

< 논문 >

단열 특성을 고려한 가정용 소형 멀티 냉동시스템의 성능에 관한 연구

이무연* · 김상욱** · 김용찬†
(2007년 6월 7일 접수, 2007년 8월 19일 심사완료)

Performance Evaluations of a Residential Small Multi-Refrigeration System Considering the Adiabatic Characteristics

Lee Moo-Yeon, Lee Dong-Yeon, Joo Young-Ju and Kim Yong-Chan

Key Words : Adiabatic Performance(단열 성능), Power Consumption(소비 전력), Small Multi-Refrigeration System(소형 멀티 냉동 시스템)

Abstract

In this paper, performance characteristics of a domestic kim-chi refrigerator are predicted by using the theoretical calculation and experimental method. The objective of this study is to find out the best design points of the refrigeration system and to calculate an adiabatic characteristic with variation to outdoor temperatures. The best design points such as refrigerant charge amount and capillary length were experimentally investigated. And the theoretical calculation is conducted as a function of calculation parameters and outdoor temperatures. According to this study results, the best design points of a refrigeration system with 2 rooms are 95 g of a refrigerant charge amount and 3500 / 3500 mm of capillary lengths and the best design points of a refrigeration system with 3 rooms are 100 g of a refrigerant charge amount and 3000/3000/6000mm of capillary lengths. And the power consumptions of both systems are 13.57 and 18.2 kWh/month. The worst part of heat loss is a front side of a domestic kim-chi refrigerator body.

기호설명

A : 전열 면적 [m²]
 Ae : 증발기 배관전열면적[기계실 안, m²]
 ABS : Acrolonitrile butadiene styrene
 Bot : 바닥
 Cond : 응축기
 D : 배관 직경 [mm]
 Door : 덮개
 F : 전면
 Gr : Grashof 수
 K : 열전도도 [W/m·K]
 L : 길이 [mm]

Le : 증발기 배관 길이 [기계실 안, mm]
 Mec : 기계실
 Nu : Nusselt 수
 Circum : 룸 과 바디 사이 둘레
 POE : 폴리에스테르 오일 [Polyolester Oil]
 Pr : Prandtl 수
 Q : 열전달량 [W]
 R : 룸
 Side : 측면
 St : 스틸
 T : 온도 [°C]
 Tot : 전체
 α : 대류열전달 계수 [W/m²K]
 λ : 열관류율 [W/m²K]

† 책임저자, 회원, 고려대학교 기계공학과
 E-mail : yongckim@korea.ac.kr
 TEL : (02) 3290-3366 FAX : (02) 921-5946

* 고려대학교 기계공학과

** 위니아만도주식회사

하첨자

evap : 증발기
 al : 알루미늄

- abs : 사출물
- ru : 고무
- pl : 플라스틱
- ins : 고내
- out : 실외

정들을 통하여 앞으로의 시장 환경에서 기존의 김치냉장고 보다 단열 성능 및 냉동 성능이 우수한 김치냉장고 개발에 필요한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 단열부하 및 열전달량 계산

1. 서론

김치 냉장고는 1995년 첫 선을 보인 이후 시장에서의 수요가 꾸준히 증가(김치냉장고의 매년 평균 성장률이 48%)하고 있다. 주요 가전업체에 따르면 2001년도 김치냉장고 판매량이 100 만대를 돌파하였다고 보고되고 있다. 처음 김치 냉장고는 일반 냉장고 개념에서 파생되어 만들어졌지만 현재는 생활 가전 시장을 주도하는 대표적인 제품으로 부각되었다. 특히, 수요 및 판매량 측면에서 그 동안 백색 가전의 대명사로 불려졌던 일반 냉장고 (2001, 92만대 추정)를 앞질렀다. 그 결과 2001년 이후 김치 냉장고는 1조 원 대 이상의 거대 시장을 형성하게 되었다. 김치 냉장고는 그 역사에 비해 짧은 기간 안에 급 성장하여 가전 시장을 주도하는 대표적인 상품으로 부각되었지만, 외형적인 수요 및 판매의 증가[가구 당 보급률 30% 이상]는 김치 냉장고 제조 업체간의 경쟁을 심화시킬 것으로 전망된다. 하지만 그 규모 및 수요에 비해 김치 냉장고에 관한 이론적인 접근은 거의 이루어지지 않은 상태이다. 또한 김치냉장고를 판매하는 업체에서는 소비자들의 감성적인 요구를 만족시켜주기 위해 김치의 맛과 향 그리고 익힘 정도 등의 감성적인 부분에 대해 체계적이고 과학적인 접근을 시도하고 있다. 이에 반해 냉동시스템에 관한 이론적 접근, 사이클적 해석, 유동 해석 그리고 단열 열부하 해석 등의 현상학적인 접근은 아직 미비한 실정이다. 가정용 냉장고 및 김치 냉장고의 효율을 향상시키는 방법으로는 압축기 효율을 향상시키는 방법, 냉동 사이클 효율을 향상시키는 방법, 그리고 단열 성능을 향상시키는 방법이 있다.⁽¹⁻²⁾

본 연구에서는 냉동 사이클의 최적화를 통한 냉동 효율 향상과 단열 효율을 향상시키는 관점에서 실험과 계산을 진행하였다. 1개의 압축기, 2-4개의 증발기, 2-4개의 슬레노이드 밸브, 응축기, 그리고 팽창장치로 구성된 소형 멀티 냉동 시스템의 최적 사이클을 구성하기 위하여, 시스템 냉각 속도 및 고내 온도가 안정화 되는 시간을 고려하여 김치 냉장고 시스템에 맞는 최적의 압축기를 선정하였고, 냉매량과 모세관 길이를 변경하면서 시스템을 최적화하였다. 또한, 김치 냉장고의 단열 성능을 예측하기 위하여 모든 부하를 고려하여 제어 체적으로 설정하고 열전달 및 에너지 방정식을 이용하여 열전달량 및 열손실량을 간단한 수식을 이용하여 계산하였다. 이러한 일련의 과

2.1 모델링

외기 온도 변화에 따른 김치 냉장고의 단열 성능 및 국부적인 열전달량을 계산하기 위하여 A, B Type 두 개의 김치냉장고를 제작하였다. A Type 은 내용적이 200 [L] 이하 2 룸 (1 Comp - 2 Evap, 14.13 kWh/month) 모델이고, B Type 은 내용적이 200 [L] 이상 3 룸 (1 Comp - 3 Evap, 20.1 kWh/month) 모델이다. 단열 부하 계산을 위해 김치 냉장고의 각 부분을 총 8군데로 나누어 각각의 제어 체적을 설정하였고, 각 제어 체적마다 열전달량을 등가 열저항으로 계산하였고, 외기 온도 변화에 따른 열전달량 및 소비 전력을 비교하였다. 열전달량 계산 시 외측 및 내측의 전열 면적을 고려하여 계산하였다. 계산에 사용된 공기측과 냉매측 물성은 EES 6.2 (Engineering Equation Solver, F-Chart Software) 을 사용하였다.

2.2 열전달량 계산

열전달량 계산을 위해 고내 1, 2, 3 을 제어 체적으로 설정하고 고내와 외기 사이의 모든 열전달 요소들을 등가 열저항으로 고려하였고, 식 (1)을 이용하여 계산하였다.⁽³⁻⁴⁾ 외기와 고내 사이의 바디금속, 발포액, 도어 및 고내 사출물에 대한 열전도계수 및 고내와 외기의 대류 열전달 계수를 고려하였다. 등가 열저항 계산시 사용한 열전달 계수값은 Table 1 에 나타내었다. Fig. 1 는 계산에 이용된 김치 냉장고 도어 및 바디 벽체의 단면을 열전달 모델로 나타낸 것이다.

2.2.1 벽면을 통한 열전달량 계산

시작품으로 제작한 김치냉장고 모델을 도어부, 고내부 및 바디부로 나누어 각각을 제어 체적으로 설정하여 각 제어 체적마다 발포액, 사출물, 외기 온도, 내기온도 등을 고려한 열전달 상관식을 유도하였다.

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ins}} + \frac{L_{al}}{k_{al}} + \frac{L_{abs}}{k_{abs}} + \frac{L_{poly}}{k_{poly}} + \frac{L_{ru}}{k_{ru}} + \frac{L_{pl}}{k_{pl}} + \frac{1}{\alpha_{out}}} \quad (1)$$

공기 측 열전달 계수는 수직 평판으로 가정하고 자연 대류 열전달 계수를 고려하여 식 (2)에 나타내었다. 그 이유로는 김치냉장고 고내를 순환시키는 고내 팬 없이 단지 온도차에 의한 자연대류로

순환하기 때문이다. 상수는 $C=0.375$, $m=0.2$ 로 가정하였다.⁽⁵⁾

$$NU = C \cdot (Gr \times Pr)^m = \frac{\alpha \cdot L}{k} \quad (2)$$

열전달량을 계산하기 위해서는 위에서 계산한 열전달값과 공기 및 증발기가 고내와 접하는 전열면적이 필요하다. 엄밀히 말하면, 김치 냉장고 내부와 외부의 전열면적이 다르기 때문에 기준을 어디로 선정 하느냐에 따라 열전달량이 달라질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 열전달 계수 계산을 위한 면적 계산 시 냉장고 고내의 내측 면적과 냉장고 바디의 외측 면적의 평균값으로 계산하였다. 열전달량 계산은 식 (3)에 나타내었다.

$$Q_{tot} = \sum \lambda \cdot A \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (3)$$

2.2.2 배관을 통한 열전달량 계산

Fig. 2 와 Fig. 3 에서 보는 바와 같이, 룸 1 과 2 의 외벽을 둘러 싸고 있는 증발기와 룸 3 및 기계실로 연결되어 있는 증발기 출구관에서 열역류량을 계산하기 위하여 식 (4) ~ (5)을 유도하였다. 여기서 ΔT 는 증발 온도와 기계실내 온도와의 차이로 증발온도는 $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ 이고, 기계실 온도는 응축기 및 압축기 등의 발열에 의한 온도로 평균 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 가정하였다. 기계실에서 고내로 열역류량 계산은 냉장고 바디 중에서 기계실로 노출된 부분이 증발기 입출구 배관이므로 열전도에 의한 열전달량을 계산하였다.

$$Q_{pipe_loss} = k \cdot A_e \cdot \Delta T \quad (4)$$

$$A_e = \pi \cdot D \cdot L_e \quad (5)$$

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치 및 구성

Fig. 2 와 Fig. 3 는 본 연구에서 사용한 김치 냉장고 및 실험 장치 개략도이다. 김치 냉장고의 구성부는 기계실과 물건을 신선하게 저장 보관 유지시켜주는 고내부, 그리고 기계실 및 제어 알고리즘을 제어하는 제어부로 구성되어 있다. 김치냉장고의 기계실은 일반 냉동 시스템과 같이 압축기, 응축기, 응축기 팬, 냉매 분배를 제어하는 솔레노이드 밸브로 구성된 베이스 판넬과 고내를 둘러싸고 있는 증발기로 구성된다. 고내부는 내용물의 효율적인 보관과 외기의 침입을 막기 위해 단열재로 구성되어 있으며, 급격한 외기 온도 변화 및

극 저온에 대비하여 제품 및 저장 물건의 보호를 위한 외기 온도 센서가 부착되어 있다. 단열재의 단열 특성은 발포제의 종류, 발포 두께 그리고 발포 밀도에 따라 단열 성능이 달라질 수 있는데, 본 연구에서 사용한 단열재는 사용 목적 및 용도에 따라 다양하게 가공이 용이한 경질 우레탄 폼을 사용하였다. 경질 우레탄 폼은 실용적인 단열재 중에서 열전달율이 비교적 낮아 다양한 제품에 사용되고 있고, 전체 단열재중 80 ~ 90%를 점유하는 것으로 알려져 있다. 경질 우레탄 폼은 폴리올 (Polyol)과 Isocyanate 를 주원료로 하고 촉매 (catalyst), 정포제, 발포제 및 첨가제를 사용하여 실온에서 혼합/교반하여 액상에서 고상으로 발포하여 분자간의 화학 반응으로 만들어진다.⁽⁶⁾ 제어부는 설정 모드에 따라 압축기에서 나온 유량을 솔레노이드 밸브에서 유량 제어를 하여 증발기로 유입되는 냉매 유량을 적절하게 제어한다. 또한 고내 온도 센서가 고내의 온도 변화를 감지하여 마이컴에서 솔레노이드 밸브를 on/off 제어 한다. 압축기는 소형 왕복동식 압축기를 사용하였고, 응축기는 소형 냉장고 및 쇼케이스 등에 많이 사용되는 와이어 편-관 밀집형 열교환기를 사용하였고, 응축기 팬과 함께 구성되어 있다. 또한 도어를 개방하였을 때 냉기의 손실을 막기 위해 도어의 구조는 상하 개폐식으로 하였다. Fig. 2 와 Fig. 3 에서 보는 것 처럼, 각 고내는 스틸 재질로 되어 있고 그 주변을 증발기 동관이 일정한 간격으로 둘러싸고 있다. 그 이유는 시스템을 순환하는 냉매가 증발 과정 동안 고내의 온도를 일정하게 유지하고 각 고내의 상하 온도 편차를 줄이기 위한 것이다. 또한 동관과 접촉면의 열전달 특성을 좋게 하기 위하여 동관을 각 고내에 납작하게 등 간격으로 밀착시켜 접촉 열저항을 작게 하였다. 이러한 증발기 구조는 Fig. 4 에 잘 나타나 있으며, 도어를 자주 열고 닫는 김치 냉장고의 특성상 냉기의 이탈과 손실을 저감시킬 수 있으며 자연 대류로 인한 에어 커튼을 형성하여 저장물을 장기간 보존할 수 있도록 하였다.⁽⁷⁾ 이러한 증발기 특성은 간냉식 사이클을 채택하고 있는 가정용 일반 냉장고 및 냉동고와 대비되는 김치 냉장고의 특징이기도 하다. Tables 2 ~3 에 본 연구에서 사용한 A, B type 의 시스템 사양과 압축기 사양을 나타내었다. 압축기에 사용된 폴리에스테르 오일 (POE, Freola-10G)을 사용하였다.

3.2 실험 방법

시작품으로 제작한 김치 냉장고를 챔버 환경 $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$ 조건에서 48 h 동안 실험하였다. 냉동 능력 계산 및 측정은 KS 실험 규격에 의거하여 진행하였다.

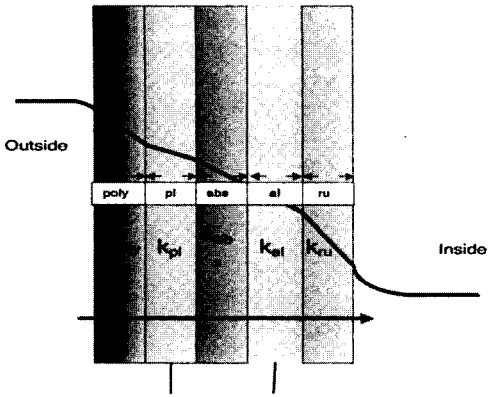


Fig. 1 The cross-section of Kim-chi refrigerator each side. [simplifying to the heat transfer model for each side of kim-chi refrigerator]

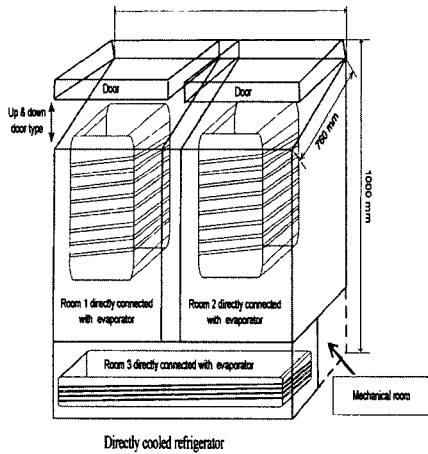


Fig. 2 Refrigerator model [A type]

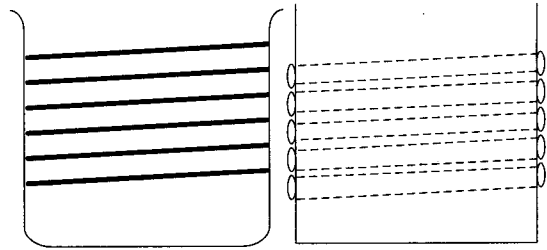


Fig. 4 Test chamber schematic diagram of the evaporator system for directly cooled refrigeration system, which is an effective structure to improve the heat transfer efficiency in contact planes between copper pipes and in-cases. Copper pipes were crushed flat to the in-case perimeter

Table 1 Heat transfer coefficients for the overall heat transfer coefficient calculation in the kim-chi refrigerator

Materials	$k(W/m-K)$
Steel plate	55
Rubber	0.313
ABS (Acrolonitrile butadiene styrene)	0.191
Poly	0.025
Plastic	0.212
Vacuum Insulation	0.0025

Table 2 Refrigeration system specifications [A&B type]

Component	Specification
Compressor	Reciprocating Comp.
Condenser	Wire_Fin HX.
Evaporator	Cu, Tube_Plate HX. Roll-bond Evap.(3room)
Capillary tube	Id 0.74*L 3500, 2 EA [A type] Id 0.74*L 3500, 2 EA [B type] Id 0.74*L 6000, 1 EA [B type]
Refrigerant	R-134a

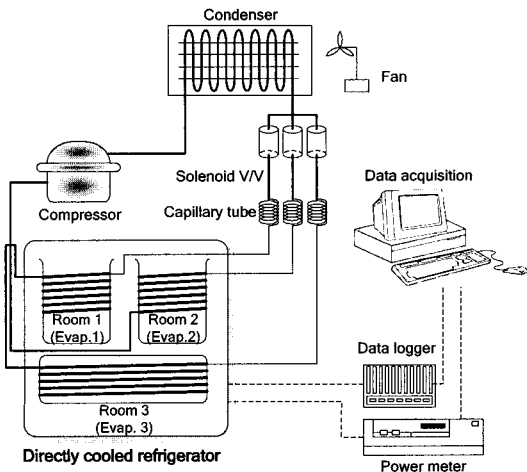


Fig. 3 The schematic of the test set-up

Table 3 Compressor specifications for kim-chi refrigeration system. Compressors are the reciprocating type for low temperature range using R-134a. Specifications are provided from the compressor manufacturing company

Compressor	Specifications	
	A type compressor	B type compressor
Oil	POE	POE
Oil charge [cc]	200 (Freola-10G)	220 (Freola-10G)
Power input [W]	124	142
COP [EER]	4.5(1.32)	4.7(1.45)
Displacement [cm ³]	5.25	5.71

Table 4 The specification of the measurement system

Specifications	
Chamber temp. And humidity	30 ± 1 °C, 75 ± 5%
Power supply	220V/60Hz
Data logger	DA100/YOKOGAWA
Power meter	WT-210/YOKOGAWA
T-type thermocouple	-100 to 400 ± 0.2 °C

Table 5 Test conditions of a refrigeration system

Parameter	Experimental	Calculation
Compartment temperature[°C]	25	25
Chamber temperature[°C]	0	0

Table 6 Conditions of the inside water load

	Compartment	Water_salt [80%]
Volume [Liter]	10.5	8.4
Specific gravity		1.03 (water 94% + salt 6%)

김치 냉장고 실험 시 표준 조건인 25 °C, 70% 에 조건을 맞추고 냉동 시스템 각 구역의 온도, 압력 그리고 고내 온도 변화를 측정하였다. 모든 자료는 Data logger 에서 실시간으로 수집되어 PC 에 20 초 간격으로 저장되고, 온도는 T Type 열전대를 이용하여 측정하였다. 챔버 및 계측기 사양은 Table 4 에 나타나 있다. 냉동 성능과 월간 소비전력은 KS C 9321과 KS C 9321 부속서에 의거하여 실험을 수행하여 계산하였다. 단일 부하 계산 시 사용한 각 룸의 온도는 다음과 같이 측정하였다. 룸 1, 2 측 온도 측정은 룸 1, 2 상/중/하부로 나누어 온도를 측정하였고, 고내부의 각 벽면 온도 및 바닥면 온도를 각각 측정하였다. 룸3측은 룸3 중앙부 온도, 측면 온도, 바닥면 온도를 측정하였고, 김치 냉장고의 도어 측은 도어 내측면 중앙부 온도를 측정하였다. Tables 5 ~ 6 에는 단일 부하 계산을 위해 사용한 실험 조건과 염수 조건을 나타내었다. 염수는 실제 김치와 최대한 유사하게 염도의 비중과 밀도로 맞추었고 염수 부하를 고내의 80% 정도 채워 넣고, 염수 온도를 챔버 온도 0 °C 에서 25 °C 로 일정하게 유지하기 위한 히터 용량을 측정하여 단일 부하를 계산하는데 사용되었다.

4. 결과 및 고찰

김치 냉장고의 성능 특성을 파악하기 위하여 25 ± 1 °C, 70 ± 5% 챔버 조건에서 냉매량과 모세관 길이를 변경하면서 실험을 수행하였고, 단일 성능 계산을 위해 고내 온도가 0 ± 0.5 °C 될 때까지 실험을 진행하였다. 그리고 고내 온도 변화에 걸리는 시간을 측정하여 열전달량을 계산함으로써 단일 부하를 예측할 수 있었다.

4.1 냉동사이클의 최적화

본 연구에서 사용한 A and B Type 김치 냉장고의 냉동 사이클의 최적화를 위하여 냉매량과 모세관 길이를 변경하면서 실험을 진행하였고, Fig. 5 ~ 7 에 냉매량과 모세관 길이 변경에 따른 월간 소비전력의 변화를 나타내었다. Fig. 5 는 냉매량변경에 따른 A, B Type 김치 냉장고의 월간 소비전력 변화를 나타내었다. Fig. 6 은 A Type 김치 냉장고의 모세관 변경에 따른 월간 소비 전력 변화를 나타내었고, Fig. 7 은 B Type 김치 냉장고의 모세관 변경에 따른 월간 소비 전력 변화를 나타내었다. 냉동사이클의 최적화는 김치 냉장고 성능 판단의 기

준이 되는 에너지 소비량을 기준으로 판단하였다. 모세관 길이와 냉매량은 시스템의 성능과 밀접한 관련이 있으며, 두 가지 요소 중 어느 하나가 비정상적으로 설계되면 기계적 소음, 냉동 성능 저하, 그리고 과도한 월간 소비 전력 발생의 원인이 된다. 본 연구에서는 소형 멀티 냉동 시스템의 성능 계산에 관한 정형화 된 수치적 계산 방법이 없어 실험을 통해 모세관 길이와 냉매량을 선정하였다. 모세관 내경을 0.74 mm 로 고정하고, A Type 은 립 1, 2는 모세관 길이 3000 ~ 3500 mm (립 1, 2 모세관 길이), 냉매량 90~100 g, B type 은 A type 에 립3가 추가된 시료로 립3 모세관 길이 6000 ~ 6500 mm, 냉매량 95 ~ 110 g 로 변경하면서 실험을 수행하였다. 시험 결과 A Type 은 모세관 길이 3500/3500 mm, 냉매량 95 g 일 때 월간 소비 전력 13.57 kWh/month 로 최적의 사이클을 구성하였고, B Type 은 모세관 길이 3000/3000/6000 mm (립 1, 2, 3 모세관 길이), 냉매량 100 g 일 때 월간 소비 전력 18.2 kWh/month 로 가장 우수하게 나오는 것으로 확인되었다. Fig. 8 는 고내 설정 온도 -1 °C 에서 모세관 길이 3000/3000/6000 mm, 냉매량 95 ~ 105 g 에 따른 압축기 기동 시간 (start-up approaching time) 을 나타내었다. 냉매량 95 / 100 / 105 g 에서 -10.0 °C 에 도달하는 압축기 기동 시간이 각각 60.3 / 49.0 / 74.0 분으로 냉매량 100 g 에서 가장 빠르게 도달하였다. 또한, 고내 설정 온도 인 -1.0 °C 에 가장 빠르게 도달함으로써 월간 소비 전력이 가장 적게 나옴을 확인할 수 있었다.

4.2 단열 열부하 예측

단열 성능은 김치 냉장고의 성능, 식품의 신선 보관과 관련하여 매우 중요한 요소이다. 본 연구를 통해 김치 냉장고의 단열 성능을 예측하여 설계 시 적용할 수 있는 이론적인 도구를 제공하였고, 단열 성능이 취약한 부분들에 대한 보강이 가능하게 되었다. 각 제어 체적마다 개별적인 열전달량을 계산하고 전체 시스템의 열전달량을 계산함으로써 단열 성능이 취약한 부분을 예측하였다. Table 7 에 외기 온도 변화에 따른 A, B Type 의 열전달량 변화를 나타내었다. A Type 의 열전달량은 립 R 3 를 제외한 값들의 합이다. 특히, 립 1, 2 의 사면에서 빠져나가는 열전달량이 다른 부분에 비해 많았고, 모든 외기 온도 조건에서 A Type 은 전체 열손실량의 60.5%, B Type 은 45% 정도를 차지 하였다. 김치 냉장고 전면부의 열전달량을 저감시키기 위하여 A Type 김치 냉장고 전면부에 1 m² 진공 단열재 3 장을 기존 단열재 대신 삽입하여 실험을 진행하였다. 진공 단열재를 사용하

여 실험한 결과 외기 온도 25 / 32 / 40 °C 에서 각각 6.13 / 7.42 / 8.25 Kcal/h 로 약 15 ~ 30% 정도 열전달량을 저감시킬 수 있었다. 진공 단열재는 외기 온도가 40 °C 일 때가 25 °C 일 때 보다 더 효과적인 것으로 확인되었다. 또한 기계실내의 열이 증발기 출구 및 배관을 통해 각 고내로 역류해 들어가 시스템의 성능을 저하시키는 양과 배관을 통한 열전달량도 전체의 7 ~ 13.5% 되는 것으로 나왔다. B Type 의 경우, 립 3 전면부의 열손실량이 외기 온도가 올라감에 따라 크게 증가하는데, 그 이유는 각 도어와 바디가 접하는 부분의 고무 가스켓을 통한 열전달량과 발포 액이 불균일하게 발포되었기 때문이다. 발포 액이 냉장고 몸체로 발포 시 비교적 단시간 내에 작업이 이루어져야 하는 발포의 특성상 수지의 흐름에 대한 시간 제한과 발포 액이 응고 되는 과정에서 기포가 발생되어 냉장고의 구석 부분까지 완벽하게 발포되지 않는 기술적인 문제에 기인 하여 발포가 균일하게 이루어지지 않는 특성이 있다. 이러한 문제점은 고무 가스켓과 바디 사이의 밀착 성을 향상 시킴으로써 해결 할 수 있었다. 또한 각 립과 기계실 사이의 열전달량, 열손실량이 적게 나오는데, 그 이유는 발포액이 두껍게 발포되어 단열 성능이 우수하기 때문이다. 이 부분은 김치 냉장고의 단열 성능에 크게 영향을 미치지 않으므로, 발포액을 줄이고 단열 성능이 취약한 다른 부분을 보강하는 것이 필요하다. Fig. 9 은 외기 온도 변화에 따른 열전달량 및 월간 소비 전력의 변화를 나타내었다. 외기 온도 증가에 따라 A, B Type 모두 소비 전력량이 증가하는데, 그 이유는 냉동 시스템에서 압축기가 빈번하게 가동되어 시스템 자체의 소비 전력이 증가하기 때문이다. 외기 온도가 32 °C 이상에서는 냉장고 단열재의 단열 성능이 차감되어 고내의 열전달량이 증가함을 알 수 있다.⁽⁸⁻⁹⁾ 또한 B Type 김치 냉장고가 A Type 김치 냉장고 보다 32 °C 이상에서 월간 소비 전력 증가량이 증가하는데, 그 이유는 A Type 에 립 3 층으로 인한 열 손실이 증가하기 때문이다.⁽⁹⁾

4.3 단열 부하 계산 및 실험값 비교

실험 결과는 챔버 온도에서 0 °C 에서 김치 냉장고 고내 염수 부하 온도를 25 °C 로 유지하기 위한 히터의 열량을 측정 한 결과이고, 이론 계산 결과는 식 (1)의 등가 열저항 관계식을 이용하여 계산한 결과이다. Table 8 에 에너지 소비를 기준으로 실험값과 이론값을 비교하여 나타내었다. 단열 부하는 에너지 소비를 기준으로 8.4% 정도 오차를 가지는 것으로 확인되었다.⁽¹⁰⁾

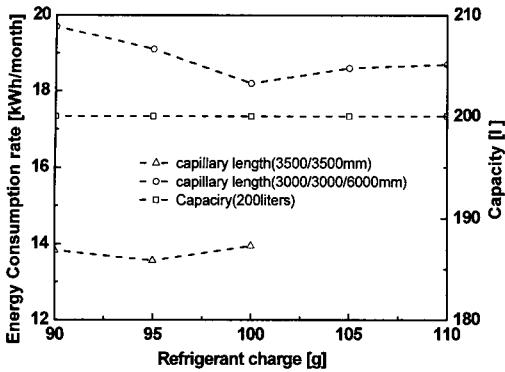


Fig. 5 Variation of power consumption with refrigerant charge at a constant volume capacity. [A and B Type]

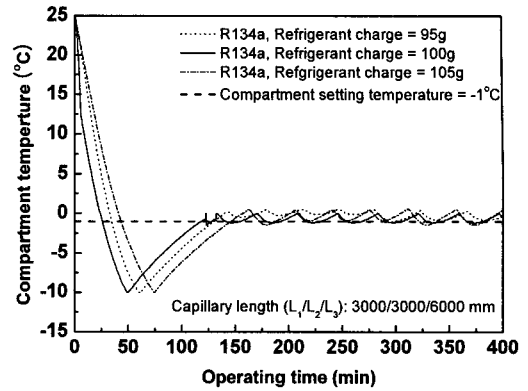


Fig. 8 Variation of in-case temperature with time at various refrigerant charges. [B type]

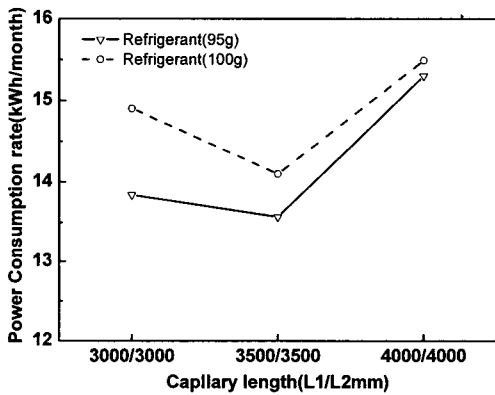


Fig. 6 Variation of power consumption with capillary tube length for each evaporator. [A type]

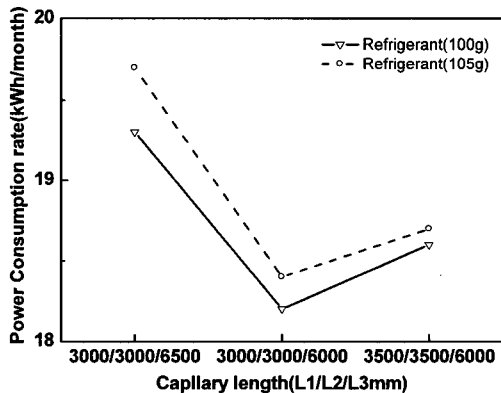


Fig. 7 Variation of power consumption with capillary tube length for each evaporator. [B type]

Table 7 The theoretical results of the heat transfer rate [A and B Type]

Heat transfer rate [Kcal/h]	25[°C]	32[°C]	40[°C]
R1,2_Door	1.91	2.45	3.11
R1,2_Circum	7.21	9.27	11.8
R3_Front	1.22	1.56	1.98
R3_Side	2.47	3.17	4.04
R3_Mec	2.41	2.42	2.46
R3_Bot	0.31	0.48	0.77
R1,2_Mec	0.70	0.75	0.80
Heat loss through in Mec	2.27	2.91	3.63

Table 8 Comparisons of experimental and theoretical results [A Type]

Results	Experiment	Theoretical	Error [%]
Heat loss [Kcal/h]	-	9.12	-
Power consumption [kW]	9.588	8.845	8.4

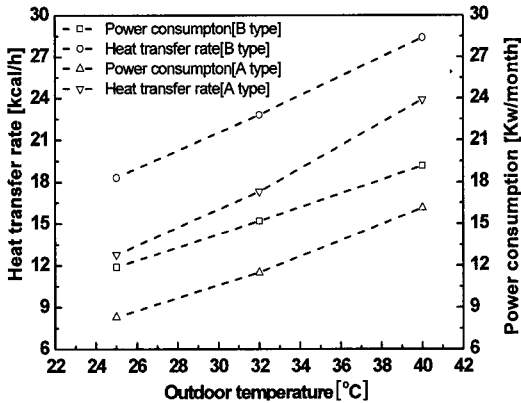


Fig. 9 Heat transfer rate and power consumption variation with outdoor temperature

5. 결론

본 연구에서는 김치 냉장고의 단열 성능 특성을 파악하기 위하여 냉매량과 모세관 길이를 변화시켜 최적의 냉동 시스템을 구성하였다. 김치냉장고와 외부와의 열전달량 계산을 총 8 면으로 나누어 단열 성능 및 열손실이 취약한 부분을 파악하여 제품 설계에 반영하였다. 다음은 본 연구를 통해 얻은 결론이다.

(1) 본 연구에서 냉매량과 모세관 길이를 변경하면서 냉매 봉입량을 최적화 하였고, A Type 의 경우 냉매량 95 g, 모세관 길이 3500/3500 mm 일 때 월간 소비 전력량 13.57 kWh/month 이고, B Type 의 경우 냉매량 100 g, 모세관 길이 3000/3000/6000 mm 일 때 월간 소비 전력량 18.2 kWh/month 로 기존 시스템 보다 10% 이상 감소하였다.

(2) 김치 냉장고의 단열 부하 계산을 통해 각 부의 에너지 전달 관계를 알 수 있었다. 룸 1, 2 사면에서 열전달이 다른 부분에 비해 많았고 A Type 은 전체 열손실의 60.5%, B Type 은 45% 정도이다. 또한 외기 온도 25, 32, 40 °C 증가함에 따라 A and B Type 모두 소비 전력이 증가하였고, 특히 B Type 인 경우 룸 3 측 열전달이 전체의 35%

정도를 차지하였다.

(3) 김치 냉장고 기계실 내의 열이 증발기 입 / 출구 및 배관을 통해 각 고내로 역류해 들어가는 양은 전체 열전달의 7% 이상을 차지하는 것으로 나왔으며, 이는 시스템의 성능을 저감시켜 월간 소비 전력을 증가시키는 역할을 한다. 룸 3 와 기계실 사이의 열전도에 의한 열전달량은 외기 온도 변화에 따라 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다.

참고 문헌

- (1) Lee, M. Y. and Kim, S. O., 2005, "A Study on the Performance of a Domestic Small Multi Refrigerator According to a Capillary Tube Change," *Trans. of the KSME*, Vol. 29, No. 6, pp. 763~771.
- (2) Lee, M. Y. and Kim, S. O., 2005, "A Study on Performance Characteristics of Propane/Isobutane Refrigerant Mixtures in a Domestic Small Multi Refrigeration System," *Trans. of the KSME*, Vol. 29, No. 2, pp. 271~278.
- (3) Kim, C. Y. and Lee, J. S., 2003, "A Study on the Performance of Refrigerator with Time Dived Multi-Evaporator and Expansion Cycle," *Proceeding of the SAREK*, pp. 1261~1266.
- (4) Holman, J. P., 1992, *Heat Transfer*, 7th edition, MacGraw-Hill, pp. 550~600.
- (5) Incropera, F. P., 1996, *Introduction to Heat Transfer*, John Willey & Sons.
- (6) Yunus, A. C., 2003, *Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer*, MacGraw-Hill, pp.229~238.
- (7) *Households Refrigerating Appliances Refrigerators Freezers, Characteristics and Test Methods.*
- (8) Park, J. K., 2003, "Optimization of Heat Insulation System for a Household Refrigerator," *Trans. of the SAREK*, Vol. 15, No. 2, pp. 95~102.
- (9) Lee, M. Y., Choi, S. J. and Kim, S. O., 2003, "Evaluation on the Cyclic and Adiabatic Performance of a Small Multi-Refrigeration System," *Proceeding of the KSME, Autumn Annual Conference*, pp. 769~774.
- (10) Lee, M. Y., Lee, D. Y. and Kim, Y. C., 2007, "A Study on the Heat Transfer Performance of an Energy-Nose Section in a Household Refrigerator-Freezer," *KSME*, Vol. 31, No. 6, pp. 574~580.