

냉장고 고내 온도산포 개선에 관한 전산모사

고가진*, 김재열**#

*조선대학교 일반대학원 기계시스템·미래자동차공학과,

**조선대학교 기계시스템미래자동차공학부

Simulation for Improvement of Temperature Distribution Inside Refrigerator

Jia-Chen Gao*, Jae-Yeol Kim**#

*Dept. of Mechanical System & Automotive Engineering, Graduate School of Chosun University,

**Dept. of Mechanical System & Automotive Engineering, Chosun University

(Received 6 November 2019; received in revised form 24 November 2019; accepted 28 November 2019)

ABSTRACT

With the increasing need for environmental protection, it is particularly important to improve the energy saving and reliability of refrigerators. Generally, the cold air flowing into the freezer compartment transits to the bottom of the refrigerating compartment, which can lead to uneven temperature distribution. This paper proposes two design solutions for improving the temperature distribution problem. Of these, the optimal refrigeration design was selected and tested using Computational Fluid Dynamics (CFD) modeling and simulation. The results showed improved uniformity of the temperature distribution inside the refrigerator, thus benefitting food storage while reducing energy consumption.

Key Words : Refrigerator(냉장고), Shelf(선반), Flow Simulation(유동 전산모사), Temperature Distribution(온도 분포)

1. 서 론

냉장고는 대중적인 전자제품으로 한 가정에서 최소 1대 이상을 보유하고 있으며 최근에는 대부분의 가정에서 2대 이상을 사용하고 있다.

가정용 냉장고의 교체 주기는 일반적으로 5~10년으로 볼 수 있으며 일반 가정 중 일부는 구형

냉장고를 사용하고 있다. 구형 냉장고의 경우 전력소비가 많고 효율저하의 특징을 갖고 있다. 이에 따라 보편적인 제품에 대한 에너지 저감 및 신뢰성 향상기술이 필요하다.

일반 냉장고 냉동실의 냉기는 순환 팬(fan)에 의해 발생되는 냉기 강제 유동으로 인해 냉동실과 냉장실 사이에 장착된 냉기유로를 통해 전달되며, 이 때 냉기유로를 통과하는 냉기의 온도는 대략 -7℃ 정도이다. 일반적인 경우에 냉동실에서 유입되는 냉기는 자연스럽게 냉장실 하부로 전해지

Corresponding Author : jkim@chsoun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7745, Fax: +82-62-230-7035

며, 저장실의 내측에 보관된 식품은 과냉각되고 도어측에 보관된 식품은 냉기가 충분히 전달되지 않아 냉장실 온도 산포 불균일의 주요 원인으로 식재의 변질 속도가 빨라진다^[1]. 이에 따라 냉장고 내부 온도산포 개선이 필요하다.

냉장고에 대한 고효율, 고품질에 대한 요구로 인해 냉장고의 고내 온도분포 개선에 관해 냉기의 적절한 분배와 원활한 순환에 대한 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다. 본 연구에 앞서 유한 요소해석을 이용한 냉장고 캐비닛의 열변형 최소화를 위한 연구를 진행하였고^[2,3], 가정용 냉장고의 에너지 노즈부 열전달 특성에 대해 연구^[4], 김치 냉장고 내의 유동 및 열전달 특성에 관한 수치해석^[5]을 수행하였다.

본 연구는 가정용 냉장고 냉장실 고내의 온도산포 개선을 위한 기존 선반에 설치 할 수 있고 적절한 냉기 분배 가능한 부품을 설계하고 그의 형상에 따른 온도산포 개선효과를 검증하기 위한 전산모사를 수행하였다. 결과에 따라 실내온도산포 향상의 가능성 및 설계품 유용성을 검증하였다.

2. 본론

2.1 해석 모델링

일반 냉장고 플라스틱 또는 유리 선반과 냉장실에 유입되는 냉기를 균일하게 배분해 줄 수 있는 샤워 선반개념으로 설계하였다. 수치해석을 진행하기 위한 모델링은 S사 F모델 냉장실의 실제 제원으로 모델링하였다. 단, Fig. 1에서 선반 아래에 설계품 Model 1과 Model 2를 추가하였다.

Fig. 1과 같이 냉장실 총 3개의 선반으로 4칸의 공간으로 나뉘지며 좌측에 냉기 토출구 4개가 부착되어 있다. 선반 밑에는 설계한 부품1과 2번이 장착되어 있다.

본 연구에서는 수치계산을 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

토출구에 유입한 냉기는 일정한 온도를 유지한다. 작동유체의 물성치는 일정하게 유지한다. 압축성에 의한 점성소산을 무시한다.

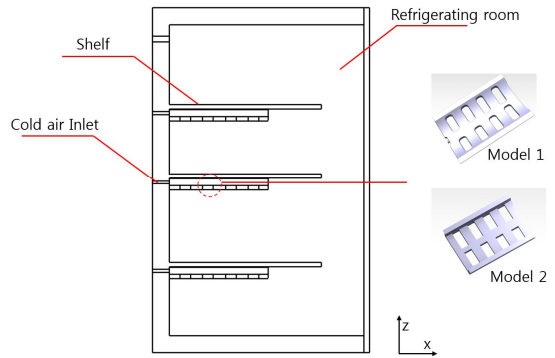


Fig. 1 Modeling of refrigerating room

2.2 해석 방법 및 지배방정식

수치해석은 상용 열유체 코드인 Fluent를 사용하여 수행하였다. 유체의 열적특성 및 거동을 모사하기 위해 널리 쓰이는 유한체적법을 사용하였으며 Simple 알고리즘을 사용하였다^[6,7].

질량보존 법칙, 운동량 보존법칙 및 에너지 보존 법칙을 통해 아래와 같은 지배방정식을 도출할 수 있다.

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{u\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{v\partial(\rho u)}{\partial y} + \frac{w\partial(\rho u)}{\partial z} \\ = -\frac{\partial p}{\partial x} + u\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{u\partial(\rho v)}{\partial x} + \frac{v\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{w\partial(\rho v)}{\partial z} \\ = -\frac{\partial p}{\partial y} + u\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{u\partial(\rho w)}{\partial x} + \frac{v\partial(\rho w)}{\partial y} + \frac{w\partial(\rho w)}{\partial z} \\ = -\frac{\partial p}{\partial z} + u\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) - \rho g \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \frac{u\partial(\rho C_p T)}{\partial x} + \frac{v\partial(\rho C_p T)}{\partial y} + \frac{w\partial(\rho C_p T)}{\partial z} = k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (5)$$

여기서, u, v, w 은 x, y, z 방향의 유속이며, ρ, u, C_p, T, k 는 밀도, 점성계수, 온도, 열전도율로 구분되며, g 는 중력가속도, t 는 시간이다.

냉장고의 고내 온도산포를 분석하기 위하여 유입된 냉기온도는 -10°C , 환경온도는 20°C 로 설정하였다. 또한, 유입된 냉기의 유량은 0.09CMM 로 설정하였다.

2.3 해석 결과

Fig. 2에서 볼 수 있는 것처럼 유입된 냉기의 송풍시간에 따라 냉장실의 내부 온도산포차가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 즉 고내 평균온도는 낮아진다는 것을 확인하였다.

0s-900s의 고내 평균 온도 변화 그래프는 Fig. 3에 도시되어있으며, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 냉기 유입 60s후 Model 2보다 Model 1을 적용할 때 고내 평균온도가 급히 내려가는 것을 확인할 수 있다.

900s 후에 Model 1 적용 시 고내 평균온도는 6.3°C 이며 Model 2 적용 시 고내 평균온도는 3.6°C 로 계산된다.

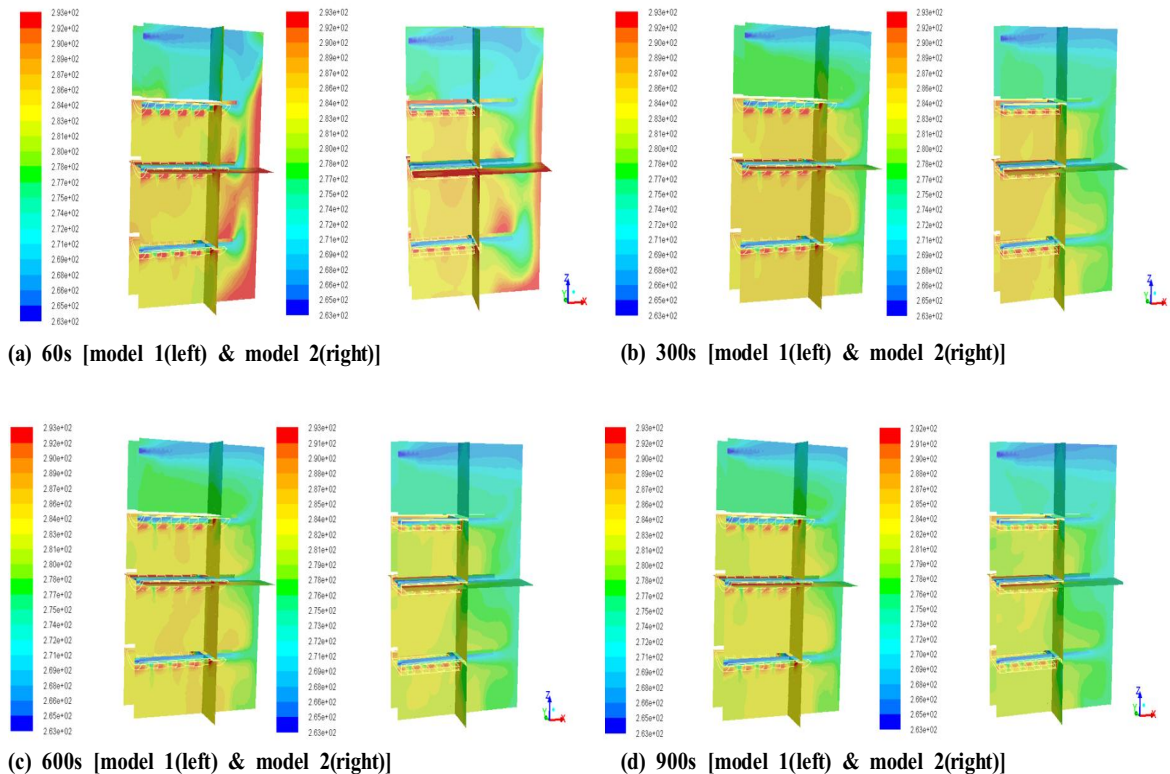


Fig. 2 Analysis result of model 1 & model 2

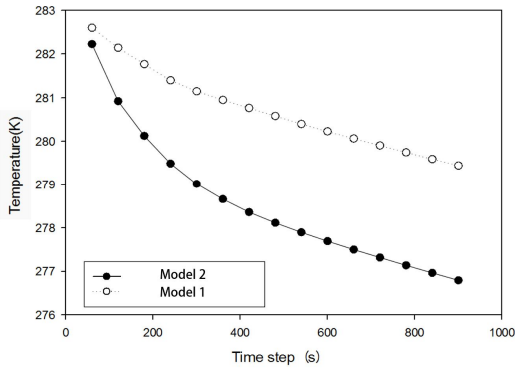


Fig. 3 Average temperature of inside refrigerator

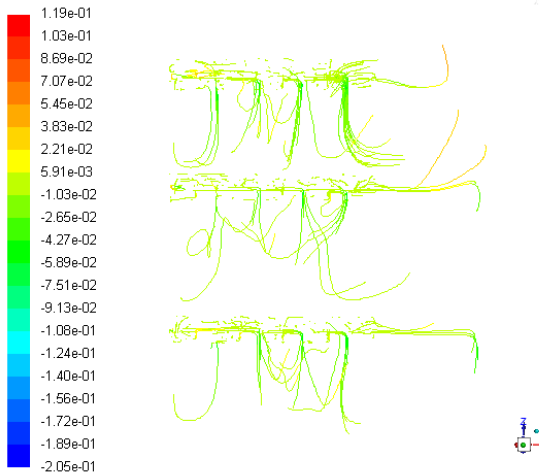


Fig. 4 Z Velocity (side view of model 1)

z축 방향의 유동속도는 Fig. 4 및 Fig. 5에 도시되어 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 냉기를 유입 후 설계품 Model 1, 2를 통해 하단으로 분배시켜준다는 것을 확인할 수 있다. Model 1보다 Model 2를 적용한 냉장고의 온도산포개선에 대해 더 효율적이라고 볼 수 있다. 이에 따라 냉장고 선반의 구조는 냉장실의 내부온도산포에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있고, Model 1 보다 Model 2를 적용할 때 냉장고 냉장실의 고내 온도산포를 더 균일하게 할 수 있다.

위 결과에 따라 설계된 Model 2를 연구 대상으로

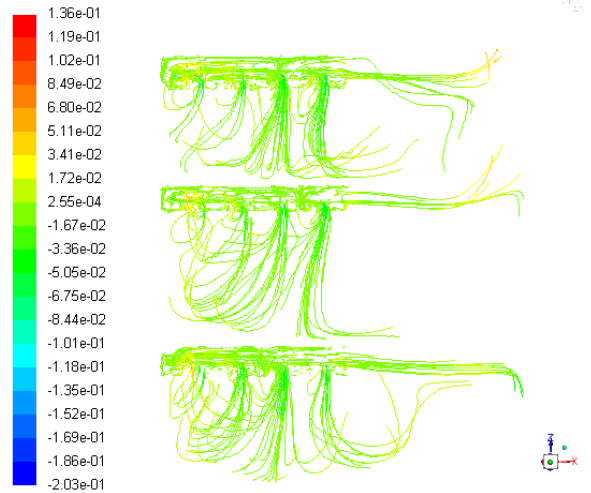


Fig. 5 Z Velocity (side view of model 2)

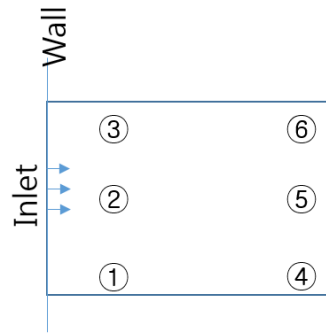


Fig. 6 Location of the first floor simulation

실험을 진행하였다. 3D프린팅으로 제작하였고 S사 F모델 냉장실의 선반 밑에 Fig. 1과 같이 설치하였다. Fig. 6의 온도 측정 포인트는 냉장실 2번째 칸의 안쪽 2번과 바깥쪽 5번에 K타입의 열전쌍을 설치하여 실험이 진행되는 동안 데이터 수집장치를 통해 온도데이터를 저장하였다.

실제 가정용 냉장고 사용 환경과 유사하게 실험을 진행하기 위해 냉장실 내부는 톱밥으로 채웠다. 실험 진행 시 냉동실 -18℃, 냉장실 2℃로 설정하고 주변 환경온도를 25℃로 유지하였으며 냉장실의 온도 안정 후 전원을 OFF시켰다.

2.4 실험 결과

안정된 실험 결과를 얻기 위해 실험을 총 17,000 분 동안 진행하였다. 측정 타점인 2, 5번의 온도변화는 Fig. 7과 같이 나타내었다.

Fig. 7에서 보듯이 3,500분부터 냉장실 온도가 안정화 되면서 설정온도에 도달하여 ON/OFF 사이클로 작동된다. 전원 차단 후 고내온도가 올라간다는 것을 확인할 수 있었다.

고내 온도 안정 후 Fig. 7에서 일부 온도데이터를 분석하였다. Table 1은 해당시간에 따른 2번과 5번의 온도 및 온도차를 나타낸다. 고내 온도 안정 후 최소 온도차는 0.13°C이며, 최대 온도차는 0.69°C로 확인 되었다.

3. 결론

본 연구에서는 냉장고 냉장실의 고내온도 산포를 개선하기 위해 기존 냉장고 선반에 장착할 수 있는 부품을 설계하였고, 냉장고 전산모사 및 실험을 바탕으로 고내 온도산포에 대한 분석을 하여 아래와 같은 결론을 내릴 수 있었다.

Table 1 Measured temperatures at point 2 & 5

Time(hour)	$T_{\#2}$ (°C)	$T_{\#5}$ (°C)	ΔT (°C)
0	1.83	1.96	0.13
1	2.08	2.04	0.04
2	1.49	1.35	0.14
3	2.1	2.52	0.42
4	2.16	2.85	0.69
5	2.05	2.62	0.57

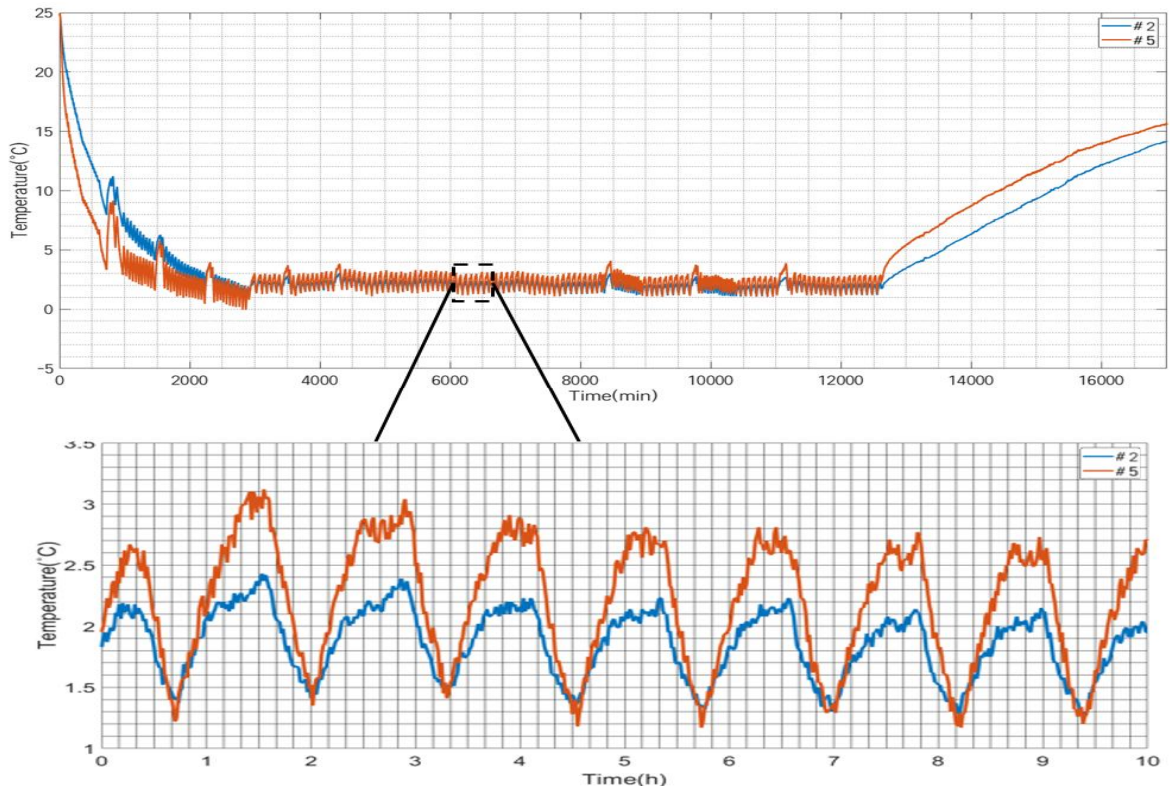


Fig. 7 Measured temperatures at point 2 & 5

1. 900s 후에 Model 1 보다 Model 2를 적용할 때 냉장고 냉장실의 고내 평균 온도가 2.7℃ 낮은 것으로 확인하였다. 따라서 1번 보다 2번의 고내 온도 개선효과가 크다고 판단된다.
2. Model 2 적용 시 냉장고 고내 온도 약 3,500분 후 안정되고 안정된 고내 안쪽과 바깥쪽이 최소 온도차는 0.13℃, 최대 0.69℃로 확인 하였다.
3. 본 연구를 통해 냉장고 선반의 형상에 따라 냉장고 고내 온도산포에 영향을 미치는 것을 확인하였고, 해석적 방법으로 확인하는 과정을 정리 하였다. 이에 따라 냉기 유동과 관련 개선방안에 대해서도 적용가능 할 것으로 판단된다.

in Passenger Cars", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 2, pp. 142-148, 2017.

7. Oh, K. J. and Bae, C. K., "Numerical Analysis of the Viscous Flow Around a Front End Cooling Fan of the Car", Journal of the Korean Society of Industry Convergence, Vol. 10, No. 4, pp. 221-226, 2007.

REFERENCES

1. Kim, J. R., "A Survey on the Indoor Temperature and Power Consumption of Domestic Refrigerator", Journal of Oil & Applied Science, Vol. 35, No. 2, pp. 357-366, 2018.
2. Lee, B. Y., "Analysis of Door Height Difference and Door Flatness Difference of Built-in Side-by-Side Refrigerator Using Cabinet-Door Integrated Model", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 5, pp. 76-83, 2018.
3. Lee, B. Y., "Structural Analysis of Cabinet in Built-in Side-by-Side Refrigerator and Evaluation of Door Height Difference and Door Flatness Difference", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 2, pp. 30-36, 2018.
4. Lee, M. Y., Lee, D. Y., Kim, Y. C., "A Study on the Heat Transfer Performance of an ENergy-Nose Section in a Household Refrigerator-Freezer", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 31, No. 5, pp. 574-580, 2007.
5. Yun, J. W., "A Numerical Study on the Flow and Heat Transfer Characteristics in a Kimchi Refrigerator", Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering Vol.15, No. 12 , pp. 1078 -1087, 2003.
6. Yoo, J. Y., Park, S. H., "Natural Cooling Characteristics of a Heat Sink for LED Headlight used