

B/F형 냉장고 냉동실의 결빙원인에 관한 연구

양수영* · 김윤규* · 박재성* · 정호윤* · 이연원**

Fluid flow in the freezing compartment of the B/F Refrigerators

S. Y. Yang*, Y. K. Kim*, J. S. Park*, H. Y. Jung* and Y. W. Lee**

Key Words : Refrigerator, frost, CFD(전산유체역학)

Abstract

Refrigerators have some frost related problems in a freezing compartment. The frost formation in the refrigerator gives customers a bad impression concerning quality problems. Therefore, many engineers have been studying the optimum solution to avoid frost formation. But the problem of frost formation is very complex and hard to approach to the answer.

The frost generation of a household refrigerator have been widely known that is closely related to the distribution of temperature inside the compartment. The distribution depends on the cold air circulation inside the refrigerator. So frost problem can be reduced and energy consumption efficiency also improved through optimization of air flow fields inside the freezing compartment.

In this paper, numerical simulation has been carried out to check fluid flow. The variation of temperature at the walls was measured and quantitative analysis of frost generated from the freezing compartment was carried out. Through comparison between simulation and experiment, some correlation revealed.

1. 서론

최근 시중에 판매되는 가전제품의 성능향상과 함께 가격의 상승으로 인하여 소비자들의 만족도는 계속해서 높아지고 있는 실정이다. 따라서 제품을 제조하여 판매하는 업체는 소비자들의 욕구를 충족시켜 주고 보다 더 나은 제품을 생산하기 위한 연구를 거듭하고 있다. 일상생활에서 사용되는 대표적인 가전제품중에 하나인 냉장고는 거의 한가구당 1대 이상을 보유하고 있으며 계속해서 보급이 되어나가고 있는 실정이다. 냉장고 또한 그 보급률의 상승과 동시에 제품의 품질향상을 위한 연구가 이루어지고 있으며 소비자들의 요구 또한 늘어나고 있는 실정이다. 실제 냉장고를 이용하다 보면 누구나 한번정도 냉동실 문을 열었을 때 결빙현상이 일어나서 내용물이 냉동실의 바닥과 붙어 있거나 냉동실에 보관했던 음식물의 주변에 결빙현상이 일어난 것을 볼 수 있다. 또한 냉장고를 오래 쓰다보면 냉장고에서 심한 소음이 발생하는 경우도 발견 할 수 있다. 이러한 경우도 마찬가지로 주로 냉기를 냉동실 안으로 유입시켜 주는 헤파 결빙간의 마찰음이다. 이처럼 결빙이 냉장고 내에서 발생하면 미관상으로도 보기 좋지 않을 뿐만 아니라 제품의 성능에도 많은 영향을 미친다. 따라서 우리는 냉동실내에서 발생하는 결빙현상을 파악하고 착상이 생기는 부분의 파악과 유로나 유량의 변경을 통한 착상의 최소화가 필요하다. 냉장고의 냉동실에서 일어나는 결빙현상에 영향을 미치는 인자에는 많은 것들이 있을 수 있다. 이러한 인자들은 크게 외부 인자와 내부인자로 나눌 수 있는데 외부 인자중 가장 지대한 영향을 미치는 인자로서 냉장고의 Door 개폐 시 외부에서 투입되는 고온다습한 공기를 들 수 있다. 내부

인자로는 냉동실내부에 유입되는 냉기의 유량의 변화와 제상주기, 냉동실 안에서의 냉기의 유로 등을 들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수치해석과 실험을 병행함으로써 냉동실의 벽면온도 변화와 냉기의 유동간의 상관관계를 파악하고 그 결과를 토대로 냉동실내 결빙현상을 최소화 시킬 수 있는 방안을 제시 하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 Geometry와 격자 생성

본 연구의 목적에 맞게 수치해석 domain은 냉동실 내로 한정하였다. Geometry에 대한 이해를 돕기 위해 냉동실을 Fig. 1에 나타내었다.

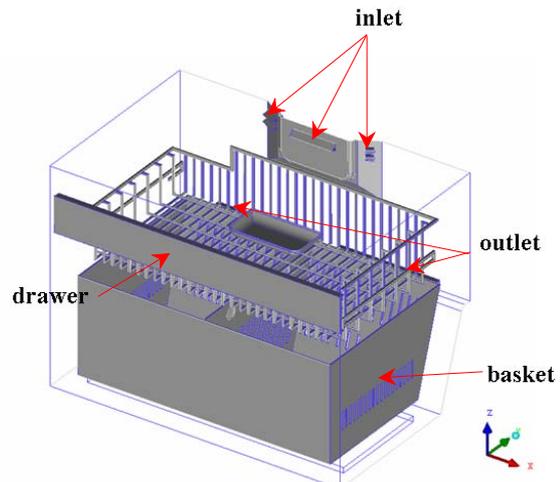


Fig. 1 Schematic diagram of the computational domain

* 부경대학교 대학원 yangsy@pknu.ac.kr

** 부경대학교 기계공학부 ywlee@pknu.ac.kr

Fig.1에서 보는 바와 같이 입구는 세 개의 port로 구성되어 있고 상부의 Drawer와 하부의 Basket으로 이루어져 있다. 출구는 Basket뒤에 위치하여 입구에서 나온 냉기가 순환하여 출구로 빠져나가는 구조로 되어있다.

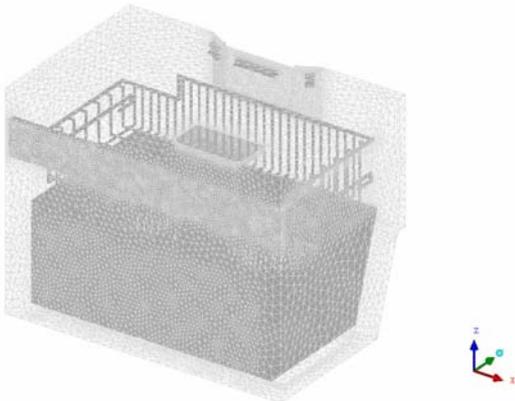


Fig. 2 Grid structure of the computational domain

Fig.2는 계산영역 전체의 격자를 나타낸 것이다. 격자는 Tetra-mesh를 사용하였고 약 5백만개의 격자수가 사용되었는데 격자수를 줄이기 위해 계산영역을 여러 개의 part로 나누어 각 part마다 서로 다른 격자크기를 주었다.

2.2 경계조건

수치해석을 위해 다음과 같은 가정을 한다.

1. 사용되는 유체는 비압축성이다.
2. 정상상태의 해석을 실시한다.
3. 작동유체의 물성치는 일정한다.
4. 냉동실 내의 유동은 난류다.

역시 입구에서 일정한 속도와 온도 값을 적용한다. 그리고 입구의 3개 port에서의 속도 값은 실험을 통해 측정된 값을 사용하여 각각 다르게 적용하였다.

좌측부터 4.99m/s, 5.7m/s, 5.57m/s의 속도를 주었다. 출구의 경우 대기압의 조건을 적용하였다. 입구와 출구를 제외한 나머지 부분은 벽으로 No-slip조건을 적용하였다. 위와 같은 계산 조건으로 상용코드인 FLUENT를 이용하여 계산을 수행하였다. 계산에 사용된 난류모델은 표준 k-ε모델이다.

3. 유동해석 결과

3.1 냉동실 내부의 유동

앞서 언급했듯이 냉동실 입구는 서로 다른 면적과 방향을 가진 3개의 port를 가지고 있다. 먼저 정면에 위치한 port에서 나온 냉기는 곧바로 앞부분의 Drawer를 지나 Basket 내부에서 순환을 하게 된다. 그리고 남은 유량은 양쪽 방향으로 흘러나가 출구를 통해 빠져나간다. 좌측에 위치한 port에서 나온 냉기는 곧장 좌측 방향으로 흘러들어 가고 출구로 빠져나오게 된다. 그리고 좌측 윗면에는 재순환영역이 생기는 것을 확인할 수 있다. 우측에 위치한 port에서 나온 냉기의 대부분은 좌측방향으로 끌려들어가고 나머지는 곧장 우측방향으로 흘러들어가 출구로 빠져나간다.

유량은 곧장 좌측방향으로 흘러들어 가고 출구로 빠져나오게 된다. 그리고 좌측 윗면에는 재순환영역이 생기는 것을 확인할

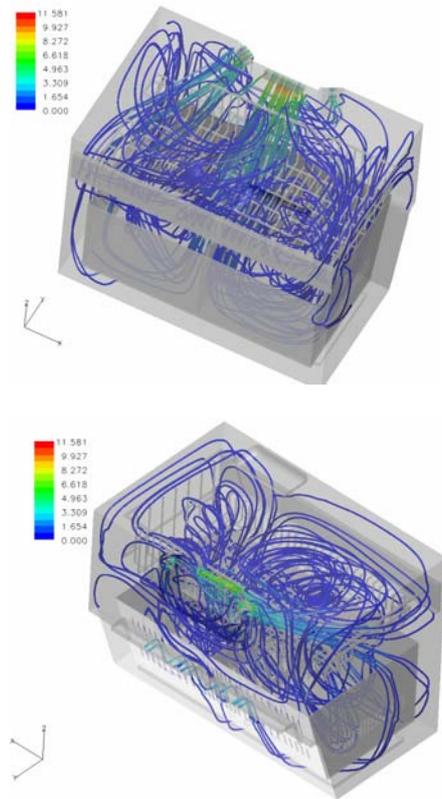


Fig. 3 Flow characteristics inside the compartment

수 있다. 우측에 위치한 port에서 나온 유량의 대부분은 좌측 방향으로 끌려들어가고 나머지는 곧장 우측방향으로 흘러들어가 출구로 빠져나간다.

3.2 냉동실 내부의 속도 분포

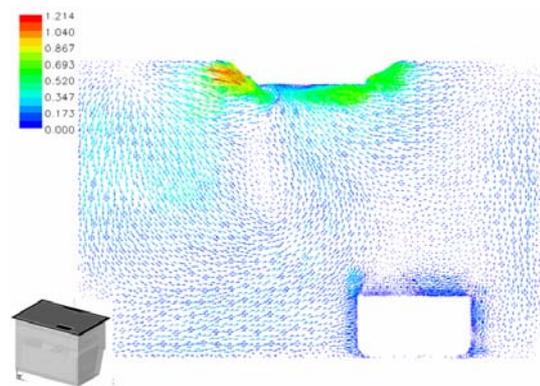


Fig. 4 Velocity vector distribution inside the compartment (at the top wall)

Fig. 4는 천장에서의 속도벡터를 나타내고 있다. 앞서 설명했듯이 우측 입구port앞에서의 속도벡터가 좌측으로 쏠림현상이 발생하고 있다. 그리고 좌측 입구port앞에서는 순환영역을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 YZ방향의 속도벡터를 나타내고 있다.

상부 Drawer주위로 유체가 회전을 하고 Drawer뒤쪽과 Basket앞 부분에 순환영역이 발생하고 있다.

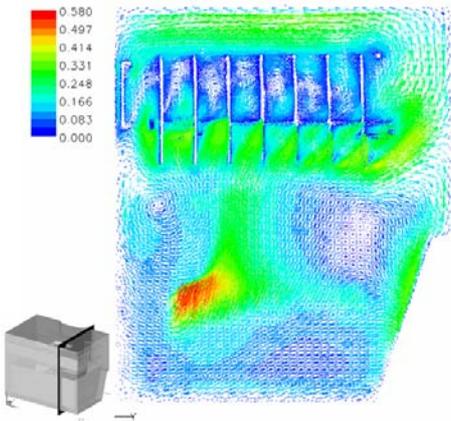


Fig. 5 Velocity vector distribution inside the compartment(X=30cm from centerline)

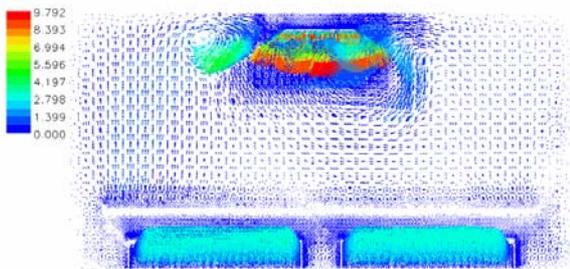


Fig. 6 Velocity vector distribution inside the compartment (y=5cm from back wall)

Fig. 6는 입구port근처의 속도분포를 나타내는 그림이다. 우측 port부근에서 유동이 좌측으로 쏠림현상이 일어나고 좌측port앞 쪽엔 순환영역이 관찰된다. 출구에서는 약간 오른쪽으로 비스듬히 유체가 빠져나가는 모습이 보인다.

4. 실험 방법

앞선 수치해석을 통한 냉동실 내 유로 분석과 실질적으로 냉동실 내에서 일어나는 결빙현상을 비교하기위해 두 가지 실험을 수행하였다.

4.1 냉동실의 온도변화 실험

실험 조건은 KS규격에 맞추어서 실험을 시행하였으며, 실험 조건과 순서는 다음과 같다.

1. Chamber의 온도는 4계절 중 가장 습하고 온도가 높은 여름을 기준으로 한다. 이때의 온도는 $30\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 설정을 하며, 습도는 $87\pm 2\%$ 로 설정을 한다.
2. 냉장고내의 온도를 측정하기 위해 냉장고의 작동을 중지시키고 냉장고내의 온도와 Chamber내부의 온도가 동일해 질 때까지 2~3시간 안정화 시킨다.
3. 냉동실에서의 온도분포를 측정하기 위해 T-type의 열전대를 이용하여 측정하고자 하는 지점에 열전대를 설치한다.(본 실험에서는 냉동실의 안쪽 벽면에 56개, 천정에 32개, 바닥에 24개, 좌

우측면에 40개의 포인트를 두었다.)

4. 냉장고의 운전은 냉동실내부와 Chamber내부의 온도가 거의 같아졌을 때를 시작으로 하여 약 14시간동안 냉장고를 가동시키고 이 시간동안의 데이터를 원하는 시간단위로 저장한다.

4.2 냉동실의 결빙 정량화 실험

결빙실험은 KS규격에 명시된 방법으로 실행하였으며 생성된 결빙의 양을 측정부위별로 정량화하였다. 실험조건과 순서는 다음과 같다.

1. 무 부하의 냉장고를 정격전압으로 운전시켜 냉장고 내 온도가 안정되어 Comp.단속이 들어가면 첫 번째 제상이 완료된 것을 확인하고 Door개폐 실험을 실시한다.
2. Door의 개폐시간은 15분당 10초로 한다.
3. 10시간 Door개폐 완료 후 8~10시간 정도 Door를 닫고 냉장고 냉동실의 내부를 안정화 시킨다.
4. 냉장고 내의 결빙 정도를 확인하고 기록을 남기며 결빙량을 측정한다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 냉동실 내부의 온도장 변화

본 실험에서 냉동실 내부의 각 면에 대한 온도를 측정하였다. 실험결과 냉동실의 안쪽벽면에서 온도변화가 가장 크게 나타났으며, 역시 가장 낮은 온도분포를 보였다. 다음Fig.7는 냉동실안쪽벽면에서의 온도측정 지점을 나타낸 것이다.

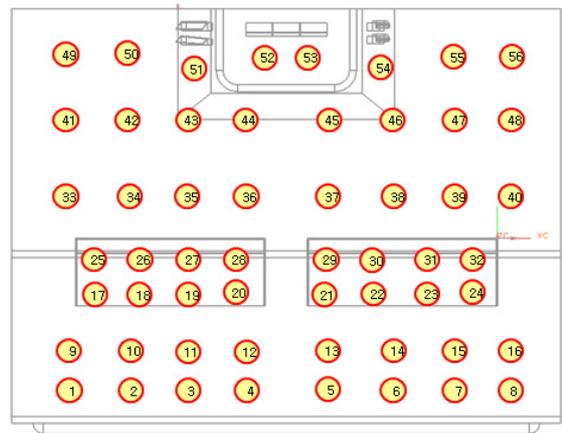
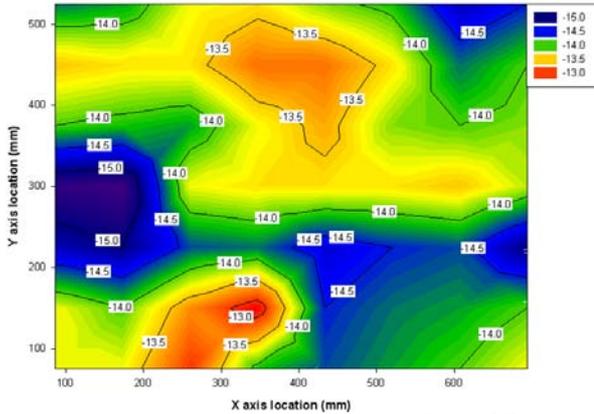


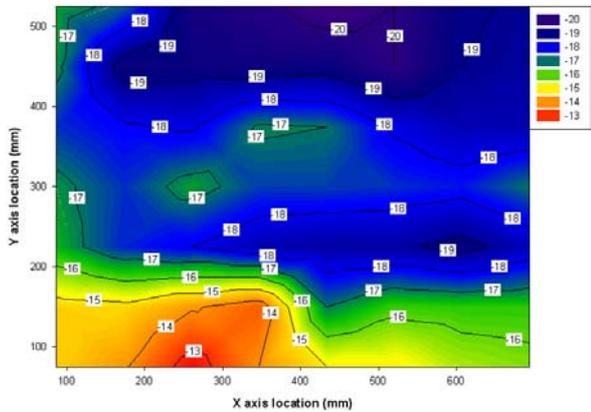
Fig. 7 Thermometry points in freezing compartment

온도장은 Comp.의 On/Off를 기준으로 하여 그려졌으며 Fig.8(a)는 Comp.의 Off시 냉동실의 안쪽벽면에서의 온도장을 나타내며 Fig.8(b)는 Comp.의 On시 온도장을 나타내었다. Fig. 8(a)를 보면 냉기 투입구 쪽의 온도가 주위에 비하여 $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 정도 높은 것을 볼 수 있다. 이는 Comp.가 Off하는 순간 냉기투입구를 통하여 온기가 투입된다는 것을 의미한다. 이러한 온기의 투입은 고내의 높은 온도변화를 야기하며 이로 인하여 높은 온도차가 일어나는 곳에서 열전달과 물질전달에 의한 상변화가 형성되고 착상이 일어나 결빙이 형성되게 된다. 이렇게 냉기 투입구를 통하여 역류하는 고온다습한 공기는 일반적으로 Eva.에서 착상을 시키지 못하고 남은 잔존하는 기체일 확률이 높다. 따라서 이러한

문제점을 해결하기 위해서는 Eva의 효율을 높여야 할 것으로 보여 진다.



(a) Temperature field at the Comp. Off



(b) Temperature field at the Comp. On

Fig. 8 Change of temperature field at the inside plate

Fig. 8(b)에서는 Comp.가 다시 On이 되면서 냉기가 냉동실 안으로 투입이 되는 것을 가지적으로 확인 할 수 있다. 냉기의 투입 시 냉동실의 상단부터 우선적으로 온도가 낮아지며 하단으로 갈수록 온도가 높아지는 것을 확인 할 수 있다.

5.2 냉동실 결빙의 정량화

냉동실의 결빙 실험은 2차에 걸쳐 실행이 되어졌다. 실험을 통해서 알아 본 결과 Basket 에서 가장 많은 결빙이 생성되는 것을 볼 수 있다. 그 양은 Fig. 7에서 보다시피 냉동실 전체 결빙량의 53%를 차지한다. 다음으로 많은 결빙량을 가지는 부분은 바닥과 안쪽벽면부분이다. 이 두 부분은 각각 전체의 13%를 차지하고

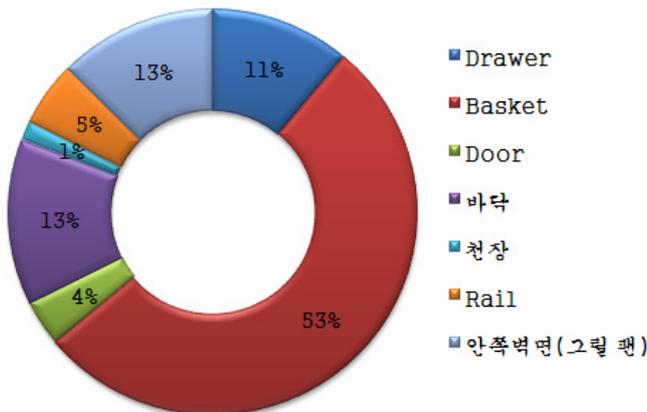


Fig. 9 Distribution chart of freezing mass

있다.

5. 결론

본 연구에서 수치해석을 통한 내부 유동장과 실험을 통한 냉동실 내부 온도변화 및 결빙정량화를 실시하여 온도와 내부 유동의 상관관계를 규명하기 위한 연구를 하였다.

1. 수치해석 결과 몇몇 부분에서 재순환 영역이 발생하였는데 결빙실험결과 결빙이 많이 발생한 부분과 일치하는 부분이 발견되었다.
2. 단순유동장만을 계산한 결과 정확한 공기유동의 data 부족으로 인해 실제 실험을 통한 결과와의 상관관계를 정확히 규명하기 어려웠다. 열전달이나 온도 측정을 통해 수치해석의 보완이 필요하다.
3. 제상과정과 Comp.의 On/Off시 온도장을 보면 Comp.가 Off되었을 때 냉기 토출구에서 고내보다 높은 온도의 공기가 나오는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 공기로 인하여 토출구 주변의 온도차가 다른 부위에 비하여 크게 나타났다. 그리고 결빙 실험결과 Basket과 안쪽 벽면에서 가장 많은 결빙이 발생한 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] J.K. Gupta, M. Ram Gopal, S. Chakraborty, Modeling of a domestic frost-free refrigerator, International Journal of Refrigeration 30 (2007) 311-322.

[2] O. Laguerre, S. Ben Amara, J. Moureh, D. Flick, Numerical simulation of air flow and heat transfer in domestic refrigerators, Journal of Food Engineering 81 (2007) 144-156.

[3] V.T. Lacerda, C. Melo, J.R. Barbosa Jr, P.O.O. Duarte, 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 (2005) 774-782.

[4] A.D. Sommers, A.M. Jacobi, Air-side heat transfer enhancement of a refrigerator evaporator using vortex generation, International Journal of Refrigeration 28 (2005) 1006-1017.