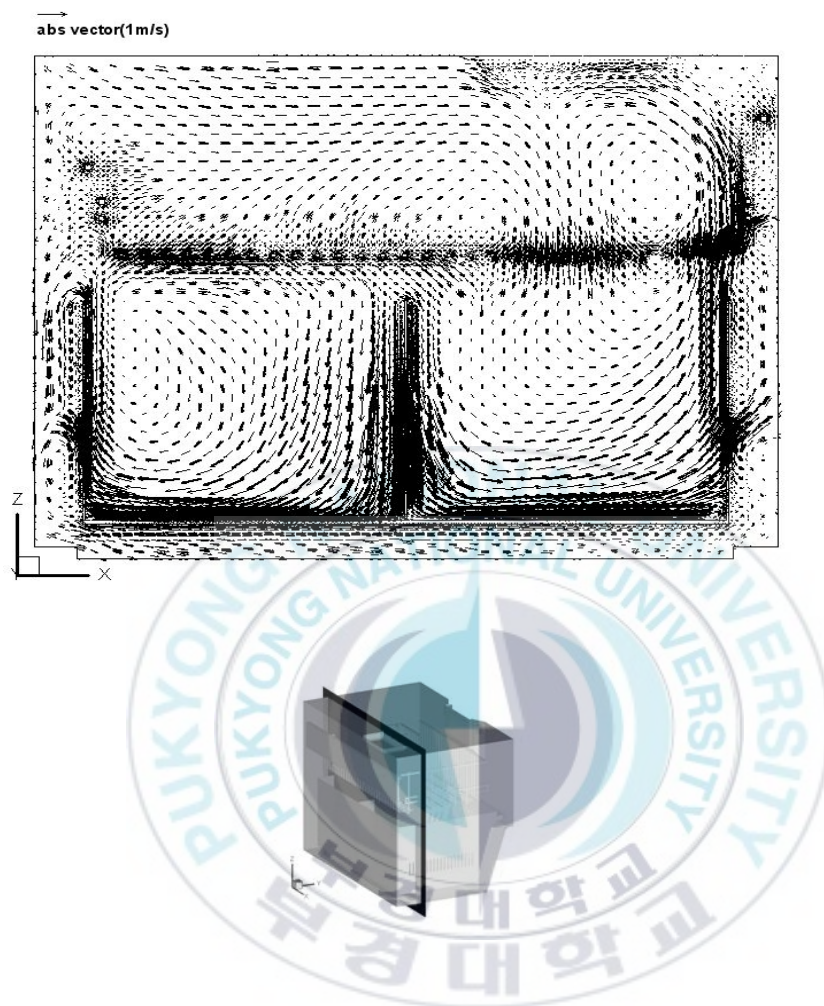
(e) At the top panel $Z=13\text{cm}$ (from top wall)



(f) At the top panel $Z=48\text{cm}$ (from top wall)



(g) At the inside panel $Y=5\text{cm}$ (from inside wall)



(h) At the inside panel $Z=40\text{cm}$ (from inside wall)

Fig. 31 Vector fields at the plane of freezing compartment

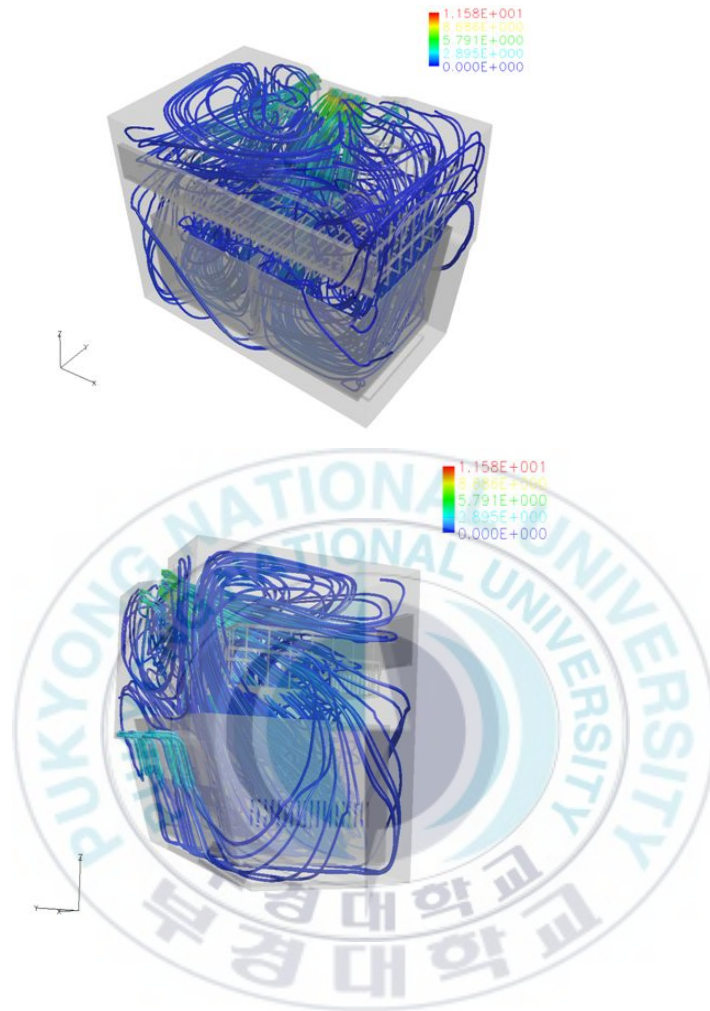


Fig. 32 Velocity Streamline inside the freezing compartment

3. 요약

본 IV장에서는 시뮬레이션을 통해서 냉장고 냉동실에서의 냉기 유동을 살펴보았다. Fig. 31은 압축기가 작동상태 일 때 냉기의 속도장에 대한 그림이며 Fig. 32는 유선을 나타낸 그림이다.

전반적으로 냉동실의 냉기 유동상태를 보면 정체영역이 곳곳에서 발생을 한다는 것을 볼 수 있다. 이러한 정체영역은 그 생성 위치에 따라 상대적으로 저온일수도 있으며, 고온일 수도 있다. 이처럼 정체영역의 형성으로 인하여 이 주변에서는 주위와의 온도변화를 초래 하게 되며 그로 인하여 착상의 조건이 생성되게 된다.

III장의 실험을 통해서 결빙의 정도를 정량화한 데이터에서 우리는 Basket부위에서 가장 심하게 결빙이 일어나는 것을 볼 수 있었다. 시뮬레이션을 통해서 파악을 해 보았을 때 Basket의 내부에서 중앙분리대를 기준으로 하여 좌우로 정체영역이 형성되는 것을 볼 수 있다. 또한 이러한 Basket과 냉동실의 벽면 사이의 거리가 좁은 구역에서 작은 정체영역들이 다수 생성되는 것을 발견할 수 있었으며 이는 결빙실험결과의 결빙이 많이 형성되었던 위치와 거의 일치한다는 것을 확인할 수 있었다.

제 V 장 결 론

“ B/F형 냉장고 냉동실의 내부 유동해석 및 결빙최소화” 연구에서 냉동실 벽면의 온도변화실험과 내부 유동장에 관한 수치시물레이션을 통하여 결빙의 형성 위치와 정도를 파악하였으며 온도와 냉기의 유동에 따른 상관관계를 찾아내어 결빙을 최소화하기 위한 조건을 연구하였다.

실험과 수치시물레이션을 통한 결론은 다음과 같다.

- (1) 냉장고의 냉동실에서 제상과정과 압축기의 작동과 정지과정에서 안쪽벽면(통칭 Grill fan)에서의 온도변화가 가장 컸으며, 또한 안쪽벽면에서의 온도가 가장 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 압축기의 작동이 정지할 때 냉기 토출구에서 고내보다 높은 공기가 나오는 것을 볼 수 있었다. 이러한 습도가 높은 공기로 인하여 토출구 주변에 위치한 Grill fan부위가 온도차가 다른 부위에 비하여 크게 나타났다.

(2) 냉동실의 결빙을 정량화한 결과 Basket에서 가장 많은 양인 53%의 결빙이 측정되었으며 안쪽벽면과 바닥에서 각각 13%씩의 결빙이 측정되었다. 나머지 부위에서의 결빙은 다소 미미한 편으로써 육안으로 잘 드러나지 않는 정도였다. 하지만 Rail부위에서의 결빙은 전체로 보았을 때는 적은 양이지만 냉동실의 문을 구축하기 때문에 Rail의 재료를 선정할 때 연전달률이 낮은 강화 플라스틱과 같은 재료로 선정을 해야 한다.

(3) 전산수치해석을 통하여 내부 유동장을 파악했으며, 내부에 재순환 영역이 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 재순환 영역은 냉동실의 전체에 걸쳐 곳곳에서 확인을 할 수 있는데 특히 Basket에서 중앙분리대를 기준으로 하여 좌우로 큰 재순환 영역을 확인할 수 있었다. 또한 Basket과 냉동실의 벽면과의 사이가 좁은 지역에서 작은 재순환영역을 여러 개 확인을 할 수 있었으며, 결빙실험결과와 비교하였을 때 재순환영역과 결빙생성부위와 거의 일치한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 냉동실내의 재순환영역이 최대한 생성되지 않도록 유로를 설정하는 것이 중요하다.

참 고 문 헌

1. J. E. White and C. J. Cermers, 1974, "Prediction of Growth Parameters of Frost Deposits in Forced Convection," AIAA/ASME Thermophysics and Heat Transfer Conference, No. 74-HT-53, Boston, Massachusetts, July 15-17, 1974.
2. Jones, B. W. and Parker, J. D., 1975, "Frost Formation with Varying Environmental Parameters", ASME, J. Heat Transfer, Vol. 97, pp. 255~259
3. Brian, P. L. T., Reid R.C and Brazinsky I., 1969, "Cryogenic Frost Properties", Cryogenic Technology, Vol. 5, pp. 205~212.
4. Stoecker, W. F., 1957, "How Frost Formation on Coils Affects Refrigeration Systems", Refrigeration Engineering, Vol. 65, No.2, pp. 42~46
5. Barrow, H., 1985, "A Note on the Frosting of Heat Pump Evaporator Surfaces", Journal of Heat Recovery Systems, Vol. 5, No.3, pp. 195~201.

6. Gates, R. R. and Sepsy, C. F. and Huffman, G. D., 1967, "Heat Transfer and Pressure Loss in Extended Surface Heat Exchangers Operating Under Frosting Conditions - Part 1 : Literature Survey, Test Apparatus and Preliminary Results" ASHRAE Transactions, Vol. 73, Pt. 2, pp. I.2.1~I.2.13.
7. Niederer, D. H., 1976, "Frosting and Defrosting Effects on Coil Heat Transfer", ASHRAE Transactions, Vol. 82, Pt. 1, pp. 467~473
8. Hosoda, T. and Uzuhashi, H., 1967, "Effects of Frost on the Heat Transfer Coefficient", Hitachi Review, Vol. 16, No. 6, pp. 254~259.
9. Gatchilov, T. S. and Ivanova, V. S., 1979, "Characteristics of Extended Surface Air Coolers during Operation under Frosting Conditions", Int. J. Refrig., Vol. 2, No. 4, pp. 233~236.
10. Rite, R. W., and Crawford, R. R., 1991, "The Effect of Frost Accumulation on the Performance of Domestic Refrigerator freezer Finned-tube Evaporator Coils", ASHRAE Transactions, Vol. 97, Pt. 2, pp. 428~437.

11. Aoki, K. and Hattori, M. and Hayashi, Y., 1985, "A Study of Extended Surface Heat Exchanger with Frosting : 1st Report, Overall Heat Transfer Characteristics", JSME Trans., Ser. B, Vol. 51, No. 469, pp. 3048~3054.
12. 이관수, 이태희, 김우승, 1995, "핀-관 열교환기의 착상에 대한 설계인자의 영향", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 (Ⅱ), pp. 588~593.
13. 이관수, 지성, 이태희, 1997, "서리층 성장 예측을 위한 수치적 모델", 공기조화·냉동공학 논문집 제9권 제2호, pp. 249~258.
14. O.Laguerre, S. Ben Amara, J. Moureh, D. Flick, 2006, "Numerical simulation of air flow and heat transfer in domestic refrigerators", journal of food engineering 81 (2007) pp. 144~156.
15. 김성곤, 양동근, 이관수, 2002, "냉각 평판에서 서리물성치에 대한 상관식", 대한설비공학회 2002동계학술발표대회 논문집 pp. 52~57.