냉장고 가스켓 형상 변화에 따른 냉장고 열손실 저감 효과

하 지 수†, 정 광 수, 김 태 권*, 김 경 호*, 김 석 로**
계명대학교 에너지환경과학과, *계명대학교 기계자동차공학부, **LG전자

The Effect of Gasket Shape on Heat Loss Reduction in a Refrigeration

Ji Soo Ha†, Kwang Soo Jung, Tae Kwon Kim*, Kyung Ho Kim*, Seok Ro Kim**
Environmental Science, Keimyung University, Daegu 1000, Korea
**School of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 1000, Korea*
***LG Electronics*

(Received December 31, 2008; revision received April 11, 2009)

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 analysis of heat loss through gasket is established with numerical heat transfer analysis. Extending the gasket shape to protect the heat loss from the gasket, power consumption is measured by using real refrigerator in a temperature and humidity chamber and suggest the gasket shape to reduce the heat loss.

From the present result of the numerical simulation of heat transfer and experiment with varying gasket shape, we are able to reduce the heat loss about 20~40% by using extended gasket and the power consumption can be reduced about 5%.

Key words: Refrigerator(냉장고), Heat loss(열손실), Gasket(가스켓), Power consumption(소비전력), Heat transfer(열전달)

1. 서 론

생활수준의 향상과 소비자들의 소비성향의 변화로 가전제품에 대한 고급화,[1] 대형화, 품질에 대한 세심한 요구 성향이 뚜렷이 드러나고 있으나, 쾌적한 환경에 대한 인간의 욕구는 점차 증가하고 있으며, 이에 따라 냉동 및 공기조화 산업에 대한 필요성도 증가되고 있다. 이러한 필요성에 부합하여 가정용 냉장고(domestic refrigerator) 및 다양한 공조기기는 실용성 및 에너지 절약의 관점에서 선택되고 있다. 냉장고의 몸체와 도어는 가스켓(gasket)을 통하여 접촉하고 있으며 고내의 냉기 누설 및 외부의 열 침입을 막는 역할을 한다. 일반적으로 냉장고 에너지 효율은 냉장고를 구성하는 단열재의 단열성능과 냉동 사이클 효율에 의해 좌우 되는데 냉장고에서 에너지 효율을 향상시키기 위해서는 단열성능을 향상시키고, 냉동사이클 효율을 극대화시키는 것이 중요하다.[2-4]

냉장고는 열손실을 줄이기 위해 여러 가지 단열재를 사용하고 있다. 대표적인 단열재는 폴리우레탄 폼, ABS, PVC 등이 있다. 여러 가지 단열재를 사용하여 냉장고의 열손실을 저감하고 있지만 냉장고의 단열은 열손실과 에너지 효율 측면에서 냉장고 생산업체들의 핵심적인 기술개발 대상이 되고 있다. 냉장고의 열손실 중 냉장고의

† Corresponding author
Tel.: +82-53-580-5919; fax: +82-53-580-5385
E-mail address: jisooha@kmu.ac.kr

문과 냉장고 본체 사이를 연결하는 가스켓 주위의 열손실을 어떻게 줄이는가가 특히 중요한 열손실 저감 요소로 되어 있다. 기존의 연구들에서 가스켓 주위의 열손실은 냉장고 전체의 약 30%로 추정하고 있는데 아직까지 정확하게 정량화된 연구는 미흡한 실정이다.

기존의 연구들에서 추정하고 있는 가스켓 주위의 열손실은 상온보다 온도가 높은 냉매 배관으로 부터의 열손실(5%), 가스켓을 통한 열손실(5%), 가운데 문을 통한 열손실(10%), 냉장고 내부 ABS재질의 Nose를 통한 열손실(10%) 등으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 가스켓 주위에서의 열손실에 대한 정량적 평가를 전산해석적 방법과 실험적 방법으로 비교 평가하여 가스켓 주위의 열손실 개선에 대한 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 지배방정식 및 해석방법

2.1 냉장고 가스켓 주위 형상

현재 판매되고 있는 냉장고의 형상은 각 제조회사의 고유 형상이 있고 또한 같은 회사의 제품이라도 모델에 따라 다양하다. 본 연구에서는 현재 판매되고 있는 냉장고 중에 대표적인 형태인 냉장실과 냉동실을 가운데에서 각각 열고 닫을 수 있는 양문형 냉장고를 채택하여 열손실을 정량적으로 평가하고 열손실을 줄일 수 있는 방법을 고찰하기로 한다.

Fig. 1은 대표적인 양문형 냉장고의 형상을 나타내고 있다. 왼쪽은 냉동실이고 오른쪽은 냉장실이다. 냉동실의 내부의 평균온도는 -18 ℃이고 냉장실은 2 ℃이다. 이러한 냉장고에서 문과 냉장고 본체 사이에 있는 가스켓을 통한 열손실이 냉장고 전체 열손실의 약 30%를 차지하고 있다고 알려 져 있다.

가스켓에 인접한 냉장고 본체 부분의 구체적인 단면 형상을 Fig. 2에 나타내었다

그림에서 아랫부분이 냉장고 문에 해당하는 부분이고 윗부분이 냉장고 본체에 해당하는 부분이다. 냉장고의 오른쪽이 외부 공기와 인접해 있고 왼쪽이 냉장고 내부와 인접하는 부분이다. 단면 형상에서 보이는 대부분의 영역은 폴리우레탄 폼(PU foam) 재질이고 오른쪽에 냉장고 외부와 접

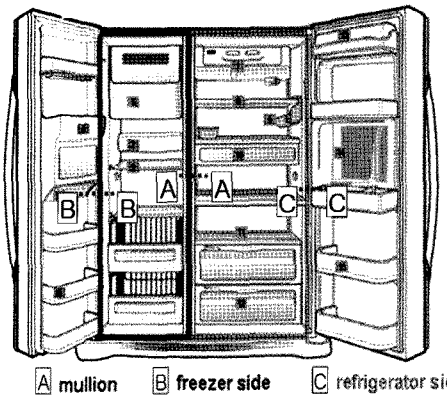
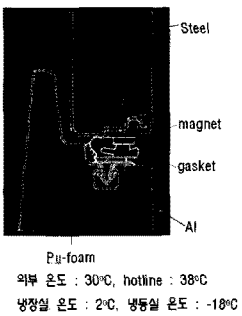


Fig. 1 Configuration of double gate refrigerator.



재질	열전도율(k) W/mK
air	0.024
gasket	0.35
PU-foam	0.026
abs	0.191
magnet	10
steel	58
Aluminium	202
냉장실 h	6.7W/m²K

Fig. 2 Cross sectional view of refrigerator near gasket.

하고 있는 부분은 견고성을 위해 철판(steel)과 알루미늄(Al)으로 되어 있다. 냉장고 본체와 냉장고 문 사이에 열손실을 차단해 주는 것이 가스켓인데 PVC 재질을 이용하고 있다. 가스켓 내부의 공간은 공기로 채워져 있다.

왼쪽의 냉장고 내부와 접하고 있는 부분은 ABS 재질로서 단열과 견고성을 위해 사용하고 있다. 그림의 오른쪽 내부에 있는 원형 배관 안쪽으로는 압축기를 통과한 다소 높은 온도(38 ℃)의 냉매가 흐르는데 이는 냉장고의 가스켓 주위가 외부 실내 온도 보다 낮아서 이슬이 맺히는 것을 방지하기 위한 것이다.

2.2 지배방정식 및 전산해석 모델링

냉장고의 가스켓 부분은 문의 개폐에 따라 열손실이 발생하는 위, 옆, 아래 부분과 가운데 냉동실과 냉장실이 마주 보고 있는 부분(mullion)으

로 구분할 수 있는데 본 연구에서는 이러한 부분의 단면에 대하여 열전달 해석을 수행하여 각 부분으로 흘러 나가는 열손실 량을 정량적으로 계산하여 열손실이 저감되는 가스켓 형상을 도출하기로 한다. 아래의 Fig. 3은 냉장실 측면에 대한 열전달해석 모델링을 대표적으로 나타낸 그림이다.

위와 같은 열전달 해석에 적용한 지배방정식은 정상상태 2차원 열전도 방정식을 이용하였다.

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

이러한 지배방정식에 필요한 각 부분의 열전도율과 대류열전달계수 및 온도 경계조건은 Fig. 2에 이미 나타내었다. 열전달 해석에 사용한 전산해석 소프트웨어는 열유체 전산해석에 널리 사용하고 있는 상용코드인 Fluent 소프트웨어를 사용하였다. 격자의 개수는 18,234개를 사용하였으며 격자형태는 가스켓 주위 형상에 적합하도록 삼각형 격자를 이용하였다.

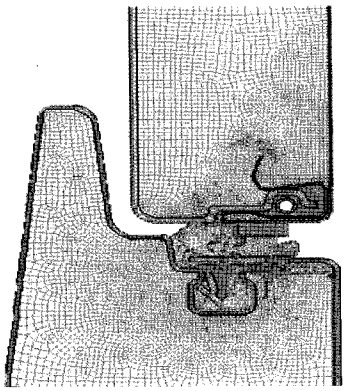


Fig. 3 Generated grid of refrigerator side for the calculation of numerical heat transfer.

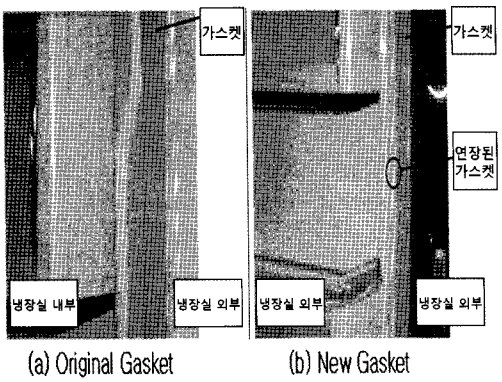


Fig. 4 Installed prototype gasket on the door of refrigerator.

3. 실험장치 및 방법

냉장고 열손실에 대한 실험장비로 현재 가장 많이 사용하고 있는 양문형 냉장고를 선택하였다. 냉장고 온도테스트의 경우 일정한 외부온도 조건이 중요하므로 항온 항습기를 이용하여 일정한 외부온도를 유지하였다. 냉장고의 내부와 외부 온도를 측정하기 위해 Labview system을 사용하였으며, 온도 변동폭을 줄이기 위해 직경 3 cm 크기의 구리로 만든 원형구슬을 사용하였으며 이곳에 열전대를 끼워 사용하였다.

냉장고의 냉장실과 냉동실에 구리 원형구슬을 설치하고 열전대를 이용하여 Labview system에 연결한 후 PC를 이용하여 온도를 측정하였다. 열손실의 상당량이 가스켓을 통해 일어나므로 현재 사용되고 있는 냉장고의 내부온도와 배경온도를 측정하고 전력계를 설치하여 공급된 전력에 대한 평균전력량을 측정하였다. Fig. 4와 같이 기존 가스켓이 장착된 냉장고에 대한 온도를 측정하고, 동일 제품에 프로토 타입의 가스켓 sample을 장착하여 동일한 방법으로 실험 한 후 온도와 전력에 대한 결과를 얻었으며, 두 경우에 대한 전력량 감소분을 구하여 기존 제품에 대한 전력 손실 보전분을 얻을 수 있었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 냉장실 가스켓 주위 열전달 특성

상용 전산해석 소프트웨어인 Fluent로 열전달 해석을 수행하여 온도분포 구한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에 이용된 온도 경계조건은 외부온도 30 ℃, 내부온도 2 ℃, 그리고 냉매배관 표면온도가 38 ℃이며 외부와 내부의 대류열전달계수는 6.7 W/m²K이다. 온도가 30 ℃인 외부로부터 냉장실의 단열재를 통과하여 냉장실 내부로 온도가 전달되는 것이 잘 나타나 있다. 이러한 온도 분포를 통해서 가스켓 주위의 온도 변화가 어떻게 되는지는 확인할 수 있으나 이것으로부터 가스켓

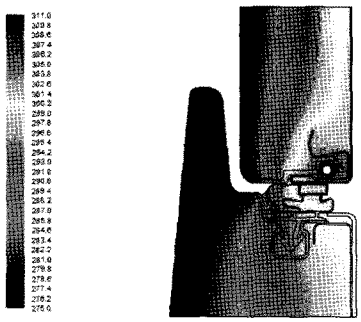


Fig. 5 Temperature contour of refrigerator side gasket region.

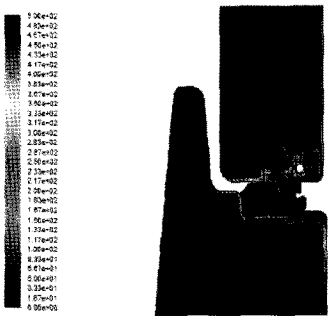


Fig. 6 Heat flux contour of refrigerator side gasket region.

주위 열 흐름과 열손실량을 정량적으로 파악할 수는 없다. 열 흐름과 열손실량의 정량적 값은 열유속 벡터와 냉장실 내부의 표면에서 열유속량을 토대로 하는 열전달량으로 판단할 수 있다.

앞에서 살펴본 바, 가스켓 주위의 온도 분포로는 열 흐름과 열손실에 대한 정량적 평가를 하기 어렵다. 이를 위해서는 계산을 완료한 상태에서 다음과 같은 열유속 벡터를 계산하여 계산영역에 표현하면 열흐름에 대한 특성을 파악할 수 있다.

열유속벡터는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$q=\left(-k\frac{\partial T}{\partial x},-k\frac{\partial T}{\partial y}\right) \tag{2}$$

그리고 이 벡터의 크기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$|q|=\sqrt{\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2+\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \tag{3}$$

위 식으로 나타낸 열유속 벡터의 크기에 대한 분포를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6의 열유속벡터를 살펴보면 왼쪽에 있는 외부 철판으로 된 벽면이 면적이 크기 때문에 이곳으로부터 집열된 열이 냉장실 내부로 많이 전달됨을 알 수 있다. 또한 냉매배관을 통해서 전달되는 열도 무시 못 할 정도임을 알 수 있다. 열전도율이 낮은 폴리우레탄 폼과 공기층이 있는 영역은 열유속이 크지 않아서 단열이 상대적으로 큼을 알 수 있다.

외부 벽면을 통해 전달된 열은 최종적으로 냉장고의 표면으로부터 냉장고 내부로 전달되는데 어느 표면으로 열이 많이 전달되는 지를 파악함으로써 냉장고의 열손실을 저감하는 방안을 검토하기로 한다. Fig. 2에 표현한 냉장고 가스켓 주위 형상에서 아랫부분이 냉장고 문 부분이고 윗부분이 냉장고 본체의 벽부분이다. 그래서 냉장고 문 부분의 냉장고측 표면을 문 안벽이라고 하고 냉장고 본체의 냉장고측 표면을 냉장고 안벽, 가스켓 부분의 냉장고측 표면을 가스켓 안벽이라고 표현하기로 한다.

냉장실의 경우 냉장고 내부의 각 표면을 통해 전달된 열유속은 문안벽이 12.6 W/㎡, 가스켓 안벽이 82.5 W/㎡, 냉장고 안벽이 34.5 W/㎡이다. 이것을 표면의 길이를 곱하여 비교하면 각각 0.50 W/m, 0.51 W/m, 1.31 W/m이다. 이러한 값들을 검토해 보면 가스켓의 표면 길이가 작아서 전체 전달되는 열량은 문 안벽 부분과 유사하고 냉장고 안벽이 비해서 작은 값이지만 단위 표면 길이당의 열전달 량은 다른 부분의 2배에서 7배 정도로 큼을 알 수 있다.

따라서 냉장고 가스켓을 통한 열손실을 저감하기 위해서는 냉장고 내부의 가스켓 안벽 부분을 가능한 한 냉장고 내부의 냉기와 격리 시키는 것이 효과적이라고 예측할 수 있다. 따라서 가스켓 안벽 부분을 냉기와 차단하는 보조 가스켓을 몇 가지 경우로 위치하여 열전달량을 계산하여 다음 절에 비교하기로 한다.

4.2 보조 가스켓의 열손실 저감 효과

가스켓 안벽 부분을 냉장고 내부 냉기와 차단하기 위해 문 압벽과 냉장고 안벽 사이에 보조 가

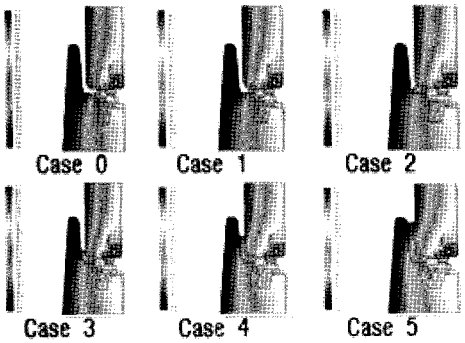


Fig. 7 Comparison of temperature contour with the variation of additional gasket position.

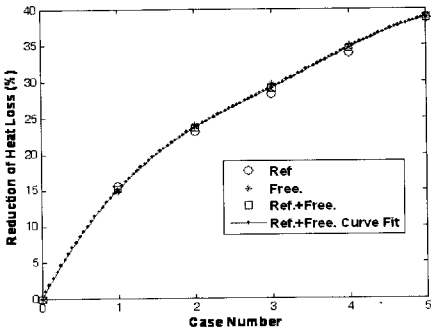


Fig. 8 Reduction of heat loss for the cases 0 to 5. o : refrigerator side, * : freezer side, □ : total reduction of heat loss.

스켓을 설치하여 열전달 특성을 계산한 온도 분포 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 case 0이 기존의 냉장고 가스켓 형상에 해당하고 case 1에서 case 5로 가면서 보조 가스켓의 위치를 냉장고 내부로 증가시켜 위치 한 결과이다.

Fig. 7을 살펴보면 기존 냉장고 가스켓 형상에서는 가스켓 부분을 사이에 두고 냉장고 안쪽과 냉장고 바깥쪽이 가깝게 있어서 이 부분을 전후로 하는 온도구배가 큼을 알 수 있다. 열전달량은 온도구배에 비례하기 때문에 이러한 형상에서는 열손실이 큼을 예측할 수 있다. case1에서부터 case5까지 보조 가스켓 위치를 변화시키면 기존의 가스켓 형상에서 관찰되었던 가스켓 부분에서 큰 온도 구배가 점차 감소해 가는 것을 알 수 있다. 이러한 경향으로부터 보조 가스켓을 이용하면 가스켓으로 흘러 나가는 열손실을 저감할 수 있을 것으로 판단할 수 있다. 이러한 결과는 열전달 수치해석이나 실험을 수행하지 않아도 예측가능하나 실제 열손실 저감을 위한 가스켓 형상을 설계할 때 요구하는 소비전력 저감 목표(3% 저감)에 적절한 보조 가스켓 형상을 본 연구에서 도출하고자 한다.

지금까지는 냉장실의 측면 부분에 대한 열전달 해석 결과로 보조 가스켓의 열손실 저검 효과에 대하여 살펴보았는데 가스켓은 냉장고의 냉동실과 냉동실의 문과 접촉하는 모든 부분, 즉, 측면, 위, 아래, 가운데(mullion) 부분에 모두 위치해 있다. 이러한 각 부분의 가스켓 주위에 대한 열전달을 해석한 후 냉장고 각 부분의 길이를 고려한 열손실 저감량 계산한 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8을 살펴보면 보조 가스켓을 이용하면 case 2인 경우, 즉 보조 가스켓 위치를 기존 가스켓에 인접해 있게 하더러도 약 20%의 열손실 저감효과가 있고 case 5의 경우는 40% 정도의 저감 효과가 있음을 알 수 있다. 가스켓을 통한 열손실이 전체 열손실량의 약 30% 정도로 알려 져 있는데 이러한 것을 감안할 때 냉장고 전체의 열손실 저감 효과는 case 2의 경우에 약 6%, case 5의 경우 12%의 효과를 예측할 수 있다. 이러한 수치는 냉장고의 소비전력을 저감하여 에너지를 절감하는데 매우 큰 효과의 하나라고 할 수 있다. 실제 냉장고에서 이러한 열손실 저감에 따른 소비전력 저감 효과를 소비전력을 측정함으로써 다음 절에 검정하였다.

4.3 실제 냉장고에서 보조 가스켓의 소비전력 저감 효과

앞 절에서 수치해석을 통해 보조 가스켓의 열손실 저감효과를 살펴보았다. 실제 냉장고에서 보조 가스켓을 설치함에 따라 열손실이 저감되어 이것이 소비전력을 절감하는 효과가 있는지 알아보기로 한다.

이미 제 3장에서 나타낸 바와 같이 새롭게 제작한 가스켓 형상 사진을 Fig 4(b)에 나타내었는데 둥근 주머니 형상을 기존 가스켓에서 연장하여 부착하여 보조 가스켓 역할을 하도록 하였다. 보조 가스켓을 부착하지 않은 냉장고의 소비전력과 보조 가스켓을 부착한 냉장고의 소비전력을 측정한 결과 각각 63.1 W와 61.2 W로 나타났는데 두 경우 모두 항온항습실 내에서 일정한 외부 온도 30 ℃에서 하루 동안 측정한 평균 소비전력이다. 이 결과로부터 실제로 보조 가스켓이 부착된

가스켓을 제작하여 소비전력을 측정한 결과 약 3%의 소비전력 저감 효과를 도출하였다. 따라서 보조 가스켓을 부착하면 냉장고의 소비전력을 획기적으로 저감함을 알 수 있었고 이러한 결과를 토대로 하여 냉장고의 소비전력 저감에 활용하도록 한다.

5. 결 론

냉장고의 열손실 중 많은 부분이 가스켓을 통하여 빠져 나가는 것을 착안하여 가스켓 형상을 변경하면 열손실을 저감 할 수 있기 때문에 냉장고의 소비전력 저감에 효과가 있을 것으로 판단하여 기존 가스켓 형상에 보조 가스켓을 설치함으로써 열손실 저감 효과가 정량적으로 어느 정도인가를 전산해석을 통하여 살펴보았으며 보조 가스켓 효과는 해석이나 실험을 수행하지 않아도 예측 가능하나 소비전력 저감 목표에 적합한 보조 가스켓 형상을 해석과 실험을 통하여 도출하였다. 또한 실제 냉장고에 적용하여 소비전력 절감 효과를 측정을 통하여 검정하였다. 본 연구를 통하여 도출한 결과는 다음과 같다.

(1) 기존 냉장고 형상의 가스켓 주위 열전달 수치해석을 통하여 냉장고에서 냉장고 문과 냉장고 본체 사이에 위치한 가스켓을 전후로 하여 외부 공기와 냉장고 내부 공기가 다른 부분 보다 가깝게 위치하고 있어서 이 부분의 표면을 통한 열 손실이 큰 것을 알 수 있었다.

(2) 기존 가스켓 형상의 냉장고와 보조 가스켓 부착 위치를 변화하여 열전달 수치해석을 수행한 결과 가스켓을 부착하지 않는 것에 비해 가스켓을 통한 열손실의 약 20~40%까지 저감할 수 있음을 알 수 있었고 이는 냉장고 전체 열손실의 6~12%까지 저감하는 효과로 예측되었다.

(3) 앞의 열전달 수치해석과 간이 실험을 통하여 실제 냉장고에 적용할 개선된 가스켓 형상을 제작하여 소비전력을 측정한 결과 약 3%의 소비전력을 저감하는 결과를 가져왔다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 한정희, 2004, 美 백색가전제품에 부는 고급화 바람, Digital KOTRA.
2. Park, J. K., 2003, Optimization of Heat Insulation System for a Household Refrigerator, Trans. of the Sarek, Vol. 15, pp. 95-102.
3. Lee, M. Y. and Kim, S. U., 2005, A study on Performance Characteristics of Propane/Isobutane Refrigerant Mixtures in a Domestic Small Multi-Refrigeration System, Trans. of the KSME(B), Vol. 29, pp. 271-278.
4. 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.