

냉장고 가스켓 주위 고무자석 재질 및 형상 변경에 따른 열손실 개선 연구

하지수*[†] · 안원술**

계명대학교 기계자동차공학과*, 계명대학교 화학공학과**

(2014년 9월 5일 접수, 2014년 11월 25일 수정, 2014년 11월 28일 채택)

A Study on the Heat Loss Reduction of a Refrigerator by Thermal Conductivity Change and Partial Removal of Rubber Magnet

Ji Soo Ha*, Won Sul Ahn**

*Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University,

**Department of Chemical Engineering, Keimyung University,

(Received 6 November 2014, Revised 12 December 2014, Accepted 15 December 2014)

요약

본 연구는 냉장고의 본체와 냉장고 문 사이에 있는 가스켓 주위에 냉장고 본체와 문의 밀착을 위해 설치하는 고무자석의 재질과 형상을 변경하여 냉장고 열손실을 개선하는 것을 목적으로 하였다. 냉동실과 냉장실을 포함한 냉장고 수평 단면에 대하여 가스켓 주위에 대한 열전달 해석을 수행하였다. 본 연구를 통해 가스켓 내부와 Hotline 옆의 고무자석의 열전도율을 기존 10W/mK에서 1W/mK로 변화하면 냉장고 열손실이 약 7% 저감되고 Hotline 옆의 고무자석을 제거하고 대신에 철판을 설치하면 냉장고의 열손실을 약 17% 저감 되는 것을 알 수 있었으며 Hotline 옆의 고무자석을 제거하고 대신에 철판을 설치하는 것이 냉장고 열손실에 큰 효과가 있음을 알 수 있었다.

주요어 : 냉장고, 고무자석, 가스켓, 열손실, 열유속, 열전달량

Abstract - The present study has been carried out to reduce the heat loss from a refrigerator by changing thermal conductivity and partial removal of rubber magnet near refrigerator gasket. To perform this purpose, two dimensional heat transfer analysis for the horizontal cross sectional plane of a refrigerator has been accomplished. From the present study, it could be seen that the heat loss could be reduced nearly 7% by changing thermal conductivity of rubber magnet from 10W/mK to 1W/mK. The heat loss reduction, 17%, could be achieved by removal of rubber magnet near hotline and the effect on the heat loss reduction by partial removal of rubber magnet might be helpful for the refrigerator power consumption.

Key words : Refrigerator, Rubber magnet, Gasket, Heat loss, Heat flux, Heat transfer rate

1. 서 론

냉장고의 열손실은 냉장고 소비전력과 직결되어 있어서 냉장고의 열손실을 줄이는 것이 냉장고 제품

의 경쟁력을 향상시키는 가장 큰 요소 중의 하나이다. 냉장고의 열손실을 줄이기 위해서는 냉장고 사이클을 최적화하는 방법과 냉장고 본체의 단열손실을 줄이는 방법 등이 있는데 많은 연구들이 냉장고 단열 손실을 줄이는데 노력을 기울이고 있다. 냉장고의 열손실은 크게 냉장고 벽면을 통하여 나가는 열손실, 냉장고 문에 있는 가스켓을 통한 열손실, 문의 개폐에 따른

[†]To whom corresponding should be addressed.

Department of Mechanical and Automotive Engineering,
Keimyung University
Tel : 053-580-5919 E-mail : jisooaha@kmu.ac.kr

냉기 유출에 따른 열손실 등 여러 가지가 있다. 냉장고의 열손실은 냉장고 문에 있는 냉장고 가스켓을 통하여 냉장고 전체의 약 30%의 열손실이 발생하고 있으며 이를 개선하는 연구⁽¹⁻⁷⁾도 많이 이루어지고 있다. 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.

냉장고를 가동하면 냉장고 내부의 낮은 온도로 말미암아 냉장고 외부 벽면의 온도가 낮아져서 냉장고 벽면에 이슬이 생기는 결로현상이 발생할 수 있다. 이러한 것을 방지하기 위해 냉장고 가스켓 주위에 압축기에서 나온 고온의 냉매를 배관(Hotline)을 통해 흐르게 하여 이슬이 생기지 않도록 하고 있다. 냉장고 가스켓 부근에서 열손실 큰 이유는 두께가 얇은 가스켓이 냉장고 내부와 외부에 가깝게 있어서 열손실이 다른 곳 보다 크게 되는 이유도 있으며 또한 이 부근에 고온의 냉매 배관이 흐르기 때문에 이에 따른 열손실이 크기 때문이다.

본 연구에서는 냉장고 문과 냉장고 본체 사이에 외기 차단과 밀착을 위해 가스켓 내부에 있는 고무자석과 냉장고 본체에 맞닿아 있는 고무자석이 냉장고 열손실에 미치는 영향을 분석하고 고무자석의 재질과 형상을 변경함으로써 고무자석을 통한 열손실을 최소화하여 냉장고 소비전력을 개선하고자 수행하였다. 이를 위해 냉장고의 본체, 문, 가스켓, 고온 냉매 배관(Hotline), 고무자석을 포함한 2차원 단면에 대하여 열전달 해석을 위한 형상을 구현하여 전산해석을 수행하였다.

2. 수치해석 방법

본 연구에 사용한 냉장고에서 가스켓 내부와 본체에 있는 고무자석의 열전달 효과를 해석하기 위해 냉장고 전체 형상을 모델링하여 진행하지 않고 냉장고의 높이 방향으로 중간 높이에서의 2차원 단면에 대한 형상을 모델링하여 해석을 진행하였다. Fig. 1에 2차원 단면 형상과 각 부분 명칭을 표기하여 나타내었다.

냉장고 단면은 냉동실(Freezer)와 냉장실(Refrigerator)로 구성되어 있으며 냉동실과 냉장실 사이의 격벽을 멀리언(Mullion)으로 표현하였다. 냉장고 본체와 냉

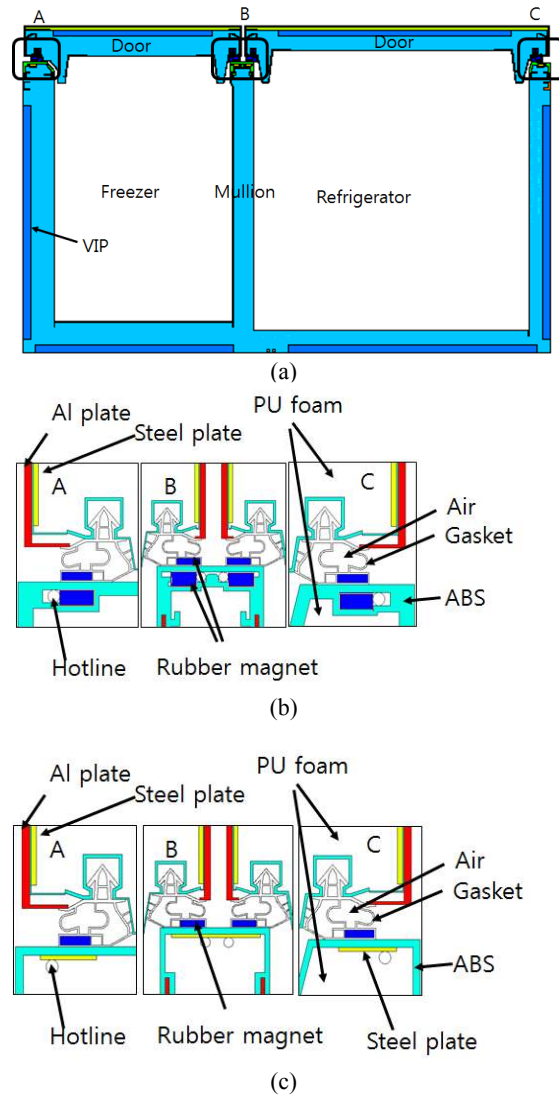


Fig. 1. Computational domain of (a) the horizontal cross sectional plane of a refrigerator, (b) the detail configuration of door and mullion near gasket region for the double magnet case and (c) the detail configuration of door and mullion near gasket region for the single magnet case.

장고 문(Door)이 만나는 곳을 Fig. 1에 자세히 나타내었는데 고무자석을 비롯해서 진공단열재(VIP, Vacuum Insulation Panel), PU 폼, 가스켓, Hotline, 알루미늄 벽면, ABS 등으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 Fig. 1(b)에 나타난 것과 같이 기존 냉장고 형상인 가스켓 내부와 냉장고 본체에 고무자석이 각각 있는 경우와 고무자석이 가스켓 내부에만 있고 냉장고 본체에는 고무자석 대신 철판을 설치한 경우 두가지 형상에 대한 열전달 특성을 살펴봄으로써 이를 통한 열손실을 정량적으로 평가하고 열손실 저감을 위

Table 1. Thermal conductivities for the present used materials

Material	Thermal conductivity (W/mK)
PU foam	0.0184
VIP	0.0032
Al	218
Gasket	0.169
Steel	16.2
ABS	0.17
Rubber magnet	10
Air	0.024

해 냉장고 본체의 고무자석을 제거하고 대신에 철판을 설치한 효과를 진단하기로 한다. 구성 부품에 대한 열전도율은 Table 1에 나타내었다.

냉장고 2차원 단면에 대한 열전달 해석에 적용한 지배방정식은 정상상태 2차원 열전도 방정식을 이용하였다.

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

식 (1)에서 좌표 x, y는 Fig. 1에서 수평과 수직 방향 좌표이며 k는 열전도율, T는 온도를 나타낸다.

본 연구에서 열전달 해석에 사용한 전산해석 소프트웨어는 열유체 전산해석에 널리 사용되고 있는 상용코드인 Fluent 소프트웨어를 사용하였다. 격자의 개수는 약 350만개를 사용하였다. 냉장고 냉동실 내부의 온도 경계 조건은 -20°C,이며 냉장실은 3°C,로 설정하였고 냉장고 외부의 온도는 32°C,이다. 냉장고 내부에 있는, 이슬방지용 Hotline의 벽면 온도는 38°C로 설정 하였다. 냉장고 내부의 벽면 대류 열전달 계수는 15W/m²K이고 냉장고 외부는 자연대류로 간주하여 6W/m²K으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 기존 고무자석 형상 냉장고의 열전달 특성

기존 고무자석 형상 냉장고에서의 열전달 특성을 살펴보기 위해 냉장고의 온도 분포 특성을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)는 냉장고 수평 단면에서의 전체 온도 분포를 보여주고 있고 Fig. 2(b)는 냉동실 가스켓 부근, Fig. 2(c)는 멀리언 가스켓 부근 그리고

Fig. 2(d)는 냉장실 가스켓 부근의 온도분포를 상세히 보여주고 있다. 전체 온도 분포를 살펴보면 가스켓 부근에 있는 고온의 Hotline의 표면온도가 38°C이므로 이 부분에서 온도가 높음을 알 수 있다. 이런 온도 분포로부터 가스켓 부근에서 열손실이 상대적으로 크게 나타날 것으로 예측할 수 있다.

Fig. 2(b), (c)와 (d)의 온도 분포를 살펴보면 상대적으로 고온인 Hotline 표면 부근에서 높은 온도 분포를 관찰할 수 있다. Hotline에 인접한 고무자석은 열전도율이 상대적으로 크기 때문에 이 부분으로 열이 잘 전달되어 Hotline과 마찬가지로 높은 온도 분포임을 알 수 있다. 냉장고 가스켓 내부에 있는 고무자석의 온도도 상대적으로 높은 값을 보여주고 있지만 Hotline에 바로 인접한 고무자석 보다는 낮은 온도 분포를 보여주고 있다.

Hotline으로부터 고온의 열이 열전도율이 큰 고무자석을 통해 냉장고 내부로 전달되어 냉장고의 열손실에 상당한 영향을 주고 있다. 이렇게 전달되는 열이 어떻게 전달되는지를 열의 흐름에 관련된 열유속 크기 분포로 알아보기로 한다.

Fig. 3에 멀리언 가스켓 영역 부근에서 열유속 크기 분포를 나타내었다. 열유속 벡터는 다음과 같은 식으로 도출하였다. 아래의 식에서 q_x 는 수평방향 열

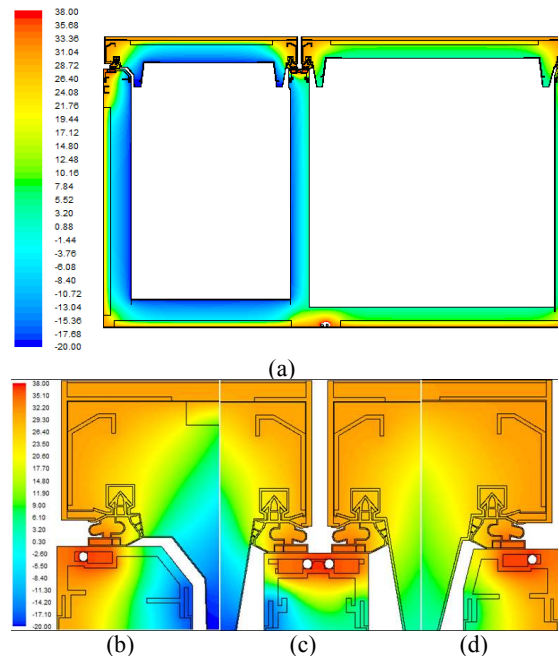


Fig. 2. Temperature contours of (a) the horizontal cross sectional plane of a refrigerator, (b) the freezer gasket region, (c) the mullion gasket region and (d) the refrigerator gasket region.

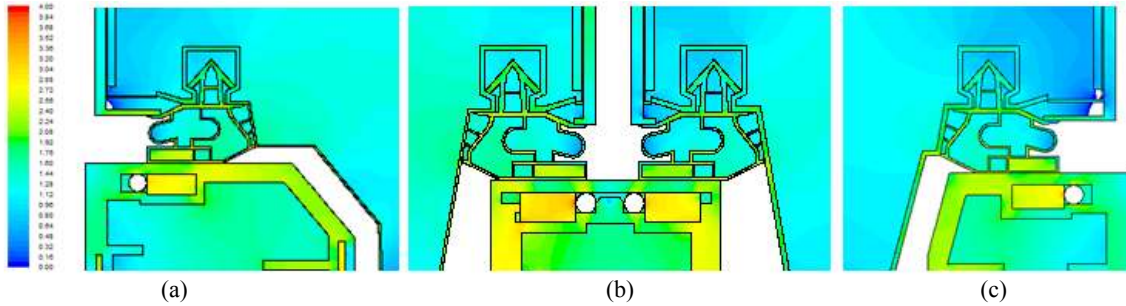


Fig. 3. Heat flux magnitude contours of (a) the freezer gasket region , (b) the mullion gasket region and (c) the refrigerator gasket region.

유속이고 q_y 는 수직방향 열유속이며 q_{mag} 는 열유속 벡터의 크기이다. q_{mag} 의 최소, 최대 크기의 차이가 크기 때문에 q_{mag} 의 크기에 log로 하여 Fig. 3에 나타내었다.

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \tag{2}$$

$$q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \tag{3}$$

$$q_{mag} = \sqrt{q_x^2 + q_y^2} \tag{4}$$

냉동실 가스켓 주위 열유속 크기 분포를 Fig. 3(a)에 나타내었는데 이를 살펴보면 고온의 Hotline 옆이 그 옆의 고무자석으로 대부분 흐르게 되고 이러한 열 흐름이 고무자석을 둘러싸고 있는 ABS 재질의 냉장고 PU Foam 단열재 지지 구조물을 통해 냉장고 내부로 흐르는 것을 관찰할 수 있다. Fig. 3(b)에 나타난 멀리언부 가스켓 주위 열유속 크기 분포를 보면 냉동실 가스켓 주위에서와 같이 Hotline 옆의 고무자석으로 많은 열 흐름을 관찰할 수 있고 이를 통해서 냉장고 내부로 열이 흐르는 것을 알 수 있다. 냉장실 가스켓 주위 열유속 분포인 Fig. 3(c)에서도 같은 현상을 볼 수 있다. 이것으로부터 Hotline에 있는 고무자석이 냉장고 열손실에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서 고무자석의 열전도율을 감소하거나 Hotline 옆의 고무자석을 제거하거나 하면 냉장고의 열손실 저감에 큰 효과가 있을 것으로 판단된다. 다음 절에 이에 대한 효과를 살펴보기로 한다.

3-2. 고무자석 재질 및 형상 변경에 따른 냉장고의 열전달 특성

본 연구에서는 3.1절에서 언급한 바와 같이 냉장

고 고무자석을 통한 열손실을 저감하기 위해 냉장고 고무자석의 열전도율을 변화하거나 Hotline 옆 고무자석을 제거하거나 하여 고무자석을 통한 열손실을 저감하는 것을 검토하기로 한다.

고무자석의 열전도율 값은 기존의 냉장고에서 10W/mK인데 이를 기준으로 해서 고무자석의 열전도율을 1, 2, 4, 6, 8 W/mK로 변화 했을 때의 냉장고 냉동실과 냉장실 각각의 열손실과 전체 열손실을 열전달 해석을 통해 도출하여 Fig. 4(a)에 나타내었다. 기존 고무자석 열전도율일 때의 냉동실, 냉장실 그리고 전체 열손실은 각각 33.23, 14.03, 47.26W/m이다. 고무자석의 열전도율이 작아져서 1W/mK정도가 되면 각각의 열손실이 31.14, 12.74, 43.88W/m로 된다. 기준 열전도율인 10W/mK에서의 열손실 값을 기준으로 하여 고무자석의 열전도율을 변화시킬 때 열손실 변화 차이에 대한 것을 Fig. 4(b)에 나타내었다. 기준 열전도율인 10W/mK에서는 냉동실, 냉장실 그리고 전체 열손실 변화는 0%이다. 열전도율이 기준 10W/mK에서부터 낮아지면 열손실 저감이 서서히 변하다가 열전도율이 4정도에서부터 급격히 저감되는 것을 확인할 수 있다. 열전도율이 1W/mK이면 기준 보다 전체 열손실이 7.15% 저감 되는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 고무자석의 열전도율을 변화시킬 수 있으려면 고무자석의 자석성분 함유량을 변화시켜야하는데 이렇게 되면 고무자석의 자력이 약해질 수 있다. 고무자석의 자력을 기준과 같이 하기 위해서는 고무자석의 자력이 기존 자석 성분 보다 큰 재료를 사용하면 될 것으로 판단된다.

Hotline 옆에 있는 고무자석을 통해 냉장고 내부로 열이 전달되어 열손실로 이어지는 것을 앞 절에서 살펴보았다. Hotline 옆의 고무자석을 제거하고 대신에 가스켓의 자석에 잘 붙을 수 있는 철판을 설치하면

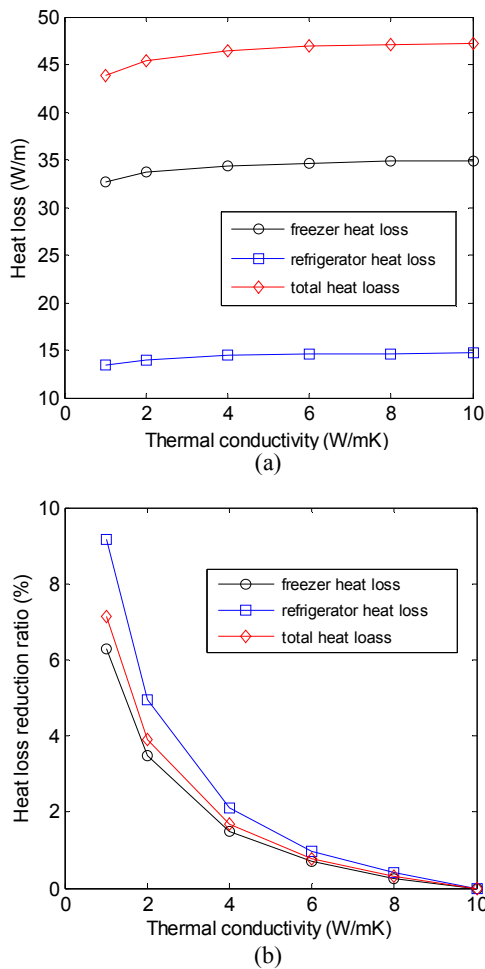


Fig. 4. Heat loss reduction of a refrigerator with the thermal conductivity change of the rubber magnet.

Hotline 옆의 고무자석으로 인한 열손실을 저감할 수 있을 것으로 판단되어 Fig. 1(c)와 같은 형상으로 가스켓 주위를 변경한 경우에 열손실을 비교 평가하기로 한다. 이 때 가스켓 내부에 있는 고무자석은 기존에 두 개의 고무자석의 자력과 유사한 자력이 되도록 고무자석의 자석 성분을 개선하면 될 것으로 판단된다.

Fig. 5에 Fig. 1(c)와 같이 가스켓 주위 형상을 변

경했을 때의 가스켓 주위의 온도 분포와 열유속 분포를 나타내었다. 냉동실 가스켓 주위의 온도분포를 살펴보면(Fig. 5(a)) 기존 형상의 고무자석일 때의 온도 분포에서 보았던(Fig. 2(b)) Hotline 옆의 고무자석 부분에 고온의 Hotline의 열이 전달되어 온도가 높게 되었던 것을 관찰할 수 없고 Hotline 위에 인접해서 설치한 철판으로 열이 전달되어 이 부분에 온도가 높게 나타나고 있다. 이러한 현상은 멀리언과 냉장실 가스켓 주위(Fig. 5(b), (c))에서도 관찰할 수 있다. 냉동실 가스켓 주위 열유속 분포를 보면(Fig. 5(d)) Hotline의 열이 철판을 타고 냉장고 PU Foam을 지지하는 ABS 재질의 구조물을 통해 냉장고 내부로 전달 되는 것을 볼 수 있지만 기존 고무자석 형상에서처럼 Hotline 옆의 고무자석과 ABS 재질 구조물을 통한 냉장고 내부로의 열전달 현상 보다 상대적으로 열이 작게 흐르는 것을 알 수 있다. Hotline의 철판을 통해 가스켓 내부의 고무자석으로 상대적으로 많이 전달되어 냉장고 내부로의 열전달이 저감될 것으로 판단된다. 멀리언과 냉장실의 가스켓 주위에서도(Fig. 5(e), (f)) 같은 현상을 관찰할 수 있다.

Hotline 옆에 고무자석이 있을 때와 이 고무자석 대신 철판을 설치했을 때의 냉장고 열손실량의 비교를 Table 2에 나타내었다. Table 2는 냉장고 수평 단면에서 냉장고 높이 방향 단위 길이 당 열전달량을 정리하였는데 냉동실, 냉장실 그리고 냉장고 전체로 구분하여 나타내었다. 기존 고무자석 형상의 경우 전체 열전달량은 47.26W/m이며 Hotline 옆의 고무자석을 철판을 대신한 경우는 39.33W/m로서 16.78% 열손실이 저감되는 것을 확인할 수 있다. 냉동실은 16.36%, 냉장실은 17.74% 감소하는 것을 함께 확인할 수 있다. 이로서 Hotline 옆의 고무자석을 제거하고 이 대신에 철판을 설치하면 냉장고의 열손실을 약 17% 저감할 수 있음을 알 수 있으며 이러한 결과를 바탕으로 냉장고의 열손실 설계 개선에 활용 가능하였다.

Table 2. Comparison of heat transfer rate between the case with double rubber magnet and the case with single rubber magnet

	Freezer	Refrigerator	Total
q'_{ref} with double rubber magnet (w/m)	33.23	14.03	47.26
q' with single rubber magnet (w/m)	27.79	11.55	39.33
$\Delta q'$ (w/m)	5.44	2.49	7.93
$\Delta q'/q'_{ref}$ (%)	16.37	17.74	16.78

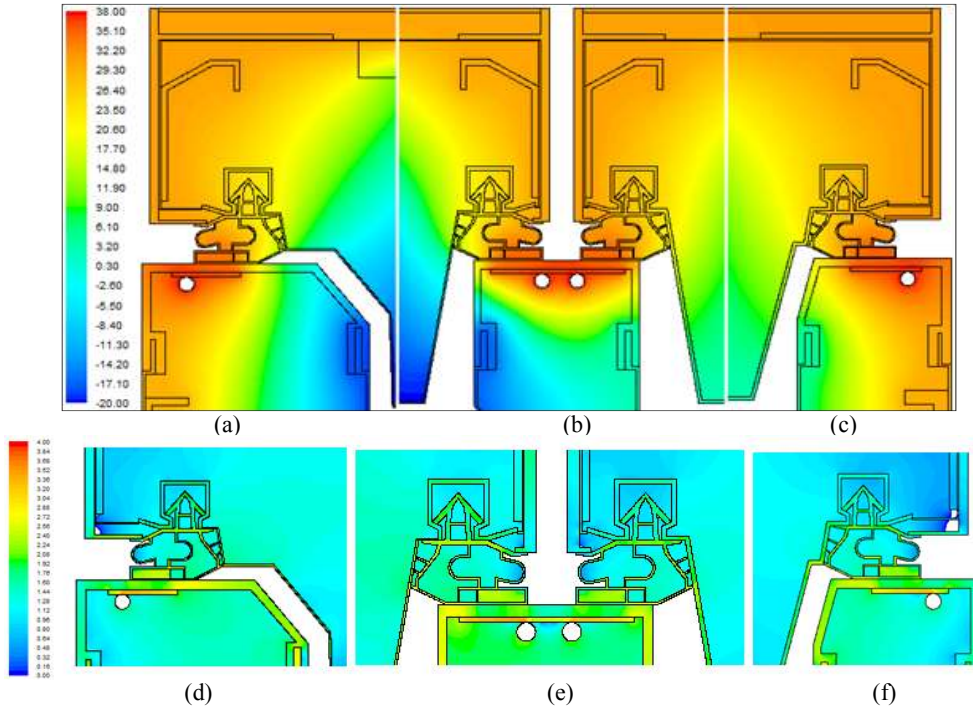


Fig. 5. Temperature and heat flux magnitude distribution for the single magnet case. Temperature distribution : (a) the freezer gasket region , (b) the mullion gasket region and (c) the refrigerator gasket region. Heat flux magnitude distribution : (d) the freezer gasket region , (e) the mullion gasket region and (f) the refrigerator gasket region.

5. 결 론

지금까지의 냉장고 수평 단면에 대한 열전달 해석을 수행하여 냉장고의 본체와 문 사이에 있는 가스켓 주위의 고무자석 재질 및 형상 변경을 통해 냉장고의 열손실을 저감할 수 있는 방안에 대하여 열이 전달되는 메카니즘과 열손실 분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 기존 고무자석 형상의 경우 Hotline 옆에 열전도율이 큰 고무자석이 접해 있어서 이것을 통해 고온의 Hotline 열이 냉장고 내부로 흐르는 것을 관찰할 수 있었다. 이것으로부터 Hotline에 있는 고무자석이 냉장고 열손실에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.
- (2) Hotline 옆의 고무자석을 통한 열손실을 저감하기 위해 고무자석의 열전도율을 변화한 경우의 냉장고 열손실을 분석한 결과 기존의 고무자석 열전도율인 10W/mK에서 1W/mK로 1/10 감소하면 열손실은 7.15% 저감할 수 있음을 알 수 있었다.
- (3) Hotline 옆의 고무자석을 제거하고 대신에

Hotline 인접한 곳에 철판을 설치하면 냉장고의 열손실을 약 17% 저감할 수 있음을 알 수 있었으며 고무자석의 열전도율을 변화하는 것 보다 냉장고 열손실 저감에 더 효과적임을 알 수 있었다.

References

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, Journal of Energy Engineering, 2012, Vol. 21, No.2, pp. 136-141.
 7. Ha, J.S., A study on the heat loss effect of steel structure in a refrigerator mullion, Journal of Energy Engineering, 2014, Vol. 23, No.2, pp. 35-41.