

# 착상과 제상이 냉동장치의 운전특성에 미치는 영향

## Effect of Frost and Defrost on the Operating Characteristics of Refrigeration System

김재돌  
J. D. Kim

(접수일 : 2010년 5월 31일, 수정일 : 2010년 6월 17일, 채택확정 : 2010년 6월 22일)

**Key Words** : Coefficient of Performance(성능계수), Compressor Work(압축기 소비동력), Defrost(제상), Frost(착상), Roll Brush Type(롤 브러시형), Refrigeration System(냉동시스템)

**Abstract** : This study was investigated the effect on operating characteristics of apparatus according to frosting and defrosting to develop of new defrosting equipment. The results showed as following. Frost was almost removed using the defrosting equipment with roll brush type that defrosting is possible under operating condition. Also, the temperature of compressor inlet, evaporator inlet and outlet showed higher value because of heat transfer resistance of cooling pipe frost comparing with defrosting condition. And the compressor work showed 10% lower and COP was presented 24% higher values than defrosting condition. Therefore, defrosting for cooling coil of refrigeration and low temperature storage was effected on operation and performance characteristics of equipment. This highly effects on real refrigeration apparatus which is operated in year-around.

### 1. 서 론

냉동냉장 및 저온창고에서는 일반적으로 천정에 설치되어 있는 천정코일형 냉각기에 냉매를 공급하여 냉매 증발시 발생하는 냉열로 주위공기를 냉각한다. 그리고 냉각된 공기가 다시 보관물품을 냉각하여 냉장 또는 동결이 이루어지고 있다. 이 과정에서 냉각기 전열관 표면에는 공기나 보관 물품 중에 포함되어 있는 수분이 응축, 동결되어 서리(frost)가 생성되며, 이를 제거하지 않으면, 이는 점점 성장해 간다.

냉각기 전열관 표면에 서리가 성장하여 그 두께(서리 층)가 증가하면, 냉각기 전열관의 열저항이 증대되어 열전달(heat transfer)이 나빠지게 되어 결국 열교환이 원활하지 않게 된다<sup>1,2)</sup>.

냉각기의 열전달이 나빠지면 냉각하고자 하는 물품을 소정의 온도까지 낮출 수 없다. 그리고 일정온도에 도달하기까지 시간도 많이 소요되어 냉동기의 운전시간이 길어지고, 냉각물품의 품질저하 및 생산속도도 늦어지게 된다. 또한, 냉각관 내부에서 액냉

매가 증발하지 못하고 압축기로 유입되는 소위 액백(liquid back)현상이 발생되어 장치의 고장을 초래할 수 있다. 그러므로 냉각기 전열관에 부착된 서리를 제거하는 작업, 즉 제상(defrost)이 필요하다<sup>3,4)</sup>.

현행 냉동냉장 및 저온창고들에서 이루어지는 제상의 방법들에는 냉동기의 운전을 일정시간 동안 정지시켜 서리를 제거하는 자연 제상법, 냉매 핫가스(hot gas)를 유입시켜 녹이는 핫가스 제상법, 증발기에 전기 히트(heater)를 설치하여 일정시간 간격으로 전기를 공급하는 전열 제상법, 물이나 브라인 등을 분무하여 서리를 제거하는 증기분사법 등이 있다. 그러나 이들 제상법들 중 냉동기 정지나 전열제상은 소형 냉동장치에 사용하며, 중대형의 냉동냉장창고들에서는 핫가스(hot gas)제상법이 가장 많이 사용되고 있다<sup>5,6)</sup>.

현행 가장 널리 이용되고 있는 핫가스 제상법은 냉동냉장창고에 보관되는 물품의 종류(수산물, 축산물, 농산물 및 기타)에 따라 제상을 해야 하는 시간도 달라진다. 그리고 실제 제상시에는 고내 온도가 상승하여 충분하고, 정기적인 제상이 이루어지지 않아 서리층이 두껍게 형성되고, 제상 시 전열관으로부터 충분히 제거가 되지 않는 경우가 많다. 이와

김재돌(교신저자) : 동명대학교 공과대학 냉동공조공학과  
E-mail : kjd@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1682

같은 경우에는 현장 작업자들이 저온의 창고 내에 직접 들어가 막대기나 빗자루 등으로 높은 천정(물품 보관창고이므로 천정고가 높음)에 부착되어 있는 냉각기의 서리를 털어내고 있다. 이 경우에도 보 관중인 물품에 제거되는 서리가 떨어지지 않도록 물품 전체를 덮개로 덮어 작업을 해야 하고, 처리한 서리 덩어리를 밖으로 배출해야 하는 등 여러 가지 어려움을 겪고 있다. 특히, 계절에 관계없이  $-25^{\circ}\text{C}$  이하나 심지어  $-55^{\circ}\text{C}$  범위의 수산물이나 축산물을 동결, 냉장하는 저온창고에서는 이러한 작업을 일정한 주기로 반복적으로 수행해야 함으로서 현장 창고 작업자들에게는 상당한 직무기피 작업으로 분류되고 있다. 이와 같은 이유로 적정시기에 적절한 제상이 이루어지지 않아 증발관에는 더 두꺼운 서리층이 형성되고, 상대적으로 열전달은 나빠져 창고 내 온도가 잘 저하되지 않고, 냉동기의 운전시간도 길어지는 등 여러 가지 문제를 야기하고 있다. 그러므로 기존 제상장치들이 가지고 있는 문제점들, 예를 들면 제상 시 고내 온도상승, 핫가스 제상을 위한 냉매액 회수작업, 서리를 수작업으로 제거해야 하는 어려움, 열전달률 저하 및 냉동기 운전시간 증대 등을 최소화하면서 냉동장치의 운전효율을 극대화 할 수 있고, 무엇보다 저온의 악조건 하에서 수작업을 해야 하는 현장 작업자들의 고충을 해결할 수 있는 새로운 방법의 제상장치 개발이 필요하다.

따라서, 본 연구는 천정 코일형 냉각기를 사용하는 냉동냉장 및 저온창고 내 제상작업의 환경 개선 및 냉동장치의 운전효율 증대를 위해 일정 주기로 장치 운전 중 자동적으로 제상을 실시할 수 있는 롤 브러시형(roll brush type)제상장치를 설치하였다. 그리고 고내 상대습도 및 제상 유무, 제상 횟수를 파라미터로 장치 운전 중 냉각기 코일에 부착되는 서리의 제거 가능성, 착상과 제상이 냉동장치의 운전 및 성능특성에 미치는 영향 등을 비교 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

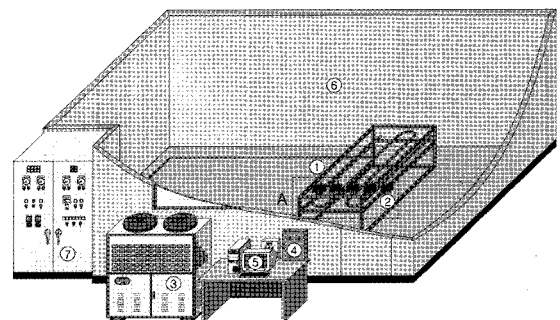
### 2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용된 시험장치의 개략도를 나타낸다. 실험에 있어서 냉동 유닛은 10kW급 증기압축식 냉동장치로 구성되어 있으며, 압축기, 유분리기, 응축기, 수액기, 전자밸브, 고저압 차단장치 등의 기본적 부품으로 구성되어 있고, 16m<sup>2</sup>규모의 환경 챔버 외부에 설치되어 있다. 그리고 시험부인

냉각기는 챔버 내에 설치하였으며, Fig. 2는 실험에 사용된 3RT급 천정코일형 냉각기의 설계사양(a) 및 실제 사진(b)을 나타낸다. 냉각기 코일은 4열로 되어 구성되어 있으며, 피치 및 재질은 각각 200mm, SPPS #40의 평활관으로 이는 실제 냉동냉장창고 천정코일에 적용되는 것과 동일한 사양을 사용하였다.

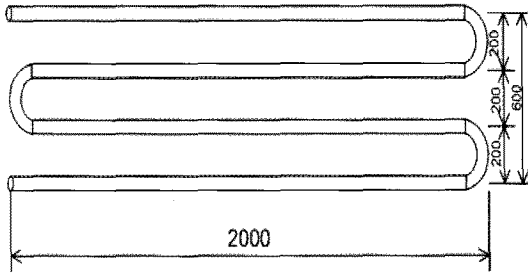
Fig. 3은 코일에 생성, 부착된 서리(frost)를 냉동장치 운전 중에 일정시간 간격으로 자동제상하기 위한 롤 브러시형 제상장치로 (a)는 장치 개략도를, (b)는 실제 사진을 나타낸다. 장치는 특수 제작된 브러시 팩(brush pack)을 천정코일 사이사이에 수직으로 설치하여 브러시 팩의 회전에 의해 코일(coil) 외부에 부착된 서리를 제거하는 구조로 설계하였으며, 브러시 팩은 일정 속도로 회전하면서 코일 길이 방향으로 수평 이동할 수 있도록 구성되어 있다.

브러시는 5개의 팩으로 이루어져 있으며, 2개의 팩 사이에 1열의 코일이 위치하게 된다. 팩은 테프론 재질의 와이어 대에 0.1mm STS 재질의 와이어가 부착되어 있으며, 와이어의 길이는 60mm정도로 충분히 서리 제거 효과를 낼 수 있도록 하였다. 브러시 팩이 몇 개 모여 브러시 세트를 구성하게 되며, 실제 장치에는 천정코일의 열수에 의해 결정할 수 있도록 하였다. 그리고 브러시 세트는 주축 양측이 베어링으로 고정되고 모터의 회전력을 V벨트를 통해 전달받아 회전하게 되며, 이 회전력을 베벨기어를 통해 브러시 팩이 전달받아 회전하면서 냉각코일에 부착되어 있는 서리를 제거하게 된다. Fig. 4는 환경 챔버 내에 설치된 제상장치의 사진을 나타낸다.

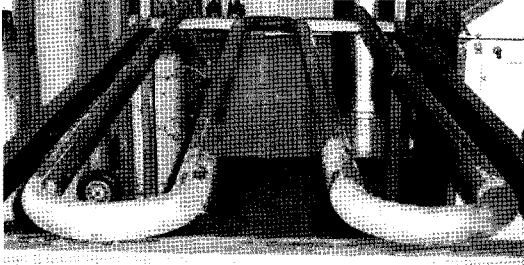


- ① Evaporator
- ② Defrost Equipment (Wire Brush)
- ③ Out Door Unit
- ④ Refrigeration Apparatus Controller
- ⑤ Data Logger
- ⑥ Environment Chamber
- ⑦ Chamber Controller

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

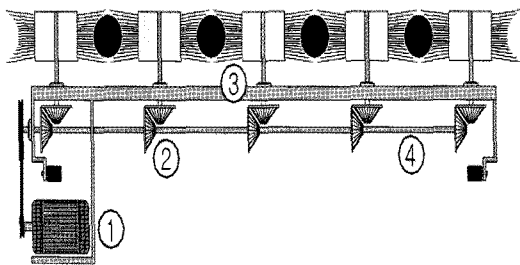


(a) Design specification of cooler tube

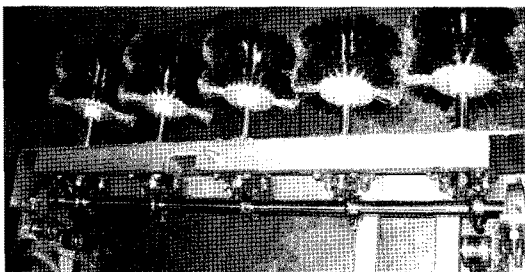


(b) Photograph of cooler

Fig. 2 Design specification and photograph of cooler



① Motor ② Gear ③ Wire Brush ④ Carriage  
(a) Schematic diagram of defrost apparatus



(b) Photograph of defrost apparatus

Fig. 3 Schematic diagram and photograph of defrost apparatus

## 2.2 실험방법

각 실험시 냉동기의 성능 측정을 위해 Fig. 1의 장치 개략도에서와 같이 환경 챔버 내 온도와 습도는 온습도 측정장비로 측정하였다. 그리고 시스템 각 부의 온도는 증발기 입·출구, 응축기 입·출구, 압축기 입구, 팽창밸브 직전에 열전대를 설치하여 10

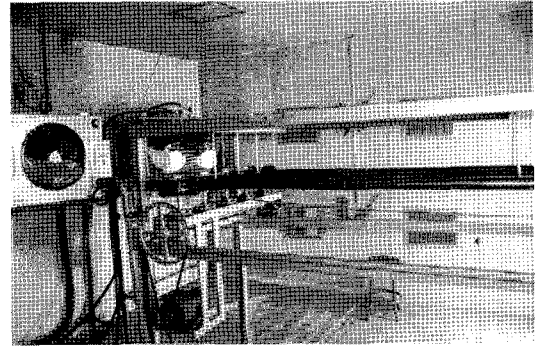


Fig. 4 Photograph of experimental apparatus

초 간격으로 데이터로그에 의해 측정하였으며, 측정된 자료는 컴퓨터로 저장 처리하였다. 또한, 장치의 소비전력은 파워메터로 측정하였으며, 환경 챔버 내의 온도는 챔버 내 일정 간격 및 높이에 총 8개의 열전대를 설치, 평균하여 정리하였다.

실험은 총 6회에 걸쳐 실시하였으며, 챔버 내의 상대습도 80%, 60%를 대상으로 한 경우, 제상장치를 전혀 가동하지 않은 경우(non), 제상장치를 1시간에 1회(1t/h) 실시한 경우, 1시간에 2회 실시한 경우(2t/h)로 각각 나누어 실시하였다. 그리고 이와 같은 실험인자를 대상으로 장치 각부의 온도특성, 고내 온도강화 특성을 측정하였으며, 측정된 데이터는 데이터 로그와 PC를 통해 실시간으로 정리하였다. 또한, 상기 실험인자들을 대상으로 장치 작동시 압축기의 소비동력과 성능계수를 평가하였으며, 압축기가 소비하는 전력(AW)은 파워메터가 측정한 값을, 장치의 냉동능력(Q)은 식(1)과 같이 계산하였고, 성능계수(COP)는 식(2)와 같이 계산하였다.

$$Q = M \cdot c_p \cdot \int_{T_{inia}}^{T_{outa}} dt \quad (1)$$

$$COP = Q/AW \quad (2)$$

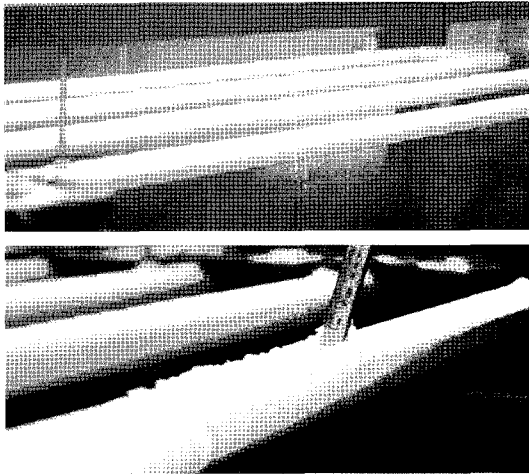
여기서, M은 챔버 내 공기량(kg)을,  $T_{inia}$ 과  $T_{outa}$ 은 챔버 내 초기 및 최종온도(°C)를, 그리고  $c_p$ 는 공기의 비열(kcal/kg°C)을 각각 나타낸다.

## 3. 실험결과 및 고찰

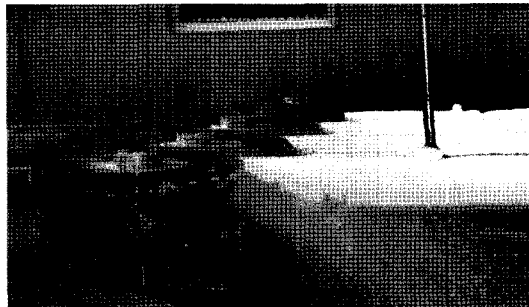
### 3.1 착상 및 제상

Fig. 5는 상대습도 80%조건하에서 장치운전 1시간 후의 착상상태(a), 제상장치에 의한 제상과정(b) 및 제상 전후의 비교(c) 사진을 나타낸다. 사진에서와 같이 운전 1시간 경과 후, 냉각관에는 약 5mm정

도의 서리층이 형성되었으며, 착상 후, 롤 브러시형 제상장치의 브러시가 작동함에 따라 거의 완벽하게 서리가 제거되었다. 그리고 (c)에서와 같이 착상과 제상 전후, 냉각관의 상태를 명확히 확인할 수 있었다.



(a) Photograph of frost(after 1 hour)



(b) Photograph of defrost process



(c) Comparison with frost and defrost

Fig. 5 Photograph of frost and defrost

### 3.2 냉동장치의 운전특성

Fig. 6은 고내 상대습도 80%와 60%를 대상으로 실험 4시간 동안 전혀 제상을 하지 않은 경우(non)와 동일한 조건하에서 1시간에 1회(1t/h), 1시간에 2회(2t/h), 롤 브러시형 제상장치로 제상을 실시한 경우의 압축기 입구 냉매온도변화를 나타낸 결과이다.

그림에서와 같이 제상 장치의 가동여부에 따라 확연한 온도 차이를 나타내고 있으며, 제상을 하지

않고, 상대습도가 높을수록 입구온도는 높게 나타났으며, 반대로 상대습도가 낮고, 제상 횟수가 많을수록 압축기 입구의 냉매온도는 낮게 나타났다.

이와 같은 결과는 제상을 하지 않은 경우, 압축기가 정속 운전되고 있는 상태에서 시간 경과에 따라 착상이 진행되고, 상대적으로 열전달률이 저하됨에 따라 냉각관 내, 냉매의 증발이 원활하지 못함에 따른 증발온도의 상승에 기인하는 것으로 판단된다. 특히, 제상을 하는 경우, 제상 후, 일정 시간동안에는 낮은 온도가 유지되었으며, 제상유무 및 작동 횟수에 따라라도 확연한 온도변화를 확인할 수 있었다.

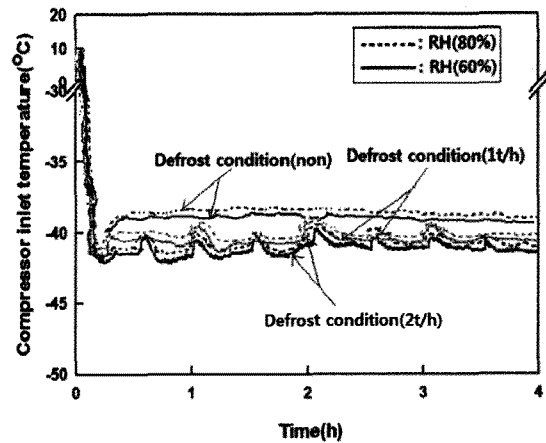
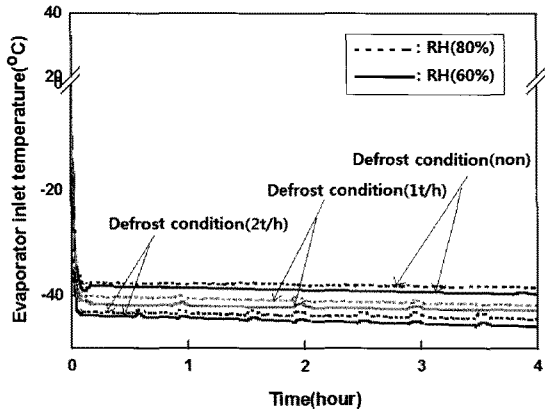


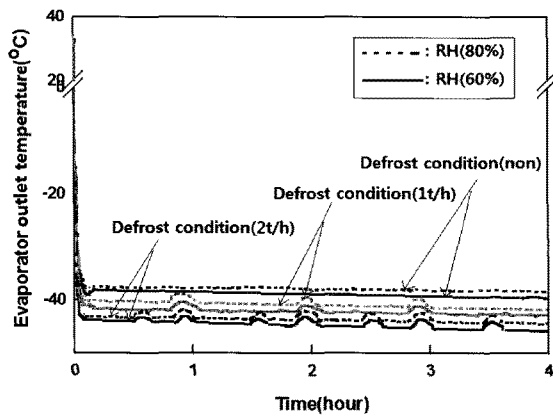
Fig. 6 The change of compressor inlet temperature versus frost and defrost

Fig. 7은 동일한 조건에서 증발기 입구(a) 및 출구(b) 온도변화를 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 증발기 입출구 온도의 경우에도 제상을 한 경우가 전반적으로 낮은 온도분포를 나타내었으며, 제상 횟수에 따른 영향도 명확하게 나타났다. 이와 같은 결과는 제상을 함으로서 증발관 표면 서리에 의한 열전달 저항이 감소하고, 관내 냉매와의 열교환이 훨씬 잘 이루어지기 때문으로 판단되며, 이와 같은 영향이 상기압축기 입구온도에도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 동일한 조건에서 시간 경과에 따른 고내 온도변화 추이를 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 일정 간격으로 제상을 하는 경우와 제상을 하지 않은 경우, 운전 4시간 경과 후, 약 3°C정도의 고내 온도차가 발생되었다. 그리고 상대습도가 높을수록, 제상 횟수가 증가할수록 온도강하가 더 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 상기의 증발기 입출구 온도 특성에서와 같이 제상 횟수가 증가하고, 상대습도가 낮을수록 냉각관의 서리에 의한 열전달 저항의 감



(a) Inlet temperature



(b) Outlet temperature

Fig. 7 The change of evaporator inlet and outlet temperature versus frost and defrost

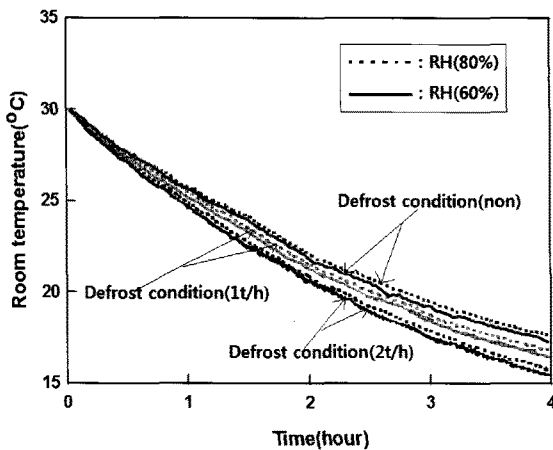


Fig. 8 The change of room temperature versus frost and defrost

소에 기인하는 결과로 판단된다. 따라서, 이와 같은 현상은 실제 대규모 냉동냉장 및 저온창고에서는 더욱 뚜렷한 결과가 나타날 수 있을 것으로 판단되며, 이는 고내 보관물품의 냉각속도, 냉동기 운전시

간 등 여러 가지 측면에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

### 3.3 냉동장치의 성능특성

Fig. 9는 동일한 운전 조건에서 제상 유무 및 횟수에 따른 압축기의 소비동력을 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 고내 상대습도가 높고, 제상을 하지 않은 경우가 소비동력이 높게 나타나고 있다. 즉, 장치 운전 4시간 경과시, 상대습도에 관계없이 제상을 하지 않은 경우와 1시간에 제상을 2회 실시한 경우의 동력소비는 약 10%정도 제상을 하지 않은 경우가 높게 나타났으며, 제상 횟수에 따라서는 1회 실시시 3~4%정도 소비동력이 높게 나타났다.

이와 같은 결과는 Fig. 10의 압축기 입구 사진에서와 같이 제상을 하지 않은 경우에는 제상을 실시한 경우에 비해 증발기 냉각관 내에서 충분한 냉매의 증발이 이루어지지 못하고, 압축기로 액 냉매가 유입되거나 또는 흡입냉매의 상태도 건도가 낮은 냉매를 흡입함으로써 상대적으로 압축기의 소비동력은 증가하는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 상기의 각 조건들에 따른 장치의 성능계수를 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 시간이 경과할수록 COP는 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 고내 온도저하에 따른 냉동능력의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

제상 유무에 따라서는 약 24%, 제상 횟수에 따라서는 약 8%정도 제상을 한 경우와 제상 실시 횟수가 많은 경우가 더 높게 나타났다. 이와 같은 결과역시, 제상을 실시한 경우가 하지 않은 경우에 비해, 냉각기의 열전달 향상에 따른 냉동능력의 증대와 압축기 소비동력의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

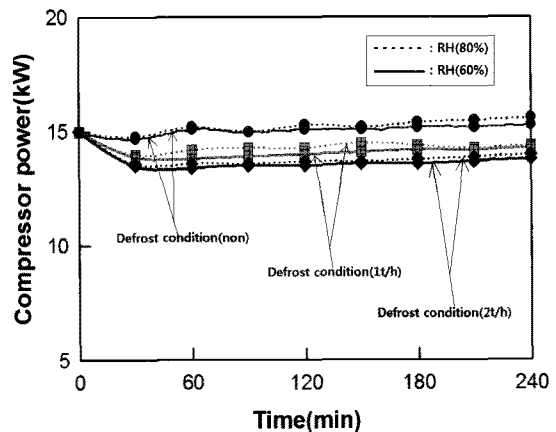
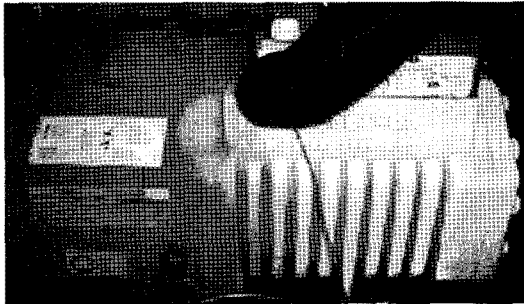


Fig. 9 The compare with power consumption versus frost and defrost



(a) Case of non-defrost



(b) Case of defrost

Fig. 10 Photograph of compressor versus frost and defrost

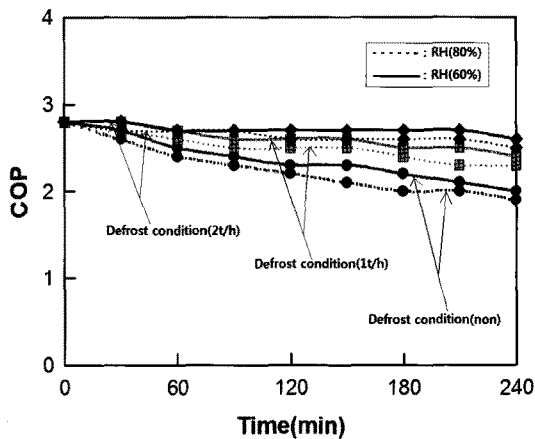


Fig. 11 The comparison with coefficient of performance versus time

#### 4. 결론

냉동냉장 및 저온창고용 냉동장치의 효율증대 및 제상 작업환경 개선을 위한 새로운 제상장치 개발을 위해 착상과 제상이 장치의 운전특성에 미치는 영향을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 기존 방식에 비해 장치의 운전 중에도 제상이 가능한 새로운 방식의 롤 브러시형 제상장치를 작동한 결과 거의 완벽하게 서리가 제거됨을 확인할

수 있었으며, 이는 실제 냉동냉장 및 저온창고 시설의 제상 작업환경 개선 및 장치의 효율향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 고내 상대습도, 제상유무 및 제상 횟수를 파라미터로 장치 각부 온도특성을 확인한 결과 제상을 하지 않은 경우와 제상 횟수가 적은 경우가 냉각관 서리의 열전달 저항으로 인하여 압축기 입구, 증발기 입출구온도가 높게 나타났고, 고내 온도강하 속도도 늦어지는 것으로 나타나 보관 물품의 냉각 속도, 냉동기 운전시간 등에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

(3) 각 조건에 따른 냉동장치의 성능특성에 있어서도 제상을 실시한 경우가 압축기의 소비동력이 약 10%정도 낮게 나타났고, 이는 장치 운전시 압축기 입구 사진에서도 확인 가능하였다. 또한, 장치의 COP도 제상을 실시한 경우가 하지 않은 경우에 비해 최대 24%정도 높게 나타났다.

(4) 상기의 결론을 종합할 때, 냉동냉장 및 저온창고의 냉각관 코일에 있어서 제상의 유무와 횟수는 장치의 운전 및 성능특성에 상당한 영향을 미치며, 실제 연중 운전되고 있는 냉동장치의 경우 이와 같은 영향은 더 클 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. 윤정인, 김재돌, "냉동설비공학", 태훈출판사, 1999.
2. 박대휘, "열펌프의 원리와 특징", 대한설비공학회, Vol. 14, No. 3, pp. 242~252, 1985.
3. Cavallini, A. and Zecchin R., "A Dimensionless Correlation for Heat Transfer in Forced Convection Condensation", Proc. 6th Intl. Heat Transfer Conf. Tokyo, Vol. 3, pp. 309~313, 1974.
4. 장영수, 노승탁, "R134a, R152a, R22/142b를 이용한 냉동기의 성능시험", 대한설비공학회 Vol. 6, No. 1, pp. 39~46, 1994.
5. Kruse, H., "European Research and Development Concerning CFC and HFC Substitution", ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, pp. 41~54, 1993.
6. M. M. Shah, "A general correlation for heat transfer during film condensation inside pipes", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.22, pp.547~556, 1979.