

# 강제 송풍 증발기에 의한 자동제상장치의 최적제상시기에 관한 연구

구 남 열<sup>†</sup>, 이 윤 경, 하 옥 남<sup>\*</sup>  
경남대학교 기계공학과, \*조선대학교 기계공학과

## A Study on the Period of Optimum Defrost of Auto Defrost Unit by the Forced Fan Evaporator

Nam-Yeor Koo<sup>†</sup>, Yun-Kyeong Lee, Ha-Ok Nam<sup>\*</sup>

Department of Mechanical Engineering, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

\*Department of Mechanical Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

(Received January 15, 2003; revision received March 18, 2003)

**ABSTRACT:** This study is on a experiment which shows to defrost automatically on the optimum time regardless of defrosting method. The result shows that the more defrost layers increase in fin tubes of evaporation, the less the section of the circulating air reduce. Thickness of the frost formation increases, so a pressure difference of ventilation increase, as a result automatic defrosting system sets the time COP drops suddenly up optimum time. Automatic defrosting system can find out the initial related current of evaporator fan motor and the value of load current in the optimum time. And it sets defrosting time, evaporating temperature, and temperature in refrigerator up system requiring value. Consequence of this experiment is that energy consumption with defrost load gets effect of reduction of eleven percent per 25.4 hours compared with common defrosting.

**Key word:** COP(성능계수), Related current(정격 전류), Load current(부하 전류)

### 기 호 설 명

### 그리스 문자

*AFD* : 서리층 허용 두께 [mm]  
*C<sub>s</sub>* : 핀-관의 표면적 [m<sup>2</sup>]  
*FD* : 서리의 착상속도 [kg/hr]  
*Q* : 전냉각부하 [RT]  
*SHF* : 현열비

$\theta$  : 제상의 주기 [hr]

### 1. 서 론

공기를 냉각시키는 증발기의 핀-관 표면의 온도가 공기의 노점온도보다 낮아지면 공기 중의 수분이 냉각 관 표면에 닿아 응축되며 표면온도가 0℃ 이하 보다 더 낮아지면 응축된 물이 얼어 고체 상으로 된다. 이 상(霜)이 냉각 관 표면에 끼게 되면 열 저항체로 되며 따라서 전열작용이 불량<sup>(1)</sup>하게 되어 냉동능력이 감소하게 된다.

이와 같은 이유로 최근 들어서서 냉동기술의

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-61-450-7274; fax: +82-61-450-7275

E-mail address: iiegn@mpc.ac.kr

발전에 따라 냉동, 냉장, 공조산업 및 극저온산업 분야에서 매우 중요한 관심의 초점이 되고 있다.

증발기의 핀-관 표면에 착상<sup>(2)</sup>이 시작되면 처음에는 눈과 같이 되었다가 시간이 경과되면 계속 동결되어 두꺼운 얼음으로 변하고 그 두께는 계속 증가한다. 이러한 현상은 전열 불량으로 증발관의 온도강하가 증가하고 증발기의 증발량이 적어지기 때문에 액 압축을 유발하게 되며 결국에는 압축기의 파손 등의 냉동장치의 운전 불능상태가 일어난다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 적당한 시기에 제상<sup>(3-4)</sup>을 함으로써 냉동장치의 안전운전을 유지할 수 있으며 냉동능력은 향상된다.

본 연구에서는 여러 가지 제상방법에 관계없이 최적시기에 제상을 수행할 수 있는 자동제상장치의 측정을 위해 일반적으로 사용되는 전열식 제상장치<sup>(5-6)</sup>에서 실험을 하였으며 착상상태의 변화에 따른 증발기 팬 모터의 부하전류값으로 최적상태의 제상시기를 판단<sup>(7)</sup>함으로써 제상 소비전력의 소비량을 최소화하여 에너지 소비 측면에서 고효율이면서도 능률적으로 제상을 실시할 수 있는 자동제상장치를 적용하여 실험적인 연구를 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같으며

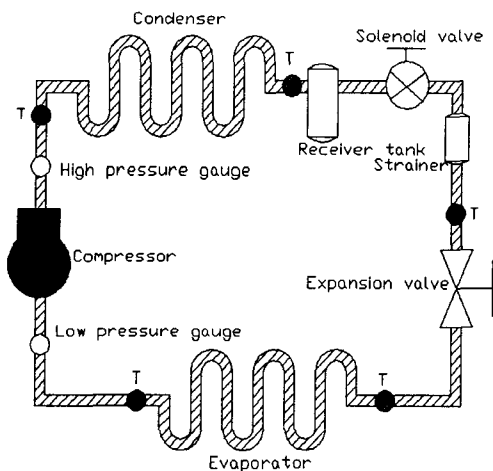
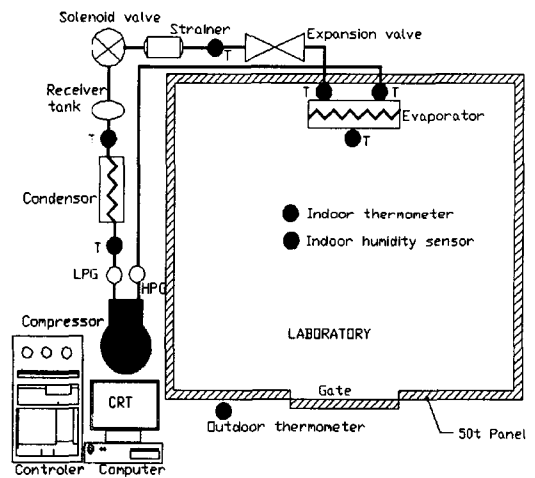


Fig. 1 Schematic experimental apparatus.

실험실은 Fig. 2와 같다.

실험장치에 사용된 냉매는 R-22를 사용하였으며 증발된 저온, 저압의 냉매증기를 흡입하여 증기를 쉽게 응축할 수 있도록 고온, 고압의 증기로 압축하는 역할을 하는 소형 밀폐형 2HP 용량의 압축기로서 압축기와 전동기를 같은 케이스 속에 넣고 밀봉 용접되어 있어서 분해 조립은 불가능하나 운전소음이 적고 오일누설이 없으며 밸브 대신 충전 니플이 부착된 것을 선택하였다. 흡입측 관경은 9.5 mm, 토출측 관경은 15.8 mm의 동관으로 연결하였으며, 응축기는 소형 밀폐형 2 RT로서 고열원을 방출하기 위하여 냉각시키고 냉매를 연속적으로 다시 사용하기 위하여 액화시키는 일정한 응축압력 및 응축온도를 조절할 수 있는 공랭식 응축기를 설치하였다. 팽창밸브는 일정한 온도조건상태로 유지하기 위하여 온도식 자동팽창밸브를 설치하였다.

수액기는 압축기와 응축기의 용량과 균형을 맞추어 소형 밀폐형 2RT를 응축기와 팽창밸브 사이의 고압측에 설치하여 고압의 냉매액을 일시 저장하여 냉동장치의 냉동부하가 변하여도 냉매를 증발기에 원활히 공급할 수 있도록 하였다. 수액기 다음에 전자변을 설치하여 냉매의 흐름을 조절할 수 있도록 하였고, 팽창밸브 직전에 여과기를 설치하여 이물질이 팽창밸브의 작동에 장애를 주는 일이 발생하지 않도록 하였다.



T : Thermo meter  
 HPG : High pressure sensor  
 LPG : Lower pressure sensor

Fig. 2 Schematic diagram of the laboratory.

증발기는 일반적으로 많이 사용하는 유니트쿨러식으로써 4 Row-8 Step으로 구성되어 있고 팬의 용량은 130 W이며 제상을 위한 전열장치는 350 W×4개로 구성되어 있다. 증발기 핀의 피치는 8.0 mm이며 관에 0.2 mm 정도의 알루미늄 박이 부착되어 있다.

제상을 위한 장치로 증발기 팬 모터는 증발기 핀-관의 착상 증가에 따라 압력은 증가하고 회전수는 저하되며 부하전류는 증가한다는 유도전동기의 원리를 이용하여 증발기 팬 모터에 누설전류계(10  $\mu$ A : 분해능)를 설치하여 증발기 핀-관 사이에 착상층이 증가함에 따라 순환하는 공기의 유로단면을 축소시키고 공기흐름에 저항이 증가하면 송풍압력차로 증가하는 팬 모터의 부하전류 변화값을 누설전류계로부터 전송 출력받아 A/D 보드를 통하여 컴퓨터로 실시간 전송 모니터링 저장하였다. 이때 필요한 데이터 수집은 Visual Basic Program Tool로 개발하여 자동적으로 수집 저장할 수 있도록 하였다. 또한 실험장치의 운전에서 자동제상의 시기, 즉 착상 두께와 부하전류값의 증가가 빨라지고 성능계수의 급격한 저하를 나타내는 시기의 부하전류값을 설정하고 실험시작시의 증발기 팬 모터의 초기정격전류에서 실험운전 경과에 따른 부하전류값이 설정값에 도달하면 자동제상할 수 있도록 하였다.

실험실은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 두께 50 mm의 우레탄 패널로 제작되어 있으며 실험실의 크기는 가로 1,800 mm, 세로 1,600 mm, 높이 2,000 mm이고 바닥은 콘크리트 두께 300 mm로 되어 있고 출입문은 박여닫이로 설치하였다. 실험장치에는 압축기의 흡입측에 저압계(0~10 kg/cm<sup>2</sup>)를 부착하였고, 토출측에는 고압계(0~30 kg/cm<sup>2</sup>)를 온도계는 압축기 토출측과 응축기, 팽창직전, 증발기에 각각 설치하였으며 실험실 외부에서 실외기온을 측정하기 위하여 실외온도계를 부착하였고 실험실 내의 실내 온·습도를 설치하여 실내 온도와 습도가 착상 및 제상에 미치는 조건을 알 수 있도록 하였다. 또한 제상부하시의 소비전력을 측정하기 위해 압축기, 증발기 팬, 응축기 팬에 전력측정기(Power meter)를 설치하여 실시간 데이터를 전송받아 그 소비량을 알 수 있도록 하였다.

2.2 실험방법

실험장치에서 설명한 각 장치 내의 센서들로부터 신호를 받아 컴퓨터와 통신을 이루면서 모니터 상에 표시되며 실시간 간격으로 데이터를 저장하였다. 착상실험은 공기유량, 온도, 냉각판 온도와 습도를 정상상태에 도달시키기 위한 장치의 운전상태의 데이터를 얻기 위해 자동저장을 1분 간격으로 조절하고 저장한다. 착상상태는 착상이 시작된 후 20분 간격으로 상의 두께를 동일한 위치에서 디지털 카메라로 촬영하여 설치수와 정확히 일치시켜 출력시킨 다음 마이크로메타를 이용하여 간접 측정하였다.

Fig. 3의 실험순서에서 실험장치의 전원을 ON 시키면 자동제상장치의 액정화면에 증발기 핀-관에 착상이 전혀 없는 상태일 때의 증발기 팬 모터의 정격전류값이 표시되면 그 값을 설정하고

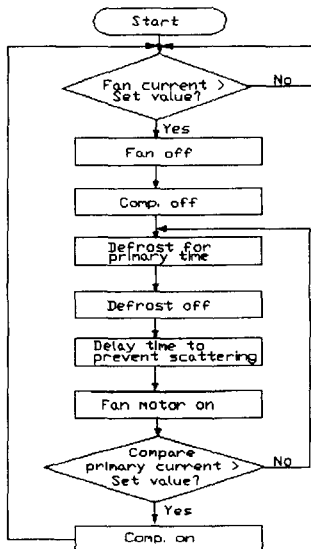


Fig. 3 Flow chart of experiment for auto defrost unit.

Table 1 Setup of experiment data

Item	Value
Initial related current	0.472 mA
Defrost load current	0.495 mA
Initial defrosting time	25 min
Final defrosting time	5 min
Delayed time	6 min
Evaporation temperature	-23°C
Indoor temperature	-17°C

환경설정모드에서 착상이 진행되어 착상 두께가 증가하여 제상시기에 도달했을 때의 부하전류값, 제상초기시간, 제상후기시간, 비산방지지연시간을 입력하고 실험운전을 계속한다. 이때의 환경설정 모드값은 Table 1과 같다.

실험이 계속되는 동안 증발기 팬 모터의 부하전류값은 증가하게 되고 최적제상시기의 설정 부하전류값에 도달하면 팬 모터가 정지하고 압축기 또한 정지하면서 제상에 들어간다. 제상이 완료되면서 응축수 비산 방지를 위한 지연시간이 경과된 후 팬 모터가 시동되면서 초기 정격전류값과 비교를 한다. 이때 전류값이 같다고 인식하면 제상이 완료된 것으로 판단하고 압축기가 시동되면서 정상운전을 반복하게 되며, 만약 최초 전류값이 아니라고 인식하면 제상이 덜된 것으로 판단하고 팬 모터는 즉시 정지하면서 제상후기시간 동안 제상을 한 후 전과 같은 방법으로 지연시간을 지연시킨 후 팬 모터가 시동됨과 동시에 최초 전류값을 비교하여 그 값이 YES로 인식하면 정상운전, NO이면 3회 반복하여 제상후기시간 동안 제상을 한 후 강제적으로 정상운전이 되도록 함과 동시에 경고표시를 한다. 위의 실험을 계속하는 동안 착상 두께를 계속하여 측정하고 계획된 착상상태에 도달되면 이때의 부하전류를 확인하게 되고 자동제상장치는 제상신호를 보낸다. 따라서 압축기 전원이 정지되면서 2차 냉매의 순환은 정지되고 증발기에 설치된 전열식 히터는 작동을 시작하여 제상을 시작한다. 제상을 진행하는 동안에도 계속하여 1분 간격으로 변하는 데이터를 저장한다.

착상 두께 증가, 부하전류 변화 및 성능계수의 저하에 따른 냉동효과의 최적상태 유지를 위한 반복 실험한 데이터 60회를 평균한 결과를 Fig. 5~10에 제시하여 정확한 제상시작시점을 알 수 있으며 종료시점을 정해 줄 수 있는 실험을 함으로써 전력의 낭비 및 냉동효과를 높일 수 있게 실험하였다.

자동제상 실험을 수행한 후 최적제상시기의 적합성을 검토하기 위하여 냉동창고<sup>(8)</sup> 및 냉동핸드북<sup>(9)</sup>에서 정의된 서리 착상속도( $FD$ )와 제상주기( $\theta$ )를 사용하였다.

$$FD = \frac{Q(1 - SHF) \times 3320}{680} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{C_s \times AFT \times 450}{FD \times 1000} \quad (2)$$

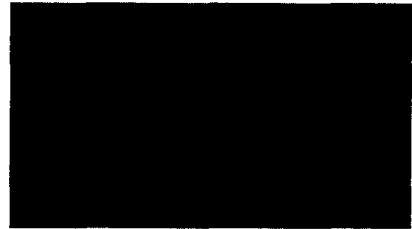
여기서 서리의 승화잠열은 680 kcal/kg, 1 m<sup>3</sup>당 서리의 중량은 450 kg/m<sup>3</sup>이다.

본 연구에서 실험한 최적제상시기의 불확실성은  $\pm 2.1\%$ 이다.

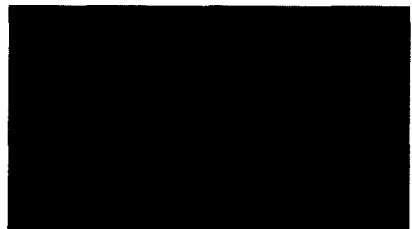
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 착상현상과 팬 전류

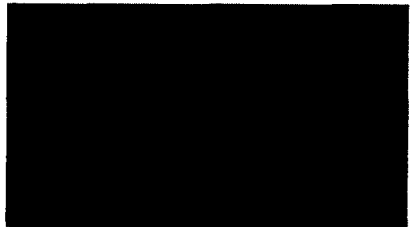
Fig. 4에서는 착상이 진행되는 과정을 나타낸 것으로 (a)는 운전시작 후 6시간 경과시의 것으로서 착상 두께는 1.0 mm를 나타내고 있으며 (b)는 25시간 30분 경과된 시점의 것으로서 적상 두께는 4.0 mm를 나타내고 있으며 (c)는 약 36시간이 경과된 후 보여주는 착상 두께로써 6.0 mm를



(a) The time elapsed of 6 hour



(b) The time elapsed of 25.5 hour



(c) The time elapsed of 36 hour

Fig. 4 Frost formation phenomenon.

나타내고 있다.

Fig. 5에서는 증발기의 온도와 실내온도의 변화를 시간의 경과와 함께 변화한 값을 나타내었다.

최초 실내온도 19℃에서 실험운전을 시작하여 유지해야 할 실내온도는 -17℃로 설정하였으며 증발기 주위온도는 -23℃로 정하여 실험하였다.

실내온도와 증발기 주위온도는 시간의 경과와 더불어 점차 낮아지며 설정온도에 도달하면 온도 변화폭이  $\pm 1^\circ\text{C}$  내에서 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 실내온도 또한 설정온도에 도달하면 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

Fig. 6에서는 최초 실내온도 19.0℃에서 실내온도를 -17℃로 정하여 운전을 시작하였고, 실내 습도변화가 팬 전류에 미치는 영향을 알아보기 위해 인위적으로 1시간에서 2시간 사이에 가습하여 RH 56%에서 RH 75%로 상승시켜 보았는데 이때의 팬 모터 부하전류값의 변화는 크게 변화

가 없었다. 그후 RH값을 75%을 유지하고 실험을 하였다.

습도와 팬 전류와의 관계는 인위적인 가습이 없는 실내의 RH 75%인 상태에서 팬 모터 부하 전류값의 변화는 핀 관의 착상 두께가 커짐에 따라서 상승하는 것으로 나타났으며 제상시간 동안 RH 83%로 증가하였다가 제상이 끝나고 다시 운전상태에서는 RH 75%로 되었다.

### 3.2 최적 제상시간 설정

Fig. 7에 의하면 핀 피치 8mm인 공간에 0.1~1.0mm 사이의 착상 두께에서는 부하전류값이 0.472~0.475 mA로 서서히 증가하였다. 착상 두께가 1.1~4.0mm로 변하는 시간 동안 팬의 부하전류값은 착상 두께의 증가에 따라 0.475 mA에서 0.494 mA로 증가하는 경향을 보여주었다.

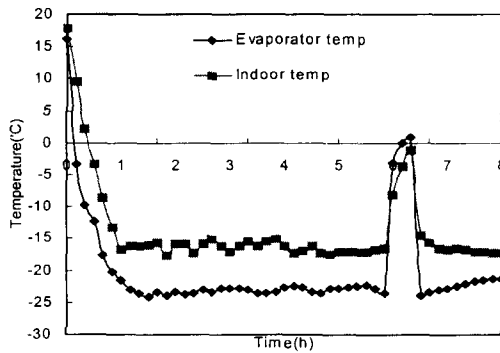


Fig. 5 The Variation of indoor temperature and evaporator temperature and fan current on time.

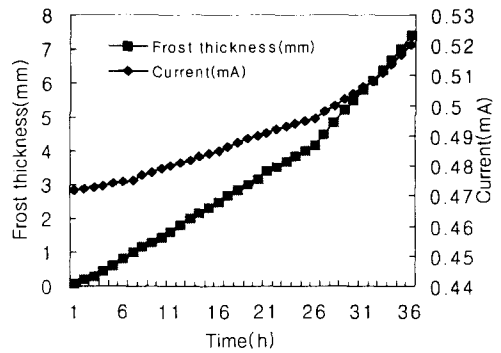


Fig. 7 The frost thickness and fan current on time.

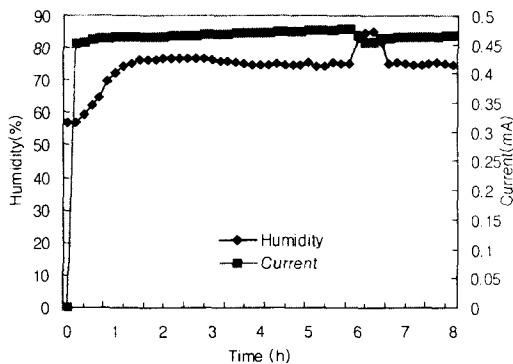


Fig. 6 The Variation of humidity and fan current on time.

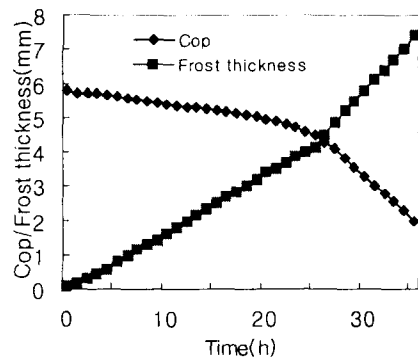


Fig. 8 The Variation of frost thickness and COP on time.

증발기 핀-관에 착상 두께가 4.0 mm에 도달하면 팬 부하전류는 0.495 mA에 도달하고 이때부터 팬 부하전류값과 착상 두께의 상승폭이 커진다.

Fig. 8에서는 성능계수와 착상 두께의 변화값을 비교한 것으로써 착상 두께가 0.1 mm에서 25.5시간이 경과된 후 4.0 mm로 두꺼워짐에 따라서 성능계수는 5.894에서 4.48로 점차 낮아지다가 착상 두께의 증가가 빨라짐에 따라서 급격히 낮아지는 경향을 나타내고 있다.

이와 같은 이유는 착상 두께가 점차 커짐에 따라서 핀 관의 공간은 줄어들게 되고 팬은 공기의 저항을 받아 송풍압력이 높아지면 팬 모터의 부하전류 값의 변화가 상승하게 된다. 그러므로 일정한 냉동능력을 유지하기 위해서는 증발기 핀-관에 적당한 착상 두께가 4.0mm에 도달했을 때 성능계수저하 폭이 커지는 시기를 최적의 제상시

기를 제상주기로 하였다.

Fig. 9에서는 실험장치의 운전과 제상에 소요된 전체 전력을 비교한 것으로써 일반적인 운전상태로 25.4시간 동안 실험했을 때 소비전력은 12.4 KW이며, 자동제상장치를 적용한 경우에 11 KW로써 11%의 에너지 절감을 할 수 있다. 이와 같은 차이는 제상시의 히터 용량이 커질수록 증가할 것으로 보인다.

Fig. 10에서 일반적인 냉동기 운전상태를 적용한 실험에서는 1일 4회 매 6시간 주기로 제상을 하도록 설정하였는데 이때의 착상 두께는 1.0 mm였으며 제상시간은 30분을 적용하였다.

제상시 냉동기는 정지상태에 있고 제상시의 증발기 주위온도와 실내온도는 점차 상승하여 10분 경과 후  $-3.2^{\circ}\text{C}$ 와  $-3.8^{\circ}\text{C}$ 로 상승하였으며 최종 제상이 완료되는 시점에서는  $11^{\circ}\text{C}$ 와  $9^{\circ}\text{C}$ 로 점차 상승하였다. 이때의 팬 전류값은 제상시 정지상태인 0.000 mA이다.

자동제상장치를 적용한 실험에서는 착상 두께가 4.0 mm이고 전류가 0.495 mA일 때의 경과시간은 25.5시간이었으며 제상이 수행된 시간은 36분이 소요되었다. 따라서 자동제상장치를 이용한 경우에 약 1/3 이하의 적은 제상시간이 요구되므로 저장고 내 저장물을 원하는 온도로 신선하게 유지할 수 있다.

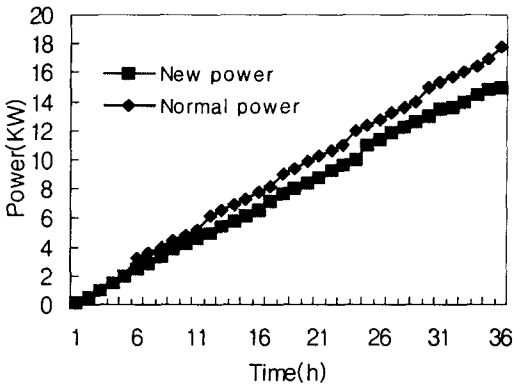


Fig. 9 The Variation of new power and normal power on time.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 제상방법에 관계없이 증발기 핀-관의 착상상태에 따라서 증발기 팬 모터 부하전류의 변화를 측정하여 자동제상장치로 최적시기에 제상작업을 할 수 있는 실험을 함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 착상 두께와 증발기 팬 모터의 부하전류값의 증가가 빨라지고 성능계수의 급격한 저하를 나타내는 시점의 착상 두께 4.0 mm, 부하전류 0.495 mA일 때의 최적 제상시기에서 자동제상 할 수 있다.

(2) 증발기 팬 모터의 초기 정격전류, 최적 제상시기의 부하전류값을 찾아내고, 제상시간, 증발 온도, 냉동창고 온도를 시스템이 요구하는 값으로 설정하여 최적 자동제상할 수 있다.

(3) 자동제상장치를 이용하면 제상부하에 따른 소비전력량이 일반제상에 비해 25.4시간에 11%의 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다.

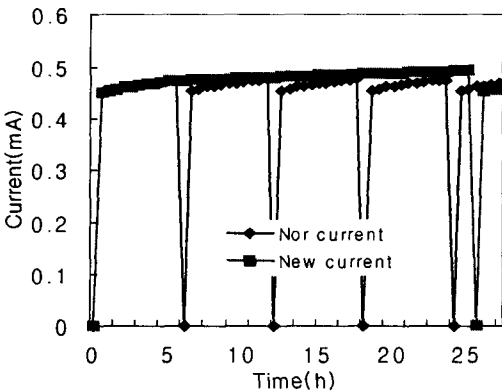


Fig. 10 The Variation of normal ampere and new ampere according to the time.

## 참고문헌

1. Aihara, T., Ohara, T., Shimoyama, T. and Kitano, H., 1997, Heat transfer and defrosting characteristics of a horizontal array of cooled tubes immersed in a very shallow fluidized bed, *Int. J. heat mass transfer*, Vol. 40, No. 8, pp. 1807-1815.
2. Han, H.D. and Ro, S.T., 1998, Experiment of frosting and defrosting on the parallel cooling plate, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 98-W-010, pp. 57-59.
3. Knoop, D.E., Tershak, A.T. and Thieneman, M., 1988, An adaptive demand defrost and two-zone control and monitor system for refrigeration products, *IEEE transactions on Industry Application*, Vol. 24, No. 2, pp. 337-340.
4. Kim, C.Y., Han, I.G., Kim, J.D., Kwon, O.K. and Yoon, J.I., 1998, Development of defrosting equipment of unit cooler, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, pp. 16-18.
5. Han, I.G., Kim, C.Y. and Yoon, J.I., 1998, Experimental study of defrosting of Cold Storage Evaporator, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 98-W-009, pp. 51-54.
6. Lee, K.S., Kim, J.M., Lee, D.W. and Jhee, S., 1999, A study of defrosting behaviors according to surface characteristics in the fin-tube heat exchanger, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 98-S-183, pp. 1124-1125.
7. Koo, N.Y., Sung, D.M.G. and Lee, Y.K., An experimental study for developing the defrost equipment of forced fan evaporator, *SAREK*, 2001-W-020, pp. 122-124.
8. The editorial staff, 1985, *Handbook of refrigeration*, SEJINSA of book publishing, Seoul 6-28, P337.
9. Jang, G.I., 1994, Refrigeration storage, *Korean Association of Air-Conditioning, Refrigeration and Engineers*, Seoul, p. 34, 98, 102.