

냉장고 가스켓 주위의 복사열전달 효과에 관한 연구

하지수*

¹계명대학교 기계자동차공학과

A Study on the Radiation Heat Transfer Effect near a Refrigerator Gasket

Ji-Soo Ha^{*}

¹Department of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University

요약 본 논문은 냉장고의 열손실의 약 30%를 차지하고 있는 가스켓 주위의 열전달 해석시 복사열전달을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우가 많은 차이가 있어서 가스켓 주위의 열전달 해석시 복사열전달 고려 여부에 따른 열손실 효과를 살펴보는 연구이다. 이를 위해 가스켓 주위를 단순화한 형상으로 모델링하여 열전달 전산해석을 수행하였다. 본 연구를 통해서 가스켓 내부의 공기층을 단순히 전도열전달만 고려한 경우 열손실이 25.6W/m²이고 복사열전달을 함께 고려한 경우 55.0W/m²로 약 2.2배 크게 나타남을 알 수 있었다. 가스켓 내부에 복사열전달 차단판을 0에서 7개로 변화하면서 복사열전달 저감 효과를 살펴본 결과 차단판 개수가 증가하여 7개 인 경우는 설치하지 않은 경우에 비하여 열손실이 55.0W/m²에서 36.7W/m²로 33% 감소함을 알 수 있었다. 또한 같은 개수의 복사 차단판일 경우는 냉장고 내부와 외부에 치우치는 쪽으로 설치하는 것이 가스켓의 가운데에 설치하는 것 보다 효과적임을 알 수 있었다.

Abstract The present study has been accomplished to elucidate the effect of radiation heat transfer in the heat transfer analysis of refrigerator gasket, which has near 30% of refrigerator heat loss. The numerical heat transfer analysis has been conducted with the simplified modeling of refrigerator gasket. From the present CFD analysis, heat loss at the gasket is 25.6W/m² for the case without radiation effect and that for the case with radiation effect is 55.0W/m², which is 2.2 times greater heat loss. The radiation protection layers were installed in the gasket from 0 to 7 and the case with 7 layers has 33% reduction effect of heat loss compared with the case without any radiation protection layer. Additionally, it is better effect of radiation heat loss reduction that the radiation protection layers would be placed to the outer or inner side of gasket rather than placing to the center of gasket.

Key Words : Refrigerator, Gasket, Radiation heat transfer, Heat loss, Radiation protection layer

1. 서론

냉장고 소비전력은 냉장고의 열손실과 직결되어 있어서 냉장고의 열손실을 줄이는 것이 냉장고 제품의 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 노력

을 기울이고 있다. 냉장고의 열손실은 크게 냉장고 벽면을 통하여 나가는 열손실, 냉장고 문에 있는 가스켓을 통한 열손실, 문의 개폐에 따른 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 가스켓 주위의 열손실에 관한 연구들을 살펴

*Corresponding Author : Ji-Soo Ha(Keimyung Univ.)

Tel: +82-10-9512-1556 email: jisooaha@kmu.ac.kr

Received October 20, 2014

Revised December 8, 2014

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015

보면 냉장고 내부와 외부의 온도 조건을 대류열전달 경계 조건을 사용하고 가스켓 내부의 공기 부분을 전도열전달만 고려하는 연구들이 대부분이다. 어떤 연구들은 냉장고 내부의 유동을 고려하여 열전달을 해석하고 이를 검증하기 위한 온도 측정 실험적 연구를 병행한 연구도 있다. 실험적 연구에서 냉장고 내부에 인접한 가스켓 주위의 온도를 보면 냉장고 내부의 온도에 근접하는 것 보다 냉장고 외부와 내부의 온도의 평균에 근접하는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 앞의 다른 연구들에서 보여준 것과 같이 가스켓 주위의 실제 온도 분포와 해석을 통한 온도 분포 결과의 차이가 많이 나는 이유를 분석한 결과 가스켓 내부의 공기층에서 열전달을 전도열전달만 고려한 결과로 나타남을 착안하여 이 부분에서 복사열전달을 고려할 경우 복사열전달 효과가 가스켓 열전달에서 얼마만큼 중요한 역할을 하는지 살펴보기로 한다. 이를 위해 냉장고의 가스켓 주위에 대하여 단순화한 2차원 단면에 대하여 열전달 해석을 위한 형상을 구현하여 가스켓 주위에서 가스켓 내부의 공기에 대하여 전도열전달만 고려한 경우와 복사열전달을 고려한 경우의 열전달량 차이를 분석하고 복사에 의한 열손실을 줄이기 위한 가스켓 형상 개선을 위해 전산해석을 수행하였다.

2. 수치해석 방법

냉장고의 가스켓 주위에는 Fig. 1 (a)에 나타낸 것과 같이 가스켓 뿐 만 아니라 가스켓이 냉장고에 부착하여 외부 공기를 차단하기 위한 고무자석, 냉장고 주 단열재인 PU Foam, 이것을 고정시키는 ABS 재질 외판, 냉장고 외부에 이슬 생성을 방지하기 위한 Hotline 등으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 가스켓 주위 열전달 해석시 가스켓 내부에 있는 공기에 대하여 전도열전달만 고려한 경우와 복사열전달을 고려한 경우에 대하여 복사열전달 효과를 진단하기 위한 것이 일차적인 목적이기 때문에 Fig. 1(a)에서 보는 바와 같은 복잡한 형상대신 Fig. 1(b)에 나타낸 것과 같이 가스켓과 PU Foam 그리고 가스켓 내부의 공기층으로 구성된 것으로 가스켓 주위의 형상을 단순화하여 모델링하였다. Fig. 1(a)의 사진에 있는 가스켓과 상하에 있는 PU Foam에 대한 형상을 단순화 하였다. PU

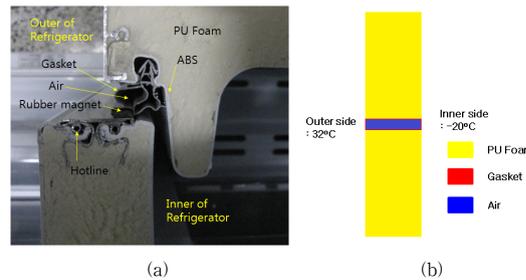
Foam 두께는 0.05m, 가스켓 중심에서 PU Foam 상단까지의 크기는 0.1m로 하였고 가스켓의 두께는 3mm, 가스켓 영역의 폭은 0.01m로 하였다.

냉장고 가스켓 주위에 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. 복사열전달을 고려한 계산의 경우에는 앞의 식과 함께 DO(Discrete Ordinate) 모델[8]을 사용하였다.

본 연구에서 열전달 해석에 사용한 전산해석 소프트웨어는 열유체 전산해석에 널리 사용되고 있는 상용코드인 Fluent 소프트웨어를 사용하였다. 냉장고 외부는 상온으로 하여 32°C의 온도와 대류열전달 경계조건을 사용하여 대류열전달계수를 6W/m²K로 하였고 냉장고 내부는 냉동실로 가정하여 -20°C의 온도와 대류열전달계수 15W/m²K로 하여 전산해석을 수행하였다. 가스켓 주위의 재질에 대한 물성치는 Table 1에 나타내었다.



[Fig. 1] Configuration of gasket region : (a) photograph of typical gasket region of a refrigerator and (b) simplified modeling of gasket region with PU foam, gasket and air.

[Table 1] Thermal conductivity of materials

Material	Thermal conductivity (W/mK)
PU Foam	0.0184
Gasket	0.1690
Air	0.0242

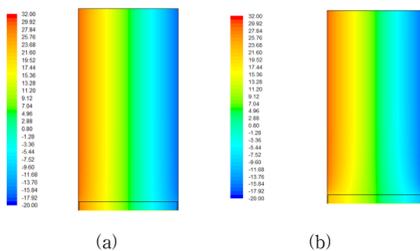
3. 결과 및 고찰

3.1 가스켓 내부 공기의 복사열전달 고려 여부에 따른 열전달 특성 비교

가스켓 내부에 있는 공기의 열전도율은 Table 1에 있는 것처럼 냉장고의 주요 단열재인 PU Foam의 열전도율과 거의 유사한 값이다. 만약에 가스켓 주위의 열전달을 전도열전달만 고려한다면 가스켓 내부의 공기는 단열재인 PU Foam 과 같은 단열재 역할을 하여 이를 통한 열손실은 크지 않을 것으로 생각된다. 그러나 가스켓을 통한 열손실은 서론에서 언급한 것과 같이 냉장고 단열손실의 약 30%를 차지할 정도로 작지 않은 크기로 알려져 있다.

Fig. 2에 가스켓 내부의 공기에 대하여 전도열전달만 고려한 경우와 복사열전달도 같이 고려한 경우의 단순화한 가스켓 형상에서 온도 분포를 나타내었다. 가스켓 중앙선을 중심으로 상하로 대칭이기 때문에 대칭선의 상부의 온도 분포만 나타내었다. 복사열전달 효과를 고려하지 않은 경우(Fig. 2(a))의 온도 분포를 보면 냉장고 외부에서 냉장고 내부로 갈수록 가스켓 영역의 온도 분포가 PU Foam 영역의 온도 분포와 거의 유사한 분포를 보여주고 있다.

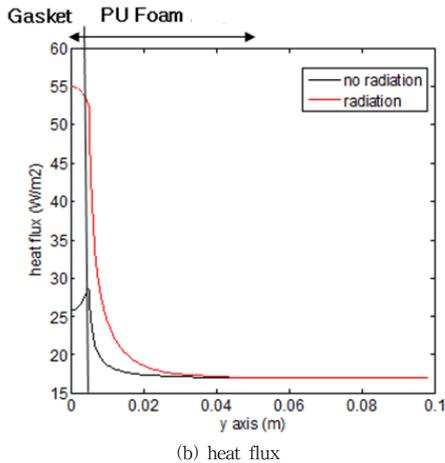
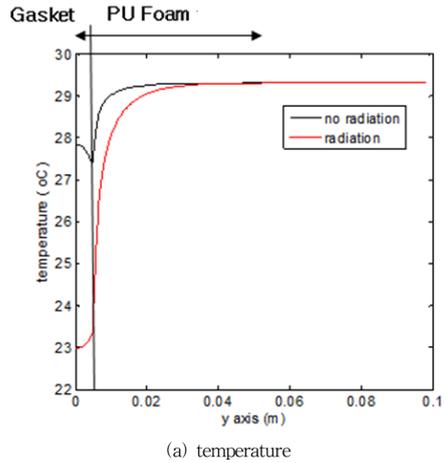
복사열전달을 고려한 경우(Fig. 2(b))의 가스켓 영역의 온도 분포는 PU Foam 영역의 온도분포와 약간 다른 경향을 보여주고 있는데 가스켓 영역의 냉장고 외부 벽면 온도가 PU Foam 영역의 온도 보다 약간 낮은 온도를 보여 주고 있으며 냉장고 내부 벽면은 가스켓 영역의 온도가 PU Foam 영역의 온도보다 약간 높게 나타나고 있는 것을 관찰할 수 있다.



[Fig. 2] Temperature contours near the gasket region for (a) the case without radiation effect and (b) the case with radiation effect.

Fig. 3에 단순화한 냉장고 형상의 외부 벽면을 따라 온

도분포와 열유속 분포를 정량적으로 그래프로 나타내었다. y축은 가스켓 중심에서 냉장고 형상 상부로의 좌표를 나타내는데 가스켓의 폭이 0.01m이므로 그것의 반인 0.005m까지가 가스켓 영역이 된다. 그 이후는 PU Foam 영역이 된다.



[Fig. 3] Temperature and heat flux distribution along the outer wall of the simplified gasket region.

온도분포를 보면(Fig. 3(a)) 복사열전달을 고려하지 않은 경우는 가스켓 중심의 온도가 27.5°C이고 PU Foam 영역의 상단 온도는 29.3°C로 나타났다. 복사열전달을 고려한 경우는 가스켓 중심의 온도가 상대적으로 낮은 23.0°C이고 PU Foam 상단의 온도는 복사열전달을 고려하지 않은 경우와 같이 29.3°C로 나타났다. 이것으로 보면 복사열전달을 고려하지 않은 경우의 냉장고 외부 벽면과 가스켓 영역 외부 벽면의 온도차이가 1.8°C이고 복

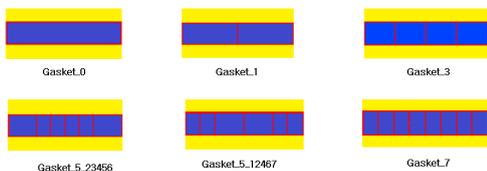
사열전달을 고려한 경우는 6.3°C로서 복사열전달을 고려한 경우가 3.5배 큰 것을 알 수 있고 이로써 복사열전달을 고려한 경우의 열전달량이 상대적으로 크게 나타날 것으로 예측할 수 있다. 열유속 분포를 살펴보면(Fig. 3(b)) 가스켓 중심에서 열유속이 복사열전달을 고려하지 않은 경우는 25.6W/m²이고 복사열전달을 고려한 경우는 55.0W/m²임을 알 수 있고 복사열전달을 고려한 경우가 약 2.2배 크음을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 가스켓 내부에 공기층이 존재할 때 단순히 전도열전달만 고려하면 가스켓 부분에서 열손실 계산에서 많은 오차가 발생하기 때문에 복사열전달을 고려하여야함을 알 수 있다.

3.2 가스켓 내부 공기 복사열전달 차단을 통한 가스켓 열손실 개선

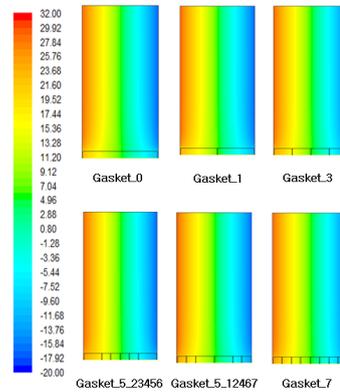
앞 절에서 살펴본 바, 냉장고 가스켓 내부에 공기가 존재하면 이를 통한 복사열손실량이 무시하지 못할 정도로 크음을 알 수 있었다. 따라서 가스켓을 통한 복사열전달을 차단하게 되면 가스켓에서의 열손실을 저감할 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 4에 가스켓 내부에 복사열전달을 차단하는 중간 차단 판을 설치한 몇 가지 형상에 대하여 나타내었다.

그림에서 Gasket_0는 Fig. 1(b)에 나타내 것과 같은 형상으로 가스켓 내부에 복사 차단판을 설치하지 않은 경우이다. Gasket_1은 가스켓 내부에 차단판을 1개 설치한 경우로서 Fig. 1(a)에 나타낸 실제 냉장고의 가스켓 내부 차단판이 한 개 있는 것과 유사하다. Gasket_3, Gasket_5_23456, Gasket_5_12467, Gasket_7은 차단판이 각각 3, 5, 7개 있는 경우이다. Gasket_5_23456은 5개의 차단판이 가운데에 모여 있는 경우이고 Gasket_5_12467은 가운데 차단판 외에 양 측면에 2개씩 차단판이 있는 경우로서 차단판의 개수가 같을 때 차단판의 분포를 어떻게 하는 것이 효과적인지를 알아보기 위한 것이다.



[Fig. 4] Configuration of gasket shapes with radiative heat loss protection layers.

Fig. 5에 앞에서 언급한 6가지 차단판 형상에 대하여 복사열전달을 고려한 경우의 온도 분포를 나타내었다. 온도 분포에서는 차단판의 개수에 따른 변화를 확실하게 관찰할 수 없지만 내부 차단판이 없는 경우(Gasket_0)와 차단판이 7개 있는 경우(Gasket_7)를 비교하면 가스켓 영역의 냉장고 외부 벽면과 내부 벽면의 온도를 보면 차단판이 없을 때 보다 차단판이 많으면 온도 분포가 PU Foam 영역과 유사한 분포로 변하는 것을 관찰할 수 있다.



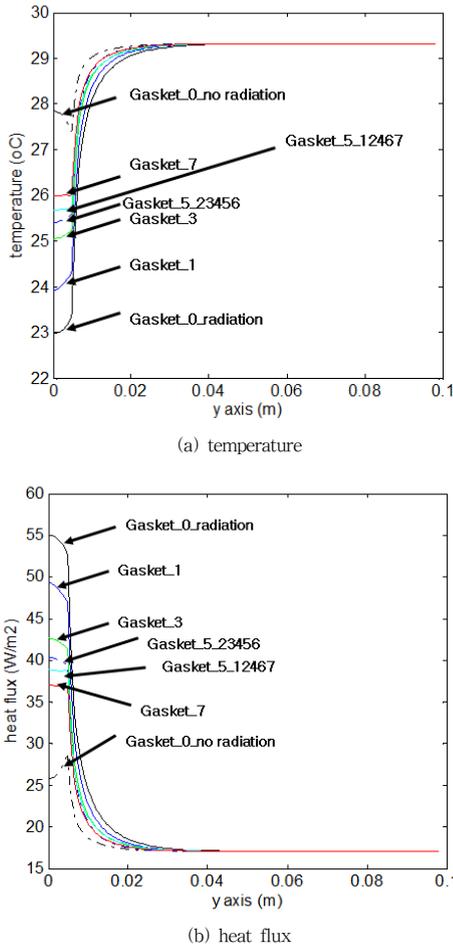
[Fig. 5] Temperature contours near the gasket region with the change of gasket inner layers.

보다 정량적인 비교를 위해 Fig. 6에 각 경우의 냉장고 외부 벽면을 따른 온도 분포와 열유속 분포를 그래프로 나타내었다. 온도분포를 살펴보면(Fig. 6(a)) 차단판의 개수가 0에서 7개로 증가함에 따라 외부 벽면의 가스켓 중앙의 온도가 23.0°C에서 26.0°C로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 것로부터 냉장고 외부의 상대적으로 고온의 온도가 냉장고 내부로 복사열전달로 전달되는 것을 차단판의 개수가 증가하면 더욱더 잘 차단하고 있음을 알 수 있다.

차단판 개수가 5개인 경우는 두 가지 형상에 대하여 살펴보았는데 가스켓 가운데를 중심으로 양쪽 끝에 2개의 차단판을 설치한 경우인 Gasket_5_12467의 가스켓 중앙에서의 온도가 가스켓 중앙에 설치된 Gasket_5_23456의 온도보다 높게 나타나는 것을 관찰할 수 있는데 이로부터 같은 개수의 차단판일 때 가스켓 양쪽 끝 부분에 설치하는 것이 복사열전달을 차단하는데 효과적임을 알 수 있다.

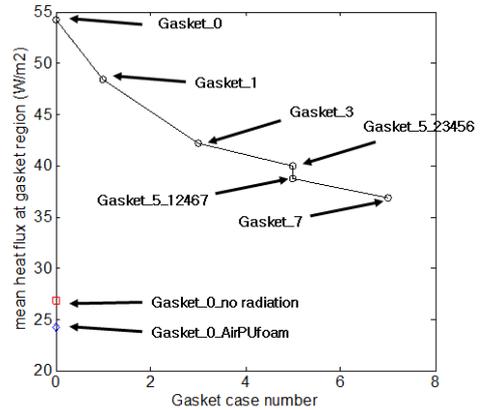
외부벽면에서 가스켓 중앙의 열유속 분포를 살펴보면(Fig. 6(b)) 내부에 차단판이 없을 때의 열유속이 55.0W/m²인데 차단판의 개수가 증가하여 7개인 경우에

는 $36.7\text{W}/\text{m}^2$ 로 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 차단판이 5개인 경우에 앞의 온도분포에서 살펴본 것과 같이 차단판이 가스켓 양쪽 끝에 설치되어 있는 경우가 열유속이 상대적으로 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다.



[Fig. 6] Temperature and heat flux distributions along the outer wall of the simplified gasket region for several cases of gasket inner layers.

가스켓 부분에서의 평균 열유속을 비교한 것을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 가로축은 가스켓 내의 차단판 개수를 나타낸 것이고 세로축은 평균 열유속을 나타낸 것이다. 이미 앞 그림들에서 살펴보았듯이 차단판이 없을 때의 평균열유속이 약 $55\text{W}/\text{m}^2$ 인 것이 차단판의 개수가 증가하면 복사열손실이 줄어들어 가스켓을 통한 열유속이 감소하는 것을 알 수 있고 차단판의 개수가 7개인 경우는 약 $36\text{W}/\text{m}^2$ 인 것을 확인할 수 있다.



[Fig. 7] Comparison of mean heat fluxes of outer gasket wall for several cases of gasket inner layers.

참고로 차단판이 없는 경우에 복사열전달을 고려하지 않은 경우와 가스켓 내부의 공기 부분을 PU Foam으로 채웠을 때의 평균 열유속도 Fig 7에 함께 나타내었는데 두 가지 모두 약 $26\text{W}/\text{m}^2$ 의 값으로 복사열전달을 고려한 경우가 약 2.2배 열손실이 큼을 알 수 있고 이것은 이미 3.1 절에서 관찰한 바 있다. 또한 이 결과는 공기층을 복사열전달을 고려하지 않는 경우는 공기층을 PU Foam으로 채우는 것과 거의 같은 결과로 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 냉장고 가스켓 주위의 열전달 해석에서 지금까지 다른 연구들에서 가스켓 내부의 공기층의 열전달을 전도열전달만 고려하여 해석하였는데 이에 대한 것을 점검하고 복사열전달을 고려할 경우 복사열전달 효과가 가스켓 열전달에서 얼마만큼 중요한 역할을 하는지 검토하였다. 또한 복사열전달을 고려한 가스켓 주위 열손실 해석을 통해 복사열손실을 차단하는 차단판의 열손실 저감 효과를 살펴보고 아래와 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 가스켓 내부의 공기층에서 복사열전달을 고려하지 않은 경우는 가스켓 부분에서 평균 열손실이 $25.6\text{W}/\text{m}^2$ 이고 복사열전달을 고려한 경우는 $55.0\text{W}/\text{m}^2$ 임으로 복사열전달을 고려한 경우가 약 2.2배 크게 나타났다. 이러한 결과로부터 가스켓 내부에 공기층이 존재할 때 단순히 전도열전달만 고려하면 가스켓 부분에서 열손실 계산에서 많은 오

차가 발생하기 때문에 냉장고 가스켓의 열전달 해석시에는 복사열전달을 고려하여야함을 알 수 있었다.

- 2) 냉장고 가스켓 내부에 복사열 차단판을 설치하여 냉장고 가스켓 복사열손실 저감 효과를 살펴보았는데 차단판의 개수를 0에서 7개로 증가하면 냉장고 외부 측의 가스켓 벽면 온도가 23°C에서 26°C로 증가하는 것을 확인하였으며 이로부터 가스켓 내부 차단판을 설치하면 복사열손실을 저감할 수 있음을 알 수 있었다.
- 3) 냉장고 가스켓 복사열 차단판의 개수를 증가하여 0에서 7개로 변화하면 가스켓을 통한 열손실이 55.0W/m²에서 36.7W/m²로 33%감소함을 알 수 있었다.
- 4) 같은 개수의 복사열 차단판인 경우에는 냉장고 내부와 외부에 치우치는 쪽으로 설치하는 것이 가스켓 가운데에 설치하는 것 보다 효과적임을 알 수 있었다.

characteristics at the refrigerator gasket", *Journal of Energy Engineering*, pp. 136-141, 2012, Vol. 21, No.2.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5855/ENERGY.2012.21.2.138>

- [7] Ha, J.S., "A study on the heat loss effect of steel structure in a refrigerator mullion", *Journal of Energy Engineering*, pp. 35-41, 2014, Vol. 23, No.2.
- [8] ANSYS *FLUENT 12.0 User's Guide*, ANSYS, Inc., 2012.

하 지 수 (Ji-Soo Ha)

[정회원]



- 1991년 2월 : 한국과학기술원 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 2007년 2월 : 현대중공업(주) 산업기술연구소 수석연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>
연소공학, 열유체전산해석

References

- [1] Park, J. K., "Optimization of heat insulation system for a household refrigerator", *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, pp. 95-102, 2003, Vol. 15, No. 2.
- [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*, pp. 88-94, 1993.
- [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*, pp. 769-774, 2003.
- [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*, pp. 393-398, 2003.
- [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*, pp. 305-310, 2009, Vol. 21, No. 5.
- [6] Ha, J.S., "A study on the unsteady temperature