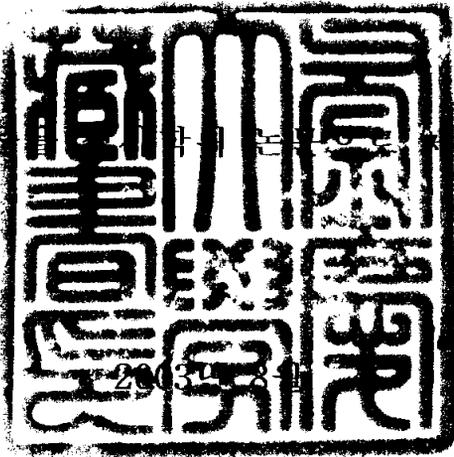


工學碩士 學位論文

양립도어형 냉장고의 제상이  
결빙에 미치는 영향

지도교수 금종수

이 논문은  출함

부경대학교 산업대학원

냉동공조공학과

김광오

김광오의 공학석사 학위논문을 인준함

2003년 8월

주 심 공학박사 윤 정 인

위 원 공학박사 정 석 권

위 원 공학박사 금 종 수



# 목 차

## Abstract

## List of figure

1. 서론 .....	1
1.1 연구배경 .....	1
1.2 종래의 연구 .....	3
1.3 연구목적 .....	5
1.4 이론연구 .....	6
1.4.1 착상의 개념 .....	6
1.4.2 결빙의 성장과정 .....	9
1.4.3 주요 결빙 영역 .....	12
1.4.4 주요 결빙 원인 .....	13
2. 본론 .....	15
2.1 실험장치구성 .....	15
2.2 제상현상파악 .....	18
2.2.1 제상과정 가시화 .....	18
2.2.1.1 실험방법 .....	18
2.2.1.2 실험결과 .....	19
2.2.2 제상시 수분역류 .....	21
2.2.2.1 실험방법 .....	21
2.2.2.2 실험결과 .....	24
2.2.3 현상분석 .....	28
2.3 시스템 변경 적용실험 .....	29
2.3.1 실험방법 .....	29
2.3.1.1 온도측정 .....	29

2.3.1.2 무게 측정 .....	29
2.3.1.3 기준실험 .....	30
2.3.1.4 시료의 변경 .....	31
2.3.2 실험결과 .....	32
2.3.2.1 기준실험 .....	32
2.3.2.1 제상발열량 변경 .....	33
3 결론 .....	36
참고문헌 .....	37
감사의 글	

**Effect of defrost against freezing room frost  
in side by side type refrigerator**

Kwang-eo Kim

Department of refrigeration-aircondition engineering,  
Graduated school,  
Pukyung national university

Abstract

Since society was developed, air-conditionor for heating or cooling room and refrigerator for storing food fresh long time is considered the necessities of life in modern times. Particularly, use frequency of refrigerator was increased by development instant food and size of refrigerator grow big for storing food in long time.

A study on refrigerator was conducted about improvement of performance for storing food long time in past. But refrigerator's users (whose level of consciousness become higher) looked on that

convenience and design of refrigerator is more important than performance of one and demanded refrigerator which can need sensibility of human in those days.

Sensible dissatisfaction of human means that sense of smell and sight, taste, tactile etc. can not be satisfied in life. On that account, the company which make refrigerator tried to develop refrigerator which is good design and lower noise, less frost.

Frost is natural phenomenon. And we usually can see our environment. If it can need some condition, it makes an appearance in our life. Frost which takes place in surface of building can damage intensity of wall and fall capability of adiabation. And, Frost which takes place on equipment of refrigeration causes loss of performance considerably. Therefore, we should decrease mass of frost in refrigerator.

# List of figures and tables

## Figures

- Fig. 1.1 Principle of frost
- Fig. 1.2 Creation period of frost crystallization
- Fig. 1.3 Groth period of frost
- Fig. 1.4 Maturity period of frost
- Fig. 1.5 Position and type of frost
- Fig. 1.6 Cause of the main frost and remedy
- Fig. 2.1 Organization of equipment
- Fig. 2.2 External shape of refrigeration
- Fig. 2.3 Internal shape of refrigeration
- Fig. 2.4 Photographing of grill
- Fig. 2.5 Process of defrost
- Fig. 2.6 PIV
- Fig. 2.7 Position of thermocouple
- Fig. 2.8 Complete view of copper ball
- Fig. 2.9 Result of PIV
- Fig. 2.10 Velocity of discharge
- Fig. 2.11 Change of temperature in R-room during defrost

Fig. 2.12 Temperature of defrost coil and thermostat

Fig. 2.13 Electronic Scale

Fig. 2.14 Time table of experiment

Fig. 2.16 Part portion of frost

Fig. 2.17 Comparison of part frost mass(200w)

Fig. 2.18 Comparison of part frost mass(300w)

Fig 2.19 Comparison of frost mass(Total)

# 1 서론

## 1.1 연구의 배경

현대기술의 발달과 생활수준과 의식수준의 향상으로 냉·난방을 위한 에어컨이나, 음식을 신선한 상태로 장시간 보관하기 위한 냉장고는 가정의 생활필수품으로 자리잡게 되었다. 특히, 냉장고는 바쁜 일상생활과 인스턴트 식품의 발달로 인해 사용빈도가 증가하였고, 장기간 먹을 음식을 저장하기 위해 냉장고의 크기가 대형화되었다.

종래의 냉장고에 관한 연구는 다양한 식품을 적당한 온도에서 장시간 저장할 수 있게 하기 위해 단순히 냉장고의 성능의 향상에 초점을 맞추어 개발이 이루어졌다. 그러나 현대에는 냉장고 사용자들의 의식수준이 높아져서 단순하게 성능이 탁월한 냉장고보다는 인간중심의 편의성, 디자인 성을 중시하게 되었고 나아가서는 사용자의 감성을 만족시킬 수 있는 수준을 요구하게 되었다.

인간의 감성불만이란 인간의 오감인 시각, 촉각, 후각, 청각, 미각이 만족하지 못해 이에 대한 불만을 표출하는 것을 말한다. 그래서 각 냉장고 메이커들은 청각적 감성불만을 해소하기 위한 저소음 냉장고의 개발, 시각적인 감성불만을 해소시키기 위해 냉장고 디자인의 개발이나 냉장고내의 결빙 등이 그러한 예이다.

결빙과 착상은 공기중의 수분의 상 변화 작용으로써 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 자연 발생적인 현상이며, 임의의 조건을 만족할 경우 반드시 발

생하게 되는 현상이다. 이러한 현상 중 하나인 건물 벽체에 발생하는 결로는 벽체를 훼손시키거나 단열성능을 떨어뜨린다. 그리고 냉각장치의 냉각 부에 발생하는 착상은 열교환기 성능을 저하시킨다. 이와 같이 결로나 착상 등이 원하지 않는 부위에서 발생할 경우 부정적인 영향을 미치게 된다. 따라서 이를 억제하거나 발생량을 최소화시킬 필요가 있다.

## 1.2 종래의 연구

착상은 시각적 관찰에 의해서만 그 형성과정을 알 수 있으므로 많은 시행착오적 방법에 의해서 밝혀지므로 대부분 많은 어려움이 뒤따르고 있다.

Han등은 증류 유동, 공기 노점온도가 0℃ 이하의 조건에서 단면냉각 평행 평판 유동 실험조건 하에서 냉동용 열 교환기의 성능저하에 입구영역에서의 서리 성장이 영향을 크게 미치며, 0℃ 이하의 공기 이슬점온도 조건에서 냉각판 온도가 낮고 공기 습도가 높을수록 서리 두께가 증가한다고 보고하고 있다.

Oh등은 가정용 냉장고의 내부의 유동특성에 관한 수치해석적인 방법을 사용하여 냉기의 유동특성과 팬 소비 동력에 따른 유량의 분포에 관해서 비교하였다.

Lee등은 무처리, 친수성, 발수성 표면 처리를 한 열교환기의 제상실험을 수행하여 제상시의 온도분포와 용해수의 배출 거동을 파악하여, 표면처리 후 열교환기의 용해 및 제상 효율증가, 휴지기간의 배출량 감소, 잔류 용해수량의 감소를 통해 시스템의 효율을 향상시킬 수 있다고 하였다.

Park은 CFD와 PIV등의 방법을 사용하여 냉장고 내에서 발생하는 착상의 주요원인은 기류의 유동형태이며, 기류조건을 변화시켜 착상을 억제할 수 있음을 보고하였다.

Ohkubo등은 대기압 자연 대류 조건에서 SUS304판을 연직으로 설치하고 냉각표면의 주위 공기온도 23℃, 상대습도 70% 조건 하에서 냉각 표면 온도 -20℃ ~ -180℃ 범위에서 서리층의 결정구조, 착상중량, 착상두께 및 착상

온도에 대해서 이미 발표된 착상곡선을 기본으로 연구를 수행하여 서리층 표면 온도는 서리층의 결정구조의 변화와 밀접한 관계가 있다고 하였다.

O.Tajima등은 자연 대류 하에서 연직 냉각 평판이 연직 단열 평판과 서로 마주보고 있는 경우, 착상시 열과 물질의 이동 현상에 대해 연구하였고, 서리 층 두께에 대해서는 냉각면의 상부가 빨리 성장하고 두면 간의 간격이 좁은 쪽이 서리층 두께가 빨리 증가하고 서리층 열전도율도 가격이 좁은 쪽이 큰 값을 가진다고 했다.

T.Hosoda등은 열전달에 미치는 서리의 영향에 대해서 연구하였고 냉각 평판 및 Cross fin 형 냉각기의 표면에 서리가 발생한 경우의 서리의 밀도 및 열전도율, 냉각기의 열관류율, 착상된 냉각기의 통풍 저항에 대한 계산식을 제시하였다.

S.Mishra등은 예상 서리 두께와 밀도에 대한 해석 모델과 서리 형성에 관한 전기장의 효과에 관한 최근의 업적과 포괄적인 전망에 대해서 언급하였고 EHD가 착상 표면과 Air stream 사이의 온도차에 의존하는 서리 억제에 영향을 미친다고 하였다.

Kum등은 탑 마운트형 냉장고에 대한 착상량의 정량화를 통해 냉동실내의 착상 메카니즘을 규명하였다. 착상은 외기 침입을 통해서 약 80%의 수분이 유입되고, 제상시 역류를 통해서 약 20%가 유입된다는 사실을 밝혀냈다. 그리고 냉장고의 고내 형상변경이나 운전조건의 변경을 통해서 고내 착상을 최소화하고자 하였다.

### 1.3 연구목적

냉장고 내에서 발생하는 결빙은 크게 두 가지로 구분 할 수 있는데 하나는 증발기에서 발생하는 것과 냉동실의 내벽 면에 발생하는 것이다. 증발기에서 발생하는 착상은 별도의 제상장치를 가지는 반면 냉동실 내 벽면에 발생한 착상은 별도의 제상장치를 가지지 않으므로 제거가 어렵다. 냉동실 벽면 착상의 경우는 제거가 안 될 경우 냉기의 유동을 방해하여 냉동실내 온도의 불균형을 초래할 수 있으며, 미관상으로 좋지 않다. 따라서 냉동실내 벽면에 방생하는 착상을 제거, 최소화하기 위하여 착상의 발생 원인 규명 및 발생한 착상의 정량화가 이루어져야한다.

냉동실 및 냉장실 내에 존재하는 수증기 입자는 냉동실 및 냉장실의 상태에 따라 연속적인 상태변화를 일으킨다. 또한 압축기의 작동상태, 도어 개방여부, 식품의 존재여부 등 여러 가지 조건에 의해 내부의 상태는 변화한다. 특히 냉장고의 증발기는 냉동실로 유입된 수증기의 80%이상이 부착되며 제상을 통해서 배출되는 과정을 반복함으로써 냉동실내 수분량을 조절하는 기능을 한다. 그러나 이 과정에서 다량의 수분이 증발되면서 냉동실 내로 역류하게된다. 이로 인해 승화·증발을 통해 냉동실내에서 제거되었던 수분이 다시 냉동실로 돌아오는 현상을 야기하게 된다. 따라서 논문은 이러한 각 부분에 대한 개별적인 원인 및 양의 정량화를 통하여 실제 제상과정에 의한 착상의 과정을 정립하고, 제상열량의 조절이나 단열조건의 강화를 통해서 결빙을 제상으로 인한 결빙을 최소화하는데 그 목적이 있다.

## 1.4 이론연구

### 1.4.1 착상의 개념

착상은 수증기를 포함한 습공기가 이슬점보다 낮고  $0^{\circ}\text{C}$  이하의 온도로 유지되는 차가운 냉각 면과 접하게 되면 일어난다. 즉, 착상은 습공기 중에 포함된 수증기가 공기로부터 냉각 면으로 이동하여 다공성의 서리층을 형성하는 하는 것을 말한다. 착상이 일어날 경우 공기와 냉각 면 사이에는 온도 차로 인한 현열 전달과 수증기압 차로 인한 물질전달(수증기의 이동)이 동시에 일어나며, 수증기의 상 변화에 따른 잠열전달이 수반된다. 착상 조건 하에서의 열전달 해석을 수행할 경우에는 착상으로 인한 물질전달과 이로 인한 잠열전달을 함께 고려하여야 하며, 수증기의 현열 전달은 매우 작으므로 무시할 수 있다. 착상현상을 크게 두 가지로 분류하면 첫째, 기체상의 수증기가 서리 표면에서 응축되어 액체상의 물로 되었다가 고체상의 얼음입자로 변화하는 응고과정 둘째, 기체상의 수증기가 액체상의 변화 단계 없이 고체상의 얼음입자로 변화하는 승화과정에 의한 과정으로 설명될 수 있다.

서리 성장시 열 및 물질전달에 큰 영향을 미치는 열전도계수와 밀도가 상관관계를 갖는다는 사실은 이미 여러 연구자들에 의해 입증되었다. 그리고 서리의 밀도는 공기의 유속, 냉각면 온도, 공기 습도 등의 함수로 알려져 있다.

Reid 등은 실험에서 내부확산의 결과로 저온 연원으로 갈수록 밀도는 높아지며, 공기습도가 낮을수록 그리고 공기 속도가 높을수록 고밀도의 서리층

이 생성된다는 결론을 내렸다.

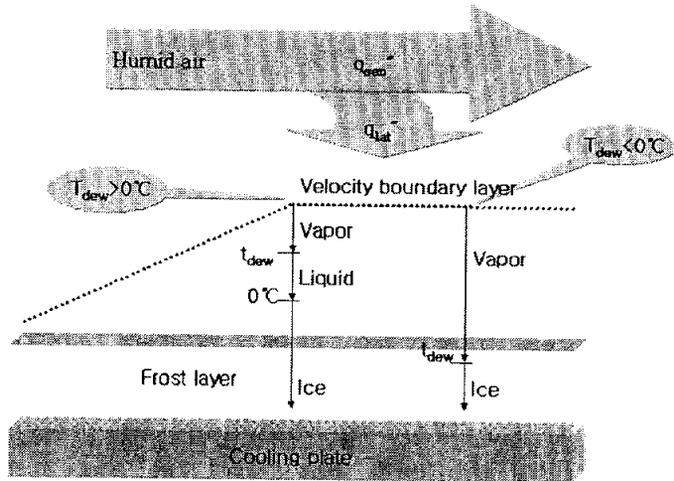


Fig. 1.1 Principle of frost

Tramme 등은 공기 온도가  $18^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ 의 범위이고 냉각 표면 온도가  $-50^\circ\text{C} \sim -72^\circ\text{C}$ 로 유지되는 평판에 대한 강제 대류 실험에서 공기의 노점이 높을수록 수증기의 농도 구배가 커져 아랫쪽으로 수증기가 많이 이동하여 밀도가 높아진다는 사실과 공기 속도가 클수록 서리가 생성되는 부분의 아래쪽으로 물방울을 붙여 넣어 서리층 내의 공기의 공간을 축소하여 밀도가 높아진다고 하였다. 그리고 냉각 표면의 온도가 낮을수록 밀도는 작아지고, 공기 온도는 별로 영향을 안 미친다고 결론을 내렸다.

서리의 성장과정에 있어서 공기와 서리의 표면과의 사이에 열 이동(현열)과 물질 이동(잠열)이 일어난다. Lewis에 의하면 제습과 같은 열 이동과 물질 이동이 동시에 일어나는 상태에 있어서는 현열은 공기와 냉각 면과의

온도차에 비례하고, 잠열은 공기와 냉각 면과의 절대습도 차에 비례한다.

현열에 의한 열 이동량은 다음과 같다.

$$q_s = a_f \cdot A_p \cdot (t_a - t_f)$$

잠열에 의한 열 이동량은 다음과 같다.

$$q_l = \dot{m} \cdot (h_w - h_f)$$

단위 시간의 물질 이동량 즉, 서리의 양은 다음과 같다.

$$\dot{m} = k_m \cdot A \cdot (x_a - x_f)$$

공기와 냉각판 사이의 열 이동은 현열 이동과 잠열 이동이 있으나 실제 냉장고의 냉동실을 냉각하는 것은 현열이다.

공기와 냉각판과의 사이에 현열 이동은 다음과 같다.

$$q_s = a_a \cdot A \cdot (t_a - t_p)$$

여기서 냉각판의 열관율은 서리의 열전도율과 서리의 표면 열전달율과의 관계를 함수로서 나타내면 다음과 같다.

$$q_s = \frac{\lambda_f a_f}{\lambda_f + \lambda_f S_f}$$

서리의 표면 열전달율을 다음과 같이 나타내었다.

$$q_s = 0.116 \left( \frac{\lambda}{L_c} \right) \left( \frac{V L_c}{\mu} \right)^{0.8} P_r^{0.33}$$

## 1.4.2 착상의 성장과정

서리층의 성장과정은 주변조건(냉각면 온도, 공기 유속, 공기 온도와 습도 등)에 따라서 많이 달라지는 데 거시적 관점에서 볼 때 성장과정 그 자체는 어떠한 조건에서도 공통적인 특징을 갖고있으며, 크게 결정 성장기, 서리층 성장기, 서리층 성숙기로 나눌 수 있다.

첫째, 결정 성장기에는 공기의 수증기 분압과 표면의 포화 수증기 분압차가 상변화의 추진력으로 작용하여 서리의 핵이 형성되고 서로 다른 공간적 형태를 갖는 결정들이 성장하여 처음으로 얇은 서리층이 저온 열원면을 덮는다. 그 후, 수증기는 농도구배가 큰 쪽으로 쉽게 모이므로 일정한 간격으로 생성된 서리 결정들 위에 집중적으로 수증기가 착상되며, 서리층 표면과 수직방향으로 서리 기둥을 형성하면서 서리층은 일차원적으로 성장한다.

이 때 물질전달률이 낮을수록 서리 기둥들 사이의 간격은 좁아지고 성장율은 감소한다. 이 기간 동안 서리 밀도는 핵의 수에 의해서 결정된다.

둘째, 서리층 성장기에는 결정 성장기에 형성된 서리 기둥이 기둥 상단부에 가지를 생성하고 결정끼리 상호 간섭하여 서리층의 형태를 변형시키며 서리층 표면이 편평하여질 때까지 망사모양의 균일한 서리층으로 삼차원적으로 성장한다. 서리층 내의 농도 구배로 인한 수증기의 내부확산으로 수증기의 일부분이 서리층의 공극으로 진달되어 승화가 발생하므로 일차원적으로 성장할 때 보다 서서히 성장하고 서리층 내의 밀도는 증가하게 된다. 이 기간 동안 성장율과 밀도는 물질전달률에 의해 결정된다. 물질전달률이 높을

수축 즉, 과포화도가 클수록 고밀도의 서리층이 생성되고 성장율도 증가한다.

세째, 서리층 성숙기에는 서리층 표면 온도가 0℃에 도달한 후의 과정으로 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 단단하여 진다.

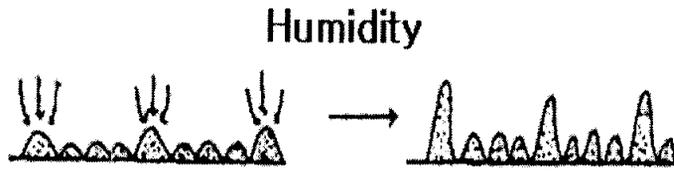


Fig. 1.2 Creation period of frost crystallization

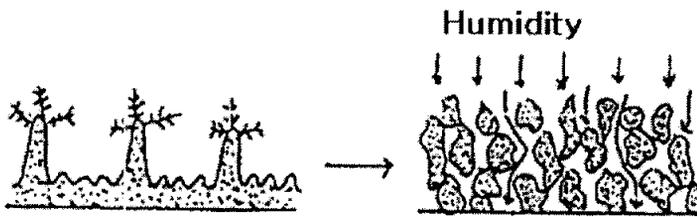


Fig. 1.3 Groth period of frost

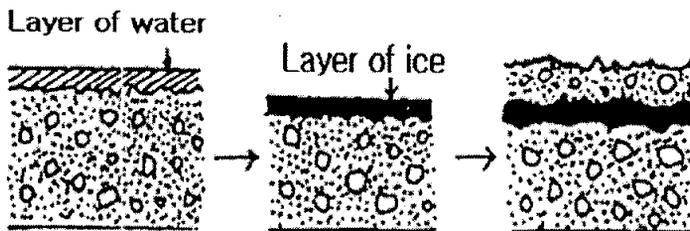


Fig. 1.4 Maturity period of frost

### 1.4.3 주요결빙영역

그림 1.5에 주요 결빙의 위치와 결빙의 형태를 나타내었다. 일반적으로 탑 마운트 냉장고의 경우 냉기가 냉동실로 배출되는 토출구 주변과 도어 개폐 시 외기가 직접 접촉하는 도어나 선반이 결빙의 취약영역이다. 토출구 주변은 그릴 팬의 단열조건의 취약에 의한 과 냉과 취출 된 냉기에 의해 과냉되어 수분의 유입 시 수분이 집중되는 현상이 나타나는 영역이다. 도어 면이나 선반 전방의 경우는 외부공기가 유입될 시 도어는 완전히 외기에 노출되어 수분이 부착되고 선반의 전방은 외부에서 유입되는 수분이 가장 많이 부딪히는 영역이기 때문에 결빙이 많다.

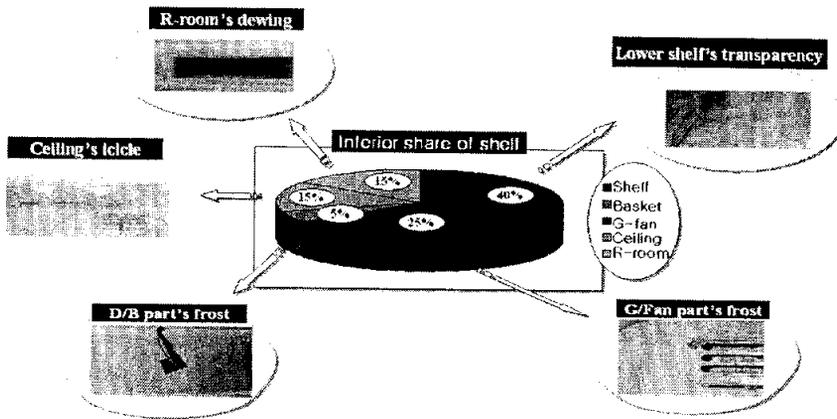


Fig. 1.5 Position and type of frost

위의 그림을 살펴보면 냉동실의 토출구 주변과 천정, 상부 선반 쪽에 결빙이 많다는 알 수 있다. 실제로 냉장고 생산 업체에서 조사된 바로는 양립도 어형 냉장고의 경우 그릴 팬과 상부 선반에 발생하는 결빙이 소비자 불만의

주된 요인으로 나타났으며, 전체 냉장고 관련 소비자 불만의 65%를 점유하고 있는 것으로 파악되었다.

### 1.4.4 주요 결빙 원인

그림 1.6은 주요 결빙의 원인과 개선방안을 도식화한 것으로, 본 연구의 수행을 위해서 기초실험과 문헌조사에 의해서 제시되었으며 주요원인은 외부 습공기의 유입, 제상시 토출 습증기, 국부적인 과 냉으로 구분할 수 있다.

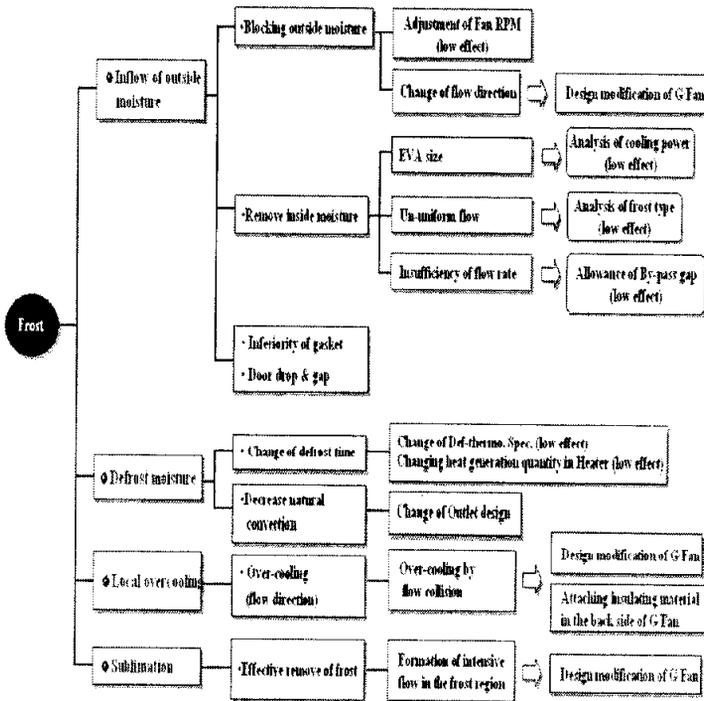


Fig 1.6 Cause of the main frost and remedy

외부 습공기의 유입은 냉장고의 사용 중에 도어의 개폐에 의해서 외부의

고온다습한 습공기가 냉동실 내부로 유입되어 벽면이나 선반에 부착된 후 동결되어 나타나는 결빙이다.

제상시 토출 습증기 역류이다. 우선 제상이란 냉장고의 운전되면서 고 내에 있던 수분이 승화 및 증발에 의해 제거되어 증발기에 달라붙는다. 이것이 지속되어 증발기에 착상이 많을 경우 착상이 증발기의 열 저항으로 작용하여 증발기의 능력을 저하시키게 된다. 따라서 이것을 방지하기 위해 냉장고는 주기적으로 증발기 표면에 부착된 착상을 제거하여 드레인 관을 통해 외부로 배출시키는 제상모드를 갖게되는데 이 과정에서 제상히터에 의해 증발된 습증기가 고내로 역류하여 냉동실 내부에 잔류하게 되어 나타나는 착상이다.

국부적인 과 냉은 냉장고가 운전되면서 취출기류에 의해 국부적으로 과냉이 되면 수분의 침입 시 물질의 이동법칙에 의해서 과냉 된 쪽으로 수분이 몰리는 현상이 나타난다. 따라서 주변보다 착상이 두드러지게 보인다.

## 2 본론

### 2.1 실험장치 구성

아래의 Fig. 2.1은 본 연구에서 사용된 실험장치의 구성도이다. 실험은 부경대학교 냉동공조공학과 건축환경설비연구실 내에 구성되어 있는 항온·항습실에서 시행되었다. 항온·항습실의 크기는 730\*440\*260이며, 설정조건은 여름 장마철 낮의 기온을 고려하여 30℃ 85%를 유지하였다. 대상이 되는 냉장고는 그림과 같이 나란히 배치하고, 실의 중앙의 상·중·하 높이에 항온·항습실의 온도를 측정할 수 있는 C-C열전대를 설치하였고, 중 높이에 습도를 측정할 수 있는 빗 습도계가 설치되어있다. 각각의 시료 및 공간에서 얻어지는 정보를 데이터로거로 수집하여 컴퓨터에 저장하였다.

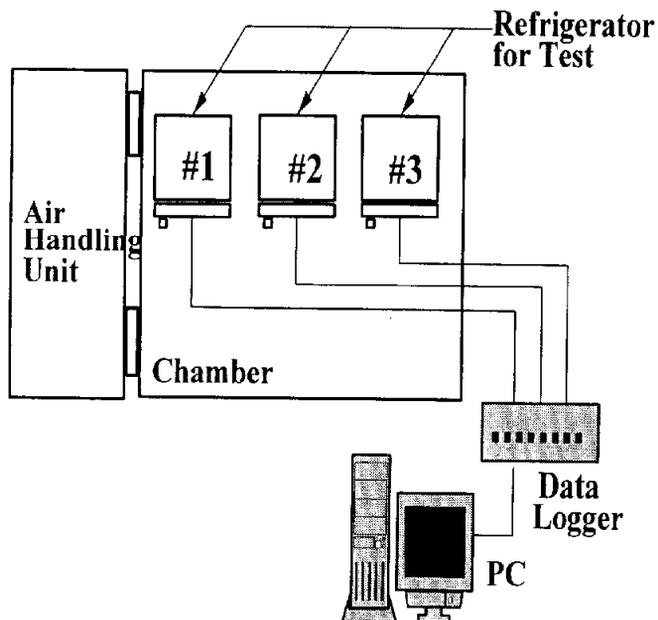


Fig. 2.1 Organization of equipment

Table 1.1 List of equipment

Use	Equipment
Maintenance of External Environment	AHU(BumYang)
Saving DATA	PC
Investigation	Digital Camera
Scanning DATA	Datalogger(Ykogawa, NetDAQ)
Measurment Temperature	C-C Thermo-couple
Measurment Dew point Temperature	Moisture Moniter(Panametric)
Measurment Air velocity	Ultrasonic Anemometer(KALJO)

Table 1.1은 본 연구에서 사용된 장비목록이다. 실험의 목적에 따라 측정 장비 목록이 상이하나 표에는 모든 장비의 목록이다. 시료 냉장고의 구성을 보면, 냉동실은 모두가 5단으로 구성되어있으며 1단 선반과 2단 선반 사이에 제빙그릇과 아이스트레이가 위치한다. 토출구는 상부그릴에 7개가 집중되어 있고 흡입구는 하단 부에 위치한다. 증발기는 3단에서 4단에 걸쳐 위치하며, 그 아래에 제상 코일이 위치한다. Fig. 2.2과 Fig 2.3은 각각 냉장고 전체의 형상과 각 부분의 형상을 나타내고 있다. 데이터 수집용 데이터로거는 YOKOGAWA사의 HR-2500E model(60 chennel)을 사용하였고, 데이터 저장용 PC는 일반 조립PC를 사용하였다. 온도 계측을 위해 C-C열전대, 습도 계측을 위해 BRAM습도계를 사용하였다. 냉동실 내부의 수분량 추이를 알아보기 위해 노점온도계를 설치하였다.

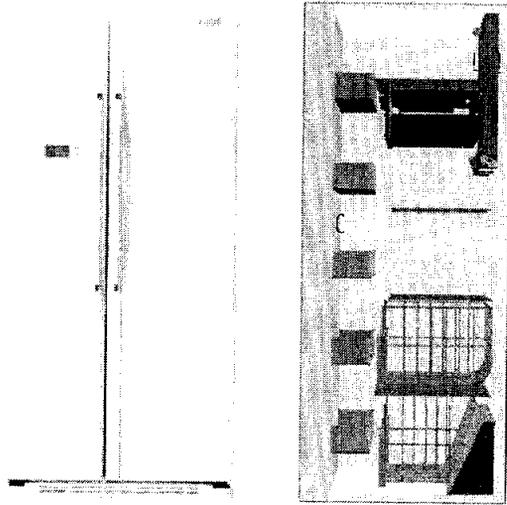


Fig. 2.2 External shape of refrigeration

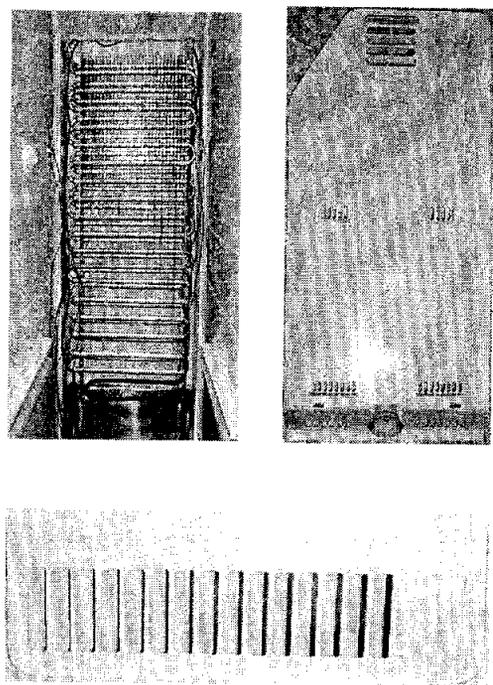


Fig. 2.3 Internal shape of refrigeration

## 2.2 제상현상파악

### 2.2.1 제상과정의 가시화

냉장고에서 제상은 증발기의 착상을 제거하는 과정이다. 증발기에 착상이 많을 경우 착상이 증발기의 열 저항으로 작용하여 증발기의 성능을 떨어뜨린다. 그러므로 적당한 시기에 증발기의 착상을 제거하는 과정은 냉장고의 능력을 유지하기 위해 필수적이다. 본 실험을 통해서 증발기에서 실제 착상이 진행되는 과정을 시각적으로 확인해보고자 한다.

#### 2.2.1.1 실험방법

본 실험장치는 외기를 30℃ 90%를 유지하는 항온 항습실 내에 위치한다. 냉장고 내 증발기가 위치하는 하부 그릴 부분을 절개 후 투명 아크릴을 부착하여 냉동실 내부에서 증발기를 관찰할 수 있게 하고, 선반에 카메라를 설치하여 냉장고를 가동한다. 냉장고 운전중 증발기에 충분한 착상을 유도하기 위해 운전 도중에 일정간격으로 냉동실 도어를 개폐한다. 냉장고가 일반 운전이 끝나고 제상운전이 시작되면 도어 개폐를 중지하고 데이터 수집을 한다. Fig. 2.4에 실험의 장치 구성이 나타나있다.

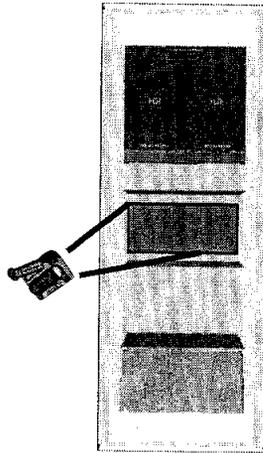
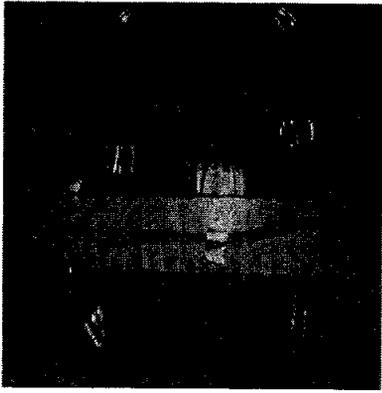


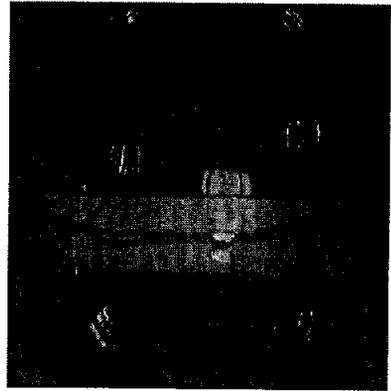
Fig. 2.4 Photographing of grill

### 2.2.1.2 결과

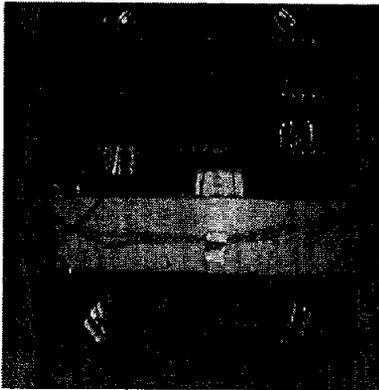
Fig. 2.5는 증발기에 완전히 착상된 후 제상과정에서의 착상과정을 나타내고 있다. 증발기에 완전 착상이 되면 증발기의 흰 간격이 상대적으로 넓은 상부보다 좁은 하부가 착상이 심하며, 알루미늄 흰 사이에 고르게 착상이 분포하는 것을 볼 수 있다. 양립도어형 냉장고의 제상코일은 증발기 하부에 위치하며, 하부의 공기를 가열하여 상부까지 제상을 시키는 공기 대류제상방식을 채택하고 있다. 그러므로 제상과정이 시작되면 제상이 시작되면 제상코일이 위치하는 하부의 중앙부터 공기가 가열되어 상승하므로 제상이 먼저 시작되며, 시간이 경과함에 따라 하부에서 상부로, 중앙에가 가장자리로 제상이 진행되는 것을 알 수가 있다.



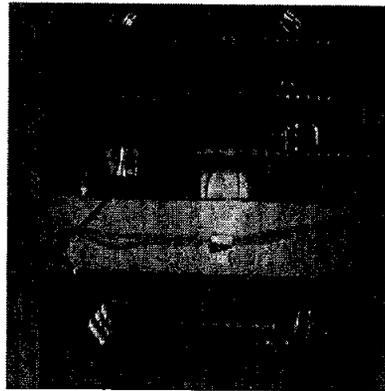
(a) 0 minutes



(b) 10 minutes



(c) 20 minutes



(d) 30 minutes

Fig. 2.5 Process of defrost

## 2.2.2 제상 시 수분역류

본 실험은 양립도어형 냉장고의 제상방식이 공기 가열식 대류 제상방법을 채택하고 있다는 점에 착안하여 고안된 실험이다. 공기가열식 제상방법을 채택할 경우 제상이 시작되면 증발기 하부에서 제상코일이 주변의 공기를 가열시키고, 가열된 공기는 자연 대류 현상에 의해 상부로 이동하면서 증발기의 전체적인 착상을 제거하게 된다. 이때 다량의 제상수분을 함유한 공기가 냉동실로 역류하게 된다. 이 역류된 공기는 양립도어형 냉장고의 토출구가 가까운 선반이나 벽면에 부착되어 착상을 유발시킨다. 이는 냉동실내의 결빙에 큰 영향을 미치게 되며, 실제 그 영향을 증명하기 위해 이를 가시화하고 현상을 파악해 볼 필요가 있다.

### 2.2.2.1 실험방법

제상 시 수분역류를 가시화하기 위해서는 PIV기법을 이용한다. PIV/PTV란 Particle Imaging Velocimetry와 Tracking Velocimetry의 약어로서, 나일론 입자, hydrogen bubble, smoke등과 같이 유동장의 비중과 거의 동일한 입자(Particle)들을 유동장에 투입하여 이들의 유동을 가시화 기술 및 디지털 화상처리기술(Imaging Processing Technique)을 이용하여 해석함으로써 유동장 전체에 걸쳐서 속도 2성분(u,v)또는 3성분(u,v,w)을 동시에 얻어내는 계측기술을 말한다.

토출구 풍속 측정은 냉장고의 증발기 충분한 착상을 만든 후 강제 제상모드로 전환하여 토출구의 풍속을 초음파 풍속계를 이용하여 측정하였다.

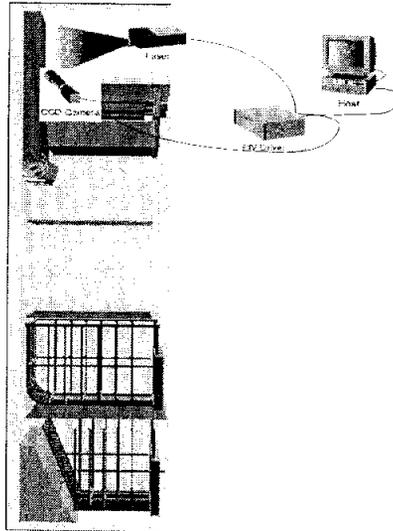


Fig. 2.6 PIV

Fig 2.7은 냉장고 내에 1단을 구성하는 각 표면의 온도를 파악하기 위한 열전대의 부착위치를 나타낸 것이다.

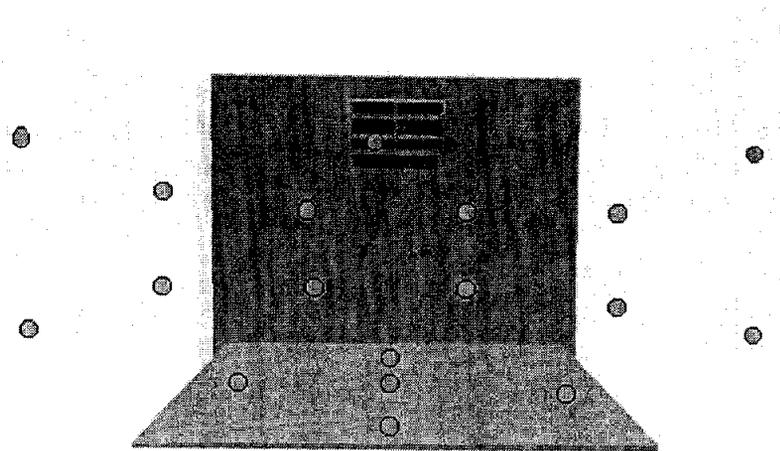


Fig. 2.7 Position of thermocouple

각 단에 동일한 형식으로 설치하였으며, 벽면은 좌·우, 상·하를 구분하여 4개의 측정 점을 두었고, 각 선반은 전·후·상·하 구분하여 4개의 측정 점과 그 중심에 1개의 측정 점을 두어 총 121개의 측정점에서 온도 데이터를 수집하였다.

그리고, 증발기를 통과하여 토출 되는 공기와 흡입되는 공기온도를 파악하기 위한 C-C 열전대를 부착하였으며, 고 내에 부하가 있는 것을 가정하여 동구에 열전대를 부착하여 고내의 온도를 측정하였다.

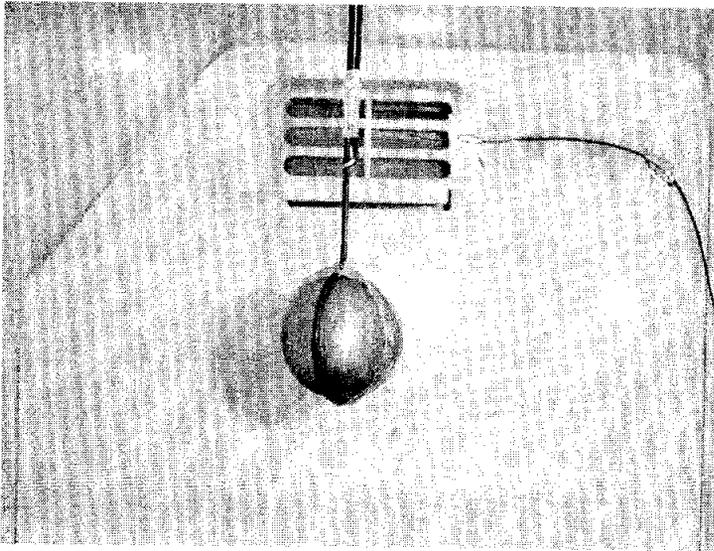


Fig. 2.8 Complete view of copper ball

제상시의 제상코일의 온도와 서모스택의 온도를 알아보기 위하여 제상코일에 C-C열전대 2개, 서모스택에 1개의 C-C열전대를 부착하였다.

### 2.2.2.2 실험결과

Fig 2.9는 제상과정에서 냉동실의 습증기 역류를 PIV를 이용하여 가시화를 수행한 결과이다. 제상과정이 진행됨에 따라 많은 량의 수증기가 토출구를 통해 취출 냉기가 취출 되듯이 뿜어져 나오고 있는 것을 볼 수 있다. 역류된 수증기는 천정 부분과 토출구 주변이 일차적으로 부딪히는 현상을 관찰할 수 있다. 결과적으로 제상과정에서 역류된 수분은 냉동실 내부에 비해 온도가 높기 때문에 수분의 통과 유로인 토출구와 높은 위치에 있는 천정 부분의 결빙에 많은 영향을 미칠 것이라 판단된다.



Fig. 2.9 Result of PIV

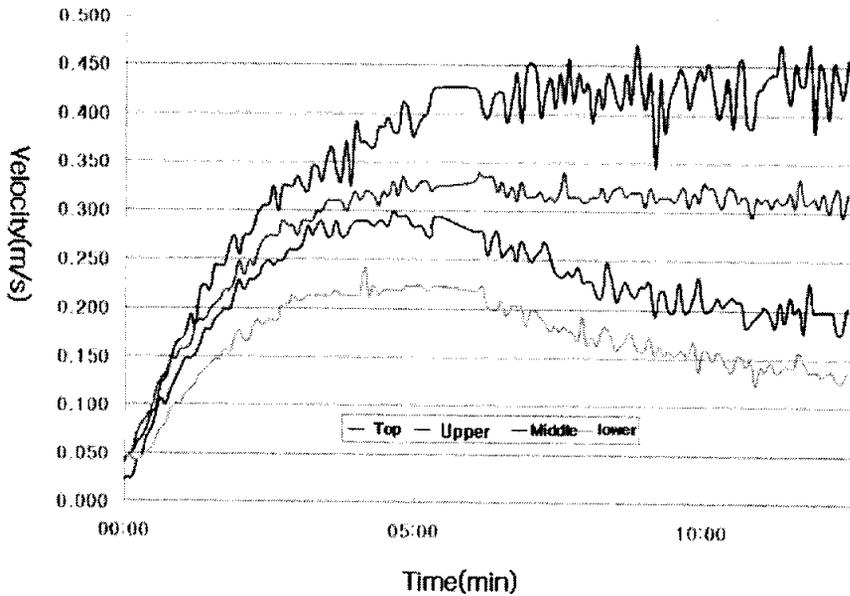
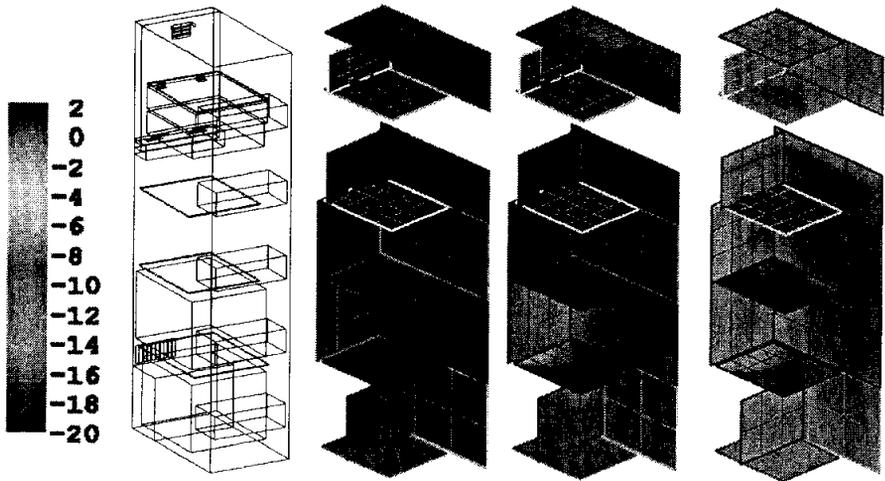


Fig. 2.10 Velocity of discharge

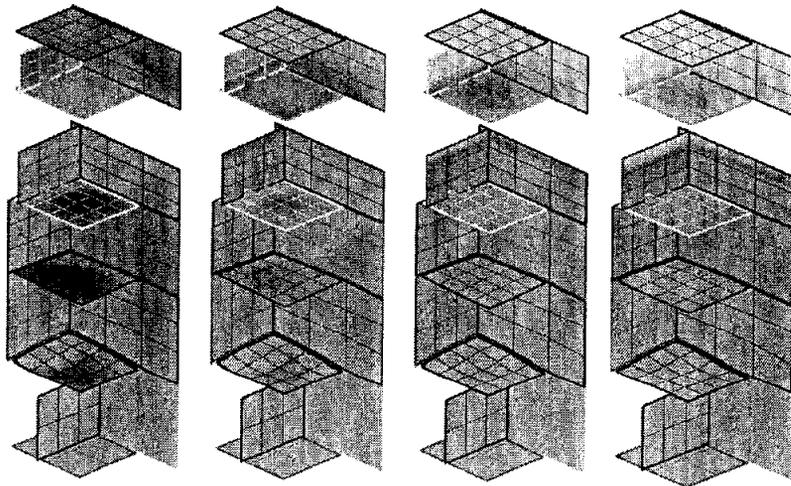
Fig 2.10은 제상과정이 진행될 때 각 토출구에서의 풍속변화를 나타내는 것이다.

제상모드로 전환이 되면 하부그릴에 위치하는 증발기 부위의 제상코일에 강력한 자연대류가 발생하게 되고, 그 공기가 상부 그릴 쪽의 토출구로 역류한다. 자연대류가 가장 활발한 시점의 최고 풍속은 0.45m/s에 이른다. 각 토출구별 풍속을 살펴보면 하부 토출구 보다는 상부 토출구의 풍속이 빠르므로 가시화 결과에서도 나타났듯이 상부 쪽의 결빙에의 영향이 지대할 것으로 판단된다.

Fig 2.11은 제상단계별 각 부위의 온도를 나타낸 그림이다. 제상과정 이전



Shape of R-room Befor defrost 5min 10min



15min 20min 25min 30min

Fig. 2.11 Change of temperature in R-room during defrost

에는 냉동실이 전체적으로  $-19^{\circ}\text{C}$  이하의 온도를 유지한다. 제상시작 5분 경에는 제상코일이 위치하는 하부 그릴 부분의 온도가 빠르게 상승한다. 제상이 시작 된지 10분 이후부터는 제상코일에 의해 발생된 대류공기가 토출구를 통해서 냉동실 내부로 역류되어 토출구 주변부터 온도가 상승하기 시작하여, 제상 후기에는 냉동실의 상단 부의 온도는  $0^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하는 것을 볼 수 있다.

Fig 2.12은 제상과정에서 나타나는 제상코일의 온도 및 써모스텝의 온도를

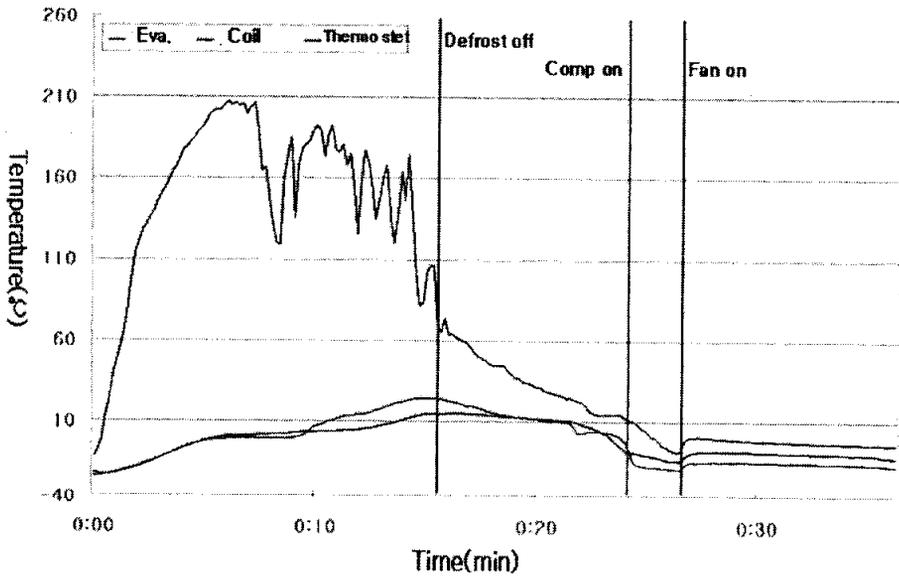


Fig. 2.12 Temperature of defrost coil and thermostat

나타낸다. 제상코일은 제상과정이 시작됨과 동시에 ON되어 약 15분간 유지되며, 온도는 최고  $200^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하여 공기를 가열시킨다. 써모스텝은 증발

기의 가운데에 위치하는 온도 센서로 증발기 주변의 온도를 감지하여 냉장고 운전주기를 결정하는 것이다. 제상과정에서는 써모스텝의 온도가 약 12℃에 이르면 제상코일을 OFF시킨다.

### 2.2.3 현상분석

지금까지의 제상현상을 파악하기 위한 실험 결과들을 종합해보며 다음과 같다.

1. 본 시료 냉장고는 공기 가열식 제상방식을 채택한 양립도어형 냉장고이다.
2. 제상과정에서 제상코일이 ON되면 코일의 온도는 200℃까지 상승하여 공기를 가열시키고, 이 가열된 공기의 자연대류에 의해 제상이 이루어진다.
3. 제상과정에서 증발기에 부착된 수분이 증발하여, 냉동실로 역류된다.
4. 냉동실로 역류된 수분은 토출구나 토출구와 가까운 선반, 벽면부분에 부착되어 결빙이 생긴다.

## 2.3 시스템 변경 적용 실험

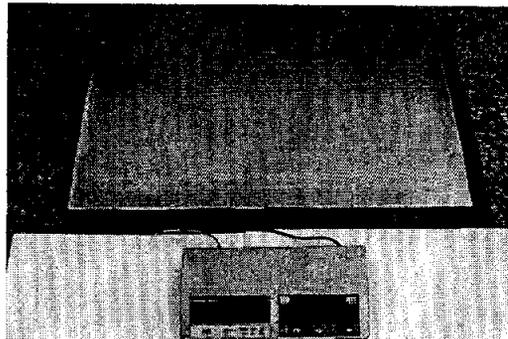
### 2.3.1 실험방법

#### 2.3.1.1 온도 측정

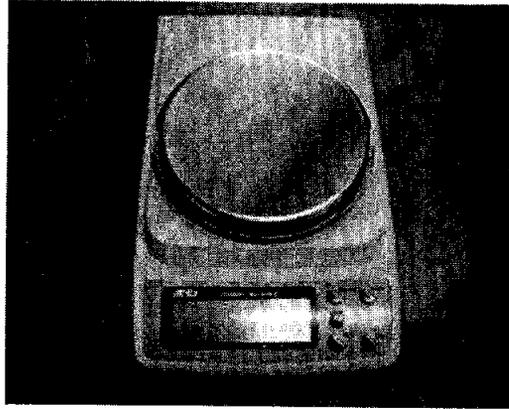
냉동실의 온도 변화를 확인하기 위해 냉동실의 1단과 3단 선반 사이공간에 동구를 설치하고 공구와 공간에 각각 C-C열전대를 설치하여 냉동실의 공간온도와 축열 온도를 측정하였다. 그리고 냉동실 증발기의 상태를 확인하기 위해 토출구와 흡입구에도 C-C열전대를 설치하였다. 모든 데이터는 YKOGAWA사의 HR-2500E model 데이터로거를 통해 수집하였으며 이를 Personal Computer에 저장하였다.

#### 2.3.1.2 무게 측정

아래의 Fig. 2.13은 본 연구에서 사용된 정밀저울과 전자저울의 사진이다.



(a) Electronic Scale(150kg/1g)



(b) Intensive Electronic Scale(2kg/0.1g)

Fig. 2.13 Electronic Scale

시료 냉장고 전체의 무게 변화는 전자저울(2kg/150kg)을 활용하여 측정하였고, 냉동실 각 부위에 착상된량은 거즈로 닦아서 정밀 전자저울(1g/2kg)로 측정하는데 활용하였다.

### 2.3.1.3 기준실험

본 실험은 기존의 시료냉장고 착상량을 기준실험으로 하고 각각의 변경실험 케이스의 착상량 비교를 통하여 그 효과를 검증하였다. 기준실험은 실제 생활에서 냉장고를 이용하는 사람들의 냉장고 사용 패턴을 가정하여 실험 타임스케줄을 구성한 것이다. Fig. 2.14는 실험에서 사용된 타임스케줄을 나타낸다.

냉장고는 냉동실과 냉장실의 수분을 완전히 건조시킨 후 가동한다. 냉장고가 완전히 건조가 되면 최초 가동 후 4시간이 지나면 제상이 시작되며, 이

제상이 있는 이후부터 6시간 동안 냉동실 도어를 15초씩 개폐하여 냉장고를 충분히 착상시킨다. 그리고 완전한 착상을 위하여 10시간 동안 밀폐운전을 한 후 도어를 개방하고 각 부위의 착상량을 정밀저울로 측정한다.

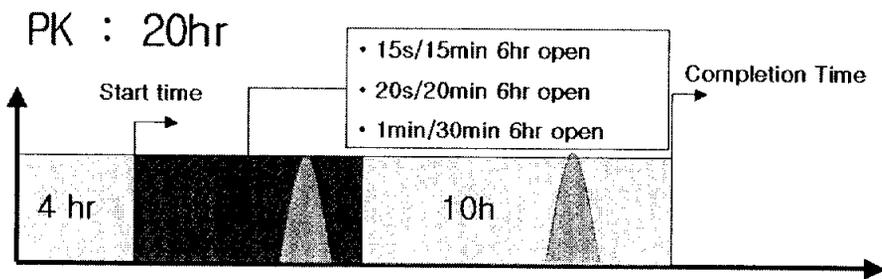


Fig. 2.14 Time table of experiment

### 2.3.14 시료의 변경

제상과정에서 제상의 온도는 제상코일의 열량에 의해 좌우된다. 현상과약 실험결과 본 시료냉장고의 경우 제상온도가 너무 높아서 제상시 강한 자연대류가 발생한다. 그 강한 자연대류는 제상과정을 통해 발생한 수분을 냉동실 내부로 역류시키는 역할을 한다. 따라서 제상열량의 적절한 조절을 통해 자연대류 발생을 억제하고 이를 통해 냉동실로의 수분 역류를 최소화 하고자하는 데 그 목적이 있다. 본 실험에서 슬라이덕스를 이용하여 제상 열량을 200W와 300W로 변경하고, 이때의 착상량을 기존의 400W와 비교하여 그 결과를 나타내었다.

## 2.3.2 실험결과

### 2.3.2.1 기준실험

기준실험을 통해 얻어진 착상량을 Fig. 2.16에 나타냈었다. 선반의 착상량을 살펴보면 상단 부에 위치하는 1단 과 2단 선반의 착상량이 다른 선반에 비해 월등히 많은 것을 알 수 있다. 이는 냉장실의 도어가 개방될 때 다량의 수분이 상단 부에 다량 부착되며, 제상 시에도 역류한 수분이 냉동실의 상단 부에 집중되어 나타나는 현상이다.

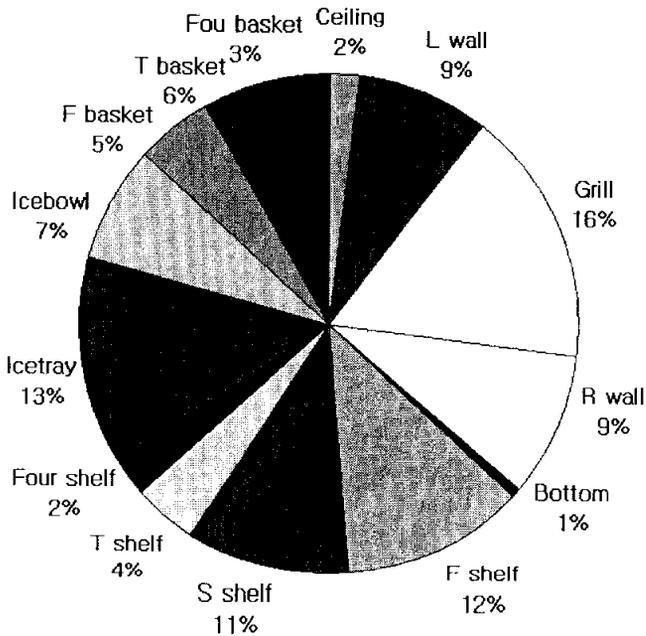


Fig. 2.16 Part portion of frost

벽면 부위는 좌벽과 우벽이 유사한 착상량을 보인다. 그릴의 경우 다른 부위에 비해 많은 량의 착상이 나타나는데 이는 증발기가 위치하는 실하우드와 냉기의 유로와 접하고 있어 다른 부분에 비해 온도가 낮고, 타 부위에 비

해 면적이 넓기 때문에 나타나는 현상으로 사려된다.

제빙그릇과 아이스트레이는 냉동실에서 얼음을 만들고 저장하는 곳으로서 위치 상으로 토출구 정면에 위치하고 다른 부위와 차단된 공간이라서 착상된 얼음을 승화증발현상으로 제거하는 것이 어려워 착상의 제거가 어려울 것이라 사려된다. 따라서 이 부분의 착상량을 줄이는 것 또한 중요하다고 판단된다.

도어바스켓은 도어가 개방될 때 외기에 완전히 노출되는 위치로서 착상 일어난다.

### 2.3.2.1 제상열량변경

Fig. 2.17와 2.18은 제상열량 변경실험을 통해 측정된 부위 별 착상량을 나타낸다. 특히 200W에서 상단에 해당하는 천정이나 1단 2단선반, 아이스트레이 부분의 착상량 감소가 두드러진다.

제상열량의 변경의 경우 기존의 시료와 토출구의 취출 조건은 동일하고 제상열량만을 변경하였다. 따라서 착상량의 감소 요인은 제상과정에서 제상열량의 감소로 제상온도가 하강하였고, 결과적으로 자연대류를 억제되어 고내로 유입되는 수분이 감소하여 착상이 줄어든 것으로 보인다.

제상열량 변경 300W와 200W를 비교해보면 200W에서는 전부 위의 착상량이 감소한 것으로 나타났다. 그러나 300W의 경우 선반부위의 착상량은 기존보다 오히려 증가한 것으로 나타나는데 이유는 300W에서는 자연대류가 400W만큼 활발하게 일어난다는 것을 알 수 있다.

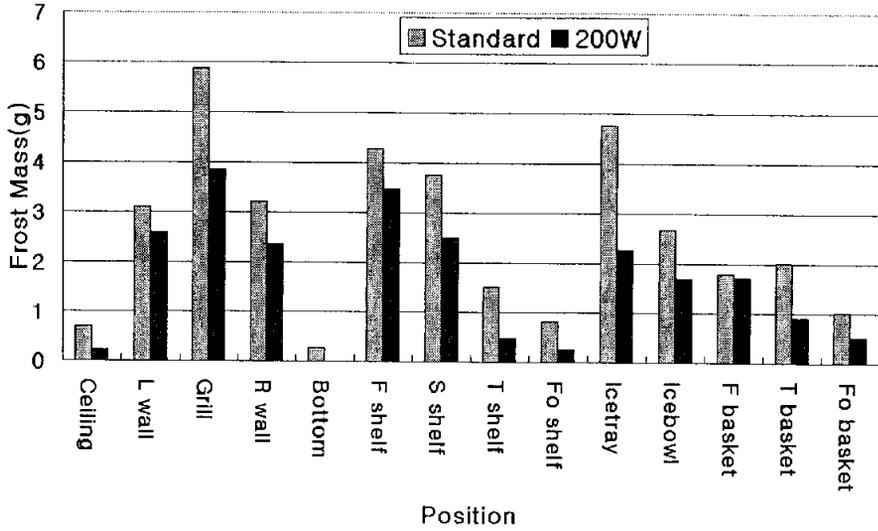


Fig. 2.17 Comparison of part frost mass(200w)

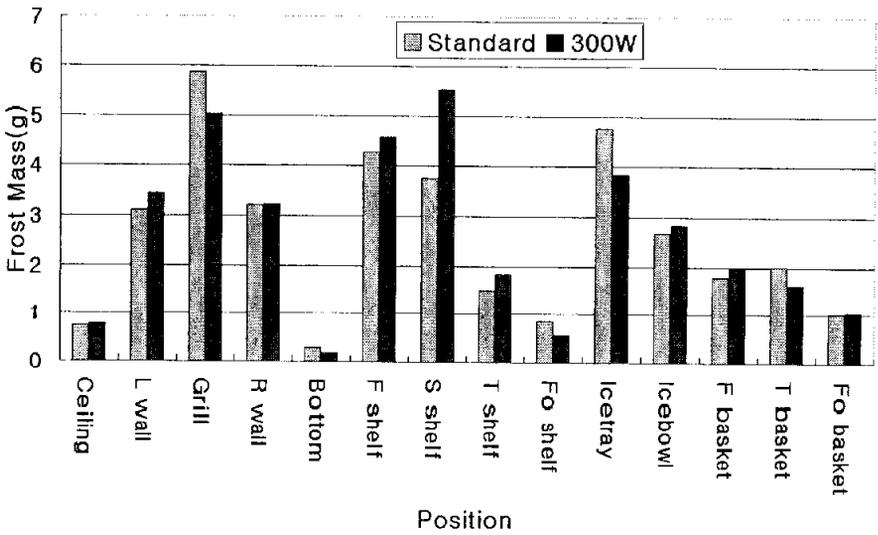


Fig. 2.18 Comparison of part frost mass(300w)

Fig. 2.19의 전체 착상량을 살펴보면 전체적으로 제상열량을 낮게 변경한 경우 착상이 감소하는 것으로 나타나며 그 순서는 400W>300W>200W 순으로 나타난다. 그러므로 제상의 경우 제상 열량이 낮으면, 다시 말해 제상 온도가 낮으면 낮을수록 냉동실 내부의 착상량은 감소하는 것으로 나타났다.

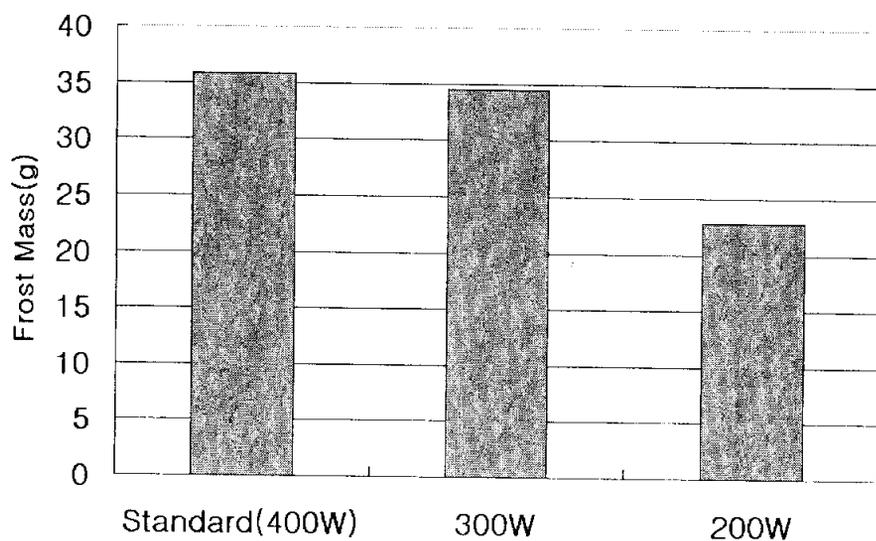


Fig. 2.19 Comparison of frost mass(Total)

### 3. 결론

본 연구는 냉장고의 결빙 중 많은 비중을 차지하는 제상과정이 양립도어형 냉장고의 결빙에 미치는 영향을 파악하는 것이다. 양립도어형 냉장고의 제상은 증발기 하부에 위치한 제상코일을 가열하여 증발기 상부까지 제상하는 공기 가열식 제상방식을 채택하고 있다. 따라서 본 연구에서 토출구와 흡입구의 리버를 변경하여 착상량을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- 1) 공기 가열식 제상방식을 채택하고 있는 양립도어형 냉장고의 경우 제상과정이 진행된다면 하부의 제상코일에 의해 강력한 자연대류가 발생한다. 이 자연대류에 의해 다량의 수분이 고 내로 역류하여 냉동실의 결빙을 증가시킨다.
- 2) 제상 과정에서 기존의 400W의 제상코일 발열량을 300W로 조정하였을 경우 냉동실내의 착상이 약4%감소하였고, 200W로 조정하였을 경우 약 37%의 착상이 감소하였다. 그러나 200W 이하의 경우 제상시간이 너무 길어 저서 실제 냉장고에는 적용이 불가능 할 것이라 판단된다. 따라서 제상코일의 발열량이 낮을수록 냉동 실내의 착상이 감소하나 제상시간을 고려하면 300W가 가장 적당하다.

## 참고문헌

1. 정학모, 강상혁, "덕트의 설계", 공기조화 냉동공학 제 28 권 제 2 호, pp. 99-107, 1999
2. 이진호, 권오갑, "흰 형상에 따른 증발기의 전열 성능", 공기조화 냉동공학 논문집 제 2 권 제 1 호, pp. 27-36, 1990
3. 이관수와 5인, "착상조건 하에서 핀-관 열교환기의 성능예측을 위한 컴퓨터 시뮬레이션", 공기조화 냉동공학 논문집 제 7 권 제 1 호, pp. 161-170, 1995
4. 이관수, 이태희, 김우승, "착상조건하에서 평행 평판 열교환기의 열 및 물질전달", 공기조화 냉동공학 논문집 제 6 권 제 2 호, pp. 155-165, 1994
5. 이관수, 이태희, "착상이란?", 공기조화 냉동공학 논문집 제 24 권 제 3 호, pp.325-337, 1995
6. 이관수, 지성, 이태희, "서리층 성장 예측을 위한 수치적 모델", 공기조화 냉동공학 논문집 제 9 권 제 2 호, pp. 249-258, 1997
7. 이관수, 박철균, "돌출부를 갖는 평행평판의 최적 설계를 위한 층류강제 대류 해석", 공기조화 냉동공학 논문집 제 10 권 제 1 호, pp. 129-136, 1998
8. 이관수, 김규우, 지성, "핀-관 열교환기에 대한 제상 거동에 관한 실험적 연구", 공기조화 냉동공학 논문집 제 10 권 제 6 호, pp. 649-657,

1998

9. 류수길, 이관수, "핀-관 열교환기의 표면특성에 따른 착상 거동에 관한 연구", 공기조화 냉동공학 논문집 제 11 권 제 3 호, pp. 377-383, 1999
10. 한홍도, 노승탁, "층류유동 저습도 조건에서의 평행평판형 냉각관 서리 성장 실험", 공기조화 냉동공학 논문집 제 11 권 제 4 호, pp. 440-447, 1999
11. 이관수, 지성, 이동욱, "핀-관 열교환기의 착상 거동에 대한 표면 접촉 각 영향", 공기조화 냉동공학 논문집 제 12 권 제 1 호, pp. 95-101, 2000
12. 이관수, 이태희, 김우승, "착상시 설계인자에 따른 핀-관 열교환기의 성능변화에 관한 실험적 연구", 대한기계학회논문집 제 19권 제 10 호, pp. 2657-2666, 1995
13. 이관수, 이태희, 허정희, "착상거동예측을 위한 이론적 모델", 대한기계학회 논문집 (B), 제 20 권 제 3 호, pp. 1096-1105, 1996
14. 지성, 이관수, "핀-관 열교환기의 착 제상 거 동에 대한 표면처리의 영향에 관한 실험적 연구", 대한기계학회논문집 B권, 제24권 제 8호, pp. 1062~1068, 2000
15. 稻葉英男, 復迫尙一郎, "低溫環境下における傳 熱問題(26)-着霜と除霜現象について, その1-", 連載講座 機械の研究 第43卷 第 3 , pp. 395-402,1991
16. 稻葉英男, 復迫尙一郎, "低溫環境下における傳熱問題(27)-着霜と除霜現

- 象について, その2-",連載講座 機械の研究 第43巻 第 4 , pp. 521-526,  
1991
17. 稲葉英男, 複迫尙一郎, "低溫環境下における傳熱問題(28)-着霜と除霜現象について, その3-", 連載講座 機械の研究 第43巻 第 5 , pp. 619-626, 1991
18. 稲葉英男, 今井誠土, "昇華蒸發現象お利用した除霜に関する基礎研究(第1報, 強制對流下さらされた水平上層の昇華蒸發舉動)", 日本機械學會 論文集(B編), 第 63 卷 第 607 , pp. 230-237, 1997
19. 稲葉英男, 今井誠土, "衝突噴流下に水平露層放射熱エネルギーを照射した場合の昇華 蒸發促進果", 日本機械學會論文集(B編), 第 63 卷 第 607 , pp. 205-212, 1997
20. 稲葉英男, 今井誠土, "衝突噴流下にさらされた水平露層の昇華蒸發に関する實驗的 研究", 日本機械學會論文集(B編), 第 63 卷 第 609 , pp. 254-261, 1997
21. 이관수, 고영우, "제상 현상 연구를 위한 눈 융해과정 해석", 공기조화 냉동공학 논문집 제 11권 제 1 호, pp. 38-47, 1999
22. 박창섭, "도어 개폐에 따른 냉동실 내벽면 착상 메카니즘에 관한 연구", 부산대학교 공학석사 학위논문, pp. 1-126, 1999
23. 윤재호, 박승상, 류호열, "냉장고 성능평가 기술", 공기조화 냉동공학 제 23 권 제 2 호, pp. 85-96, 1994
24. 오민정, 이재현, 오명도, "냉장고 내부의 냉기 유동특성에 관한 3차원

해석(I)", 공기조화 냉동공학 논문집 제 7 권 제 3 호, pp. 382-395,  
1995

25. 엄윤섭, 부정숙, 윤인철, "냉장고의 냉동실내 냉기 덕트 내부의 유동해  
석", 한국박용기관학회지, 제 24권 제 4호, pp. 509

## 감사의 글

본 논문이 좋은 결실을 맺을 때까지 물심 양면으로 지도해 주신 **김종수 교수님**의 은혜에 진심으로 감사 드리며, 논문 심사와 지식적 배경을 지도하여 주신 **오후규 교수님**, **최광환 교수님**, **김종수 교수님**, **김영수 교수님**, **윤정인 교수님**, **정석권 교수님** 그리고 **김은필 교수님**께 진심으로 감사를 드립니다.

또한, 논문이 완성되기까지 옆에서 조인과 시간을 허락해주신 **도시개발공사 시설관리부 김종유 부장님**과 **기계직 동료 여러분**에게 먼저 감사의 마음을 전하며

본 논문의 실험장치 제작에서부터 논문 발표까지 많은 노력과 수고를 아끼지 않은 **냉동공조공학과 신병환 박사님**과 석·박사과정 **김제일군**과 **김형철군**에게도 감사의 마음을 전하며

더불어 입학부터 논문 완성까지 늘 같이 했던 동기생인 **신성ENG 박승태상무님**, **LG건설의 김창연과장님**, **시민회관의 손효석 계장님**에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 오늘이 있기까지 불평불만하지 않고 부족한 저에게 오로지 헌신적인 내조로 일관하여 주었던 사랑하는 **아내 유금량**과 그동안 같이 파이팅을 외친 **딸 시정**, **아들 시현**에게도 이 작은 결실을 드립니다.