

# 양문형 냉장고 냉동실 결빙원인해석 및 최소화 방안 Investigation on Freezing in the Freezing Compartment of a Side by Side Refrigerator

김윤규 · 정호윤 · 최윤환 · 이연원  
Y. K. Kim, H. Y. Jung, Y. H. Choi and Y. W. Lee

(접수일 : 2009년 10월 15일, 수정일 : 2010년 1월 14일, 채택확정 : 2010년 1월 15일)

**Key Words** : Refrigerator(냉장고), Frost(결빙), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학)

**Abstract** : A side by side refrigerator is popularly used one among electric home appliances according to the rise of the customer's living standard. But the frost problem in freezing compartment comes out whenever we develop the high quality refrigerator. In this research, internal flow simulation and temperature measurement were carried out by using CFD and T-type thermocouple respectively in order to understand freezing mechanism. It was revealed that the amount of frost beneath the 1st and 2nd shelves is approximately 40% of total frost and the cause of frost generation is due to bad circulation of low speed cold flow. Using this analysis, the shapes of outlets under shelves are modified. So, the amount of frost in this modified model decreases 6% comparing to original one.

## 1. 서 론

냉장고는 일반 가정에서 한 대 이상 사용하고 있는 가전제품으로 소형에서부터 side by side 형의 대형 제품까지 다양하게 존재하고 있으며, 계속적으로 향상된 품질의 냉장고가 보급되고 있다. 하지만 아직도 많은 부분에 있어서 품질향상을 위한 노력이 필요하다. 실제 냉장고를 이용하다 보면 누구나 한번 정도 냉동실 문을 열었을 때 결빙현상이 일어나서 내용물이 냉동실의 바닥과 붙어 있거나 냉동실에 보관했던 음식물의 주변에 성애가 발생한 것을 볼 수 있다. 이처럼 결빙이 냉장고 내에서 발생하면 미관상으로도 보기 좋지 않을 뿐만 아니라 제품의 작동에도 나쁜 영향을 준다. 이러한 냉동실 내부의 결빙현상의 발생은 냉장고 내부와 외부의 다양한 인자에 의해서 발생하게 된다. 따라서 우리는 냉동실내의 결빙 생성원리를 이해하고 착상이 발생하는 위치의 파악이 필요하며, 이러한 현상의 개선

을 통하여 결빙을 최소화해야 한다. 대부분의 관련 연구는 평판 등의 기하학적 형상이 단순한 경우에 대해 연구가 이루어져 왔으며 실제 사용조건에서의 연구결과에 대한보고는 거의 없는 실정이다. 저자들의 이전의 연구 중에서는 top mount 형의 냉장고, B/F형의 냉장고의 실제사용조건에 대해서 착상과 결빙의 발생에 대한 다양한 연구를 하였으며 좋은 연구 성과를 축적해 왔다.<sup>1)~4)</sup>

한편, 최근 시중에 유통되어지는 side by side 형의 대형 냉장고에 있어서 착상과 결빙은 Fig. 1에서와 같이 토출구 주변과 선반의 상하부에서 결빙이 발생하는 문제점을 가지고 있다.

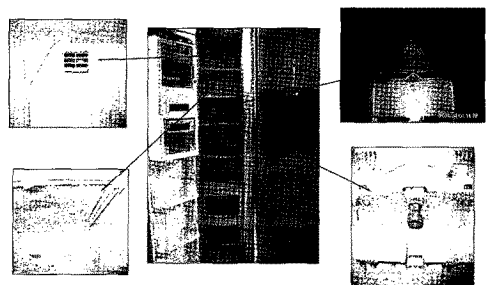


Fig. 1 Frost generation in the freezing compartment

이연원(교신저자) : 부경대학교 기계공학부  
E-mail : ywlee@pknu.ac.kr Tel. 051-629-6162  
김윤규, 정호윤 : 부경대학교 대학원  
최윤환 : 부경대학교 BK21 스마트기계사업팀

따라서 본 연구에서는 수치해석과 실험을 병행함으로써 냉동실의 온도변화와 냉기의 유동간의 상관관계를 파악하여 현재 시판중인 side by side 형의 대형 냉장고에 대한 착상과 결빙생성 원인을 파악하고 이를 최소화하는 것을 목표로 한다.

Table 1 Boundary conditions

Part	Value
Inlet	Atmospheric pressure
Outlet	Atmospheric pressure (Cold room and Freezer)
Wall	No-slip
Fluid	Air
Fan speed	1500rpm

## 2. 수치 해석

### 2.1 해석영역 및 경계조건

본 연구의 목적에 맞게 수치해석 영역은 냉동실 내로 한정하였으며, 팬의 회전에 의한 효과를 확인하기 위하여 Fig. 2와 같은 형태로 해석영역을 설정하였다.

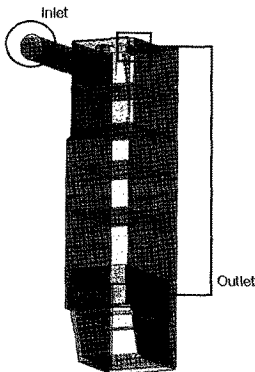


Fig. 2 Computational domain

팬에 의하여 형성된 기류가 냉동실로 유입되며 유동경로는 Fig. 1에서와 같이 토출구는 첫 번째 선반 위쪽과 두 번째 선반 아래 그리고 세 번째 선반 위쪽에 위치하여 총 여덟 개의 토출구로 구성되어 있고 네 쌍으로 구성되어 있다. 내부의 공간을 나누기 위해 다섯 장의 선반과 마지막 선반 아래에 바구니로 내부 공간이 이루어져 있다. 출구는 바구니 뒤에 위치하여 입구에서 나온 냉기가 실내를 순환한 후 출구로 빠져나가는 구조로 되어있다.

수치해석을 위해 작동유체는 비압축성이라고 가정하고, 해석은 정상상태로 계산하였다. 또한 유동현상 파악이 주목적이므로 온도변화에 따른 물성치의 변화는 고려하지 않는다. 계산에 있어 팬의 회전을 고려하기 위하여 MRF 기법을 사용하여 팬이 회전하는 효과를 주었다. 그리고 출구 냉동실과 냉장실 모두 대기압 조건이다. 벽면은 유체의 점성을 고려하여 점착조건을 적용하였다.

위와 같은 계산조건으로 상용코드인 CFX 11을 사용하여 계산하였다. 계산에 사용된 난류모델은 Standard k-ε model이다.

## 3. 온도 및 결빙 측정 실험

본 연구에서는 결빙 원인의 파악과 발생된 결빙의 정도를 알기 위하여 냉동실 벽면에서의 온도변화를 측정하고, 냉동실내에서 생성되는 결빙을 측정하고 정량화 하였다.

냉동실의 온도변화와 결빙실험은 KS규격[KS C ISO 15502]를 기준으로 하여 실행하였다. 실험에 사용된 항온 항습실의 환경은 온도 30±1℃에 습도 80±5%를 기준으로 하였고, 냉장고 내부의 부하는 무시하였다. 결빙실험의 결과로 생성된 결빙의 양은 선정되어진 각각의 측정 부위에 대하여 3회 이상 측정하였고 이를 평균하여 정량화하였다.

## 4. 결과 및 고찰

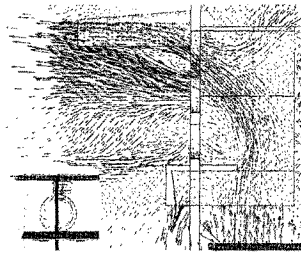
수치해석과 실험을 통하여 얻어진 결과를 비교 분석함으로써 결빙 생성의 원인을 파악 하였으며 이를 토대로 결빙을 최소화하는 방안을 모색하였다.

### 4.1 착상 및 결빙 생성의 원인

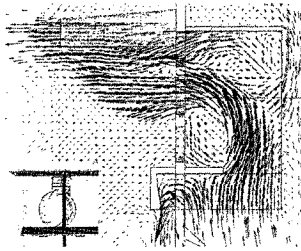
냉동실 상부에 위치하고 있는 최상부의 첫 번째 토출구에서 수치해석 결과와 실험 결과를 비교해 보았다.

Fig. 3은 상부의 첫 번째 토출구의 측면에서의 속도벡터를 나타내었다. 수치해석에서 얻어진 결과를 통하여 예측 되어진 것과 같이 Fig. 4에서 토출구의 하단부에 다량의 결빙이 발생된 것을 관찰 할 수 있었다. 내벽 뒤쪽의 형상은 팬에 의해서 형성된 유동이 토출구의 하측부와 좌우로 나뉘어져 들어갈 수 있도록 유도를 위해 설치되어진 것으로 보이나, 수치해석을 통하여 볼 때 좌우 토출구의 하측부의 유

동을 정체시키고 토출구의 상측으로만 유동이 원활하도록 하고 있음을 볼 수 있다. 결과적으로 토출구의 하측에 형성된 결빙을 충분히 승화시키지 못함으로 결빙이 쉽게 발생할 수 있을 것이라고 판단할 수 있다.



(a) at the left side



(b) at the right side

Fig. 3 Velocity vector fields at the 1st inlet

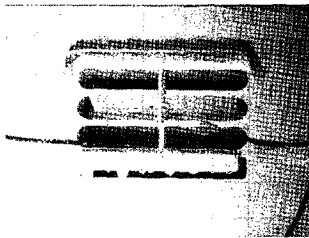
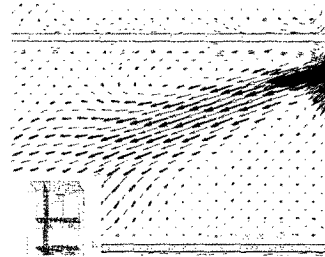


Fig. 4 Frost generated at the 1st inlet

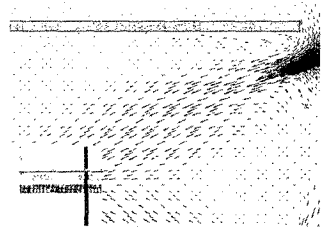
Fig. 5는 두 번째와 세 번째 선반 주변에서의 속도 벡터를 나타낸 것이다. 토출구의 위치가 팬의 위치보다 낮은 곳에 위치하고 있기 때문에 냉기의 유동이 수평이 아닌 아래쪽으로 치우친 형태의 유동을 보이고 있다. 벡터의 분포로 볼 때 네 번째 토출구는 상부의 두 번째, 세 번째의 토출구보다 속도가 느린 것을 알 수 있다.

그리고 선반 아래에 유동속도가 매우 작고, 재순환 영역이 생성 되는 것을 관찰 할 수 있다. 이것은 선반 아래 부분에서의 유동이 정체하여 냉기의 유

동이 원활하지 못한 것을 나타낸다. 이 경우 냉장고의 작동 중에 외부, 혹은 제상후의 습도가 높은 습공기가 냉장고 내부로 유입될 경우 선반에 착상이 일어나 쉽게 결빙이 발생할 수 있다고 판단되어 진다.

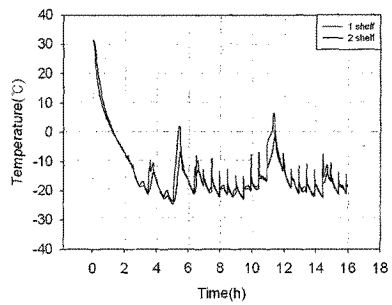


(a) at the left 2nd shelf

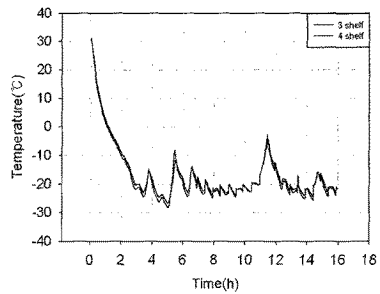


(b) at the right 3rd shelf

Fig. 5 Velocity vector fields at shelves



(a) 1st shelf and 2nd shelf



(b) 3rd shelf and 4th shelf

Fig. 6 Temperature variation at the shelves

Fig. 6은 첫 번째, 두 번째, 세 번째 그리고 네 번째 선반의 작동시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. 운전 시작 후 3시간 동안 압축기가 연속적으로 가동하여 정상운전 온도인  $-20^{\circ}\text{C}$  까지 온도가 내려간다. 그리고 압축기의 작동 주기에 따라 주기적으로 온도가 변화하며 제어되는 것을 알 수 있다. 운전을 시작하지 5시간과 10시간대에 온도가 급격히 상승하였다가 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 제상주기로, 제상장치에 의한 가열로 온도가 상승하고, 내부 증발기 표면에 착상되어진 결빙은 녹아서 제거되어 진다. 결빙이 녹아서 발생한 물의 일부는 배출구를 통하여 밖으로 배출 되지만, 일부는 자연 대류에 의하여 유동하는 공기의 습기으로써 냉동실 내부로 재투입되어져 주로 선반 하단부 주위에 머물게 된다. 내부로 유입된 습기는 제상주기가 끝나고 정상운전에 들어감에 따라 강하하는 내부의 온도로 인하여 냉동실 내부에 착상하여 결빙이 된다.

수치해석을 통하여 선반의 주변부에서 재순환 영역의 발생으로 유동의 정체가 발생함을 확인 할 수 있었고, Fig. 6의 온도분포 그래프를 통하여 제상주기 시 마다 온도가 급격하게 상승하였다가 하강하는 것을 알 수 있었다. 결과를 종합하여 볼 때 제상주기 시 마다 고온다습한 공기가 냉동실 내로 유입되어지고 선반과 토출구 주변에서 유동이 정체함에 따라 선반의 표면에 착상이 발생됨을 확인할 수 있었다.

#### 4.2 결빙 최소화

Fig. 1에서 확인한 결빙의 감소를 위해서 결빙 생성의 원인을 파악하여, 이를 토대로 결빙을 최소화 하는 방안을 모색하였다.

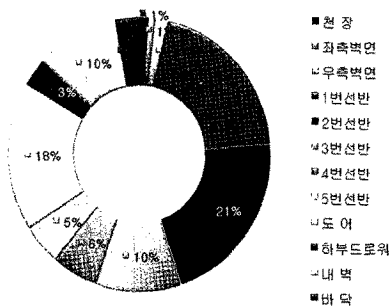


Fig. 7 Distribution chart of frost

Fig. 7은 3회의 실험을 통하여 얻어진 결빙량의 평균을 백분율로 나타낸 것이다. 외기의 영향이 많

은 도어 부분과 냉동실 내로 토출되는 기류의 영향을 많이 받은 첫 번째와 두 번째 선반에서 대부분의 결빙이 발생함을 알 수 있다.

이 결과는 수치해석과 실험을 통하여 육안으로 확인하여 본 결과와 일치하는 것을 알 수 있다. 따라서 이를 바탕으로 냉동실 내부의 결빙량을 감소 시키기는 방안으로써 토출구 주변과 내부 형상을 변경하였다.

Fig. 8은 상부의 첫 번째의 토출구의 형상을 변경하여 실험한 결과이다. 유동을 방해하는 구조물을 제거하고 토출구에 맺힌 결빙이 제상주기 후 다시 착상되어지는 것을 방지하기 위하여 가로로 배치되어진 살을 세로로 형상을 변경하였다. 그 결과 육안으로도 확인이 가능할 정도로 결빙이 감소한 것을 볼 수 있었다.

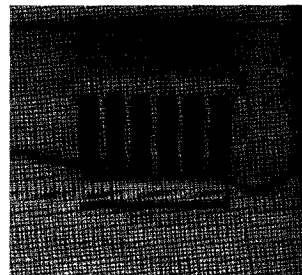
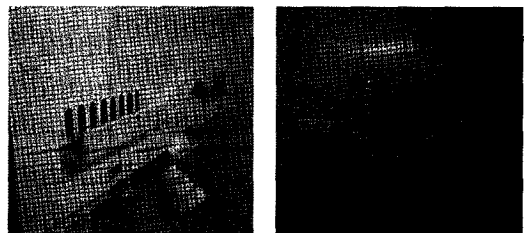


Fig. 8 Transformation of shape at the 1st inlet



(a) 3rd inlets (b) 2nd inlets

Fig. 9 Transformation of inlet shape

Fig. 9와 같이 내벽에 부착되어진 구조물의 형태와 토출구 가이드의 형상을 변형하였다.

수치해석 및 실험을 통하여 두 번째와 세 번째 선반 주변에서의 유동이 원활하지 못한 것과 다른 선반에서 보다 많은 양의 결빙이 발생하는 것을 알 수 있었다.

따라서 선반 주변에서의 유동을 개선하기 위하여 기존의 토출구 가이드 형상을 Fig. 9에서와 같이 변경하여 토출구에서 나온 냉기가 선반에 직접적으로 영

향을 줄 수 있도록 25°의 각도로 형상을 변형 하였다.

Table 2 The measured values of frost

측정위치	개선 전 (g)	개선 후(g)	결빙감소(g)
천 장	0.21	0.33	0.12
좌측벽면	0.84	0.85	0.01
우측벽면	0.94	0.92	-0.02
1번 선반	5.9	5.12	-0.78
2번 선반	6.12	5.59	-0.53
3번 선반	3.48	2.26	-1.22
4번 선반	1.87	1.83	-0.04
5번 선반	1.57	1.52	-0.05
바닥	0.48	0.51	0.03
도어	12.27	12.63	0.4
내벽	7.37	7.31	-0.06
하부draw	4.45	4.37	-0.08
총량	45.5	43.24	-2.22

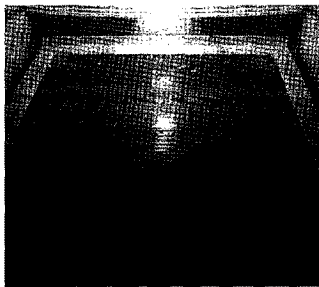


(a) Before

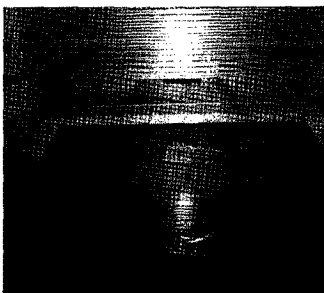


(b) After

Fig. 10 Before and after shape change at the 2nd shelf



(a) Before



(b) After

Fig. 11 Before and after shape change at the 3th shelf

Fig. 10과 Fig. 11에 그 결과를 나타내었고 두 번째 선반 아랫면에서 결빙이 제거된 것을 볼 수 있고, 세 번째 선반에서도 육안으로 확인할 수 있을 정도로 결빙이 줄어들 것을 확인할 수 있다.

그리고 두 번째와 세 번째 선반 사이에 위치한 구조물 위로 결빙이 발생하여 세 번째 선반 위에 얼음 알갱이처럼 떨어진 것을 Fig. 11 (a)에서 볼 수 있었으나, Fig. 11 (b)에서 보는 것과 같이 결빙이 감소하였고 선반에 떨어지던 얼음알갱이도 없어진 것을 볼 수 있다.

제안된 개선안에 의해 감소한 결빙량을 정량적으로 Table 2에 나타내었다. 개선안을 바탕으로 하여 수행된 실험에서 많이 개선이 된 곳은 1번과 2번 그리고 3번 선반이었다. 각각의 선반에서의 개선 정도는 1번 선반에서는 0.78g이 감소하여 개선 전에 비하여 약 13%가 개선되었고, 2번 선반에서는 0.53g이 감소하여 개선 전에 비하여 약 6%가 감소하였다. 그리고 3번 선반에서는 1.22g이 감소하여 약 3.5%가 감소되었다. 결빙량의 변화는 전체적으로 약 2g 이상이 감소하였으며 특히 냉장고 냉동실의 문을 열었을 때 가장 시각적으로 눈에 띄는 부분인 선반 부분에 착상되어지는 결빙의 감소에 있어서 큰 효과를 볼 수 있었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 Side by side 형 냉장고의 냉동실에서 발생하는 결빙을 최소화하기 위하여 수치해석과 실험을 수행하였다. 이를 통하여 결빙의 생성 원인과 생성위치, 결빙의 정도를 파악하였고, 그 결과를 바탕으로 결빙생성을 최소화 하였다. 연구결과를

요약하면 다음과 같다.

결빙실험 결과 1,2번 선반 아래쪽의 결빙량이 전체의 40%를 차지하였으며, 수치해석 결과 결빙이 많이 발생한 1,2번 선반 아래쪽으로 냉기의 순환이 원활하지 못함을 확인할 수 있었다.

1,2번 선반하부에서의 결빙발생을 줄이기 위하여 토출구 가이드형상을 변경하여 실험을 실시한 결과 결빙층의 두께가 감소하였고 각각 0.78, 0.53g의 결빙량 감소가 나타났다.

전등커버 안쪽에 위치한 냉기가이드 구조물 위로 많은 양의 얼음알갱이가 발생하였고 토출구에서 나오는 냉기의 영향으로 이런 얼음 알갱이들이 3번 선반 위로 떨어져 내렸다. 냉기 유로에 영향을 주지 않는 조건하에 구조물을 제거하여 실험한 결과 3번 선반 위에서의 결빙량이 1.22g 감소하였다.

최상부에 위치한 토출구 주위에 발생하는 결빙을 줄이기 위하여 토출구 형상을 세로로 변경하여 실험을 한 결과 물방울들이 토출구를 타고 흘러 내려 실제 토출구 주위로 발생하는 결빙은 감소한 것을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 2단계 BK21 사업 및 (주)LG전자의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

1. 이영환 외 6인, 2001, "냉동실 결빙 메카니즘 정량화 및 착상량 최소화에 관한 연구(제 1보: 기초 실험 및 온도, 풍속측정에 의한 결빙 메카니즘 추론)", 한국동력기계공학회 2001 춘계 학술대회 논문집, pp. 64~70.
2. 이영환 외 2인, 2004, "가정용 냉장고의 냉동실 결빙현상 메커니즘", 한국동력기계공학회, 2004年度 秋季學術大會 論文集, 12, pp. 323~327.
3. 양수영 외 3인, 2007, "B/F형 냉장고 냉동실 결빙 원인 추론", 한국동력기계공학회, 2007年度 春季學術大會 論文集 6, pp. 121~126.
4. 박재성, 2008, "B/F형 냉장고 냉동실의 내부 유동 해석 및 결빙최소화", 부경대학교 석사학위 논문
5. J.K. Gupta, M. Ram Gopal, S., 2007, "Chakraborty, Modeling of a domestic frost-free refrigerator", International Journal of Refrigeration 30, pp.

311~322.

6. O. Laguerre, S. Ben Amara, J. Moureh, D. Flick, 2007, "Numerical simulation of air flow and heat transfer in domestic refrigerators", Journal of Food Engineering 81, pp. 144~156.
7. V.T. Lacerda, C. Melo, J.R. Barbosa Jr, P.O.O. Duarte, 2005, "Measurements of the air flow field in the freezer compartment of a top-mount no-frost refrigerator: the effect of temperature", International Journal of Refrigeration 28, pp. 774~782.
8. A.D. Sommers, A.M. Jacobi, 2005, "Air-side heat transfer enhancement of a refrigerator evaporator using vortex generation", International Journal of Refrigeration 28, pp. 1006~1017.