

# 냉장고 기계실 유로 최적화를 통한 소비 전력 저감

김영국\*, 한병윤\*, 김제열\*, 김태훈\*, 이연원\*\*, 김남식\*\*

## Optimization of refrigerator machine room for energy saving

Y.K. Kim\*, B.Y. Han\*\*, J.E. Kim\*\*, T.H. Kim\*\*, Y.W. Lee\*\*, N.S. Kim\*\*

**Abstract :** In the Refrigeration and air conditioning industrial circles, refrigerator is demands a high degree of efficiency due to the Environmental Preservation Law. Many researchers are working on factors to improve the efficiency of the refrigerator. In this paper, a study of the factors on the decrease of electric power consumption, several experiments are performed to improve the fluid flow in the refrigerator machine room. As a results, average temperatures of compressor and condenser are reduced 3.1°C, 2.0°C. The consuming electric power rate is reduced 0.7kWh/month.

**Key words:** consuming electric power, refrigerator machine room, compressor, condenser

### 기호 설명

- COP : 냉동기의 성능계수
- A : 응축기 면적
- h : 엔탈피
- Q<sub>c</sub> : 응축 부하
- ΔT : 열교환 온도차
- K : 총합 열전달계수
- m<sub>ref</sub> : 냉매의 질량

### 1. 서론

전 세계적으로 환경 규제 강화로 인한 에너지 고효율화가 점점 더 요구되면서 백색가전 중의 하나인 냉장고에 대하여 많은 연구자들이 냉장고의 효율을 향상시키기 위해 냉장고 소비 전력에 영향을 미치는 factor에 관하여 많은 연구를 수행

하고 있다. Fig.1은 냉장고의 효율적인 측면에서 작용하는 요소 대하여 분석한 결과를 나타내고 있다.

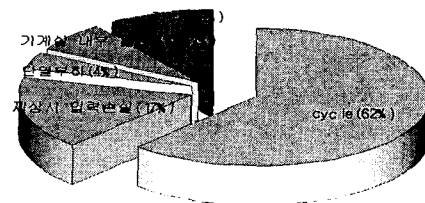


Fig. 1 Distribution of energy consumption

냉장고의 효율적인 측면에서 가장 크게 작용하는 사이클은 압축기에서의 on/off시 입력손실과 응축기에서 열교환 효율 문제, 배관 내에서의 압력강하 등 냉장고의 효율성에 대해 많은 factor를 가지고 있으며 단열 부하나 증발기에

\* 부경대학교 대학원  
\*\* 부경대학교 기계공학부

서 제상시의 입력손실도 냉장고의 비효율성 문제에 대한 factor로 작용하고 있는 것으로 많은 선행 연구자들에 의해 보고되어지고 있다.<sup>(1)</sup> 또한, 냉장고 기계실 내부 압축기 및 응축기에서의 열원 발생도 냉장고의 비효율성에 대한 factor로 작용하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 논문은 소비 전력 저감에 대한 factor 연구의 일환으로써 냉장고 기계실 내부에 설치되어 있는 압축기와 응축기에서 지속적으로 발생하는 열원을 유로 개선을 통하여 제거함으로써 소비 전력량 저감효과를 얻기 위한 기초 연구이며 기계실 내부 표준화 작업에 필요한 설계 자료를 제공하고자 함에 그 목적을 둔다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용되어진 실험장치는 Fig.2에 나타내었다. chamber내부 온·습도를 조절하고 항상 일정하게 유지 가능한 chamber control 및 송풍덕트와 연결되어 있는 항온·항습실①과 각각의 시료에 대해서 냉장고 기계실 내부 공간 온도 및 압축기와 응축기 표면 온도 측정을 하기 위한 60channel의 Data logger④, 또한 각각의 시료에 대해서 전력량을 측정하기 위해 2대의 전력계와 ⑤,⑥ 이에 항상 일정한 전압을 공급할 수 있는 정전압계(AVR)로 구성되어진다.

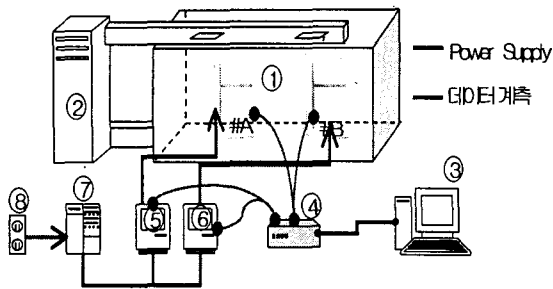


Fig.2 Measurement system

항온·항습실 및 각각의 계측기의 대한 자료는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 The specification of measurement system

NO.	NAME	SPEC.
1	Chamber room	온도 30±1℃, 습도 75±5%
2	Chamber controller	온도 10-35℃, 습도 60-95%
3	Computer	PENTIUM4
4	Data Logger	DARWIN (60 Channel, Thermo Couple (T-type))
5	Power Meter for #A	WT-200 (YOICGAWA)
6	Power Meter for #B	WT-200 (YOICGAWA)
7	AVR	3kVA, Output V: 220V±2%
8	Power supply	정격전압 220V, 정격주파수 60Hz

### 2.2 실험 방법

실험 방법은 실 사용 조건에서 냉장고 표준시험 KS C 9305에 의거하여 chamber 내부 온·습도 30±1℃, 75±5% 범위 내로 조정된 후 냉장고 F, R실 각각 1/3h에서의 기준 온도 -18±0.5℃, 3±0.5℃로 유지하고 T-Type의 thermocouple을 60 channel이 확보된 data logger와 각각의 시료 냉장고의 냉동실과 냉장실 및 고내의 증발기 출구 그리고 냉장고 기계실 내부 압축기와 응축기 표면 및 공간에 연결하여 온도를 측정하였다. 그리고 전력량은 각각의 시료에 공급되는 전력을 측정하기 위해 정전압계(AVR) 출구단과 data logger에 연결하여 전력량을 계측하였으며 또한, 온도와 전력량은 압축기 on/off시 제상과 제상사이의 안정구간을 설정하여 그 구간내의 data를 취득하였고 취득된 data는 5번 측정 후 앙상블 평균을 취하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 이론적 배경

냉장고의 효율은 역 카르노사이클인 냉동사이클의 효율에 지배적이다. 따라서 이상적으로 효율을 높이기 위해서는 식 (1), (2)에서 알 수 있듯이 압축기의 소요일을 줄이고 응축기의 열전달 계수를 높여 증발기에서의 냉동효과를 높이는 것이 가장 이상적인 방법이라 할 수 있다.

$$COP = \frac{\text{냉동효과}}{\text{압축기의 소요일}} = \frac{Q_L}{W} \quad (1)$$

$$Q_C = KA \Delta T = m_{ref} \Delta h \quad (2)$$

위 식(2)에서 나타낸 바와 같이 응축기의 응축부하를 향상시킬 목적으로 냉장고 기계실 내부에는 냉각 팬이 설치되어져 있다. 하지만 응축기의 응축부하는 그 형상과 응축기를 지나는 공기 유량에 따라 달라진다. 응축기 형상에 관해서는 아직도 많은 연구자들이 연구를 진행하고 있지만 공기의 유량을 늘린다면 형상을 변경하는 것은 가격 및 소음 등을 고려해 볼 때 여러 가지 어려움이 따를 것으로 사료된다.<sup>1)</sup> 따라서 냉장고 효율을 높이는 방안으로 응축기의 응축부하를 향상시키고 기계실 내부 온도 저감 효과를 보다 높이기 위해 現 냉장고 기계실 내부의 유로를 개선할 필요가 있다.

3.2 CFD에 의한 現 냉장고 기계실의 유동분석

Figure.3은 냉장고 기계실 내부 유로 개선의 기초 자료로 참조하고자 CFD를 선행적으로 수행하여 분석한 것이다.<sup>2)</sup> CFD에 의한 現냉장고의 유동 패턴은 다음 3가지로 요약할 수 있다.

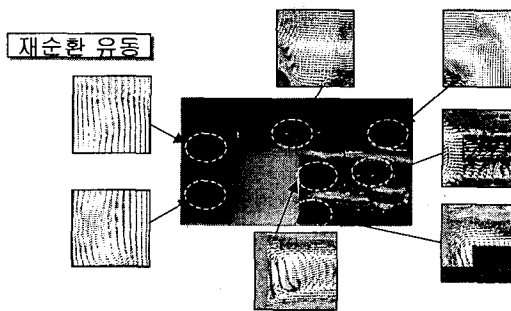


Fig. 3 CFD analysis for a present refrigerator

- 가. 압축기 좌측부의 유동 역류
- 나. 압축기 상부의 유동 역류
- 다. 압축기 우측 벽면 충돌에 의한 유동 역류

먼저 '가'의 경우는 응축기를 냉각시키고 지나가는 유동벡터들이 압축기 좌측부까지 진행되지만 토출 유동에 대해서 적당한 토출구를 확보하지 못한 원인으로 압축기 하부로의 역류가 일어남을 알 수 있다. 이러한 재순환 유동은 압축기하부를 지나 압축기와 응축기 사이로 역류하여 응축기 하부의 온도를 상승시키는 요인이 되어지는 것으로 사료된다. '나'의 경우는 냉장실 bottom부의

돌출된 단열면에 의해 재순환 유동 현상이 발생하는 것으로 사료되며 응축기 상부로 역류하여 응축기 상부에서의 와류현상과 더불어 응축기 상부 온도 상승의 원인이 되는 것으로 사료된다. '다'의 경우는 응축기를 지난 유동 벡터들이 압축기 우측 벽면 충돌에 의해 재순환 유동 현상이 발생하여 응축기 상부로 역류됨을 알 수 있다.

3.3 Cover-Back MC 형상변경 모델(방법1)

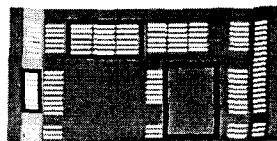
앞서 설명되어진 3.2절에서 現 냉장고의 유동패턴을 분석한 결과, 결론적으로 냉각 팬 입구부로 흡입된 공기에 대비해서 응축기를 냉각시키고 토출되는 공기의 질량 유량비를 최적화하여 위에서 CFD를 통해서 분석되어진 문제점을 해결하기 위해 Cover-Back MC 형상 변경에 따라 실험을 수행하였다. Fig.4는 Cover-Back MC의 형상 변경 모델을 나타낸 것이다.



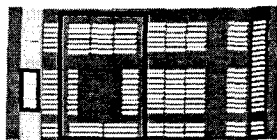
(a) 기존 모델



(b) 변경 모델1



(c) 변경 모델2



(d) 변경 모델3

Fig. 4 Modified model for Cover-Back MC

Cover-Back MC 형상 변경에 대한 실험 결과는 위의 Fig.4의 각각의 모델에 대해 데이터를 취득하여 Table 2에 나타내었다. 여기서 변경 모델3의 경우가 전반적으로 온도 저감 효과가 크게 나타남을 알 수 있으며 기존 모델과 대비해서 응축기 출구에서의 온도 1℃ 정도 낮아짐으로써 증발기에서의 냉동 효과를 높이는 결과로 소비 전력량도 0.4kWh/월 저감되어 나타남을 알 수 있었다. 이는 압축기와 응축기 사이공간에서의 유동 역류와 와류 유동에 대한 기계실 내부에 대해서 최적의 토출구 확보에 따른 결과로 사료되며 기존 모델과 대비해서 분석해 볼 때 전반적으로 하부측에서 많은 유동 토출이 이루어지면서 압축기부 온도 1.5℃저감 및 응축기부 온도 0.4℃ 저감효과가 나타난 것으로 사료된다.

Table 2 Experimental results of modified models for Cover-Back MC

측정값	형상 변경	기존모델	변경모델1	변경모델2	변경모델3
월간 소비 전력량 (kWh/월)		50.4	50.2	50.5	50.0
COMP-ON EVA출구 평균온도 (℃)		-22.1	-22.2	-21.8	-22.3
COMP-ON COND출구 평균온도(℃)		40.5	40.2	40.6	39.5
상온실 내부온도 (℃)		30.6	30.3	30.0	30.5
COMP-on 팬입구 온도 (℃)		32.9	32.7	33.4	32.9
COMP-ON 팬출구 온도 (℃)		32.3	32.2	33.2	32.2
F실 평균온도 (℃)		-18.1	-18.0	-18.3	-18.1
F실 평균온도 (℃)		3.1	3.1	2.9	3.1
압축기부 온도 (℃)		57.1	1.0 ↓	0.8 ↓	1.5 ↓
응축기부 온도 (℃)		37.9	0.2 ↓	0.2 ↓	0.4 ↓

3.4 고온유동 역류차단 모델(방법 2)

Figure 5는 냉장고 기계실 내부에서 유동 벡터들의 역류 현상으로 팬 입구부 온도 상승을 가져다 주는 인자들에 대해서 분석한 것이다. 팬 입구부의 온도 상승은 결국, 에너지 효율을 저하시키는 원인으로 작용한다. 그 주요 인자들은 다음과 같다.

- 가. Tray Drip 하부 hole
- 나. Tray Drip과 기계실 벽면 틈새
- 다. Guide Fan 사각 hole
- 라. Cover Back-MC 과 Guide Fan 상부 틈새

‘가’의 경우는 팬 출구를 지나 응축기 전면과 충돌한 유동벡터들이 Tray Drip의 하부 Hole로 역류되어 팬 입구부로 유입되는 인자이며 팬 입구부 온도 상승의 영향에 가장 크게 작용하는

인자이다. ‘나’의 경우는 Tray Drip과 기계실 안쪽 바닥면 틈새를 통한 역류인자이다. ‘다’의 경우는 guide fan hole에서의 유동역류이다. guide fan hole은 응축기 line이 팬 유입부로 들어가는 직전에 위치되어 있으며 팬 입구부를 지나 곧바로 hot line 영역으로 전환된다. ‘라’의 경우는 Cover-Back MC을 기계실에 설치했을 때 guide fan 상부의 접촉면에서의 틈새를 통한 유동 역류를 말하며 ‘가’의 경우와 마찬가지로 팬 입구부 온도 상승에 크게 작용하는 주요 인자이다.

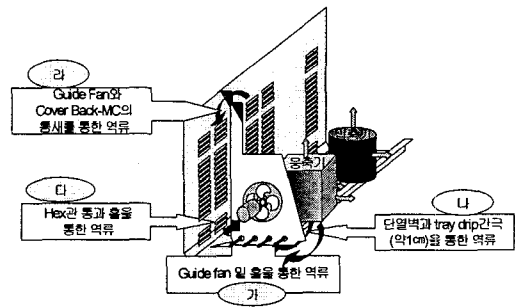


Fig. 5 Improvement model for blocking of reverse flow

고온유동 역류차단에 대한 개선 연구는 現 냉장고에서 팬 입구로의 유동 역류를 차단하여 팬 입구의 온도 상승을 예방하고자 수행되었으며, 그 결과는 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Experimental results of blocking of reverse flow

측정값	형상 변경	기존모델	고온유동 역류차단 모델
월간 소비 전력량 (kWh/월)		50.4	50.0
COMP-ON EVA출구 평균온도 (℃)		-22.1	-22.3
COMP-ON COND출구 평균온도(℃)		40.5	39.3
상온실 내부온도 (℃)		30.6	30.3
COMP-on 팬입구 온도 (℃)		32.9	32.4
COMP-ON 팬출구 온도 (℃)		32.3	31.8
F실 평균온도 (℃)		-18.1	-18.1
F실 평균온도 (℃)		3.1	3.1
압축기부 온도 (℃)		57.1	1.3 ↓
응축기부 온도 (℃)		37.9	0.6 ↓

기존 모델에 대비해서 팬 입구 온도 0.4℃저감과 전반적으로 기계실 내부 압축기부1.3℃ 저감과 응축기부의 온도0.6℃ 저감효과가 나타났으며 소비

전력량도 0.4kWh/월 저감 효과가 나타났다. 이는 팬 유입 유동벡터에 대해 역류차단을 함으로써 팬 입구 온도 상승을 완화시키는 요인으로 작용했기 때문이라 사료된다.

3.5 교호 작용 분석

앞서 얻어진 고온유동 역류차단 모델과 Cover-Back MC 변경 모델3을 동시에 적용할 경우에 대한 실험 결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Experiment results using method1+ method2

측정값	형상 변경	기본모델	고온유동 역류차단 모델 + 변경모델3
월간 소비 전력량(kWh/월)		50.4	49.7
COMP-ON EVA출구 평균온도(°C)		-22.1	-22.2
COMP-ON CO2D출구 평균온도(°C)		40.5	38.9
빙온실 내부온도(°C)		30.6	30.3
COMP-on 팬입구 온도(°C)		32.9	32.4
COMP-ON 팬출구 온도(°C)		32.3	31.4
F실 평균온도(°C)		-18.1	-18.0
R실 평균온도(°C)		3.1	3.1
압축기부 온도(°C)		57.1	3.1
응축기부 온도(°C)		37.9	2.0

두 인자간의 실험결과에서 Cover-Back MC의 변경 모델3과 고온유동 역류차단 모델을 동시에 적용할 경우에 기계실 내부 온도 저감 및 압축기부 온도 3.1°C, 응축기부 온도2.0°C, 저감 및 소비 전력 0.7kWh/월 저감 효과가 나타남을 알 수 있었다. 또한, Fig. 6의 소비 전력량에 대한 교호 작용 분석에서 기존모델에 대비해서 변경 모델3에 대해 고온유동 역류차단을 적용한 모델의 경우가 기울기가 크게 나타나면서 교호 작용이 가장 크게 나타남을 알 수 있다.

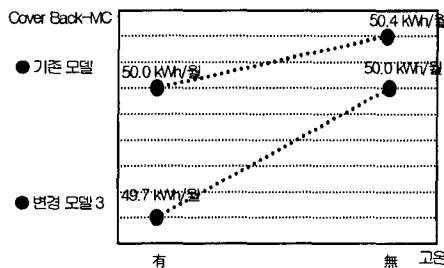


Fig. 6 Interaction plot between the present model and modified model of Cover-back MC

4. 결론

냉장고 기계실 유로 최적화를 통한 소비전력 저감에 관한 결론은 다음과 같다.

1. CFD 결과를 바탕으로 기계실 내부 압축기 좌측부와 압축기와 응축기 사이공간에서의 유동 역류와 와류는 내부 온도 상승의 원인이며 소비 전력을 상승시키는 원인이다.
2. 개선 모델 연구를 통한 고온유동 역류차단 모델은 압축기부 온도 1.3°C 저감, 응축기부 온도 0.6°C저감 및 소비 전력 0.4kWh/월 저감 효과를 나타내었다. 이는 팬 입구부에 대한 역류를 차단 함으로써 기계실 내부 온도 상승을 저지시키는 요인으로 작용했기 때문이다.
3. Cover-Back MC 형상 변경 모델에서 변경 모델3이 가장 최적의 모델이며 유입공기에 대비해서 토출되는 공기의 질량 유량에 대해 충분한 토출구 확보와 압축기와 응축기 사이공간에서의 역류 및 와류 현상에 대해 외기로 토출되는 공기가 Cover-Back MC의 하부와 압축기 좌측부에서 토출이 많이 되면서 압축기부 온도 1.5°C 저감, 응축기부 온도 0.4°C 저감 및 소비 전력 0.4kWh/월 저감 효과를 나타내었다.
4. 기존 모델과 Cover-Back MC의 형상변경에 따른 변경모델3과의 교호작용 분석을 통하여 변경모델3과 고온유동 역류차단 모델을 동시에 적용할 경우 압축기부 온도 3.1°C 저감, 응축기부 온도2.0°C 저감, 소비전력 0.7kWh/월 저감으로 교호작용이 크게 나타남을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] 박진구, 임금식 “가정용 냉장고의 에너지 효율” 공기조화냉동공학회 98추계학술발표회 논문집 pp 32~37, 1998  
 [2] 김재열외 6인 “냉장고 기계실 열 유동 특성 해석” 한국동력기계학회 추계학술대회논문집 pp 99~104, 2001  
 [3] 장영수, 김영일, 신영기, 고영환 “고온 및 저온공기의 풍량제어에 의한 실시간 공기온도 제어” 공기조화냉동공학회 하계학술발표회 논문집 2000

- [4] 이내형 "국내 냉동 공조의 현황" 공기조화 냉동공학회 동계학술발표회 논문집 2000
- [5] 김재원, 황태연 "회류팬 주변 기하학적 형상 변화에 따른 유체유동에 관한 연구" 공기조화 냉동공학회 하계학술발표회 논문집 1999
- [6] 김영재, 장근선, 윤주학, 권영철, 강희정, 강원일 "냉매흐름 방향 변화에 의한 증발기 열전달 특성 연구" 공기조화냉동공학회 하계학술발표회 논문집 1999
- [7] 윤점열, 이태희, 이장석, 박종진 "소형 냉동기용 wire on tube 형 열교환기의 열전달 특성" 공기조화냉동공학회 하계학술발표회 논문집 1999
- [8] 박경우, 정연구, 박희용, 송돈수 "냉매와 가스관의 형상 변화가 왕복동 압축기 성능에 미치는 영향" 공기조화냉동공학회 하계학술발표회 논문집 1999
- [10] 명환주, 백제현 "3 차원 LDV 를 이용한 축류 팬 후류 유동 측정" 공기조화냉동공학회 동계학술발표회 논문집 1999