

# 냉장고 진공단열재 성능진단을 위한 열유속계 위치에 관한 연구

## A Study on the Heat Flux Meter Location for the Performance Test of a Refrigerator Vacuum Insulation Panel

하지수(Ji Soo Ha)<sup>†</sup>

계명대학교 환경과학과

Environmental Science, Keimyung University, Daegu 1000, Republic of Korea

(Received December 14, 2012; revision received June 24, 2013)

**Abstract** The present study has been carried out to elucidate the optimal method for the performance test of a refrigerator vacuum insulation panel (VIP), by using numerical heat transfer analysis. Three locations of heat flux meter have been tested, for deriving the best test method to clarify the normal or the abnormal condition of the vacuum insulation panel in a refrigerator. The first location of the heat flux sensor is at the same place as the heater, the second one is at the nearby side location of the heater and the third one is at the opposite side location of heater in the refrigerator. The heat flux and  $1/q''^2$  or  $q''^4$  were calculated for the cases with the normal VIP, and with the abnormal VIP, and their differences analyzed. From the present study, the first and the second method had a mere difference characteristics of heat flux and  $1/q''^2$  or  $q''^4$ , between the cases with the normal or the abnormal VIP. The magnitude of the heat flux after 300sec had a great difference between the cases with the normal or abnormal VIP for the third method, and it could be considered the most optimal method to test the performance of a refrigerator vacuum insulation panel.

**Key words** Refrigerator(냉장고), Vacuum insulation panel(진공단열재), Heat flux meter(열유속계), Normal condition(정상 작동), Abnormal condition(비정상 작동), Gradient(기울기)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jisooaha@kmu.ac.kr

### 1. 서 론

냉장고의 열손실은 소비전력과 직접적인 연관이 있는데 같은 용량과 성능일 때 냉장고에서 소비전력을 줄이는 것이 제품의 경쟁력에 큰 영향을 미친다. 냉장고의 열손실은 단열 성능에 따른 열손실, 압축기, 응축기, 증발기의 성능에 따른 열손실, 냉장고 문과 본체 사이의 가스켓을 통한 누설 열손실 등 여러 가지가 있다. 냉장고 문과 본체 사이의 가스켓을 통한 누설 열손실은 일반적으로 전체 단열 열손실 량의 약 30%로 알려져 있으며 이를 저감하기 위한 여러 연구들이<sup>(1-8)</sup> 있어 왔다. 또한, 냉장고의 단열 열손실을 줄이기 위해 냉장고 단열재의 전도열전달율을 개선하거나 진공단열재를 사용하기도 한다.

고급 냉장고의 경우 냉장고의 단열재를 일반적인 폴리우레탄폼(PU Foam)을 사용하고 외부 벽면에 진공단열재를 사용하여 열손실을 저감하고 있다. 현재의 냉장고는 점점 고급화 되어 가고 있는 추세이기 때문에 진공단열재의 활용도가 높아지고 있다. 진공단열재

를 냉장고에 부착하였을 때의 냉장고 단열성능은 주로 역열손실법을 이용한 연구가 주로 진행 되어 왔다.<sup>(9)</sup> 역열손실법 냉장고 열손실 평가 방법은 냉장고를 실제 가동하지 않고 냉장고 내부에 장착된 선반 등을 모두 제거한 후에 내부를 열원을 설치하여 가열시켜서 냉장고 내부와 내부의 온도를 측정하여 냉장고 외부로 유출되는 열전달율을 평가하여 진공단열재의 성능을 평가하는 방법이다. 이러한 방법은 진공단열재를 개발할 때 진공단열재의 열전도율에 따른 냉장고 단열성능을 평가하는데 유용한 방법이다. 이렇게 평가하기 위해서는 냉장고를 앞에서 언급한 바와 같이 개조 작업을 하여야 하고 또한 성능 평가를 하기 위해 항온항습챔버에서 약 20시간의 시험시간이 필요하다.

진공단열재를 부착한 냉장고에서 진공단열재의 단열성능을 정량적으로 평가하기 위해서는 역열손실법이나 정상 가동되는 냉장고를 항온항습챔버에 설치하여 1~2일 정도 가동하여 소비전력을 측정하거나 하여 평가하여야 하지만 냉장고를 제작하였을 때 생산현장에서 진공단열재가 불량품인지 정상적으로 가동되는지를

평가할 때는 이렇게 장시간 소요되면 효과적이지 못하게 된다. 이럴 때는 정량적 평가 보다 진공단열재가 양품인가 불량품인가에 따라 이를 구분할 수 있는 측정을 통해 단시간 내에 평가하는 것이 필요하다. 단시간 내에 진공단열재의 정상 작동 여부를 평가하기 위해서는 여러 가지 방법이 있지만 일반적으로 제작 완료된 냉장고의 외부 벽면에 열유속계를 장착하여 열유속의 시간에 따른 변화 특성을 비교하여 판단하는 연구가 있어 왔다.<sup>(10-11)</sup> 이러한 방법에서도 측정시 주위 여건, 계측기 부착 위치 등에 따라 진공단열재 정상 작동 여부를 판단할 때의 신뢰성의 문제가 발생할 때가 있다.

따라서 본 연구에서는 진공단열재를 사용하는 냉장고가 제작이 되었을 때 진공단열재가 정상적으로 기능을 발휘하는지 여부를 단 시간 내에 진단할 때 사용하는 열유속 측정 장치의 위치와 방법에 대하여 검토하기로 한다. 이러한 연구를 위해 진공단열재가 정상 작동하는 시료와 진공이 파괴되어서 비정상 작동하는 시료를 사용하여 비교하기로 한다. 이러한 진단 방법에 대한 검토를 하기 위하여 열유속계와 냉장고 단열재를 포함하는 비정상상태 열전달 해석을 수행하였으며 여러 가지 방법에 대하여 비교 검토함으로써 최적의 진단 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 진공단열재 정상 작동 진단 방법 및 수치해석 모델링

냉장고의 단열재는 폴리우레탄 폼(PU Foam)을 일반적으로 사용하고 있고 고급화된 냉장고는 냉장고 외부 벽면에 진공단열재를 부착하여 열손실을 줄인다고 앞 절에서 언급하였다. 진공단열재를 부착할 경우 정상 작동 여부에 대하여 열유속계를 사용하는데 냉장고 벽면을 포함하여 현재 사용하고 있는 열유속계 위치와 형상에 대한 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에서 냉장고 벽면은 폴리우레탄 폼(PU Foam), 진공단열재(VIP) 그리고 이것들을 고정하고 포장하는 철판(steel)로 구성되어 있다. 폴리우레탄 폼 오른쪽이 냉장고 내부인 냉동실 또는 냉장실이다. 철판의 왼쪽은 냉장고 외부 공기에 접하는 곳이다. 가운데 있는 것이 진공단열재의 정상 작동 여부를 진단하는 열유속계를 나타내고 있는데 이것은 단열재인 폴리우레탄 폼으로 외곽을 감싸고 있으며 그 내부에 발열체와 알루미늄 재질의 전도체가 있고 냉장고와 접촉하는 곳에는 접착을 위한 자석과 그 가운데에 열유속 센서가 부착되어 있다. 열유속 센서에서 접촉 열저항을 줄이기 위해 열접착제(Thermal Pad)를 사용한다.

본 연구에서는 열유속계에서 열유속 센서의 위치가 Fig. 1에 표현한 것처럼 그림에서 (a)로 표기한 현재의 위치에서 이에 대한 타당성을 평가하고 센서 위치가

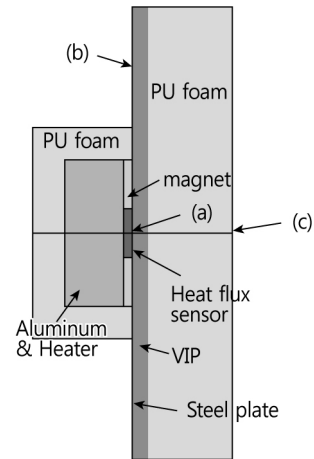


Fig. 1 Schematic configuration of heater flux meter and refrigerator wall consisting of polyurethane foam, vacuum insulation panel and steel.

현재의 위치가 아니라 (b)로 표기한 냉장고 외부에서 현재의 발열체를 벗어난 곳에 센서를 위치한 경우와 (c)로 표현한 냉장고 내부의 위치일 경우에 대하여 최적의 위치에 대한 타당성을 비교 검토하기로 한다. (a) 위치는 발열체 본체가 냉장고 본체와 직접 접촉하는 곳에 위치하고 있고 (b)는 발열체에서 벗어나서 냉장고 외부 철판에 위치하여 철판을 통해 전달되는 열유속을 측정하는 위치이다. (c) 위치는 발열체로부터 냉장고 내부로 열이 침투하여 냉장고 내부로 전달하는 정도를 측정하기 위한 위치이다.

Fig. 1에 표현한, 냉장고 벽면과 열유속계를 함께 포함하여 수치해석을 위해 모델링 하였으며 그림에서 오른쪽에 있는 열유속계와 냉장고 벽면은 수평으로 가운데에 있는 중심선을 중심으로 원대칭으로 간주 하였다. 냉장고 벽면인 폴리우레탄 폼은 50 mm 두께이고 진공단열재의 두께는 8 mm이며 철판은 5 mm로 설정하였다. 열유속계에 있는 폴리우레탄 폼의 두께는 20 mm, 발열체의 가로 두께는 30 mm, 반경은 50 mm로 하였다. 열유속 센서의 두께는 0.5 mm, 반경은 16.7 mm로 하였고 자석은 열유속 센서의 두께와 같이 0.5 mm로 하였다. 수치해석에 사용할 각종 재료의 물성치를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Material properties

material	density (kg/m <sup>3</sup> )	thermal capacity (kJ/kgK)	thermal conductivity (W/mK)
PU Foam	34	1900	0.0192
VIP	160	787	0.0037
aluminium	2719	871	202
magnet	1200	2000	10
steel	7870	486	52

열전달 수치해석에 사용할 경계조건은 다음과 같다. 냉장고 외부와 내부는 상온의 외기로 20°C로 하였고 내부와 외부의 대류열전달계수는 냉장고 벽면에서 일반적인 자연대류열전달계수 값인 6 W/m<sup>2</sup>K로 설정하였다. 폴리우레탄 폼, 진공단열재, 철판의 아래 위 양 끝단은 단열조건을 적용하였다. 본 연구에서는 제작 완성된 냉장고에서 진공단열재의 정상 작동 여부를 진단하는 것을 목적으로 하기 때문에 진단 작업이 이루어지는 순서를 감안하여 해석을 진행하도록 한다. 진단 작업 순서에서 진단작업을 하기 전에 열유속계의 작동온도를 70°C로 가열한 후에 가열 작업은 중단하고 냉장고에 부착하기 때문에 열유속계의 발열체 부분 초기온도를 70°C로 설정하고 비정상상태 열전달 해석을 수행한다. 발열체외의 초기온도는 모두 상온으로 20°C로 가정한다.

해석에 사용한 소프트웨어는 상요 열유체해석 소프트웨어인 Fluent를 사용하였으며 격자의 수는 약 9000를 사용하였다. 이러한 경계조건과 초기조건으로 열유속 센서의 위치에 따라 진공단열재의 정상 작동 판단에 대한 최적의 방법을 도출하기로 한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 기존 열유속 센서 위치에서의 온도 및 열유속 변화 특성

진공단열재의 정상 작동 여부를 진단하는 최적의 방법을 도출하기 위하여 우선, 기존 형상의 열유속계 위치에서 시간에 따른 온도 분포 변화를 관찰하기로 한다. Fig. 2에는 진공단열재가 정상적으로 작동할 때의 몇 가지 시각에서 온도분포를 나타내고 있다. (a)는 가열된 열유속계를 부착한지 10초 후의 것이고 (b)는 180초, (c)는 420초, (d)는 600초 후의 온도 분포이다. 열유속계의 내부 발열체의 초기온도는 70°C인데 부착 후에 열전달이 되어 온도가 점점 낮아지면서 주위로 열이 퍼져 나가는 것을 볼 수 있다. 그러나 진공단열재가 정상적으로 작동하고 있기 때문에 Fig. 2(d)에서 관찰할 수 있는 것처럼 냉장고 폴리우레탄 폼 단열재 내부로 열이 상대적으로 적게 전파되고 있음을 알 수 있다. Fig. 3은 진공단열재의 진공이 파괴되어 정상작동이 되지 않는 경우의 온도 분포 결과이다. 초기 시각인 (a)10초와 (b)180초의 경우는 진공단열재가 정상 작동되는 경우와 거의 유사한 온도 분포를 보여주고 있다. (d)600초의 경우는 Fig. 2(d)와 비교했을 때 진공단열재가 정상 작동하고 있는 경우는 냉장고 단열재인 폴리우레탄 폼으로 열이 잘 전달되지 않아서 온도 상승이 많이 일어나지 않았지만 진공이 파괴된 Fig. 3(d)의 경우는 폴리우레탄 폼 내부로 발열체에서 열이 상대적으로 많이 침투한 것을 관찰할 수 있다.

이러한 온도 분포 차이 특성을 염두에 두고 Fig. 1에

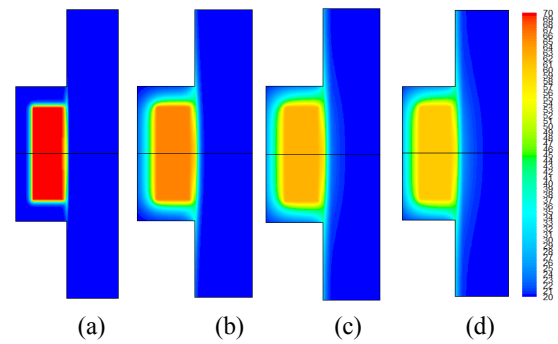


Fig. 2 Time dependent temperature distribution for the case with the normal condition of the vacuum insulation panel. (a) 10sec, (b) 180sec, (c) 420sec, (d) 600sec.

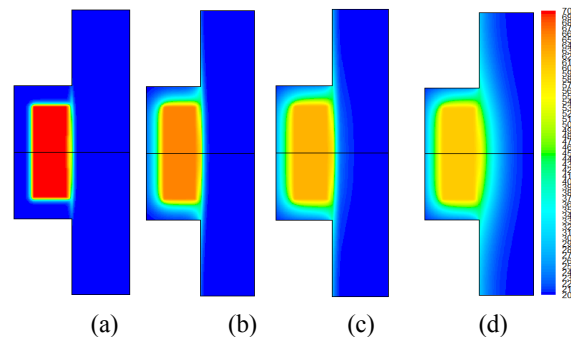


Fig. 3 Time dependent temperature distribution for the case with the abnormal condition of the vacuum insulation panel. (a) 10sec, (b) 180sec, (c) 420sec, (d) 600sec.

서 나타낸 현재의 열유속 센서 위치(Fig. 1에서 (a)위치)에서 열유속 특성을 비교 검토하기로 한다. Fig. 4에 이 위치에서의 시간에 따른 열유속 변화를 나타내었다. Fig. 4(a)를 살펴보면 부착 초기에 급격한 열유속 상승이 있다가 약 5초 후부터 열유속이 시간에 따라 감소하기 시작한다. 진공단열재가 정상작동하고 있는 경우는 열흐름을 진공단열재가 막고 있기 때문에 열유속이 상대적으로 낮게 나타나고 있음을 관찰할 수 있다. 진공단열재의 열성능에 관한 다른 연구<sup>(10)</sup>에서 진공단열재의 열성능을 진단하는 방법으로 열유속 제곱의 역수(1/q<sup>2</sup>)가 선형적으로 나타난다고 한 결과를 토대로 Fig. 4(a)의 결과를 이용하여 이 값을 Fig. 4(b)에 나타내었다. 이 그림에서 보면 1/q<sup>2</sup>의 그래프는 시간에 따라 거의 선형적으로 나타나고 있으며 진공단열재가 정상 작동하는 경우는 기울기가 2.75x10<sup>-9</sup>이고 진공단열재가 정상 작동하지 않는 경우는 2.45x10<sup>-9</sup>으로 나타났다. 두 경우의 기울기 차이는 있지만 두 기울기의 차이의 크기는 정상 작동할 경우 기울기의 10.9%이다. 두 경우를 비교

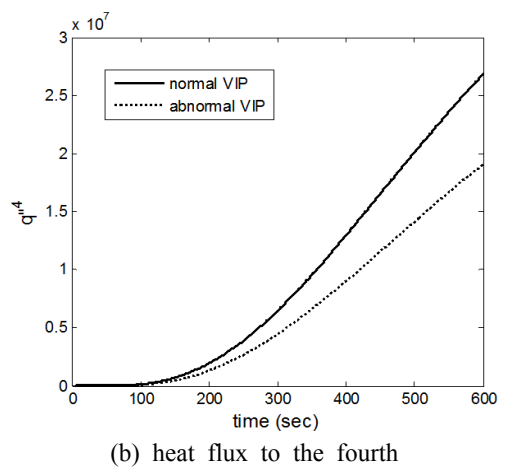
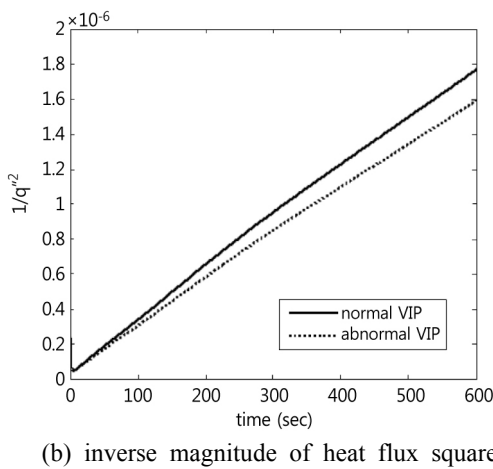
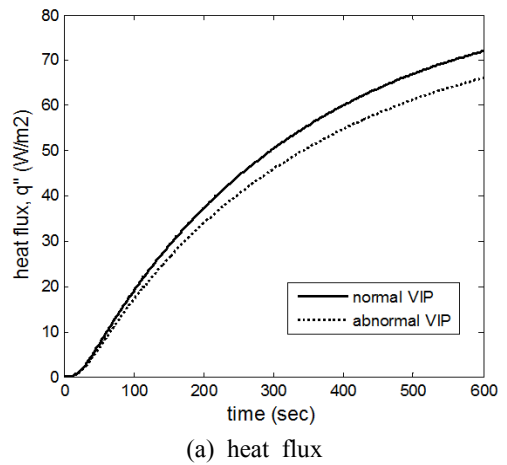
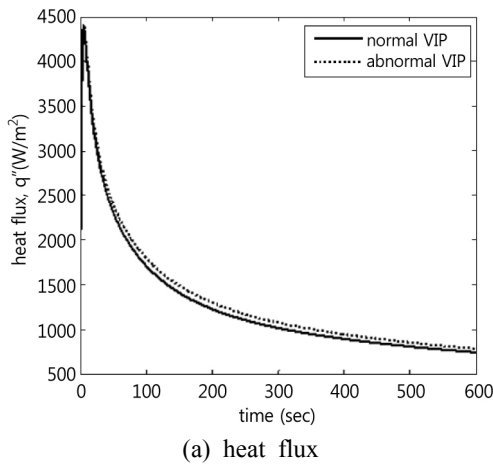


Fig. 4 Heat flux(a) and inverse magnitude of heat flux square(b) at the heat flux sensor location (a) in Fig. 1 for two cases with the normal/abnormal condition of the vacuum insulation panel.

Fig. 5 Heat flux(a) and heat flux to the fourth(b) at the heat flux sensor location (b) in Fig. 1 for two cases with the normal/abnormal condition of the vacuum insulation panel.

할 경우에는 진공단열재의 정상 작동 여부를 판단할 수 있어도 각각의 경우에 이러한 기울기를 측정할 때는 기울기 차이가 그다지 크지 않기 때문에 외부의 교란에 따라 정상 작동 여부를 진단하기에는 오차가 있을 것으로 판단된다. Fig. 1에 나타낸 열유속 센서의 위치를 변경한 경우에 대하여 다음절에서 검토하기로 한다.

### 3.2 변경된 열유속 센서 위치에서의 온도 및 열유속 변화 특성

제 3.1절에서 기존의 열유속 센서 위치에서 열유속 계와 냉장고 벽 내부의 온도 분포 변화와 열유속 변화 특성을 살펴보았다. 이 절에서는 열유속 센서 위치가 Fig. 1에 표현한 (b)위치와 (c)위치일 경우에 대하여 열유속 변화 특성을 살펴보기로 한다. 이 경우에도 기존

의 열유속 센서 위치에서와 같이 발열체는 기준 위치와 같게 설정하였고 열유속 센서 위치만 변경하여 비교 검토하기로 한다.

먼저 열유속 센서 위치가 (b)인 경우에 대하여 살펴보기로 한다. 열유속 센서 위치 (b)는 열유속계의 단열재인 폴리우레탄 폼 끝에서 0.025 m 위에서 (a)위치의 열유속 센서 길이 만큼(0.0178 m) 길이를 가지고 있다. 열유속 센서 위치를 (b)위치로 변경한 이유는 진공단열재가 있는 경우에 고온의 발열체에서 열이 냉장고 내부로 흘러가는 것이 차단되기 때문에 냉장고 외부 벽면에 있는 철판으로 열이 빠져 나갈 것으로 판단되기 때문이다. 물론 진공단열재가 정상적으로 작동하지 않을 때에도 냉장고 외부 벽면으로 열이 흘러가겠지만 열의 흐름 크기 차이가 있을 것으로 보인다.

Fig. 5에 열유속 센서 위치를 (b)로 했을 때의 열유속 특성을 나타내었다. Fig. 5(a)는 열유속의 시간에 따른 변화를 보여주고 있는데 열유속 센서 위치가 기존의 위치인 경우(Fig. 1(a)의 지점)는 시간에 따라 열유속이 감소하는 경향을 가지고 있었지만 이 위치에서는 증가하는 양상을 보여 주고 있다. 열유속 센서 위치가 Fig. 1(a)인 경우에는  $1/q''^2$ 의 값이 시간에 대하여 거의 선형적으로 변화하였지만 이 경우에는  $q''^4$ 으로 하면 300초 이후에 선형화 되는 것을 알 수 있다. 이렇게 300초에서 600초 사이의 기울기를 구하면 진공단열재가 정상 작동하는 것은  $6.808 \times 10^4$ 이고 정상 작동하지 않는 것은  $4.884 \times 10^4$ 으로 나타났으며 이 차이의 크기는 정상 작동하는 것의 28.2%이다. 이 값은 열유속 센서의 위치가 기존인 경우에 기울기 상대 크기가 10.9% 인 것 보다 크지만 확실한 차이를 보이고 있는 것으로 보기에 아직 미지수이다.

열유속 센서 위치가 Fig. 1(c)인 경우는 센서를 냉장고 안쪽에 설치하고 발열체를 냉장고 외부에 설치해서 발열체로부터의 열 흐름을 냉장고 내부에 전달되는 것으로 판단하는 것이다. 발열체로부터 냉장고 내부로 열이 흘러갈 때 진공단열재가 있으면 없는 경우에 비하여 열이 상당히 차단되는 것으로 예상되기 때문에 진공단열재의 정상 작동 여부를 판단하기 용이할 것으로 예측하였다.

Fig. 6은 이곳에서 시간 변화에 따른 열유속을 측정 한 것을 나타내었다. 발열체 부착 초기에는 진공단열재가 정상 작동하는 경우와 정상작동하지 않는 경우 모두 열유속의 변화가 없다. 이는 냉장고 외부에서 발열체로부터의 열이 냉장고 내부로 전달되는 데는 냉장고 벽면을 가열하는 시간이 필요하기 때문이다. 약 300초 이후부터 두 가지 경우의 변화가 차이를 보이고

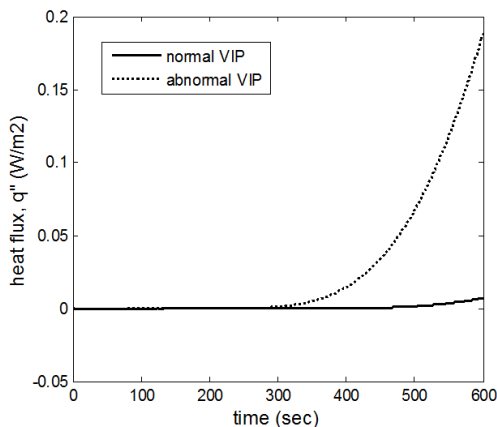


Fig. 6 Heat flux and at the heat flux sensor location (c) in Fig. 1 for two cases with the normal/abnormal condition of the vacuum insulation panel.

있다. 진공단열재가 정상 작동하는 경우는 진공단열재가 발열체의 열 흐름을 막고 있기 때문에 300초 이후에도 열유속의 변화는 거의 없다. 그러나 진공단열재가 정상 작동하지 않는 경우는 진공단열재 만큼 열 차단을 하지 못하기 때문에 열유속의 변화가 급격하게 변하고 있다. 600초에서의 진공단열재가 정상 작동할 경우에 열유속의 크기는  $0.0074 \text{ W/m}^2$ 이고 정상 작동하지 않을 경우는  $0.1888 \text{ W/m}^2$ 이다. 정상 작동할 경우의 값에 비하여 25.5배로 큰 값이다. 앞에서 살펴본 다른 경우에는 정상 작동하는 경우와 정상 작동하지 않는 경우의 판단 기준인 기울기 들이 약 10~30%의 크기 차이를 보이고 있지만 이 경우에는 정상 작동 여부를 다른 경우에 비하여 명확히 구분할 수 있다.

지금까지 살펴본 세 가지 열유속 센서의 위치에 따라 진공단열재의 정상 작동 여부를 판단할 때 발열체가 냉장고 외부에 있고 냉장고 내부에 열유속 센서를 설치한 경우가 가장 최적으로 진단하는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

냉장고에 진공 단열재를 사용할 경우, 지금까지 열유속 센서의 세 가지 위치에서 열유속을 측정하여 진공단열재의 정상 작동 여부를 진단하는 것을 살펴보았으며 아래에 이에 대한 결과를 정리하였다.

- (1) 열유속계의 발열체와 열유속 센서가 같은 위치에 있는 기존의 열유속계 형상에서는 진공단열재가 정상 작동하는 것과 정상 작동 하지 않는 경우의 열유속 변화는 차이가 많이 나지 않았으며 다른 연구에서와 같이  $1/q''^2$ 의 시간에 따른 기울기 차이는 10.9%로 나타나서 외부 환경의 변화가 있을 경우에 정상 작동 여부를 진단하는 것에 오차가 상당히 있을 것으로 예상되었다.
- (2) 열유속계의 발열체를 기존의 위치인 냉장고 외부에 설치하고 열유속 센서는 발열체에서 떨어진 냉장고 외부 철판에 설치한 경우는  $q''^4$ 의 시간에 따른 기울기가 선형적으로 나타났지만 그 기울기 차이는 28.2%로서 기존의 열유속계 형상에서의 기울기 차이에 비하여 상대적으로 크게 나타났지만 이 방법도 외부 환경의 변화가 있을 때 정상 작동 여부를 진단하는 것에 오차가 있을 것으로 판단된다.
- (3) 열유속계의 발열체를 기존의 위치인 냉장고 외부에 설치하고 열유속 센서는 냉장고 내부에 설치한 경우는 300초까지는 진공단열재가 정상 작동 여부에 관계없이 열유속의 변화가 없었다. 이는 발열체로부터의 열 흐름이 냉장고 내부에 까지 미치는 시간이 필요한 때문이었다. 이 이후에 진공단열재가 정상 작동한 경우는 진공단열재가 열 흐름을 상대

적으로 잘 차단하고 있기 때문에 600초까지에도 열유속의 변화는 거의 없었지만 진공단열재가 정상 작동하지 않는 경우는 급격히 열유속이 증가하고 있었다. 600초에서의 열유속의 크기는 진공단열재가 정상 작동할 경우에 비하여 진공단열재가 정상 작동하지 않는 경우는 약 25배의 크기를 보여 주었다.

- (4) 세 가지의 열유속 센서 위치에서 열유속 변화를 비교 검토한 결과로부터 발열체를 냉장고 외부에 설치하고 열유속 센서를 냉장고 내부에 설치하는 것이 진공단열재의 정상 작동 여부를 진단하는 최적의 위치임을 알 수 있었다.

### 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. Vineyard, E., Stovall, T. K., Wilkes, K. E., and Childs, K. W., 1998, Superinsulation in refrigerator and freezers, for the recent developments in refrigerator and freezers, ASHRAE Seminar, pp. 1-22.
8. Tao, W. H. Huang, C. M., Hsu, C. L., and Lin, J. Y., 2004, Performance study of an energy-efficient display case refrigerator, Chemical Engineering Communication, Vol. 191, pp. 550-565.
9. Sim, J. S. and Ha, J. S., 2011, Experimental study of heat transfer characteristics for a refrigerator by using reverse heat loss method, International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 38, No. 5, pp. 572-576.
10. Buttner, D., Stack, C., Keller, M., and Fricke, J., 2005, Fast method to check the thermal performance of metal-covered VIP, 7th International Vacuum Insulation Symposium, pp. 67-76.
11. Berge, A. and Johansson, P., 2012, Literature review of high performance thermal insulation, Report in Building Physics, Chalmers University, pp. 13-19.