

## 서로 다른 표면특성을 갖는 핀-관 열교환기의 착상과 제상 성능평가

최 봉 준<sup>†</sup>, 황 준 현, 신 종 민  
LG전자 디지털 어플라이언스 사업본부 연구소

### The Frost and Defrost Performances of Fin-and-Tube Heat Exchangers with Different Surface Treatment Characteristics

Bong-Jun Choi<sup>†</sup>, Junhyun Hwang, Jongmin Shin

Digital Appliance Company Research Lab., LG Electronics, Changwon 641-711, Korea

(Received June 20, 2002; revision received August 22, 2002)

**ABSTRACT:** The effects of different surfaces on dry and wet frosting test were experimentally investigated. The results of experiment were compared by the performance evaluation coefficient (PEC). Results showed that the air-side pressure drop of lacquer coated evaporator increased by 5% as compared to the plasma treated one. It was also found that the plasma coated evaporator is lower than lacquer coated one in the PEC ratio.

**Key words:** Fin-tube heat exchanger(핀-관 열교환기), Performance evaluation coefficient(성능평가계수), Performance evaluation coefficient ratio(성능평가계수비), Dry frosting test(건표면 착상실험), Wet frosting test(습표면 착상실험)

#### 기 호 설 명

#### 하첨자

$h$  : 열전달계수 [ $W/m^2K$ ]  
 $\dot{m}$  : Air mass flow rate [ $kg/s$ ]  
 $P$  : 압력 [ $Pa$ ]  
 $PEC$  : 성능평가계수 [ $W \cdot h/Pa \cdot kg$ ]  
 $Q$  : 열전달량 [ $kW$ ]  
 $SCA$  : 정적접촉각(static contact angle) [ $^\circ$ ]  
 $T$  : 온도 [ $^\circ C$ ]

$a$  : 공기  
 $c$  : 냉매  
 $DF$  : Dry frosting test  
 $i$  : 입구  
 $n$  : 노즐  
 $o$  : 출구  
 $ratio$  : 비  
 $WF$  : Wet frosting test

#### 그리스 문자

$\Delta$  : Difference

#### 1. 서 론

최근 국내외적으로 가전제품의 성능향상을 위한 기술들이 비약적으로 발전해 왔으며, 냉장고의 경우도 1965년 국내 최초로 120 L짜리 소형 냉장고를 제조한 후<sup>(1)</sup> 30~40년 동안 급진적인 기

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-55-260-3828; fax: +82-55-260-3507

E-mail address: choibj@lge.com

술발전이 있어 왔고 현재는 제품경쟁력을 배가시키기 위한 관련업계의 노력이 그 어느 때보다 강화되고 있다. 또한, 최근 비교적 저가의 중국 업체들이 빠르게 발전하고 있어 기술개발뿐만 아니라 가격경쟁에서도 우위를 확보하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 그중에서 냉장고의 중요 구성요소 중 하나인 열교환기에 대한 많은 연구가 있어 왔으며 재료비 절감을 위한 소형화<sup>(2,3)</sup>라든지, 착상 및 제상 성능향상을 위한 표면처리에 관한 연구<sup>(4,5)</sup> 등 다양한 주제에 대한 연구가 있어 왔다.

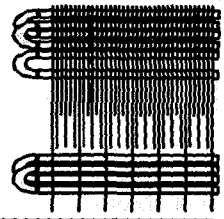
본 연구에서는 열교환기의 표면특성 변경을 통한 성능향상에 대해 실험적으로 검토하였다. 열교환기의 성능을 평가하기 위해 일반적으로 공조기용 열교환기에서 사용되는 단순히 증발기의 열 전달계수나 압력강하만을 비교 평가방법은 착상을 수반한 냉장고용 증발기의 성능을 비교 평가하는 데는 한계가 있기 때문에 최봉준 등<sup>(6)</sup>이 개발한 성능평가계수를 통해 열교환기의 성능을 평가하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 열교환기 시료

본 연구에서는 Table 1과 같이 냉장고용 열교환기에 락카(lacquer) 표면처리와 플라즈마(plasma) 표면처리를 하여 일반적으로 표면특성을 논할 때 주로 사용되는 정적접촉각(static contact angle, SCA)을 이용하여 이들 관계를 정량적으로 나타내었다. 이의 측정방법은 신종민 등<sup>(5)</sup>에 따라 측정하였다. 실험은 건조한 열교환기 표면에서 착상이 발생하는 실험과 냉장고의 실제 소비자 사

Table 1 Specification of fin-tube heat exchanger

Figure		
	SCA	90°      65°
Surface	Lacquer	Plasma

용조건에서와 같은 조건인 표면에 물방울이 잔존하는 습표면 조건에서 착상실험을 실시하여 개발된 성능평가계수로 표면효과에 대해 결과를 비교하였다. 핀-튜브 열교환기는 알루미늄으로 제작하였다.

### 2.2 실험장치 및 실험방법

#### 2.2.1 착상실험

Fig. 1는 본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도이다. 실험방법은 실험장치의 테스트부(test section)에 열교환기를 설치하여 항온조 온도와 공기 입구온도 및 습도가 정상상태에 도달하면 착상시험을 시작한다. 실제 냉장고 조건에서 착상에 의한 열교환기 성능의 감소를 나타내기 위해 입구공기의 시험조건은 히터와 가습기를 이용하여 건구온도 5℃, 상대습도는 90%로 관리하였고, 항온조 온도와 냉매유량은 -30℃, 126 kg/hr로 고정하여 열교환기 내로 순환시켰으며 입구 공기 체적유량은 1.5 m<sup>3</sup>/min로 하여 10분 간격으로 실제 냉장고에서 착상 정도를 공기측 압력손실로 측정하여 본 논문에서는 동일한 압력손실을 가지는 시점으로 60분간 착상을 진행하였다. 실제 냉동 사이클에서는 착상과 제상의 과정을 순환하면서 열교환기 표면에 제상수가 존재하고 다시 착상이 되는데 이를 고려한 습표면 조건에서 실험은 제상히터를 사용하여 표면에 착상된 서리를 녹인 후 표면에 부착된 물방울이 중력에 의해 떨어지지 않는 일정한 수렴상태에 도달했을 경우 실험을 실시하여 건조한 표면에서의 실험과 같은 순서로 진행하였다.

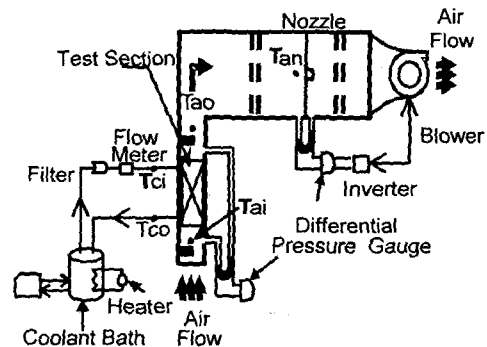


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험의 불확실도

실험장치의 전체적인 정확성을 평가하기 위하여 중요 측정항목인 냉매측 열전달량, 공기풍량, 그리고 공기측 현열 열전달량에 대해서 불확실도 (uncertainty)를 평가하였다. 평가결과 본 실험장치의 불확실도는  $\pm 8\%$ 이었다.<sup>(7)</sup>

#### 3.2 열교환기 성능평가

본 연구에서는 서로 다른 표면의 핀-관 열교환기에 대해 건조한 표면에서 착상이 발생하는 실험과 실제 냉장고 사이클의 특성과 유사한 습표면에서 착상이 발생하는 실험을 하였다. 표면이 서로 다른 열교환기의 성능이 어떻게 다른지 최봉준 등<sup>(6)</sup>에서 정의된 다음과 같은 성능평가계수 (PEC)를 가지고 착상시작 60분 후의 결과를 비교하였다.

$$PEC = \frac{Q}{\Delta P \times m} \quad (1)$$

##### 3.2.1 압력손실 및 열전달량

Fig. 2는 표면처리가 서로 다른 열교환기에 대해 건표면과 실제 냉장고 조건을 고려한 습표면 상태에서 착상실험을 하여 공기측 압력손실 실험을 각각의 열교환기에 대해서 시간에 따라 나타낸 그림이다. 건표면 실험에서는 표면처리에 따라 시험 종료시점인 60분에서 약 5% 플라즈마 표면의 압력손실이 낮게 보이며, 습표면 조건에

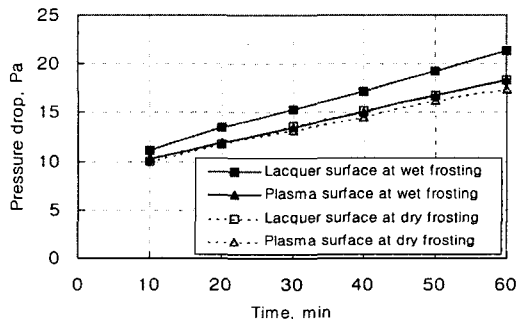


Fig. 2 Air-side pressure drop as the function of time during dry & wet frosting test.

서 실험 초기에는 플라즈마 표면이 9% 압력손실이 낮으며 착상이 진행되면서 표면의 물방울이 방해물로 작용하여 시험시작 후 30분을 기점으로 락카 표면 열교환기의 공기측 압력손실이 보다 빠르게 증가하고 있다. 종료시점인 60분을 기준으로 락카 표면의 열교환기가 플라즈마 표면의 열교환기와 비교했을 때 표면처리의 효과로 플라즈마 표면의 열교환기가 15% 공기측 압력손실이 좋은 것으로 나타났다. 이것은 열교환기의 표면에 따라서 부착되는 물방울의 형태가 다르기 때문이다. 즉, 플라즈마 표면의 열교환기는 표면의 물방울들이 전표면에 걸쳐 수막(filmwise) 형태로 균일하게 퍼지게 되나, 락카 표면의 열교환기는 표면에 부착된 물방울이 불균일하게 액적(droplet) 형태로 존재하게 되어 재착상시 이러한 물방울들이 공기의 유로를 방해하게 되어 보다 높은 공기측 압력손실을 보이게 된다.

Fig. 3는 건표면과 습표면 조건에서 열전달량을 각각의 열교환기에 대해 시간에 따라 나타내었다. 건표면 조건에서는 표면처리에 따른 열교환기의 열전달량의 차이가 크지 않으며 습표면 조건에서는 락카 표면의 열교환기가 30분을 기점으로 열전달량이 역전이 되면서 급격한 감소를 보이고 있다. 이것은 열교환기 표면에 부착된 물방울이 재착상되면서 락카 표면의 경우는 보다 빠르게 공기측 압력손실이 증가하여 열전달성능이 떨어지게 된다. 반면에 플라즈마 표면 열교환기는 열전달성능이 상대적으로 완만한 곡선을 그리며 감소하는데 이것은 열교환기 표면에 부착된 물방울의 형태가 수막(filmwise) 형태로 존재하여 재착상시 상대적으로 공기측 압력손실이 작기 때문이다. 습표면 조건에서 종료시점인 60분을 기

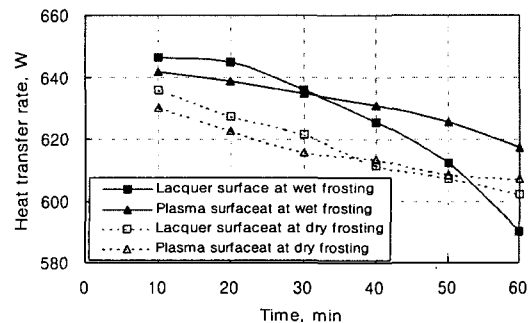


Fig. 3 Heat transfer rate as the function of time during dry & wet frosting test.

준으로 플라즈마 표면의 열교환기가 5% 높게 나타나고 있다.

3.2.2 열교환기 성능평가

Fig. 4는 성능평가계수에 대해서 시간에 따라 각각의 열교환기에 대해 건표면과 습표면 조건에서 비교한 것이다. 건표면 조건에서는 착상이 진행되면서 성능평가계수는 점차 감소하게 되며 락카 표면의 열교환기와 플라즈마 표면의 열교환기는 종료시점까지 동일한 성능을 보이고 있다. 반면에 습표면 조건에서는 건표면 조건과는 다르게 종료시점인 60분을 기준으로 플라즈마 표면의 열교환기가 락카 표면의 열교환기에 비해 성능이 약 17% 증가하였다.

Fig. 5은 건표면에서 실험한 결과의 성능평가 기준에 대한 습표면의 성능평가계수의 비로 식 (2)와 같이 정의된 성능평가계수비(PEC<sub>ratio</sub>)에 대해 각각의 열교환기에 대해 비교하였다.

$$PEC_{ratio} = \frac{(PEC_{DF} - PEC_{WF})}{PEC_{DF}} \times 100 \quad (2)$$

성능평가계수비는 표면이 서로 다른 열교환기가 습표면 조건에서의 성능이 건표면에서의 성능에 비해 감소폭이 얼마만큼 되는지 나타내는 것으로, 즉 표면에 잔존하는 물방울이 성능에 얼마만큼 영향을 미치는지 알 수 있다. 성능평가계수비가 크다는 건표면에서의 성능에 비해 습표면의 성능의 감소폭이 크다는 것을 의미하며 표면에 잔존하는 물방울에 의해 성능의 감소가 크다는 것을 나타낸다. Fig. 5에서 플라즈마 표면의 열교환기가 6%, 락카 표면의 열교환기가 18%로 성능평가계수비를 보인다. 플라즈마 표면 열교환기의 경우 건표면에서의 성능에 대해 습표면의 성능비는 6%로 락카 표면과 비교해서 상대적으로 건표면과 습표면에서의 성능변화가 작다는 것을 의미한다. 따라서 실제 냉장고 운전조건에서 플라즈마 표면의 열교환기에 부착된 물방울에 의해 성능 감소가 매우 작게 일어난다. 하지만 락카 표면 열교환기의 경우는 플라즈마 표면에 비해서 성능평가계수비가 3배나 높으며 이것은 습표면의 조건에서 실험을 했을 경우 열교환기 표면에 맺히는 물방울에 의해 성능의 감소폭이 플라즈마 표면에 비해 3배나 많다는 것을 의미한다. 따라서 열교환기 표면의 플라즈마 처리는 실제 냉장고 운전조건에서보다 유리한 성능을 보일 것으로 판단된다. 하지만, 이러한 결과는 표면특성뿐만 아니라 형상에 따라서도 큰 영향을 받으므로 정량적인 수치는 표면뿐만 아니라 형상에 따라서도 달라질 수 있음을 의미한다.

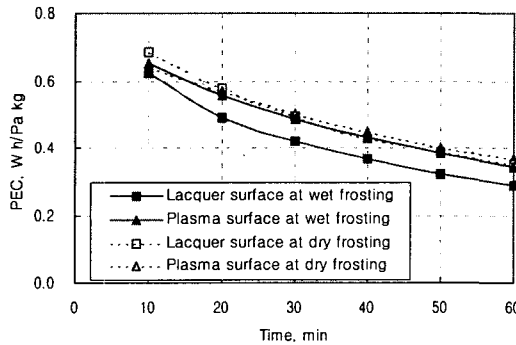


Fig. 4 PEC according to each evaporator for dry & wet frosting test.

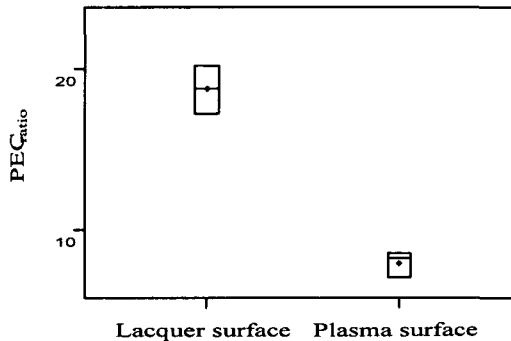


Fig. 5 PEC ratio according to each evaporator for dry & wet frosting test.

4. 결 론

서로 다른 표면처리를 한 락카 표면과 플라즈마 표면의 열교환기에 대해 착상이 발생하는 건표면 조건과 열교환기 표면에 물방울이 부착된 상태에서 재착상이 발생하는 습표면 조건의 실험 결과를 성능평가계수를 통해서 성능을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 습표면 조건에서 공기측 압력손실은 락카 표면의 열교환기, 플라즈마 표면의 열교환기 순으로 낮다. 락카 표면의 열교환기는 표면에 부착된 물방울의 형태가 액적상태로 재착상시 방해물로 작용하여 공기측 압력손실을 가져오게 되어

급격한 성능저하를 가져오게 된다.

(2) 실제 냉장고 조건에 가까운 습표면 조건의 성능을 각각의 열교환기를 평가한 결과 표면효과로서 락카 표면의 열교환기에 비해 플라즈마 표면의 열교환기가 성능이 17%나 높으며 건표면과 습표면의 성능비인 성능평가계수비도 3배가 낮게 나타났다. 즉 플라즈마 표면의 열교환기는 표면에 부착된 물방울에 의해 성능의 감소폭이 작으며 이것은 열교환기의 소형화 설계가 가능하며 또한 열교환기의 재료비 절감으로 이어질 수 있음을 의미한다.

### 참고문헌

1. Lee, M. K., May. 1993, Digital Chosunilbo.
2. Stoecker, W. F., 1957, How frost formation on coils affects refrigeration systems, *Refrigerating Engineering*, Vol. 65, No. 2, pp. 42-46.
3. Aoki, K., Hattori, M. and Itoh, T., 1986, A study of extended surface heat exchanger with frosting, *Bulletin of JSME*, Vol. 29, No. 251, pp. 1499-1505.
4. Shin, J. M., Kim, J. B., Kim, C. H. and Ha, S. C., 2000, A study of water hold-up of two surfaces having different hydro-characteristics, *Proceedings of the 9th International Symposium on Flow Visualization*, Edinburgh, UK, No. 413, pp. 413\_1-413\_8.
5. Shin, J. M., Lee, N. G., Han, S. J. and Ha, S. C., 2001, The effect of water contact angles of the fin surfaces of the fin-and-tube heat exchangers on the water hold-up, *Proceedings of the SAREK*, Vol. 10, No. 6, pp. 490-496.
6. Choi, B. J., Hwang, J. H. and Shin, J. M., 2002, The study of performances evaluation coefficient fin-and-tube heat exchangers with frosting, *proceedings of the SAREK* (submitted).
7. Choi, B. J. and Shin, J. M., 2001, The frost and defrost performances of fin-and-tube exchangers with different surface characteristics, *Proceedings of the SAREK*, Vol. 1, pp. 353-359.
8. Jeong, S. H., Choi, B. J., Han, S. J. and Ha, M. Y., 2001, A study on the frost formation on the surface treated fin-tube heat exchangers, *Proceedings of the SAREK*, Vol. 1, pp. 360-365.