냉장고 가스켓 주위의 시간에 따른 온도변동 특성에 관한 연구

하지수[†]

계명대학교 환경과학과

(2012년 1월 16일 접수, 2012년 5월 25일 수정, 2012년 6월 1일 채택)

A Study on the Unsteady Temperature Characteristics at the Refrigerator Gasket Region

Ji Soo Ha[†]

Department of Environment Science, Keimyung University

(Received 16 January 2012, Revised 25 May 2012, Accepted 1 June 2012)

요 약

본 연구는 냉장고 가스켓 주위에서 시간변화에 따른 온도를 측정하여 비정상상태 온도 특성을 규명하기 위해 수행되었다. 가스켓 주위 냉장고 내외부에서의 시간변화 온도 측정을 살펴보면 냉장고의 가동에 따라 주기적인 온도 변화를 관찰할 수 있다. 측정된 온도결과를 보면 열전달 전산해석을 수행하였던 이전의 연구들이 경계조건을 적절히 사용하지 않았기 때문에 이전의 연구결과와 많은 차이를 보여주고 있다.

본 연구에서는 적합한 열전달 전산해석 수행을 위해 실험을 통한 온도 분포를 도출하고 가스켓 주위의 냉장고 내외부의 정확한 열전달 경계조건을 제시하는 것을 목적으로 하여 수행하였다.

주요어 : 냉장고, 시간변화온도, 가스켓, 대류열전달

Abstract- The present study has been carried out to elucidate the unsteady temperature characteristics of a refrigerator near gasket region by measuring time dependent temperature measurements. From the measured values of the time dependent temperature inside and outside region of a refrigerator, one could see that the temperature varies periodically with time from the effect of refrigerator operation. The measured mean temperatures at the wall had great different value from the previous other research results conducted by numeric of heat transfer using improper heat transfer boundary condition. The present study could give the experiment of data for the proper numeric of heat transfer analysis and suggest more accurate heat transfer boundary conditions for the inside and outside of a refrigerator.

Key words : Refrigerator, Unsteady temperature, Gasket, Convective heat transfer

1. 서 론

냉장고의 열손실은 바로 소비전력으로 나타나는데 같은 용량과 성능일 때 냉장고에서 소비전력을 줄이는 것이 제품의 경쟁력에 큰 영향을 미친다. 냉장고

는 전 세계 생산량이 2009년의 경우 약 8000만대이며 매년 증가추세에 있다. 냉장고는 내구 수명이 있는 기간까지 쉬는 시간 없이 계속 가동되는 유일한 가전제품이다. 따라서 냉장고의 소비전력을 줄이는 것은 바로 전 세계 에너지 소비를 줄이는 직접적인 효과를 볼 수 있다.

냉장고의 열손실은 단열 성능에 따른 열손실, 압축기, 응축기, 증발기의 성능에 따른 열손실, 냉장고 문과 본체 사이의 가스켓을 통한 누설 열손실 등 여러 가지가 있다. 냉장고의 단열 열손실을 줄이기 위해

[†]To whom corresponding should be addressed.
Department of Environment Science, Keimyung University 1095 Dalgubeoldae-ro, Dalseo-Gu, Daegu, Korea, 704-701
Tel : 053-580-5919; E-mail : jisooaha@kmu.ac.kr

냉장고 단열재의 전도열전달율을 개선하거나 진공단열재를 사용하기도 한다.

냉장고 문과 본체 사이의 가스켓을 통한 누설 열손실은 일반적으로 전체 단열 열손실 량의 약 30%로 알려져 있다. 가스켓 부분은 냉장고에서 외부의 외기와 접촉하는 면적에서 매우 작은 부분인데 이렇게 큰 열손실로 나타나는 이유는 가스켓 부분의 냉장고 안쪽과 바깥쪽이 다른 영역에 비하여 폭이 좁으며 가스켓 주위의 낮은 온도 영향으로 이슬이 생성되는 것을 방지하기 위해 고온의 냉매를 가스켓 주위로 흐르게 하기 때문이다.

냉장고 가스켓 주위의 열전달 현상에 관한 연구는 냉장고의 소비전력을 저감할 수 있는 직접적인 연구이며 이에 관하여 여러 연구들(1-8)이 있어 왔다. 특히, 냉장고의 가스켓 부분 단면의 이차원 열전달 해석에 관한 연구가 수행되었는데(5), 이 연구에서는 냉장고 내부 가스켓 부분 대류 열전달을 해석할 때 대류열전달계수를 일정하게 하고 또한 벽면에서 떨어진 온도를 냉장고 설정온도로 하여 계산하였다. 이렇게 할 경우에는 냉장고 가스켓 부분의 열전달을 잘 모사하지 못하게 된다.

본 연구에서는 냉장고 가스켓 부분의 시간 변화에 따른 온도 변화 특성을 살펴봄으로써 가스켓 주위의 열전달 특성을 분석해 보고 기존의 해석적 연구에서 사용한 열전달 경계조건에 대한 검토를 통해 열전달 경계조건에 대한 더욱 적합한 방법을 제시하기로 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 실험 장치는 Fig. 1에서와 같이 항온항습챔버, 냉장고 시료, 온도측정시스템 및 정전압조정장치(VVVF)로 구성되어 있으며 정전압조정장치는 냉장고에 공급되는 전압을 일정하게 공급하기 위해 별도로 설치하였다.

실험에 사용한 냉장고 시료는 양문형 냉장고로서 용량은 700 liter이다. 냉장고 가스켓 주위의 온도 분포를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 가스켓 주위에 열전대를 설치하였는데 냉장고 내부와 가스켓 부분 그리고 냉장고 외부에 설치하였다. 냉장고 내부 가스켓 부분은 공간이 좁기 때문에 냉기 흐름이 열전대 설치에 따른 방해로 최소한 줄이기 위해 열전대를 같은 높이에 설치 한 것이 아니라 약간의 높이차를 두고 설치하였다.

Fig. 1 Photograph of constant temperature and humidity chamber, temperature data acquisition system and VVVF (variable voltage variable frequency).

Fig. 2 Photograph of thermocouples installed inside of the refrigerator.

Fig. 3 Schematic diagram of thermocouple positions installed inside and outside of the refrigerator.

Fig. 3에 냉장고 가스켓 주위의 열전대 설치 위치에 대한 개략도를 나타내었다. 냉장고 내부에는 냉장고 본체 벽면에 4개, 냉장고 문 측에 4개, 냉장고 본체와 문측 사이 공간에 4개의 열전대를 설치하였으며 냉장고 내부 공간의 온도를 측정하기 위하여 냉장고

내부에 열전대를 한 개 설치하였다. 냉장고 외부에는 냉장고 본체에 2개, 문 측에 2개, 가스켓 표면에 1개 설치하였고 외부 공간에 한 개 설치하였다.

냉장고의 운전조건은 냉장고에서 일반적으로 성능 시험을 위해 설정하는 운전 조건으로 하였는데 외부 온도를 30°C, 냉동실을 -20°C, 냉장실을 2°C로 유지하면서 시험하였다. 냉장고를 항온항습챔버에서 가동을 시작하면 냉장고는 제상모드 운전에서부터 시작하여 냉장고가 정상적으로 온도와 소비전력이 안정화되기까지는 약 10시간 정도 소요되는데 본 연구에서 시간에 따른 온도 변화 특성에 관한 데이터는 냉장고 가동 후 10시간 이후의 데이터를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 냉장고 내부 벽면 및 공간에서의 시간에 따른 온도 변화 특성

냉장고 내부와 외부의 시간에 따른 온도 분포를 측정하여 분석하는 본 연구의 근본적인 배경은 지금까지 가스켓 부분에서 열전달에 대한 전산 수치해석을 수행하는데 있어서 대부분의 연구가 2차원적인 해석을 수행하였는데 이렇게 할 경우 시간 평균적인 온도 경계조건을 사용하였고, 냉장고 내부 온도 분포를 구하는데 있어서 내부와 외부의 대류열전달계수를 사용할 때 냉장고 내부는 전체가 일정한 온도인 -20°C(냉동실의 경우)로 가정하여 연구하였다. 이렇게 할 경우에는 냉장고 가스켓 주위의 벽면온도 해석 값이 본 연구에서 측정한 온도 값 보다 매우 낮은 온도의 해석 결과를 보여 주었다[1]. 이러한 차이에 대하여 실제 냉장고에서 가스켓 주위의 온도 특성을 측정을 통하여 파악하고 실제 온도 경계조건에 대한 방법 제시를 하는데 있다고 서론에서 언급하였다.

우선, 냉장고 내부 가스켓 주위에서 냉장고 본체 벽면, 문 측 벽면, 그리고 본체와 문 사이 공간에서의 시간에 따른 온도 변화를 Fig. 4에서 살펴보기로 한다. Fig. 4(a)에서 살펴보면 wall #1, 2, 3는 Fig. 3에서 나타내었듯이 냉동실 내부에 가스켓 인근에서부터 냉동실 내부로 가면서 위치이다. wall #1에서는 냉동실 내부에서 가장 외부와 가깝고 특히 이슬방지를 위한 고온의 냉매가 흐르는 hotline에 가까이 있기 때문에 다른 위치에 비해 매우 고온을 유지하고 있으며 평균 온도는 22.36°C이다. wall #2와 wall #3는 냉장고 내부 냉기의 영향을 받아서 wall #1에 비하여 낮은

(a) refrigerator side wall

(b) door side wall

(c) gap

Fig. 4. The unsteady temperature variations at the measuring points, (a) refrigerator side wall, (b) door side wall and (c) gap between refrigerator and door.

온도를 나타내고 있으며 냉장고의 압축기가 가동되어 냉기가 냉동실 내부에 강제로 흐를 경우에는 온도가 시간에 따라 감소해 가다가 냉기 흐름이 중단될 때부터 온도가 상승하고 있는데 이러한 현상이 약 18분마다 주기적으로 변하고 있다.

문 측의 온도 변화는 Fig. 4(b)에 나타내었는데 본체의 wall #1와 같은 고온의 온도 영역은 보이지 않는데 이는 문 측에는 냉장고 외부와 직접 인접하거나 고온의 hotline이 흐르는 부분이 없기 때문이다. 측정한 3 점에서의 온도 변화는 wall #2, #3와 유사하게 같은 주기로 온도가 상승하다가 하강하는 양상을 보여 주고 있다. 본체와 문 측의 같은 높이 위치에서의 온도 변화 값을 예를 들어, wall #2와 dwall #2의 온도 변화 값을 비교해 보면 문 측의 온도가 본체 측의 온도 보다 낮은 값을 유지하고 있음을 알 수 있다. wall #3와 dwall #3에서도 같은 현상을 볼 수 있다. 이는 본체 측 보다 문 측이 냉장고의 내부 냉기의 영향을 많이 받고 있으며 본체 측은 고온의 냉장고 외부의 영향을 상대적으로 더 많이 받고 있기 때문이다.

본체와 문 측 사이 공간에서의 온도 변화는 Fig. 4(c)에 나타나 있는데 온도 변동 주기는 문 측과 본체 측에서와 같이 나타나고 있다. 같은 높이 위치에서 온도 변화 값은 본체 측 보다는 높고 문 측 보다는 낮아서 본체 측과 문 측의 사이 값을 나타내고 있다.

다음 절에서는 본체 측과 문 측 그리고 사이 공간에서의 평균온도와 평균 온도차에 대하여 검토하기로 한다.

3-2. 냉장고 내부 벽면 및 공간에서의 평균 온도 및 평균 온도차 비교

3.1절에서 냉장고 내부의 시간에 따른 온도 변화를 살펴보았다. 이번 절에서는 각 지점에서의 평균온도와 온도 변화 폭에 대한 특성을 살펴보기로 한다. Table 1에 각 지점에서 평균온도와 평균 온도차에 대하여 나타내었다.

우선 평균온도에 대하여 살펴보기로 한다. 같은 높이의 wall #1, gap #1, dwall #1의 평균온도를 보면

22.36°C, 3.53°C, -6.84°C로서 본체에서 문 측으로 가면서 평균온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있고 이것은 이미 3.1절에서 살펴보았던 사실이다. 냉장고 내부로 더 들어가는 위치인 wall #2, gap #2, dwall #2 위치에서도 앞의 위치에서와 같은 현상을 관찰할 수 있으며 전체적인 온도는 앞의 높이 위치보다 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 위치가 냉장고 내부로 더 들어가면 갈수록(wall #3, gap #3, dwall #3) 더욱 확실하게 나타난다.

본체 벽면과 사이 공간간의 온도 차이를 살펴보면 냉장고 가스켓 부분에서 가장 크게 나타나고 냉장고 내부로 갈수록 차이가 작게 나타났다. 또한 사이 공간 온도와 문 측 온도 차이도 본체와 사이 공간 간의 온도차와 같이 가스켓 부분에서 가장 크게 나타나고 냉장고 내부로 갈수록 작게 나타나고 있다. 그리고 Table 1에서 관찰할 수 있듯이 같은 높이 위치에서 본체와 사이공간의 온도 차이가 사이공간과 문 측 온도차이보다 크게 나타나고 있다.

이러한 온도 차이 결과로부터 다음과 같은 현상을 유추할 수 있다. 첫 번째는, 같은 높이 위치에서는 본체 벽면과 문 측 벽면에서 대류열전달계수가 같다면 본체 벽면에서 열전달량이 크다는 것을 알 수 있다. 두 번째는, 본체 벽면을 따라 가스켓 부분에서 냉장고 내부로 가면서 대류열전달계수가 같다면 가스켓 부분에서 열전달량 즉, 열손실이 가장 크다는 것을 알 수 있다. 만약에 본체 벽면을 따라가면서 열손실량의 변화가 크지 않다고 하면 가스켓 부분의 대류열전달계수가 작아져서 온도 차이에 따른 열전달량의 크기를 저감할 수 있다고 생각되어진다. 이는 압축기가 가동되어 차가운 냉기가 냉장고 내부로 강제로 유입될 때 냉장고 가스켓 부분 가까이는 닫혀 있기 때문에 유동 정체 영역으로 간주할 수 있지만 가스켓에서 조금 벗어난 영역은 가스켓에 인접한 영역보다는 유동속도에 따른 대류열전달계수가 상대적으로 가스켓 인접 부분 보다 크게 나타날 것으로 예측되기 때문에 보여진다. 사이 공간과 문 측 벽면 사이의 온도 차이에서도 이와 유사한 결과를 관찰할 수 있는데 다만 그 크기가 본체 벽면과 사이공간의 온도차이 보다는 다소 작게 나타난다는 것을 확인할 수 있다. 기존의 다른 연구(5)에서, 대류열전달계수를 일정하게 하고 벽면에서 떨어진 온도를 냉동실의 경우 일정한 온도인 -20°C로 할 경우의 온도 분포 해석 결과를 보면 본 연구의 wall #1 위치에서 벽면온도가 -14°C로

Table 1. Time mean temperatures and temperature differences at the measuring points. (Temperature unit : °C)

Position	Mean Temp.	Wall-gap Temp.	Gap-dwall Temp.
wall #1	22.36	18.83	10.37
gap #1	3.53		
dwall #1	-6.84		
wall #2	-0.73	6.33	4.74
gap #2	-5.60		
dwall #2	-10.34		
wall #3	-5.02	5.39	1.44
gap #3	-10.41		
dwall #3	-11.85		

나타났고 dwall #1에서 -17°C 로 나타나서 실제 측정 한 결과와 많은 차이가 난다.

따라서 대류열전달계수와 열전달 량에 관한 유추와 본 연구에서 측정한 온도 데이터를 토대로 하고 냉기가 강제로 유입되는 경우에 hotline에서 고온의 냉매가 가스켓 주위로 흐르는 경우와 냉기가 흐르지 않고 고온의 냉매가 hotline 내부로 흐르지 않는 경우를 분리하여 시간에 따른 온도 예측 전산 열전달 해석을 통해 보다 더 실제 온도 분포와 열전달 량에 접근하는 결론을 도출할 수 있을 것으로 생각되어 진다.

3.3. 냉장고 외부 벽면 및 공간에서의 온도 변화 특성

3.1절과 3.2절에서는 냉장고 내부에서의 시간에 따른 온도 변화 특성과 평균 온도에 대한 비교를 하였다. 이 절에서는 냉장고 외부의 가스켓 부근에서 온도 변화 특성을 살펴보기로 한다.

Fig. 5 (a)에는 Fig. 1에서 나타낸 냉장고 외부 지점 중에 가스켓에 가까운 영역 위치의 본체 외벽, 사이 공간 그리고 문 측 외벽에서의 온도 변화 특성을 보여주고 있다. 그래프에서 온도 변동폭이 큰 것이 본체 측의 온도이고 온도 변동 폭이 가장 작은 것이 문 측의 온도이다. 본체 측에서 온도 변동 폭이 가장 크게 나타나는 이유는 그 부근에서 이슬생성 방지를 위해 고온의 냉매가 hotline 내부로 주기적으로 흐르기 때문이다. 사이공간의 온도 변동이 문 측의 온도 변동보다 큰 것은 사이공간이 hotline에 더 가깝기 때문으로 판단할 수 있다. 평균 온도는 본체, 사이 공간, 문 측에서 각각 32.36°C , 30.08°C , 29.58°C 로 나타났다.

가스켓 영역에서 조금 벗어난 영역에서의 온도 변화 특성을 Fig. 5 (b)에 나타내었다. 본체와 문 측의 온도 변동 폭은 가스켓에 가까운 영역에서 보다는 약간 줄어 들었지만 여전히 주기적인 변화를 하는 것은 가스켓에 가까운 영역과 유사하게 나타나고 있다. 사이 공간의 온도변동은 가스켓 영역에 가까운 것과 다르게 변화가 많이 줄어 들었다. 평균 온도는 본체, 사이 공간, 문 측에 각 각 32.40°C , 30.08°C , 29.47°C 로써 가스켓에 가까운 영역에서의 평균 온도와 거의 같은 값을 보여주고 있다. 이것으로부터 간접적으로 판단할 때 본 연구의 온도 측정 결과를 토대로 전산 열전달 해석을 수행할 때 시간 변동에 관한 해석이 아니라 시간 평균 열전달 해석을 할 경우에는 냉장고 외부는 강제적인 유동이 없으므로 벽면에서 떨어진

(a) gasket region

(b) corner region

Fig. 5. The unsteady temperature variations at the outside of measuring points, (a) gasket region and (b) corner region.

외부 온도를 30°C 로 하고 자연대류열전달로 해석을 수행하면 본 연구의 벽면 온도 분포 값에 접근하는 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

지금까지의 가스켓 주위의 온도 측정 실험을 통하여 냉장고 내부 가스켓 주위의 온도 변화 특성과 냉장고 외부의 온도 변화 특성을 분석하였으며 가스켓 주위의 전산 열전달 해석 시에 이전의 연구에서 사용한 온도 경계조건의 타당성의 검토하였고 보다 더 적합한 온도 경계조건 설정 방법을 알아보았으며 다음과 같은 결론을 정리할 수 있다.

- (1) 냉장고 내부 가스켓 영역에서 시간에 따른 온도 변화 특성을 살펴본 결과 주기적인 냉장고 압축기 가동에 따른 냉기 유입의 영향으로 온

도 변화가 감소하다가 압축기 가동이 중단되면 다시 상승하는 경향을 확인하였다. 또한 가스켓에 가장 인접한 냉장고 본체 벽면에서는 냉장고 냉기의 영향을 거의 받지 않고 온도가 다른 지점보다 큰 22.36°C로 나타났으며 다른 영역은 약 -15°C에서부터 5°C로 변화하였다.

- (2) 냉장고 내부 가스켓 영역에서 본체 벽면 온도와 사이 공간의 온도차는 사이공간 온도와 문 측 온도차 보다 다소 크게 나타났으며 이는 본체에서 열손실이 문 측 보다 크다는 것을 알 수 있었다. 또한 가스켓에 인접한 부분의 온도 차이가 가스켓에서 떨어지는 부분 보다 크게 나타났는데 냉장고 내부 가스켓 영역에서 대류열 전달 계수가 같다고 하면 가스켓에 인접한 영역의 열손실이 크다는 것을 알 수 있었다. 가스켓에 인접한 영역에서 유동의 정체로 인해 대류열전달 계수가 작게 나타난다면 가스켓 인접 영역에서의 열전달량은 다른 영역에 비하여 그다지 크게 나타나지 않을 수 있다. 이는 본 연구의 온도 측정 데이터를 이용하여 전산 열전달 해석을 통하여 보다 이해 가능한 결론에 도달할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 냉장고 외부의 본체 벽면과 사이 공간, 문 측 벽면의 온도는 고온의 냉매가 흐르는 hotline의 영향으로 주기적으로 온도가 변하였는데 변동 폭은 본체 측이 가장 크게 나타났었다. 사이 공간에서의 평균 온도를 보면 가스켓 인접 영역이나 떨어져 있는 영역 모두 항온항습챔버 설정 온도인 약 30°C로 나타났으며 냉장고 내부의 강제 유동 흐름이 없기 때문에 전산 열전달 해석에서 경계조건을 30°C를 외부 온도로 하는 자연대류로 해석 가능함을 알 수 있었다.

후 기

“본 연구는 2011년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음.”

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.
7. E. Vineyard, T. K. Stovall, K. E. Wilkes and K. W. Childs, 1998, Superinsulation in refrigerator and freezers, for the recent developments in refrigerator and freezers, ASHRAE Seminar, pp 1-22.
8. Wei-Han Tao, Chao-Ming Huang, Chuan-Liang Hsu and Jian-Yuan Lin, 2004, Performance study of an energy-efficient display case refrigerator, Chemical Engineering Communication, Vol. 191, pp. 550-565.