

냉장고 가스켓 주위 형상 및 물성치 변화에 의한 열손실 영향 연구

하 지 수[†], 정 광 수, 김 태 권*, 심 재 성**

계명대학교 에너지환경과학과, *계명대학교 기계자동차공학부, **부산대학교 기계공학부

The Effect of Gasket Shape and Material Properties on Heat Losses in a Refrigerator

Ji Soo Ha[†], Kwang Soo Jung, Tae Kwon Kim*, Jae Sung Shim**

Environmental Science, Keimyung University, Daegu 1000, Korea

**School of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 1000, Korea*

***Busan National University, Busan, Korea*

(Received March 21, 2010; revision received April 19, 2010)

ABSTRACT: The amount of heat loss of a refrigerator through the gasket is nearly 30% of total refrigerator heat loss. In this paper, quantitative evaluation for the effects of various effort to reduce heat losses through the gasket. The first trial is to extend the inner gasket to prevent the heat loss flowing from the inner of refrigerator. The effects of thermal conductivity changes of gasket and magnet are investigated by the numerical heat transfer analysis. The position change of hot line is also examined in the present research.

From the present result of the numerical simulation of heat transfer, we are able to reduce the heat loss about 20~40% by using inner gasket extension. The reducing of thermal conductivity of gasket is considerable in the heat loss reduction. On the other hand, the thermal conductivity change of magnet has no apparent effect in heat loss reduction. The position change of hot line has considerable positive effect in the reduction of heat loss near gasket region.

Key words: Refrigerator(냉장고), Heat loss(열손실), Gasket(가스켓), Magnet(자석), Hot line(열배관), Thermal conductivity(열전도율)

1. 서 론

가정용 냉장고에는 열손실을 줄이기 위해 여러 가지 단열재가 사용되고 있다. 대표적인 단열재가 PU-Foam이며 이를 지지하고 냉장고의 견고성을 위해 철판과 ABS라는 플라스틱을 사용하고 있다.

냉장고 문과 냉장고 본체를 연결하는 부분에서는 유연성을 위해 PVC제질의 가스켓을 사용하고 있고 문과 본체의 밀착을 도와주는 고무자석을 내부에 사용하고 있다. 또한 냉장고 문과 본체가 부착되는 부분에는 냉장고 내부의 냉기에 의해 온도가 낮아져서 이슬이 맺힐 우려가 있어서 이 부분에는 압축기를 통과한 고온(38℃)의 냉매를 관을 통해 흘러보내어 이슬이 맺히는 것을 방지하고 있다.

냉장고의 열손실은 바로 소비전력으로 나타나므로 냉장고의 열손실을 줄이는 연구와 냉장고 내부

[†] Corresponding author

Tel.: +82-53-580-5919; Fax :82-53-580-5385

E-mail address: jisooa@kmu.ac.kr

의 열전달에 관하여 많은 연구가 수행되어 왔다.⁽¹⁻⁶⁾ 냉장고의 문과 본체 사이에 가스켓이라는 단열재를 이용하여 냉기를 차단하고 있지만 이곳으로 흘러나가는 열손실이 냉장고 전체 열손실의 많은 부분을 차지한다. 가스켓 자체로 흘러 나가는 열손실이 10%, 이슬이 맺히는 것을 방지하기 위해 고온관을 사용함에 따른 열손실이 5%, 냉장고 내부 냉기 유동에 따른 가스켓 주위 대류열손실이 5%, 본체와 연결된 문의 플랜지로 흘러나가는 열손실이 10%로 가스켓 주위로 흘러나가는 열손실이 냉장고 전체 열손실의 약 30%라고 알려져 있다.

본 연구에서는 냉장고 문과 본체 사이의 가스켓 주위에서의 열손실을 저감하기 위하여 내부 가스켓을 연장한 효과를 비롯하여 가스켓과 고무자석의 열전도를 변화를 통한 열손실 저감 효과 그리고 이슬 맺히는 것을 방지하는 고온관의 위치를 변경했을 때의 열손실 저감 효과를 전산해석적인 방법으로 비교 평가하여 가스켓 주위의 열손실 개선에 대한 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 지배방정식 및 해석방법

2.1 냉장고 가스켓 주위 구조

냉장고의 문과 냉장고 본체 사이에서 냉기의 유출을 차단해 주는 것이 냉장고 가스켓이다. 냉장고 가스켓은 PVC 재질을 이용하고 있다. 가스켓은 문의 개폐에 따른 유연성을 가지기 위해 내부에 공기로 차여져 있는 공간이 있고 문을 닫았을 때 밀착을 위해 고무자석이 들어 있다. 가스켓 주위의 구조

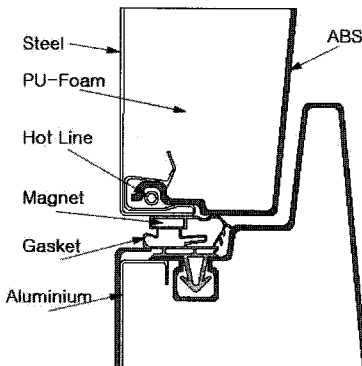


Fig. 1 Cross sectional view of refrigerator near gasket.

는 Fig. 1에서 살펴 볼 수 있다.

Fig. 1에서 아랫부분이 냉장고 문 부분이고 윗부분이 냉장고 본체에 해당한다. 그림에서 냉장고 왼쪽이 외부 공기와 인접해 있고 오른쪽은 냉장고 내부에 해당한다. 냉장고의 단열을 위해 단면의 많은 부분이 폴리우레탄 폼(PU-Foam)으로 채워져 있고 냉장고의 견고성을 위해 철과 알루미늄 판을 사용하고 있다. 오른쪽의 냉장고 내부는 단열과 견고성을 위해 ABS 재질을 사용하고 있다. 왼쪽의 고무 자석 위 부분에 있는 원형 관으로는 압축기를 통과한 다소 높은 온도(38℃)의 냉매가 흐르는데 이는 냉장고의 가스켓 주위가 외부 실내 온도보다 낮아서 이슬이 맺히는 것을 방지하기 위한 것이다.

2.2 지배방정식 및 전산해석 모델링

냉장고의 가스켓 주위에서 열손실을 해석하기 위하여 냉장고 가스켓을 포함한 부분의 열손실에 대한 열전달 해석을 수행하였다. 본 연구에서는 냉장고의 냉동실 부분에서 옆 부분의 가스켓에 대한 해석을 수행하여 형상 변화와 물성치 변화에 따른 열손실 특성을 살펴보기로 한다.

위와 같은 열전달 해석에 적용한 지배방정식은 정상상태 2차원 열전도 방정식을 이용하였다. 가스켓 주위의 열전달은 가스켓 단면의 대표길이인 두께에 비하여 두께길이에 수직인 길이가 충분히 크기 때문에 2차원으로 해석을 수행하기로 한다.

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

이러한 지배방정식에 필요한 각 부분의 열전도율

Table 1 Thermal conductivities of materials used in a refrigerator

Material	Thermal conductivity (W/mK)
Air	0.024
Gasket	0.35
PU-Foam	0.026
ABS	0.191
Magnet	10
Steel	58
Aluminium	202

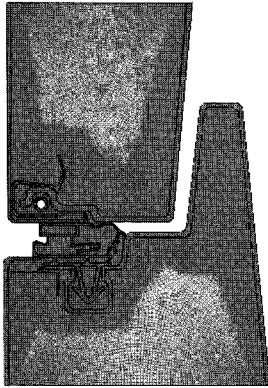


Fig. 2 Computational grid configuration.

을 아래 Table 1에 나타내었다. 냉장고 내외부에 적용한 대류열전달 계수는 자연대류 열전달계수 관계식으로 부터 구한 $6.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ 를 사용하였다. 냉동실 내부의 온도는 -20°C 로 하였고 외부의 상온의 온도로 30°C 를 사용하였다.

본 연구에서 열전달 해석에 사용한 전산해석 소프트웨어는 열유체 전산해석에 널리 사용되고 있는 상용코드인 Fluent 소프트웨어를 사용하였다. 격자의 개수는 128,140개를 사용하였으며 Fig. 2에 본 연구의 해석에 사용한 가스켓 주위 냉장고 단면의 격자 형상을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

가스켓 부근의 열손실을 저감하기 위해서 본 연구에서는 여러 가지 방법에 대하여 검토하였다. 우선 가스켓을 통한 열손실을 저감하기 위해 내부의 가스켓을 연장하여 내부의 열전달을 차단하는 방법에 대하여 검토하였다. 또한 가스켓 재질과 마그네트의 열전도율 변화에 따른 열손실 저감 효과를 살펴보고 열손실에 상당한 영향을 주는 고온 관(Hot Line)의 위치를 변경한 효과도 함께 살펴보았다.

3.1 내부 가스켓 연장에 따른 열손실 저감 효과

냉장고 열손실 저감에 관한 본 연구의 첫 번째는 내부 가스켓 연장에 따른 열손실 저감 효과이다. 기존의 냉장고 가스켓 형상, 즉 추가적인 가스켓 연장을 하지 않은 형상을 case 0로 하고 내부 가스켓을 점진적으로 늘려 갔을 때의 각각의 경우를 case 1, case 2, case 3, case 4, case 5로 표현하였다. Fig. 1

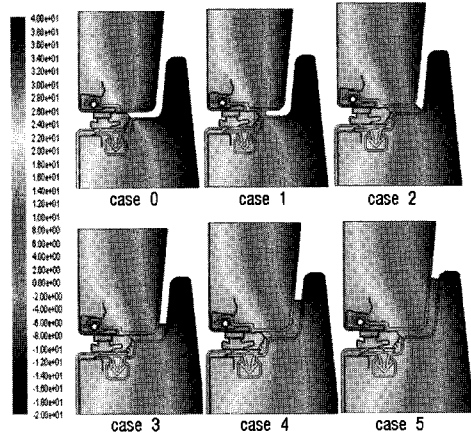


Fig. 3 Comparison of temperature contour with the variation of inner gasket extension length.

에 나타난 냉장고 가스켓 주위의 형상을 참고로 했을 때 냉장고 내부와 접촉하는 가스켓을 시작점으로 하고, 형상 그림에서 오른쪽의 노우즈(nose)로 표현하고 있는 돌출부 끝까지의 길이를 기준으로 하였을 때 연장된 가스켓의 길이는 각각 case 1이 10%, case 2는 38%, case 3는 50%, case 4는 73%, case 5는 95%인 경우에 해당한다. Fig. 3에 각 경우의 온도 분포를 나타내었다.

Fig. 3을 살펴보면 내부 가스켓 연장을 하지 않은 기존의 가스켓 형상에서는 가스켓과 냉장고 내부와 맞닿은 영역에서 급격히 온도가 변하는 것을 확인할 수 있다. 내부 가스켓을 연장하는 효과를 검토한 배경은 이와 같이 가스켓과 냉장고 내부가 접촉하는 부분에서 열전달량 즉 열손실이 많이 발생할 것으로 예측되어 이것을 저감하기 위하여 내부 가스켓을 연장하여 보았다. 내부 가스켓을 연장한 길이를 늘려 가면서 이 부분의 온도 구배가 점차 낮아지는 것을 온도 분포에서 정성적으로 확인할 수 있다. 이로부터 내부 가스켓을 늘리면 열전달이 감소되어 열손실이 저감될 것이라는 것을 예측할 수 있다.

가스켓을 통한 열손실을 정량적으로 비교 평가하기 위하여 냉장고 표면으로 전달되는 열전달량을 산출하여 살펴보기로 한다. 외부 공기로부터 냉장고로 들어오는 열과 내부의 고온 관(Hot Line)에서 전달되는 열은 냉장고 내부의 표면에서 냉장고 내부로 열이 전달된다. 이렇게 전달된 열이 열손실로 나타나게 된다. 위에서 살펴본 각 case에 대하여 냉장고 내부의 열전달량 즉 열손실을 도출한 것이

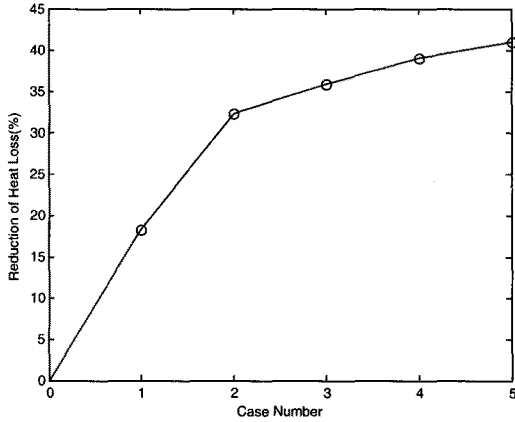


Fig. 4 Reduction of heat loss for the cases 0 to 5.

Fig. 4에 도시되어 있다. 본 연구에 사용한 냉장고는 양문형 냉장고로서, 외부 온도를 30℃로 하고 냉장실은 2℃, 냉동실은 -20℃로 일정한 온도로 유지한 상태에서 항온항습챔버에서 연속운전을 통해 측정된 소비전력이 63.1 W로 나타났다. 기존 형상의 가스켓인 경우 열전달 해석을 통해 계산된 열손실은 5.24 W로서 전체 소비전력의 8.3%에 해당한다.

Fig. 4에는 기존의 가스켓 형상인 case 0를 기준으로 하여 case 0의 열손실에서 각 case의 열손실이 저장된 분율을 도시하였다. 즉 case 0는 기준이므로 저장된 양을 0이라고 하고 case 0의 열손실에서 각 case의 열손실을 뺀 것에서 case 0의

열손실로 나눈 것을 나타내었다. Fig. 4에서 살펴보면 가스켓을 연장한 case 2인 경우, 즉 연장 가스켓 위치를 기존 가스켓에서 노우즈까지 거리의 38%로 연장한 경우, 31.1%의 열손실 저장효과가 있고 case 5의 경우는 41.2%의 저장 효과가 있음을 알 수 있다. 가스켓을 통한 열손실이 전체 열손실량의 약 30% 정도로 알려져 있는데 이러한 것을 감안할 때 냉장고 전체의 열손실 저장 효과는 case 2의 경우에 9.3%, case 5의 경우 12.4%의 효과를 예측할 수 있다. 이러한 수치는 냉장고의 소비전력을 저장하여 에너지를 절감하는데 매우 큰 효과의 하나라고 할 수 있다.

3.2 가스켓 주위 재료의 열전도율 변화에 따른 열손실 저장 효과

제 3.1절에서 살펴보았듯이 냉장고 내부 가스켓 연장에 따른 열손실 효과는 냉장고의 열손실 저장

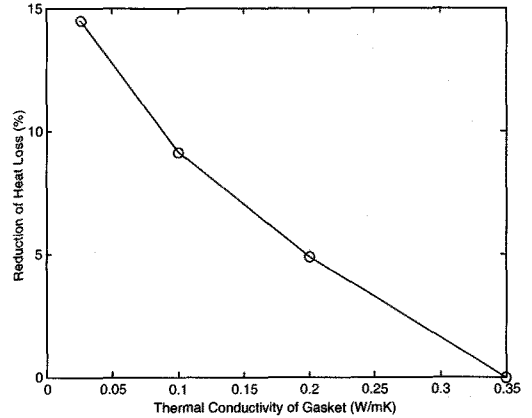


Fig. 5 Reduction of heat loss with the variation of thermal conductivity of gasket.

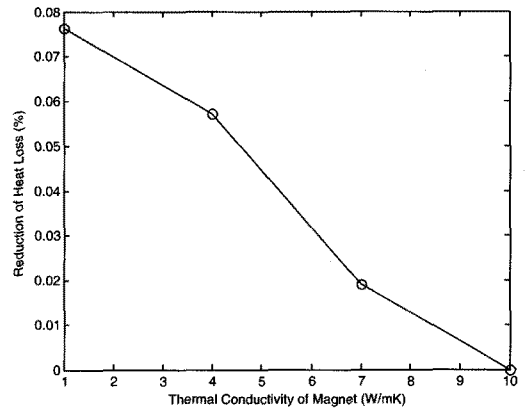


Fig. 6 Reduction of heat loss with the variation of thermal conductivity of magnet.

에 상당한 효과가 있음을 알았다. 이번에는 가스켓 주위 재료의 열전도율을 변화 시켰을 때 열손실 저장효과를 살펴보기로 한다. 재료의 열전도율을 변화 시킨 것은 가스켓과 고무자석이다. 가스켓의 재료는 PVC로서 열전도율이 0.35 W/mK인데 이것을 기준으로 하여 0.2, 0.1, 0.026 W/mK로 변화하여 살펴보았다. 여기에서 0.026 W/mK의 경우는 가스켓의 열전도율이 극단적으로 PU-Foam과 같은 열전도율일 때의 열손실 효과를 살펴보기 위해 선정하였다. 고무자석의 열전도율은 10 W/mK이며 이를 기준으로 하고 7, 4, 1 W/mK로 변화하여 비교하였다.

Fig. 5에 가스켓의 열전도율 변화에 따른 열손실 저장 효과를 도시하였다. Fig. 5에서 살펴보면 가스켓 재료의 열전도율을 감소시키면 0.026 W/mK의

경우 최대 14.5% 열손실을 감소시킬 수 있고 기존의 가스켓 열전도율의 30%인 0.1 W/mK 재질을 사용할 경우에는 약 10%정도의 열손실을 저감시킬 수 있을 것으로 예측할 수 있는데 이는 냉장고 전체 소비전력의 약 3%에 해당하는 열손실 저감 양이다. 기존의 냉장고에서 고무자석의 열전도율인 10 W/mK에서 1 W/mK까지 변화하여 열손실 효과를 살펴보면 1 W/mK의 경우에도 열손실 저감이 0.08% 정도로 낮게 나타났다. 이로부터 고무자석의 열전도율 변화는 냉장고 가스켓 주위의 열손실 저감에 효과가 없음을 알 수 있다. 이러한 이유는 고무자석의 열전도율이 기존의 값 10 W/mK에서 1/10로 감소한 값인 1 W/mK를 사용하더라도 이 값은 가스켓의 열전도율인 0.35 W/mK보다 3배 정도 큰 값이기 때문에 단일 효과에는 영향이 없기 때문이라고 판단된다.

3.3 고온관의 위치 변화에 따른 열손실 저감 효과

가스켓 주위의 고온관은 냉장고 문 부근에서 냉장고의 냉기로 인해 이슬이 발생하는 것을 방지하기 위하여 압축기에서 나온 고온의 냉매를 흘려보내는데 고온의 열원으로 작용하여 이것으로부터 열손실이 발생하게 된다. 기존의 고온관 위치에서 가능하면 냉장고 내부와 멀리 위치할 경우에 열손실 저감 효과를 살펴보기로 한다. Fig. 7은 고온관의 위치 변화에 따른 가스켓 주위의 온도 분포를 보여주고 있다. 기존의 고온관 위치에 대한 결과를 Fig. 7(a)에 나타내었고 기존의 고온관의 중심과 외부 벽면과의 거리를 기준으로 했을 때 고온관 중심을

외부 벽면으로 35% 길이로 위치했을 때의 결과를 Fig 7(b)에 나타내었다. Fig. 7을 살펴보면 고온관의 위치를 냉장고 내부에서 더 멀리 위치한 경우에 냉장고 내부 쪽으로의 고온 영역이 줄어드는 것을 알 수 있다. 기존의 고온관에서의 열손실량은 5.24 W로 나타났는데 고온관 위치를 Fig. 7(b)와 같이 변경하면 4.68 W로 감소한다. 이는 10.7% 감소한 효과이다. 따라서 고온관의 위치를 냉장고 외부 쪽으로 변경하는 효과는 전체 열손실의 3% 정도의 큰 효과를 기대할 수 있다.

4. 결 론

냉장고의 가스켓을 통한 열손실이 전체 열손실의 30%를 차지하고 있다. 이러한 가스켓 주위의 열손실을 저감하는 것이 냉장고의 열손실, 즉 소비전력을 저감하는 효과적인 접근 방법임을 쉽게 예측할 수 있다. 본 연구에서는 가스켓 주위의 열손실에 영향을 주는 인자들을 변화시켜서 열손실 저감에 대한 정량적인 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- (1) 냉장고의 내부 가스켓을 연장하면 냉장고 가스켓 부분에서의 열손실을 효과적으로 차단하여 case 2와 같이 내부 가스켓 연장을 조금만 하여도 기존 형상의 열손실이 5.24 W인데 비하여 3.61 W로서 열손실을 31.1% 저감하고 case 5의 경우는 약 41.2% 저감하여 매우 큰 열손실 저감 효과를 가져 온다.
- (2) 가스켓의 열전도율을 변경하여 현재 0.35 W/mK 인 것을 0.1 W/mK로 변경하면 약 10% 열손실 저감을 가져오고 PU-Foam 열전도율과 같은 경우는 14.5%까지 저감하는 효과로 예측되었다.
- (3) 고무자석의 열전도율을 변화시켜서 기존의 10 W/mK에서 1 W/mK로 10% 값으로 하여도 열손실 저감효과에는 효과가 없었다. 이는 1 W/mK 크기의 열전도율은 주위의 다른 부분 열전도율 보다 크기 때문에 고무자석의 열전도율 변화는 열손실 저감에 영향을 끼치지 않는다고 판단된다.
- (4) 고온관 위치를 변경하여 기존 위치에서 냉장고 외부로 변경한 경우는 약 10%의 열손실 저감 효과가 있는 것으로 나타났다.
- (5) 위의 결과로부터 내부 가스켓 연장, 가스켓 재

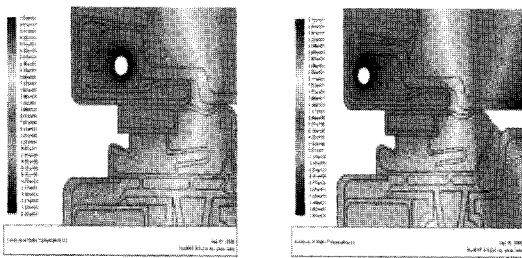


Fig. 7 Comparison of temperature contours near gasket between (a) the case of the original hot line position and (b) the case of new hot line position.

질 변경 및 고온관 위치를 변경함으로써 냉장고 열손실을 저감하여 소비전력을 줄일 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부-한국산업기술평가원 지정 계명대학교 저공해자동차부품기술개발센터와 LG전자(주)의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Park, J. K., 2003, Optimization of heat insulation system for a household refrigerator, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 95-102.
2. Jung, D. S., 1993, Computer simulation of refrigeration cycle of domestic refrigerators combined with cabinet heat transfer, Proceedings of the SAREK 1993, Winter Annual Conference, pp. 88-94.
3. Lee, M. Y., Choi, S. J. and Kim, S. U., 2003, Evaluation on the cycle and adiabatic performance of a small multi-refrigeration system, Proceeding of the KSME, Autumn Annual Conference, pp. 769-774.
4. Moon, J. H., Park, S. K., Oh, S. K. and Kim, Y. J., 2003, Development of thermal-flow analysis program for refrigerator duct systems, Proceedings of the SAREK 2003 Winter Annual Conference, pp. 393-398.
5. Ha, J. S., Jung, K. S., Kim, T. K., Kim, K. H. and Kim, S. R., 2009, The effect of gasket shape on heat loss reduction in a refrigeration, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 5, pp. 305-310.
6. Yun, J. W., 2003, 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.