

역열손실 방법을 이용한 냉장고 얼음 배출구 영역에서의 열손실 개선에 관한 연구

하지수[†]

계명대학교 환경과학과

(2012년 12월 28일 접수, 2013년 6월 17일 수정, 2013년 6월 17일 채택)

A Study on the Heat Loss Improvement in a Refrigerator Ice Dispenser by Using Reverse Heat Loss Method

Ji Soo Ha[†]

Department of Environment Science, Keimyung University

(Received 28 December 2012, Revised 17 June 2013, Accepted 17 June 2013)

요 약

본 연구는 빌트인 냉장고 내부를 가열하여 냉장고의 열손실 특성을 파악하는 역열손실 방법을 이용하여 냉장고의 열손실이 큰 부분이 어느 영역인지를 분석함으로써 이를 개선하는 것에 목적을 두고 있다. 이를 위해서 적외선 열화상 카메라를 이용하여 냉장고 외부 표면 온도를 측정함으로써 열손실을 분석하였으며 이를 통하여 상대적으로 열손실이 큰 부분인 얼음배출구에서의 열손실 개선을 시도하였다. 또한, 이에 관한 열전달 전산해석을 수행하여 열손실 구조를 규명하였으며 적용 가능한 열손실 개선 방안인 모서리 부분의 곡면반경을 증가하여 열손실이 개선되는 특성을 살펴보았다. 본 연구의 결과로부터 얼음배출구 모서리 부분의 곡면 반경을 30mm로 하면 모서리 부분의 열손실이 최적으로 개선되는 것을 알 수 있었다.

주요어 : 냉장고, 역열손실, 적외선열화상 카메라, 얼음배출구, 곡면반경

Abstract - The present study has been carried out to reduce the heat loss from a built in refrigerator by using reverse heat loss method to discern the region with larger heat loss. To perform this purpose, an infrared thermographic camera has been used to measure the surface temperature of the refrigerator and tried to improve the heat loss near the ice dispenser. The numerical heat transfer analysis also has been accomplished to clarify the heat transfer mechanism near the ice dispenser. The possible applicable method to reduce heat loss was increasing the curvature radius at the ice dispenser corner. The curvature radius has been changed from 0mm to 40mm to see the effect of the curvature at the corner. From the present research, the optimal curvature radius for the reduction of heat loss at the ice dispenser could be 30mm.

Key words : Refrigerator, Reverse heat loss, Infrared thermographic camera, Ice dispenser, Curvature radius

1. 서 론

냉장고의 열손실은 냉장고 벽면을 통하여 나가는 열손실, 냉장고 문에 있는 가스켓을 통한 열손실, 문의 개폐에 따른 냉기 유출에 따른 열손실 등 여러 가

[†]To whom corresponding should be addressed.

Department of Environment Science, Keimyung University
Tel : 053-580-5919 E-mai : jisooa@kmu.ac.kr

지가 있다. 냉장고의 열손실은 냉장고 문에 있는 냉장고 가스켓을 통하여 냉장고 전체의 약 30%의 열손실이 발생하고 있다. 이를 개선하는 연구⁽¹⁻⁶⁾도 많이 이루어지고 있다.

또한, 냉장고 벽면은 일반적으로 냉장고에 널리 사용하는 단열재인 PU Foam(폴리우레탄 폼)을 사용하는데 냉장고의 고급화 추세에 따라 열전도율이 PU Foam의 1/10정도로 낮은 진공단열재(Vacuum Insulation Panel, VIP)를 사용하기도 한다. 냉장고의 열손실을 개선할 경우 냉장고의 열손실 저감 효과가 어떻게 되는지를 일반적인 냉장고 성능 평가 방법인 항온항습실 내에 냉장고를 가동한 상태에서 평가를 하게 되면 변경 개선한 효과만 나타나는 것이 아니라 압축기, 증발기, 가스켓 열손실 등 냉장고 전체의 성능이 함께 나타나게 되므로 변경 개선에 따른 효과만을 분석하고자 할 때 어려움이 있다. 냉장고의 단열 성능 개선만을 파악하고자 할 때는 냉장고 역열손실 방법을 이용하여 평가하는 것이 가장 효과적이다. 이러한 역열손실을 이용해서 냉장고에서 단열재 단열 성능 평가에 관한 연구⁽⁷⁻⁹⁾들이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 역열손실 방법을 이용하여 냉장고 전체 외부 벽면의 온도 분포를 적외선 열화상 카메라를 촬영하여 냉장고에서 열손실이 상대적으로 큰 부분이 어떠한 부분인지 구분하고 우선적으로 열손실을 개선해야 할 얼음 배출구(Ice Dispenser) 부분의 열손실 특성을 열전달 수치해석을 통하여 분석하였다. 이를 토대로 얼음 배출구에서 최적으로 열손실 개선하는 방안을 제시하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 실험 장치는 진공단열재 내장 빌트인 냉장고 시료, 냉장고 내부 가열시스템, 온도 및 가열전력량 측정 시스템으로 구성되어있다. 실험에 사용한 냉장고 시료는 빌트인 냉장고로서 좌우에 냉장실과 냉동실이 있다. 냉장고의 용량은 708 liter이다. 역열손실 방법으로 냉장고의 단열성능을 시험하기 위해 냉장고의 압축기를 비롯한 증발기 등의 주요 장치들을 가동하지 않고 냉장실과 냉동실 내에 Fig. 1과 같이 가열시스템을 설치하였다. 또한, 내부의 온도 균일화를 위해 순환팬을 냉장실과 냉동실 각각 설치하였다.



Fig. 1. Photograph of electric heating system and temperature sensors installed inside the refrigerator.

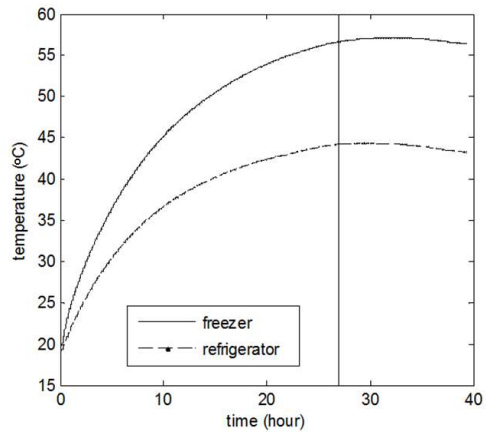


Fig. 2. Measured temperature with time in the freezer and refrigerator.

냉장고의 성능시험을 위해 일반적으로 외부온도를 32°C, 냉동실을 -17°C, 냉장실을 2°C로 유지하면서 시험한다. 본 연구에서의 역열손실 방법으로 단열성능을 시험하기 위해서 냉장고 외부의 온도를 -17°C, 냉장실을 44°C, 냉동실을 56°C로 유지하면서 시험하였다.

이러한 온도 조건을 유지하면서 냉장실과 냉동실 내에 설치한 가열시스템으로 가열한 경우 온도가 정상상태로 도달하기까지 걸리는 시간을 측정하였으며 이 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2를 살펴보면 냉장실이나 냉동실 모두 약 27시간 이후에 일정한 온도로 되는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 본 연구에서도 항온항습챔버 내에서 역열손실 방법으로 시험할 때 27시간 가열한 이후에 적외선 열화상 카메라로 냉

장고 외부 표면의 온도를 측정하였다. 본 연구에 사용한 적외선 열화상카메라는 FLIR사의 P640모델을 사용하였다.

3. 수치해석방법

3-1. 냉장고 형상 모델링

실험장치 및 방법에서 언급하였듯이 본 연구에서는 역열손실 방법으로 냉장고 내부를 가열한 후 적외선 열화상 카메라를 이용하여 냉장고의 어느 부분이 열손실이 큰지를 구분하고 이를 토대로 열손실을 개선하는 순서로 진행하였다. 이렇게 적외선 열화상 카메라를 이용하여 열손실 진단을 한 결과는 결과 및 고찰에서 구체적으로 분석하겠지만 결과를 요약하면 가스켓을 통한 열손실이 가장 컸으며 그다음이 얼음 배출구를 통한 열손실이다. 가스켓을 통한 열손실 개선 연구는 지금까지 많은 연구를 통하여 분석과 개선이 있어왔다. 따라서 본 연구에서는 얼음배출구를 통한 열손실 개선을 주목적으로 하기로 하였다.

본 연구에 사용한 냉장고 얼음배출구 형상을 Fig. 3에 나타내었다. Fig.3(a)는 얼음배출구 형상 사진이고 (b)는 이를 열전달 전산 해석을 하기 위한 모델링을 구현한 것이다. 열전달 전산 해석에 필요한 지배방정식과 경계조건 등은 다음 절에서 설명하기로 한다.

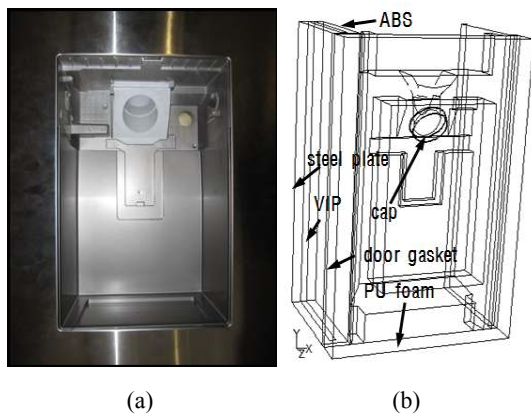


Fig. 3. Configuration of the ice dispenser. (a) Photograph of the ice dispenser and (b) computational modeling of the ice dispenser.

Table 1. Thermal conductivities for the present used materials

Material	Thermal conductivity (W/mK)
PU foam	0.026
VIP	0.0032
cap	0.24
door gasket	5
steel plate	14.9
ABS	0.19

3-2. 지배방정식 및 전산해석 모델링

냉장고의 역열손실 방법에 관한 열전달 수치해석을 위해 Fig. 4에서 살펴보았듯이 냉장고 형상에 대한 모델링을 하였다. 얼음배출구는 얼음배출구에 있는 캡과 덕트, 냉장고의 단열재인 PU Foam, 외부 벽면에 인접한 진공단열재, 문과 냉장고 사이에 있는 가스켓, 외부 벽면의 철판, 냉장고 내부에 있는 ABS 벽면으로 구성 되어 있다. 구성 부품에 대한 열전도율은 Table 1에 나타내었다.

얼음배출구에 대한 열전달 해석에 적용한 지배방정식은 정상상태 3차원 열전도 방정식을 이용하였다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(k \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k \frac{\partial T}{\partial z}) = 0 \quad (1)$$

식 (1)에서 x,y,z는 Fig. 3에 나타난 바와 같은 좌표축을 나타내고 k는 열전도율, T는 온도를 나타낸다.

본 연구에서 열전달 해석에 사용한 전산해석 소프트웨어는 열유체 전산해석에 널리 사용되고 있는 상용코드인 Fluent 소프트웨어를 사용하였다. 격자의 개수는 약 82만개를 사용하였다. 냉장고 내부는 역열손실 방법 실험에서 측정한 온도를 사용하였는데 냉장실은 44°C, 냉동실은 56°C를 사용하였고 외부 온도는 17°C로 설정 하였다. 벽면에서의 자연대류 열전달계수는 6W/m²K를 적용하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 적외선 열화상 카메라를 이용한 열손실 진단

냉장고 시료를 앞 절에서와 같이 27시간 가열한 후 냉장고 전체에 대한 적외선 열화상 카메라로 부분

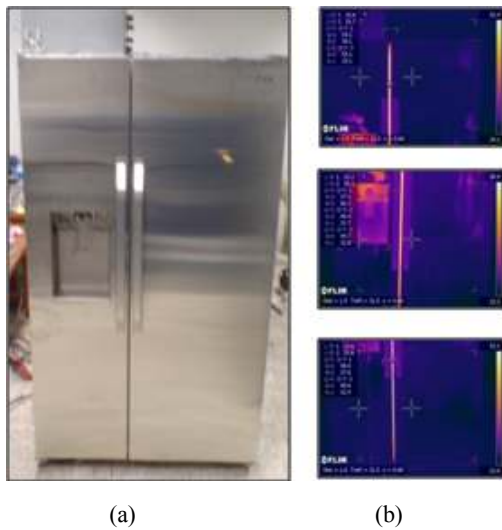


Fig. 4. Photograph of (a) the frontal face of the refrigerator and (b) the thermographic infrared images.

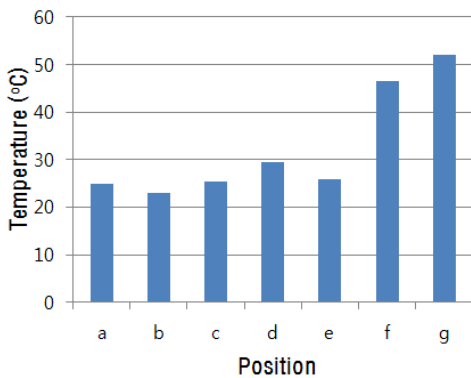
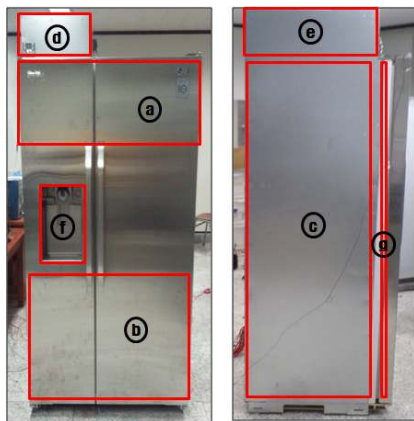


Fig. 5. Comparison of mean temperatures at several surface positions of the refrigerator. ㉑ : upper door, ㉒ : lower door, ㉓ : left side, ㉔ : freezer evaporator, ㉕ : left side freezer evaporator, ㉖ : ice dispenser, ㉗ : door gasket.

적으로 촬영하여 각 부분의 외부 온도 분포를 측정하였다. 냉장고 시료 전면에 대한 열화상카메라 촬영 예를 Fig. 4에 나타내었다.

적외선 열화상 카메라로 촬영한 부분은 냉장고 전면과 옆면을 촬영하였는데 각 부분에서 평균온도 분포를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에 나타낸 냉장고 각 부분의 평균 온도 분포를 살펴보면 냉장고 전면 문 표면, 옆면, 냉동실 상단에 있는 냉동실 외부 표면은 20~30°C 사이의 온도를 보이고 있다. 온도가 높다는 것은 그만큼 열손실이 크다고 간주할 수 있는데 수치해석 방법에서 언급하였듯이 가스켓을 통한 열손실이 가장 컸으며 가스켓을 통한 열손실을 저감하는 연구는 많이 이루어지고 있다. 가스켓 다음으로 많은 열손실이 예측 되는 곳은 얼음배출구 영역이다. 얼음 배출구는 냉장고 안쪽으로 들어가 있고 얼음배출구에 있는 캡과 덕트가 단열이 충분하지 않은 상태에서 외부와 인접하고 있기 때문에 높은 열손실이 일어나는 것으로 판단된다. 다음 절에는 얼음배출구 영역에서의 적외선 열화상 카메라로 측정된 온도 분포 특성과 열전달 전산해석을 통한 냉장고 단면 내부의 온도 분포 특성을 살펴보고 이를 토대로 얼음배출구 영역의 열손실 저감에 대한 것을 고찰하기로 한다.

4-2. 얼음배출구 영역에서의 온도 분포 특성

얼음배출구 영역에서 적외선 열화상 카메라로 측정된 온도 분포와 열전달 전산해석을 통한 표면 온도 분포를 Fig. 6에 함께 나타내었다. Fig. 6에서 왼쪽의 적외선 열화상 측정 결과를 살펴보면 얼음배출구 캡 영역에서 가장 온도가 높게 나타나는데 이는 이곳에서 열손실이 가장 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 얼음배출구 캡이 있는 곳에서 냉동실 내부가 얇은 캡 두께만으로 외부와 접하기 때문에 열손실이 크게 나타나기 때문이다. 캡 영역 외에 모서리 부분도 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 Fig. 6(b)의 열전달 전산해석의 결과에서도 나타나고 있다. 모서리 부분에서의 더 구체적인 적외선 열화상 카메라 온도 측정 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에는 직접 촬영한 사진과 열화상 카메라로 촬영한 사진을 함께 나타내었다. Fig. 7을 살펴보면 얼음배출구의 모서리 영역에서 상대적으로 큰 열손실이 있음을 알 수 있다.

Fig. 6과 7에서와 같이 온도분포가 나타나는 이유

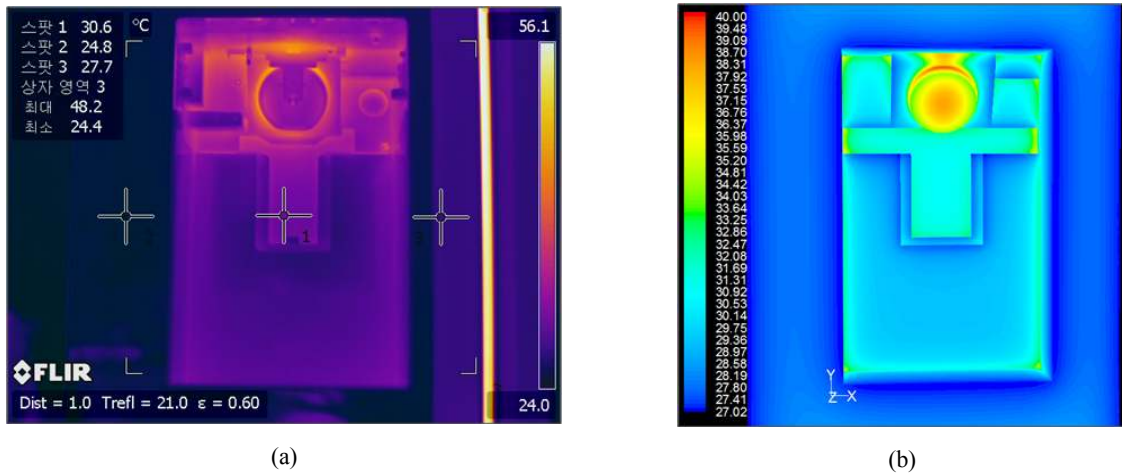


Fig. 6. Temperature distribution at the surface of the ice dispenser region (a) measured by thermographic infrared camera and (b) calculated by numerical heat transfer analysis.

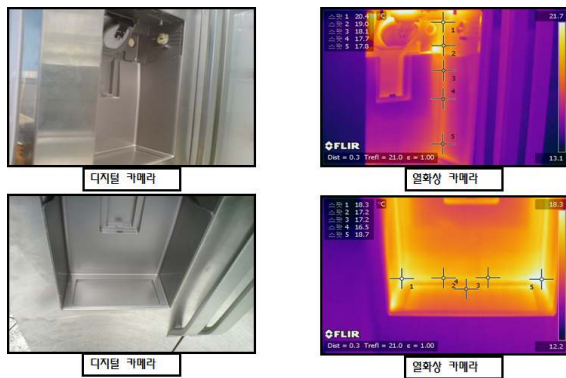


Fig. 7. Temperature distribution focused on the corner surface of the ice dispenser region with the direct photograph and the corresponding thermographic photograph.

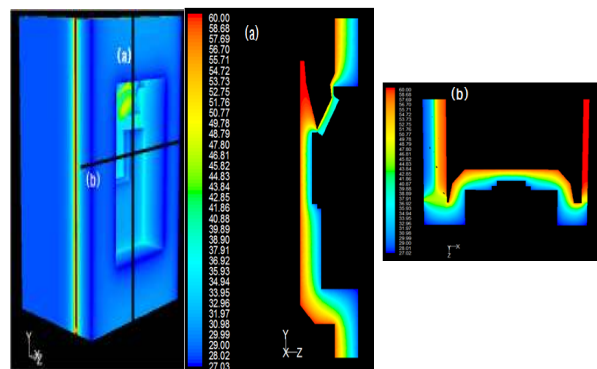


Fig. 8. Calculated temperature distribution at the vertical and the horizontal cross sections of the ice dispenser region.

를 알아보기 위해 열전달 전산해석을 통해 대표적인 얼음배출구 영역 단면에서의 온도 분포를 살펴보기로 한다. 이에 대한 결과를 Fig. 8에 나타내었는데 얼음 배출구 영역의 가운데 수직 단면(a)과 수평단면(b)에서의 온도분포를 나타내었다.

Fig. 8에서 수직 단면의 온도분포(a)를 살펴보면 얼음배출구 캡의 두께가 얇고 특히 캡의 상단에 캡을 지지하는 부분이 매우 가늘어서 이 부분에서 열손실이 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 6에서 캡 부근의 온도가 높게 나타나는 이유로 설명할 수 있다. 얼음을 배출할 때 캡을 통해서 배출되기 때문에 배출을 원활하게 해야 하는 기능적인 측면과 복잡되어 있어서 이 부분에 대한 열손실 개선은 차후의 연구로 미루기로 한다. 또한 얼음배출시 컵의 원활한

공간 확보를 위해 캡 아래쪽 두께가 얇은 부분에서의 열손실 개선도 차후의 연구에 개선 연구를 하기로 한다. Fig. 8(b)에서 보면 얼음배출구 모서리 영역이 냉장고 내부와 상대적으로 가까운 위치에 있다. 이러한 이유로 Fig. 7에서와 같이 모서리 영역의 온도가 상대적으로 다른 영역보다 높게 나타났다.

본 연구에서는 Fig. 7과 8(b)에서 본 바와 같이 얼음배출구 영역의 모서리 부분에서의 열손실 개선에 초점을 맞추어 열손실 개선을 시도하였다. 모서리 영역의 열손실개선은 모서리 부분에서 냉장고 내부와 간격을 크게 하는 방향으로 개선하였는데 이를 위해서는 모서리부분에 부채꼴 모양 곡면으로 변경하는 것으로 개선하였는데 그 효과에 대하여 다음 절에서 검토하기로 한다.

4.3. 얼음배출구 영역에서의 열손실 개선

모서리 영역의 열손실 개선에서 부채꼴 모양 곡면의 반경을 증가하여 열손실 개선 경향을 살펴보기로 한다. 기존 형상에서는 곡면반경이 0mm인데 이를 10, 20, 30, 40mm로 증가하면서 온도변화 특성을 관찰하였다. Fig. 9에 기존 형상과 곡면 반경을 40mm로 했을 때의 수평단면에서 온도분포를 나타내었다. Fig. 9(a)를 살펴보면 기존 형상에서는 모서리 부분이 다른 영역과 비교할 때 상대적으로 온도가 높게 나타남을 알 수 있다. 곡면반경을 40mm로 했을 때(Fig. 9(b))는 기존 형상에 비교하여 모서리 부분의 온도가 낮아졌음을 알 수 있다.

곡면 반경을 변경했을 때 Fig. 9(b)에서 표현한 온도 점검점(temperature checking point)에서의 온도 변화로부터 최적의 곡면 반경을 도출하기로 한다. 이렇게 한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10의 그래프를 살펴보면 온도 점검점에서 온도가 곡면반경이 증가함에 따라 감소하고 있으며 곡면반경이 30mm에서부터 감소세가 둔화되는 것을 알 수 있다. 본 결과로부터 열손실 개선을 위한 모서리 부분 곡면 반경은 30mm로 설정하는 것이 적합하다고 판단된다. 이러한 개선 효과로 냉장고 전체 열손실 저감이 얼마나

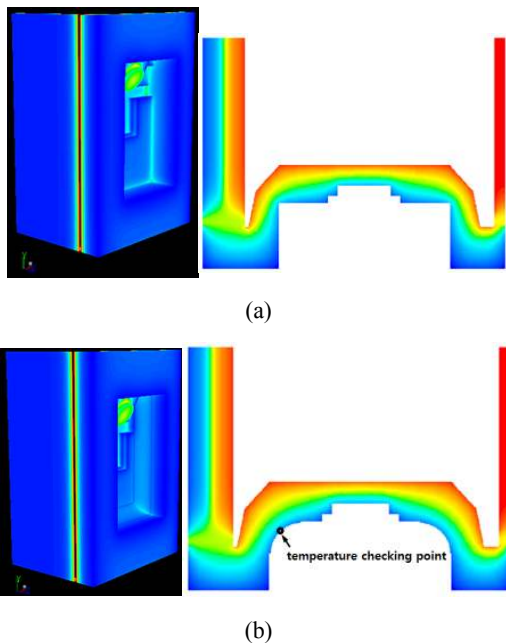


Fig. 9. Comparison of the temperature distributions at the horizontal cross section with the change of curvature radius at the corner of the ice dispenser. (a) : r=0mm, (b) r=40mm.

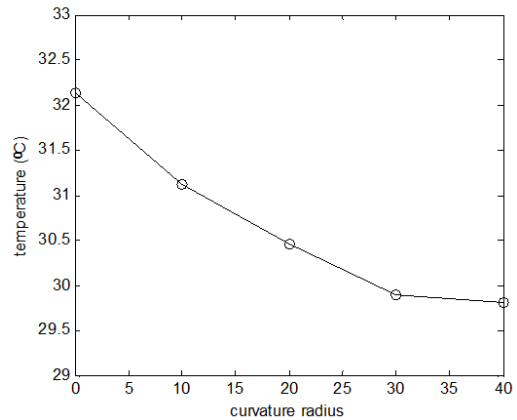


Fig. 10. Temperature variation at the temperature checking point with the change of curvature radius from 0mm to 40mm.

영향을 미치는지는 모서리 형상 개선 후에 냉장고 성능시험을 통하여 확인할 수 있을 것으로 판단한다. 이는 차후에 실제 형상 제작 후 확인해야 할 부분이다.

5. 결론

지금까지의 역열손실 방법 및 적외선 열화상 카메라 촬영 실험과 열전달 수치해석을 통하여 냉장고에서 열손실이 큰 부분을 구분하였고 이 중에서 얼음배출구 영역에서 온도 분포 특성으로부터 열손실이 취약한 부분을 분석하였으며 열손실을 개선하기 위하여 모서리 부분의 열손실 개선안을 알아보았으며 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

- (1) 본 연구에 사용한 냉장고 시료의 역열손실 방법 실험시 약 27시간 이후에 안정적인 온도 특성을 보였으며 이 시간에 적외선 열화상 카메라를 촬영하여 냉장고의 열손실이 큰 영역을 도출하였는데 냉장고의 가스켓 영역에서 가장 큰 열손실이 발생하고 있었으며 그 다음이 얼음배출구 영역으로 나타났다. 가스켓 영역은 열손실 저감을 위해 많은 연구가 진행되고 있으며 본 연구에서는 얼음배출구의 열손실 개선에 주안점을 두기로 하였다.
- (2) 얼음배출구에서의 열손실은 캡과 그 주변에서 가장 열손실이 크게 나타났는데 이는 캡 안쪽이 바로 냉동실과 접하고 있기 때문이었다. 캡 부

분의 열손실 개선은 캡의 기능적 역할 때문에 이 부분의 열손실 개선은 차후에 하기로 하고 본 연구에서는 모서리 부분에서의 열손실 개선에 초점을 맞추었다.

- (3) 열음배출구 영역의 모서리는 냉장고 내부와의 거리가 다른 부분 보다 상대적으로 가깝기 때문에 열손실이 다소 높게 나타났는데 이를 개선하기 위해 모서리 부분에 곡면을 추가하여 곡면 반경을 증가하면서 온도 변화를 관찰하였다. 이를 통하여 곡면 반경이 약 30mm 일 때가 열손실 저감에 최적임을 알았다.

사사

본 연구는 2012년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음.

참고문헌

1. Park, J. K., Optimization of heat insulation system for a household refrigerator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 2003, Vol. 15, No. 2, pp. 95-102.
2. Jung, D. S., Computer simulation of refrigeration cycle of domestic refrigerators combined with cabinet heat transfer, Proceedings of the SAREK 1993 Winter Annual Conference, 1993, pp. 88-94.
3. Lee, M. Y., Choi, S. J. and Kim, S. U., Evaluation on the cycle and adiabatic performance of a small multi-refrigeration system, Proceeding of the KSME, Autumn Annual Conference, 2003, pp. 769-774.
4. Moon, J. H., Park, S. K., Oh, S. K. and Kim, Y. J., Development of thermal-flow analysis program for refrigerator duct systems, Proceedings of the SAREK 2003 Winter Annual Conference, 2003, pp. 393-398.
5. Ha, J. S., Jung, K. S., Kim, T. K., Kim, K. H. and Kim, S. R., The effect of gasket shape on heat loss reduction in a refrigeration, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 2009, Vol. 21, No. 5, pp.

- 305-310.
6. Ha, J.S., A study on the unsteady temperature characteristics at the refrigerator gasket", The Korea Society for Energy Engineering, 2012, Vol. 21, No.2, pp. 136-141.
7. 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, 2003, Vol. 15, No. 12, pp. 1078-1087.
8. E. Vineyard, T. K. Stovall, K. E. Wilkes and K. W. Childs., Superinsulation in refrigerator and freezers, for the recent developments in refrigerator and freezers, 1998, ASHRAE Seminar, pp 1-22.
9. Wei-Han Tao, Chao_Ming Huang, Chuan-Liang Hsu and Jian-Yuan Lin., Performance study of an energy-efficient display case refrigerator, Chemical Engineering Communication, 2004, Vol. 191, pp. 550-565.